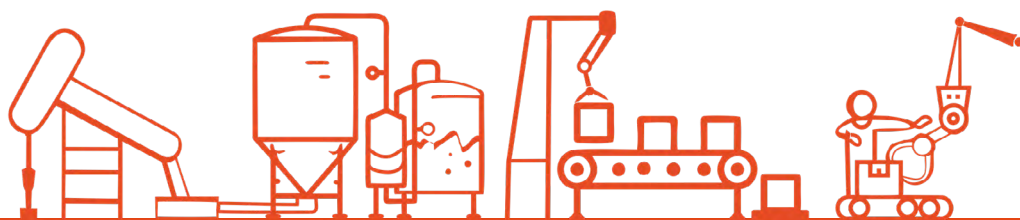


# FONDERIE



Efficienza  
Energetica  
nei Settori  
Economici



QUADERNI DELL'EFFICIENZA ENERGETICA

AGENZIA NAZIONALE  
EFFICIENZA ENERGETICA





**FONDERIE**

ENEA DUEE-SPS-ESE  
QUADERNI DELL'EFFICIENZA ENERGETICA

# FONDERIE

Prima edizione Dicembre 2021

ISBN Edizione digitale: 978-88-8286-425-5

## *Autori*

Chiara Martini, Fabrizio Martini,  
Marcello Salvio, Claudia Toro

## *Hanno collaborato*

Per ENEA: A. De Santis, G. Bruni, 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*

ASSOFOND



Questa 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 (ora dal Ministero della Transizione Ecologica)

Resp. Scientifico, Miriam Benedetti

Work Package 4: "Definizione di best practices e di indicatori di performance per interventi di efficienza  
energetica"

Resp. Scientifico, Fabrizio Martini

*Editing grafico Giorgio Scavino*

*Tipografia La Commerciale*

# FONDERIE

## Sommario

	<b>Premessa</b>	<b>7</b>
	<b>Presentazione</b>	<b>9</b>
	<b>Prefazione</b>	<b>11</b>
<b>1.</b>	<b>Quadro normativo di riferimento</b>	<b>16</b>
<b>2.</b>	<b>Obiettivo della pubblicazione</b>	<b>20</b>
<b>3.</b>	<b>L'industria italiana di Fonderia</b>	<b>24</b>
3.1	Il processo di fonderia	27
3.2	Il ciclo produttivo nelle fonderie con forme a perdere	29
3.3	Il ciclo produttivo nelle fonderie con forme permanenti	31
<b>4.</b>	<b>Metodologia di analisi dei dati</b>	<b>36</b>
<b>5.</b>	<b>La diagnosi energetica</b>	<b>42</b>
5.1	Redazione del rapporto di diagnosi energetica	42
5.2	Rendicontazione dei consumi energetici	46
5.3	Suddivisione dello stabilimento in aree funzionali omogenee	48
5.3.1	Attività principali	48
5.3.2	Servizi Ausiliari	52
5.3.3	Servizi Generali	54
5.3.4	La struttura energetica delle imprese di fonderia: alcuni esempi	54
5.4	Indicatori di Prestazione energetica	57
5.5	Il piano di monitoraggio dei consumi energetici	60
5.5.1	Modalità di Misurazione	60
5.5.2	Fasi per la progettazione di piano di monitoraggio	61
5.5.2.1	Suggerimenti per il monitoraggio energetico: metalli ferrosi	63
5.5.2.2	Suggerimenti per il monitoraggio energetico: metalli non ferrosi	64
5.5.2.3	Esempio di un piano di monitoraggio	65

<b>6.</b>	<b>Analisi dei consumi energetici per le fonderie di metalli ferrosi</b>	<b>76</b>
6.1	Ripartizione dei consumi ed indici di prestazione energetica	76
6.2	Fonderie di Ghisa	77
6.2.1	Distribuzione dei consumi	77
6.2.2	IPE di Primo Livello	82
6.2.2.1	<i>Cluster A</i> : siti produttivi con forni elettrici e formatura in sabbia-resina	82
6.2.2.2	<i>Cluster B</i> : siti produttivi con forni elettrici e formatura a verde	85
6.2.2.3	<i>Cluster C</i> : siti produttivi con forno a cubilotto e formatura a verde	88
6.2.2.4	<i>Cluster D</i> : siti produttivi con forni rotativi e formatura a verde	91
6.2.3	IPE di Secondo Livello per le Attività Principali	94
6.2.3.1	Fase di Fusione	94
6.2.3.2	Fase di Formatura	97
6.2.4	IPE di Secondo Livello per i Servizi Ausiliari	98
6.2.4.1	Produzione di Aria Compressa	99
6.2.4.2	Consumo impianti di Aspirazione	102
6.3	Fonderie di acciaio	105
6.3.1	Distribuzione dei consumi	105
6.3.2	IPE di Primo Livello	107
6.3.3	IPE di Secondo Livello per le Attività Principali	109
6.3.3.1	Fase di Fusione	109
6.3.3.2	Fase di Formatura	111
6.3.4	IPE di Secondo Livello per i Servizi Ausiliari	111
<b>7.</b>	<b>Analisi dei consumi energetici per le fonderie di metalli non ferrosi</b>	<b>116</b>
7.1	Ripartizione dei consumi ed indici di prestazione energetica	116
7.2	Fonderie di Alluminio con pressocolata	117
7.2.1	Distribuzione dei consumi	117

7.2.2	IPE di Primo Livello	119
7.2.3	IPE di Secondo Livello per le Attività Principali	122
7.2.3.1	Fase di fusione	123
7.2.3.2	Isole di Pressocolata	126
7.2.4	IPE di Secondo Livello per i Servizi Ausiliari	128
<b>8.</b>	<b>Interventi di efficienza energetica: soluzioni tecnologiche per il settore delle fonderie</b>	<b>132</b>
8.1	Attività Principali	132
8.1.1	Fusione	132
8.1.2	Formatura	133
8.1.3	Colata	134
8.1.4	Finitura	134
8.2	Servizi Ausiliari	148
8.3	Recupero calore	148
8.4	Combustibili alternativi	148
<b>9.</b>	<b>Analisi degli interventi</b>	<b>180</b>
9.1	Metodologia di analisi	180
9.2	Risultati complessivi	184
9.3	Risultati per il settore delle fonderie	185

#### **ALLEGATO - A**

SCHEDA SETTORIALI DEGLI INTERVENTI EFFETTUATI E INDIVIDUATI	198
<b>ATECO 24.51.00: Fusione di Ghisa e produzione di tubi e raccordi in Ghisa</b>	<b>199</b>
<b>ATECO 24.52.00: Fusione di Acciaio</b>	<b>207</b>
<b>ATECO 24.53.00 e 24.54.00: Fusione di Metalli leggeri e Fusione di altri Metalli non ferrosi</b>	<b>214</b>

#### **ALLEGATO - B**

QUADRO SINOTTICO INDICATORI DI PRESTAZIONE ENERGETICA	222
---	-----

## **APPENDICE**

**VALUTAZIONE DELLA RAPPRESENTATIVITÀ STATISTICA  
DI UNA ANALISI DI REGRESSIONE 228**

**Bibliografia 231**

## Premessa

Il presente lavoro è afferente all'attività di ricerca finanziata con il “**Piano della Ricerca di sistema elettrico per il triennio 2019-2021**”<sup>1</sup> e regolamentata attraverso l'Accordo di Programma<sup>2</sup> tra MiSE (oggi in capo al Ministero della Transizione Ecologica – MiTE) e 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, parte integrante del **Work Package 4 del Progetto di ricerca I.6.** (da ora in poi **WP4**) “*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.

<sup>1</sup> <http://www.ricercadisistema.it>

<sup>2</sup> <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>



Per la realizzazione del WP4 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 si colloca all'interno di un contesto più ampio individuato dal **Progetto di ricerca 1.6** "*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, per favorire il mercato di prodotti più performanti sia a livello di componenti sia a livello di sistemi energetici e contribuire alla riduzione della spesa energetica nazionale aumentando la competitività del settore produttivo rispetto ai mercati internazionali. La finalità è quella di fornire un maggiore visibilità a quelle misure di efficientamento energetico che, in alcuni casi, sono note alla comunità scientifica, ma 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 CO<sub>2</sub> 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.102/2014, 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.

**Voglio, infine, rivolgere un ringraziamento particolare ad ASSOFOND e a tutti gli Associati per i numerosi spunti forniti, l'attenzione ed il supporto che hanno rivolto in questa attività di ricerca.**

**Ilaria Bertini**

*Capo Dipartimento  
Unità Efficienza Energetica, Enea*

## Prefazione

L'industria di fonderia occupa una posizione strategica di interconnessione tra più filiere. Le fonderie, infatti, producono componenti in metallo indispensabili per moltissimi settori: dall'automotive alla meccanica, dalle macchine agricole alla produzione di energia elettrica, dall'edilizia all'industria aerospaziale e molti altri ancora.

Ma c'è di più: le fusioni non sono soltanto cruciali per la produzione di innumerevoli oggetti e manufatti di uso quotidiano comune. Sono anche fondamentali per il processo di transizione ecologica: la principale sfida che l'umanità dovrà affrontare nei prossimi anni. Senza fusioni, infatti, non ci sarebbero pale eoliche, centrali idroelettriche, automobili sempre più leggere e a basso impatto ambientale, e l'elenco potrebbe continuare a lungo.

Non è però un mistero che il processo di fonderia sia fra quelli più energivori dell'intera industria manifatturiera: le alte temperature alle quali i metalli vanno portati per essere fusi e produrre getti richiedono infatti una grande quantità di energia. Basti pensare che l'Alluminio fonde a circa 700 gradi Celsius, mentre per produrre getti di Acciaio il metallo fuso deve raggiungere temperature di oltre 1.500 gradi.

Ecco, quindi, che ben si comprende come l'attenzione all'efficienza energetica sia da sempre un aspetto cruciale per tutte le imprese del settore, a maggior ragione in un periodo come quello attuale, in cui la crescita vertiginosa dei prezzi dell'energia elettrica e del gas impatta in modo considerevole sul conto economico delle aziende.

L'efficientamento energetico e l'utilizzo di fonti di energia a basso impatto ambientale sono anche al centro della strategia che il settore ha sviluppato per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione fissati dal Green Deal europeo.

In attesa che si sviluppino e siano disponibili nuove soluzioni tecnologiche quali l'utilizzo di idrogeno, i biocombustibili, la cattura trasporto e stoccaggio (CCUS) della CO<sub>2</sub> e si completi il passaggio dagli utilizzi dei combustibili fossili all'energia elettrica, fra le "leve" immediatamente disponibili per la decarbonizzazione, oltre all'implementazione di processi di economia circolare, vi è il ricorso alle Migliori Tecniche Disponibili per il miglioramento dell'efficienza energetica dei

nostri processi industriali.

Ecco allora che il *Quaderno dell'efficienza energetica* elaborato per il settore della fonderia da ENEA con il contributo di prestigiose istituzioni universitarie e la collaborazione di Assofond, fornendo un'approfondita analisi delle diagnosi energetiche realizzate sulle fonderie, rappresenta un ulteriore e fondamentale strumento di supporto, a disposizione delle imprese, per analizzare con ancora più attenzione i propri consumi energetici e individuare possibili ulteriori percorsi di razionalizzazione energetica.

Utilizzando congiuntamente tutte le tecnologie disponibili, già nel 2030 sarà possibile ridurre le emissioni dirette di CO<sub>2</sub> del 50%, attraverso una prima fase che prevede da un lato il passaggio da metano a metano “verde” nei forni a gas, dall'altro la sostituzione con forni elettrici dei forni cubilotti, che utilizzano come vettore energetico il coke, e di parte (20%) dei forni a gas stessi.

Il completamento della sostituzione del restante 80% di forni a combustibile con forni elettrici consentirà di raggiungere al 2050 livelli di riduzione delle emissioni dirette di CO<sub>2</sub> pari al 90% di quelle attuali.

Rispetto a questa road map, le fonderie italiane sono già oggi all'avanguardia rispetto ai principali competitor europei: la sostituzione dei forni a carbone con forni elettrici è iniziata in tempi non sospetti, e le imprese hanno negli anni fatto grandi passi verso il miglioramento dell'efficienza delle fasi più energivore del processo.

Come spesso accade, però, è proprio il cosiddetto “ultimo miglio” a essere quello più complesso da percorrere; tuttavia, le analisi svolte e i molti spunti di riflessione disponibili nella nuova pubblicazione di ENEA ci consentiranno di procedere verso gli ambiziosi obiettivi di decarbonizzazione posti dall'Europa.

**Fabio Zanardi**

*Presidente Assofond*







# 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.165 del 18 luglio 2014) 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 2018/2002/UE che ha modificato ed adeguato alcune parti della direttiva 2012/27/UE.

L'art. 8 del D.Lgs. 102/2014 con le modifiche introdotte dal D.Lgs. 73/2020, 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 imprese<sup>3</sup> (comma 1);
- ✓ le imprese a forte consumo di energia<sup>4</sup> (comma 3).

La diagnosi energetica è lo strumento cardine per analizzare il quadro della gestione energetica di un'attività (industriale, servizi, primario e terziario) perchè attraverso di essa qualunque impresa può valutare sistematicamente come venga utilizzata l'energia all'interno del proprio sito produttivo dal punto di ingresso al suo utilizzo finale.

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).

<sup>3</sup> 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.

<sup>4</sup> 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.







## OBIETTIVO DELLA PUBBLICAZIONE

2

## 2. Obiettivo della pubblicazione

L'obiettivo di questa pubblicazione è quello di fornire alle imprese operanti nel settore delle fonderie ed ai professionisti a qualunque titolo coinvolti uno strumento di ausilio nella redazione di una diagnosi energetica di "qualità". Scopo principale della diagnosi energetica è l'ottimizzazione del processo produttivo attraverso lo **studio approfondito del flusso di energia nel sistema considerato, dal punto in cui essa è acquisita sino ai punti di utilizzo finale, deve identificare come e dove l'energia viene prodotta, gestita e/o consumata, contenere anche la valutazione tecnica delle possibilità di ottimizzazione del processo produttivo, lo studio e la valutazione tecnico-economica dell'insieme degli interventi possibili, finalizzati alla riduzione dei consumi, ed indicare eventuali scelte per un uso maggiormente efficiente dell'energia** [Allegato 2 - D.lgs 102/2014].

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 nella letteratura scientifica;
- 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 periodo 2019 per l'ottemperamento degli obblighi previsti dall'Art.8 del D. Lgs. 102/2014, e grazie al supporto di ASSOFOND, di esperti del settore 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.

La parte iniziale del documento comprende una descrizione generale del settore produttivo oggetto della presente pubblicazione.

I capitoli successivi, invece, trattano:

- la metodologia di approccio alle informazioni ricavabili sia dalle diagnosi energetiche che da pubblicazioni tecniche presenti in letteratura;
- la modalità di conduzione di una diagnosi energetica di qualità, tenendo conto anche delle prescrizioni normative legate alla presenza di dati misurati. Viene descritta anche la modalità di rappresentazione dei dati ricavati in una diagnosi, secondo quanto previsto dalle linee guida generali per la redazione della diagnosi energetica realizzate da ENEA;
- la tipologia dei differenti processi presenti nel settore e i diversi prodotti, 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);
- un dettagliato 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 sarà fornita un'analisi tecnico-economica degli interventi proposti nelle diagnosi energetiche.





L'INDUSTRIA ITALIANA  
DI FONDERIA

3



### 3. L'industria italiana di Fonderia

L'industria italiana di Fonderia è costituita ad oggi (Figura 1) da più di mille imprese che realizzano una produzione annua di 2 milioni di tonnellate generando complessivamente un fatturato intorno ai 6,6 miliardi di euro dando lavoro a oltre 28.000 persone [1],[2]. All'export è destinato il 42% in peso della produzione, che rappresenta in valore oltre il 64% del fatturato.

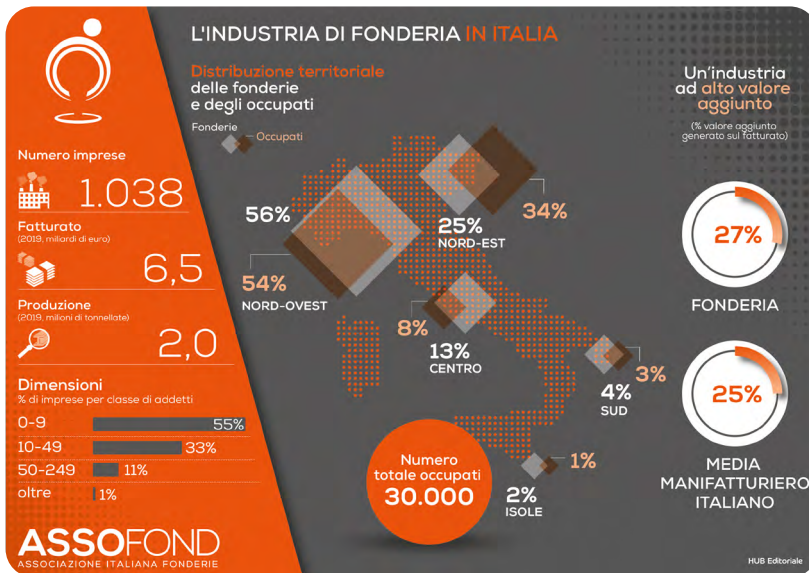


Figura 1 - L'industria di fonderia in Italia [Istat, Assofond 2019].

Il comparto è composto quasi esclusivamente da PMI a conduzione familiare: soltanto l'1% delle imprese supera i 250 dipendenti.

Come mostrato in Figura 2 le fonderie di metalli non ferrosi sono molto più numerose rispetto a quelle di metalli ferrosi (843 vs. 176 secondo gli ultimi dati disponibili di fonte ISTAT, Anno 2019), ma queste ultime sono decisamente più grandi: il fatturato medio è infatti di 11,9 milioni di euro contro 5,3 milioni di euro.

Il comparto è storicamente molto sviluppato nelle regioni del Nord Italia, dove ha sede circa l'80% delle fonderie. Particolarmente significativo è il dato della provincia di Brescia, vero e proprio distretto italiano delle fonderie, con quasi 200 aziende e 7.000 addetti.

La struttura del Settore è costituita principalmente da imprese di piccola/ media dimensione che forniscono circa 350.000 imprese industriali, costituite a loro volta principalmente da piccole e medie imprese. Il 70% della produzione è realizzata da imprese che operano in conto terzi, su specifiche tecniche e disegno del committente ed è destinato ad un mercato molto ampio che spazia dai mezzi di trasporto, all'industria motoristica, alle costruzioni meccaniche, all'edilizia, alla siderurgia, ai componenti per la produzione di energia, all'industria aeronautica, all'industria biomedica ed a numerosi altri impieghi. Il restante 30% è costituito da prodotti cosiddetti "a catalogo", realizzati su disegno della Fonderia e dalla stessa immessi sul mercato. Alcuni esempi sono costituiti dai radiatori per riscaldamento, dai tubi per acquedotto, dai raccordi per distribuzione gas, dalle ruote in lega leggera per auto, moto e scooters. Grazie alle notevoli capacità di innovazione, sviluppate in questi anni dalle imprese, la fusione dei metalli rappresenta oggi una tecnologia insostituibile per moderne industrie committenti. La possibilità di utilizzare una vasta gamma di leghe ferrose e non ferrose, la piena libertà progettuale nella realizzazione delle forme, fanno della tecnologia della fusione una soluzione ideale per realizzare pezzi da pochi grammi a oltre 100 tonnellate di peso unitario con caratteristiche meccaniche ai più elevati standard.

**Fonderie italiane per tipologia di metalli**  
[dati Istat, 2019]

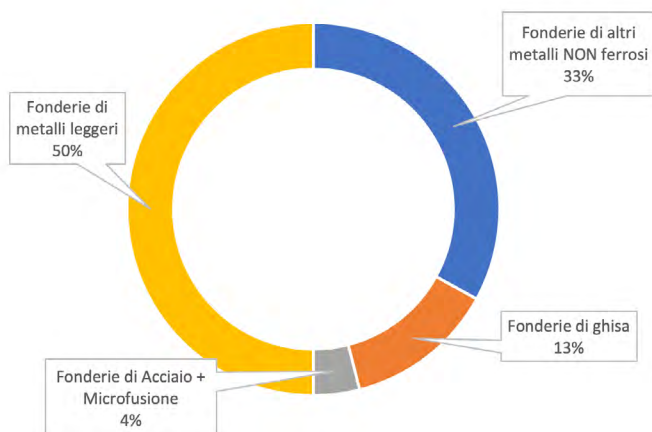


Figura 2 - Distribuzione delle fonderie italiane per tipologia di metalli trattati [Dati Istat, 2019].

Le fonderie possono essere classificate in relazione al tipo di lega metallica prodotta e sulla base delle tecniche utilizzate per la formatura dei getti (Figura 3).

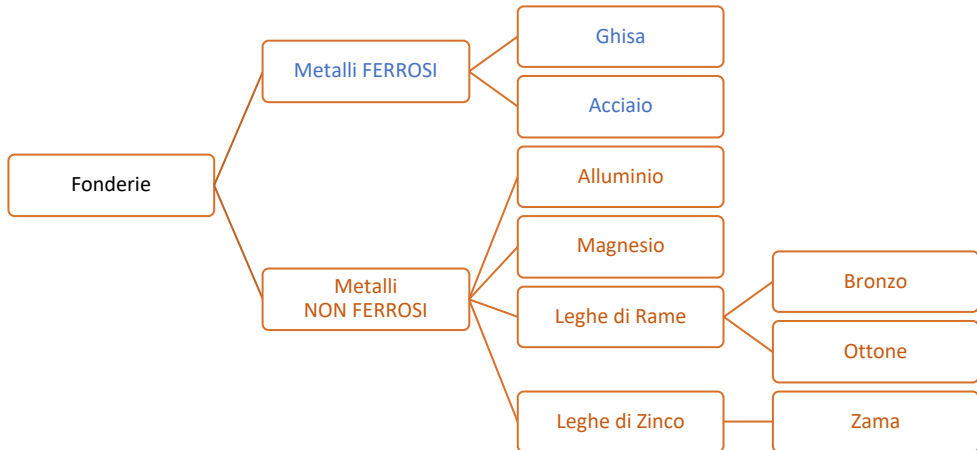


Figura 3 - Le possibili combinazioni sistemi di formatura/colata.

L'industria di fonderia è un comparto molto diversificato, costituito da imprese con caratteristiche dimensionali e tipologie di impianti molto varia, ciascuna delle quali presenta una combinazione di tecnologie e singole fasi produttive definite in funzione del tipo di metallo in entrata (ferroso o non ferroso), del tipo di prodotti realizzati dall'impianto specifico e dalla quantità (serie) dei pezzi prodotti e del tipo di processo utilizzato per realizzare il getto: formatura "a perdere" in terra o formatura in "forma permanente".

### 3.1. Il processo di fonderia

Mediante il processo attuato nella fonderia è possibile realizzare una serie di prodotti metallici – ferrosi e non ferrosi - finiti (denominati fusioni o getti), con caratteristiche fisiche, metallurgiche e dimensionali ben definite, colando direttamente il metallo allo stato fuso in una opportuna forma, lasciandolo poi solidificare e raffreddare.

Le fasi produttive realizzate in Fonderia per ottenere un getto, sono numerose e tra loro correlate secondo una successione sequenziale; tali fasi possono essere tuttavia, ricondotte, in estrema sintesi, a quattro principali aree (Figura 4):

- i. AREA FUSORIA: dove vengono effettuate le attività di preparazione della lega metallica fusa (fase di fusione).
- ii. AREA DI FORMATURA: dove vengono svolte le attività di preparazione delle forme.
- iii. AREA DI COLATA: dove il metallo liquido è versato all'interno delle forme.
- iv. AREA DI FINITURA: dove il getto, dopo la solidificazione e l'estrazione dalla forma, viene sottoposto ad attività di finitura (smaterozzatura, granigliatura, sbavatura, trattamenti termici, lavorazioni meccaniche) finalizzate a conferire al getto le sue caratteristiche di forma e struttura metallurgica finali.



Figura 4 - Le principali fasi del processo di fonderia con formatura "a perdere" in sabbia.

Tipicamente le Fonderie sono classificate sia rispetto al tipo di lega metallica elaborata (ferrosa o non ferrosa) che rispetto al tipo di formatura utilizzato (formatura con “forma a perdere” o formatura in “forma permanente”), (Figura 5).

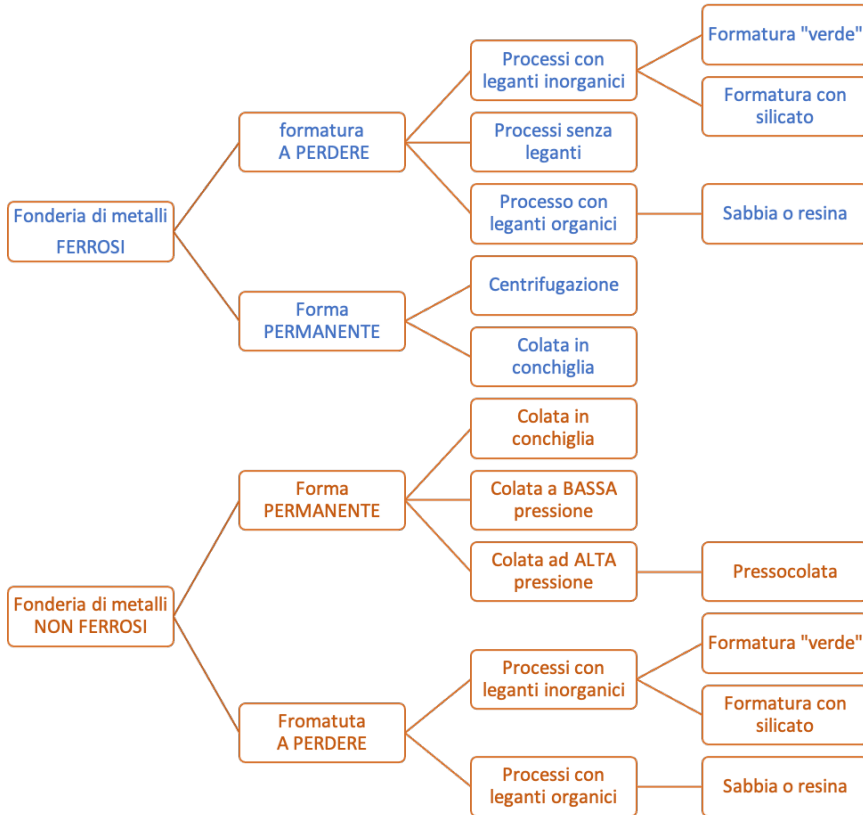


Figura 5 - Settore della fonderia: specializzazioni della produzione.

Da un punto di vista tecnologico, le specializzazioni produttive operate condizionano le scelte tecnico-impiantistiche e le scelte in merito ai processi che vengono utilizzati. Oltre al tipo di lega metallica elaborata e al sistema di realizzazione delle forme, le scelte sui tipi di impianti e sui processi adottate sono condizionate dal mercato cui la fonderia si rivolge in termini di specializzazione della produzione (tipo di getti, massa unitaria, consistenza della produzione: fusioni di serie o di pezzi in numero limitato).

### 3.2. Il ciclo produttivo nelle fonderie con forme a perdere

Nella formatura “a perdere” - sistema utilizzato nella maggior parte delle fonderie di metalli ferrosi - ciascuna forma viene utilizzata una sola volta e distrutta al momento dell'estrazione del getto. La forma è realizzata con sabbie silicee, opportunamente miscelate con leganti e/o additivi che conferiscono loro le proprietà necessarie per consentire le operazioni di formatura. Durante la fase di formatura, viene predisposta l'impronta che riproduce in negativo la geometria esterna del pezzo da realizzare; tale impronta si ottiene costipando la terra di formatura, contenuta all'interno di un telaio metallico denominato staffa, contro un modello che ha la forma del pezzo da ottenere. Per potere consentire l'estrazione del modello dall'impronta, la forma è predisposta divisa in due mezze parti (forma inferiore e forma superiore). Qualora il pezzo da ottenere presenti delle cavità interne, si ricorre all'impiego delle anime, ossia di altre parti di forma preparate in apposite fasi produttive, impiegando materiali analoghi a quelli utilizzati per le forme (sabbie e leganti); le anime riproducono in negativo la geometria interna del getto. Queste, successivamente, vengono posizionate all'interno dell'impronta in una delle due mezze forme (ramolaggio), sulla quale viene poi accoppiata l'altra. La forma così completata è pronta per ricevere il metallo liquido nella fase di colata attraverso le canalizzazioni, appositamente realizzate nella forma; esso andrà a riempire gli interspazi esistenti tra l'impronta e le anime. Trascorso il tempo necessario per la solidificazione ed il raffreddamento del getto ottenuto, la forma viene distrutta nell'operazione di distaffatura, ed il pezzo separato dalla terra (fase di sterratura). Nelle fasi di finitura il getto viene separato dalle parti metalliche costituenti il sistema di colata (canali e attacchi di colata) e di alimentazione (materozze); a seguire vengono effettuate le operazioni di granigliatura per eliminare i residui di sabbia rimasti attaccati al getto, e quella di sbavatura e molatura per l'asportazione di eventuali bave metalliche. Sui getti grezzi possono essere effettuati trattamenti termici per conferire al getto prodotto caratteristiche strutturali e tecnologiche specifiche. I controlli di qualità concludono il ciclo produttivo di un getto.

Riepilogando, in una Fonderia con sistema di formatura “a perdere” le principali fasi attraverso le quali si realizza il processo produttivo sono le seguenti (Figura 6):

- ☞ FASE I: Preparazione delle Cariche, Fusione ed Elaborazione del metallo.

- ☞ FASE 2: Produzione delle anime.
- ☞ FASE 3: Formatura e ramolaggio.
- ☞ FASE 4: Colata.
- ☞ FASE 5: Distaffatura e sterratura.
- ☞ FASE 6: Recupero e preparazione delle terre.
- ☞ FASE 7: Finitura.
- ☞ FASE 8: Controlli di qualità e collaudi.

Il ciclo produttivo si completa con alcune attività sussidiarie, a monte del processo di fabbricazione, connesse con la gestione delle attrezzature di produzione (modelli e casse d'anima). Nello schema a blocchi seguente è rappresentato il processo appena descritto.

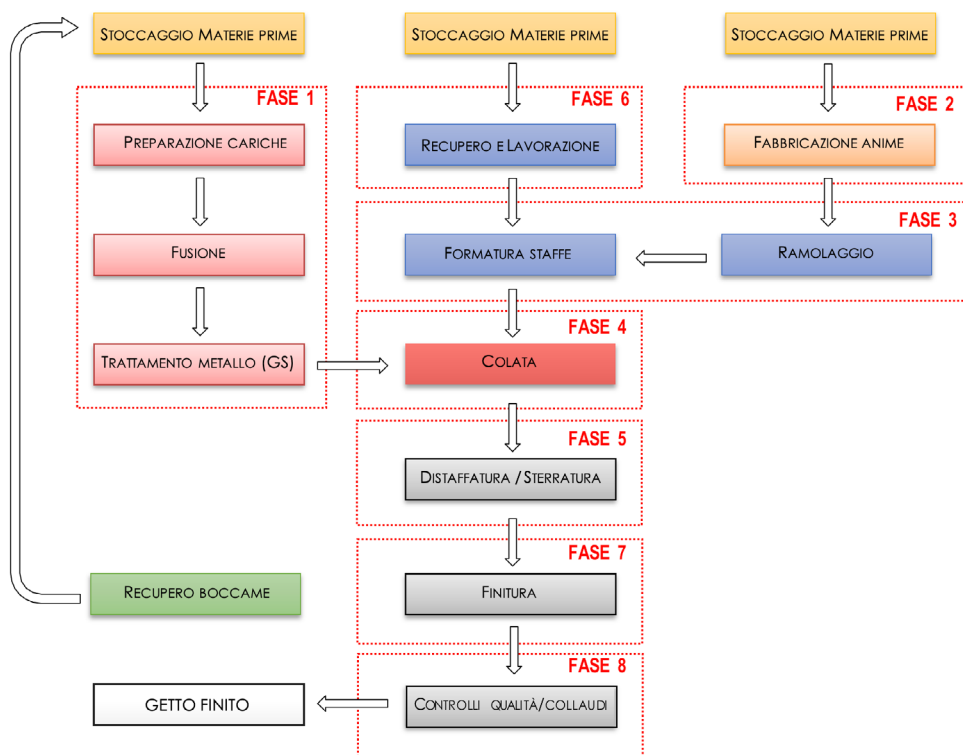


Figura 6 - Schema a blocchi del processo di fonderia con formatura "a perdere" in sabbia.

### 3.3. Il ciclo produttivo nelle fonderie con forme permanenti

Nella formatura “in forma permanente”, costituita da uno stampo metallico mediante il quale possono essere realizzati numerosi pezzi (da qualche centinaio a milioni di pezzi), le tecnologie ed i relativi impianti si differenziano sulla base del sistema utilizzato per la colata del metallo nella forma:

- per gravità in conchiglia statica o in conchiglia posta in rotazione (centrifugazione) utilizzabile per leghe ferrose e non ferrose;
- a bassa pressione o ad alta pressione (pressocolata), utilizzate prevalentemente per produzione di getti in leghe non ferrose.

Queste le fasi attraverso le quali si realizza un getto mediante il sistema di formatura in forma permanente (*Figura 7*):

- ☞ FASE 1: Fusione ed Elaborazione del metallo.
- ☞ FASE 2: Attrezzaggio conchigliatrici e/o macchine pressocolata e/o Posizionamento delle anime e/o Chiusura stampo.
- ☞ FASE 3: Colata / Presso colata.
- ☞ FASE 4: Estrazione del getto.
- ☞ FASE 5: Finitura.
- ☞ FASE 6: Trattamenti termici.
- ☞ FASE 7: Controlli di qualità.

Il ciclo produttivo si completa con alcune attività sussidiarie quali quelle connesse con la gestione delle attrezzature di produzione (conchiglie, stampi), e le attività di manutenzione di macchine ed impianti. Nello Schema a Blocchi seguente è rappresentato il processo appena descritto.



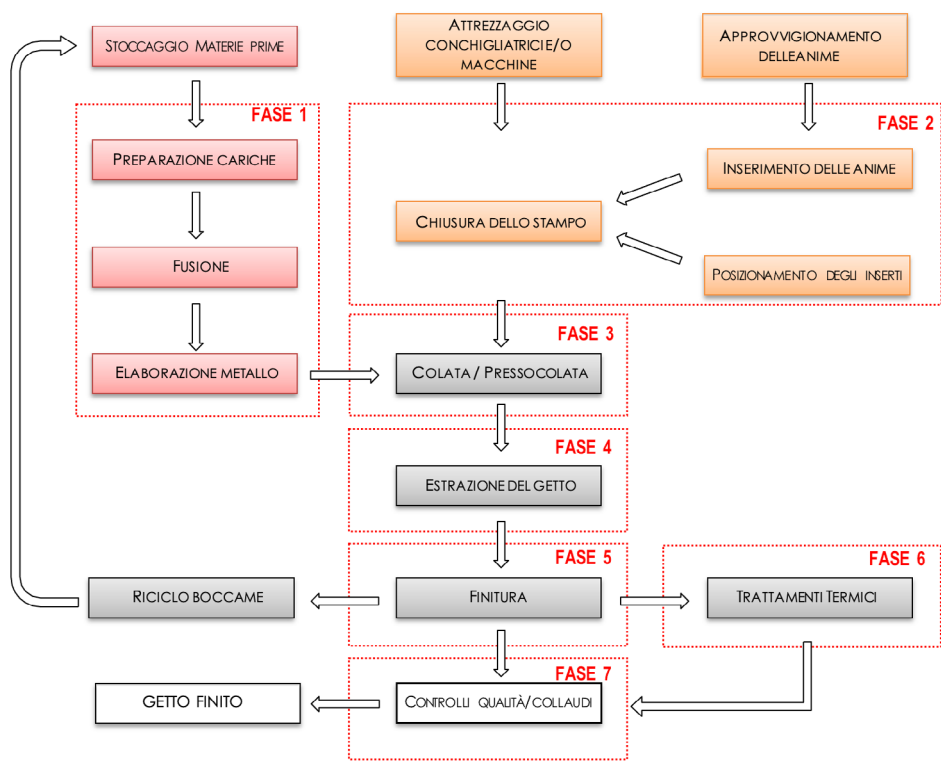
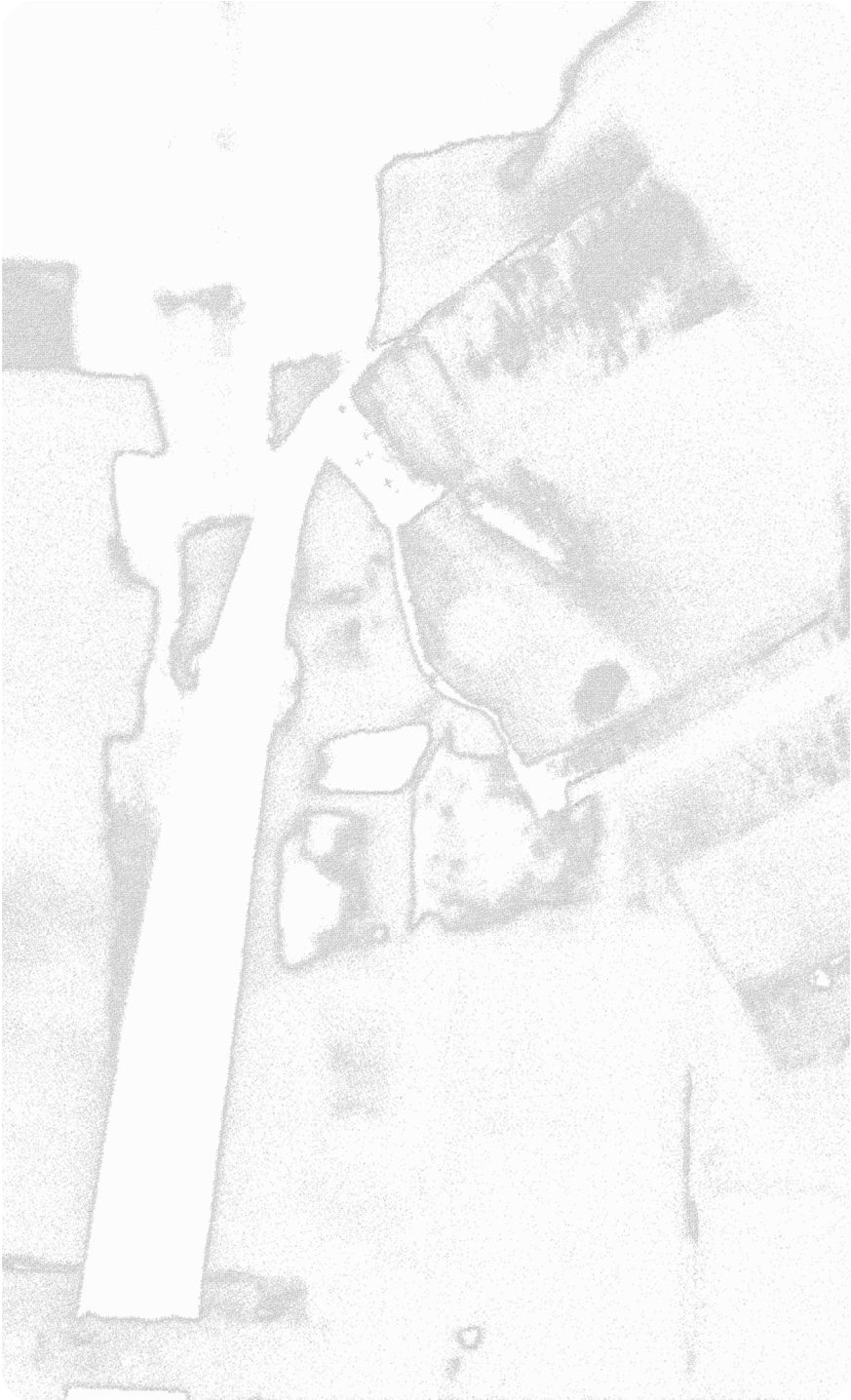


Figura 7 - Fonderie con forma permanente: schema a blocchi del processo produttivo.







**METODOLOGIA  
DI ANALISI DEI DATI**

**4**

## 4. Metodologia di analisi dei dati [3]

In questo capitolo viene illustrata sinteticamente la metodologia adoperata da ENEA nell'analisi dei dati per l'individuazione degli indici di prestazione energetica caratteristici del processo operativo nell'ambito delle fonderie, ovvero per l'individuazione degli Indici di Prestazione Energetica di primo livello (o indici di prestazione energetica globale IPEg) e di quelli di secondo livello (o indici di prestazione energetica specifici IPEs) [3].

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 (es. tonnellate, metri quadri, etc.). Riprendendo la struttura energetica proposta da ENEA [5], sono gli indici ricavabili dai dati forniti al livello B della struttura energetica aziendale (Figura 8).

Per indici di secondo livello si intendono invece gli indici specifici che per ciascun vettore energetico scendono nel dettaglio del processo (es. fusione, formatura, produzione aria compressa, etc.). Questa tipologia di indice è di più difficile determinazione in quanto dipende in maniera stretta dal processo e da come il consumo è misurato ed imputato ad esso. Facendo riferimento alla struttura energetica proposta da ENEA [2], questa tipologia di indice si basa sui dati forniti al livello D (Figura 8).

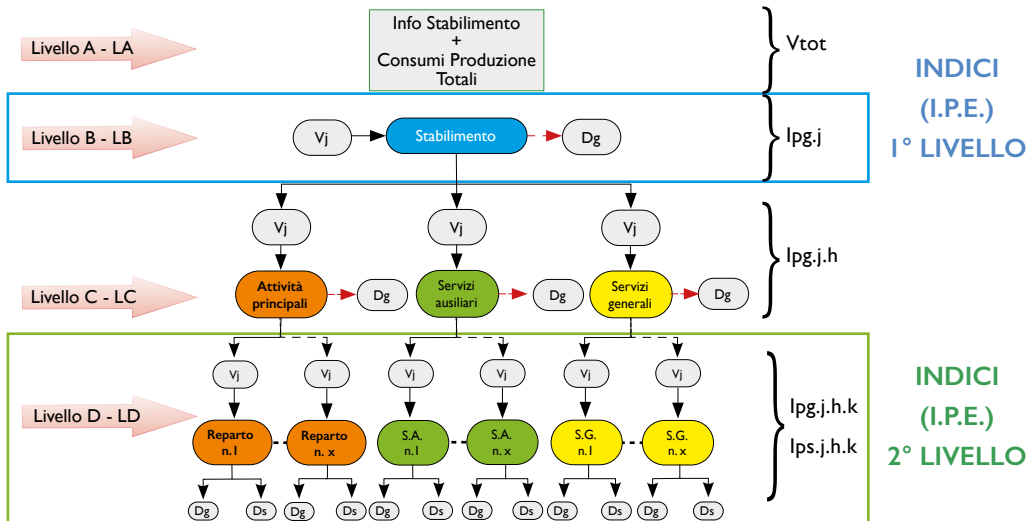


Figura 8 - Schematizzazione della struttura energetica aziendale e caratterizzazione del livello degli IPE.

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

- **Fase 1 - 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 (ad esempio, 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 l' $R^2$ , l'indice di *Pearson* ed il valore del P-value (vedi allegato). 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 e limiti di batteria ben determinati.

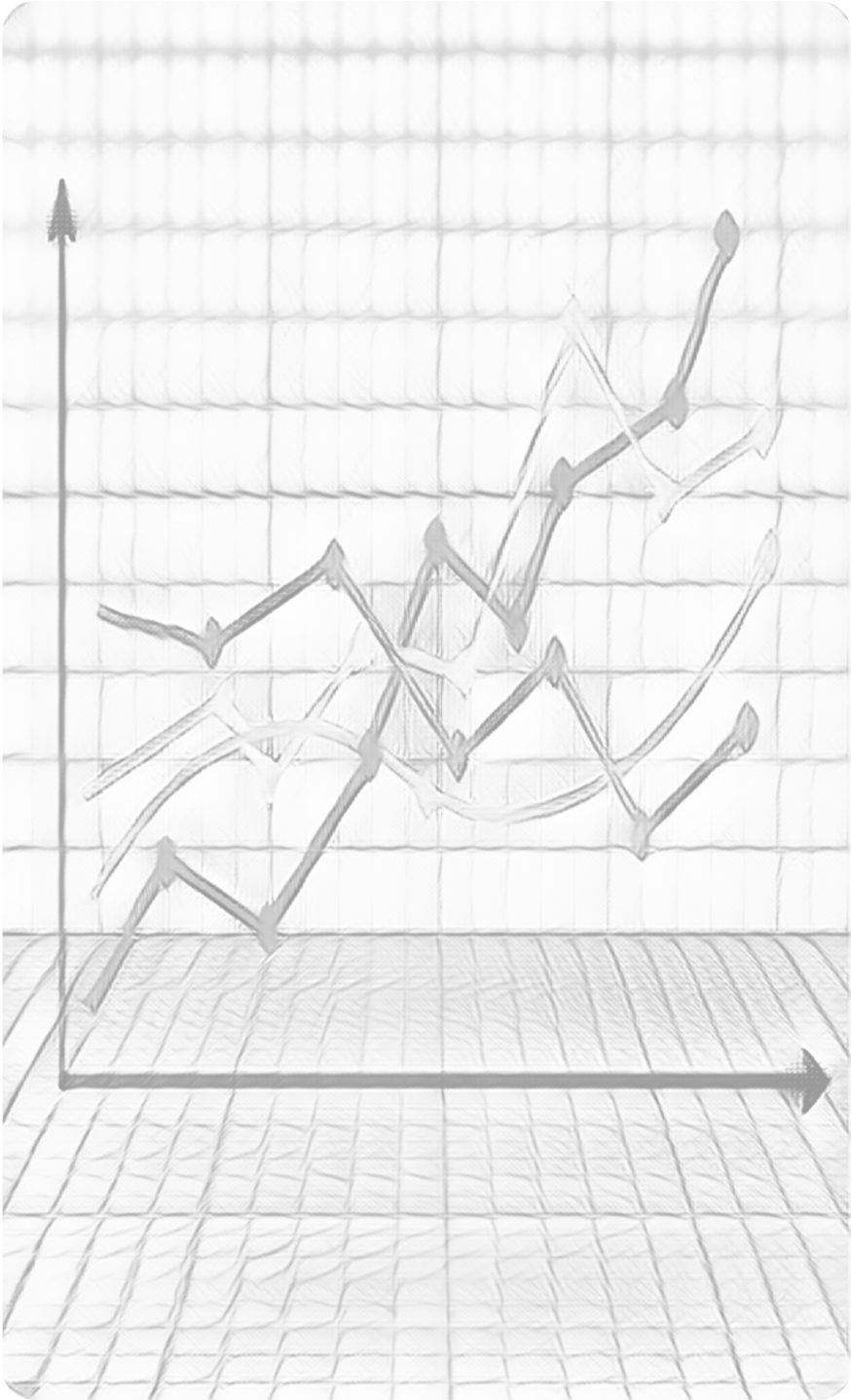
Determinati l'IPE medio e la sua variazione, il livello di affidabilità dell'IPE (riferito per un specifico intervallo di produzione) è stato definito:

- «**Alto**» se il rapporto tra la deviazione standard e il valore medio risulta minore del 20%;
- «**Medio**» se il rapporto tra deviazione standard e valore medio risulta compreso tra il 20% ed il 60%;
- «**Basso**» se il rapporto tra la deviazione standard e il valore medio risulta maggiore del 60% e minore del 100%;
- «**Nulla**» se il valore del rapporto supera il 100%.

**Nel presente lavoro, i dati a disposizione hanno permesso un'accurata analisi dei siti relativi alle fonderie di Ghisa, Acciaio e delle fonderie di Alluminio con pressocolata.**

Le aziende del settore delle fonderie si differenziano sostanzialmente, come visto precedentemente, per tipologia di metallo trattato (ferrosi come Ghisa e Acciaio o non ferrosi come Alluminio, Zinco etc) e per la tecnologia di colata (in forma permanente o a perdere). Ai fini prettamente energetici risulta inoltre fondamentale distinguere i siti produttivi in base alla tipologia di forni fusori presenti.

Pertanto, per ciascuna tipologia di metallo trattato e di tecnologia di colata e forno fusorio è stata prima valuta la consistenza del campione e verificata l'omogeneità dei processi produttivi e quindi si è proceduto all'individuazione di indici di prestazione energetica caratteristici, sia di primo livello che di secondo livello.









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 di come questa dovrebbe essere implementata nel settore delle fonderie.

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 delle fonderie, suggerendo struttura energetica, strategia di monitoraggio ed indici di prestazione energetica (IPE).

### 5.1 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.*

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 dal D.Lgs. 73/2020 [4];
- nei chiarimenti del MISE [7];
- nella normativa tecnica, pacchetto UNI CEI EN 16247 [8]
- nelle linee guida generali elaborate da ENEA [5];
- nelle linee guida settoriali elaborate da ENEA [6].

Come riportato nella norma tecnica UNI CEI EN 16247-1, l'esecuzione di una diagnosi energetica può essere suddivisa nelle seguenti fasi (vedi Figura 9):

- contatti preliminari;
- incontro di avvio;

- raccolta dati;
- attività in campo;
- analisi dati ed individuazione delle opportunità di efficientamento energetico;
- redazione del rapporto tecnico;
- incontro finale.

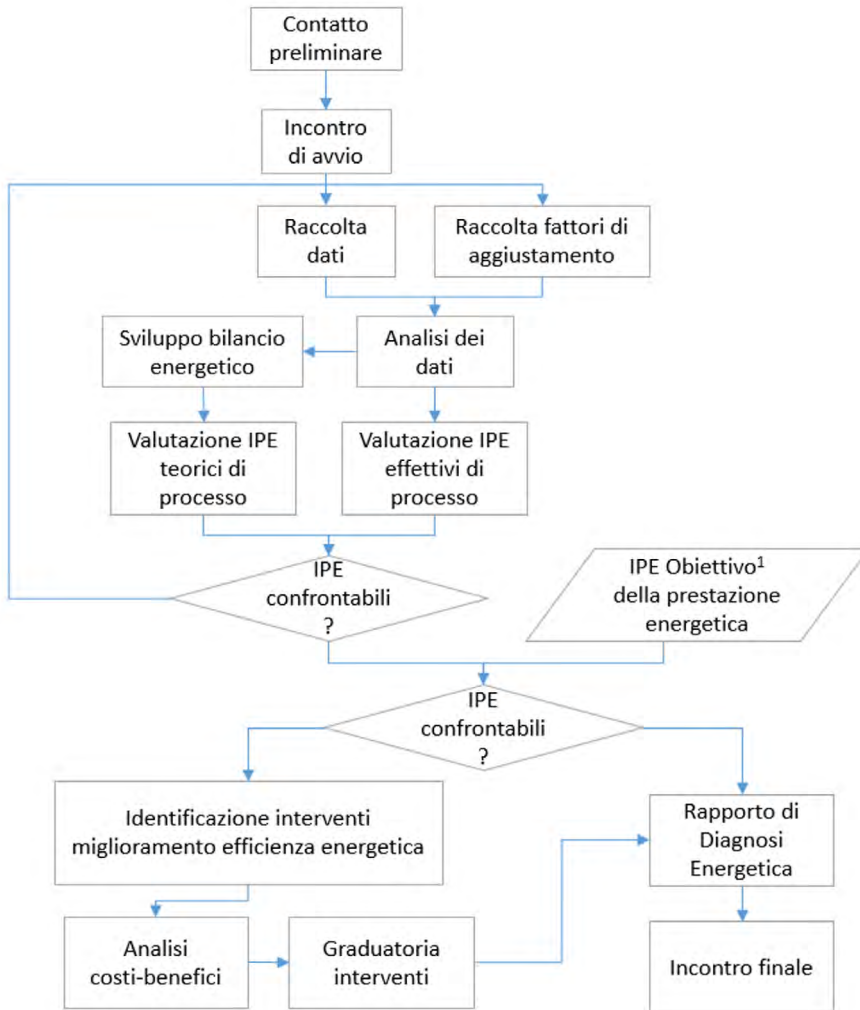


Figura 9 - Schema esecuzione diagnosi energetica secondo la UNI CEI EN 16247-1  
 (¹ media di settore, benchmark, riferimento di legge oppure un miglioramento quantitativo rispetto alla situazione ex ante).

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 e nominate le persone dell'organizzazione che faranno da interfaccia all'auditor.

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**, valutare gli usi energetici, 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. **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 rappresentativa delle ordinarie condizioni di esercizio.**

In fase di analisi l'auditor deve, quindi, determinare il "livello di prestazione energetica" corrente dell'oggetto sottoposto a diagnosi, il quale rappresenterà il riferimento per individuare e valutare eventuali interventi di miglioramento energetico e successivamente misurarne i benefici. L'analisi 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**;
- 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 dovrà:

- I. consegnare il rapporto di diagnosi energetica;
- II. presentare i risultati della diagnosi energetica in maniera da agevolare il processo decisionale dell'organizzazione;
- III. 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.

## 5.2. Rendicontazione dei consumi energetici

Per la rendicontazione dei consumi energetici è necessario attenersi alla suddivisione sia per differenti vettori energetici che per differenti aree funzionali e processi, come illustrato nelle Linee Guida ENEA [6].

In *Figura 10* si riporta lo schema di flusso tipico che caratterizza la Struttura Energetica Aziendale. Tale schema può essere facilmente utilizzato e adattato in tutte le realtà produttive (ad esempio: primaria, secondaria e terziaria). Lo schema di flusso caratterizza con livello di approfondimento crescente tre macroaree funzionali (descritte nel seguito):

- ⇒ Attività Principali;
- ⇒ Servizi Ausiliari ed accessori;
- ⇒ Servizi Generali.

La rendicontazione dei consumi si struttura su diversi livelli:

- **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 geografica, 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;
  - Variazione delle scorte in magazzino.
- **Livello A1:** trasformazioni di energia o energia autoprodotta. In questo livello debbono essere inseriti sia riferimenti a sistemi di autoproduzione di energia come, ad esempio impianti fotovoltaici ed eolici, ma anche trasformazioni dei vettori acquistati in altri vettori energetici, come ad esempio nel caso della cogenerazione (vettore in ingresso Gas Naturale, trasformato 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 di ciascun vettore energetico si suddivide all'interno delle tre aree funzionali: Attività Principali, Servizi Ausiliari e Servizi Generali.

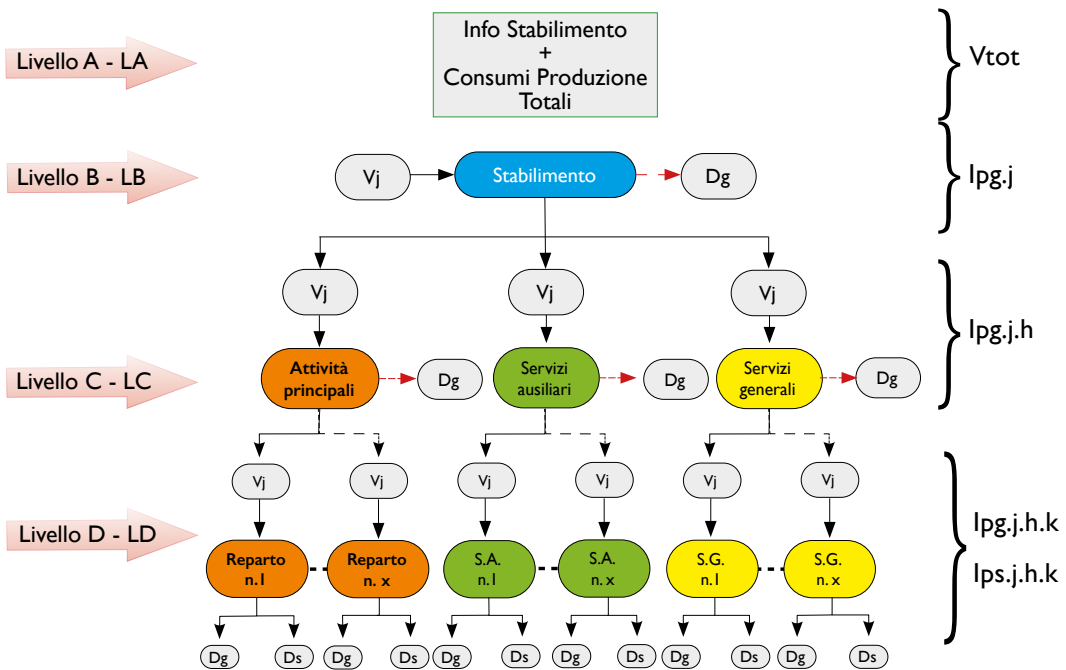


Figura 10 - Schematizzazione della struttura energetica aziendale e caratterizzazione del livello degli IPE.



### 5.3. Suddivisione dello stabilimento in aree funzionali omogenee

La suddivisione dello stabilimento in aree omogenee è effettuata in accordo con i criteri proposti nei documenti di chiarimento sui criteri di svolgimento delle Diagnosi, pubblicati sia da ENEA che dal Ministero dello Sviluppo Economico [7]. Le attività eseguite all'interno dello stabilimento sono suddivise, ad un primo livello di dettaglio, tra (Figura 11):

- **Attività Principali:** attività che compongono il processo produttivo e che portano alla produzione del getto (fusione, formatura, colata, etc.);
- **Servizi Ausiliari:** servizi che non concorrono in maniera diretta alla produzione del getto ma sono a servizio delle Attività Principali (produzione aria compressa, sistemi di aspirazione, etc.);
- **Servizi Generali:** servizi non legati alle Attività Principali e che si svolgono in maniera indipendente dalle stesse; sono essenzialmente, a servizio dello stabilimento e destinati a garantirne le migliori condizioni ambientali (illuminazione, condizionamento, riscaldamento, etc.).

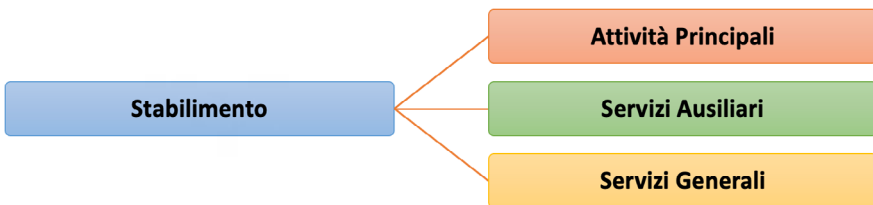


Figura 11 – Aree funzionali individuate ai fini della ripartizione dei consumi energetici di stabilimento.

#### 5.3.1 Attività Principali

Le **Attività Principali** sono le attività che compongono il processo produttivo, costituiscono il “core business” dell’azienda e portano alla produzione del getto.

In particolare, all’interno di una fonderia è possibile avere le seguenti Attività Principali (Figura 12):

- ☞ fusione;
- ☞ fabbricazione anime;
- ☞ formatura;

- ☞ colata forma a perdere;
- ☞ colata in forma permanente;
- ☞ distaffatura/estrazione getto;
- ☞ finitura;
- ☞ trattamento termico.

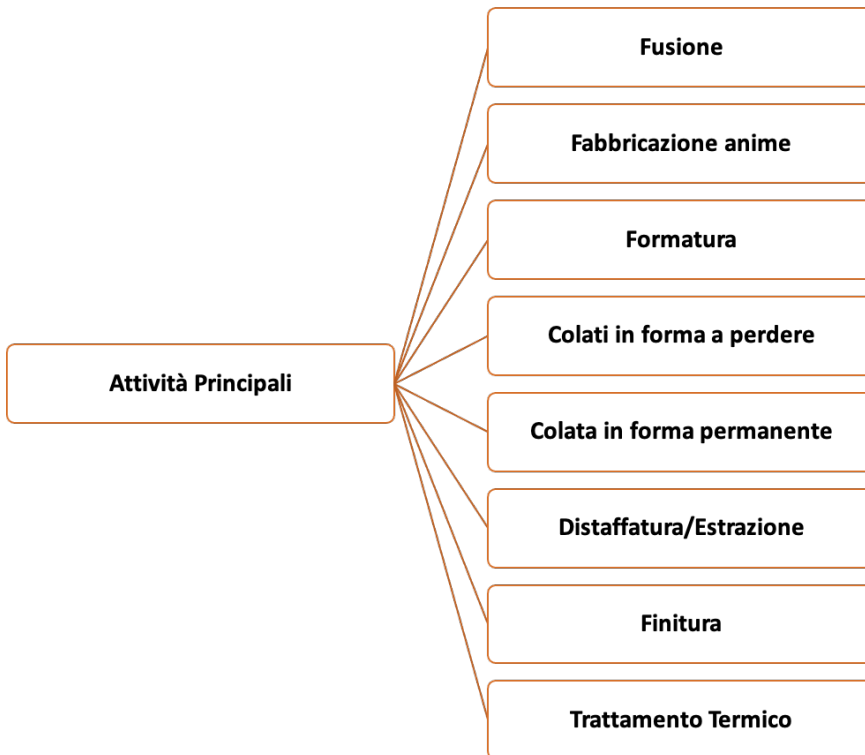


Figura 12 - Schema della ripartizione delle Attività Principali tra "reparti" omogenei.

Nella *Tabella 1* viene riportata la descrizione delle singole Attività Principali che caratterizzano il processo di Fonderia precedentemente descritto.

Attività principale	Descrizione
Fusione	<p>La fusione è il processo di trasformazione del metallo dallo stato solido allo stato liquido. Include sia la fase di fusione vera e propria, eseguita nei forni fusori, che la fase di mantenimento in temperatura del metallo (eseguita nei forni di mantenimento). I consumi attribuibili a questa attività saranno quelli associati a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• eventuali impianti di caricamento dei forni.</li> <li>• forni fusori;</li> <li>• forni di mantenimento.</li> </ul>
Fabbricazione anime	<p>In questa fase sono prodotte le anime, ossia parti della forma preparate utilizzando materiali simili a quelli impiegati nella formatura.</p> <p>I consumi attribuibili a questa attività sono quelli associati a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• mescolatore per anime;</li> <li>• macchine di formatura delle anime;</li> <li>• forni e/o sistemi di essiccazione degli intonaci applicati alle anime.</li> </ul>
Formatura	<p>Questa fase è presente nella maggior parte delle Fonderie di metalli ferrosi e caratterizza le Fonderie con colata in forma a perdere.</p> <p>I consumi attribuibili a questa attività sono quelli associati a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• impianti di preparazione e trasporto delle terre;</li> <li>• mescolatore delle terre di formatura;</li> <li>• impianti di formatura;</li> <li>• forni e/o sistemi di essiccazione degli intonaci applicati alle forme.</li> </ul>
Colata in forma a perdere	<p>In questa fase il metallo liquido è trasferito all'interno della forma (in questo caso forma a perdere).</p> <p>I consumi attribuibili a questa attività sono quelli associati a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sistemi di preriscaldamento delle siviere;</li> <li>• sistemi per il trattamento del metallo (scorifica, sferoidizzazione, etc.);</li> <li>• forni di colata;</li> <li>• sistemi automatici di colata (con siviere "fredde").</li> </ul>

Attività principale	Descrizione
Colata in forma permanente	<p>In questo caso la forma è costituita da uno stampo metallico. La colata in forma permanente si differenzia tra le seguenti tipologie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• colata per gravità in conchiglia statica;</li> <li>• colata per gravità in conchiglia posta in rotazione (colata centrifuga);</li> <li>• colata a bassa pressione o ad alta pressione (pressocolata).</li> </ul> <p>Le prime due tipologie possono essere impiegate per le leghe ferrose e non ferrose, mentre le terze sono impiegate, prevalentemente, per la produzione di getti in leghe non ferrose.</p> <p>I consumi attribuibili a questa attività sono quelli associati a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• preriscaldamento delle siviere;</li> <li>• sistemi per il trattamento del metallo (scorifica, degassaggio, ecc.);</li> <li>• macchine per colata centrifuga (orizzontale e/o verticale);</li> <li>• isole per colata in conchiglia;</li> <li>• isole per colata a bassa pressione o di pressocolata.</li> </ul>
Distaffatura/ Estrazione getto	<p>Fase nella quale il getto è separato dalla forma.</p> <p>I consumi attribuibili a questa attività saranno quelli associati al solo impianto distaffatore (per formatura a perdere), se “autonomo” rispetto alla fase di formatura, non inserito, cioè, nella linea dell’impianto automatico di formatura.</p>
Finitura	<p>Sono incluse nella fase di finitura:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• separazione del getto dai sistemi di colata (canali e attacchi di colata) e di alimentazione (materozze);</li> <li>• asportazione dei residui di terra costituente la forma rimasti sulla superficie del getto (granigliatura);</li> <li>• asportazione delle bave metalliche dalla superficie del getto (sbavatura);</li> <li>• altre attività di finitura (scriccatura, saldatura, etc.);</li> </ul> <p>I consumi attribuibili a questa attività sono quelli associati a tutte le macchine e/o attrezzature che realizzano le fasi suddette.</p>
Trattamento termico	<p>I consumi attribuibili a questa attività, ove presente, sono quelli associati ai forni di trattamento termico.</p>

Tabella 1 – Descrizione delle Attività Principali che compongono il processo produttivo nelle fonderie.

### 5.3.2 Servizi Ausiliari

I Servizi Ausiliari sono le attività, di tipo trasversale, che non concorrono in maniera diretta alla produzione del getto, ma sono a servizio delle Attività Principali. In particolare, all'interno di una fonderia è possibile trovare i seguenti reparti/aree (Figura 13):

- ✓ produzione aria compressa;
- ✓ impianti di aspirazione;
- ✓ movimentazione dei materiali;
- ✓ modelleria/attrezzeria;
- ✓ officina di manutenzione;
- ✓ trasporto di fluidi di processo.

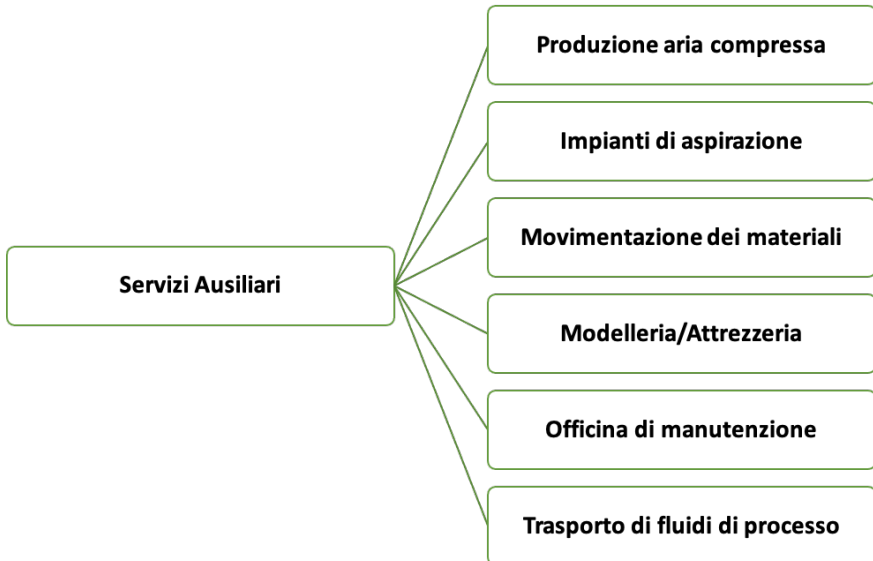


Figura 13 - Schema della ripartizione dei Servizi Ausiliari tra "reparti" omogenei.

Nella Tabella 2 viene riportata la descrizione dei singoli Servizi Ausiliari che caratterizzano il processo di Fonderia precedentemente descritto.

Servizio ausiliario	Descrizione
Produzione di aria compressa	<p>I principali utilizzi di aria compressa nell'ambito dei processi di Fonderia sono i seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• azionamenti pneumatici degli impianti;</li> <li>• sistemi automatici di pulizia dei sistemi di filtrazione delle emissioni;</li> <li>• sistemi di trasporto pneumatico delle sabbie.</li> </ul> <p>I consumi attribuibili a questa attività saranno quelli della sala compressori.</p>
Impianti di aspirazione	<p>Gli impianti di aspirazione sono finalizzati alla captazione ed al convogliamento, all'esterno dell'ambiente di lavoro, delle emissioni che originano dalle fasi del processo, come:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• emissioni prodotte nella fase di fusione e colata;</li> <li>• polveri prodotte nelle fasi di formatura e distaffatura;</li> <li>• fumi e polveri prodotte nelle attività di finitura.</li> </ul> <p>I consumi attribuibili a questa attività sono quelli associati ai sistemi di aspirazione e depurazione delle emissioni (fumi e/o polveri).</p>
Movimentazione dei materiali	<p>I consumi attribuibili a questa attività saranno quelli associati all'uso di:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• carrelli elevatori, macchine operatrici varie;</li> <li>• mezzi di sollevamento (gru a ponte, paranchi, etc.).</li> </ul>
Modelleria/ Attrezzera	<p>È il reparto nel quale sono costruiti o mantenute le attrezzature produttive (modelli, casse d'anima, stampi). I consumi attribuibili a questa attività saranno quelli associati a tutte le macchine installate nel reparto.</p>
Officina di manutenzione	<p>È il reparto nel quale sono svolte attività finalizzate al regolare funzionamento di macchine e impianti, dove sono eseguite piccole riparazioni. I consumi attribuibili a questa attività sono quelli associati a tutte le macchine installate nella officina di manutenzione.</p>
Trasporto di fluidi di processo	<p>I consumi attribuibili a questa attività sono quelli associati agli impianti che realizzano il trasporto/riciclo dei fluidi di processo, quali ad esempio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• fluidi di sistemi di raffreddamento (es. acqua di raffreddamento forni fusori);</li> <li>• sistemi di lubrificazione centralizzata delle isole di pressocolata;</li> <li>• altri fluidi di processo.</li> </ul>

Tabella 2 - Descrizione dei Servizi Ausiliari caratteristici del processo produttivo nelle fonderie.

### 5.3.3 Servizi Generali

I Servizi Generali sono finalizzati a garantire le migliori condizioni ambientali (riscaldamento, condizionamento, illuminazione). I consumi relativi sono percentualmente trascurabili.

### 5.3.4 La struttura energetica: alcuni esempi

Nelle *Figure 14* e *15* sono riportate, a titolo esemplificativo, due tipologie di Struttura Energetica Aziendale:

- In *Figura 14* è rappresentata una struttura tipica di una Fonderia produttrice di getti con formatura “a perdere” in sabbia.
- Nella *Figura 15* è invece rappresentata una possibile struttura energetica di una fonderia di metalli non ferrosi con sistemi di produzione getti per colata a pressione (pressocolata).

Nella struttura energetica di *Figura 14* è ben chiaro il Livello C (Attività principale, Servizi Ausiliati e Servizi Generali) ed il Livello D dove sono riportati i singoli reparti dello stabilimento. Invece, in *Figura 15* oltre ai Livelli C e D l'alberatura energetica scende a livelli di approfondimento ancora più specifici che potremmo definire come Livelli E ed F. Quest'ultima struttura può essere molto importante nel momento in cui si intenda dotare lo stabilimento di una sistema di monitoraggio evoluto, in quanto permette di tenere sotto controllo i singoli apparati del processo produttivo, questo livello di dettaglio però deve essere ben valutato dal responsabile di stabilimento attraverso analisi costo-beneficio.

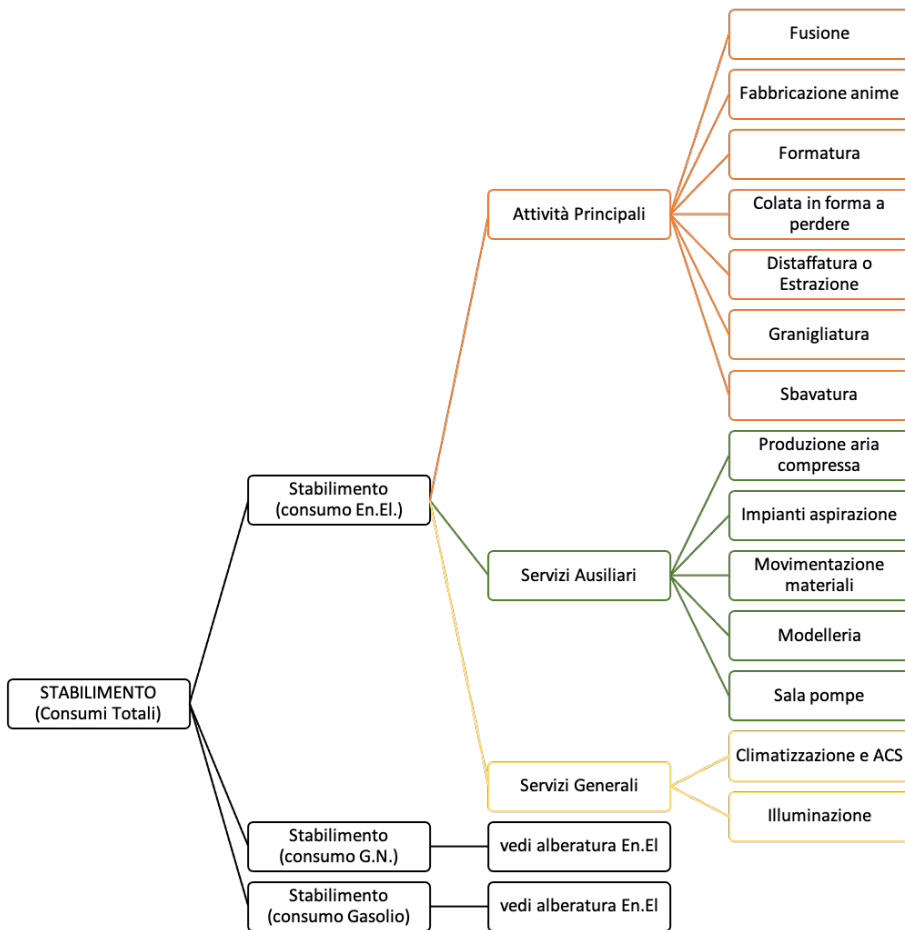


Figura 14 - Esempio di Struttura Energetica aziendale di una Fonderia con formatura “a perdere”.



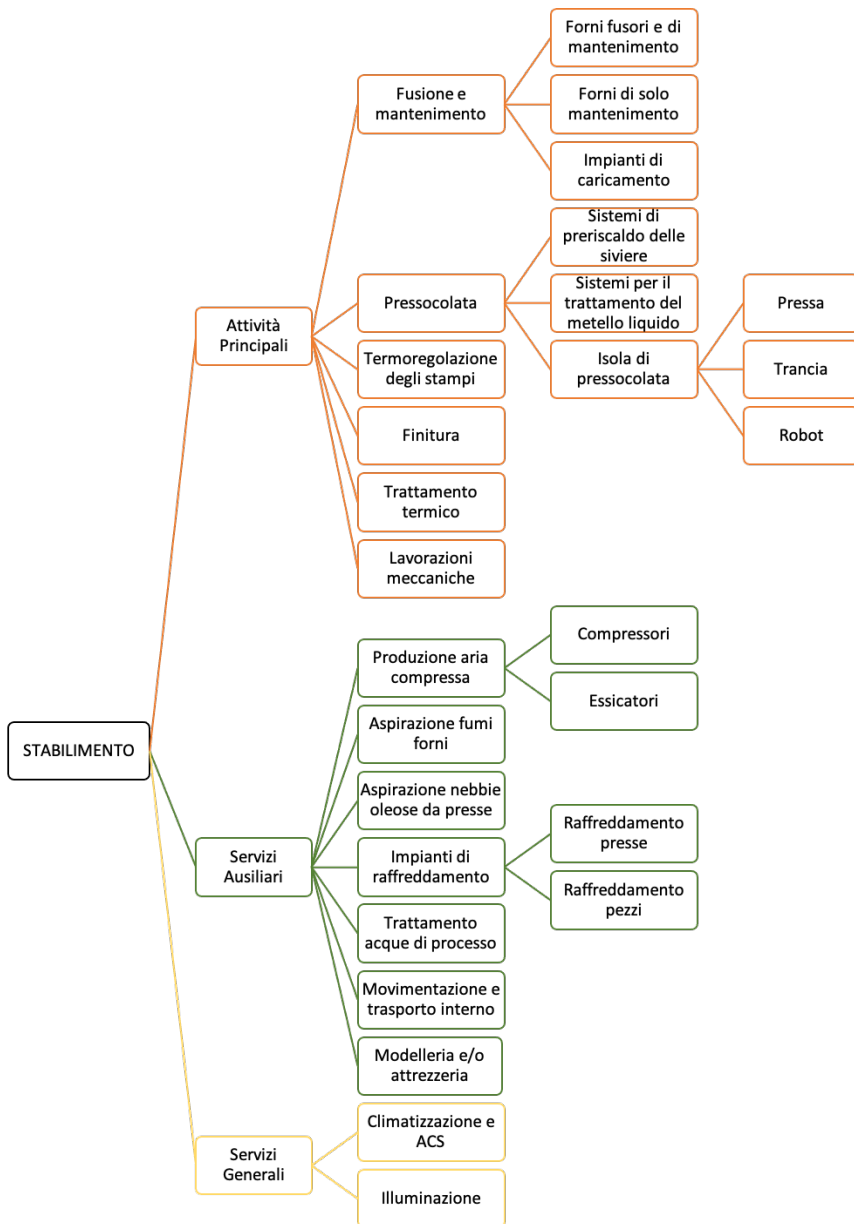


Figura 15 – Esempio di Struttura Energetica aziendale di una fonderia di metalli non ferrosi.

## 5.4 Indicatori di Prestazione energetica

Al fine di normalizzare e confrontare in modo omogeneo i consumi annullando la variabilità introdotta dai fattori che li influenzano si introducono gli Indicatori di Performance.

Si identificano due tipologie di Indicatori:

- **Indicatori di tipo generale (IPEg)** che normalizzano i consumi rispetto al parametro che identifica la destinazione d'uso generale dello stabilimento.
- **Indicatori di tipo specifico (IPEs)** che, invece, normalizzano i consumi rispetto al parametro che identifica la specifica destinazione d'uso dell'area funzionale al Livello D della Struttura Energetica Aziendale (o a livelli ancora più profondi come spiegato nel capitolo precedente ed illustrato nella *Figura 15*).

Lo scopo di definire degli indicatori di prestazione energetica è quello di individuare valori di riferimento tali da permettere alla fonderia di pianificare in modo appropriato la propria politica energetica ed i propri investimenti in efficienza energetica.

La Fonderia può supportare le proprie decisioni in ambito energetico utilizzando:

- **benchmark interni:** mirati a valutare l'andamento delle proprie prestazioni energetiche rispetto a un periodo di riferimento;
- **benchmark esterni:** mirati a verificare le proprie prestazioni rispetto alla media di mercato.

Ad ognuna delle aree funzionali identificate nella struttura energetica aziendale è associato un **indicatore di tipo generale** definito come segue:

$$IPEg_j = E_j / Dg$$

dove:

- $IPEg_j$  è l'indicatore di performance generale associato alla j-esima area funzionale;
- $E_j$  è l'energia assorbita dalla j-esima area funzionale;
- $Dg$  è la destinazione d'uso generale dello stabilimento.

Nel caso specifico delle aziende appartenenti al settore delle Fonderie, la Destinazione d'uso Generale è identificata dalla **Produzione di tonnellate di getti** ( $Dg$  = Tonnellate di getti prodotti). In questo caso le tonnellate di getti

prodotti coincidono con la **Produzione Netta** cioè i getti “buoni” spediti e fatturati (sono da escludere eventuali fusioni acquistate da terzi e rivendute). Gli indicatori di tipo generale consentono, quindi, di valutare quale è il consumo energetico di ciascuna area funzionale o reparto legato alla produzione di una tonnellata di getti.

A differenza degli Indicatori di Performance di tipo Generale, associati a tutte le aree funzionali, gli **indicatori di tipo specifico (IPEs)** sono associati solamente alle aree funzionali o ai reparti al Livello D della Struttura Energetica Aziendale e sono definiti come segue:

$$IPEs_j = E_j / D_s$$

dove:

- IPEs<sub>j</sub> è l'indicatore di performance specifico associato alla j-esima area funzionale o reparto;
- E<sub>j</sub> è l'energia assorbita dalla j-esima area funzionale o reparto;
- D<sub>s</sub> è la destinazione d'uso specifico dell'area funzionale o del reparto.

Nella *Tabella 3* sono riassunte le destinazioni d'uso specifiche definibili per ciascuna delle attività/reparti al Livello D per le fonderie di metalli ferrosi e non ferrosi.

<b>Attività Principali</b>		
<b>Fonderie produttrici di getti in Ghisa ed in Acciaio</b>		
<b>Attività</b>	<b>Destinazione d'uso specifica</b>	<b>Unità di Misura</b>
Fusione	Produzione Lorda	Tonnellate [t]
Formatura	Produzione Netta	Tonnellate [t]
Trattamento Termico	Produzione Netta	Tonnellate [t]
Lavorazioni meccaniche	Produzione Netta	Tonnellate [t]
<b>Fonderie produttrici di getti in Alluminio</b>		
<b>Attività</b>	<b>Destinazione d'uso specifica</b>	<b>Unità di Misura</b>
Fusione	Produzione Lorda	Tonnellate [t]
Formatura	Produzione Netta	Tonnellate [t]
Trattamento Termico	Produzione Netta	Tonnellate [t]
Lavorazioni meccaniche	Produzione Netta	Tonnellate [t]

Servizi Ausiliari		
Tutte le tipologie di fonderie		
Attività	Destinazione d'uso specifica	Unità di Misura
Produzione e distribuzione aria compressa	Aria prodotta	Metri cubi [m <sup>3</sup> ]
Impianti di aspirazione	Aria aspirata	Normal metri cubi su ora [Nm <sup>3</sup> /h]
Impianti di raffreddamento	Acqua trattata	Metri cubi [m <sup>3</sup> ]
Trattamento di acque di processo	Acqua trattata	Metri cubi [m <sup>3</sup> ]
Movimentazioni e trasporti interni	Produzione Netta	Tonnellate [t]
Officina e Manutenzione	Produzione Netta	Tonnellate [t]
Servizi Generali		
Tutte le tipologie di fonderie		
Attività	Destinazione d'uso specifica	Unità di Misura
Climatizzazione invernale ed estiva	Gradi Giorno	Gradi centigradi [°C]
Illuminazione	Flusso luminoso	Lumen [lm]
Acqua calda sanitaria	Dipendenti	numero
Uffici	Superficie	[m <sup>2</sup> ]
Mensa	Dipendenti o coperti	numero

Tabella 3 - Destinazioni d'uso specifiche per ciascuna delle attività al Livello D per le fonderie di metalli ferrosi e non ferrosi.

## 5.5. Il piano di monitoraggio dei consumi energetici [6]

Secondo quanto prescritto dall'Art. 8 del D.lgs. 102/2014, la Diagnosi Energetica deve essere eseguita in conformità con i Criteri Minimi contenuti nell'Allegato 2 al citato decreto, il quale stabilisce che la Diagnosi Energetica deve essere “basata su dati operativi relativi al consumo di energia aggiornati, misurati e tracciabili”.

Il Ministero dello Sviluppo Economico ha, successivamente, chiarito (Allegato II del Documento di Chiarimenti del novembre 2016 [4]) che, ai fini della conformità della Diagnosi Energetica, non è necessario misurare tutti i consumi energetici, ma è possibile definire un “Piano di Monitoraggio” che includa quelli associati alle aree funzionali, opportunamente identificate, che contribuiscono in maniera significativa al Consumo complessivo dello Stabilimento.

In questo capitolo verranno descritte le procedure per implementare un piano di monitoraggio dei consumi energetici sia per le fonderie di metalli ferrosi che per quelle di metalli non ferrosi.

### 5.5.1. Modalità di Misurazione

Di seguito è riportato, integralmente, il testo del paragrafo 7.5 delle “Linee Guida per il Monitoraggio nel settore industriale per le Diagnosi Energetiche ex art. 8 del D.lgs. 102/2014” [5] pubblicate da ENEA.

*Le misure potranno essere effettuate adottando le seguenti metodologie:*

- *Campagne di misura: la durata della campagna di misura dovrà essere scelta in modo rappresentativo (in termini di significatività, riproducibilità e validità temporale) rispetto alla tipologia di processo dell'impianto (es: impianti stagionali). La durata minima della campagna dovrà essere giustificata dal redattore della diagnosi. Occorrerà inoltre rilevare i dati di produzione relativi al periodo della campagna di misura. La campagna di misura dovrà essere effettuata a partire dall'anno solare*

precedente rispetto all'anno di obbligo della realizzazione della diagnosi energetica;

- *Installazione di strumenti di misura: nel caso di installazione "permanente" di strumentazione di misura, è opportuno adottare come riferimento l'anno solare precedente rispetto all'anno d'obbligo della realizzazione della diagnosi energetica.*

*Tipologie di strumenti ammessi:*

- *Misuratori esistenti;*
- *Nuovi misuratori (manuali, in remoto, con software di monitoraggio con funzioni di memorizzazione e presentazione delle misure stesse).*

Le misure devono essere conformi agli standard nazionali ed internazionali di riferimento (ISO, UNI, Protocollo IPMVP, etc.).

Nel caso di misure indirette è fatta salva la possibilità di adoperare metodologie di calcolo ampiamente consolidate presenti nella letteratura tecnica corrente.

### 5.5.2. Fasi per la progettazione di piano di monitoraggio [6]

Di seguito, nella *Tabella 4*, è riportata una descrizione sintetica delle singole fasi del processo di progettazione del Piano di Monitoraggio proposto da ENEA ed il risultato della applicazione dei criteri descritti al tipico caso di una Fonderia di Metalli Ferrosi.

Fase	Descrizione
Determinare il consumo di stabilimento	Sommare i dati di Consumo di Stabilimento (rilevabili dai contatori generali o dalle fatture di acquisto nel caso, ad esempio, di coke o gasolio) relativi a ciascun vettore energetico impiegato dopo averli convertiti in unità di misura omogenee (es. tep, MJ, kWh).
Escludere i vettori energetici che hanno un contributo sul consumo di stabilimento <10%	Valutare il contributo di ciascun vettore energetico sul consumo complessivo di stabilimento e determinare quelli che hanno un contributo complessivo < 10%. I vettori energetici, impiegati in una tipica Fonderia di metalli ferrosi e non, che contribuiscono in misura superiore al 10%, sono, nella generalità dei casi: energia elettrica, gas naturale, coke di fonderia.

Fase	Descrizione																																																							
Escludere le macroaree al Livello C che hanno un contributo al consumo di ciascun vettore <10%	<p>Valutare il contributo di ciascuna macroarea al Livello C della Struttura Energetica Aziendale (Attività Principali, Servizi Ausiliari e Servizi Generali) e determinare quelle che hanno un contributo complessivo, su ciascun vettore energetico, inferiore al 10%.</p> <p>Nel caso di una tipica fonderia è possibile, generalmente, escludere dalle analisi successive i Servizi Generali.</p>																																																							
Determinare il livello di copertura minima garantito dal piano di monitoraggio	<p>Nota il Consumo di Stabilimento è possibile determinare, utilizzando la Tabella seguente delle Linee Guida di ENEA [6], il livello di copertura minima dei consumi di:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Attività Principali;</li> <li>o Servizi Ausiliari;</li> <li>o Servizi Generali;</li> </ul> <p>che il Piano di Monitoraggio dovrà garantire per ognuno dei vettori energetici e delle macroaree al Livello C non esclusi nella fase precedente.</p>																																																							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Consumi anno di riferimento (tep/a)</th> <th>Attività Principali</th> <th>Servizi Ausiliari</th> <th>Servizi Generali</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">&gt; 10.000</td> <td>85%</td> <td>50%</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>8.900</td> <td>10.000</td> <td>80%</td> <td>45%</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>7.800</td> <td>8.899</td> <td>75%</td> <td>40%</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>6.700</td> <td>7.799</td> <td>70%</td> <td>35%</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>5.600</td> <td>6.699</td> <td>65%</td> <td>30%</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>4.500</td> <td>5.599</td> <td>60%</td> <td>25%</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>3.400</td> <td>4.499</td> <td>55%</td> <td>20%</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>2.300</td> <td>3.399</td> <td>50%</td> <td>15%</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>1.200</td> <td>2.299</td> <td>45%</td> <td>10%</td> <td>5%</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>1.199</td> <td>40%</td> <td>5%</td> <td>5%</td> </tr> </tbody> </table>	Consumi anno di riferimento (tep/a)		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%
	Consumi anno di riferimento (tep/a)		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%																																																				
<p>Nel caso, ad esempio, di una Fonderia caratterizzata da un consumo di Stabilimento di 6.000 TEP, si dovrà prevedere un Piano di Monitoraggio che garantisce una copertura del 65% dei consumi associati alle Attività Principali, del 30% dei Servizi Ausiliari e del 20% dei Servizi Generali per ciascun vettore energetico monitorato.</p>																																																								

Fase	Descrizione
Determinare il livello di copertura minima garantito dal piano di monitoraggio	Se la stessa fonderia utilizza solo forni elettrici ed ha, presumibilmente, esclusi dalla analisi gli altri vettori energetici, il Piano di Monitoraggio riguarderà solo la energia elettrica, diversamente dovrà riguardare anche gli altri vettori energetici.
Determinare le aree funzionali, i processi e gli impianti da includere nel piano di monitoraggio	<p>Nota la copertura minima dei consumi che il Piano di Monitoraggio dovrà garantire, è possibile determinare le aree funzionali, i processi e gli impianti da includere nel Piano.</p> <p>A tale scopo ci si deve riferire al Livello D della Struttura Energetica Aziendale, che per ognuno dei vettori energetici, rappresenta la ripartizione dei consumi di Attività Principali, Servizi Ausiliari e Servizi Generali (Livello C) tra le aree funzionali, i processi e gli impianti dell'impresa.</p> <p>I consumi da includere nel Piano di Monitoraggio saranno quelli delle aree funzionali, processi ed impianti la cui somma garantisce le coperture definite.</p>

Tabella 4 – Fasi per il processo di progettazione di un Piano di Monitoraggio.

### 5.5.2.1. Suggerimenti per il monitoraggio energetico [6]: metalli ferrosi

Di seguito, per ognuna delle macroaree funzionali identificate ai Livelli C e D della Struttura Energetica Aziendale, sono identificati i reparti che, nella maggior parte dei casi, garantiscono i livelli di copertura richiesti.

Rimane a carico del Responsabile della Diagnosi Energetica (REDE) verificare, con i consumi effettivi, che i livelli di copertura richiesti siano effettivamente raggiunti.



Area Funzionale	Descrizione
Attività Principali	<p>I reparti (elementi al Livello D) appartenenti alle Attività Principali e caratterizzate da maggiori consumi sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fusione;</li> <li>• Formatura.</li> </ul> <p>In molti casi il monitoraggio di una o entrambe le aree funzionali suddette è sufficiente a garantire il livello di copertura richiesto per le Attività Principali.</p> <p>Nel caso di una Fonderia che dovrà garantire la copertura del 65% dei consumi delle Attività Principali, considerato il Reparto Forni tra le Attività Principali e se quest'ultimo è costituito da soli forni elettrici, il monitoraggio del consumo del reparto forni sarà, presumibilmente, sufficiente a garantire la copertura richiesta.</p>
Servizi Ausiliari	<p>I reparti (elementi al Livello D) appartenenti ai Servizi Ausiliari e caratterizzate da maggiori consumi sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Produzione Aria Compressa;</li> <li>• Impianti di aspirazione.</li> </ul> <p>In molti casi il monitoraggio di una o entrambe le aree funzionali suddette è sufficiente a garantire il livello di copertura richiesto per i Servizi Ausiliari.</p>
Servizi Generali	<p>I consumi per Servizi Generali hanno un contributo minimo ai consumi di stabilimento.</p> <p>Il monitoraggio dei consumi di uno solo degli elementi al Livello D è sufficiente a raggiungere i livelli di copertura richiesti.</p>

*Tabella 5 – Fonderie di metalli ferrosi: principali reparti che solitamente concorrono al soddisfacimento dei requisiti minimi di copertura per il monitoraggio, come da chiarimenti del MISE [7].*

### 5.5.2.2. Suggerimenti per il monitoraggio energetico [6]: metalli non ferrosi

Di seguito, per ognuna delle macroaree funzionali identificate al Livello C e D della Struttura Energetica Aziendale, sono identificate le aree funzionali che, nella maggior parte dei casi, garantiscono i livelli di copertura richiesti.

Rimane a carico del Responsabile della Diagnosi Energetica (REDE) verificare, con i consumi effettivi, che i livelli di copertura richiesti siano effettivamente raggiunti.

Area Funzionale	Descrizione
Attività Principali	<p>Nel caso specifico delle Fonderie di Metalli Non Ferrosi si possono identificare i seguenti reparti delle Attività Principali da sottoporre a monitoraggio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Forni Fusori;</li> <li>• Isole di pressocolata (selezione di un campione di presse da monitorare);</li> <li>• Forni di mantenimento (selezione di un campione da monitorare);</li> <li>• Centraline (selezione di un campione da monitorare).</li> </ul>
Servizi Ausiliari	<p>I reparti (elementi al Livello D) appartenenti ai Servizi Ausiliari e caratterizzate da maggiori consumi sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Produzione Aria Compressa;</li> <li>• Impianti di aspirazione: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fumi forni;</li> <li>▪ Nebbie oleose da presse.</li> </ul> </li> </ul>
Servizi Generali	<p>I consumi per Servizi Generali hanno un contributo minimo ai consumi di stabilimento. Il monitoraggio dei consumi di uno solo degli elementi al Livello D è sufficiente a raggiungere i livelli di copertura richiesti.</p>

*Tabella 6 - Fonderie di metalli non ferrosi: principali reparti che solitamente concorrono al soddisfacimento dei requisiti minimi di copertura per il monitoraggio, come da chiarimenti del MISE [7].*

### 5.5.2.3. Esempio di un piano di monitoraggio [6]

Di seguito è proposto un esempio di Piano di Monitoraggio sviluppato tenendo conto dei criteri descritti e proposti nelle Linee Guida citate.

Il consumo di energia elettrica per le Attività Principali ha un'incidenza maggiore del 10% dei consumi dello stabilimento. Al fine di rispettare le soglie minime riportate da ENEA, si suggerisce di monitorare con priorità un campione di presse e di forni elettrici significativi dal punto di vista energetico.

Il consumo di gas naturale per le Attività Principali ha un'incidenza maggiore del 10% dei consumi dello stabilimento. Al fine di rispettare le soglie minime riportate da ENEA, si suggerisce di monitorare con priorità un campione di forni fusori e di forni di mantenimento a gas significativi dal punto di vista energetico.

I criteri di significatività per la selezione del campione sono decisi dall'azienda in funzione della strategia energetica.

A titolo di esempio si può decidere di monitorare gli impianti che consumano di più, una pressa oggetto di prossima sostituzione/revamping al fine di definire una baseline per la verifica del risparmio oppure forni con tecnologie innovative al fine di confrontare diverse soluzioni tecniche.

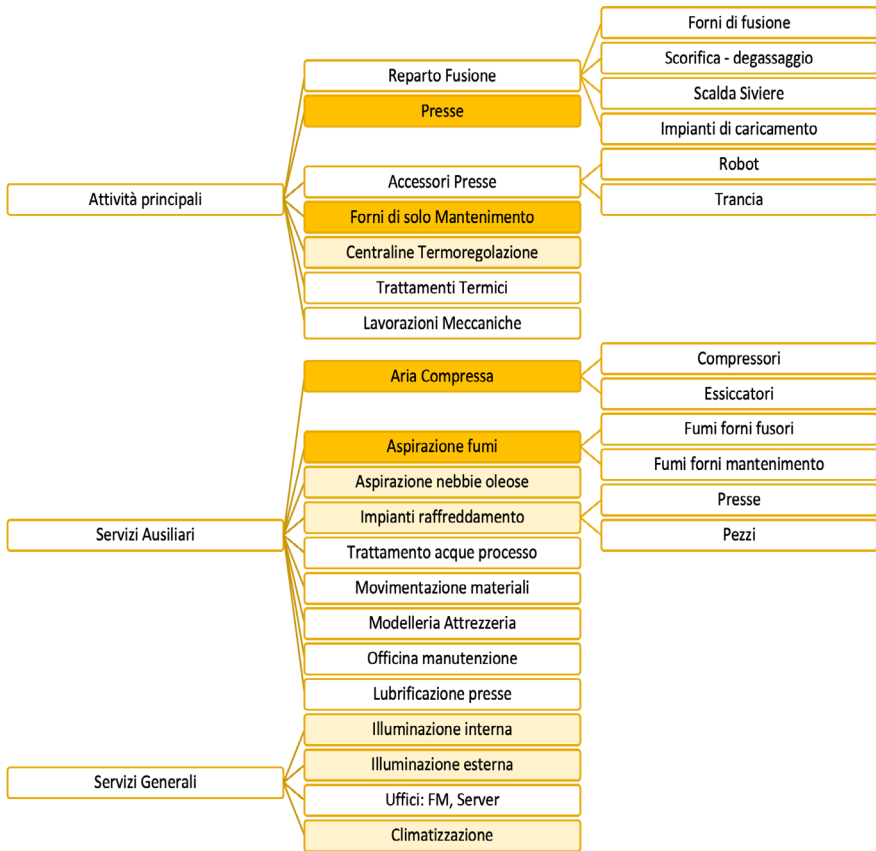


Figura 16 – Esempio di alberatura energetica per il consumo di energia Elettrica di un sito di fonderia di metalli non ferrosi, con forni a gas, con indicazione di possibili posizionamenti di strumenti per la misura dell'energia consumata e del parametro di aggiustamento (arancio scuro).

La diagnosi deve riportare i criteri di significatività per la selezione del campione adottato. I restanti consumi devono essere stimati.

In questo esempio, viene mostrata l'alberatura energetica per i due vettori principali: energia elettrica (Figura 16) e Gas naturale (Figura 17). Successivamente

nelle *Tablelle 7, 8 e 9* vengono proposti, in funzione del vettore energetico, i reparti che, qualora previsti all'interno del piano di monitoraggio, potrebbero permettere il soddisfacimento delle condizioni minime proposte da ENEA [5].

In particolare, nell'alberatura di *Figura 16*, sono riportati tutti i centri di consumo di energia elettrica dell'ipotetica fonderia, in arancio scuro vengono individuati i reparti da prevedere, necessariamente, nel piano di monitoraggio, inoltre in arancio chiaro sono riportati altri eventuali reparti che potrebbero essere inseriti nel piano di monitoraggio che prevedono consumi non trascurabili.

Nella *Figura 17*, analogamente a quanto descritto per l'alberatura dei centri dei consumi elettrici, viene mostrata l'alberatura dei centri di consumo di gas naturale. I reparti indicati in azzurro scuro sono quelli che sarebbe opportuno prevedere nella proposta di piano di monitoraggi per soddisfare i criteri minimi ENEA, in azzurro chiaro sono, invece, riportati i reparti che hanno comunque un'incidenza non trascurabile sui consumi di gas naturale, ma non necessari per il soddisfacimento dei criteri minimi ENEA.



*Figura 17 – Esempio di alberatura energetica per il consumo di Gas Naturale di un sito di fonderia di metalli non ferrosi, con forni a gas, con indicazione di possibili posizionamenti di strumenti per la misura dell'energia consumata e del parametro di aggiustamento (azzurro scuro).*

Nelle *Tablelle 7 ed 8* sono riportati i reparti individuati nella *Figura 16* con i relativi:

- indici di prestazione energetica specifici (o di secondo livello);
- i parametri da monitorare con la relativa unità di misura;
- la tipologia di strumento e una breve nota per la gestione della misura.

Nella *Tabella 9* sono riportate le stesse tipologie di informazioni delle *Tablelle 7 e 8*, ma relative ai centri di consumo di Gas Naturale.

ATTIVITA' PRINCIPALI – ENERGIA ELETTRICA					
Reparto	IPEs	Misura	Udm	Strumento	Note
Presse	IPEs = kWh/t	Energia elettrica	kWh	Multimetro digitale	<p>È possibile eseguire la misura del consumo della pressa o la misura del consumo dell'isola di pressocolata. La soluzione adottata deve essere chiaramente riportata nella diagnosi energetica. Nel caso in cui si misuri il consumo dell'isola è opportuno eseguire delle misure a campione sugli impianti accessori per stimare la quota parte di consumo legata a questi impianti. In questo caso il consumo dell'isola contribuisce al raggiungimento della quota minima di monitoraggio definita da ENEA ma sia il consumo della pressa che il consumo degli accessori risulta stimato.</p> <p>Per ogni pressa registrare marca e modello, capacità in ton e anno di costruzione.</p> <p>La destinazione d'uso è la produzione lorda della pressa misurata come peso del prodotto stampato lordo (getti conformi + non conformi escluse materozze) espresso in ton.</p> <p>Periodo minimo di monitoraggio suggerito: 6 mesi.</p> <p>Frequenza di acquisizione del dato almeno mensile.</p>
		Produzione lorda	t	Gestionale di produzione	
Forni di solo mantenimento elettrico	IPEs = kWh/h ○ IPEs = kWh/t	Energia elettrica	kWh	Multimetro digitale	<p>Per ogni forno registrare marca e modello, capacità e anno di costruzione.</p> <p>Specificare tipo e capacità di pressa a cui è asservito il forno.</p> <p>La destinazione d'uso è il tempo di funzionamento in mantenimento del forno espresso in ore. ○, in alternativa la produzione lorda.</p> <p>Periodo minimo di monitoraggio suggerito: 6 mesi.</p> <p>Frequenza di acquisizione del dato almeno mensile.</p>
		Tempo di funzionamento	Ore	Conta ore	
		Produzione lorda	t	Gestionale di produzione	

ATTIVITA' PRINCIPALI – ENERGIA ELETTRICA					
Reparto	IPEs	Misura	Udm	Strumento	Note
Centraline termoregolazione	IPEs = kWh/t	Energia elettrica	kWh	Multimetro digitale	Misura Opzionale. In caso il rapporto costo della misura e beneficio risulti economicamente vantaggioso è possibile effettuare una campagna di misura su un campione di centraline al fine di verificare le stime effettuate. Essendo la centralina asservita alla pressa la destinazione d'uso è la produzione netta espressa in t.
		Produzione lorda	t	Gestionale di produzione	

Tabella 7 – Esempio di sistema di monitoraggio dei consumi elettrici per le Attività Principali in una fonderia di metalli non ferrosi.

SERVIZI AUSILIARI – ENERGIA ELETTRICA					
Reparto	IPEs	Misura	Udm	Strumento	Note
Aria compressa	IPEs = kWh/ Nm <sup>3</sup>	Energia elettrica	kWh	Multimetro digitale	La misura del consumo energetico può essere implementata installando un multimetro sul quadro elettrico di alimentazione del compressore. Nel caso di più compressori è possibile prevedere la misura del consumo di ogni singolo compressore o la misura del consumo della sala compressori. Indicare la soluzione utilizzata e registrare se il consumo energetico misurato include/non include consumi degli essiccatori o di altre attrezzature ausiliarie. Per ogni compressore specificare marca, modello, potenza e pressione di esercizio della rete (bar). La destinazione d'uso è la portata di aria prodotta dalla intera sala compressori. La misura deve essere eseguita tramite installazione di un misuratore di portata a valle della sala compressori. Periodo minimo di monitoraggio suggerito: 6 mesi. Frequenza di acquisizione del dato almeno mensile.
		Aria prodotta	Nm <sup>3</sup>	Misuratore di portata	

SERVIZI AUSILIARI – ENERGIA ELETTRICA					
Reparto	IPEs	Misura	Udm	Strumento	Note
Impianto di Aspirazione	IPEs = kWh/ Nm <sup>3</sup>	Energia elettrica	kWh	Multimetro digitale	La misura del consumo energetico può essere implementata installando un multimetro sul quadro elettrico di alimentazione di ogni impianto di aspirazione. La destinazione d'uso è la portata di aria aspirata e trattata, la cui misura in continuo può risultare difficile e costosa. Nel caso in cui il rapporto costo su beneficio risulti economicamente svantaggioso è possibile limitarsi al monitoraggio del solo consumo energetico. Se disponibili, è possibile usare i dati relativi alla portata misurata periodicamente per pratica ambientale relativa alle emissioni.
		Portata Aria x ore di funzionamento	$\frac{\text{Nm}^3}{\text{s}} \times h$	Misuratore di portata	
Impianto di raffreddamento	IPEs = kWh/ m <sup>3</sup>	Energia elettrica	kWh	Multimetro digitale	Misura Opzionale. La misura del consumo energetico può essere implementata installando un multimetro sul quadro elettrico di alimentazione di ogni impianto di raffreddamento. La destinazione d'uso è la portata di acqua trattata, la cui misura in continuo può risultare difficile e costosa. Andrebbero monitorate anche le temperature di mandata e ritorno. Nel caso in cui il rapporto costo - beneficio risulti economicamente svantaggioso è possibile limitarsi al monitoraggio del solo consumo energetico.
		Portata acqua	m <sup>3</sup> /s	Misuratore di portata	
Impianto di raffreddamento	IPEs = kWh/ m <sup>3</sup>	Energia elettrica	kWh	Multimetro digitale	Misura Opzionale. La misura del consumo energetico può essere implementata installando un multimetro sul quadro elettrico di alimentazione di ogni impianto di trattamento. La destinazione d'uso è la portata di acqua trattata, la cui misura in continuo può risultare difficile e costosa. Nel caso in cui il rapporto costo - beneficio risulti economicamente svantaggioso è possibile limitarsi al monitoraggio del solo consumo energetico.
		Portata acqua	m <sup>3</sup> /s	Misuratore di portata	

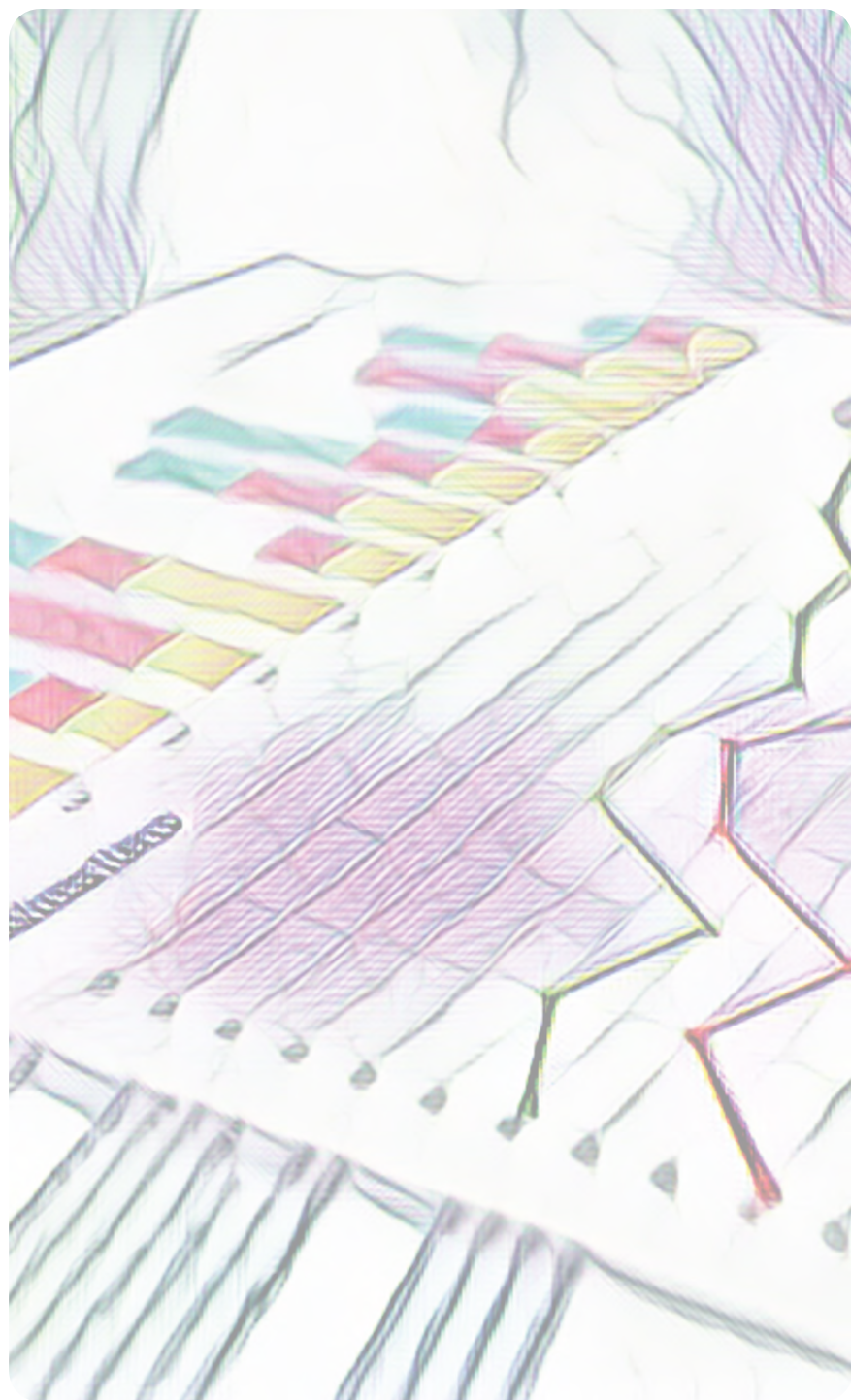
Tabella 8 - Esempio di sistema di monitoraggio dei consumi elettrici per i Servizi Ausiliari in una fonderia di metalli non ferrosi.

ATTIVITA' PRINCIPALI – GAS NATURALE					
Reparto	IPEs	Misura	Udm	Strumento	Note
Forno fusorio	IPEs = Sm <sup>3</sup> /t	Gas Naturale	m <sup>3</sup>	Quantometro	<p>Il consumo dei forni si misura tramite l'installazione di quantometri industriale che misurano i consumi di gas alle effettive condizioni di esercizio (Pressione e temperatura). Ad ogni quantometro deve essere applicato un convertitore del consumo di gas in condizioni standard. In caso di mancanza del convertitore è possibile applicare un fattore di conversione il cui valore che deve essere riportato nella diagnosi energetica.</p> <p>Per i forni di fusione la destinazione d'uso può essere la quantità di materia prima caricata o la quantità di materiale fuso spillato. La differenza tra le due quantità è legata alla perdita al fuoco. La scelta della destinazione d'uso è effettuata dall'azienda in funzione della disponibilità dei dati.</p> <p>In caso i dati di produzione non fossero disponibili può essere eseguita una misura indiretta, quale a titolo di esempio produzione = n. di siviere x peso netto del metallo per ciascuna siviera. In questo caso la diagnosi deve riportare chiaramente la soluzione e l'algoritmo adottati.</p> <p>Per i forni di mantenimento la destinazione d'uso è rappresentata dal tempo di funzionamento in attesa espresso in ore.</p> <p>Per ogni forno indicare marca e modello, capacità e anno di costruzione.</p> <p>Specificare tipo e capacità di pressa a cui è asservito il forno. Periodo minimo di monitoraggio suggerito: 6 mesi.</p> <p>Frequenza di acquisizione del dato almeno mensile.</p>
		Conversione in condizioni standard	Sm <sup>3</sup>	Convertitore	
		Produzione lorda	t	Tonnellate di lega spillata	
Forni di fusione e mantenimento a gas	IPEs = Sm <sup>3</sup> /h	Gas Naturale	m <sup>3</sup>	Quantometro	<p>Il consumo dei forni si misura tramite l'installazione di quantometri industriale che misurano i consumi di gas alle effettive condizioni di esercizio (Pressione e temperatura). Ad ogni quantometro deve essere applicato un convertitore del consumo di gas in condizioni standard. In caso di mancanza del convertitore è possibile applicare un fattore di conversione il cui valore che deve essere riportato nella diagnosi energetica.</p> <p>Per i forni di fusione la destinazione d'uso può essere la quantità di materia prima caricata o la quantità di materiale fuso spillato. La differenza tra le due quantità è legata alla perdita al fuoco. La scelta della destinazione d'uso è effettuata dall'azienda in funzione della disponibilità dei dati.</p> <p>In caso i dati di produzione non fossero disponibili può essere eseguita una misura indiretta, quale a titolo di esempio produzione = n. di siviere x peso netto del metallo per ciascuna siviera. In questo caso la diagnosi deve riportare chiaramente la soluzione e l'algoritmo adottati.</p> <p>Per i forni di mantenimento la destinazione d'uso è rappresentata dal tempo di funzionamento in attesa espresso in ore.</p> <p>Per ogni forno indicare marca e modello, capacità e anno di costruzione.</p> <p>Specificare tipo e capacità di pressa a cui è asservito il forno. Periodo minimo di monitoraggio suggerito: 6 mesi.</p> <p>Frequenza di acquisizione del dato almeno mensile.</p>
		Conversione in condizioni standard	Sm <sup>3</sup>	Convertitore	
		Tempo di funzionamento	h	Conta ore	
Forni di solo mantenimento a gas	IPEs = Sm <sup>3</sup> /h	Gas Naturale	m <sup>3</sup>	Quantometro	<p>Il consumo dei forni si misura tramite l'installazione di quantometri industriale che misurano i consumi di gas alle effettive condizioni di esercizio (Pressione e temperatura). Ad ogni quantometro deve essere applicato un convertitore del consumo di gas in condizioni standard. In caso di mancanza del convertitore è possibile applicare un fattore di conversione il cui valore che deve essere riportato nella diagnosi energetica.</p> <p>Per i forni di fusione la destinazione d'uso può essere la quantità di materia prima caricata o la quantità di materiale fuso spillato. La differenza tra le due quantità è legata alla perdita al fuoco. La scelta della destinazione d'uso è effettuata dall'azienda in funzione della disponibilità dei dati.</p> <p>In caso i dati di produzione non fossero disponibili può essere eseguita una misura indiretta, quale a titolo di esempio produzione = n. di siviere x peso netto del metallo per ciascuna siviera. In questo caso la diagnosi deve riportare chiaramente la soluzione e l'algoritmo adottati.</p> <p>Per i forni di mantenimento la destinazione d'uso è rappresentata dal tempo di funzionamento in attesa espresso in ore.</p> <p>Per ogni forno indicare marca e modello, capacità e anno di costruzione.</p> <p>Specificare tipo e capacità di pressa a cui è asservito il forno. Periodo minimo di monitoraggio suggerito: 6 mesi.</p> <p>Frequenza di acquisizione del dato almeno mensile.</p>
		Conversione in condizioni standard	Sm <sup>3</sup>	Convertitore	
		Tempo di funzionamento	h	Conta ore	



ATTIVITA' PRINCIPALI – GAS NATURALE					
Reparto	IPEs	Misura	Udm	Strumento	Note
Centraline termoregolazione	IPEs = Sm <sup>3</sup> /t	Gas Naturale	m <sup>3</sup>	Quantometro	Misura Opzionale. La misura del consumo energetico può essere implementata installando un quantometro industriale sull'adduzione del gas della singola centralina. Poiché le centraline sono numerose e la misura del consumo può essere economicamente non vantaggiosa, è possibile effettuare una campagna di misura su un campione di centraline al fine di acquisire dei dati utili alla definizione di stime. Essendo la centralina asservita alla pressa la destinazione d'uso è la produzione netta espressa in t.
		Conversione in condizioni standard	Sm <sup>3</sup>	Convertitore	
		Produzione lorda (getti buoni più scarti)	t	Gestionale di produzione	

Tabella 9 - Esempio di sistema di monitoraggio dei consumi di Gas Naturale per le Attività Principali in una fonderia di metalli non ferrosi.







# ANALISI DEI CONSUMI ENERGETICI DEL SETTORE

6

## 6. Analisi dei consumi energetici per le fonderie di metalli ferrosi

**N**el presente capitolo si riporta l'analisi e l'elaborazione dei dati contenuti nelle diagnosi relative alle fonderie di **metalli ferrosi**.

Le diagnosi energetiche pervenute ad ENEA alla scadenza del 5 dicembre 2019 sono state complessivamente 99. Di queste:

- ⇒ 79 diagnosi afferenti o riconducibili al codice ATECO 24.51.00 - Fusione di Ghisa e produzione di tubi e raccordi in Ghisa;
- ⇒ 20 diagnosi sono afferenti al codice ATECO 24.52.00 – Fusione di Acciaio.

### 6.1. Ripartizione dei consumi ed indici di prestazione energetica

Nei capitoli successivi relativi alle risultanze delle analisi svolte per i metalli ferrosi sono trattate separatamente le fonderie di Ghisa (capitolo 6.2) da quelle di Acciaio (capitolo 6.3). In particolare, per ciascun capitolo vengono forniti:

- la ripartizione media dei consumi energetici (totali e per tipologia di vettore energetico, ad es.: energia elettrica ed energia termica) tra le differenti aree funzionali e/o reparti;
- l'analisi degli Indici di Prestazione Energetica generale (IPEg) o di primo livello valutando prima la relazione tra il vettore energetico (Energia Totale, Elettrica e Termica) e la destinazione uso (tipicamente la produzione netta dello stabilimento) e successivamente i valori di IPE medio con i relativi: campo di esistenza, deviazione standard e livello di affidabilità;
- l'analisi degli Indici di Prestazione Energetica specifici (IPEs) o di secondo livello valutando per ciascun area funzionale/reparto il rapporto tra il vettore energetico ed il relativo driver di consumo. Viene presentata sia un'analisi di correlazione tra consumo e destinazione d'uso specifica per ciascun reparto che i valori di IPE medio con i relativi: campo di esistenza, deviazione standard e livello di affidabilità.

## 6.2. Fonderie di Ghisa

Le diagnosi relative alle fonderie di Ghisa sono state analizzate e suddivise in cluster omogenei sulla base della tipologia di forno utilizzato e del tipo di formatura.

Anche grazie al supporto dell'associazione di categoria e degli esperti del settore, si sono individuati 4 Cluster (Tabella 10).

Cluster	Tipologia di forno fusorio	Formatura
A	Elettrico	Sabbia/Resina
B	Elettrico	A verde
C	Cubilotto	A verde
D	Rotativo	A verde

Tabella 10 - Suddivisione delle diagnosi relative alla produzione di Ghisa in cluster omogenei.

### 6.2.1. Distribuzione dei consumi

La distribuzione percentuale dei consumi Elettrici e Termici per le fonderie di Ghisa è riportata in Figura 18. Come è evidente dalla figura per i Cluster A e B il consumo è prevalentemente elettrico, l'energia elettrica rappresenta infatti circa l'84% dei consumi finali totali per il cluster A e l'86% per il Cluster B. Per i Cluster C e D, invece, la presenza dei forni a combustibili fa sì che il consumo sia prevalentemente termico. La percentuale di consumo termico è pari al 78% per il Cluster C e al 63% per il Cluster D. Nei siti produttivi che utilizzano forni a combustibile è comunque necessario anche l'utilizzo di forni elettrici di mantenimento e/o per la fase di colata.

### Fonderie di ghisa - Intero impianto: Ripartizione dei consumi finali

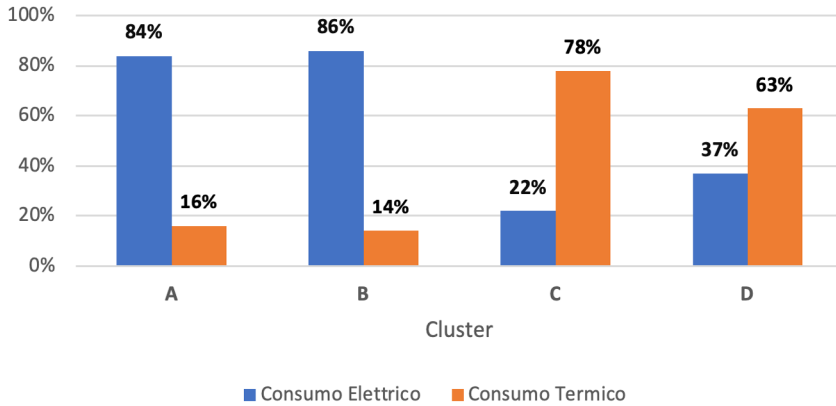


Figura 18 - Fonderie di Ghisa: ripartizione dei consumi finali intero ciclo produttivo.

### Fonderie di ghisa - Attività Principali: Ripartizione dei consumi finali

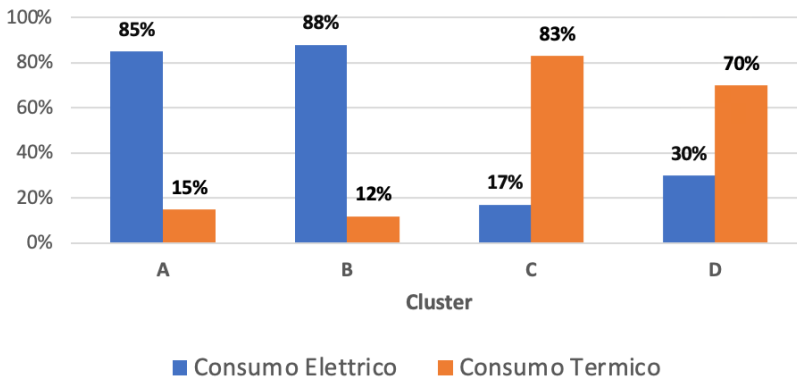


Figura 19 - Fonderie di Ghisa: ripartizione dei consumi finali Attività Principali.

La distribuzione percentuale dei consumi Elettrico e Termico per le Attività Principali è mostrata in *Figura 19* e segue gli andamenti già analizzati nella figura precedente.

In *Figura 20* è, invece, mostrata la distribuzione del consumo Elettrico nelle tre Aree funzionali, dalla quale si evince come per tutti i cluster il consumo

di energia elettrica è prevalentemente attribuibile alle Attività Principali con percentuali che variano dall'81% (Cluster A) al 66% (Cluster D) seguite dai Servizi Ausiliari (dal 28% al 13%).

La percentuale di consumo Elettrico dei Servizi Generali ricopre la percentuale più bassa (dal 13% al 3%).

### Fonderie di ghisa - Consumi Energia Elettrica: Ripartizione tra le aree funzionali

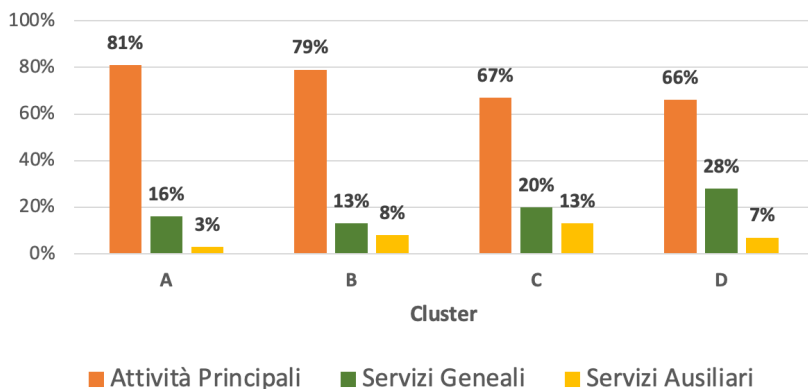


Figura 20 - Fonderie di Ghisa: ripartizione consumi di EE tra le aree funzionali.

### Fonderie di ghisa - Consumi Energia Termica: Ripartizione tra le aree funzionali

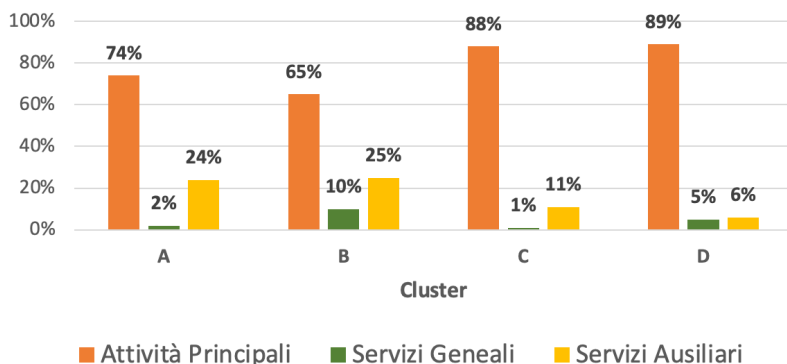


Figura 21 - Fonderie di Ghisa: ripartizione dei consumi termici tra le diverse aree funzionali.



La *Figura 21* mostra la ripartizione dei consumi finali di energia termica tra le diverse aree funzionali. Come avviene per l'energia elettrica anche l'energia termica è principalmente utilizzata per le Attività Principali con percentuali più alte nei *Cluster C* (88%) e *D* (89%) poiché si utilizzano forni a gas (rotativi) e/o coke di fonderia (cubilotto). L'energia termica è poi utilizzata per i Servizi Generali con percentuali variabili dal 25% al 6% e solo piccole percentuali di consumo termico sono attribuibili ai Servizi Ausiliari.

Il mix di combustibili utilizzati per produrre l'energia termica è diverso in funzione del cluster e quindi principalmente in funzione della tipologia di forni fusori utilizzati nel sito produttivo.

Come mostrato nella *Figura 22* per i *Cluster A, B e D* l'energia termica è ottenuta prevalentemente da gas naturale con piccole percentuali di gasolio, utilizzato prevalentemente per la movimentazione delle merci, e percentuali trascurabili di GPL. Per il *Cluster C* invece l'86% dell'energia termica utilizzata nel sito è ottenuta dalla combustione del Coke di Fonderia nei forni fusori a cubilotto. Il resto dell'energia termica, utilizzata prevalentemente per i Servizi Generali e Ausiliari è invece ottenuta da Gas Naturale (circa il 13%).

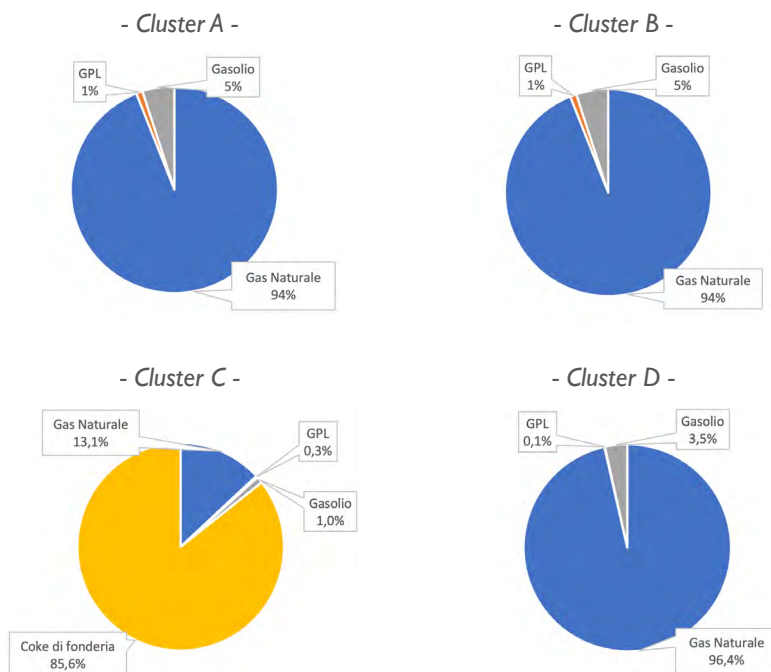


Figura 22 - Incidenza dei combustibili fossili sul consumo termico di stabilimento in fonderie di Ghisa in funzione del cluster di appartenenza.

Nella Tabella 11 si riporta, infine, la distribuzione percentuale dei consumi totali tra le diverse fasi del processo e i principali Servizi Ausiliari. L'analisi dei dati contenuti nelle diagnosi ha evidenziato come i consumi delle imprese del settore siano concentrati, relativamente alle Attività Principali, sulle fasi di fusione e formatura e, per quanto riguarda i Servizi Ausiliari, i consumi "rilevanti" si concentrino sulla produzione di aria compressa e sugli impianti di aspirazione. Ulteriori consumi sono attribuibili principalmente ad eventuali forni di attesa, trattamenti termici e di finitura ed ai Servizi Generali.

Cluster	Tipologia di forno fusorio	Tipologia Formatura	Centri di consumo prevalenti				
			Fusione	Formatura	Produzione Aria Compressa	Impianti Aspirazione	Altro
A	Elettrico	Sabbia/Resina	57%	5%	3%	7%	28%
B	Elettrico	A verde	61%	4%	3%	6%	26%
C	Cubilotto	A verde	66%	5%	5%	3%	21%
D	Rotativo	A verde	48%	4%	4%	5%	39%

Tabella 11 - Fonderie di Ghisa: distribuzione percentuale dei consumi totali tra i diversi centri di consumo.

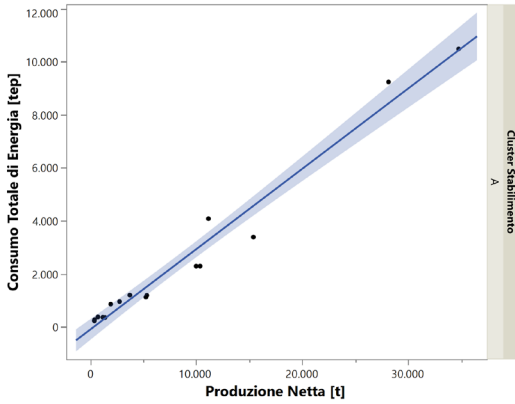
## 6.2.2. IPE di Primo Livello

Come definito del capitolo 4, per Indice di Prestazione Energetica (IPE) di primo livello si intende l'indice calcolato considerando o l'energia totale consumata riferita ai singoli vettori energetici rispetto ad un parametro caratteristico di produzione (es. tonnellate, metri quadri, etc.). Questo indice verrà pertanto calcolato considerando il consumo Totale, quello Elettrico e quello Termico. Gli IPE di primo livello, cioè individuati a livello di stabilimento, sono stati suddivisi nei quattro cluster riportati nella *Tabella 11*.

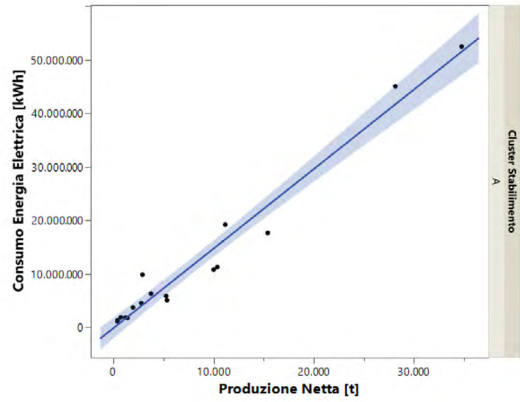
### 6.2.2.1. Cluster A: Siti produttivi con forni elettrici e formatura in sabbia-resina

In questo capitolo vengono riportati i risultati ottenuti per la determinazione degli IPE di stabilimento (Totale, Elettrico e Termico) considerando i siti in cui si effettua la fusione di Ghisa con forni elettrici e formatura in sabbia resina. Come destinazione d'uso è stata considerata la produzione annua netta espressa in tonnellate (getti buoni prodotti).

a - Consumo Totale



b - Consumo Elettrico



c - Consumo Termico

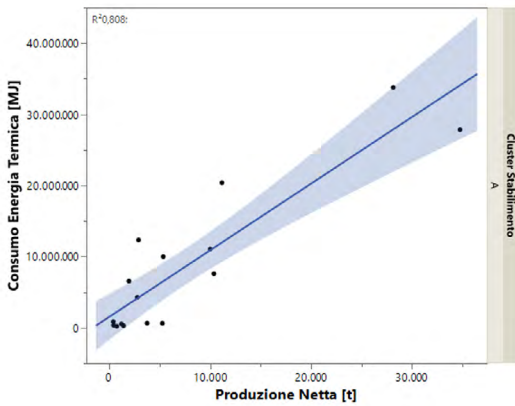


Figura 23 - Fonderie di Ghisa - Cluster A: analisi di regressione tra i consumi Totali, Elettrici e Termici di sito e la produzione netta.

Le rette di regressione ricavate dall'elaborazione dei dati di consumo elettrico, termico e totale in funzione della produzione sono mostrati in *Figura 23*.

I parametri statistici e le equazioni delle rette di regressione ottenute per i differenti vettori energetici (Consumo Totale, Elettrico e Termico) e illustrati nella *Figura 23* sono riportati sinteticamente nella *Tabella 12*.

Fonderie di Ghisa - Cluster A - Forni elettrici e formatura in sabbia-resina					
Rette di Regressione Consumo Totale [tep] vs Produzione netta [t]					
Consumo Etot [tep] = 18,12 + 0,2984 * Produzione netta [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Totale [tep]	0,95	0,974	<0,0001	0,5751	0,4869
Rette di Regressione Consumo Elettrico[kWh] vs Produzione netta[t]					
Consumo EE [kWh] = -81.156 + 1.484 * Produzione netta [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Elettrico [kWh]	0,965	0,982	<0,0001	0,455	0,5751
Rette di Regressione Consumo Termico[MJ] vs Produzione netta[t]					
Consumo Eth [MJ] = 1.535.756 + 9.363 * Produzione netta [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Termico [MJ]	0,808	0,898	<0,0001	0,468	0,589

Tabella 12 - Fonderie di Ghisa – Cluster A (forni elettrici e formatura in sabbia-resina): parametri analisi di regressione tra consumo Totale, Elettrico e Termico e Produzione netta.

Le rette di regressione presentano una buona correlazione, tuttavia, l'equazione della retta relativa al consumo elettrico di sito presenta intercetta negativa, ma con un'incidenza molto bassa nel campo di esistenza della produzione del campione dati. Il valore dell'intercetta presenta tuttavia un p-value piuttosto alto per cui sarebbero necessari ulteriori dati per rendere più significativo il valore. In *Tabella 13* si riportano inoltre gli IPE medi relativi al consumo Totale,

Elettrico e Termico con le relative deviazioni standard per specifici intervalli di produzione annua. Gli IPE medi calcolati presentano un livello di affidabilità medio tranne per l'IPE termico dove il livello di affidabilità risulta essere basso.

Fonderie di Ghisa - Cluster A - Forni elettrici e formatura in sabbia-resina				
IPE Totale				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	tep/t	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
400	3.700	0,484 ± 0,176	36%	<b>MEDIO</b>
3.701	35.000	0,269 ± 0,059	22%	<b>MEDIO</b>
IPE Elettrico				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	kWh/t	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
400	3.700	2.356 ± 847	36%	<b>MEDIO</b>
3.701	35.000	1.325 ± 301	23%	<b>MEDIO</b>
IPE Termico				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	MJ/t	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
400	35.000	1.085 ± 801	73%	<b>BASSO</b>

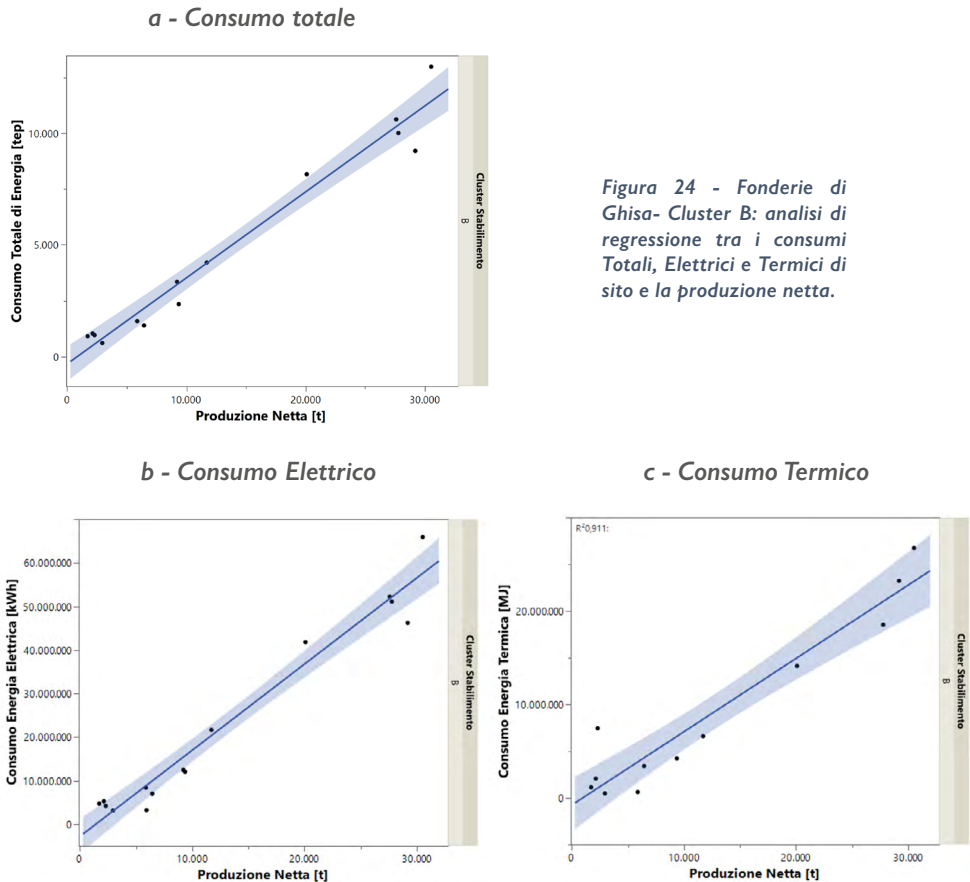
Tabella 13 - Fonderie di Ghisa – Cluster A (forni elettrici e formatura in sabbia-resina): IPE medi di stabilimento.

#### 6.2.2.2.Cluster B: Siti produttivi con forni elettrici e formatura a verde

In questo capitolo vengono riportati i risultati ottenuti per la determinazione degli IPE di stabilimento (Totale, Elettrico e Termico) considerando i siti in cui si effettua la fusione di Ghisa con forni elettrici e formatura a verde. Come

destinazione d'uso è stata considerata la produzione annua netta espressa in tonnellate.

Le rette di regressione ricavate dall'elaborazione dei dati di consumo Totale, Elettrico e Termico in funzione della produzione sono mostrate in *Figura 24*.



*Figura 24 - Fonderie di Ghisa- Cluster B: analisi di regressione tra i consumi Totali, Elettrici e Termici di sito e la produzione netta.*

In *Tabella 14* sono riportate le equazioni con i relativi parametri statistici delle rette di regressione. Malgrado tutte e tre le rette presentino un buon coefficiente di determinazione ( $R^2 > 0,9$ ), la loro intercetta risulta essere negativa. Questa situazione viene avvalorata da un p-value riferito all'intercetta, piuttosto alto (p-value\_intercetta = 0,449 per il consumo elettrico, 0,568 per il consumo termico, 0,431 per il consumo totale), il che ci porta a considerare che probabilmente il numero dei dati a disposizione non sia sufficiente a rendere significativo il valore.

Fonderie di Ghisa - Cluster B - Forni elettrici e formatura a verde					
Rette di Regressione Consumo Totale [tep] vs Produzione netta[t]					
Consumo Etot [tep] = -326 + 0,384 * Produzione netta [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Totale [tep]	0,962	0,98	<0,0001	0,4683	0,5987
Rette di Regressione Consumo Elettrico[kWh] vs Produzione netta[t]					
Consumo EE [kWh] = -2.810.602 + 1.979 * Produzione netta [t] Int Confidenza > 99					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Elettrico [kWh]	0,960	0,979	<0,0001	0,4683	0,5987
Rette di Regressione Consumo Termico[MJ] vs Produzione netta[t]					
Consumo Eth [MJ] = -755.904 + 784 * Produzione netta [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Termico [MJ]	0,911	0,954	<0,0001	0,5324	0,6614

Tabella 14 - Fonderie di Ghisa – Cluster B (forni elettrici e formatura a verde): parametri analisi di regressione tra consumo Totale, Elettrico e Termico e produzione netta.

In Tabella 15 vengono riportati i valori dei relativi IPE medi che presentano un livello di affidabilità medio-alto ad eccezione dell'IPE termico che per bassi volumi produttivi presenta un'affidabilità bassa.



Fonderie di Ghisa - Cluster B - Forni elettrici e formatura a verde				
IPE Totale				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	tep/t	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
1.700	6.400	0,38 ± 0,13	34%	<b>MEDIO</b>
6.401	31.000	0,33 ± 0,07	21%	<b>MEDIO</b>
IPE Elettrico				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	kWh/t	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
1.700	11.800	1.532 ± 700	45%	<b>MEDIO</b>
11.801	31.000	1.900 ± 203	11%	<b>ALTO</b>
IPE Termico				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	MJ/t	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
1.700	11.800	639 ± 590	92%	<b>BASSO</b>
11.801	31.000	721 ± 119	16%	<b>ALTO</b>

Tabella 15 - Fonderie di Ghisa – Cluster B (forni elettrici e formatura a verde): IPE medi di stabilimento.

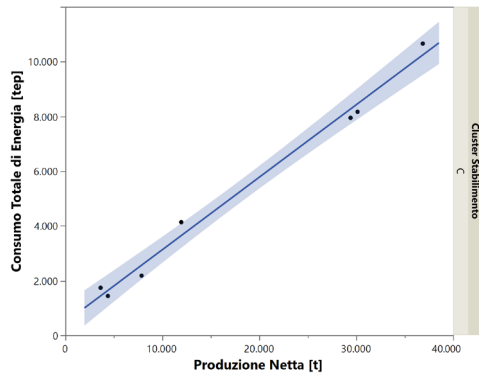
### 6.2.2.3. Cluster C: Siti produttivi con forno a cubilotto e formatura a verde

In questo capitolo vengono riportati i risultati ottenuti per la determinazione degli IPE di stabilimento (Totale, Elettrico e Termico) per i siti del Cluster C (Tabella 10), cioè, quelli in cui si effettua la fusione di Ghisa con forni a cubilotto e formatura a verde. Come destinazione d'uso è stata considerata la produzione annua netta espressa in tonnellate.

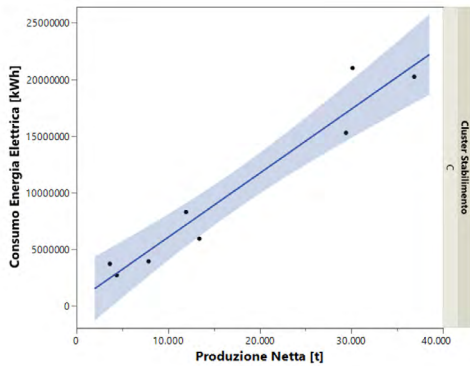
Le rette di regressione ricavate dall'elaborazione dei dati di consumo Totale, Elettrico e Termico in funzione della produzione netta sono mostrate in *Figura 25*, mentre nella *Tabella 16* sono riassunte le equazioni ed i parametri statistici delle analisi di regressione effettuate.

*Figura 25 - Fonderie di Ghisa - Cluster C: analisi di regressione tra i consumi Totali, Elettrici e Termici di sito e la produzione netta.*

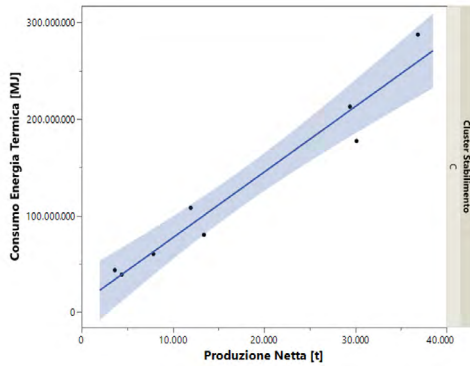
**a - Consumo Totale**



**b - Consumo Elettrico**



**c - Consumo Termico**



Fonderie di Ghisa - Cluster C - Forni a cubilotto e formatura a verde					
Rette di Regressione Consumo Totale [tep] vs Produzione netta[t]					
Consumo Etot [tep] = 474,4 + 0,265 * Produzione netta [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Totale [tep]	0,975	0,987	<0,0001	0,6319	0,7646
Rette di Regressione Consumo Elettrico[kWh] vs Produzione netta [t]					
Consumo EE [kWh] = 418.567 + 565 * Produzione netta [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Elettrico [kWh]	0,938	0,968	<0,0001	0,6319	0,7646
Rette di Regressione Consumo Termico [MJ] vs Produzione netta [t]					
Consumo Eth [MJ] = 8.990.599 + 6.800 * Produzione netta [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Termico [MJ]	0,949	0,974	<0,0001	0,6319	0,7646

Tabella 16 - Fonderie di Ghisa – Cluster C (forni a cubilotto e formatura a verde): parametri analisi di regressione tra consumo Totale, Elettrico e Termico e produzione netta.

Le rette di regressione ottenute presentano una buona correlazione ( $R^2 > 0,93$ ) e gli IPE medi hanno un livello di affidabilità medio-alto come mostrato in Tabella 17.

Fonderie di Ghisa - Cluster C - Forni a cubilotto e formatura a verde				
IPE Totale				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	tep/t	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
3.600	37.000	0,323 ± 0,07	22%	<b>MEDIO</b>
IPE Elettrico				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	kWh/t	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
3.600	37.000	631 ± 153	24%	<b>MEDIO</b>
IPE Termico				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	MJ/t	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
3.600	37.000	7.393 ± 856	11%	<b>ALTO</b>

Tabella 17 - Fonderie di Ghisa – Cluster C (forni a cubilotto e formatura a verde): IPE medi di stabilimento.

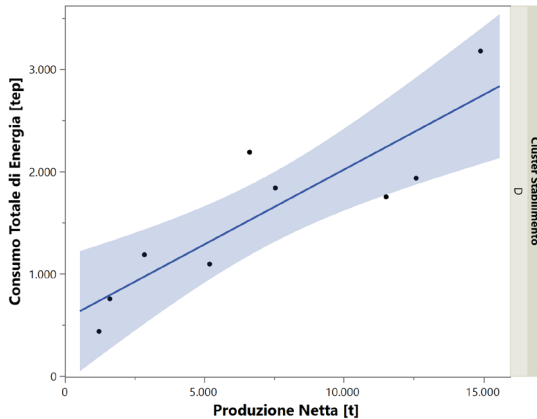
#### 6.2.2.4. Cluster D: Siti produttivi con forni rotativi e formatura a verde

In questo capitolo vengono riportati i risultati ottenuti per la determinazione degli IPE di stabilimento (Totale, Elettrico e Termico) considerando i siti in cui si effettua la fusione di Ghisa con forni rotativi e formatura a verde (Cluster D). Come destinazione d'uso è stata considerata la produzione annua netta espressa in tonnellate.

Rispetto ai tre Cluster analizzati in precedenza in questo, come mostrato in Figura 26, è stato possibile ricavare le rette di regressione solo per il consumo Totale e per quello Termico in funzione della produzione netta. Infatti, i dati relativi al

consumo elettrico presentano un'elevata eterogeneità non correlata con i livelli di produzione.

a - Consumo Totale



b - Consumo Termico

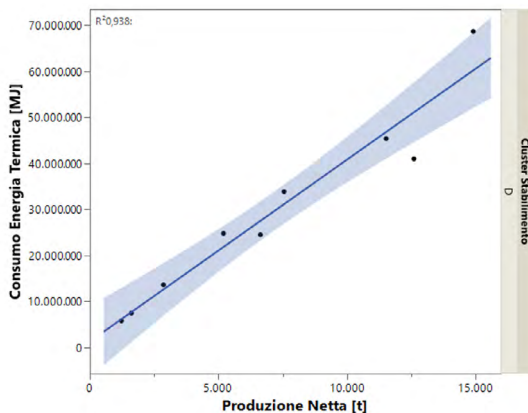


Figura 26 - Fonderie di Ghisa-Cluster D (forni rotativi e formatura a verde): analisi di regressione tra i consumi Totali e Termici di sito e la produzione netta.

Nella *Tabella 18*, sono riassunte le equazioni ed i parametri statistici ottenuti dall'analisi di regressione. Sia per il consumo Totale che per quello Termico in funzione della produzione netta.

Come si può osservare le equazioni ottenute presentano una buona correlazione ( $R^2 > 0,87$ ).

Fonderie di Ghisa - Cluster D - Forni rotativi e formatura a verde					
Rette di Regressione Consumo Totale [tep] vs Produzione netta [t]					
Consumo tot [tep] = 555 + 0,146 * Produzione netta [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Totale [tep]	0,874	0,934	<0,0001	0,6319	0,7646
Rette di Regressione Consumo Elettrico[MJ] vs Produzione netta [t]					
Consumo Eth [MJ] = 1.312.758 + 3.951*Produzione netta [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Termico [MJ]	0,938	0,968	<0,0001	0,6021	0,7348

Tabella 18 - Fonderie di Ghisa – Cluster D (forni rotativi e formatura a verde): parametri analisi di regressione tra consumo termico e totale e produzione.

Per quanto riguarda la determinazione degli IPE medi, è stato possibile individuarli oltre che per il consumo Totale e Termico anche per quello Elettrico, ma mentre per il consumo Totale e Termico il livello di affidabilità risulta essere medio alto, per quello elettrico il livello di affidabilità dell'IPE, come aspettato, risulta essere basso, in Tabella 19 sono riportati i risultati ottenuti.

Fonderie di Ghisa - Cluster D - Forni rotativi e formatura a verde				
IPE Totale				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	tep/t	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
1.200	15.000	0,283 ± 0,11	38%	<b>MEDIO</b>

Fonderie di Ghisa - Cluster D - Forni rotativi e formatura a verde				
IPE Elettrico				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	kWh/t	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
1.200	15.000	957 ± 579	60%	<b>BASSO</b>
IPE Termico				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	MJ/t	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
1.200	15.000	4.130 ± 692	16%	<b>ALTO</b>

Tabella 19 - Fonderie di Ghisa – Cluster D (forni rotativi e formatura a verde): IPE medi di stabilimento.

### 6.2.3. IPE di Secondo Livello per le Attività Principali

In questa sezione verranno illustrati gli **Indici di Prestazione Energetica specifici o di secondo livello (IPEs)** relativi alle Attività Principali, in particolare verranno analizzate le fasi di fusione e formatura nei siti relativi alle fonderie di Ghisa.

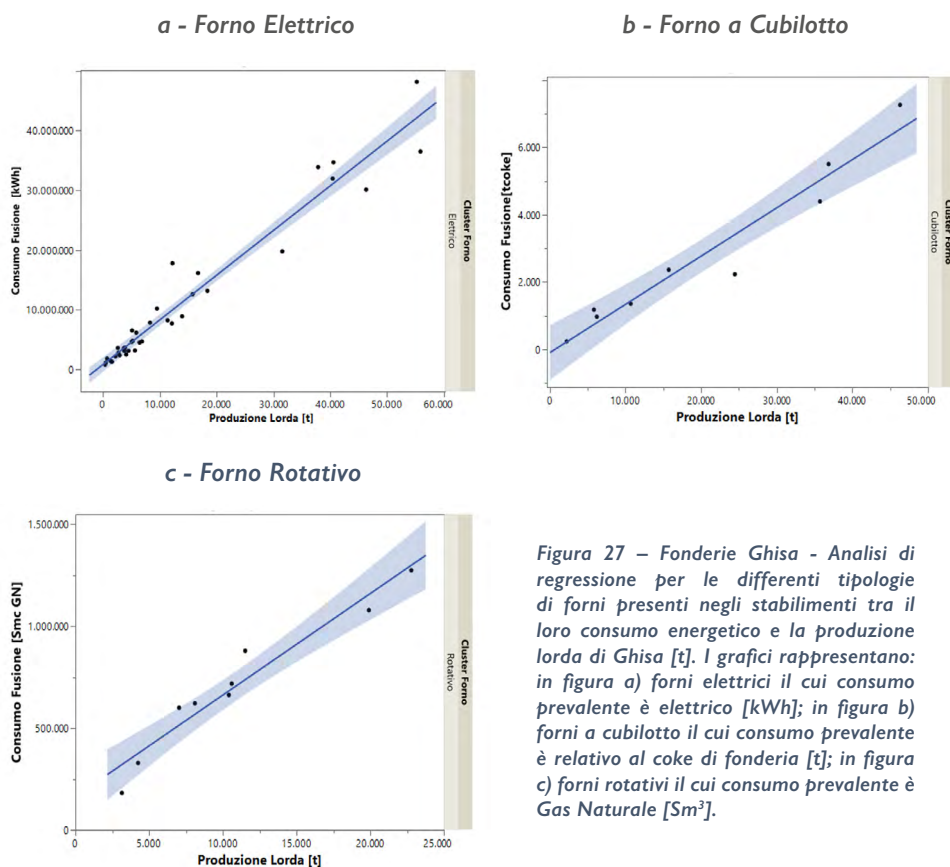
#### 6.2.3.1. Fase di Fusione

Per quanto riguarda gli IPE della fase di fusione essi sono stati suddivisi in 3 cluster sulla base della tipologia principale di forni utilizzata all'interno dello stabilimento:

- i. Forno Elettrico;
- ii. Forno a Cubilotto;
- iii. Forno Rotativo.

Come destinazione d'uso è stata considerata la produzione annua lorda espressa in tonnellate, mentre il consumo è stato espresso in kilowattora, tonnellate di coke di fonderia o standard metri cubi di gas naturale a seconda che si tratti rispettivamente di forni elettrici, a cubilotto o rotativi.

Per tutte le tipologie di forni viene presentata un'analisi di regressione tra consumo e produzione lorda. In *Figura 27*, sono rappresentati i grafici relativi all'analisi di regressione svolta, ed in *Tabella 20* sono riassunti i parametri statistici e le equazioni delle rette di regressione ottenute.



*Figura 27 – Fonderie Ghisa - Analisi di regressione per le differenti tipologie di forni presenti negli stabilimenti tra il loro consumo energetico e la produzione lorda di Ghisa [t]. I grafici rappresentano: in figura a) forni elettrici il cui consumo prevalente è elettrico [kWh]; in figura b) forni a cubilotto il cui consumo prevalente è relativo al coke di fonderia [t]; in figura c) forni rotativi il cui consumo prevalente è Gas Naturale [Sm<sup>3</sup>].*

Le rette di regressione riportate in *Tabella 20* presentano una buona correlazione ( $R^2 > 0,93$ ), tuttavia l'equazione della retta relativa al consumo di coke di fonderia per i forni a cubilotto presenta intercetta negativa. Il valore dell'intercetta presenta infatti un p-value piuttosto alto ( $p\text{-value}_{intercetta} = 0,787$ ) il che ci porta a considerare che probabilmente il numero dei dati a disposizione non è sufficiente a rendere sufficientemente significativo il valore.



Fonderie di Ghisa - FASE DI FUSIONE -					
Forni ELETTRICI: Rette di Regressione Consumo Elettrico[kWh] vs vs Produzione lorda[t]					
Consumo EE [kWh] = 763.357 + 750 * Produzione lorda [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Elettrico [kWh]	0,951	0,975	<0,0001	0,3044	0,3932
Forni CUBILOTTI: Rette di Regressione Consumo Coke Fonderia[t] vs vs Produzione lorda[t]					
Consumo Coke Fonderia [t] = -97 + 0,1435 * Produzione lorda [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Coke Fonderia [t]	0,940	0,969	<0,0001	0,6319	0,7646
Forni ROTATIVI: Rette di Regressione Consumo GN[Sm <sup>3</sup> ] vs vs Produzione lorda[t]					
Consumo Gas Naturale [Sm <sup>3</sup> ] = 163.495 + 50 * Produzione lorda [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Gas Naturale [Sm <sup>3</sup> ]	0,936	0,967	<0,0001	0,6319	0,7646

Tabella 20 - Fonderie di Ghisa - Fase fusione: equazione e parametri statistici analisi di regressione tra consumo energetico e produzione lorda.

Per quanto riguarda gli IPE medi, come è possibile riscontrare in Tabella 21, presentano un livello di affidabilità medio-alto all'interno del campo di esistenza della produzione lorda analizzato.

Fonderie di Ghisa – FASE DI FUSIONE –				
IPE Forni ELETTRICI: Consumo elettrico [kWh]/Produzione lorda [t]				
Campo variazione Produzione lorda		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	kWh/t <sub>lorde</sub>	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
390	2.200	1.639 ± 732	44%	MEDIO
2.201	55.000	857 ± 217	25%	MEDIO
IPE Forni a CUBILOTTO: Consumo coke fonderia [t]/ /Produzione lorda [t]				
Campo variazione Produzione lorda		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	t <sub>coke</sub> /t <sub>lorde</sub>	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
2.200	46.000	0,145 ± 0,033	22%	MEDIO
IPE Forni ROTATIVI: Consumo gas naturale [Sm <sup>3</sup> ]/Produzione lorda [t]				
Campo variazione Produzione lorda		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	Sm <sup>3</sup> /t <sub>lorde</sub>	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
3.100	23.000	67,3 ± 11,5	17%	ALTO

Tabella 21 - Fonderie di Ghisa - Fase fusione: IPE medi di secondo livello per le tre tipologie di forni: Elettrici, Cubilotto e Rotativi.

### 6.2.3.2. Fase di Formatura

Come per l'analisi degli IPE di secondo livello relativi alla fase di fusione anche per la formatura sono stati individuati 3 cluster specifici per la tecnologia di formatura principale utilizzata all'interno dello stabilimento:

- ⇒ formatura in Sabbia resina;
- ⇒ formatura a verde;
- ⇒ formatura mista.

A differenza della fase di fusione in questo caso come destinazione d'uso viene considerata la **produzione annua netta espressa in tonnellate**, mentre come vettore energetico il consumo di questa fase è principalmente legato al consumo di energia elettrica [kWh].

L'analisi dei dati ha mostrato una scarsa correlazione tra consumo elettrico e produzione netta, pertanto, non sono riportate le analisi di correlazione, in quanto poco significative. Tuttavia, sono riportati i valori di IPE medio per le fasi di formatura a verde e in sabbia resina (Tabella 22). Per la formatura mista, avendo intrinsecamente un forte aleatorietà dovuta alle differenti incidenze del mix utilizzato non è possibile elaborare un IPE medio affidabile.

Fonderie di Ghisa – FASE DI FORMATURA –				
IPE Formatura in SABBIA RESINA: Consumo elettrico [kWh]/ / Produzione netta [t]				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	kWh/t <sub>nette</sub>	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
400	12.000	78 ± 65	83%	<b>BASSO</b>
IIPE Formatura in TERRA VERDE: Consumo elettrico [kWh]/ / Produzione netta [t]				
Campo variazione Produzione lorda		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	kWh/t <sub>nette</sub>	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
1.200	3.000	195 ± 33	16%	<b>ALTO</b>
3.001	50.000	85 ± 34	40%	<b>MEDIO</b>

Tabella 22 - Fonderie di Ghisa: IPE medi fase di formatura.

#### 6.2.4. IPE di Secondo Livello per i Servizi Ausiliari

Gli IPE di II livello sono stati calcolati anche per i principali Servizi Ausiliari di cui sono disponibili sufficienti dati dalle diagnosi energetiche. In particolare, sono stati analizzati i consumi di energia elettrica relativi alla produzione di aria compressa e all'impianto di aspirazione.

### 6.2.4.1. Produzione di Aria Compressa

Per quanto riguarda l'analisi dei consumi relativi alla produzione di aria compressa va preliminarmente detto che i dati forniti attraverso le diagnosi energetiche non hanno permesso un'analisi dei consumi energetici correlati alla produzione di aria prodotta [Sm<sup>3</sup>], pertanto in questo capitolo viene presentata un'analisi dei consumi correlata al valore della produzione netta di Ghisa. Per determinare degli Indici di prestazione energetica caratteristici si è deciso di valutarli sulla base dei 4 Cluster precedentemente definiti (Tabella 10).

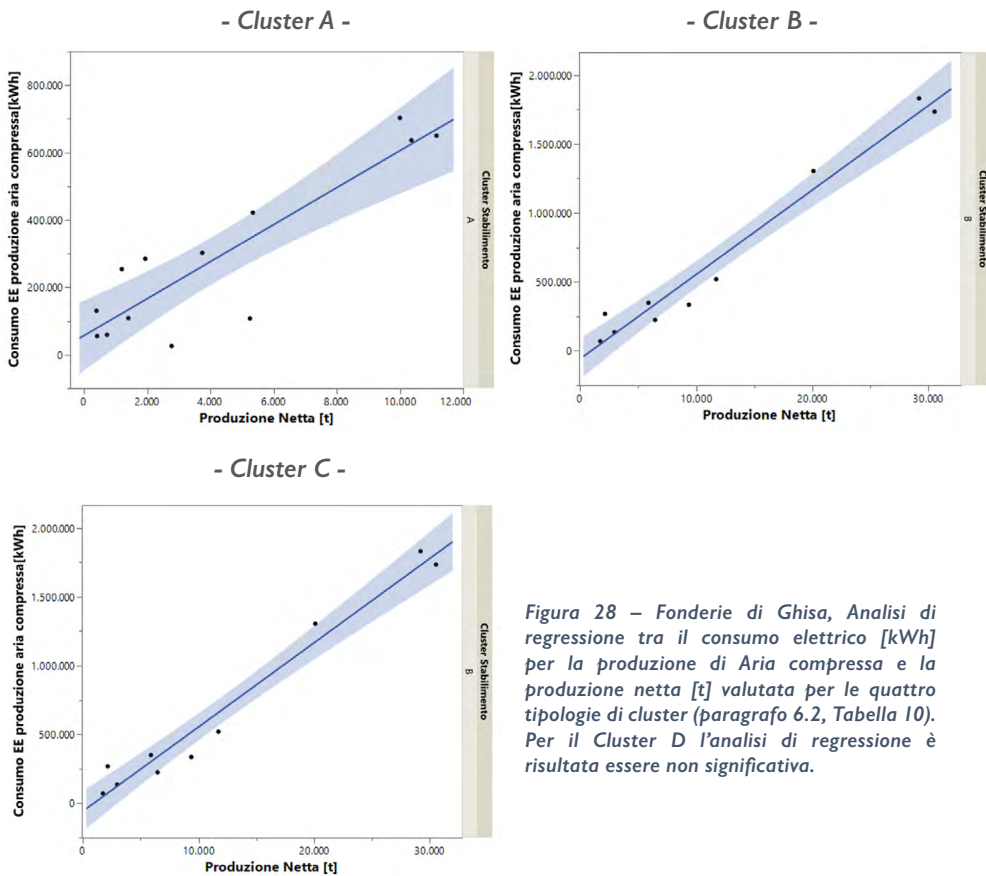


Figura 28 – Fonderie di Ghisa, Analisi di regressione tra il consumo elettrico [kWh] per la produzione di Aria compressa e la produzione netta [t] valutata per le quattro tipologie di cluster (paragrafo 6.2, Tabella 10). Per il Cluster D l'analisi di regressione è risultata essere non significativa.

Nella Figura 28 sono riportate le rette di regressione relative alla produzione di aria compressa per i siti appartenenti ai 4 cluster definiti nel paragrafo 6.2. Tuttavia, per quanto riguarda il Cluster D (forno rotativo con formatura a verde) non è possibile determinare una correlazione lineare tra il consumo elettrico e

la produzione netta di Ghisa. In *Tabella 23* vengono riportate, quindi, le equazioni delle rette di regressione con i relativi parametri statistici per i soli *Cluster A, B e C*. Le rette di regressione ottenute presentano una buona correlazione ( $R^2 > 0,79$ ) ad eccezione del *Cluster C*, mentre, l'equazione della retta di regressione relativa alla produzione di aria compressa per il *Cluster B* presenta intercetta negativa. Il valore dell'intercetta presenta infatti un p-value piuttosto alto (p-value intercetta = 0,4020) il che ci porta a considerare che probabilmente il numero dei dati a disposizione non è sufficiente a rendere sufficientemente significativo il valore.

<b>Fonderie di Ghisa – Produzione Aria Compressa –</b>					
<b>Cluster A: Rette di Regressione Consumo Elettrico [kWh] vs vs Produzione netta [t]</b>					
Consumo EE [kWh]= 56.966 + 55 * Produzione netta [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Elettrico [kWh]	0,797	0,892	<0,0001	0,5140	0,6411
<b>Cluster B: Rette di Regressione Consumo Elettrico [kWh] vs vs Produzione netta [t]</b>					
Consumo EE [kWh] = -56.669 + 61 * Produzione netta [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Elettrico [kWh]	0,966	0,982	<0,0001	0,5760	0,7079
<b>Cluster C: Rette di Regressione Consumo GN [Sm<sup>3</sup>] vs vs Produzione lorda [t]</b>					
Consumo EE [kWh] = 199.310 + 65,7 * Produzione netta [t] 95% < Int Confidenza < 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Elettrico [kWh]	0,55	0,741	0,0002	0,6664	0,7977

*Tabella 23 - Fonderie di Ghisa - Produzione aria compressa: parametri analisi di regressione tra consumo e produzione netta.*

Anche i valori degli IPE medi determinati presentano un livello di affidabilità medio-basso come mostrato in *Tabella 24*, possono tuttavia fornire un primo riferimento per valutare il consumo medio del settore/*cluster*.

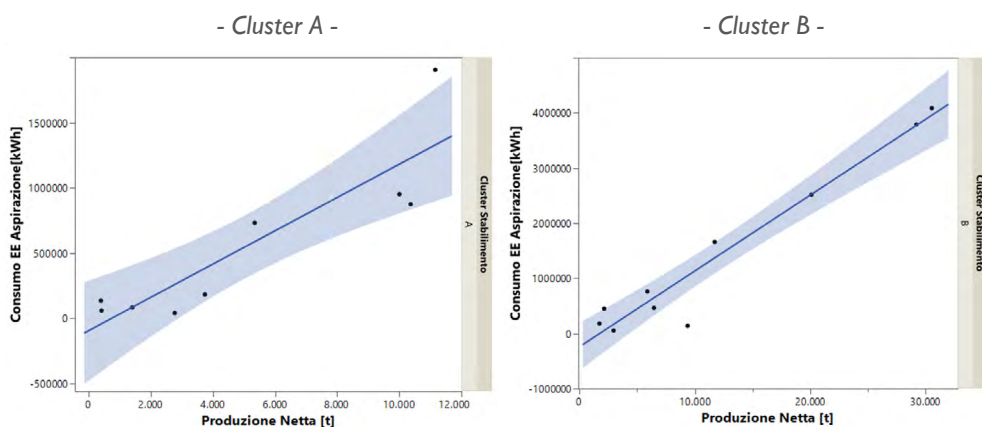
<b>Fonderie di Ghisa – Produzione Aria Compressa –</b>				
IPE produzione aria compressa <i>Cluster A</i> : Consumo elettrico [kWh]/ / Produzione netta [t]				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	kWh/t <sub>nette</sub>	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
400	11.000	86 ± 56	65%	<b>BASSO</b>
IPE produzione aria compressa <i>Cluster B</i> : Consumo elettrico [kWh]/ / Produzione netta [t]				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	kWh/t <sub>nette</sub>	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
1.700	31.000	49 ± 12	24%	<b>MEDIO</b>
IPE produzione aria compressa <i>Cluster C</i> : Consumo elettrico [kWh]/ / Produzione netta [t]				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	kWh/t <sub>nette</sub>	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
3.600	30.000	90 ± 45	50%	<b>MEDIO</b>
IPE produzione aria compressa <i>Cluster D</i> : Consumo elettrico [kWh]/ Produzione netta [t]				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	kWh/t <sub>nette</sub>	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
1.200	13.000	72 ± 51	70%	<b>BASSO</b>

Tabella 24 - Fonderie di Ghisa - IPE produzione aria compressa in funzione della produzione netta di Ghisa.

### 6.2.4.2. Consumo impianti di Aspirazione

Come per l'analisi dei consumi energetici relativi alla produzione di aria compressa, anche per quelli relativi agli impianti di aspirazione viene presentata un'analisi dove i consumi vengono analizzati rispetto alla produzione netta di Ghisa. Pertanto, come nel caso precedente per determinare degli Indici di Prestazione Energetica caratteristici si è deciso di valutarli sulla base dei quattro *Cluster* già definiti nel paragrafo 6.2, *Tabella 10*.

Nella *Figura 29* sono riportate le rette di regressione relative ai consumi energetici negli impianti di aspirazione per i siti appartenenti ai quattro *Cluster* definiti nel paragrafo 6.2. Tuttavia, per quanto riguarda sia il *Cluster C* (forno cubilotto con formatura a verde) che quello *D* (forno rotativo con formatura a verde) non è stato possibile determinare una correlazione lineare tra il consumo elettrico e la produzione netta di Ghisa. I risultati ed i parametri statistici dell'analisi sono riportati nella *Tabella 25*.



*Figura 29 - Fonderie di Ghisa, analisi di regressione tra il consumo elettrico [kWh] relativo all'impianti di aspirazione e la produzione netta [t] valutata per le quattro tipologie di cluster (paragrafo 6.2, Tabella 10). L'analisi di correlazione per i Cluster C e D non è risultata essere significativa.*

Come è possibile notare in *Tabella 25* le equazioni delle rette di regressione relative all'impianto di aspirazione per i *Cluster A* (forno elettrico con formatura in Sabbia/Resina) e *B* (forno elettrico con formatura a verde) pur presentando una buona correlazione ( $R^2 > 0,79$ ) hanno entrambe intercetta negativa.

Il valore dell'intercetta presenta, infatti, un p-value piuttosto alto (p-value\_intercetta = 0,5715 per il Cluster A e p-value\_intercetta = 0,2383 per il Cluster B) per cui sarebbero necessari ulteriori dati per rendere più significativo il valore.

Per i Cluster C e D non è possibile correlare i consumi elettrici per l'impianto di aspirazione alla produzione per cui viene riportato solo il valore dell'IPE medio.

<b>Fonderie di Ghisa – Impianto Aspirazione –</b>					
<b>Cluster A: Rette di Regressione Consumo Elettrico[kWh] vs vs Produzione netta [t]</b>					
Consumo EE [kWh]= -96.273 + 128 * Produzione netta [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
<b>Consumo Elettrico [kWh]</b>	0,791	0,889	0,0013	0,6021	0,7348
<b>Cluster B: Rette di Regressione Consumo Elettrico [kWh] vs vs Produzione netta [t]</b>					
Consumo EE [kWh] = -239.406 + 137,5 * Produzione netta [t] Int Confidenza >99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
<b>Consumo Elettrico [kWh]</b>	0,944	0,971	<0,0001	0,5760	0,7079

Tabella 25 - Fonderie di Ghisa - Impianto di aspirazione: parametri analisi di regressione tra consumo e produzione netta.

L'analisi degli IPE medi, come mostrato in Tabella 26, presenta in tre cluster su quattro un livello di affidabilità medio e solo per il Cluster D il livello di affidabilità è basso.



Fonderie di Ghisa – Impianto Aspirazione –				
IPE Impianto Aspirazione Cluster A: Consumo elettrico [kWh] / / Produzione netta [t]				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	kWh/t <sub>nette</sub>	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
400	11.000	93 ± 53	56%	<b>MEDIO</b>
IPE Impianto Aspirazione Cluster B: Consumo elettrico [kWh]/ / Produzione netta [t]				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	kWh/t <sub>nette</sub>	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
1.700	31.000	108 ± 59	55%	<b>MEDIO</b>
IPE produzione aria compressa Cluster C: Consumo elettrico [kWh]/ / Produzione netta [t]				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	kWh/t <sub>nette</sub>	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
3.600	30.000	92 ± 28	30%	<b>MEDIO</b>
IPE produzione aria compressa Cluster D: Consumo elettrico [kWh]/ / Produzione netta [t]				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	kWh/t <sub>nette</sub>	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
1.200	13.000	149 ± 116	77%	<b>BASSO</b>

Tabella 26 - Fonderie di Ghisa - IPE Consumo impianto di Aspirazione in funzione della produzione netta di Ghisa.

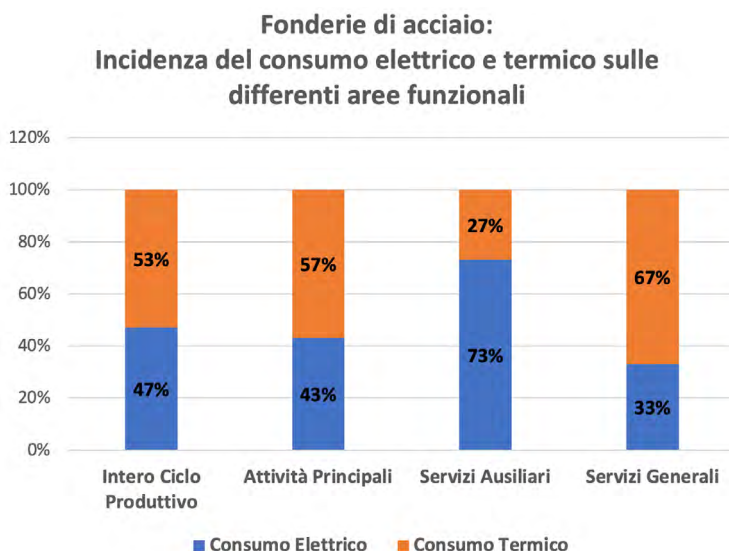
## 6.3. Fonderie di Acciaio

In questo capitolo si riporta l'analisi effettuata sulle fonderie di Acciaio.

A differenza delle fonderie di Ghisa nel caso dell'Acciaio, data l'elevata omogeneità dei forni e della tipologia di formatura, si è considerato un unico *Cluster* (forni elettrici con formatura in sabbia resina) nell'elaborazione sia degli IPE di stabilimento (primo livello) che per quelli di secondo livello.

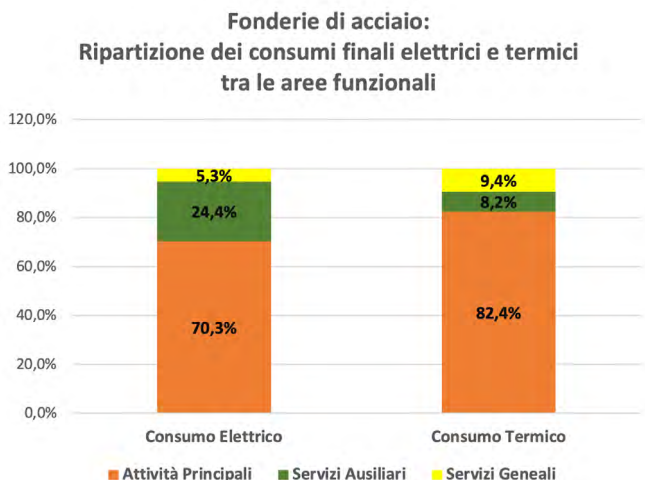
### 6.3.1. Distribuzione dei consumi

La distribuzione percentuale dei consumi finali Elettrici e Termici per le fonderie di Acciaio è riportata in *Figura 30*. Come risulta evidente dalla figura, sebbene i processi utilizzino forni elettrici, c'è una prevalenza di consumo Termico considerando prima l'intero ciclo produttivo (53%) e successivamente le sole Attività Principali (57%). Questa è dovuto all'elevato peso dei trattamenti termici che vengono effettuati sui siti produttivi. Per quanto riguarda, invece, i consumi dei Servizi Ausiliari (legati principalmente alla produzione di aria compressa e servizi di aspirazione) prevale nettamente il consumo elettrico (73%).



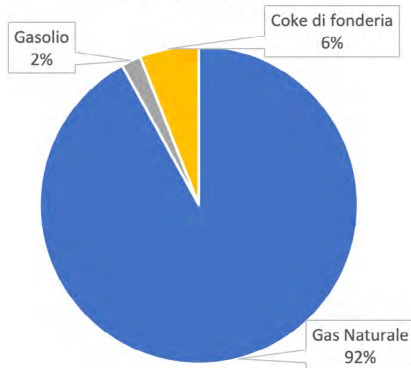
*Figura 30 - Fonderie di Acciaio: ripartizione dei consumi finali Elettrici e Termici relativi sia all'intero dell'intero impianto che alle differenti aree funzionali.*

In *Figura 31*, si riporta la ripartizione dei consumi Elettrici e Termici tra le diverse aree funzionali. Il 70% dei consumi elettrici è attribuibile alle Attività Principali, mentre il 24% ai Servizi Ausiliari e il 5% ai Servizi Generali. Il consumo termico delle Attività Principali è pari, invece, all'82% con i Servizi Ausiliari e i Servizi Generali rispettivamente all'8% e il 9% di utilizzo.



*Figura 31 - Fonderie di Acciaio: ripartizione dei consumi elettrici e termici finali tra le aree funzionali.*

**Fonderie acciaio:  
Incidenza dei combustibili fossili sul consumo  
termico di stabilimento**



*Figura 32 - Fonderie di Acciaio: incidenza dei combustibili sul consumo termico di stabilimento.*

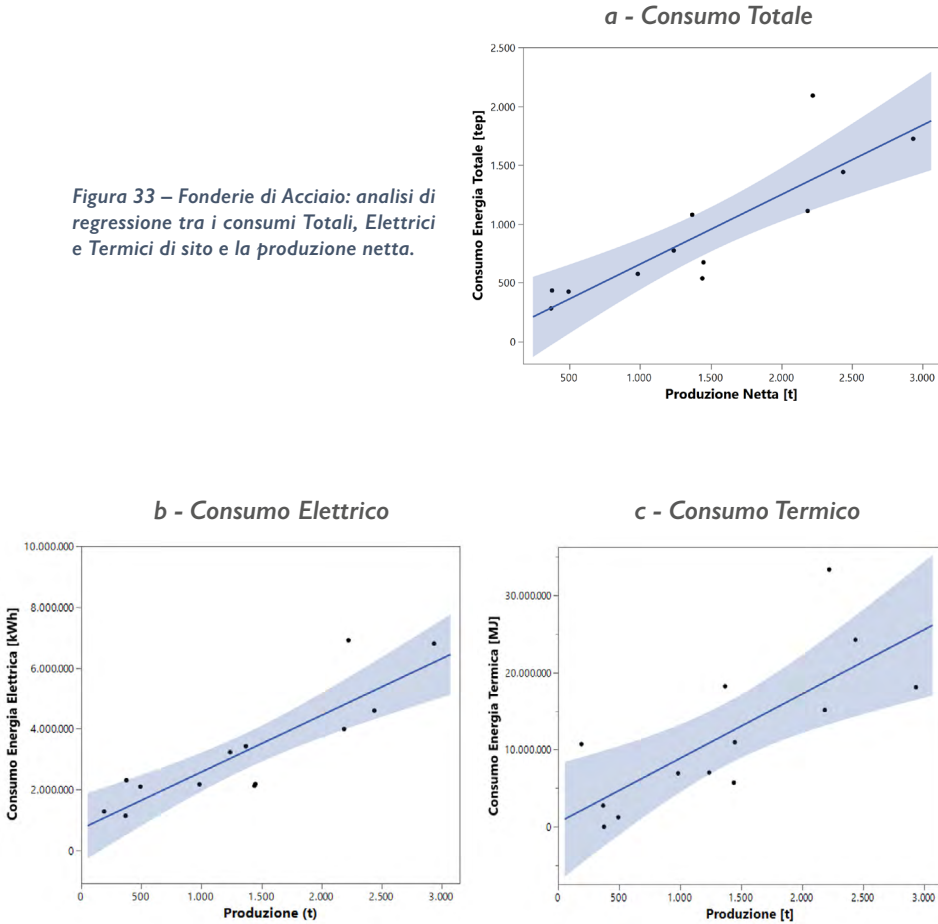
Il mix di combustibili utilizzati per produrre l'energia termica riportato in *Figura 32* mostra come il 92% dell'energia termica utilizzata sui siti è ottenuta dalla combustione del Gas Naturale.

### 6.3.2. IPE di Primo Livello

In questo capitolo sono illustrati gli Indici di Prestazione Energetica di primo livello (IPE) relativi al consumo Elettrico, Termico e Totale e come destinazione d'uso la produzione annua netta espressa in tonnellate.

In Figura 33 sono riportate le rette di regressione del consumo Totale, Elettrico e Termico in funzione della produzione netta.

Figura 33 – Fonderie di Acciaio: analisi di regressione tra i consumi Totali, Elettrici e Termici di sito e la produzione netta.



I parametri statistici e le equazioni delle rette di regressione ottenute e mostrate in Figura 33 sono riportati in Tabella 27. I risultati mostrano una buona correlazione ( $R^2 > 0,75$ ) ad eccezione di quella relativa al consumo termico ( $R^2 = 0,57$  e  $p\_value = 0,0027$ ).

Fonderie di Acciaio					
Rette di Regressione Consumo Totale [tep] vs Produzione netta[t]					
Consumo Etot [tep] = 141,4 + 0,542 * Produzione netta [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Totale [tep]	0,762	0,872	<0,0001	0,5140	0,6411
Rette di Regressione Consumo Elettrico[kWh] vs Produzione netta[t]					
Consumo EE [kWh] = 710.711 + 1.865 * Produzione netta [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Elettrico [kWh]	0,965	0,982	<0,0001	0,455	0,5751
Rette di Regressione Consumo Termico [MJ] vs Produzione netta[t]					
Consumo Eth [MJ] = 527.068 + 8.336 * Produzione netta [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Termico [MJ]	0,752	0,845	0,0003	0,5140	0,6411

Tabella 27 - Fonderie di Acciaio: parametri analisi di regressione tra consumo Elettrico, Termico e Totale e produzione.

Come mostrato in Tabella 28 i valori dell'IPE medio, relativo al consumo totale, Elettrico e Termico, presentano un livello di affidabilità medio con la sola eccezione dell'IPE relativo ai consumi termici, il quale presenta un livello di affidabilità basso.

Fonderie di Acciaio				
IPE Totale				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	tep/t	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
360	3.000	0,36 ± 0,15	42%	<b>MEDIO</b>
IPE Elettrico				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	kWh/t	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
360	1.200	4.472 ± 1.923	43%	<b>MEDIO</b>
1.201	3.000	2.152 ± 576	26%	<b>MEDIO</b>
IPE Termico				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	MJ/t	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
360	3.000	6.744 ± 4.015	60%	<b>BASSO</b>

Tabella 28 - Fonderie di Acciaio: IPE medi di stabilimento.

### 6.3.3. IPE di Secondo Livello per le Attività Principali

In questo capitolo sono illustrati gli indici di prestazione energetica specifici o di secondo livello (IPEs) delle fasi di fusione e formatura, sempre relativamente ai siti delle fonderie di Acciaio.

#### 6.3.3.1. Fase di Fusione

Per la fase di fusione la retta di regressione relativa ai dati di consumo elettrico in funzione della produzione lorda è mostrata in *Figura 34*.

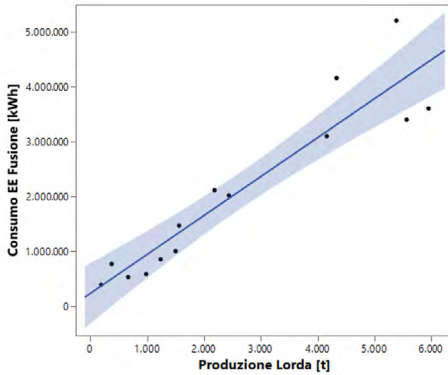


Figura 34 - Fonderie di Acciaio: analisi di regressione tra consumo elettrico fusione e produzione lorda.

Come mostrato nella *Tabella 29*, la retta di regressione ottenuta è statisticamente valida con un buon coefficiente di determinazione ( $R^2 > 0,87$ ).

Fonderie di Acciaio - FASE DI FUSIONE -					
Rette di Regressione Consumo Elettrico[kWh] vs Produzione lorda [t]					
Consumo EE [kWh] = 231.518 + 709 * Produzione lorda [t]					
Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Elettrico [kWh]	0,876	9,935	<0,0001	0,5140	0,6411

Tabella 29 - Fonderie di Acciaio: IPE fusione: parametri analisi di regressione tra consumo e produzione lorda.

Nella *Tabella 30*, è riportato l'IPE medio elettrico riferito alla produzione lorda dell'impianto, che, come si può osservare, presenta un livello di affidabilità medio-alto.

Fonderie di Acciaio - FASE DI FUSIONE -				
IPE Elettrico				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t <sub>lorde</sub>	t <sub>lorde</sub>	kWh/t <sub>lorde</sub>	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
190	1.400	1.229 ± 740	60%	MEDIO
1.401	6.000	809 ± 155	19%	ALTO

Tabella 30 - Fonderie di Acciaio: IPE medio fase di fusione.

### 6.3.3.2. Fase di Formatura

Per quanto riguarda la fase di formatura data l'eterogeneità dei dati contenuti nel campione a disposizione non è stato possibile individuare una correlazione lineare tra consumi e produzione netta e pertanto, in *Tabella 31*, viene riportato solo il valore dell'IPE medio che presenta comunque un livello di affidabilità basso.

Fonderie di Acciaio – FASE DI FORMATURA -				
IPE Elettrico				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
$t_{lorde}$	$t_{lorde}$	kWh/ $t_{nette}$	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
370	2.400	152 ± 112	73%	<b>BASSO</b>

Tabella 31 - Fonderie di Acciaio: IPE medi fase di formatura.

### 6.3.4. IPE di Secondo Livello per i Servizi Ausiliari

Per quanto riguarda l'individuazione di Indici di Prestazione Energetica specifici per i Servizi Ausiliari è possibile riportare solo quelli relativi alla produzione di aria compressa (Tabella 32) e all'aspirazione dei fumi (Tabella 33), valutati rispetto alla produzione lorda. Tuttavia, il livello di affidabilità, in entrambi i casi, risulta essere basso.

Fonderie di Acciaio – ARIA COMPRESSA -				
IPE Elettrico				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
$t_{nette}$	$t_{nette}$	kWh/ $t_{nette}$	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
370	5.400	210 ± 171	81%	<b>BASSO</b>

Tabella 32 - Fonderie di Acciaio: IPE medi produzione di aria compressa.



Fonderie di Acciaio - ASPIRAZIONE -				
IPE Elettrico				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
$t_{\text{nette}}$	$t_{\text{nette}}$	kWh/ $t_{\text{nette}}$	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
370	5.400	167 ± 107	64%	<b>BASSO</b>

Tabella 33 - Fonderie di Acciaio: IPE medi aspirazione.







# RISULTANZE DELLE DIAGNOSI ENERGETICHE

7

## 7. Analisi dei consumi energetici per le fonderie di metalli non ferrosi

**N**el presente capitolo si riporta l'analisi e l'elaborazione dei dati contenuti nelle diagnosi relative alle fonderie di metalli non ferrosi.

Le diagnosi energetiche pervenute ad ENEA alla scadenza del 5 dicembre 2019 sono state complessivamente 122. Di queste:

- 70 diagnosi sono afferenti al codice ATECO 24.53.00 – Fusione di metalli leggeri;
- 52 diagnosi sono afferenti al codice ATECO 24.54.00 – Fusione di altri metalli non ferrosi.

### 7.1. Ripartizione dei consumi ed indici di prestazione energetica

Le analisi presentate nel seguito (capitolo 7.2) sono relative ad un sottogruppo afferente ai codici ATECO 24.53 e 24.54 e relative a fonderie produttrici di *getti in Alluminio* (con piccole percentuali di altri metalli non ferrosi quali zama, zinco e altre leghe di Alluminio) tramite pressocolata. In particolare, vengono forniti:

- la ripartizione media dei consumi energetici (totali e per tipologia di vettore energetico, ad es.: energia Elettrica ed energia Termica) tra le differenti aree funzionali e/o reparti;
- l'analisi degli Indici di Prestazione Energetica generale (IPEg) o di primo livello valutando prima la relazione tra il vettore energetico (Energia Totale, Elettrica e Termica) e la destinazione uso (tipicamente la produzione netta dello stabilimento) e successivamente i valori di IPE medio con i relativi: campo di esistenza, deviazione standard e livello di affidabilità;
- l'analisi degli Indici di Prestazione Energetica specifici (IPEs) o di secondo livello valutando per ciascun area funzionale/reparto il rapporto tra il vettore energetico ed il relativo driver di consumo. Viene presentata sia un'analisi di correlazione tra consumo e destinazione d'uso specifica per ciascun reparto che i valori di IPE medio con i relativi: campo di esistenza, deviazione standard e livello di affidabilità.

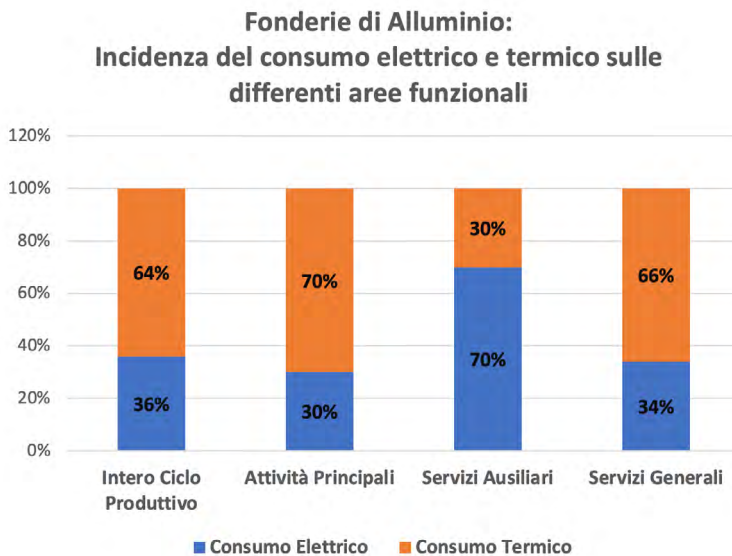
La mancanza di dati sufficienti non ha permesso l'analisi di altre tipologie di processi produttivi relativi ai metalli non ferrosi.

## 7.2. Fonderie di Alluminio con pressocolata

In questo capitolo si riporta l'analisi effettuata sulle fonderie di Alluminio con pressocolata.

### 7.2.1. Distribuzione dei consumi

La distribuzione percentuale dei consumi finali Elettrici e Termici per le fonderie di Alluminio è riportata in *Figura 35*. Come evidente dalla figura l'utilizzo di forni a gas incide sulla percentuale di consumo termico sia considerando le sole Attività Principali (70% dei consumi sono termici) che l'intero processo produttivo (64% di consumi termici). Per quanto riguarda invece i consumi dei Servizi Ausiliari (principalmente relativi alla produzione di aria compressa e servizi di aspirazione) prevale nettamente il consumo elettrico (70%), torna essere predominante il consumo termico nei Servizi Generali in quanto legati al riscaldamento degli ambienti.



*Figura 35 - Fonderie Alluminio: ripartizione dei consumi finali.*

La ripartizione dei consumi Elettrici e Termici tra le differenti aree funzionali è riportata in *Figura 36*, la quale mostra come il 64% dei consumi elettrici è attribuibile alle Attività Principali mentre il 30% ai Servizi Ausiliari e il 6% ai Servizi

Generali. Il consumo Termico risulta essere prevalentemente concentrato nelle Attività Principali, circa l'86%, con i Servizi Ausiliari e Generali che si dividono in egual misura il restante 14%.

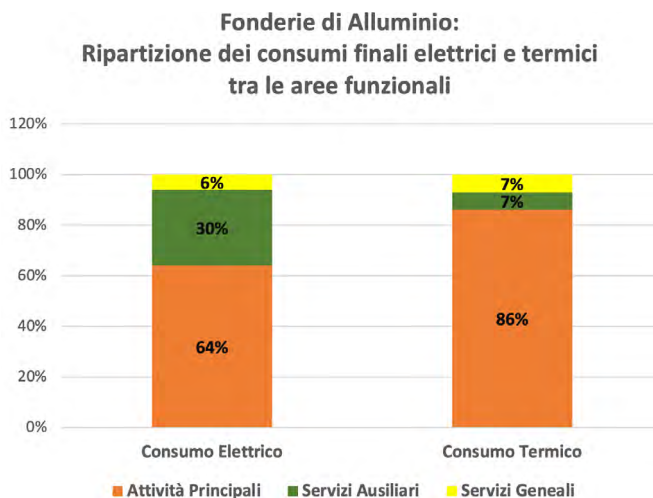


Figura 36 - Fonderie Alluminio: ripartizione dei consumi elettrici e termici finali tra le diverse aree funzionali.

Il mix di combustibili utilizzati per produrre l'energia termica è riportato in Figura 37 e mostra che il 95% dell'energia termica utilizzata sui siti è ottenuta dalla combustione del Gas Naturale, il restante 5% è imputabile quasi interamente al Gasolio, con una piccolissima percentuale, circa lo 0,05%, di altri combustibili.

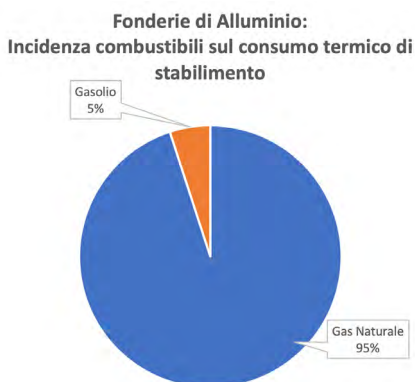


Figura 37 - Fonderie Alluminio: incidenza combustibili sul consumo termico di stabilimento.

CENTRI DI CONSUMO PREVALENTI				
Fusione	Isole di pressocolata	Produzione Aria Compressa	Impianti Aspirazione	Altro
53%	17%	5%	2%	23%

Tabella 34 - Fonderie di Alluminio: distribuzione percentuale dei consumi finali tra i principali centri di consumo.

Nella Tabella 34 si riporta, infine, la distribuzione percentuale dei consumi finali prevalenti tra le diverse fasi del processo e i principali Servizi Ausiliari per le fonderie di Alluminio. L'analisi dei dati contenuti nelle diagnosi ha evidenziato come i consumi delle imprese del settore siano concentrati, relativamente alle Attività Principali, sulle fasi di fusione e pressocolata e, per quanto riguarda i Servizi Ausiliari, sulla produzione di aria compressa e sugli impianti di aspirazione. Ulteriori consumi sono attribuibili principalmente ad eventuali forni di attesa, trattamenti termici e di finitura ed ai Servizi Generali.

### 7.2.2. IPE di Primo Livello

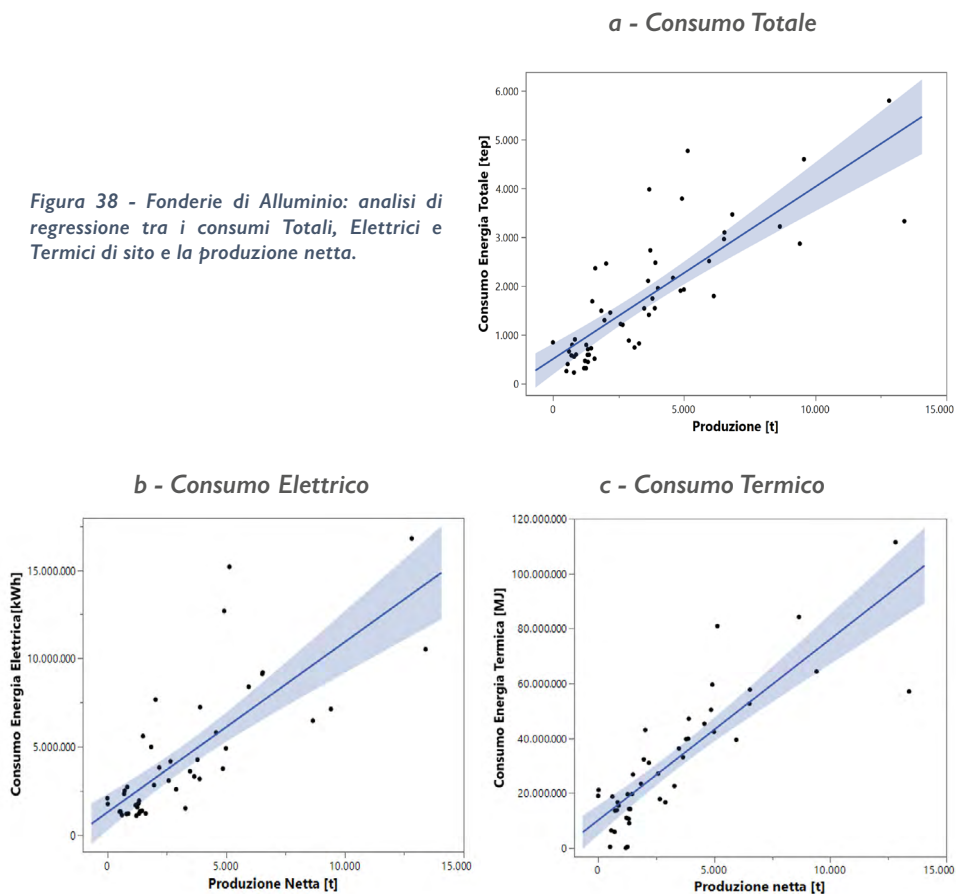
In questo capitolo vengono illustrate le analisi svolte con il fine di individuare gli indici di prestazione energetica di primo livello (IPEg) relativi al consumo Totale, Elettrico e Termico.

Gli IPE di primo livello (Totale, Elettrico e Termico) qui riportati si basano sull'analisi dei dati provenienti da un campione di siti in cui si effettua la produzione di getti in Alluminio tramite pressocolata e utilizzo di forni a gas. Come destinazione d'uso è stata considerata la produzione annua netta espressa in tonnellate.

Le rette di regressione ricavate dall'elaborazione dei dati di consumo Totale, Elettrico e Termico in funzione della produzione sono riportate in Figura 38.



Figura 38 - Fonderie di Alluminio: analisi di regressione tra i consumi Totali, Elettrici e Termici di sito e la produzione netta.



Le equazioni delle rette di regressione con i relativi parametri statistici sono riportati nella *Tabella 35*, la quale evidenzia una buona correlazione del consumo termico con la produzione netta ( $R^2 > 0,73$ ), e valori meno buoni del coefficiente di determinazione per il consumo Totale ( $R^2=0,665$ ) e del consumo Elettrico ( $R^2=0,608$ ) in funzione sempre della produzione netta.

Fonderie di Alluminio					
Rette di Regressione Consumo Totale[tep] vs Produzione netta[t]					
Consumo Etot [tep] = 517 + 0,351 * Produzione netta [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Totale [tep]	0,665	0,815	<0,0001	0,288	0,374
Rette di Regressione Consumo Elettrico[kWh] vs Produzione netta[t]					
Consumo EE [kWh] = 1.342.487 + 9.592 * Produzione netta [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Elettrico [kWh]	0,608	0,779	<0,0001	0,288	0,374
Rette di Regressione Consumo Termico[MJ] vs Produzione netta[t]					
Consumo Eth [MJ] = 1.012 * 10 <sup>7</sup> + 6.597 * Produzione netta [t] Int Confidenza >99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Termico [MJ]	0,732	0,855	<0,0001	0,288	0,374

Tabella 35 – Fonderie di Alluminio: parametri analisi di regressione tra il consumo Totale, Elettrico e Termico ed i livelli di produzione netta.

In Tabella 36 viene riportato il valore dell'IPE medio Totale, Elettrico e Termico di stabilimento per differenti intervalli di produzione netta, con relativa deviazione standard e livelli di affidabilità. I risultati riportati mostrano un livello di affidabilità Medio per L'IPE Totale e Termico e Medio-Basso per l'IPE Elettrico.

Fonderie di Alluminio				
IPE Totale				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	tep/t	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
500	2.600	0,73 ± 0,34	46%	<b>MEDIO</b>
2.601	13.000	0,47 ± 0,19	40%	<b>MEDIO</b>
IPE Elettrico				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	kWh/t	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
500	900	2.611 ± 1764	67%	<b>BASSO</b>
901	13.000	1.440 ± 790	55%	<b>MEDIO</b>
IPE Termico				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	MJ/t	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
500	2.600	13.823 ± 4.405	32%	<b>MEDIO</b>
2.601	13.000	9.040 ± 2.850	31%	<b>MEDIO</b>

Tabella 36 - Fonderie di Alluminio: IPE medi di stabilimento.

### 7.2.3. IPE di Secondo Livello per le Attività Principali

In questo capitolo vengono illustrati gli Indici di Prestazione Energetica specifici o di Secondo Livello (IPEs) delle fasi di fusione (con forni a gas) e pressocolata per i siti relativi alle fonderie di Alluminio.

### 7.2.3.1. Fase di fusione

Nelle fonderie per la produzione di Alluminio è possibile trovare diverse tipologie di forni suddivisi in due macro-famiglie: Elettrici o a Gas Naturale. All'interno di queste macro-famiglie è possibile individuare più soluzioni tecnologiche/ impiantistiche (Figura 39).

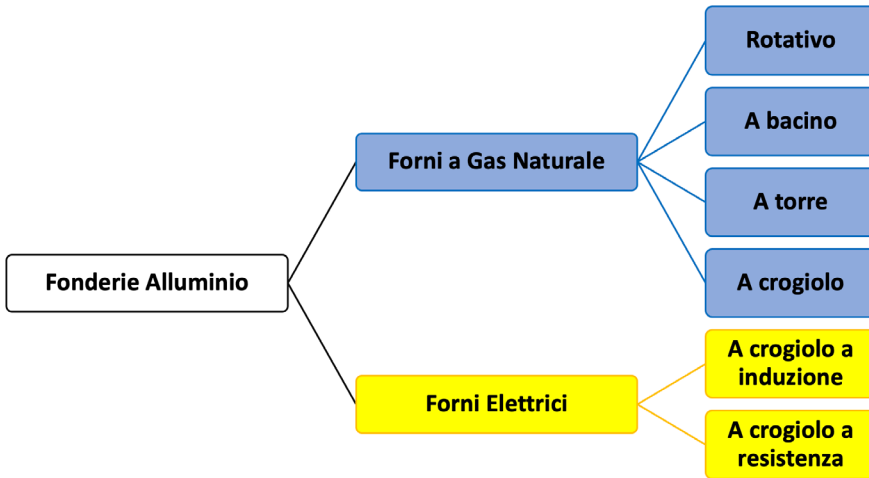
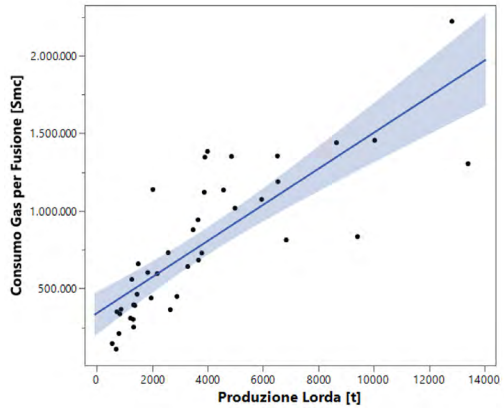


Figura 39 – Tipologie di forno utilizzati nelle fonderie di metalli non ferrosi.

In particolare, in questo capitolo sono riportati i risultati dell'analisi relativa solamente per i forni a Gas Naturale, approfondendo in particolare sia i forni a torre che quelli a bacino. Per le altre tipologie non è possibile riportare nessuna informazione in quanto i dati estrapolati dall'analisi delle diagnosi energetiche risultano essere insufficienti o non presenti.

In Figura 40 è mostrata la retta di regressione ricavata dall'elaborazione dei dati di consumo di tutte le tipologie di forni a gas naturale relativi alla fusione in funzione della produzione lorda di Alluminio.

Figura 40 - Fonderie di Alluminio: analisi di regressione tra consumo gas naturale per la fusione e produzione lorda.



In Tabella 37 sono riportati i risultati dell'analisi di regressione, in particolare, l'equazione della retta ed i relativi parametri statistici. Come mostrato in tabella la retta di regressione presenta una correlazione media con un coefficiente di determinazione  $R^2 > 0,65$ .

Fonderie di Alluminio – FASE DI FUSIONE con FORNI A GAS –					
Rette di Regressione Gas Naturale [tep] vs Produzione lorda [t]					
Consumo Gas Naturale [Sm <sup>3</sup> ] = 341.532 + 116 * Produzione lorda [t]					
Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Gas Naturale [Sm <sup>3</sup> ]	0,652	0,807	<0,0001	0,288	0,374

Tabella 37 - Fonderie di Alluminio - Fusione: parametri analisi di regressione tra consumo di Gas Naturale e Produzione lorda.

In Tabella 38 viene riportato il valore dell'IPE medio relativo alla fase di fusione sempre relativo all'intero campione di siti con forni a gas naturale, il valore dell'IPE medio riportato presenta un livello di affidabilità medio.

Fonderie di Alluminio – FASE DI FUSIONE –				
IPE Forni a GAS: Gas Naturale [Sm <sup>3</sup> ]/Produzione lorda[t]				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	Sm <sup>3</sup> /t <sub>lorde</sub>	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
560	2.600	321 ± 107	33%	MEDIO
2.601	14.000	202 ± 71	35%	MEDIO

Tabella 38 - Fonderie di Alluminio – Fusione: IPE medi fase di fusione per forni a Gas Naturale.

Come premesso, oltre all'elaborazione di indici di tipo generale per i forni a gas, in Tabella 39 vengono presentati IPE di secondo livello che scendendo ad un livello di dettaglio maggiore. In Tabella 39 sono mostrati gli IPE per i forni a Bacino e per quelli a Torre, per entrambi il livello di affidabilità risulta essere medio.

Fonderie di Alluminio				
IPE Forni a GAS NATURALE A BACINO: Gas Naturale [Sm <sup>3</sup> ] / / Produzione lorda [t]				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	tep/t	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
700	3.300	372 ± 135	36%	MEDIO
3.301	20.000	222 ± 99	44%	MEDIO
IPE Forni a GAS NATURALE A TORRE: Gas Naturale [Sm <sup>3</sup> ] / / Produzione lorda [t]				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	tep/t	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
800	19.000	186 ± 80	43%	MEDIO

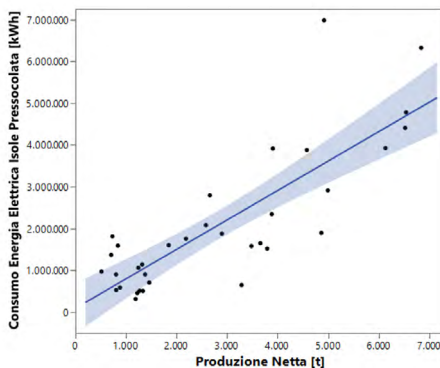
Tabella 39 - Fonderie di Alluminio – Fusione: IPE medi fase di fusione per forni a Gas Naturale a BACINO ed a TORRE.

### 7.2.3.2. Isole di Pressocolata

I consumi energetici associati alle Isole di Pressocolata nella produzione di Alluminio solitamente possono ricomprendere:

- Sistemi di preriscaldamento delle siviere;
- Sistemi di trattamento del metallo liquido (es. degassaggio);
- Componenti specifici delle Isole come: Pressa, Trancia ed eventualmente il Robot;
- Eventuali altri componenti specifici.

La presenza o meno di alcuni di questi componenti ovviamente incide sul consumo specifico del reparto, in *Figura 41*, è riportata la retta di regressione ricavata dall'elaborazione dei dati di consumo di energia elettrica relativi alle isole di pressocolata in funzione della produzione netta.



*Figura 41 - Fonderie di Alluminio: analisi di regressione tra consumo energia elettrica isole pressocolata e produzione netta.*

I risultati provenienti dall'analisi di regressione, riportati in *Tabella 40*, mostrano una correlazione non forte tra il consumo di energia elettrica e la produzione netta, come evidenzia anche il coefficiente di determinazione ( $R^2 > 0,64$ ). La dispersione dei punti mostrati nel grafico di *Figura 41* è intrinseca al processo in questione legato, come già illustrato, alle diverse tipologie di elementi che possono essere ricompresi nel reparto.

Fonderie di Alluminio – ISOLE DI PRESSOCOLATA-					
Rette di Regressione Consumo Elettrico [kWh] vs Produzione netta [t]					
Consumo EE [kWh] = 135.514 +712 * Produzione netta [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Energia Elettrica [kWh]	0,646	0,803	<0,0001	0,3013	0,3893

Tabella 40 - Fonderie di Alluminio - Isole Pressocolata: parametri analisi di regressione tra consumo e produzione netta.

In Tabella 41 viene riportato il valore dell'IPE medio relativo alla fase di pressocolata corredato della relativa deviazione standard e del livello di affidabilità, che risulta essere medio.

Fonderie di Alluminio – ISOLE DI PRESSOCOLATA –				
IPE Isole di pressocolata				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	kWh/t <sub>netta</sub>	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
510	880	1.667 ± 657	39%	<b>MEDIO</b>
881	6.840	685 ± 298	43%	<b>MEDIO</b>

Tabella 41 - Fonderie di Alluminio: IPE medio fase di pressocolata.

Come per la fase di fusione, oltre ad un'analisi generale della fase di pressocolata che ha incluso diverse tipologie di Isole di Pressocolata, in Tabella 42, viene fornita un'analisi più specifica degli IPE di secondo livello fornendo valori dell'IPE per:

- isole di pressocolata complete equipaggiate con forni di colata elettrici (che comprendono presse, sistemi di trancitura, uno o più robot, lubrificatori, termoregolatori, preriscaldamento stampi, forni di colata ad energia elettrica, ecc.);
- isole di pressocolata complete esclusi i consumi dei forni di colata.



I valori di IPEs trovati, presentano un livello di affidabilità basso nel primo caso e medio nel secondo.

Fonderie di Alluminio – ISOLE DI PRESSOCOLATA –				
IPE Isole di pressocolata COMPLETE CON FORNI DI COLATA				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	kWh/t <sub>netta</sub>	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
700	9.500	1.289 ± 842	65%	<b>BASSO</b>
IPE Isole di pressocolata COMPLETE SENZA FORNI DI COLATA				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t	t	kWh/t <sub>netta</sub>	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
2.000	5.000	573 ± 165	28%	<b>MEDIO</b>

Tabella 42 - Fonderie di Alluminio - IPE medi fase di pressocolata: isole complete e isole complete senza forni di colata.

#### 7.2.4. IPE di Secondo Livello per i Servizi Ausiliari

Gli IPE di secondo livello vengono presentati anche per i principali Servizi Ausiliari dove è stato possibile disporre di sufficienti dati dalle diagnosi energetiche. In particolare sono riportati:

- in *Tabella 43* il valore dell'IPEs relativo al consumo di energia elettrica per la produzione di aria compressa rispetto alle tonnellate nette prodotte. Il valore presenta un livello di affidabilità medio;
- in *Tabella 44*, il valore dell'IPEs relativo al consumo di energia elettrica per l'aspirazione dei fumi rispetto alle tonnellate nette prodotte. In questo caso il livello di affidabilità dell'IPEs risulta essere basso.

Fonderie di Alluminio - ARIA COMPRESSA -				
IPE produzione di Aria compressa				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t <sub>nette</sub>	t <sub>nette</sub>	kWh/t <sub>nette</sub>	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
510	2.600	253 ± 118	47%	<b>MEDIO</b>
2.601	6.840	197 ± 85	43%	<b>MEDIO</b>

Tabella 43 - Fonderie di Alluminio: IPE medio produzione di aria compressa.

Fonderie di Alluminio – SISTEMA DI ASPIRAZIONE -				
IPE sistema di aspirazione				
Campo variazione Produzione netta		IPE	Affidabilità	
Min.	Max.			
t <sub>nette</sub>	t <sub>nette</sub>	kWh/t <sub>nette</sub>	Coefficiente di Variazione	Livello di affidabilità
510	6.500	109 ± 98	90%	<b>BASSO</b>

Tabella 44 - Fonderie di Alluminio: IPE medio sistema di aspirazione.





# INTERVENTI DI EFFICIENZA ENERGETICA

8

## 8. Interventi di efficienza energetica: soluzioni tecnologiche per il settore delle fonderie [9]

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

Vengono quindi elencati gli interventi di efficientamento energetico suddiviso per le fasi del processo.

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 di efficientamento energetico vengono riportati suddivisi per fase di processo e rappresentati in tabelle dove ciascuna fase viene suddivisa ulteriormente nelle sue 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 (Riferimenti) e infine eventuali note e contributi di esperti dell'associazione di categoria che forniscono ulteriori informazioni riguardo la soluzione individuata. Oltre ai riferimenti bibliografici per l'individuazione degli interventi sono state utilizzate anche le informazioni riportate nelle diagnosi energetiche pervenute ad ENEA. Nel caso in cui una delle soluzioni proposte è stata riscontrata all'interno delle diagnosi energetica questa sarà evidenziata con un colore diverso (bordeaux) e all'interno del campo riferimenti comparirà [D.E.].

### 8.1. Attività Principali

In questo capitolo vengono illustrate le possibili soluzioni di efficientamento energetico reperite in letteratura o in diagnosi energetica per le fasi dell'attività principale: fusione, formatura, colata e finitura.

#### 8.1.1. Fusione

In questa fase del processo il metallo passa dalla fase solida a quella liquida.

Le materie prime vengono inizialmente caricate all'interno di forni fusori, dove vengono portate alla temperatura di fusione. Il metallo liquido viene poi inserito all'interno di siviere per essere trasportato all'impianto di colata. La fase di fusione è la più energivora del processo.

I forni possono essere suddivisi in due categorie in base al tipo di energia sfruttata: i forni a combustibile (gas e carbon coke) e i forni elettrici. I forni a combustibile ricavano energia termica dalla combustione di un combustibile fossile. Per la produzione di Ghisa si impiegano i forni a cubilotto (circa il 50%), dove si ha la combustione del carbon coke, i forni a gas (circa 10%), ed i forni elettrici (circa il 40%). Tra questi tipi di forni troviamo il forno rotativo ossi-combustibile, il forno a riverbero, il forno a tino, il forno a volta radiante ed altri. Infine, i forni elettrici utilizzano l'energia elettrica per la fusione del metallo. Fanno parte di questa categoria i forni elettrici a induzione, a resistenza o ad arco elettrico. Le soluzioni tecnologiche afferenti alla fase di fusione sono riportate in *Tabella 45 (pagina 135)*.

### **8.1.2 Formatura**

La fase di processo di formatura riguarda la preparazione degli stampi dove viene colato il metallo fuso. Lo stampo riproduce in negativo la forma che si vuole produrre, e può essere realizzato in sabbia, utilizzabile per un'unica colata (forma a perdere) o in metallo per più colate (forma permanente). Mediante l'utilizzo di anime è possibile introdurre delle cavità all'interno del pezzo. Le anime vengono realizzate mediante lo stesso materiale caratterizzante lo stampo a perdere, pertanto, la loro produzione rientra all'interno del processo di formatura.

La formatura a perdere consiste nel creare uno stampo in sabbia che viene distrutto per estrarre il pezzo solidificato. Questo tipo di formatura permette geometrie molto complesse ad un basso costo, andando però a penalizzare la capacità produttiva dell'impianto. Inoltre, la finitura superficiale con questo tipo di formatura è inferiore a quella con formatura permanente, in quanto la sabbia introduce porosità superficiale sul getto. Lo stampo viene realizzato tramite sabbie miscelate con materiali leganti e utilizzando un modello in legno o metallo del pezzo da realizzare. Nella formatura a perdere si individuano due categorie in base al tipo dei leganti utilizzati: la formatura a verde e la formatura in sabbia-resina. Nella prima la sabbia è miscelata con bentonite, acqua e polvere di carbone, mentre nella seconda si utilizzano speciali resine come leganti.

Nella formatura permanente, invece, lo stampo è fatto in metallo, in alcuni casi verniciato con intonaci refrattari, in grado di resistere alle elevate temperature di colata. Questo tipo di formatura permette di realizzare più pezzi con lo stesso stampo, risparmiando il tempo necessario alla formatura. Lo stampo ha costi molto elevati e pertanto viene ammortizzato con alti volumi produttivi. Mediante una formatura permanente la rugosità dei pezzi finiti è inferiore rispetto a quella che si ottiene con la formatura a perdere. Tuttavia, esistono dei limiti alla complessità dei pezzi che si possono ottenere. Le soluzioni tecnologiche relative alla fase di formatura sono elencate in *Tabella 46 (pagina 139)*.

### **8.1.3. Colata**

Il metallo fuso viene colato all'interno degli stampi, dove si solidificherà e verrà poi estratto. Così come per la fase di formatura il processo di colata può essere in forma a perdere o in forma permanente.

Nella colata in forma a perdere il metallo fuso viene colato per gravità tramite siviere o manualmente (per piccoli getti) all'interno degli stampi. Le siviere vengono movimentate mediante appositi carrelli elevatori e/o carri ponte. Il metallo viene lasciato raffreddare e, una volta solidificato, estratto dalla sabbia, distruggendo lo stampo stesso. Le macchine distaffatrici sono delle piattaforme vibranti che permettono il distacco della sabbia dal metallo. L'operazione viene completata a mano o eventualmente con l'aiuto di martelli pneumatici. La colata in forma permanente può avvenire mediante varie tecniche tra cui: per gravità, a pressione (bassa pressione e pressocolata) e la colata in forma permanente statica o posta in rotazione (centrifugazione). Le soluzioni tecnologiche individuate per la fase di colata sono riportate in *Tabella 47 (pagina 143)*.

### **8.1.4. Finitura**

Dopo aver rimosso il getto dallo stampo, sono necessarie ulteriori operazioni di finitura e trattamenti termici. Innanzitutto, occorre rimuovere i canali di colata e le materozze. Successivamente vengono rimosse inclusioni superficiali di sabbia mediante granigliatura, oltre a rimuovere eventuali bave metalliche tramite un processo noto come sbavatura.

I trattamenti termici vengono effettuati solo al termine del processo e vengono utilizzati per conferire determinate proprietà meccaniche al getto. In *Tabella 48 (pagina 146)* sono elencate le soluzioni tecnologiche relative alla fase di finitura.

Tabella 45 - Soluzioni tecnologiche relative alla fase di fusione

Fusione				
Oggetto della soluzione	Soluzione	Applicabilità	Fonte	Osservazioni
Impianti di caricamento nei forni	Pre-riscaldamento della materia soffiando direttamente fumi sulla materia (essiccatore)		[10], [D.E.]	Assofond riferisce che tale pratica era diffusa in passato, ma ora è stata abbandonata per gli elevati costi. Tuttavia, dal punto di vista dei consumi energetici, potrebbe essere ancora interessante nel caso in cui si utilizzino i fumi per riscaldare la carica o effettuare l'essiccazione del rottame.
	Utilizzo di bruciatori recuperativi nel forno fusorio	Forni a combustibile	[12], [D.E.]	
Bruciatore	Utilizzo di bruciatori "LOW NOx" per minimizzare le emissioni di NOx	Forni a combustibile	[10]	
	Utilizzo di bruciatori ad elevata efficienza	Forni a combustibile	[10], [D.E.]	
	Utilizzo di un bruciatore rigenerativo nel forno fusorio	Forni a combustibile	[10], [D.E.]	
	Utilizzo di bruciatori oxy-fuel nel forno fusorio	Forni a combustibile	[13], [10]	Assofond riferisce che questa tecnica è una BAT ed è già presente nelle BREF. Pertanto, è obbligatoria per gli impianti in AIA ed è già usata in tutte le fonderie di Ghisa con forni rotanti.
	Utilizzo di un combustore per una combustione senza fiamma	Forni a combustibile	[10]	Tecnica riportata tra le BAT. Non sono state riscontrate applicazioni pratiche di tale intervento in Italia.



Fusione				
Oggetto della soluzione	Soluzione	Applicabilità	Fonte	Osservazioni
Forno Fusorio	Sostituzione vecchio forno fusorio con nuovo		[10], [D.E.]	<p>Di seguito la lista detagliata degli interventi reperiti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sostituzione forno da BT a MT.</li> <li>• Installazione forno F5 da 55 tonnellate a media frequenza.</li> <li>• Sostituzione di tre forni con un unico forno centralizzato e sfruttamento dei 3 forni come forni di mantenimento.</li> <li>• Sostituzione con un nuovo forno con torretta di fusione la quale sfrutta il calore proveniente dal bacino di contenimento Alluminio liquido per preriscaldare il materiale caricato all'interno della camera di fusione risparmiando in questo modo energia termica. Il forno è equipaggiato di laser per misurare il livello del materiale all'interno della torretta di carico.</li> </ul> <p>Introduzione di un nuovo forno fusorio a torre di potenzialità pari a 4.000 kg/h, in sostituzione a 3 forni fusori a crogiolo. Il nuovo forno è accompagnato da un forno di attesa avente la medesima potenzialità.</p> <p>Dismissione di un forno e disattivazione di un altro forno, con contestuale installazione di un nuovo forno (potenza termica nominale di 3,4 MW), energeticamente più performante e in grado di garantire con continuità la fusione anche con carichi di lavoro variabili.</p>
	Tecnologia IGBT sui forni elettrici	Forno elettrico	[14], [D.E.]	

Fusione				
Oggetto della soluzione	Soluzione	Applicabilità	Fonte	Osservazioni
Forno Fusorio	Utilizzo di trasformatori Ultra High Power per aumentare il voltaggio di lavoro nel Forno ad Arco Elettrico	Forno ad arco elettrico	[15]	Assofond suggerisce di tenere presente che poche aziende utilizzano questo tipo di forni (produzione di Acciaio) ed eventualmente sono forni piccoli rispetto a quelli usati in siderurgia. Pertanto, occorre valutare se tale intervento può essere economicamente rilevante in considerazione della dimensione dei forni e della frequenza di utilizzo rispetto al settore siderurgico.
	Oxy-oil technology per inserire olio come parziale sostituto del coke e ridurre le emissioni	Forni a combustibile	[15]	Assofond riferisce di non avere riscontro di applicazione di tale intervento in aziende Italiane. L'intervento è stato estratto da Linee Guida pubblicate in letteratura scientifica e suggerite per l'applicazione nel territorio americano. Si riferisce, però, che tali linee guida non ne mostrano un'applicazione pratica.
	Utilizzare fornaci raffreddate ad acqua	Forni a combustibile	[16]	Documento del 2009 riguardante un caso studio di un'azienda Taiwan che intende ridurre i consumi elettrici di forni ad arco. L'uso della copertura e della parete del forno raffreddati ad acqua possono massimizzare la produzione di elettricità durante la fusione e aumentare significativamente la vita della copertura e della parete del forno. Assofond riferisce che, allo stato di fatto, un sistema di raffreddamento ad acqua è già presente in molte delle fornaci italiane.
	Installare impianto per recupero di metallo dalle scorie	Forni a combustibile	[17]	Un'applicazione di tale intervento è stata reperita nei forni per la fusione di rame. Assofond riferisce che normalmente le scorie su certi tipi di forni sono già selezionate e con composizione nota.

Fusione				
Oggetto della soluzione	Soluzione	Applicabilità	Fonte	Osservazioni
Forno Fusorio	Rifacimento refrattari forni per evitare perdite di calore verso l'esterno (inspessimento del refrattario)	Spesso nei forni a combustibile	[16], [18], [D.E.]	Intervento per cui si è reperito l'utilizzo per un forno elettrico di mantenimento. Assofond riferisce che un aumento dello spessore del refrattario, sebbene possa aumentare l'isolamento termico, potrebbe portare ad una riduzione della capacità produttiva. Più aumenta lo spessore di strato isolante e meno spazio si ha a disposizione per le materie prime.
Iniettore pneumatico	Re-iniezione delle polveri catturate dagli impianti di aspirazione all'interno del forno fusorio		[19]	Assofond riferisce che tale Intervento è già indicato nel SF BREF, in cui tra le BAT è indicato che il recupero delle polveri è correlato all'arricchimento della componente metallica, ma c'è maggiore consumo energetico e maggiore produzione di scorie (SF BREF pag. 298 capitolo 4.9.4.2). Attenzione: questo intervento comporta un miglioramento dell'impatto ambientale della società, ma a discapito dei consumi energetici.
Dispositivo pneumatico con lance	Introduzione di un dispositivo pneumatico dotato di lancia per soffiare i materiali che formano una schiuma di scorie nella zona della reazione per renderla più controllabile.		[19], [D.E.]	Assofond riferisce che tale intervento comporta un beneficio ambientale perché si inertezzano le scorie. Tuttavia, occorre valutare bene se tale beneficio compenserà un eventuale aumento dei consumi energetici. La letteratura scientifica riporta che tale intervento implica: - benefici di costi energetici (decremento costi produzione 20%); - benefici di sostenibilità ambientale (decremento consumo di carbone 10%); - benefici di impianto (aumento efficienza della cupola del 50%).

Tabella 46 - Soluzioni tecnologiche relative alla fase di formatura.

Formatura				
Oggetto della soluzione	Soluzione	Applicabilità	Fonte	Osservazioni
Approvvigionamento	Installare impianto per utilizzo delle scorie provenienti dalla fornace come terra	Formatura a perdere	[20]	
Recuperatore	Sostituzione dell'impianto elettrico di recupero sabbia con nuovo impianto a gas		[D.E.]	<p>La tecnica va nella direzione opposta alle esigenze di decarbonizzazione.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>È stata proposta la sostituzione dell'attuale impianto elettrico di recupero sabbia con un nuovo impianto a gas, che impieghi una potenza elettrica di 20 kW (80 kW di differenza rispetto al sistema esistente).</li> </ul> <p>Assofond riferisce che, tuttavia, questo intervento va nella direzione opposta rispetto alle attuali esigenze di decarbonizzazione.</p>
Isola di stampaggio	Installazione di un recuperatore di sabbia		[D.E.]	Assofond riferisce che questo intervento implica un aumento dei consumi energetici, che va valutato rispetto ai benefici ambientali complessivi.
Mescolatori	Sostituzione mescolatori		[D.E.]	

Formatura				
Oggetto della soluzione	Soluzione	Applicabilità	Fonte	Osservazioni
Formatura "hot box"	Utilizzo di pre-riscaldamento dell'aria e di bruciatori rigenerativi o di recupero per i forni di produzione delle forme in sabbia/resina termoindurente	Formatura a perdere	[11], [D.E.]	
	Installazione di un filtro efficiente nell'impianto terre	Formatura a perdere	[D.E.]	Assofond suggerisce di valutare la bontà di questo intervento in relazione ai risparmi energetici ottenibili (ad es. consumi per aria compressa per pulire il filtro).
Impianto di formatura	Utilizzo della stampa 3D ( <i>Jet Binding</i> ) per la creazione delle forme	Formatura a perdere	[21], [22]	
	Utilizzo di riscaldamento a infrarossi per l'asciugatura del rivestimento delle forme	Formatura in sabbia-resina	[23], [24]	Assofond riferisce che questo intervento è già in uso in qualche fonderia. Si usa sia per il rivestimento della forma in sabbia, sia per il refrattario sullo stampo permanente.

Formatura				
Oggetto della soluzione	Soluzione	Applicabilità	Fonte	Osservazioni
Impianto di formatura	Utilizzo di un processo in forma permanente con metodo di colata a bassa pressione con utilizzo di anime inorganiche		[D.E.]	<ul style="list-style-type: none"> <li>La differenza rispetto al processo “tipico” di formatura in forma permanente con metodo di colata a bassa pressione sta esclusivamente nell'utilizzo di anime inorganiche.</li> <li>Si tratta di una nuova tecnologia che impiega un sistema legante inorganico per la formatura delle anime e, quindi, senza emissioni su base di silicato. I suoi benefici ecologici sono derivati dal fatto che i leganti inorganici utilizzati non emettono praticamente emissioni nocive. Pertanto, consentono di rinunciare ai sistemi di ventilazione e trattamento aria (generalmente utilizzati nella catena di processo con altre tipologie di anime quali cold box e/o hot box).</li> </ul> <p>Il vantaggio consiste in una significativa riduzione del fumo e nella riduzione del 98% delle sostanze inquinanti. Pertanto si avranno: un'ottima protezione dell'ambiente indoor ed outdoor, la riduzione dell'inquinamento acustico dovuto al minor numero di processi di granigliatura e, infine, la riduzione della pulizia degli stampi con conseguente riduzione dei consumi energetici.</p>
	Sostituzione di vecchi impianti con impianti nuovi e più efficienti		[I5], [D.E.]	

Formatura				
Oggetto della soluzione	Soluzione	Applicabilità	Fonte	Osservazioni
Stampante 3D	Introduzione della tecnologia Binder Jetting per la creazione di anime (Additive Manufacturing), che unisce le polveri utilizzando un legante		[25]	Assofond riferisce che tali tecnologie sono innovative, pertanto mancano elementi per valutare se apportano miglioramenti energetici. Tuttavia, tali tecnologie dovrebbero apportare maggiori benefici per bassi volumi produttivi.
	Introduzione di stampanti 3D per la creazione di anime (Additive Manufacturing)		[25]	Assofond riferisce che tali tecnologie sono innovative, pertanto mancano elementi per valutare se apportano miglioramenti energetici. Tuttavia, tali tecnologie dovrebbero apportare maggiori benefici per bassi volumi produttivi.

Tabella 47 - Soluzioni tecnologiche relative alla fase di colata

Colata				
Oggetto della soluzione	Soluzione	Applicabilità	Fonte	Osservazioni
Raffreddamento	Utilizzo della tecnica "quench casting" per il raffreddamento del getto		[26]	Questa tecnica permette di migliorare le proprietà microstrutturali in termini di finitura e durezza. Ciò fa sì da ridurre il tempo necessario per le attività di finitura, con conseguente risparmio energetico. Lo studio proposto in letteratura è preliminare, dunque è da approfondire l'efficiamento energetico.
	Utilizzo della tecnica "splash casting" per il raffreddamento del getto		[26]	Questa tecnica permette di migliorare le proprietà microstrutturali in termini di finitura e durezza. Ciò fa sì da ridurre il tempo necessario per le attività di finitura, con conseguente risparmio energetico. Lo studio proposto in letteratura è preliminare, dunque è da approfondire l'efficiamento energetico.
Siviera	Installazione impianti per il preriscaldamento programmato ed efficiente delle siviere		[15], [D.E.]	Assofond riferisce che solitamente questa operazione non viene svolta cercando di ottimizzare i consumi energetici, sebbene questo intervento abbia un'utilità elevata, oltre a essere un'attività con grossi margini di razionalizzazione.
	Utilizzo di coperchi per le siviere per evitare perdite termiche		[15]	Assofond riferisce che tale soluzione è molto utile e con grossi margini di razionalizzazione.
	Utilizzo di materiali di rivestimento per le siviere per evitare perdite di calore per convezione	Formatura a perdere	[23]	Assofond riferisce che tale soluzione è molto utile e con grossi margini di razionalizzazione.



Colata				
Oggetto della soluzione	Soluzione	Applicabilità	Fonte	Osservazioni
Siviera	Utilizzo di siviere di forma diversa (becco più pronunciato). Garantisce un miglior mantenimento della temperatura grazie alla minor dispersione termica con riduzione della porosità del getto.	Formatura a perdere	[28]	Assofond riferisce che tale tecnica è poco diffusa.
Forno	Sostituzione del forno di colata		[D.E.]	
Impianti di colata	Sostituzione degli impianti di colata vecchi con nuovi	Forni a combustibile	[29], [D.E.]	In Italia sono state reperite le seguenti applicazioni di tale intervento. <ul style="list-style-type: none"> <li>• In azienda di pressocolatura di leghe di Alluminio, sostituzione di presse di pressocolatura dotate di motori a giri fissi, con presse di pressocolatura di ultima generazione dotate di motori a <i>inverter</i>.</li> <li>• In aziende di fusione di metalli leggeri, sono state installate nuove isole di colata a bassa pressione.</li> </ul>

Colata				
Oggetto della soluzione	Soluzione	Applicabilità	Fonte	Osservazioni
Impianti di colata	Utilizzo della tecnica <i>Vacuum Suction Casting</i>		[22]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Questa è una tecnologia giapponese sottovuoto testata qualche anno fa. È stata presa da una fonte scientifica [13] del 2020.</li> <li>Comporta il seguente effetto benefico sui consumi energetici: migliora la finitura superficiale dei componenti prodotti, evitando la formazione di difetti causati dall'evaporazione del legante e, pertanto, riducendo il consumo energetico associato alle fasi di finitura.</li> </ul> <p>Visto il recente sviluppo di tale tecnica e la possibilità che essa comporti elevati consumi energetici (necessità di tenere il vuoto lungo tutto il processo di formatura e colata), prima di implementare questo intervento, si raccomanda di approfondirne lo studio comparando i benefici di risparmio energetico ottenibili in fase di finitura rispetto agli aumenti di consumo che potrebbero essere causati dal vuoto prolungato.</p>
Impianti di pressocolata	Nuova linea di pressofusione ad elevata efficienza	Formatura permanente	[D.E.]	
	Sostituzione forno di attesa alla colata	Formatura permanente	[D.E.]	Assofond riferisce che tali tecnologie sono innovative, pertanto mancano elementi per valutare se apportano miglioramenti energetici. Tuttavia, tali tecnologie dovrebbero apportare maggiori benefici per bassi volumi produttivi.
Sterratrice	Sostituzione di macchine sterratrici con nuove	Formatura a perdere	[15], [D.E.]	

Tabella 48 - Soluzioni tecnologiche relative alla fase di finitura

Finitura			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Fonte	Osservazioni
Robot	Utilizzo di robot per le fasi di finitura	[30]	<p>Attività con grandi consumi energetici.</p> <p>Le operazioni automatizzate riducono la necessità del fattore umano, ovvero di un operatore che presidi il processo produttivo. Inoltre, implicano un risparmio di tempi e costi di produzione, con conseguente riduzione dei consumi energetici legati ad un più lungo processo produttivo.</p> <p>In base alla tipologia di prodotto e alla linea vengono svolte lavorazioni meccaniche di finitura e proposte relative operazioni di efficientamento energetico.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Installazione di una scarotatrice posta sotto aspirazione con convogliamento degli effluenti gassosi al punto di emissione in atmosfera esistente senza incrementare portata massima.</li> <li>• Installazione di isola automatizzata per lavorazioni di finitura dei particolari prodotti dalle medesime macchine di colata. Le operazioni di sbavatura e scarotatura sono effettuate con macchine utensili che lavorano con la cosiddetta "lubrificazione minimale", con limitate emissioni di nebbie oleose; l'isola è servita da un impianto di aspirazione, con invio degli effluenti gassosi al nuovo punto di emissione in atmosfera EI08, dotato di impianto di abbattimento a cartucce in fibra di vetro, specifico per le nebbie oleose, e caratterizzato da portata massima di 6.000 Nm<sup>3</sup>/h, durata di funzionamento di 24 h/giorno ed emissione di "materiale particolare (nebbie oleose)".</li> </ul>
Stazioni di finitura	Installazione nuova linea di finitura	[D.E.]	

Finitura			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Fonte	Osservazioni
Stazioni di finitura	Eliminare macchinari di "basso livello" e introdurre nuovi più efficienti	[3], [15], [D.E.]	La letteratura [24] riporta che una sostituzione di macchinari datati con macchinari più recenti, tipicamente implica un risparmio energetico. Infatti, la tecnologia può svilupparsi in pochi anni e determinare un notevole abbattimento dei consumi. A riprova di ciò, l'articolo mostra che nel 2007 in Cina il numero di forni con capacità di 2000 m <sup>3</sup> è aumentato rispetto al 2005, così come il numero di converters con una capacità di 100 tonnellate e l'installazione di altre macchine da finitura innovative. Come conseguenza del rinnovamento di tali tecnologie, non solo è aumentata la capacità produttiva degli impianti, ma è migliorata la qualità dei processi, ottenendo come conseguenza una riduzione dei consumi energetici (8%), del consumo di acqua (24%), delle emissioni di SO <sup>2</sup> (4.5%), della produzione di fuliggine (3%) e della produzione di polveri da fresatura per tonnellata di Acciaio (4.5%). Tra gli interventi di sostituzione reperiti dalle diagnosi si annoverano rinnovamenti di tecnologie per le attività di sterratura, taglio, fresatura, radioscopia, martellatura, scarotatura, taglio e controllo sbavature, marcatura laser, ecc.
Forno trattamento termico	Sostituzione del forno per il trattamento termico	[D.E.]	Sostituzione del forno di trattamento termico Vampa di portata massima di 10 ton con un forno a carro per trattamenti termici di portata massima di 8 ton. La sostituzione comporta la riduzione del 30% del consumo di metano rispetto alla soluzione precedente.
Macchine utensili	Ugelli di soffiaggio ad alta efficienza	[D.E.]	

## 8.2. Servizi Ausiliari

Tutte le fasi di processo prevedono l'impiego di Servizi Ausiliari, le cui strategie per ridurre i consumi energetici delle tecnologie sono riepilogate in *Tabella 49 (pagina 149)*.

## 8.3. Recupero calore

Il calore presente nei gas di scarico in uscita dal forno può essere impiegato per vari scopi come illustrato in *Tabella 50 (pagina 163)*.

## 8.4. Combustibili alternativi

Per ottenere dei vantaggi in termini di consumo energetico è possibile utilizzare fonti combustibili differenti rispetto a quelle standard. Le strategie adottabili in termini di combustibili alternativi sono riepilogate in *Tabella 51 (pagina 167)*.

Tabella 49 - Soluzioni tecnologiche relative ai Servizi Ausiliari.

Servizi Ausiliari			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Fonte	Osservazioni
Scambiatore	Aumentare la qualità dell'aria introducendo uno scambiatore di calore all'uscita del compressore per raffreddare l'aria e rimuovere vapore acqueo dall'aria compressa	[32]	
Pompa di iniezione	Introduzione di una pompa di iniezione per il miglioramento delle proprietà di lubrificazione e il risparmio di lubrificante	[32]	La letteratura suggerisce tale intervento di efficientamento, ma non ne mostra nessuna applicazione pratica.

Servizi Ausiliari			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Fonte	Osservazioni
Compressore	Sostituzione di compressori vecchi con nuovi ed efficienti	[31], [D.E]	<p>Assofond riferisce che tale intervento è ottimo dal punto di vista del risparmio di consumi energetici</p> <p>Miglioramento legato al motore elettrico che guida il compressore: passaggio da traditional induction motor a modern permanent magnet motor.</p> <p>Miglioramento legato al processo di compressione. Per compressori tradizionali, circa il 70 delle 100 unità di energia originale in ingresso si trasforma in calore, cioè l'efficienza di conversione dell'energia meccanica meccanica offerta dall'albero del motore elettrico all'energia potenziale dell'aria compressa è solo qualcosa &lt; 20%.</p> <p>Compressori moderni, come per esempio, modern installed screw compressors lavorano in due stadi con un sistema di raffreddamento ad acqua. Nella parte superiore, l'aria viene aspirata dall'esterno e dopo il filtraggio viene compressa nel primo stadio da un compressore a vite. L'aria ad una pressione intermedia viene refrigerata facendo circolare l'acqua necessaria anche per raffreddare l'olio lubrificante. Un po' di vapore acqueo nell'aria si condensa e viene scaricato da un sifone. L'aria viene poi compressa nel secondo stadio alla pressione finale e di nuovo viene refrigerata prima di essere fornita alle linee di distribuzione. Un'altra trappola scarica la condensa che si separa dall'aria perché alla pressione più alta l'aria diventa satura a temperature ben al di sopra dell'ambiente. Un ulteriore raffreddamento è previsto sull'involucro del compressore a vite, così come un certo raffreddamento è consentito dall'olio lubrificante.</p>
	Isolare sezioni del sistema che richiedono specifici valori di pressione dell'aria compressa	[33]	<p>Non sono presenti indicazioni pratiche sui valori della pressione in base all'esigenza dell'utenza. Viene solo riportato la possibilità di intervento per il miglioramento energetico.</p>

Servizi Ausiliari			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Fonte	Osservazioni
Compressore	Ottimizzare le dimensioni dei compressori in base alla domanda di aria compressa per evitare di avere compressori inutilmente grossi	[33]	La letteratura suggerisce tale intervento di efficientamento, ma non ne mostra nessuna applicazione pratica.
	Utilizzo di intercooler nel compressore	[31], [34]	Questo intervento consiste nel mettere uno scambiatore tra due stadi intermedi del compressore, in modo da abbassare la temperatura dell'aria e ridurre il lavoro necessario nella seconda metà del compressore. Non è un intervento molto diffuso a causa della difficoltà a livello impiantistico e dell'alto costo di installazione iniziale. Nel caso di compressori centrifughi utilizzati per applicazioni in pompe di calore, laddove siano necessari grandi salti di temperatura corrispondenti ad alti rapporti di compressioni, dovrebbero essere usati compressori centrifughi multi-stadio. In tale situazione, degli intercooler dovrebbero essere installati tra i vari stadi di compressione per ridurre la potenza consumata dal compressore stesso, evitare un grosso surriscaldamento allo scarico del compressore e, dunque, minimizzare i consumi energetici. Si possono utilizzare "direct flash intercoolers" oppure intercooler costituiti da scambiatori di calore a parete, che sfruttano l'acqua del circuito del condensatore.



Servizi Ausiliari			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Fonte	Osservazioni
Compressore	Installare compressori a numero di giri variabili (compressori già dotati di <i>inverter</i> )	[33], [D.E.]	Sostituzione del compressore a palette con uno equivalente, ma a giri variabili lubrificato. Sostituzione di compressore a giri fissi con compressori equivalenti a giri variabili. Riduzione del numero di ore di funzionamento a vuoto e miglior consumo specifico.
	Utilizzo di motori ad induzione ad alta efficienza	[24]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Minor costo per operare (risparmio in termini di domanda mensile di kilowatt e utilizzo annuale di kilowattora).</li> <li>Maggiore efficienza energetica.</li> </ul>
Macchine ad aria compressa	Sostituire compressori per creare il vuoto con pompe a vuoto	[24]	La letteratura suggerisce tale intervento di efficientamento, ma non ne mostra nessuna applicazione pratica.
	Sostituzione di tutti i macchinari con movimentazione ad aria compressa con macchinari elettroidraulici dove possibile	[33], [D.E.]	Assofond riferisce che tale soluzione è particolarmente valida in termini di risparmi energetici ottenibili. Di seguito si riporta un'applicazione di tale intervento in un'azienda italiana: sostituzione della formatrice esistente a vibro compressione, con una innovativa a comando elettroidraulico e con pestelli a pressione differenziati. La formatrice a vibro-compressione utilizzava grandi quantità di aria compressa e comportava la necessità di protrarre il tempo di formatura per svariati secondi. Al contrario, la nuova formatrice ad alta efficienza e a comando elettroidraulico ha permesso di effettuare la formatura della placca in tempi più brevi (comportando minori consumi energetici), mentre l'adozione di pestelli a pressione differenziata ha consentito di ottenere un miglior grado di finitura dei getti e di aumentare la ripetibilità dei getti prodotti, così riducendo gli scarti ed il relativo consumo energetico specifico.

Servizi Ausiliari			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Fonte	Osservazioni
Macchine ad aria compressa	Sostituzione dell'aria compressa con alternative per evitare sprechi di energia nella compressione dell'aria stessa	[27]	
Aspiratori	Posizionare gli aspiratori il più vicino possibile alla sorgente	[10]	Assofond riferisce che tale soluzione è particolarmente valida in termini di risparmi energetici perché riduce le perdite di carico La letteratura suggerisce tale intervento di efficientamento, ma non ne mostra nessuna applicazione pratica.
Lubrificazione	Effettuare una lubrificazione elettrostatica per diminuire le polveri di olio nell'aria	[10]	La letteratura suggerisce tale intervento di efficientamento, ma non ne mostra nessuna applicazione pratica.
Impianto di aspirazione	Utilizzo di sbrinatori per rimuovere le gocce di condensa dal flusso	[10]	La formazione di condensa dentro ai condotti di aspirazione può essere dannosa. Per questo, installare uno scambiatore di calore atto ad evitare la formazione di condensa dentro ai condotti può ridurre i consumi energetici d'impianto associati agli eventuali sforzi di rimozione delle particelle di acqua condensata. Assofond riferisce che l'efficacia di tale intervento dovrebbe essere verificata in un'applicazione relativa al settore delle fonderie, in quanto la letteratura, sebbene suggerisca tale intervento di efficientamento, non ne mostra nessuna applicazione pratica.

Servizi Ausiliari				
Oggetto della soluzione	Soluzione	Fonte	Osservazioni	
Impianto di aspirazione	Utilizzo di precipitatori elettrostatici per rimuovere le polveri	[10]	La letteratura suggerisce tale intervento di efficientamento, ma non ne mostra nessuna applicazione pratica.	
	Trattamento delle emissioni in sistemi di abbattimento adeguati	[12]		
	Installazione di ventilatori ad alta efficienza	[15], [D.E.]	I ventilatori rientrano nell'ambito della direttiva ErP sulla progettazione ecocompatibile dei prodotti che utilizzano l'energia. Il regolamento attuativo n. 237/2011/UE definisce gli standard minimi dei ventilatori immessi nel mercato a partire dal 1° gennaio 2013 e, in uno step successivo, dal 1° gennaio 2015. Rientrano nel campo di applicazione del regolamento i ventilatori assiali, centrifughi a pale avanti e rovesce (con e senza coclea) ed i ventilatori a flusso misto tangenziale, qualora la potenza elettrica assorbita sia compresa tra 0.125 kW e 500 kW. Il regolamento non prevede l'adeguamento dei ventilatori installati.	
	Utilizzo di ventilatori delle corrette dimensioni	[15]	La letteratura riporta che la maggior parte dei ventilatori nelle applicazioni industriali sono sovradimensionati rispetto alle esigenze del loro contesto di applicazione. Un non corretto dimensionamento dei ventilatori può implicare perdite energetiche comprese tra l'1% e il 5% delle perdite totali d'impianto. Le affermazioni precedenti sono relative allo studio delle industrie americane e sono state dimostrate mediante un caso studio condotto da Xenergy Inc. nel 1998.	

Servizi Ausiliari			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Fonte	Osservazioni
Impianto di aspirazione	Installazione di ventilatori a velocità regolabile (ASD), ovvero di ventilatori già dotati di inverter	[15], [D.E.]	La tecnologia è applicata a: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Impianti di degasaggio;</li> <li>• Per ventilatori attivi h24;</li> <li>• Pulizia del sistema filtrante;</li> <li>• Impianto di aspirazione.</li> </ul>
	Installazione linea di aspirazione forzata per i forni	[D.E.]	
Carrelli elevatori	Utilizzo di cinghie ad alta efficienza e sostituzione delle cinghie trapezoidali con cinghie dentate	[15]	La letteratura suggerisce tale intervento di efficientamento, ma non ne mostra nessuna applicazione pratica.
	Sostituzione dei carrelli elevatori	[35], [D.E.]	
Trasportatori	Sostituzione dei carrelli elevatori	[35], [D.E.]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Passaggio da batteria al piombo ad un sistema di potenza ibrido attivo basato su batterie Li+, ultracapacitori e celle a combustibile PEM</li> </ul> <p>Miglioramenti: rifornimento più veloce, prestazioni costanti, maggiore disponibilità e tempi di funzionamento prolungati.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Passaggio da carica batteria tradizionali a caricabatteria elettrici ad alta frequenza dotati di inverter.</li> </ul> <p>Miglioramenti: risparmio energetico in consumo di kwh/anno</p>
	Sostituzione nastri trasportatori con nuovi	[D.E.]	

Servizi Ausiliari				
Oggetto della soluzione	Soluzione	Fonte	Osservazioni	
Trasportatori	Utilizzare delle coperture durante il trasporto di materiali	[12]		
	Utilizzo di convertitori di frequenza a velocità controllata per ridurre i consumi sui trasportatori	[36]	La letteratura suggerisce tale intervento di efficientamento, ma non ne mostra nessuna applicazione pratica.	
	Sostituire sistemi di trasporto pneumatici, a vite o a catene con sistemi di tipo a nastro	[36]	La letteratura suggerisce tale intervento di efficientamento, ma non ne mostra nessuna applicazione pratica.	
Carrello elevatore	Sostituzione delle cinghie con cinghie <i>poly-v</i> nuove e più efficienti	[37]		
	Sostituzione carrello elevatore a gasolio con uno più moderno e efficiente	[D.E.]		

Servizi Ausiliari			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Fonte	Osservazioni
Gru a ponte	Sostituzione carro ponte	[D.E.]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sostituzione con carroporti più performanti da un punto di vista energetico.</li> <li>Modificati motori di traslazione sotto <i>inverter</i>.</li> </ul>
Trasformatori	Sostituzione trasformatori con più efficienti e/o più potenti	[D.E.]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Riduzione delle perdite.</li> <li>Sostituzione di un trasformatore ad olio con uno in resina.</li> <li>Sostituzione del vecchio compressore con uno equivalente, ma di minori perdite.</li> <li>Trasformatori MT/BT.</li> </ul>
Inverter	Sostituzione di inverter con nuovi e più efficienti o installazione di nuovi inverter sui motori che non ce li hanno	[23], [D.E.]	<p>L'applicazione di tale intervento coinvolge tutti i motori che alimentano il processo produttivo e i sistemi ausiliari. Infatti, l'installazione di <i>inverter</i> sui motori consente di ottimizzarne i consumi energetici in ogni momento, adattando la produzione di energia all'effettivo fabbisogno di quel momento. I tre esempi principali di applicazione di tale intervento nel territorio italiano sono i seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Installazione di un <i>inverter</i> sul motore di azionamento di un compressore che non mostrava un funzionamento ottimale, bensì alternava cicli di funzionamento a pieno carico, con cicli a vuoto. L'azienda riporta che un compressore quando lavora a vuoto non produce aria compressa, ma consuma comunque un'energia pari al 25-30% del consumo a pieno carico.</li> <li>Installazione di un <i>inverter</i> sui motori che azionano gli aspiratori. Ad esempio, si può installare un <i>inverter</i>, collegato ad una sonda di pressione posta nel collettore principale, sui motori che azionano i ventilatori. In questo modo, si permette ai ventilatori di adattarsi alla variazione della richiesta di aspirazione rilevata dalla sonda di pressione.</li> <li>Installazione di <i>inverter</i> sui motori che azionano le pompe.</li> </ul>

Servizi Ausiliari			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Fonte	Osservazioni
Impianto elettrico	Utilizzo di filtri passivi	[10], [D.E.]	Attività con grandi consumi energetici. A parità di potenza offrono rendimento superiori e più costanti. Consigliata la sostituzione di tutti i motori elettrici che hanno un sufficiente numero di ore di funzionamento annue. Perdite di potenza ridotte grazie all'uso di materiali più opportuni per statore e rotore.
Motori	Utilizzo di motori elettrici ad alta efficienza IE2 IE3 IE4	[31] [37], [D.E.]	Motori di aspirazione, ventilazione e pompe. In particolare, la sostituzione dei motori di aspirazione con motori più efficienti risulta l'intervento più comune afferente a questa categoria. Sostituzione di motori IE1 e IE2 con motori IE3. Sostituzione di motori precedenti alla classe IE1 con motori IE3 per la linea di formatura e fusione. Sostituzione di motori con oltre 20 anni di vita. Sostituzione di motori 4 poli di classe IE2 con motori 4 poli di classe IE4 (Super-Premium Efficiency) per l'aspirazione. Sostituzione dei motori IE1 delle pompe dell'impianto oleodinamico con motori IE4.
	Utilizzo di motori elettrici delle corrette dimensioni per evitare che i motori siano proporzionati al carico	[37]	La letteratura suggerisce tale intervento di efficientamento, ma non ne mostra nessuna applicazione pratica.

Servizi Ausiliari			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Fonte	Osservazioni
Motori	Utilizzo di motori rigenerativi	[D.E.]	Solitamente applicati ai motori del carroponete per sfruttare l'energia potenziale durante le fasi di discesa del magnete responsabile di caricare e scaricare il materiale. Tale soluzione può produrre risparmi compresi tra il 15% ed il 25%.
	Utilizzo di motori con bassa corrente di avviamento	[38]	Garantisce minori consumi, oltre a una minor dipendenza dalle fluttuazioni della rete elettrica.
	Rifasamento dei motori	[15] [38], [D.E.]	Lo sfasamento tra la tensione e la corrente genera un consumo della potenza reattiva. Introducendo in parallelo ai motori dei condensatori si riduce l'effetto dei carichi induttivi, riducendo lo sfasamento tra tensione e corrente.
	Riavvolgimento dei motori	[15]	Il riavvolgimento consiste in una serie di operazioni necessarie a ripristinare le condizioni di funzionamento iniziali. Spesso può essere fatto in sostituzione all'acquisto di un nuovo motore in quanto meno impattante in termini di costo.
	Installare motori a velocità variabile (ASD VSD), ovvero motori già dotati di inverter	[29], [D.E.]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sostituzione da <i>classical induction motors</i> a <i>linear induction motors</i>;</li> <li>• alta efficienza energetica;</li> <li>• alto grado di affidabilità;</li> <li>• alta coppia di avviamento;</li> <li>• bassa corrente di avviamento;</li> <li>• bassa dipendenza dell'avviamento dalle fluttuazioni della tensione di rete.</li> </ul>



Servizi Ausiliari				
Oggetto della soluzione	Soluzione	Fonte	Osservazioni	
	Installare un efficiente impianto di drenaggio acque	[10]		
Trattamento acque	Installazione di sistemi efficienti per il trattamento delle acque di scarto	[10]		
	Utilizzo di un sistema di raffreddamento a circuito chiuso	[12]		
Impianti di distribuzione fluido	Ottimizzazione nel design dei condotti per minimizzare le perdite di aria compressa e installazione di guarnizioni e sigilli per il contenimento delle perdite rilevate o sostituzione dei tratti di condotto danneggiati ( <i>leak management</i> )	[33], [D.E.]	Le perdite di aria compressa possono essere minimizzate in due modi principali: <ul style="list-style-type: none"> <li>• in fase di progettazione dell'impianto, studiando un'opportuna forma dei condotti nei circuiti dell'aria compressa, che non preveda bruschi restringimenti (colli di bottiglia) che implicano grandi salti di pressione.</li> <li>• in fase di attività dell'impianto, ricercando eventuali perdite e, successivamente, sanandole attraverso l'installazione di appositi sigilli e guarnizioni o la sostituzione dei tratti di condotto danneggiati.</li> </ul> Una riduzione delle perdite sulla rete di aria compressa consente di valutare la possibilità di ridurre la pressione di esercizio del circuito, con una conseguente riduzione dei consumi energetici. Dagli audit eseguiti nelle aziende italiane emerge che ogni bar in più della pressione prodotta si traduce in un maggiore consumo di energia elettrica di circa il 6-7%.	

Servizi Ausiliari			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Fonte	Osservazioni
Impianti di distribuzione fluido	Isolare gli impianti di distribuzione dei fluidi per evitare perdite di calore	[15]	La letteratura suggerisce tale intervento di efficientamento, ma non ne mostra nessuna applicazione pratica.
Pompa	Sostituzione delle pompe obsolete o usurate con pompe ad elevata efficienza	[15], [D.E.]	La sostituzione può ridurre l'uso energetico dal 2% al 10% e aumentare l'efficienza della pompa dal 2% al 5%. [6] Sostituzione pompe a portata fissa con pompe a portata variabile per regolare calore necessario. Sostituzione di 6 circolanti esistenti con modelli di ultima generazione con caratteristiche simili e sistema di controllo elettronico della velocità Sostituzione con motori IE4 e pompe verticali di nuova generazione con massimizzazione dell'efficienza idraulica.
	Ottimizzazione delle dimensioni delle pompe in base alla domanda di energia per evitare di avere macchine inutilmente grosse	[15]	La letteratura suggerisce tale intervento di efficientamento, ma non ne mostra nessuna applicazione pratica.
	Rifilatura della girante per abbassare i consumi della pompa	[15]	La letteratura suggerisce tale intervento di efficientamento, ma non ne mostra nessuna applicazione pratica.

Servizi Ausiliari			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Fonte	Osservazioni
Pompa	Installazione di pompe a velocità regolabile (ASD), ovvero pompe già dotate di inverter	[15]	Risparmio energetico tra il 20% e 50% in base a applicazione, dimensione della pompa, carico e variazione di carico.
Impianto di raffreddamento	Sostituzione ed efficientamento delle torri evaporative	[D.E.]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sostituzione torri evaporative per raffreddamento acqua con le relative pompe. Al momento della sostituzione era presente una torre obsoleta con potenza elettrica di 5 kW.</li> <li>Sostituzione delle Torri Evaporative sia per il raffreddamento dei forni e anche la torre per il raffreddamento dei compressori d'aria e dei compressori delle unità interne di climatizzazione dei vari uffici interni. Revamping del sistema di raffreddamento con consumo invernale pari a 50 kW ed estivo pari a 65 kW.</li> <li>Sostituzione torre evaporativa per raffreddamento dell'olio idraulico di presse con potenza termica 570 kW, ventilatore 5,5 kW e pompa di carico 18,5 kW. Sostituzione del ventilatore e del motore con sistemi a portata d'aria variabili ed alta efficienza.</li> </ul>
	Riutilizzo delle condense delle torri evaporative	[15]	La letteratura suggerisce tale intervento di efficientamento, ma non ne mostra nessuna applicazione pratica.

Tabella 50 - Soluzioni tecnologiche relative al recupero calore.

Recupero di calore				
Oggetto della soluzione	Soluzione	Applicabilità	Fonte	Osservazioni
Recupero di calore	Recupero di calore dalle scorie metalliche		[39]	
	Pre-riscaldamento dell'aria di combustione	Forni a combustibile	[12]	Intervento applicato nel caso di forno a gas.
	Tecnica del CCU ( <i>Carbon Capture and Utilization</i> ) per catturare la CO <sub>2</sub> dai fumi e utilizzarla per altri scopi	Forni a combustibile	[40]	Assofond riferisce che tale tecnologia non è ancora "matura" ed è difficilmente adattabile nelle PMI.
	Utilizzo del calore di recupero per produrre vapore in un boiler e alimentare un ciclo a vapore ( <i>Rankine</i> )		[10], [D.E.]	Turbina a vapore a contropressione per il recupero da un forno a cubilotto.
	Utilizzo dei gas esausti per operare un ciclo combinato per generare energia elettrica		[41]	Assofond riferisce che tale soluzione è attualmente impiegato nei cubilotti a gas (ad esempio in aziende russe).

Recupero di calore				
Oggetto della soluzione	Soluzione	Applicabilità	Fonte	Osservazioni
	Utilizzo dei gas esausti per operare un ciclo ORC per generare energia elettrica		[15], [D.E.]	Assofond riferisce che tale intervento è applicabile in forni cubilotti di media potenzialità funzionanti almeno su due turni.
	Cattura delle sostanze volatili COV (composti organici volatili) per bruciarle e produrre calore		[42]	Assofond riferisce che tale tecnologia è interessante se il post-combustore si autosostiene con i contaminanti (COV). In caso contrario, bisogna utilizzare metano per alimentare il tutto e la tecnologia diventa anti-economica.
Recupero di calore	Installazione di cogenerazione (o trigenerazione) per il recupero di calore		[15], [D.E.]	Assofond riferisce che tale intervento è difficilmente applicabile nel settore delle fonderie.
	Utilizzo dei fumi per operare un ciclo frigorifero ad assorbimento		[43]	La letteratura suggerisce tale intervento di efficientamento, ma non ne mostra nessuna applicazione pratica.
	Sostituzione batteria di recupero calore		[44]	

Recupero di calore				
Oggetto della soluzione	Soluzione	Applicabilità	Fonte	Osservazioni
Recupero di calore	Installazione evaporatore per il recupero di calore dalle acque emulsionate		[D.E.]	Assofond ne riferisce l'applicazione nelle fonderie di metalli non ferrosi con pressocolata.
	Recupero calore per essiccazione terre	Formatura a perdere	[D.E.]	
	Installazione di uno scambiatore per generare acqua calda dai fumi del forno ed alimentare l'evaporatore sottovuoto		[D.E.]	
	Introduzione di una turbina di recupero dell'alta pressione generata nel forno fusorio		[30], [39]	

Recupero di calore				
Oggetto della soluzione	Soluzione	Applicabilità	Fonte	Osservazioni
Scambiatore	Recupero di calore dal processo di compressione dell'aria		[33], [D.E.]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soluzione emergente.</li> <li>• Recupero dal raffreddamento dei compressori.</li> <li>• Introduzione del modulo per il raffreddamento tramite scambiatore a pistra.</li> <li>• Preriscaldare acqua o aria.</li> <li>• Compressore del reparto lavorazioni meccaniche.</li> <li>• Compressore a giri variabili.</li> </ul>
Siviera	Utilizzo di scambiatori di recupero per il pre-riscaldamento efficiente delle siviere (forno scaldia siviera)		[27], [D.E.]	Assofond riferisce che tale intervento non è in uso in fonderia. Tuttavia, è una soluzione con grossi margini di razionalizzazione.
Impianto di raffreddamento	Recuperatore di calore nel circuito di raffreddamento stampi	Formatura permanente	[D.E.]	

Tabella 51 - Soluzioni tecnologiche relative ai combustibili alternativi.

Combustibili alternativi			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Applicabilità	Fonte
Combustibili alternativi	Iniezione di carbone polverizzato (PCI) come parziale sostituto del coke	Forni a combustibile	[13], [45]
	Utilizzo del CO e H <sub>2</sub> prodotti nella reazione come combustibile per il forno stesso	Forni a combustibile	[12]
	Sostituzione del coke con biomasse	Forni a combustibile	[40]
	Utilizzo di coke generato con la tecnica CDQ ( <i>Coke Dry Quenching</i> )	Forni a combustibile	[45], [46]
	Aggiunta di plastica di scarto come agente riducente	Forni a combustibile	[48]
	Utilizzo di pellet auto-riducente nel forno fusorio	Forni a combustibile	[49]



*LA DECARBONIZZAZIONE DEL SETTORE FONDERIA:  
COME CAMBIERÀ LA STRUTTURA ENERGETICA DELLE IMPRESE.*

Le profonde trasformazioni richieste all'industria per centrare gli obiettivi del Green Deal europeo comporteranno un cambio radicale della struttura energetica delle fonderie.

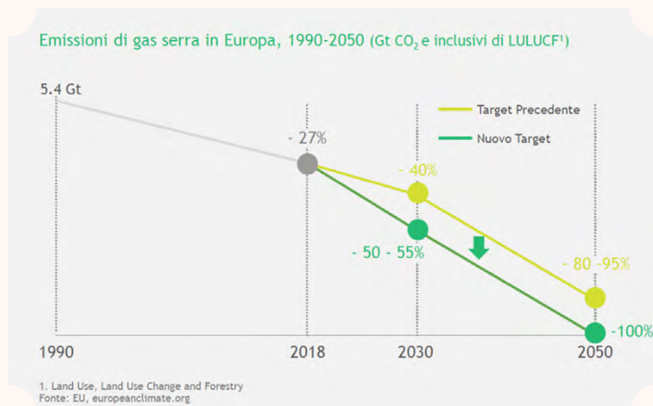
La sfida posta dall'esigenza di ridurre le emissioni di gas ad effetto serra, principale causa del riscaldamento del nostro pianeta alla base dei cambiamenti climatici cui stiamo assistendo, richiede anche al settore della fonderia di operare scelte tecnico-impiantistiche che privilegino gli aspetti ambientali, in particolare in ottica di riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

Il tema della decarbonizzazione e gli obiettivi posti dalla Commissione europea di raggiungimento della neutralità al 2050, con un obiettivo intermedio al 2030 di riduzione delle emissioni del 55 % rispetto ai livelli del 1990, richiedono interventi importanti per ridurre le emissioni di gas ad effetto serra, investendo in tecnologie a "basso impatto" in particolare per quanto riguarda i mezzi utilizzati nella fase di fusione, riducendo o abbandonando l'utilizzo di combustibili fossili a vantaggio dell'energia elettrica e di combustibili "green".

Nei prossimi anni si assisterà ad una radicale modifica del mix energetico, con il progressivo abbandono dei vettori energetici di origine fossile a favore di combustibili "green" e dell'energia elettrica.

Questa trasformazione, delineata nei suoi aspetti principali, necessita di approfondimenti tecnici oltre ad un chiaro quadro di riferimento normativo che guidi la transizione, sostenuta da adeguati supporti economici-finanziari.

### L'ambizioso programma UE di riduzione delle emissioni.



### LA TRANSIZIONE NEI SETTORI AD ALTA INTENSITÀ ENERGETICA

Le imprese del settore fonderia sono fra quelle cosiddette “energivore” per gli elevati consumi energetici per unità di prodotto; l’attuale assetto tecnico produttivo vede l’impiego di importanti quantità di combustibili fossili, in particolare per la fase di fusione dei materiali metallici che, da sola, assorbe mediamente il 65÷70% dell’energia totale (elettrica + termica) utilizzata nell’intero ciclo produttivo [Fonte: Elaborazioni ENEA/Assofond su dati diagnosi energetiche 2018 fonderie].

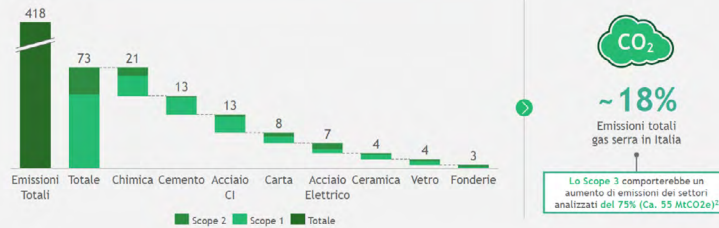
Il settore delle fonderie è parte dei sette settori manifatturieri nazionali considerati “Hard to abate” (HTA), per le oggettive problematiche legate al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione fissati dall’Europa; tali settori industriali (oltre a fonderie: acciaio, chimica, cemento, carta, ceramica, vetro) concorrono per il 18% delle emissioni nazionali di CO<sub>2</sub> (fra dirette ed indirette).

Tutte queste imprese dovranno affrontare la transizione ecologica entro un decennio, perché la pressione normativa disincentivante alle emissioni di CO<sub>2</sub> (oltre all’aggiornamento in atto della normativa ETS, introduzione di altri strumenti normativi attualmente allo studio che, a fianco di strumenti per supportare la transizione evitando il rischio di “riallocazione” delle emissioni di CO<sub>2</sub> in paesi extra UE, di fatto rendono più onerose le citate emissioni), diventerà sempre più stringente nel tempo.

## Emissioni di CO<sub>2</sub> dei settori Hard to abate

Considerando le emissioni indirette (Scope 2), i settori concorrono al 18% delle emissioni totali in Italia

Emissioni gas serra settori industriali Scope 1 e 2<sup>1</sup>  
MTCO<sub>2</sub>eq; 2019



1. Scope 2 include emissioni derivanti dal consumo di energia elettrica; 2. Scope 3 non considerato nell'analisi perché non allocabile all'emissioni di paese  
Source: Rapporto 308/2020 ISPRA, Associazioni di categoria, CDP, Analisi BCG

La transizione verso un'economia a "neutralità climatica" necessiterà, per i settori *Hard to Abate*, di un piano di azione con chiari obiettivi, che individuino azioni in grado di promuovere per i prossimi anni, uno sviluppo sostenibile per i citati settori industriali che rappresentano, in termini economici e sociali, comparti chiave per l'economia del nostro paese; un piano di azione strutturato e adeguatamente supportato, per favorire il raggiungimento dei traguardi ambientali definiti dall'UE.

L'importanza del contributo di tali settori "energy intensive" al raggiungimento degli obiettivi europei è stata sottolineata nel documento di presentazione del Green Deal europeo nel quale al riguardo si legge: "... Con la transizione dell'Europa verso la neutralità climatica alcuni settori dovranno realizzare un mutamento più incisivo e più trasformativo di altri. Le industrie ad alta intensità energetica sono indispensabili per l'economia europea, perché da esse dipendono altri settori. L'ammodernamento e la decarbonizzazione delle industrie ad alta intensità energetica devono pertanto costituire una priorità assoluta. ... Il Green Deal europeo si prefigge l'obiettivo di creare, per prodotti come l'acciaio, il cemento e i prodotti chimici di base, nuovi mercati per prodotti circolari e climaticamente neutri. Per porsi alla testa di questo cambiamento, l'Europa ha bisogno di nuovi processi industriali e di tecnologie più pulite, così da ridurre i costi e migliorarne la maturità di mercato..."

## IL PIANO PER LA DECARBONIZZAZIONE DEI SETTORI COSIDDETTI

### HARD TO ABATE

La definizione di un organico piano di azione è stato l'obiettivo dello studio "Strategia per la Decarbonizzazione dei settori cosiddetti Hard to Abate" redatto da *Interconnector Energy Italia* e dalle Associazioni confindustriali *Federbeton*, *Federacciai*, *Assocarta*, *Confindustria Ceramica*, *Federchimica*, *Assovetro* ed *Assofond*, in collaborazione con *Boston Consulting Group*.

Il progetto, articolato in cinque filoni, aveva i seguenti obiettivi:

- individuare baseline dei livelli emissivi dei settori industriali *Hard to abate*;
- definire *benchmark* per le tecnologie di decarbonizzazione;
- analizzare soluzioni di approvvigionamento delle fonti di energia *green*;
- definire una "mappa" delle strategie nazionali a supporto della transizione energetica;
- identificare linee guida normative e set di contributi necessari a supportare il piano.

Il drastico percorso di decarbonizzazione richiesto dall'Europa, richiede non solo di applicare in modo massiccio le migliori tecnologie oggi disponibili, ma anche di supportare sviluppo di nuove soluzioni quali l'utilizzo di idrogeno, i biocombustibili, la cattura trasporto e stoccaggio (CCUS) della CO<sub>2</sub>, e il passaggio dagli utilizzi dei combustibili fossili alla energia elettrica per i principali impianti produttivi ad alto assorbimento energetico, quali, per il settore della fonderia, sono i forno fusori.

Incremento della produzione di energia da fonti rinnovabili, miglioramento dell'efficienza energetica e ampliamento dei processi di economia circolare, rappresentano le leve, oggi disponibili, da utilizzare per il raggiungimento degli obiettivi di breve periodo, in attesa che si sviluppino e consolidino le tecnologie "innovative" (idrogeno, CCUS) Dallo studio, in particolare, emerge come l'obiettivo della decarbonizzazione dei settori *Hard to Abate* possa essere raggiunto esclusivamente attraverso un insieme diversificato di soluzioni.

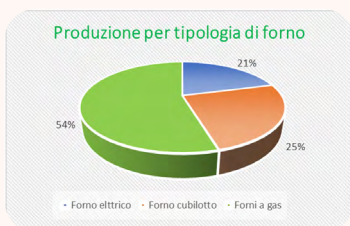
Efficienza energetica, economia circolare, combustibili low carbon, cattura della CO<sub>2</sub>, combustibili “verdi” (idrogeno e biometano) ed elettrificazione, rappresentano, gli elementi di un piano di azione congiunto che, se implementati in maniera integrale, potrebbero – secondo il citato studio - portare alla riduzione delle emissioni dirette previste fino al 40% entro il 2030. Lo studio, inoltre, segnala come per raggiungere gli obiettivi al 2050, occorra sfruttare a pieno il potenziale delle tre leve più “innovative”: cattura della CO<sub>2</sub>, elettrificazione e combustibili “verdi”, leve che da sole potrebbero garantire il 70-80% di riduzione delle emissioni totali dei settori “Hard to Abate” analizzati.

#### IL SETTORE DELLA FONDERIA

La necessità di individuare i possibili percorsi che il settore può seguire allo scopo di perseguire gli obiettivi di decarbonizzazione dei propri processi, riducendo le emissioni dirette di CO<sub>2</sub>, richiede un’analisi più dettagliata.

Dagli approfondimenti svolti sulle diagnosi energetiche realizzate nel 2018 dalle imprese del settore, sono emerse indicazioni circa la struttura dei consumi energetici delle fonderie; sono rilevanti, soprattutto, i dati relativi ai vettori energetici utilizzati, in particolare per la fase di fusione che, come già indicato, assorbe dal 65% al 70% dei consumi totali dell’impresa.

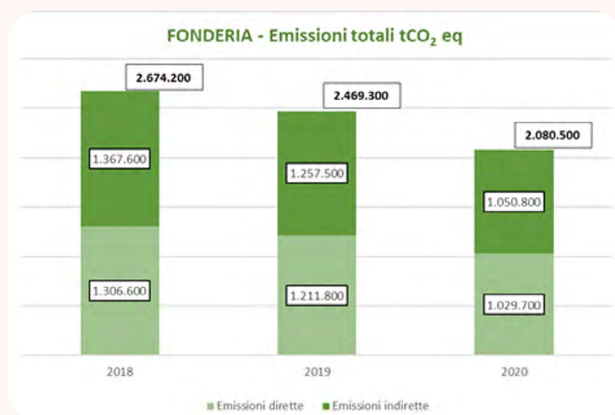
Nelle fonderie di metalli ferrosi (acciaio e ghisa) la fusione viene effettuata con forni cubilotto che utilizzano coke, con forni rotativi con bruciatori ossi-metano, e con forni elettrici a induzione o ad arco. Le fonderie di metalli non ferrosi utilizzano, prevalentemente, forni a gas. Sul totale della produzione italiana di getti, il 25% è realizzato utilizzando coke, il 54% utilizzando gas (principalmente metano) e il restante 21% utilizzando energia elettrica.



*Produzione di getti ripartita per le varie tipologie di forni fusori.*

Lo studio sui settori *Hard to Abate*, nel prospettare i possibili interventi di riduzioni delle emissioni del settore Fonderia, partendo dalla situazione tecnico produttiva della fonderia italiana oggi fotografata, ha individuato le “leve” disponibili, applicabili nel breve (da qui al 2030) e nel medio-lungo periodo (al 2050), e prospettato il quadro dei contributi che il settore fonderia può dare al processo di decarbonizzazione valutando, allo stesso tempo, i costi per tonnellata di CO<sub>2</sub>eq. risparmiata.

Delle “leve” per l’abbattimento delle emissioni dirette, potenzialmente disponibili individuate per i settori oggetto di studio, (economia circolare, efficienza energetica, energie rinnovabili, switch combustibili, idrogeno *low-carbon*, cattura/stoccaggio/utilizzo della CO<sub>2</sub>), oltre alla razionalizzazione dei consumi energetici, solo due sono utilizzabili nella pratica nelle fonderie: l’impiego di biocombustibili in sostituzione del metano nei forni a gas (nella produzione di ghisa e metalli non ferrosi) e la sostituzione dei forni alimentati con combustibili fossile (coke, metano), con forni elettrici.



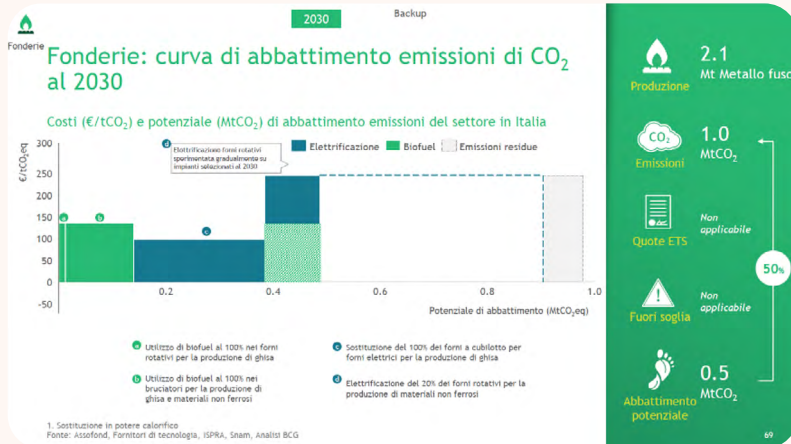
*Emissioni totali di CO<sub>2</sub>eq. prodotte dal settore delle fonderie.*

Del milione di tonnellate di emissioni dirette di CO<sub>2</sub>eq che il settore attualmente produce, al 2030 sarà possibile raggiungere un obiettivo di riduzione dell’ordine del 50%, con un costo stimato pari a 125 milioni di euro, attraverso una prima fase di passaggio da metano a metano “verde”, nei forni a gas, per poi passare a investimenti in nuovi forni elettrici in sostituzione dei cubilotti e di parte (20%) dei forni a gas (rotativi e di altro tipo in uso per la produzione di leghe non ferrose).

## Le leve per l'abbattimento delle emissioni di CO<sub>2</sub>

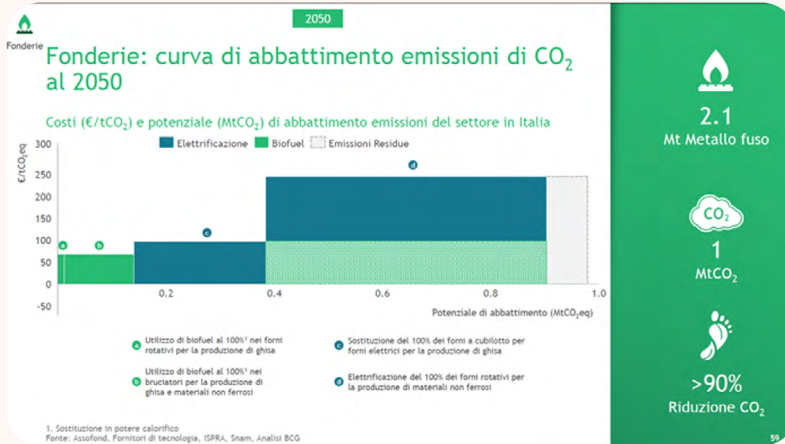


## Scenario emissioni di CO<sub>2</sub> del settore fonderie al 2030.



Il completamento della sostituzione del restante 80% di forni a combustibile con forni elettrici consentirà di raggiungere al 2050 livelli di riduzione delle emissioni dirette pari al 90% di quelle attuali.

## Scenario emissioni di CO<sub>2</sub> del Settore fonderie al 2050.



### IL PERCORSO VERSO L'ELETTRIFICAZIONE DEL SETTORE

In relazione alla struttura delle imprese del settore nel nostro Paese, lo strumento attraverso il quale potere realizzare gli obiettivi di decarbonizzazione richiesti è sostanzialmente “l’elettrificazione” delle imprese.

La sostituzione dell’attuale parco forni che opera utilizzando vettori energetici quali coke e metano con forni elettrici richiederà non solo uno sforzo economico importante, che dovrà necessariamente essere supportato da appositi strumenti finanziari e/o fiscali, ma necessiterà anche di interventi per rendere disponibile la quantità di energia elettrica necessaria; al riguardo, lo studio stima che al 2030 il fabbisogno di energia elettrica dei settori *Hard to Abate* sarà pari a 64 TWh, di cui circa il 40% “verde”.

Perché il processo di elettrificazione sia sostenibile, inoltre, saranno necessari importanti interventi normativi finalizzati a rendere competitivo il prezzo dell’energia elettrica che attualmente, nel nostro Paese, registra un importante divario di prezzo rispetto ai partner europei, anche a causa di differenti regimi gestionali degli oneri legati, ad esempio, ai costi indiretti dell’energia.



Attualmente il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) definito dal Governo, prevede specifici progetti finalizzati alla promozione della transizione ecologica ed energetica, in ottica di decarbonizzazione; il “pilastro” della transizione verde presente nel piano, discende direttamente dallo *European Green Deal* e dagli obiettivi di decarbonizzazione posti dalla UE.

Il Piano ha fra i propri obiettivi quello di rendere il sistema italiano più sostenibile nel lungo termine, tramite la progressiva decarbonizzazione di tutti i settori; quest’obiettivo implica di accelerare l’efficientamento energetico, incrementando la quota di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili, e di avviare la graduale decarbonizzazione dell’industria, puntando ad un incremento di soluzioni basate sull’idrogeno.

Gli impegni di decarbonizzazione che l’Europa ha sottoscritto e che la vedono protagonista delle sfide ambientali che oggi l’intero pianeta deve affrontare, nel contrasto dei cambiamenti climatici, necessitano di profonde trasformazioni anche dell’industria che, in relazione al ruolo che svolge per la crescita economica e sociale della società, deve potere contare su tutti i necessari supporti tecnici, normativi, e finanziari, che la possano traghettare verso i nuovi obiettivi di sostenibilità.

a cura dei Servizi Tecnici  
ASSOFOND







ANALISI  
DEGLI INTERVENTI

9

## 9. Analisi degli interventi

### 9.1 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.

L'applicazione della metodologia ha consentito di produrre schede settoriali per i diversi ATECO a 6 cifre esaminati: dopo un inquadramento generale del settore, esse forniscono i risparmi energetici da interventi effettuati e individuati, per tipologia di vettore energetico, in termini di energia finale o primaria a seconda dell'area di intervento. Sono forniti anche indicatori di natura economica, relativi a investimenti totali e medi per area di intervento, distribuzione degli interventi per classe di tempo di ritorno e costo efficacia, cioè il costo di risparmiare un tep di energia finale o primaria per ogni area di intervento.

Le schede settoriali hanno il duplice scopo di monitorare i risparmi energetici conseguiti e potenziali, rapportandoli anche ai consumi totali, elettrici e termici, e di fornire informazioni utili agli operatori del settore e ai policy makers, affiancando le informazioni di risparmio energetico anche ad indicatori di natura economica.

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 52*<sup>13</sup>.
2. Individuazione degli indicatori di interesse, così elencabili:
  - ↳ risparmio totale di energia finale;

<sup>13</sup> L'elenco di interventi riportato 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.

- ↳ 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 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 52 - Aree di classificazione degli interventi e relativa descrizione.

Area di intervento	Descrizione
Altro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interventi non altrove classificati.</li> <li>• Interventi di natura mista, appartenenti a diverse categorie (per esempio la riqualificazione globale, con interventi ricadenti nelle aree Climatizzazione, Involucro edilizio e Illuminazione).</li> </ul>
Aria compressa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sostituzione di compressori.</li> <li>• Ricerca ed eliminazione delle perdite.</li> <li>• Installazione di sistemi di misura.</li> <li>• Ottimizzazione degli impianti.</li> <li>• Installazione di <i>inverter</i>.</li> </ul>
Aspirazione	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sostituzione di motori usati per aspirazione con nuovi di categoria più efficiente (IE3 o superiore).</li> <li>• Installazione di <i>inverter</i>.</li> <li>• Ottimizzazione degli impianti.</li> </ul>
Centrale termica/ Recuperi termici	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sostituzione dell'impianto di generazione calore con modelli più efficienti.</li> <li>• Recupero termico, tra cui anche sistemi ORC.</li> <li>• Sostituzione dei bruciatori.</li> </ul>
Climatizzazione	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sostituzione dell'impianto di riscaldamento e/o raffrescamento con modelli più efficienti.</li> </ul>
Cogenerazione/ Trigenerazione	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installazione di un impianto di cogenerazione o trigenerazione.</li> <li>• Miglioramento di impianti esistenti.</li> </ul>
Freddo di processo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sostituzione di gruppi frigo.</li> <li>• Sostituzione di ventilatori di raffreddamento.</li> <li>• Ottimizzazione della gestione.</li> </ul>
Generale/Gestionale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduzione o miglioramento del sistema di monitoraggio dei consumi.</li> <li>• Interventi di tipo organizzativo, come lo spegnimento programmato nelle ore notturne o nel weekend.</li> <li>• Corsi di formazione in ambito efficienza energetica.</li> <li>• Adozione della certificazione ISO 50001.</li> <li>• Installazione di contatori.</li> <li>• Adozione di nuovi strumenti <i>software</i>.</li> <li>• Interventi di natura comportamentale.</li> </ul>

Area di intervento	Descrizione
Illuminazione	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduzione di LED in aree specifiche.</li> <li>• <i>Revamping</i> dello stabilimento.</li> <li>• Installazione di rilevatori di presenza.</li> </ul>
Impianti elettrici	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installazione di un sistema <i>power quality</i>.</li> <li>• Sostituzione di trasformatori.</li> <li>• Installazione di economizzatori di rete.</li> </ul>
Involucro edilizio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rifacimento del cappotto esterno.</li> <li>• Coibentazione della copertura.</li> <li>• Installazione o sostituzione di schermature solari.</li> <li>• Sostituzione degli infissi.</li> </ul>
Linee produttive	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interventi relativi ai processi nell'area attività principale, come ad esempio:</li> <li>• Sostituzione del forno fusorio.</li> <li>• <i>Revamping</i> dello stabilimento.</li> <li>• Ottimizzazione della gestione dei forni.</li> <li>• Interventi sui nastri trasportatori.</li> <li>• Sostituzione dei carica batteria carri ponte.</li> </ul>
Motori elettrici/ <i>Inverter</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sostituzione di motori elettrici con nuovi di categoria più efficiente (IE3 o superiori).</li> <li>• Installazione di <i>inverter</i>.</li> </ul>
Produzione da fonti rinnovabili	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installazione di un impianto fotovoltaico, solare termico o di una centrale a biomassa.</li> </ul>
Rifasamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rifasamento degli impianti.</li> <li>• Installazione di nuovi rifasatori.</li> </ul>
Trasporti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mobilità elettrica e altri interventi di conversione del parco veicoli con modelli a maggiore efficienza.</li> <li>• Corsi di formazione su <i>eco-driving</i>.</li> </ul>
Reti di distribuzione	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ricerca delle perdite di distribuzione.</li> <li>• Verifica dello stato della rete vapore.</li> <li>• Verifica delle coibentazioni nella rete di trasporto calore.</li> <li>• Sostituzione di scaricatori di condensa.</li> </ul>



## 9.2 Risultati complessivi

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, su tutti i comparti, 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). 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; Riparazione di autoveicoli e motocicli) arrivano a rappresentare circa la metà del totale degli interventi complessivi individuati. La Divisione Ateco 24, Metallurgia, è la sesta in ordine decrescente di importanza, con una quota pari al 5,5% del totale (1.688 interventi).

### 9.3 Risultati per il settore delle fonderie

Per il settore fonderie sono state esaminate le diagnosi di quattro codici Ateco<sup>13</sup> per integrare e, ove necessario, correggere le informazioni relative agli interventi caricate sul portale, come da step 7 della metodologia descritta nel capitolo precedente. L'esito di questa analisi è stato la produzione delle schede in Appendice, che contengono tabelle e grafici di sintesi degli indicatori calcolati, di cui è riportata un'idea della struttura in *Figura 42*. Le tabelle relative agli interventi sono proposte anche relativamente agli interventi individuati e in questo caso l'analisi è corredata da informazioni relative al tempo di ritorno semplice, elaborate per classi e combinate con i valori cumulati di risparmio potenziale e investimenti corrispondenti. Per gli interventi individuati è inoltre riportato un diagramma a bolle che combina l'informazione del costo efficacia medio dei risparmi di energia finale, rappresentato dalla dimensione della bolla, con il tempo di ritorno medio e l'investimento medio riportati rispettivamente in ascissa e ordinata. Infine sono inclusi, per gli interventi effettuati ed individuati, i grafici di Pareto con la distribuzione degli interventi e l'indicazione dei primi cinque per valore dei risparmi di energia finale o primaria, a seconda dell'area di intervento coinvolta.

---

<sup>13</sup> 24.51.00 - Fusione di ghisa e produzione di tubi e raccordi in ghisa, 24.52.00 – Fusione di acciaio, 24.53.00 - Fusione di metalli leggeri e 24.54.00 Fusione di altri metalli non ferrosi.

ATECO 24.52.00: FUSIONE DI ACCIAIO		Interventi effettuati	
Inquadramento generale		Interventi effettuati - Investimenti	
Numero diagnosi (siti):	20	N° interventi con informazioni	0
Numero P. IVA:	19	Investimento totale (€)	-
Numero grandi imprese:	5	Investimento medio (€)	-
Numero stadi ISO 50001:	1	Investimento totale (%)	-
Numero siti sottoposti a monitoraggio:	19	Investimento medio (€)	-
Numero medio interventi per sito:	4,1		
Quota di diagnosi contenenti interventi:	100%		
Interventi effettuati			
Numero medio interventi per sito:	1,6		
Quota di diagnosi contenenti interventi:	70%		
N° interventi:	32	Risparmio medio di energia finale per intervento (tep):	13,6
Risparmio annuo di energia elettrica/Consumo totale:	0,0%	Risparmio annuo di energia elettrica/Consumo totale:	4,8%
Risparmio annuo di energia termica/Consumo totale:	0,0%	Risparmio annuo di energia termica/Consumo totale:	2,4%
Risparmio annuo di energia elettrica/Consumo totale:	0,0%	Risparmio annuo di energia elettrica/Consumo totale:	3,8%
Risparmio annuo di energia termica/Consumo totale:	0,0%	Risparmio annuo di energia termica/Consumo totale:	2,4%
Interventi effettuati			
Area di intervento	N° interventi		
Aria compressa	7		
Aspirazione	2		
Generale	2		
Illuminazione	10		
Linee produttive	8		
Motori elettrici/Inverter	2		
Rifasamento	1		
Totale	32		
Interventi individuali			
Area di intervento	N° interventi		
Aria compressa	11		
Aspirazione	5		
Centrale termica/Recupero termici	3		
Generale	1		
Climatizzazione	1		
Cogenerazione/Trasmissione	1		
Generale	13		
Illuminazione	10		
Impianti elettrici	1		
Involucro edificio	1		
Linee produttive	9		
Motori elettrici/Inverter	13		
Produzione da fonti rinnovabili	8		
Rifasamento	2		
Trasporti	1		
Totale	81		

Interventi effettuati - Investimenti		Interventi effettuati - Costo efficacia	
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Investimento totale (€)	Costo efficacia (€/tep di energia finale)
Aria compressa	0	-	-
Aspirazione	0	-	-
Generale	1	20.000,0	0
Illuminazione	3	138.000,0	0
Linee produttive	3	155.800,0	27.047,5
Motori elettrici/Inverter	1	790,0	0
Rifasamento	0	-	-
Totale	8	314.590,0	27.047,5

Interventi effettuati - Risparmi di energia finale		Interventi effettuati - Risparmi per tipologia	
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Risparmio annuo totale (tep/anno)	Risparmio annuo di energia elettrica (tep/anno)
Aria compressa	0	-	-
Aspirazione	0	-	-
Generale	0	-	-
Illuminazione	2	2,2	0,0
Linee produttive	0	-	-
Motori elettrici/Inverter	0	-	-
Rifasamento	0	-	-
Totale	2	2,2	0,0

Interventi effettuati - Risparmi di energia finale		Interventi effettuati - Risparmi per tipologia	
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Risparmio annuo totale (tep/anno)	Risparmio annuo di energia elettrica (tep/anno)
Aria compressa	0	-	-
Aspirazione	0	-	-
Generale	0	-	-
Illuminazione	2	2,2	0,0
Linee produttive	0	-	-
Motori elettrici/Inverter	0	-	-
Rifasamento	0	-	-
Totale	2	2,2	0,0

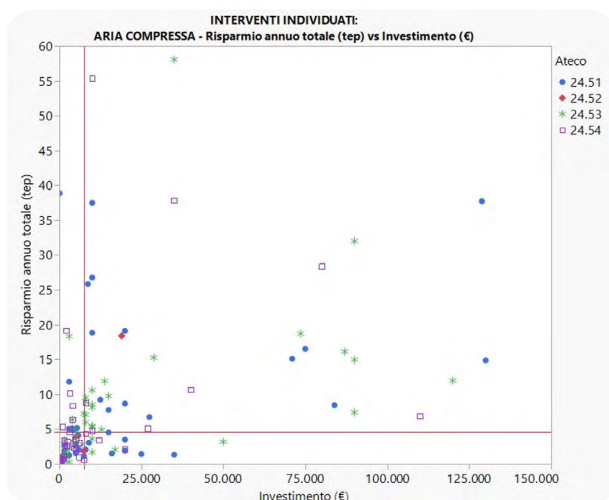
Risparmi per tipologia

Risparmio totale e medio per intervento

Risparmio rispetto ai consumi (totale, elettrico, termico)

Figura 42 – Sezioni della scheda interventi

A partire dalle informazioni raccolte nelle schede elaborate per i 4 codici Ateco esaminati, può essere 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 43* viene rappresentata l'aria compressa, un'area di intervento trasversale, che rappresenta quote tra il 14% e il 17% degli interventi individuati nei codici Ateco esaminati<sup>13</sup>.



*Figura 43 – Costo efficacia degli interventi effettuati e individuati nella categoria Aria compressa.*

Di seguito sono proposti due ulteriori grafici sul costo efficacia, di confronto degli interventi individuati tra diversi gruppi Ateco. La *Figura 44*, relativa agli interventi nell'area Generale/Gestionale, mostra un quadrante di interventi efficaci 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 45* 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.

<sup>13</sup> Prendendo a riferimento le diagnosi pervenute a ENEA da parte di tutti i codici Ateco, l'aria compressa rappresenta il 17% sul totale degli interventi individuati.

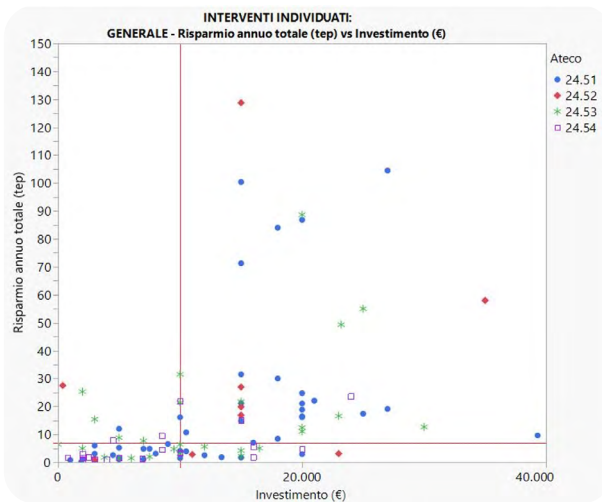
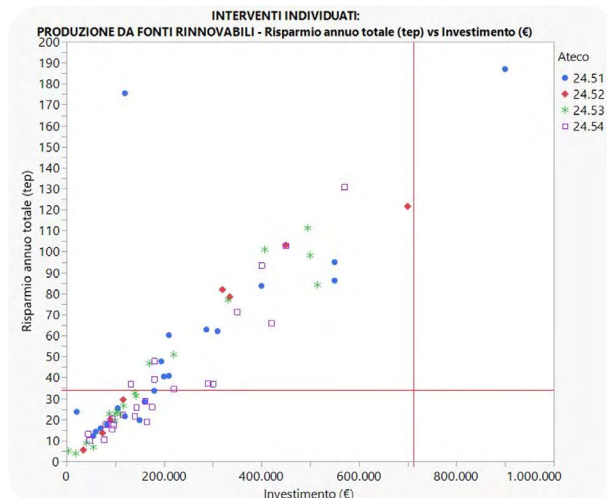


Figura 44 – Costo efficacia degli interventi individuati nell'area Generale e/o Gestionale.

Figura 45 – Costo efficacia degli interventi individuati nell'area Produzione da fonti rinnovabili.



Nell'Ateco 24.51.00 - Fusione di Ghisa e produzione di tubi e raccordi in Ghisa, l'analisi delle diagnosi energetiche ha consentito, oltre che di integrare e correggere le informazioni relative agli interventi caricati a portale, di aggiungere 81 interventi effettuati e 74 interventi individuati, arricchendo quindi il campione esaminato.

Gli interventi effettuati sono 146, con la quota maggiore di interventi, pari al 26%, relativa all'area Illuminazione, seguita da Linee produttive (19%) e poi da Aria compressa (15%) e Generale (12%). I risparmi di energia finale conseguiti sono disponibili per 38 interventi e pari a 1.540 tep/anno: l'area Linee produttive

risulta associata a un terzo dei risparmi (512 tep/anno), seguita da Aria compressa (13%, 202 tep/anno). Un intervento nell'area Altro copre il 43% dei risparmi totali, trattandosi di un intervento di ammodernamento di un intero stabilimento. L'informazione sui risparmi conseguiti è disponibile anche per un intervento nell'area Produzione da fonti rinnovabili, associato a 99 tep/anno di risparmio di energia primaria.

È stato possibile esaminare gli investimenti per 47 interventi, associati ad un investimento complessivo di quasi 4,8 milioni di Euro. La quota maggiore degli investimenti è relativa all'area Linee produttive (47% del totale), seguita da Aria compressa (27%).

Sulla base delle informazioni descritte sopra, è stato possibile calcolare il costo efficacia dei risparmi di energia finale, per 34 interventi: l'area con il migliore costo efficacia, nella quale il costo di risparmiare un tep di energia finale è minore, risulta essere Generale, dove sono presenti due interventi con un valore medio dell'indicatore particolarmente basso (670 Euro/tep); anche l'area Centrale Termica/Recuperi termici presenta un costo efficacia basso ma relativo ad un solo intervento, molto specifico del sito produttivo in esame.

Il numero degli interventi individuati è superiore a quello degli interventi effettuati, essendo pari a 380 interventi. Le aree di intervento prevalenti sono suddivise in due gruppi: Generale, Aria compressa e Illuminazione, con quote tra il 15% e il 14% del totale, seguite da Motori elettrici/Inverter, Aspirazione e Linee produttive, con quote tra l'11% e il 12%. Il risparmio potenziale di energia finale, disponibile per 310 interventi e pari a 7.270 tep/anno, risulta maggiore per l'area Linee produttive (35% del totale, pari a 2.562 tep/anno), seguita da Centrale termica/Recuperi termici con il 26% del totale (circa 1.928 tep/anno). L'informazione sui risparmi potenziali è disponibile anche per 28 interventi nelle aree Cogenerazione/Trigenerazione e Produzione da fonti rinnovabili, associati a 7.642 tep/anno di risparmio di energia primaria.

L'investimento, disponibile per 344 interventi, è pari in totale a circa 40,5 milioni di Euro, e risulta maggiore per l'area Produzione da fonti rinnovabili (34% del totale), seguita da Linee produttive (22%) e Centrale termica/Recuperi termici (14%).

Sulla base di queste informazioni è stato calcolato il costo efficacia per 301 interventi con risparmi di energia finale. L'area di intervento con il migliore costo efficacia è Generale (2.632 Euro/tep), seguita da Aria compressa (3.836 Euro/tep).

Inoltre, è stata svolta l'analisi di 339 interventi per cui è stato riportato in diagnosi il tempo di ritorno semplice, rappresentativi di circa il 96% degli interventi associati a risparmi di energia finale. Risultano prevalenti le classi intermedie, con tempo di ritorno tra 3 e 5 anni e tra 5 e 10 anni, rispettivamente con il 25% e 29% del totale. La realizzazione degli interventi individuati con tempo di ritorno fino a 3 anni (131 interventi) implicherebbe il conseguimento di circa il 33% del risparmio annuo di energia finale (4,9 ktep/anno), a fronte di un investimento complessivo pari a circa 5,7 milioni di Euro (15% degli investimenti totali).

Nell'Ateco **24.52.00 – Fusione di Acciaio** l'analisi delle diagnosi energetiche ha consentito, oltre che di integrare e correggere le informazioni relative agli interventi caricati a portale, di aggiungere 23 interventi effettuati e 28 interventi individuati.

Gli interventi effettuati sono 32, con un terzo degli interventi relativi all'area Illuminazione, seguita da Linee produttive e Aria compressa con circa un quarto ciascuna. I risparmi di energia finale conseguiti sono disponibili soltanto per due interventi e risultano quindi trascurabili.

È stato possibile esaminare gli investimenti per 8 interventi, associati ad un investimento complessivo di circa 314.000 Euro. L'area Linee produttive rappresenta la metà degli investimenti, con l'altra metà quasi interamente coperta da Illuminazione.

Sulla base delle informazioni descritte sopra, è stato possibile calcolare il costo efficacia dei risparmi di energia finale soltanto per due interventi relativi a Illuminazione.

Il numero degli interventi individuati è superiore a quello degli interventi effettuati, essendo pari a 81 interventi. Le aree di intervento prevalenti risultano essere Generale e Motori elettrici/Inverter, con il 16% degli interventi, seguite da Aria compressa e Illuminazione, tra il 12% e il 13% del totale. Il risparmio potenziale di energia finale, disponibile per 48 interventi e pari a 1.103 tep/anno, risulta maggiore per l'area Linee produttive (35% del totale, pari a 392 tep/anno), seguita dalle aree Generale (26%, 285 tep/anno) e Centrale termica/Recuperi termici (18%, 203 tep/anno). L'informazione sui risparmi potenziali è disponibile anche per 8 interventi nell'area Produzione da fonti rinnovabili, associati a 553 tep/anno di risparmio di energia primaria.

L'investimento, disponibile per 53 interventi, è pari in totale a circa 4,8 milioni

di Euro e risulta per quasi metà relativo all'area Produzione da fonti rinnovabili (44% del totale); l'area Centrale termica/Recuperi termici è la seconda per importanza, rappresentando l'11% del totale.

Sulla base di queste informazioni è stato calcolato il costo efficacia per 45 interventi con risparmi di energia finale. L'area di intervento con il migliore costo efficacia è Climatizzazione (810 Euro/tep), seguita da Aria compressa e Generale, con valori inferiori a 2.000 Euro/tep.

Inoltre, è stata svolta l'analisi di 44 interventi per cui è stato riportato in diagnosi il tempo di ritorno semplice, rappresentativi di circa il 61% degli interventi associati a risparmi di energia finale. La classe con tempo di ritorno tra 5 e 10 risulta essere prevalente, con il 39% degli interventi. La realizzazione degli interventi individuati con tempo di ritorno fino a 3 anni (14 interventi) implicherebbe il conseguimento di circa il 32% del risparmio annuo di energia finale (0,3 ktep/anno), a fronte di un investimento complessivo pari a circa 203.000 Euro (8% degli investimenti totali).

Nei due Ateco, **24.53.00 - Fusione di metalli leggeri** e **24.54.00 Fusione di altri metalli non ferrosi**, l'analisi delle diagnosi energetiche ha consentito, oltre che di integrare e correggere le informazioni relative agli interventi caricati a portale, di aggiungere 97 interventi effettuati e 145 interventi individuati, arricchendo quindi il campione esaminato.

Gli interventi effettuati sono 192, con la quota maggiore di interventi, pari al 25%, relativa all'area Illuminazione, seguita da Linee produttive (21%) e poi da Aria compressa (16%). I risparmi di energia finale conseguiti sono disponibili per 42 interventi e pari a 1.250 tep/anno: l'area Linee produttive risulta associata a più di metà dei risparmi (56% del totale, pari a 704 tep/anno), seguita da Illuminazione (14%, 171 tep/anno) e poi da Aria compressa (11%, 137 tep/anno). L'informazione sui risparmi conseguiti è disponibile anche per un intervento nell'area Produzione da fonti rinnovabili, associato a 30 tep/anno di risparmio di energia primaria.

È stato possibile esaminare gli investimenti per 56 interventi, associati ad un investimento complessivo di circa 8 milioni di Euro. La quota maggiore degli investimenti è di gran lunga relativa all'area Linee produttive (62% del totale), seguita da Illuminazione (12%).

Sulla base delle informazioni descritte sopra, è stato possibile calcolare il costo efficacia dei risparmi di energia finale, per 34 interventi: l'area con il migliore costo efficacia, nella quale il costo di risparmiare un tep è di energia finale



è minore, risulta essere Climatizzazione (2.890 Euro/tep), seguita da Aria compressa (3.470 Euro/tep).

Il numero degli interventi individuati è superiore a quello degli interventi effettuati, essendo pari a 580 interventi. Le aree di intervento prevalenti risultano essere Generale, con il 18% degli interventi, e Aria compressa, con il 17% del totale. Di importanza rilevante anche le aree Motori elettrici/Inverter e Produzione da fonti rinnovabili, rispettivamente con il 10% e 9% del totale. Il risparmio potenziale di energia finale, disponibile per 390 interventi e pari a 4.986 tep/anno, risulta maggiore per l'area Generale (22% del totale, pari a 1.114 tep/anno), seguita dalle aree Aria compressa e Linee produttive, entrambe rappresentative del 19% del totale (circa 940 tep/anno). L'informazione sui risparmi potenziali è disponibile anche per 56 interventi nelle aree Cogenerazione/Trigenerazione e Produzione da fonti rinnovabili, associati a 15.476 tep/anno di risparmio di energia primaria. L'investimento, disponibile per 452 interventi, è pari in totale a circa 39,3 milioni di Euro, e risulta maggiore per le aree Produzione da fonti rinnovabili (32% del totale) e Cogenerazione/Trigenerazione (28%), seguite da Linee produttive (11%).

Sulla base di queste informazioni è stato calcolato il costo efficacia per 376 interventi con risparmi di energia finale. L'area di intervento con il migliore costo efficacia è Centrale termica/Recuperi termici (1.206 Euro/tep), seguita da Generale (2.015 Euro/tep) e Aria compressa (3.000 Euro/tep).

Inoltre, è stata svolta l'analisi di 390 interventi per cui è stato riportato in diagnosi il tempo di ritorno semplice, rappresentativi di circa il 75% degli interventi associati a risparmi di energia finale. Le prime due classi, con tempo di ritorno inferiore a un anno e tra 1 e 2 anni, coprono ognuna poco più del 20% del totale; una quota analoga di interventi si trova nella classe con tempo di ritorno tra 3 e 5 anni. La realizzazione degli interventi individuati con tempo di ritorno fino a 3 anni (230 interventi) implicherebbe il conseguimento di circa il 65% del risparmio annuo di energia finale (3 ktep/anno), a fronte di un investimento complessivo pari a circa 3,5 milioni di Euro (23% degli investimenti totali).

Le informazioni contenute nelle schede e sopra sintetizzate possono essere organizzate in tabelle qualitative e quantitative di sintesi. La *Tabella 53* rappresenta la presenza di interventi effettuati e individuati nelle diverse aree per i codici Ateco 24.51.00, 24.52.00, 24.53.00 e 24.54.00. 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 è dipendente dal numero di diagnosi pervenute per il codice Ateco esaminato ma anche dalla qualità delle diagnosi stesse.

	24.51.00	24.52.00	24.53.00 e 24.54.00
<b>Aria compressa</b>	○●	●	○●
<b>Aspirazione</b>	○●	●	○●
<b>Centrale termica/Recuperi termici</b>	○●	●	○●
<b>Climatizzazione</b>	●	●	○●
<b>Cogenerazione/Trigenerazione</b>	●		●
<b>Freddo di processo</b>	○●		●
<b>Generale/Gestionale</b>	○●	●	●
<b>Illuminazione</b>	○●	○●	○●
<b>Impianti elettrici</b>	●	●	○●
<b>Involucro edilizio</b>	●		
<b>Linee produttive</b>	○●	●	○●
<b>Motori elettrici/Inverter</b>	○●	●	○●
<b>Produzione da fonti rinnovabili</b>	○●	●	○●
<b>Rifasamento</b>	●	●	●
<b>Trasporti</b>	●	●	●

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

○
●
■
■
■

Tabella 53 – Quadro di sintesi del numero interventi effettuati ed individuati.

La Tabella 54 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.

	24.51.00	24.52.00	24.53.00 e 24.54.00
<b>Aria compressa</b>	◇		◇
<b>Aspirazione</b>	◇		◇
<b>Centrale termica/Recuperi termici</b>	□		□
<b>Climatizzazione</b>			◇
<b>Cogenerazione/Trigenerazione</b>			
<b>Freddo di processo</b>	◇		
<b>Generale/Gestionale</b>	◇		
<b>Illuminazione</b>	◇	◇	◇
<b>Impianti elettrici</b>			◇
<b>Involucro edilizio</b>			
<b>Linee produttive</b>	◇		◇ □
<b>Motori elettrici/Inverter</b>	◇		◇
<b>Produzione da fonti rinnovabili</b>	◇		◇
<b>Rifasamento</b>			
<b>Trasporti</b>			

interventi effettuati con risparmi di energia elettrica  
 interventi effettuati con risparmi di energia termica  
 se risparmi elettrici > 50 tep  
 se risparmi termici > 50 tep  
 se risparmi elettrici e termici > 50 tep

◇
□

Tabella 54 – Quadro di sintesi dei risparmi da interventi effettuati.

In Tabella 55 e Tabella 56 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 e termici attraverso due indicatori per ogni area di intervento:

1. risparmi totali rapportati al consumo elettrico o termico totale del codice Ateco;
2. risparmi medi della specifica area di intervento rapportati al consumo elettrico o termico totale dei codici Ateco.

	RISPARMI TOTALI			RISPARMI MEDI		
	24.51.00	24.52.00	24.53.00 e 24.54.00	24.51.00	24.52.00	24.53.00 e 24.54.00
Aria compressa	202,2 (0,23%)	-	124,1 (0,02%)	14,4 (0,02%)	-	8,3 (0,01%)
Aspirazione	26,6 (0,03%)	-	90,04 (0,13%)	3,0 (0,0%)	-	30,1 (0,04%)
Centrale termica/ Recuperi termici	0,0 (0,00%)	-	0,0 (0,00%)	0,0 (0,00%)	-	0,0 (0,00%)
Climatizzazione	0,0 (0,00%)	-	43,0 (0,06%)	0,0 (0,00%)	-	8,6 (0,01%)
Freddo di processo	9,2 (0,01%)	-	-	9,2 (0,01%)	-	-
Generale/ Gestionale	9,5 (0,01%)	-	-	4,7 (0,01%)	-	-
Illuminazione	79,6 (0,09%)	2,2 (0,02%)	170,8 (0,24%)	3,8 (0,00%)	0,7 (0,01%)	6,8 (0,01%)
Impianti elettrici	-	-	0,6 (0,0%)	-	-	0,6 (0,00%)
Involucro edilizio	-	-	-	-	-	-
Linee produttive	34,0 (0,04%)	-	314,4 (0,45%)	232 (0,0%)	-	15,0 (0,02%)
Motori elettrici / Inverter	6,7 (0,01%)	-	2,2 (0,0%)	2,2 (0,0%)	-	0,5 (0,00%)
Rifasamento	-	-	-	-	-	-
Trasporti	-	-	-	-	-	-

Tabella 55 – Risparmi elettrici da interventi effettuati (tep e %).

	RISPARMI TOTALI			RISPARMI MEDI		
	24.51.00	24.52.00	24.53.00 e 24.54.00	24.51.00	24.52.00	24.53.00 e 24.54.00
Aria compressa	-	-	-	-	-	-
Aspirazione	-	-	-	-	-	-
Centrale termica/ Recuperi termici	25,2 (0,03%)	-	33,3 (0,03%)	25,2 (0,03%)	-	8,3 (0,01%)
Climatizzazione	-	-	-	-	-	-
Freddo di processo	-	-	-	-	-	-
Generale/ Gestionale	-	-	-	-	-	-
Illuminazione	-	-	-	-	-	-
Impianti elettrici	-	-	-	-	-	-
Involucro edilizio	-	-	-	-	-	-
Linee produttive	-	-	258,1 (0,22%)	-	-	12,3 (0,01%)
Motori elettrici / Inverter	-	-	-	-	-	-
Rifasamento	-	-	-	-	-	-
Trasporti	-	-	-	-	-	-

Tabella 56 – Risparmi termici da interventi effettuati (tep e %).

La *Tabella 57* 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.

	24.51.00	24.52.00	24.53.00 e 24.54.00
<b>Aria compressa</b>	◇ □	◇ □	◇ □
<b>Aspirazione</b>	◇	◇	◇
<b>Centrale termica/Recuperi termici</b>	◇	◇ □	◇ □
<b>Climatizzazione</b>	□	□	□
<b>Cogenerazione/Trigenerazione</b>	◇ □		◇ □
<b>Freddo di processo</b>	◇		◇
<b>Generale/Gestionale</b>	◇ □	◇ □	◇ □
<b>Illuminazione</b>	◇	◇	◇ □
<b>Impianti elettrici</b>	◇	◇	◇
<b>Involucro edilizio</b>	□		
<b>Linee produttive</b>	◇ □	◇ □	◇ □
<b>Motori elettrici/Inverter</b>	◇	◇	◇
<b>Produzione da fonti rinnovabili</b>	◇ □	◇	◇
<b>Rifasamento</b>	◇	◇	◇
<b>Trasporti</b>	◇		◇

interventi individuati con risparmi di energia elettrica  
 interventi individuati con risparmi di energia termica

◇
□

*Tabella 57 - Quadro di sintesi dei risparmi da interventi individuati.*

In modo analogo agli interventi effettuati, in *Tabella 58* e *Tabella 59* sono fornite informazioni quantitative relativamente ai risparmi potenziali di energia finale associati agli interventi individuati, per tipologia di risparmio (elettrico o termico) e area di intervento.

	RISPARMI TOTALI			RISPARMI MEDI		
	24.51.00	24.52.00	24.53.00 e 24.54.00	24.51.00	24.52.00	24.53.00 e 24.54.00
Aria compressa	450,4 (0,51%)	11,3 (0,09%)	854,2 (1,21%)	8,7 (0,01%)	1,4 (0,01%)	10,2 (0,01%)
Aspirazione	299,2 (0,34%)	5,5 (0,05%)	264,0 (0,37%)	8,1 (0,01%)	2,8 (0,02%)	8,2 (0,01%)
Centrale termica/ Recuperi termici	571,4 (0,65%)	140,3 (1,15%)	29,4 (0,04%)	40,8 (0,05%)	46,8 (0,38%)	0,8 (0,00%)
Climatizzazione	-	-	-	-	-	-
Freddo di processo	9,7 (0,01%)	-	-	3,2 (0,00%)	-	-
Generale/ Gestionale	407,7 (0,46%)	114,5 (0,93%)	26,3 (0,04%)	8,5 (0,01%)	12,7 (0,10%)	3,8 (0,01%)
Illuminazione	282,2 (0,32%)	52,6 (0,43%)	466,3 (0,66%)	6,0 (0,01%)	5,8 (0,05%)	7,5 (0,01%)
Impianti elettrici	213,5 (0,24%)	18,9 (0,15%)	276,3 (0,39%)	14,2 (0,02%)	18,9 (0,15%)	4,3 (0,02%)
Involucro edilizio	-	-	341,1 (0,48%)	-	-	11,4 (0,02%)
Linee produttive	1.378,9 (0,41%)	235,6 (1,92%)	0,0 (0,00%)	41,8 (0,05%)	58,9 (0,48%)	0,0 (0,00%)
Motori elettrici / Inverter	361,4 (0,41%)	4,0 (0,03%)	460,1 (0,65%)	8,4 (0,01%)	0,4 (0,0%)	17,7 (0,03%)
Reti di distribuzione	-	-	-	-	-	-
Rifasamento	36,7 (0,04%)	0,2 (0,0%)	132,9 (0,19%)	9,2 (0,01%)	0,2 (0,0%)	2,6 (0,0%)
Trasporti	0,4 (0,00%)	-	7,3 (0,01%)	0,4 (0,0%)	-	1,5 (0,0%)

Tabella 58 – Risparmi elettrici da interventi individuati (tep e %).

	RISPARMI TOTALI			RISPARMI MEDI		
	24.51.00	24.52.00	24.53.00 e 24.54.00	24.51.00	24.52.00	24.53.00 e 24.54.00
Aria compressa	-	18,4 (0,11%)	28,7 (0,02%)	-	3,7 (0,02%)	0,4 (0,0%)
Aspirazione	-	-	-	-	-	-
Centrale termica/ Recuperi termici	155,2 (0,19%)	27,2 (0,16%)	732,1 (0,61%)	9,7 (0,01%)	9,1 (0,05%)	20,3 (0,02%)
Climatizzazione	208,0 (0,25%)	2,2 (0,01%)	-	26,0 (0,03%)	2,2 (0,01%)	-
Freddo di processo	-	106,1 (0,63%)	10,6 (0,01%)	0,0 (0,0%)	106,1 (0,63%)	2,6 (0,0%)
Generale/ Gestionale	59,5 (0,07%)	84,9 (0,51%)	-	1,4 (0,00%)	9,4 (0,06%)	-
Illuminazione	-	-	395,3 (0,33%)	-	-	6,7 (0,01%)
Impianti elettrici	-	-	-	-	-	-
Involucro edilizio	5,9 (0,01%)	-	-	5,9 (0,01%)	-	-
Linee produttive	856,6 (1,03%)	156,5 (0,94%)	-	25,2 (0,03%)	39,1 (0,23%)	-
Motori elettrici / Inverter	-	-	367,3 (0,31%)	-	-	14,7 (0,01%)
Reti di distribuzione	-	-	-	-	-	-
Rifasamento	-	-	-	-	-	-
Trasporti	-	-	-	-	-	-

Tabella 59 - Risparmi termici da interventi individuati (tep e %).



## **ALLEGATO A**

**Schede settoriali degli interventi  
effettuati e individuati**

## ATECO 24.51.00

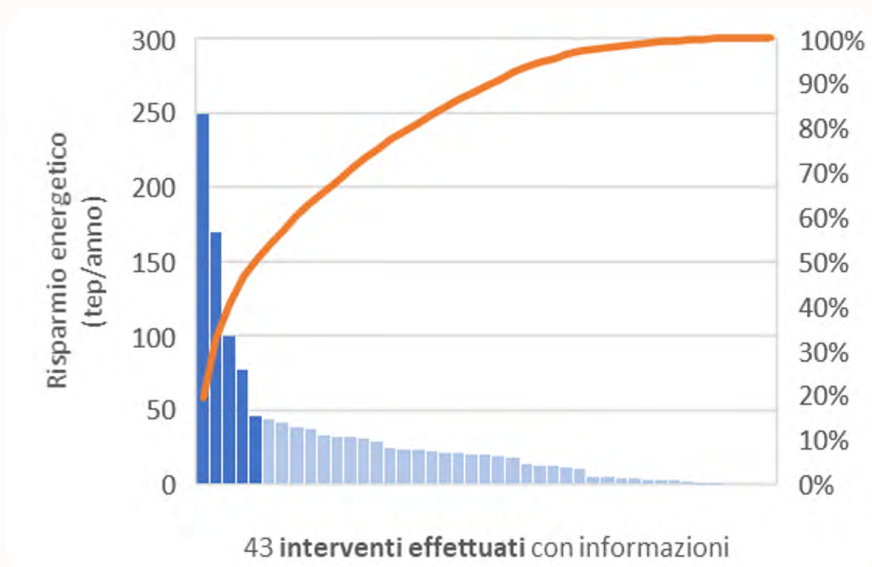
### FUSIONE DI GHISA E PRODUZIONE DI TUBI E RACCORDI IN GHISA

INQUADRAMENTO GENERALE					
Numero diagnosi (siti)			Numero P.IVA		
83			77		
Numero grandi imprese			Numero grandi imprese energivore		
20			71		
Numero siti ISO 50001			Numero siti sottoposti a monitoraggio		
7			71		
INTERVENTI EFFETTUATI			INTERVENTI INDIVIDUATI		
Numero medio interventi per sito		1,7	Numero medio interventi per sito		4,6
Quota di diagnosi contenenti interventi		59%	Quota di diagnosi contenenti interventi		96%
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)
146	1.539,8	10,6	380	7.269,7	19,1
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
0,9%	0,4%	0,0%	4,2%	4,5%	1,5%



ANALISI DEGLI INTERVENTI EFFETTUATI							
AREA INTERVENTI	N° INTERVENTI	INVESTIMENTO				COSTO EFFICACIA	
		N° interventi con informazioni	Investimento totale (€)	Investimento totale (%)	Investimento medio (€)	N° interventi con informazioni	Costo efficacia (€/tep di energia finale)
Altro	1	0	-	-	-	0	-
Aria compressa	22	11	1.293.468,0	27,1%	117.588,0	8	9.329,5
Aspirazione	12	7	545.428,0	11,4%	77.918,3	5	19.565,4
Centrale termica/Recuperi termici	5	1	4.000,0	0,1%	4.000,0	0	-
Climatizzazione	3	0	-	-	-	0	-
Freddo di processo	4	1	13.300,0	0,3%	13.300,0	1	1.453,5
Generale	17	2	8.147,0	0,2%	4.073,5	2	669,4
Illuminazione	38	15	628.168,4	13,1%	41.877,9	12	11.096,9
Impianti elettrici	1	0	-	-	-	0	-
Linee produttive	28	7	2.267.800,2	47,4%	323.971,4	4	21.129,8
Motori elettrici/Inverter	12	3	21.330,2	0,4%	7.110,06	2	2.675,0
Produzioni da fonti rinnovabili	2	0	-	-	-	0	-
Rifasamento	1	0	-	-	-	0	-
<b>Totale</b>	<b>146</b>	<b>47</b>	<b>4.777.111,6</b>	<b>100,0%</b>	<b>73.891,1</b>	<b>34</b>	<b>8.236,4</b>

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	665,4	43,2%	665,4	0,0	0,0	0,0	665,4	
Aria compressa	8	202,2	13,1%	25,3	202,2	0,0	0,0	0,0	
Aspirazione	6	26,6	1,7%	4,4	26,6	0,0	0,0	0,0	
Centrale termica/ Recuperi termici	1	25,2	1,6%	25,2	0,0	25,2	0,0	0,0	
Climatizzazione	0	-	-	-	-	-	-	-	
Freddo di processo	1	9,2	0,6%	9,2	9,2	0,0	0,0	0,0	
Generale	2	12,4	0,8%	6,2	9,5	0,0	0,0	2,9	
Illuminazione	12	79,6	5,2%	6,6	79,6	0,0	0,0	0,0	
Impianti elettrici	0	-	-	-	-	-	-	-	
Linee produttive	5	512,5	33,3%	102,5	34,0	0,0	0,0	478,5	
Motori elettrici/ Inverter	2	6,7	0,4%	3,3	6,7	0,0	0,0	0,0	
Rifasamento	0	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Totale</b>	<b>38</b>	<b>1.539,7</b>	<b>100,0%</b>	<b>94,2</b>	<b>367,6</b>	<b>25,2</b>	<b>0,0</b>	<b>1.143,9</b>	
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	1	99,0	100,0%	99,0	99,0	0,0	0,0	0,0	
<b>Totale</b>	<b>1</b>	<b>99,0</b>	<b>100,0%</b>	<b>99,0</b>	<b>99,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	



Primi 5 interventi effettuati evidenziati:

1. Linee produttive: sostituzione forno fusorio – intervento caso 1.
2. Linee produttive: sostituzione forno fusorio – intervento caso 2.
3. Linee produttive: ottimizzazione carica forni fusione.
4. Aspirazione: regolazione velocità di rotazione aspiratori.
5. Linee produttive: sostituzione forno fusorio– intervento caso 3.

ANALISI DEGLI INTERVENTI INDIVIDUATI									
Area di intervento	N° interventi individuati	INVESTIMENTI				COSTO EFICACIA			
		N° interventi con informazioni	Investimento totale (€)	Investimento totale (%)	Investimento medio (€)	N° interventi con informazioni	Costo efficacia (€/tep di energia primaria)	Tempo di ritorno medio (anni)	
Aria compressa	57	51	1.493.010,0	3,7%	30.469,6	48	3.836,5	3,1	
Aspirazione	42	39	1.808.013,0	4,5%	46.359,3	37	7.047,7	5,9	
Centrale termica / Recuperi termici	18	15	5.793.884,0	14,3%	386.258,9	15	3.459,1	3,9	
Climatizzazione	8	8	244.961,0	0,6%	30.620,1	8	6.252,6	3,8	
Cogenerazione/ Trigenerazione	3	3	3.650.000,0	9,0%	1.216.666,7	-	-	-	
Freddo di processo	3	3	59.800,0	0,2%	19.933,3	3	18.381,1	2,3	
Generale	55	47	609.600,0	1,5%	12.970,2	47	2.632,2	2,2	
Illuminazione	52	49	1.293.069,0	3,2%	26.389,2	47	5.957,1	4,3	
Impianti elettrici	18	17	1.444.107,2	3,6%	84.947,5	14	9.503,4	6,7	
Involucro edilizio	1	1	100.000,0	0,3%	100.000,0	1	17.064,8	20,0	
Linee produttive	45	39	8.821.200,0	21,8%	226.184,6	34	12.714,7	5,1	
Motori elettrici/ Inverter	45	43	1.448.546,0	3,58%	33.687,1	43	6.745,2	6,2	
Produzione da fonti rinnovabili	25	25	13.642.147,0	33,7%	545.685,9	-	-	-	
Rifasamento	7	5	43.625,0	0,1%	8.725,0	3	3.473,6	4,2	
Trasporti	1	1	2.500,0	0,0%	2.500,0	1	5.812,8	4,6	
<b>Totale</b>	<b>380</b>	<b>344</b>	<b>40.454.462,2</b>	<b>100,0%</b>	<b>184.759,8</b>	<b>301</b>	<b>7.913,9</b>	<b>5,6</b>	
COSTO EFFICACIA - ENERGIA PRIMARIA									
Area di intervento	Area di intervento	N° interventi con informazioni	Costo efficacia (€/tep di energia primaria)		Tempo di ritorno medio (anni)				
Cogenerazione/ Trigenerazione	Cogenerazione/ Trigenerazione	3	2.289,6		3,2				
Produzione da fonti rinnovabili	Produzione da fonti rinnovabili	25	4.750,6		10,2				
<b>Totale</b>	<b>Totale</b>	<b>28</b>	<b>3.520,1</b>		<b>6,7</b>				

**ANALISI DEGLI 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	450,4	6,2%	9,0	450,4	0,0	0,0	0,0
Aspirazione	37	299,2	4,1%	8,1	299,2	0,0	0,0	0,0
Centrale termica/ Recuperi termici	17	1.928,2	26,5%	113,4	571,4	155,2	0,0	1.201,7
Climatizzazione	8	208,0	2,9%	26,0	0,0	208,0	0,0	0,0
Freddo di processo	3	9,7	0,1%	3,2	9,7	0,0	0,0	0,0
Generale	48	912,0	12,5%	19,0	407,7	59,5	0,0	444,8
Illuminazione	47	282,2	3,9%	6,0	282,2	0,0	0,0	0,0
Impianti elettrici	15	213,5	2,9%	14,2	213,5	0,0	0,0	0,0
Involucro edilizio	1	5,9	0,1%	5,9	0,0	5,9	0,0	0,0
Linee produttive	37	2.562,1	35,2%	69,2	1.378,9	856,6	0,0	326,5
Motori elettrici/ Inverter	43	361,4	5,0%	8,4	361,4	0,0	0,0	0,0
Rifasamento	3	36,7	0,5%	12,2	36,7	0,0	0,0	0,0
Trasporti	1	0,4	0,0%	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0
<b>Totale</b>	<b>310</b>	<b>7.269,7</b>	<b>100,0%</b>	<b>22,7</b>	<b>4.011,5</b>	<b>1.285,2</b>	<b>0,0</b>	<b>1.973,0</b>

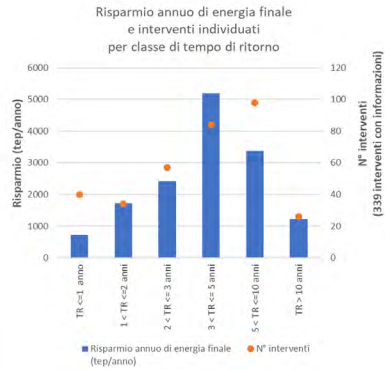
**RISPARMI DI ENERGIA PRIMARIA**

Area di intervento	N° interventi con informazioni	Risparmio annuo totale (tep/anno)	Risparmio annuo totale (%)	Risparmio annuo di energia elettrica (tep/anno)	Risparmio annuo di energia termica (tep/anno)	Risparmio annuo di carburante (tep/anno)	Risparmio annuo di energia termica (tep/anno)	Altri risparmi annui (tep/anno)
Cogenerazione/ Trigenerazione	3	4.956,2	65%	1.652,1	2.842,4	657,4	0,0	1.456,4
Produzione da fonti rinnovabili	25	2.685,6	35%	107,4	2.578,2	5,4	0,0	0,0
<b>Totale</b>	<b>28</b>	<b>7.641,8</b>	<b>100,0%</b>	<b>879,7</b>	<b>5.420,6</b>	<b>662,8</b>	<b>0,0</b>	<b>1.456,4</b>

## ANALISI DEGLI INTERVENTI INDIVIDUATI

### CLASSI DI TEMPO DI RITORNO

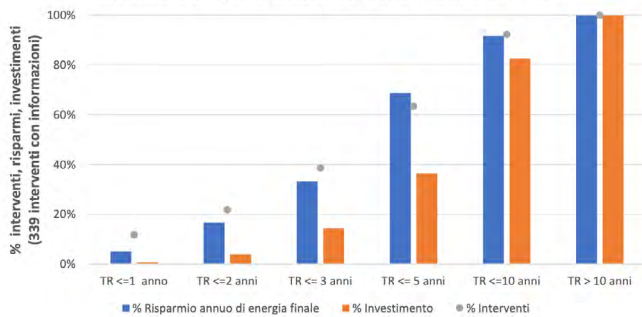
Classe	N° interventi	Risparmio annuo di energia finale (tep/anno)	Investimento (€)
TR <= 1 anno	40	726,1	295.240,0
1 < TR <= 2 anni	34	1.714,5	1.234.781,0
2 < TR <= 3 anni	57	2.423,2	4.133.065,0
3 < TR <= 5 anni	84	5.196,6	8.800.382,3
5 < TR <= 10 anni	98	3.378,2	18.269.739,3
TR > 10 anni	26	1.221,4	6.949.554,7



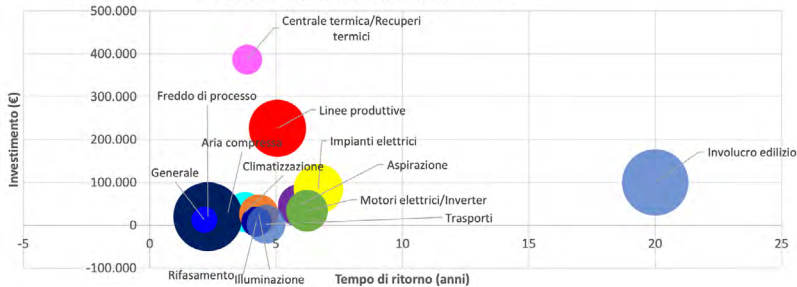
### DISTRIBUZIONE CUMULATA PER CLASSI DI TEMPO DI RITORNO

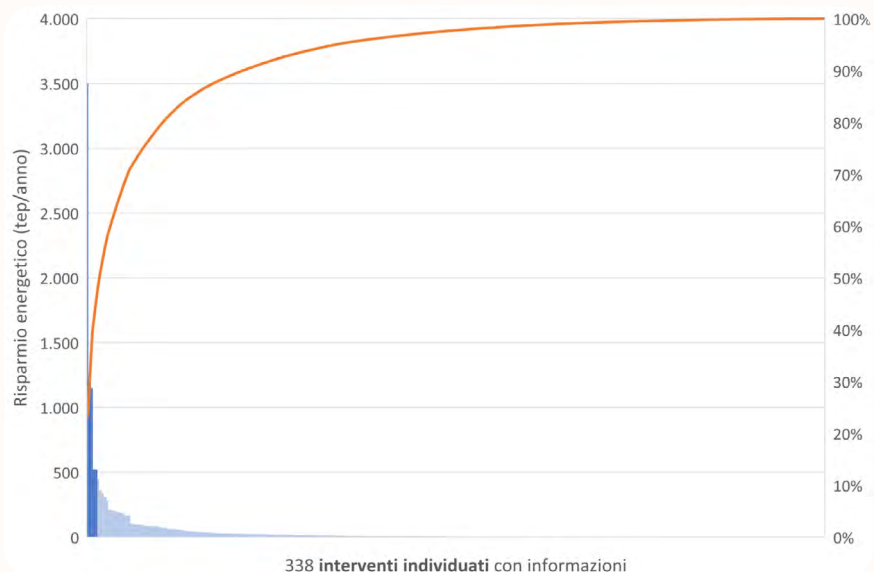
Classi	N° interventi	Interventi %	Risparmio annuo di energia finale (tep/anno)	Risparmio annuo di energia finale (%)	Investimento (€)	Investimento (%)
TR <= 1 anno	40	11,8%	726,1	5,0%	295.240,0	0,7%
TR <= 2 anni	74	21,8%	2.440,6	16,6%	1.530.021,0	3,9%
TR <= 3 anni	131	38,6%	4.863,8	33,2%	5.663.086,0	14,3%
TR <= 5 anni	215	63,4%	10.060,4	68,6%	14.463.468,3	36,4%
TR <= 10 anni	313	92,3%	13.438,6	91,7%	32.733.207,5	82,5%
TR > 10 anni	339	100,0%	14.660,0	100,0%	39.682.762,2	100,0%

Investimenti e risparmi cumulati per classe di tempo di ritorno



24.51.00 - Dimensione bolla = costo efficacia





#### Primi 5 interventi individuati evidenziati:

1. Cogenerazione/Trigenerazione: impianto cogenerazione.
2. Cogenerazione/Trigenerazione: recupero termico cubilotto e cogenerazione con allaccio alla rete di Teleriscaldamento (TLR).
3. Centrale termica/Recuperi termici: recupero termico cubilotto e allaccio alla rete di Teleriscaldamento (TLR).
4. Produzione da fonti rinnovabili: installazione impianto fotovoltaico.
5. Produzione da fonti rinnovabili: fotovoltaico.

**ATECO 24.52.00: FUSIONE DI ACCIAIO**

INQUADRAMENTO GENERALE					
Numero diagnosi (siti)			Numero P.IVA		
20			19		
Numero grandi imprese			Numero grandi imprese energivore		
5			15		
Numero siti ISO 50001			Numero siti sottoposti a monitoraggio		
1			19		
INTERVENTI EFFETTUATI			INTERVENTI INDIVIDUATI		
Numero medio interventi per sito		1,6	Numero medio interventi per sito		4,1
Quota di diagnosi contenenti interventi		70%	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)
32	2,2	0,1	81	1.103,2	13,6
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%	0,0%	-	3,8%	4,8%	2,4%



ANALISI DEGLI INTERVENTI EFFETTUATI							
Area di intervento	N° interventi	INVESTIMENTO				COSTO EFFICACIA ENERGIA FINALE	
		N° interventi con informazioni	Investimento totale (€)	Investimento totale (€)	Investimento medio (€)		
Aria compressa	7	0	-	-	-	0	-
Aspirazione	2	0	-	-	-	0	-
Generale	2	1	20.000,0	6,4%	20.000,0	0	-
Illuminazione	10	3	138.000,0	43,9%	46.000,0	2	27.047,5
Linee produttive	8	3	155.800,0	49,5%	51.933,3	0	-
Motori elettrici/ Inverter	2	1	790,0	0,3%	790,0	0	-
Rifasamento	1	0	-	-	-	0	-
<b>Totale</b>	<b>32</b>	<b>8</b>	<b>314.590,0</b>	<b>100,0%</b>	<b>29.680,8</b>	<b>2</b>	<b>27.047,5</b>

## ANALISI DEGLI 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)
Aria compressa	0	-	-	-	-	-	-	-
Aspirazione	0	-	-	-	-	-	-	-
Generale	0	-	-	-	-	-	-	-
Illuminazione	2	2,2	100,0%	1,1	2,2	0,0	0,0	0,0
Linee produttive	0	-	-	-	-	-	-	-
Motori elettrici/ Inverter	0	-	-	-	-	-	-	-
Rifasamento	0	-	-	-	-	-	-	-
<b>Totale</b>	<b>2</b>	<b>2,2</b>	<b>100,0%</b>	<b>1,1</b>	<b>2,2</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>

ANALISI DEGLI INTERVENTI INDIVIDUATI									
Area di intervento	N° interventi	INVESTIMENTO			COSTO EFFICACIA FINALE				
		N° interventi con informazioni	Investimento totale (€)	Investimento totale (%)	Investimento medio (€)	N° interventi con informazioni	Costo efficacia (€/tep di energia finale)	Tempo di ritorno medio (anni)	
Aria compressa	11	5	33.520,0	0,7%	6.704,0	5	1.673,9	4,6	
Aspirazione	5	2	43.000,0	0,9%	21.500,0	2	9.104,7	5,4	
Centrale termica/ Recuperi termici	3	3	540.000,0	11,3%	180.000,0	3	2.573,1	6,6	
Climatizzazione	1	1	86.000,0	1,8%	86.000,0	1	810,4	9,1	
Cogenerazione/ Trigenerazione	1	0	-	-	-	-	-	-	
Generale	13	9	132.390,0	2,8%	14.710,0	9	1.916,6	2,3	
Illuminazione	10	9	297.250,0	6,2%	33.027,8	9	8.704,6	5,0	
Impianti elettrici	1	1	90.000,0	1,9%	90.000,0	1	4.761,9	3,1	
Involucro edilizio	1	0	-	-	-	0	-	-	
Linee produttive	9	4	1.349.610,0	28,2%	337.402,5	4	3.876,9	4,9	
Motori elettrici/ Inverter	13	9	18.075,9	0,4%	2.008,4	9	7.869,9	5,0	
Produzione da fonti rinnovabili	8	8	2.119.918,0	44,3%	264.989,8	-	-	-	
Rifasamento	2	1	800,0	0,0%	800,0	1	4.705,9	3,1	
Trasporti	1	1	70.000,0	1,5%	70.000,0	1	38.043,5	20,0	
<b>Totale</b>	<b>81</b>	<b>53</b>	<b>4.780.563,9</b>	<b>100,0%</b>	<b>92.261,9</b>	<b>45</b>	<b>7.640,1</b>	<b>6,3</b>	
COSTO EFFICACIA ENERGIA PRIMARIA									
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Costo efficacia (€/tep di energia primaria)	Tempo di ritorno medio (anni)						
Cogenerazione/Trigenerazione	0	-	-						
Produzione da fonti rinnovabili	8	4.812,2	6,6						
<b>Totale</b>	<b>8</b>	<b>4.812,2</b>	<b>6,6</b>						

**ANALISI DEGLI INTERVENTI INDIVIDUATI**

**RISPARMIO 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	7	33,6	3,0%	4,8	11,3	18,4	0,0	3,9
Aspirazione	2	5,5	0,5%	2,8	5,5	0,0	0,0	0,0
Centrale termica/ Recuperi termici	4	203,4	18,4%	50,8	140,3	29,4	0,0	33,7
Climatizzazione	1	106,1	9,6%	106,1		106,1	0,0	0,0
Generale	9	284,9	25,8%	31,7	114,5	84,9	0,0	85,5
Illuminazione	9	52,6	4,8%	5,8	52,6	0,0	0,0	0,0
Impianti elettrici	1	18,9	1,7%	18,9	18,9	0,0	0,0	0,0
Involucro edilizio	0	-	-	-	-	-	-	-
Linee produttive	4	392,2	35,5%	98,0	235,6	156,5	0,0	0,0
Motori elettrici/ Inverter	9	4,0	0,4%	0,4	4,0	0,0	0,0	0,0
Rifasamento	1	0,2	0,0%	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
Trasporti	1	1,8	0,2%	1,8	0,0	0,0	0,0	1,8
<b>Totale</b>	<b>48</b>	<b>1.103,2</b>	<b>100,0%</b>	<b>29,2</b>	<b>582,8</b>	<b>395,4</b>	<b>0,0</b>	<b>124,9</b>

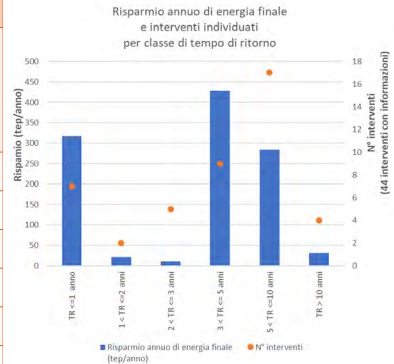
**RISPARMIO DI ENERGIA PRIMARIA**

Area di intervento	N° interventi con informazioni	Risparmio annuo totale (tep/anno)	Risparmio annuo totale (%)	Risparmio annuo di energia elettrica (tep/anno)	Risparmio annuo di energia termica (tep/anno)	Risparmio annuo di carburante (tep/anno)	Risparmio annuo di energia termica (tep/anno)	Altri risparmi annui (tep/anno)
Cogenerazione/ Trigenerazione	0	-	-	-	-	-	-	-
Produzione da fonti rinnovabili	8	453,4	81,0%	56,7	453,4	0,0	0,0	0,0
<b>Totale</b>	<b>8</b>	<b>453,4</b>	<b>81,0%</b>	<b>56,7</b>	<b>453,4</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>

## ANALISI DEGLI INTERVENTI INDIVIDUATI

### CLASSI DI TEMPO DI RITORNO

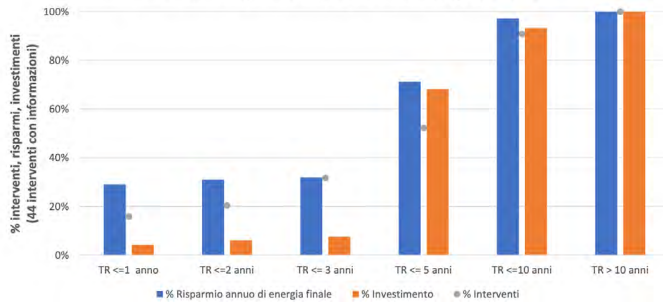
Classi tempo di ritorno	N° interventi	Risparmio annuo di energia finale (tep/anno)	Investimento (€)
TR <= 1 anno	7	317,8	113.520,0
1 < TR <= 2 anni	2	20,8	47.793,8
2 < TR <= 3 anni	5	10,0	41.497,5
3 < TR <= 5 anni	9	428,8	1.611.351,6
5 < TR <= 10 anni	17	284,1	667.045,6
TR > 10 anni	4	30,9	177.937,5



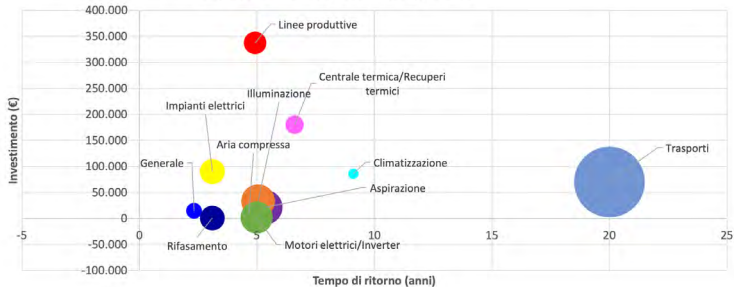
### DISTRIBUZIONE CUMULATA PER CLASSI DI TEMPO DI RITORNO

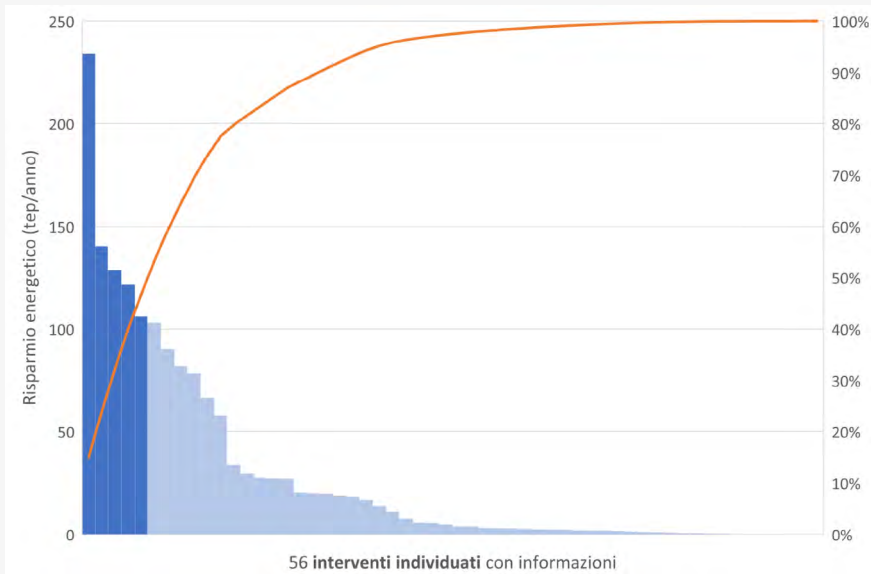
Classe	N° interventi	Interventi %	Risparmio annuo di energia finale (tep/anno)	Risparmio annuo di energia finale %	Investimento (€)	Investimento %
TR <= 1 anno	7	15,9%	317,8	29,1%	113.520,0	4,3%
TR <= 2 anni	9	20,5%	338,6	31,0%	161.313,8	6,1%
TR <= 3 anni	14	31,8%	348,6	31,9%	202.811,3	7,6%
TR <= 5 anni	23	52,3%	777,3	71,2%	1.814.162,8	68,2%
TR <= 10 anni	40	90,9%	1.061,5	97,2%	2.481.208,4	93,3%
TR > 10 anni	44	100,0%	1.092,3	100,0%	2.659.145,9	100,0%

Investimenti e risparmi cumulati per classe di tempo di ritorno



24.52.00 - Dimensione bolla = costo efficacia





**Primi 5 interventi individuati evidenziati:**

1. Linee produttive: installazione di un impianto di gestione del forno fusorio EAF.
2. Centrale termica/Recuperi termici: recupero termico con ORC.
3. Generale: SGE - Sistema Gestione Energia.
4. Produzione da fonti rinnovabili: impianto fotovoltaico da 891,5 kWp.
5. Climatizzazione: pompe di calore.

## ATECO 24.53.00 E 24.54.00

### *FUSIONE DI METALLI LEGGERI E FUSIONE DI ALTRI METALLI NON FERROSI*

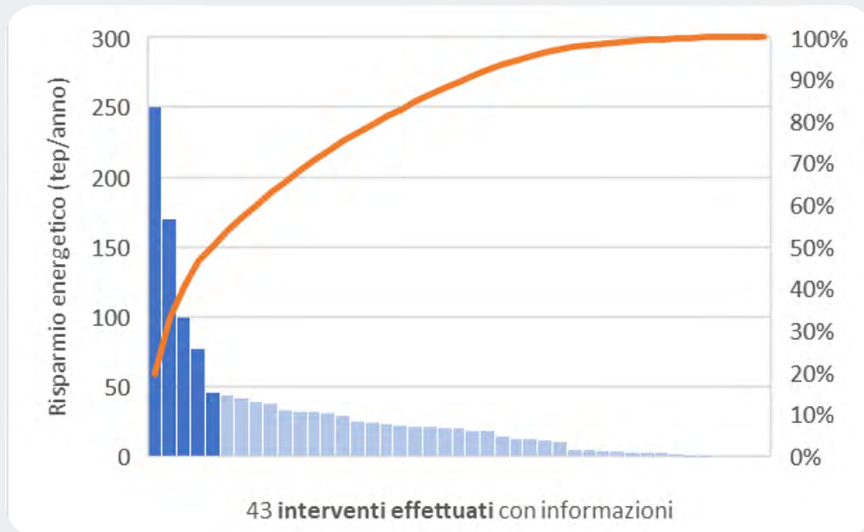
INQUADRAMENTO GENERALE					
Numero diagnosi (siti)			Numero P.IVA		
126			119		
Numero grandi imprese			Numero grandi imprese energivore		
24			106		
Numero siti ISO 50001			Numero siti sottoposti a monitoraggio		
5			72		
INTERVENTI EFFETTUATI			INTERVENTI INDIVIDUATI		
Numero medio interventi per sito		1,5	Numero medio interventi per sito		4,6
Quota di diagnosi contenenti interventi		56%	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)
192	1.250,2	6,5	580	4.986,4	8,6
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%	1,1%	0,2%	2,6%	4,1%	1,3%

ANALISI DEGLI INTERVENTI EFFETTUATI							
Area di intervento	N° interventi individuati	INVESTIMENTO				COSTO EFFICACIA ENERGIA FINALE	
		N° interventi con informazioni	Investimento totale (€)	Investimento totale (%)	Investimento medio (€)	N° interventi con informazioni	Costo efficacia (€/tep di energia finale)
Altro	1	1	83.000,0	1,0%	83.000,0	1	66.180,9
Aria compressa	30	8	497.600,0	6,3%		6	3.477,5
Aspirazione	6	2	121.000,0	1,5%	60.500,0	2	4.779,80
Centrale termica /Recuperi termici	5	2	611.500,0	7,7%	305.750,0	0	-
Climatizzazione	9	2	73.207,6	0,9%	36.603,8	2	2.892,80
Cogenerazione/Trigenerazione	1	0	-	-	-	-	-
Freddo di processo	4	1	15.000,0	0,2%	15.000,0	0	-
Generale	21	6	85.500,0	1,1%	14.250,0	0	-
Illuminazione	49	20	928.798,1	11,7%	46.439,9	14	5.658,30
Impianti elettrici	6	1	3.000,0	0,0%	3.000,0	1	5.416,70
Linee produttive	40	10	4.924.356,0	61,9%	492.435,6	7	9.770,20
Motori elettrici/Inverter	15	2	408.500,0	5,1%	204.250,0	1	3.953,50
Produzione da fonti rinnovabili	1	1	200.000,0	2,5%	200.000,0	-	-
Rifasamento	4	0	-	-	-	0	-
<b>Totale</b>	<b>192</b>	<b>56</b>	<b>7.951.461,73</b>	<b>1,0001</b>	<b>126.952,4</b>	<b>34</b>	<b>12.766,2</b>



**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	1,3	0,10%	1,3	1,3	0	0	0	0
Aria compressa	6	136,8	10,90%	22,8	124,1	0	0	12,7	
Aspirazione	2	90,4	7,20%	45,2	90,4	0	0	0	
Centrale termica/ Recuperi termici	2	77,3	6,20%	38,6	0,0	33,3	0	44	
Climatizzazione	4	66,4	5,30%	16,6	43,0	0	0	23,4	
Freddo di processo	0	-	-	-	-	-	-	-	
Generale	0	-	-	-	-	-	-	-	
Illuminazione	16	170,8	13,70%	10,7	170,8	0	0	0	
Impianti elettrici	1	0,6	0,00%	0,6	0,6	0	0	0	
Linee produttive	9	704,5	56,40%	78,3	314,4	258,1	0	132	
Motori elettrici/ Inverter	1	2,2	0,20%	2,2	2,2	0	0	0	
Rifasamento	0	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Totale</b>	<b>42</b>	<b>1.250,2</b>	<b>100,00%</b>	<b>24,0</b>	<b>746,7</b>	<b>291,4</b>	<b>0,0</b>	<b>212,1</b>	
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	1	29,6	100,0%	29,6	29,6	0	0	0	
<b>Totale</b>	<b>1</b>	<b>29,6</b>	<b>100,0%</b>	<b>29,6</b>	<b>29,6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	



Primi 5 interventi effettuati evidenziati:

1. Linee produttive: sostituzione Forno fusorio HT300 con Forno fusorio Fergal FRCAI020.
2. Linee produttive: sostituzione forno fusorio – intervento caso 1.
3. Linee produttive: inserimento dispositivo laser per ottimizzare carica dei 2 forni fusione.
4. Aspirazione: regolazione velocità di rotazione aspiratori rep. Lavorazione e Fonderie 1-2, tramite algoritmo per comando inverter già presenti sull'impianto.
5. Linee produttive: sostituzione forno fusorio – intervento caso 2.

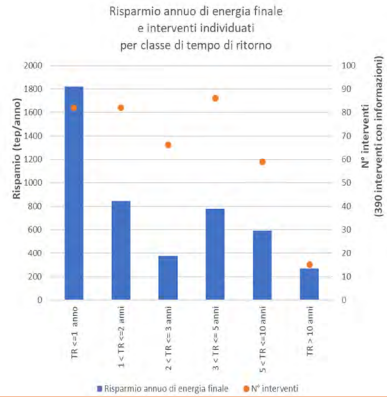
INTERVENTI DEGLI INTERVENTI INDIVIDUATI									
Area di intervento	N° interventi	INVESTIMENTO				COSTO EFFICACIA FINALE			
		N° interventi con informazioni	Investimento totale (€)	Investimento totale (%)	Investimento medio (€)	N° interventi con informazioni	Costo efficacia (€/tep di energia finale)	Tempo di ritorno medio (anni)	
Altro	1	1	15.000,00	0,00%	15.000,00	1	1.631,60	0,9	
Aria compressa	98	81	2.022.646,00	5,20%	24.970,90	80	2.999,90	2,2	
Aspirazione	37	32	811.423,60	2,10%	25.357,00	32	5.109,50	3,7	
Centrale termica/ Recuperi termici	48	35	689.721,60	1,80%	19.706,30	34	1.206,20	2,9	
Climatizzazione	9	4	2.048.500,00	5,20%	512.125,00	3	23.266,60	9,3	
Cogenerazione/Trigenerazione	10	7	11.088.011,00	28,20%	1.584.001,60	-	-	-	
Freddo di processo	13	7	179.150,00	0,50%	25.592,90	7	10.871,30	5	
Generale	103	66	919.514,00	2,30%	13.932,00	56	2.015,60	1,8	
Illuminazione	68	63	1.667.489,80	4,30%	26.468,10	61	6.763,50	4,1	
Impianti elettrici	35	28	2.017.272,00	5,10%	72.045,40	27	6.714,10	5,3	
Involucro edilizio	1	0	-	-	-	0	-	-	
Linee produttive	38	25	4.397.355,00	11,20%	175.894,20	23	7.288,50	6,7	
Motori elettrici / Inverter	57	50	628.494,50	1,60%	12.569,90	49	4.272,40	3,2	
Produzione da fonti rinnovabili	50	47	12.762.362,90	32,51%	271.539,60	-	-	-	
Reti di distribuzione	1	0	-	-	-	0	-	-	
Rifasamento	9	5	12.500,00	0,03%	2.500,00	2	3.274,70	2,6	
Trasporti	2	1	1.400,00	0,00%	1.400,00	1	5.138,60	3,6	
<b>Totale</b>	<b>580</b>	<b>452</b>	<b>39.260.840,40</b>	<b>100%</b>	<b>185.540,20</b>	<b>376</b>	<b>6.196,30</b>	<b>3,9</b>	
Costo efficacia energia primaria									
Area di intervento	N° interventi con informazioni		Costo efficacia (€/tep di energia finale)		Tempo di ritorno medio (anni)				
Cogenerazione/Trigenerazione	7		1.214,1		4,4				
Produzione da fonti rinnovabili	47		4.925,0		7,9				
<b>Totale</b>	<b>54</b>		<b>3.069,5</b>		<b>6,2</b>				

INTERVENTI INDIVIDUATI - RISPARMI DI ENERGIA FINALE									
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Risparmio annuo totale (tep/anno)	Risparmio annuo totale (%)	Risparmio annuo 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	9,2	0,20%	9,2	9,2	0,0	0,0	0,0	
Aria compressa	85	942,9	18,90%	11,1	854,2	28,7	0,0	60,0	
Aspirazione	32	264,0	5,30%	8,2	264,0	0,0	0,0	0,0	
Centrale termica/Recuperi termici	35	790,5	15,90%	22,6	29,4	732,1	0,0	29,1	
Climatizzazione	3	15,6	0,30%	5,2	0,0	10,6	0,0	5,0	
Freddo di processo	7	26,3	0,50%	3,8	26,3	0,0	0,0	0,0	
Generale	57	1.114,7	22,30%	19,5	466,3	395,3	0,0	253,2	
Illuminazione	61	276,3	5,50%	4,5	276,2	0,0	0,0	0,0	
Impianti elettrici	30	396,1	7,90%	13,2	341,0	0,0	0,0	55,0	
Involucro edilizio	0	-	-	-	-	-	-	-	
Linee produttive	24	937,4	18,80%	39,1	460,1	367,3	0,0	110,0	
Motori elettrici/ Inverter	51	205,9	4,10%	4,0	132,9	0,0	0,0	73,0	
Reti di distribuzione	0	-	-	-	-	-	-	-	
Rifasamento	3	7,3	0,10%	2,4	7,3	0,0	0,0	0,0	
Trasporti	1	0,3	0,00%	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	
<b>Totale</b>	<b>390</b>	<b>4.986,40</b>	<b>100,00%</b>	<b>11,0</b>	<b>2.867,20</b>	<b>1.533,90</b>	<b>0,0</b>	<b>585,3</b>	

## ANALISI DEGLI INTERVENTI INDIVIDUATI

### CLASSI DI TEMPO DI RITORNO

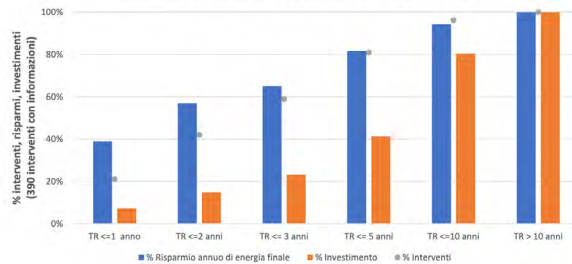
Classi tempo di ritorno	N° interventi	Risparmio annuo di energia finale (tep/anno)	Investimento (€)
TR <= 1 anno	82	1.818,9	1.098.830,3
1 < TR <= 2 anni	82	845,2	1.143.831,5
2 < TR <= 3 anni	66	376,2	1.254.072,9
3 < TR <= 5 anni	86	780,0	2.746.067,4
5 < TR <= 10 anni	59	589,9	5.897.541,7
TR > 10 anni	15	268,3	2.945.022,7



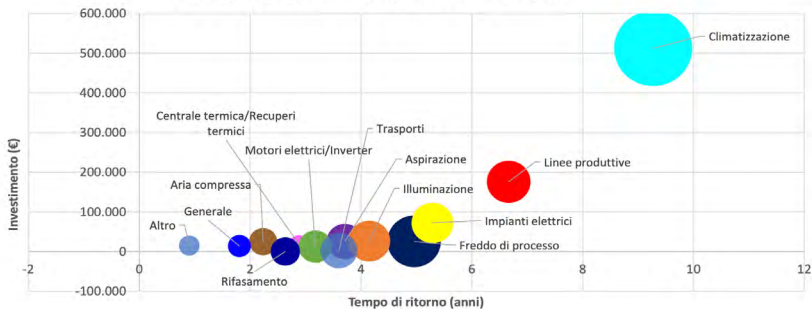
### DISTRIBUZIONE CUMULATA PER CLASSI DI TEMPO DI RITORNO

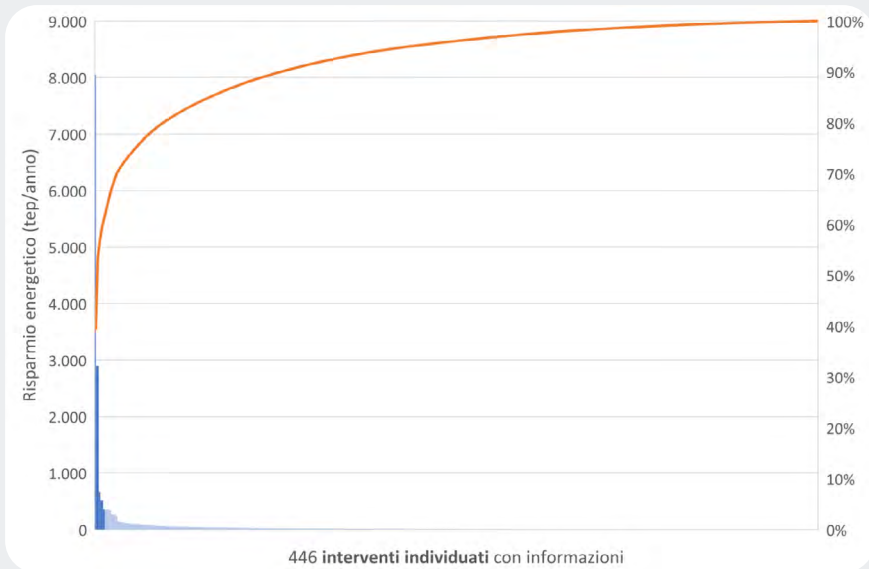
Classi tempo di ritorno	N° interventi	Interventi %	Risparmio annuo di energia finale (tep/anno)	% Risparmio annuo di energia finale	Investimento (€)	Investimento %
TR <= 1 anno	82	21,0%	1.818,9	38,9%	1.098.830,3	7,3%
TR <= 2 anni	164	42,1%	2.664,0	56,9%	2.242.661,8	14,9%
TR <= 3 anni	230	59,0%	3.040,3	65,0%	3.496.734,7	23,2%
TR <= 5 anni	316	81,0%	3.820,2	81,7%	6.242.802,1	41,4%
TR <= 10 anni	375	96,2%	4.410,1	94,3%	12.140.343,7	80,5%
TR > 10 anni	390	100,0%	4.678,4	100,0%	15.085.366,4	100,0%

Investimenti e risparmi cumulati per classe di tempo di ritorno



24.53.00 e 24.54.00 (dimensione bolla = costo efficacia)





Primi 5 interventi individuati evidenziati:

1. Cogenerazione/Trigenerazione: trigenerazione.
2. Cogenerazione/Trigenerazione: impianto di trigenerazione per la produzione di energia frigorifera.
3. Centrale termica/Recuperi termici: installazione cogenerator.e
4. Produzione da fonti rinnovabili: impianto trigenerativo.
5. Produzione da fonti rinnovabili: installazione impianto fotovoltaico a terra di potenza 1,6 MWh.



## **ALLEGATO B**

### **Quadro sinottico indicatori di prestazione energetica**

## ALLEGATO B

### QUADRO SINOTTICO INDICATORI DI PRESTAZIONE ENERGETICA

FONDERIE DI GHISA					
Cluster	Energia	Campo variazione produzione netta [t]		IPE Stabilimento	
				Value	U.M.
A (Forni Elettrici + Formatura in sabbia/resina)	Elettrica	400	3.700	2.356 ± 847	kWh/t
		3.701	35.000	1.325 ± 301	
	Termica	400	35.000	1.085 ± 801	MJ/t
		Totale	400	3.700	0.484 ± 0.176
		3.700	35.000	0.269 ± 0.059	
B (Forni Elettrici + Formatura a verde)	Elettrica	1.700	11.800	1.532 ± 700	kWh/t
		11.800	31.000	1.900 ± 203	
	Termica	1.700	11.800	639 ± 590	MJ/t
		11.800	31.000	721 ± 119	
	Totale	1.700	6.400	0,38 ± 0,13	tep/t
		6.400	31.000	0,33 ± 0,07	
C (Forni a cubilotto + Formatura a verde)	Elettrica	3.600	37.000	631 ± 153	kWh/t
	Termica	3.600	37.000	7.393 ± 856	MJ/t
	Totale	3.600	37.000	0,323 ± 0,07	tep/t
D (Forni rotativi + Formatura a verde)	Elettrica	1.200	15.000	957 ± 579	kWh/t
	Termica	1.200	15.000	4.130 ± 692	MJ/t
	Totale	1.200	15.000	0,283 ± 0,11	tep/t

Tabella 60 - IPE di Primo livello per i 4 Cluster delle fonderie di Ghisa.



FONDERIE DI GHISA							
Fase / Servizio	Cluster	Driver di consumo	Vettore Energetico	Campo variazione produzione [t]		IPE Stabilimento	
				Valore	U.M		
Fusione	Forni Elettrici	Produzione Lorda [t]	Energia Elettrica	390	2.200	1.639 ± 732	kWh/tlorde
	Forni Cubilotto			2.201	55.000	857 ± 217	
	Forni Rotativi	Coke di Fonderia	Gas Naturale	2.200	46.000	0,145 ± 0,033	tcoker/lorda
	Sabbia/Resina			3.100	23.000	67,3 ± 11,5	Sm <sup>3</sup> /lorda
Formatura	A verde	Produzione Netta [t]	Energia Elettrica	400	12.000	78 ± 65	kWh/t
	A			1.200	3.000	195 ± 33	
Aria Compressa	B	Produzione Netta [t]	Energia Elettrica	3.000	50.000	85 ± 34	kWh/t
	C			400	11.000	86 ± 56	
	D			1.700	31.000	49 ± 12	
	A			3.600	30.000	90 ± 45	
Impianto di Aspirazione	B	Produzione Netta [t]	Energia Elettrica	1.200	13.000	72 ± 51	kWh/t
	C			400	11.000	93 ± 53	
	D			1.700	31.000	108 ± 59	
	A			3.600	30.000	92 ± 28	
				1.200	13.000	149 ± 116	

Tabella 61 - IPE di Secondo Livello per le fonderie di Ghisa.

FONDERIE DI ACCIAIO						
IPE di primo Livello						
Energia	Campo variazione produzione netta [t]		IPE Stabilimento		U.M.	
			Value			
Elettrica	360	1.200	4.472 ± 1.923		kWh/t	
	1.201	3.000	2.152 ± 576			
Termica	360	3.000	6.744 ± 4.015		MJ/t	
Totale	360	3.000	0,36 ± 0,15		tep/t	
IPE di secondo Livello						
Fase / Servizio	Driver di consumo	Vettore Energetico	Campo variazione produzione [t]	IPE Stabilimento		
Fusione	Produzione Lorda [t]	Energia Elettrica	190	1.400	1.229 ± 740	kWh/t <sub>lordo</sub>
			1.401	6.000	809 ± 155	
Formatura	Produzione Netta [t]	Energia Elettrica	370	2.400	152 ± 112	kWh/t
Aria Compressa	Produzione Netta [t]	Energia Elettrica	370	5.400	210 ± 171	kWh/t
Impianto di Aspirazione	Produzione Netta [t]	Energia Elettrica	370	5.400	167 ± 107	kWh/t

Tabella 62 - IPE di Primo e Secondo Livello per le fonderie di Acciaio.

FONDERIE DI ALLUMINIO						
IPE di primo Livello						
Energia	Campo variazione produzione netta [t]		IPE Stabilimento		U.M.	
			Value		Valore	U.M.
Elettrica	500	900	2.611 ± 1.764		321 ± 107	Sm <sup>3</sup> /tlorde
	901	13.000	1.440 ± 790		202 ± 71	
Termica	500	2.600	13.823 ± 4.405		1.667 ± 657	kWh/t
	2.601	13.000	9.040 ± 2.850		685 ± 298	
Totale	500	2.600	0,73 ± 0,34		253 ± 118	kWh/t
	2.601	13.000	0,47 ± 0,19		197 ± 85	
Fase / Servizio	Driver di consumo	Vettore Energetico	Campo variazione produzione [t]		Valore	U.M.
Fusione	Produzione Lorda [t]	Gas Naturale	560	2.600	321 ± 107	Sm <sup>3</sup> /tlorde
			2.601	14.000	202 ± 71	
Pressocolata	Produzione Netta [t]	Energia Elettrica	510	880	1.667 ± 657	kWh/t
			881	6840	685 ± 298	
Aria Compressa	Produzione Netta [t]	Energia Elettrica	510	2.600	253 ± 118	kWh/t
			2.601	6.840	197 ± 85	
Impianto di Aspirazione	Produzione Netta [t]	Energia Elettrica	510	6.500	109 ± 98	kWh/t

Tabella 63 - IPE di Primo e Secondo Livello per le fonderie di Alluminio.



# APPENDICE

## APPENDICE

### VALUTAZIONE DELLA RAPPRESENTATIVITÀ STATISTICA DI UNA ANALISI DI REGRESSIONE

Per valutare la rappresentatività statistica di una generica analisi di correlazione lineare (Figura A) possono essere utilizzate differenti metodologie.

In queste linee guida si fa riferimento ai seguenti parametri (Tabella A) statistici:

- A. coefficiente di correlazione R;
- B. significatività statistica attraverso l'utilizzo del P-value;
- C. coefficiente di determinazione R<sup>2</sup>.

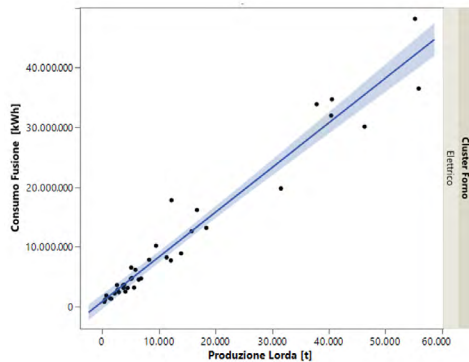


Figura A - Esempio grafico analisi di regressione.

Fonderie di Ghisa - FASE DI FUSIONE -					
Forni ELETTRICI: Rette di Regressione Consumo Elettrico[kWh] vs vs Produzione lorda[t]					
Consumo EE [kWh] = 763.357 + 750 * Produzione lorda [t] Int Confidenza > 99%					
	R <sup>2</sup>	R	P <sub>value</sub>	Rcrit (bidir.) α=0,05	Rcrit (bidir.) α=0,01
Consumo Elettrico [kWh]	0,951	0,975	<0,0001	0,3044	0,3932

Tabella A - Esempio di analisi di regressione.

Il **coefficiente di correlazione R** è un parametro utilizzato nell'analisi della correlazione per quantificare la forza della relazione lineare tra due variabili (ad esempio consumo di energia e produzione). Il coefficiente R può variare da +1 correlazione perfetta positiva (all'aumentare della produzione aumenta il consumo energetico) a -1 correlazione perfetta negativa (all'aumentare della temperatura di un pannello fotovoltaico diminuisce la sua efficienza). **Tanto più R è vicino a +1, ovvero -1, tanto più la relazione tra le due variabili è forte. Più R si avvicina a zero, più la correlazione lineare è debole.**

Calcolato il coefficiente di correlazione R, per la sua interpretazione è necessario appurare se il campione su cui è stata calcolata la relazione di correlazione è rappresentativo della popolazione; in altre parole, la domanda è se la numerosità e le caratteristiche del campione consentono di interpretare la presenza o la mancanza di correlazione come non casuale.

Si tratta a questo punto di attivare un processo di inferenza per sapere quanto possiamo fidarci della correlazione calcolata.

Senza bisogno di applicare le formule, si possono consultare delle apposite tavole (Tavole del valore di R critico di Pearson), che forniscono la probabilità associata ad un certo valore di R, per un determinato grado di libertà. Le tavole forniscono la probabilità che l'ipotesi nulla possa essere respinta quando è vera, secondo diverse numerosità campionarie (gradi di libertà, definiti come la dimensione del campione meno 2) e livelli di significatività.

Livello di Significatività per un Test a Due-Code						
df	.20	.10	.05	.02	.01	.001
1	0.951	0.988	0.997	0.9995	0.9999	0.99999
2	0.800	0.900	0.950	0.980	0.990	0.999
3	0.687	0.805	0.878	0.934	0.959	0.991
4	0.608	0.729	0.811	0.882	0.917	0.974
5	0.551	0.669	0.755	0.833	0.875	0.951
6	0.507	0.621	0.707	0.789	0.834	0.925
7	0.472	0.582	0.666	0.750	0.798	0.898
8	0.443	0.549	0.632	0.715	0.765	0.872
9	0.419	0.521	0.602	0.685	0.735	0.847
10	0.398	0.497	0.576	0.658	0.708	0.823
11	0.380	0.476	0.553	0.634	0.684	0.801
12	0.365	0.457	0.532	0.612	0.661	0.780
13	0.351	0.441	0.514	0.592	0.641	0.760
14	0.338	0.426	0.497	0.574	0.623	0.742
15	0.327	0.412	0.482	0.558	0.606	0.725

L'ipotesi nulla del test è l'assenza di correlazione ( $R=0$ ): ad esempio, un livello di significatività  $\alpha$  dello 0,05 indica un rischio del 5% di concludere che esiste

correlazione, rigettando l'ipotesi nulla, quando l'ipotesi nulla è invece valida e non vi è alcuna correlazione tra le variabili esaminate.

Solitamente si utilizzano per la determinazione del valore di R critico livelli di significatività  $\alpha$  di 0,05 e di 0,01.

**Entrando nella Tavola del valore di R critico di Pearson con il grado di libertà e con il livello di significatività  $\alpha$  scelto si può estrarre il valore dell'R critico. Nel caso in cui il valore di R sia maggiore del valore di R critico si può affermare che il test di verifica è stato superato. Superato il test è possibile determinare l'intervallo di confidenza CI come  $CI = 1 - \alpha$ .**

Un ulteriore test statistico che permette di avere indicazione sulla significatività statistica dell'analisi svolta è quello del P-value. **Il P-value è un test sulla significatività statistica dei coefficienti stimati o del modello stimato.** In particolare, se:

- $0,01 \leq P\text{-value} < 0,05$  la stima può dirsi statisticamente significativa;
- $0,001 \leq P\text{-value} < 0,01$  la stima può dirsi molto significativa;
- $P\text{-value} < 0,001$  la stima può dirsi estremamente significativa.

Infine, il **coefficiente di determinazione  $R^2$**  fornisce un'indicazione su quanto è forte la capacità predittiva del modello di correlazione. In parole più semplici,  $R^2$  rappresenta la variazione nei valori della variabile dipendente che può essere giustificata dalla variazione della variabile indipendente. **Più grande è il valore di  $R^2$ , migliore è la capacità delle variabili esplicative di prevedere i valori della variabile dipendente. Al contrario valori bassi di  $R^2$  indicano una scarsa predittività del modello di regressione, dovuta principalmente al fatto che la variabile dipendente analizzata dipenda, in maniera rilevante, anche da altri parametri che non sono stati presi in considerazione dal modello.** Tuttavia, in alcune situazioni l'utilizzo dell' $R^2$  può essere fuorviante, infatti un modello che presenta un valore alto dell' $R^2$  può comunque non essere rappresentativo della relazione esistente tra le variabili.

La correlazione lineare può essere considerata forte se  $R^2 > 0,5$  e moderata se  $R^2 > 0,25$ .

Pertanto, ad esempio alla luce delle informazioni qui riportate, la correlazione può essere considerata statisticamente rappresentativa se:

- $P\text{-value} < 0,05$ ;
- $R > R$  critico;
- $R^2 > 0,5$ .

## Bibliografia

- [1] Ufficio Studi ASSOFOND.
- [2] Rielaborazione ASSOFOND dati ISTAT, <https://www.assofond.it/>
- [3] G. Bruni, A. De Santis, C. Herce, L. Leto, C. Martini, F. Martini, M. Salvio, F.A. Tocchetti and C. Toro, “From Energy Audit to Energy Performance Indicators (EnPI): A Methodology to Characterize Productive Sectors. The Italian Cement Industry Case Study”, *Energies* 2021, 14(24), 8436; <https://doi.org/10.3390/en14248436>.
- [4] D.Lgs.102/2014 e suoi aggiornamenti.
- [5] 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.
- [6] LINEE GUIDA per lo sviluppo di una Diagnosi Energetica nel settore delle Fonderie ai sensi dell’art. 8 del D. Lgs. 102/2014, ASSOFOND
- [7] Chiarimenti in materia di Diagnosi Energetica nelle imprese ai sensi dell’articolo 8 del Decreto Legislativo N. 102 del 2014, novembre 2016, MISE.
- [8] UNI CEI EN 16247:1-4.
- [9] L. Leoni, A. Cantini, F. De Carlo, M. Salvio, C. Martini, C. Toro, F. Martini, “Energy-Saving Technology Opportunities and Investments of the Italian Foundry Industry”, *Energies* 2021, 14(24), 8470; <https://doi.org/10.3390/en14248470>.
- [10] Roudier, S.; L.D. Sancho; R. Remus;M. Aguado-Monsonet, Best Available Techniques (BAT) reference document for iron and steel production: Industrial emissions directive 2010/75/EU: integrated pollution prevention and control. 2013, Joint Research Centre (Seville site).
- [11] Lazzarin, R.M.;M. Noro Energy efficiency opportunities in the production process of cast iron foundries: An experience in Italy. *Applied Thermal Engineering*. 90 2015, p. 509-520.
- [12] Cusano, G.; M. Gonzalo; F. Farrell; R. Remus; S. Roudier;L. Sancho Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries-Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). Publications of the European Union. Chapters. 3 2017.



- [13] Pardo, N.;J.A. Moya Prospective scenarios on energy efficiency and CO<sub>2</sub> emissions in the European Iron & Steel industry. *Energy*. 54 2013, p. 113-128.
- [14] Grunbaum, R. Voltage source converters for maintaining of power quality and stability in power distribution. in 2005 European Conference on Power Electronics and Applications. 2005. IEEE.
- [15] Worrell, E.; P. Blinde; M. Neelis; E. Blomen;E. Masanet, Energy efficiency improvement and cost saving opportunities for the US iron and steel industry an ENERGY STAR (R) guide for energy and plant managers. 2010, Lawrence Berkeley National Lab.(LBNL), Berkeley, CA (United States).
- [16] Chan, D.Y.-L.; K.-H. Yang; J.-D. Lee;G.-B. Hong. The case study of furnace use and energy conservation in iron and steel industry. *Energy*. 35 2010, p. 1665-1670.
- [17] Sibanda, V.; E. Sipunga; G. Danha;T.A. Mamvura Enhancing the flotation recovery of copper minerals in smelter slags from Namibia prior to disposal. *Heliyon*. 6 2020, p. e03135.
- [18] Sako, E.Y.; H.D. Orsolini; M. Moreira; C.E. de Meo; P.I. Pelissari; V.R. Salvini;V.C. Pandolfelli Thermal ceramic coatings as energy saving alternatives for high temperature processes. *International Journal of Applied Ceramic Technology*. 17 2020, p. 2492-2508.
- [19] Jezierski, J.;K. Janerka Wastes utilisation in foundries and metallurgical plants with pneumatic conveying techniques–selected aspects. *Interdisciplinary Environmental Review*. 12 2011, p. 154-165.
- [20] Prabhushankar, N.;N. Balaji. Various Alternative Sources for Silica Sand, Binders and Additives in Sand Casting and their Properties–A Review. in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. IOP Publishing.
- [21] Sama, S.R.; T. Badamo;G. Manogharan Case studies on integrating 3d sand-printing technology into the production portfolio of a sand-casting foundry. *International Journal of Metalcasting*. 14 2020, p. 12-24.
- [22] Rodríguez-González, P.; P. Robles Valero; A. Fernández-Abia; M. Castro-Sastre;J. Barreiro García. Application of Vacuum Techniques in Shell Moulds Produced by Additive Manufacturing. *Metals*. 10 2020, p. 1090.

- [23] Noro, M.;R. Lazzarin Energy audit experiences in foundries. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. 7 2016, p. 409-423.
- [24] Wang, J.; S.R. Sama;G. Manogharan Re-Thinking Design Methodology for Castings: 3D Sand-Printing and Topology Optimization. *International Journal of Metalcasting*. 13 2019.
- [25] Lynch, P.; C. Hasbrouck; J. Wilck; M. Kay;G. Manogharan Challenges and opportunities to integrate the oldest and newest manufacturing processes: metal casting and additive manufacturing. *Rapid Prototyping Journal*. 2020.
- [26] Acar, S.;K.A. Guler A Preliminary Study Upon the Applicability of the Direct Water Cooling with the Lost Foam Casting Process. *International Journal of Metalcasting*. 15 2021, p. 88-97.
- [27] Productivity, I.f.I. Explore Energy Efficiency Technologies across the Industrial Sectors. 2016 [23/08/2021]; Available from: <http://www.iipinetwork.org/>
- [28] Choi, J.; H. Hwang;S. Kang Effect of ladle outlet geometry on internal porosity in gravity casting automotive brackets: An experimental investigation. *China Foundry*. 17 2020.
- [29] Gunasegaram, D.;A. Tharumarajah Impacts of high-pressure diecasting process parameters on greenhouse gas emissions. *Metallurgical and Materials Transactions B*. 40 2009, p. 605-614.
- [30] Guo, Z.;Z. Fu Current situation of energy consumption and measures taken for energy saving in the iron and steel industry in China. *Energy*. 35 2010, p. 4356-4360.
- [31] Lazzarin, R.M.;M. Noro Energy efficiency opportunities in the service plants of cast iron foundries in Italy. *International Journal of Low-Carbon Technologies*. 12 2017, p. 96-109.
- [32] Wrona, R.; E. Ziółkowski; K. Smyksy;M. Brzeziński The quality of compressed air as the necessary condition the improving the process efficiency in foundry plants. *Archives of Foundry Engineering*. 13 2013.
- [33] Eras, J.J.C.; A.S. Gutiérrez; V.S. Santos;M.J.C. Ulloa Energy management of compressed air systems. Assessing the production and use of compressed air in industry. *Energy*. 213 2020, p. 118662.
- [34] Šarevski, M.N.;V.N. Šarevski Thermal characteristics of high-temperature R718 heat pumps with turbo compressor thermal vapor

- recompression. *Applied Thermal Engineering*. 117 2017, p. 355-365.
- [35] Artal-Sevil, J.; J. Bernal-Agustín; R. Dufo-López; J. Domínguez-Navarro Forklifts, Automated Guided Vehicles and Horizontal Order Pickers in Industrial Environments. *Energy Management of an Active Hybrid Power System based on Batteries, PEM Fuel Cells and Ultracapacitors. Renewable Energy and Power Quality Journal (RE&PQJ)*. 2017.
- [36] Pang, Y.; G. Lodewijks. Improving energy efficiency in material transport systems by fuzzy speed control. in *3rd IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics*. 2011. IEEE.
- [37] Abdel-Hadi, A.; A.R. Salem; A.I. Abbas; M. Qandil; R.S. Amano Study of Energy Saving Analysis for Different Industries. *Journal of Energy Resources Technology*. 143 2021, p. 052101.
- [38] Kurilin, S.; V. Denisov; M. Dli; V. Bobkov Scientific and technical directions of improvement of electric motors for non-ferrous metallurgy. *Non-Ferrous Metals*. 47 2019, p. 53-58.
- [39] Holappa, L., Energy efficiency and sustainability in steel production, in *Applications of Process Engineering Principles in Materials Processing, Energy and Environmental Technologies*. 2017, Springer. p. 401-410.
- [40] Hammerschmid, M.; S. Müller; J. Fuchs; H. Hofbauer Evaluation of biomass-based production of below zero emission reducing gas for the iron and steel industry. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 11 2021, p. 169-187.
- [41] Ryzhkov, A.; E. Levin; P. Filippov; N. Abaimov; S. Gordeev Making more efficient use of blast-furnace gas at Russian metallurgical plants. *Metallurgist*. 60 2016, p. 19-30.
- [42] Sa, A.; S. Paramonova; P. Thollander; E. Cagno Classification of industrial energy management practices: a case study of a Swedish foundry. *Energy Procedia*. 75 2015, p. 2581-2588.
- [43] Chen, L.; B. Yang; X. Shen; Z. Xie; F. Sun Thermodynamic optimization opportunities for the recovery and utilization of residual energy and heat in China's iron and steel industry: A case study. *Applied Thermal Engineering*. 86 2015, p. 151-160.
- [44] Zhang, Y.; Y. Shi; L. Zhang; J. Li; Q. Fu; X. Zhu; Q. Liao A fluidized-bed reactor for enhanced mass transfer and increased performance in thermally regenerative batteries for low-grade waste heat recovery. *Journal of Power Sources*. 495 2021, p. 229815.

- [45] Arens, M.;E. Worrell Diffusion of energy efficient technologies in the German steel industry and their impact on energy consumption. *Energy*. 73 2014, p. 968-977.
- [46] Holappa, L. A general vision for reduction of energy consumption and CO2 emissions from the steel industry. *Metals*. 10 2020, p. 1117.
- [47] Tang, J.; M.-s. Chu; F. Li; C. Feng; Z.-g. Liu;Y.-s. Zhou Development and progress on hydrogen metallurgy. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*. 27 2020, p. 713-723.
- [48] Liu, W.; H. Zuo; J. Wang; Q. Xue; B. Ren;F. Yang The production and application of hydrogen in steel industry. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2021.
- [49] Rocha, E.P.d.; J.A.d. Castro; L. Silva;R.d.S. Caldas Computational Analysis of The Performance of Shaft Furnaces with Partial Replacement of The Burden with Self-Reducing Pellets Containing Biomass. *Materials Research*. 22 2020.



# 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

**ASSOFOND**  
ASSOCIAZIONE ITALIANA FONDERIE

**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

AGENZIA NAZIONALE  
EFFICIENZA ENERGETICA

