



School of Advanced Studies

Università degli Studi di Camerino

International School of Advanced Studies

Doctoral course in

Architecture, Design, Planning

Curriculum

Innovation Design

Cycle XXXVII

La dimensione della circolarità per la decarbonizzazione nell'industria manifatturiera

*Soluzioni digitali e tecnologiche ecocompatibili per l'efficienza
energetica e la riduzione degli impatti ambientali*

PhD Student

Arch. Chiara Pasqualini

Supervisor

Prof. Arch. Giuseppe Losco, PhD

Coordinator of the PhD Programme

Prof. Gerardo Doti

Date of award 23/06/2025

Scientific field of the dissertation (SSD):

CEAR-08/C

CEAR-08/D

Co-funding Programs or Institutions):

PON "Ricerca e Innovazione" 2014/2020

"Dottorati su tematiche green"

DM 1061 del 10/08/2021

Chiara Pasqualini

Chiara.pasqualini@unicam.it



Università di Camerino
SAAD "Eduardo Vittoria"

Sede di Ascoli Piceno
Viale della Rimembranza
63100 Ascoli Piceno

<https://www.unicam.it>

<https://saad.unicam.it>

INDICE

| | |
|---|-----------|
| ABSTRACT | 1 |
| INTRODUZIONE..... | 3 |
| CAPITOLO 1. La circolarità come nuovo modello di sviluppo per la decarbonizzazione del settore industriale..... | 9 |
| 1.1. La nuova competitività industriale trainata dall’attenzione verso l’ambiente | 9 |
| 1.1.1. L’evoluzione dei concetti di Ecologia Industriale e di chiusura dei cicli per lo sviluppo sostenibile dei sistemi produttivi, la rinnovabilità delle risorse e la riduzione dell’impatto ambientale | 9 |
| 1.1.2. Le caratteristiche dell’Economia Circolare quale modello emergente di produzione e consumo che mira alla sostenibilità delle attività antropiche . | 17 |
| 1.1.3. L’attenzione dell’industria verso l’ambiente e l’economia circolare spinto da una nuova consapevolezza dei consumatori | 20 |
| 1.1.4. L’attenzione dell’industria verso l’ambiente e l’economia circolare spinto dalle policies a più livelli che istituiscono obblighi e manipolano i mercati finanziari | 23 |
| 1.2. Gli strumenti disponibili e gli indicatori a supporto delle Aziende per la transizione verso l’Economia Circolare | 34 |
| 1.2.1. I sistemi di valutazione e misurazione degli impatti ambientali: Rating Systems e Indicatori ambientali | 34 |
| 1.2.2. I risultati raggiunti nella transizione verso l’Economia Circolare a livello sistemico nazionale | 43 |
| 1.2.3. Il nesso tra Economia Circolare e Transizione Energetica | 50 |
| 1.2.4. La UNI/TS 11820:2022 “Misurazione della circolarità - Metodi ed indicatori per la misurazione dei processi circolari nelle organizzazioni” come primo standard trasversale a tutti i tipi di organizzazioni e l’analisi degli indicatori ivi proposti | 57 |
| 1.3. La valutazione del livello di circolarità delle performances energetiche del caso studio aziendale attraverso l’applicazione della UNI/TS 11820:2022 | 68 |
| 1.3.1. Il valore dell’applicazione dello standard di misurazione per la realizzazione di un benchmark di settore ad oggi assente..... | 68 |
| 1.3.2. Individuazione del perimetro di valutazione del caso studio considerato e selezione degli indicatori applicabili | 69 |

| | |
|---|------------|
| 1.3.3. Misurazione delle performances dell'organizzazione e conclusioni..... | 70 |
| CAPITOLO 2. Il controllo e il miglioramento delle performances energetiche del settore industriale..... | 81 |
| 2.1. La necessità della transizione energetica del settore industriale per gli obiettivi di decarbonizzazione..... | 81 |
| 2.1.1. Obiettivi e policies per l'efficientamento energetico e la riduzione delle emissioni climalteranti del settore industriale | 81 |
| 2.1.2. Obiettivi e policies per l'efficientamento energetico e la riduzione delle emissioni degli edifici: l'Energy Performance of Buildings Directive IV e il Framework Level(s)..... | 92 |
| 2.1.3. Lo stato dell'arte delle soluzioni energetiche integrate che consentono alle singole imprese di massimizzare il bilanciamento tra gli obiettivi di decarbonizzazione e quelli di competitività | 100 |
| 2.1.4. Alcune soluzioni circolari in ambito energetico applicabili al settore industriale | 119 |
| 2.2. Lo strumento della Diagnosi Energetica per il controllo delle performances energetiche e la pianificazione degli interventi di miglioramento nel settore industriale..... | 129 |
| 2.2.1. L'evoluzione della Normativa sulle Diagnosi Energetiche..... | 129 |
| 2.2.2. La metodologia per la redazione delle Diagnosi Energetiche nel settore industriale | 133 |
| 2.2.3. Scenari evolutivi delle Diagnosi Energetiche | 141 |
| 2.3. La valutazione delle performances energetiche attraverso la redazione della Diagnosi per il caso studio aziendale..... | 143 |
| 2.3.1. Il controllo prestazionale dei processi produttivi attraverso il confronto con le Best Available Techniques pubblicate dalla Comunità Europea | 143 |
| 2.3.2. Principali progetti di miglioramento pianificati e implementati | 150 |
| 2.3.3. I risultati emersi dalle Diagnosi Energetiche effettuate nel 2023 al confronto con i valori prestazionali registrati e comunicati nel 2019: il caso di studio di uno stabilimento specifico. | 153 |
| CAPITOLO 3. Il monitoraggio dei consumi e la raccolta dati per le Diagnosi Energetiche: strumenti digitali per il controllo degli asset..... | 161 |
| 3.1. Policies e stato dell'arte dei sistemi per il monitoraggio e la raccolta di dati negli stabilimenti industriali | 161 |

| | |
|--|------------|
| 3.1.1. Le disposizioni normative per il monitoraggio dei consumi per le Diagnosi Energetiche industriali..... | 161 |
| 3.1.2. Lo stato dell'arte dei sistemi digitalizzati per il monitoraggio e la raccolta dei dati negli stabilimenti industriali | 163 |
| 3.1.3. L'architettura del sistema digitale di monitoraggio implementato nel caso studio aziendale | 165 |
| 3.2. La metodologia di raccolta dei dati nella prassi e la necessità di un ambiente digitale condiviso e integrato di tutti i sistemi di fabbrica in logica 4.0 per una maggiore efficacia del processo di redazione del Report di Diagnosi | 167 |
| 3.2.1. Il workflow di raccolta dati per la redazione della Diagnosi Energetica..... | 167 |
| 3.2.2. Caratteristiche e obiettivi della transizione Industry 4.0 | 169 |
| 3.2.3. Analisi dell'apparato informativo necessario e dei sistemi di fabbrica da interconnettere in una piattaforma collaborativa di condivisione dati per gli stakeholder coinvolti nella Diagnosi Energetica e negli audit di certificazione ISO 50001 | 173 |
| 3.3. Il modello BIM come database comune nelle piattaforme per l'ottimizzazione del Facility Management della fabbrica, per il supporto all'Operation & Maintenance, al monitoraggio dei consumi e alla raccolta dati per le Diagnosi Energetiche | 176 |
| 3.3.1. Alcune piattaforme Digital Twin per il Facility Management con approccio BIM-oriented..... | 178 |
| 3.3.2. Predisposizione del modello BIM per il Facility Management..... | 183 |
| 3.3.3. Possibili sviluppi delle piattaforme per il Facility Management basato su BIM | 184 |
| CAPITOLO 4. La pianificazione degli interventi di decarbonizzazione di un sito industriale attraverso il Digital Twin..... | 185 |
| 4.1. Il Digital Twin simulativo per la pianificazione degli interventi energetici migliorativi e la valutazione degli scenari di decarbonizzazione di un sito produttivo industriale | 185 |
| 4.1.1. Il Digital Twin dell'edificio come modello virtuale calibrato e connesso capace di simulare il comportamento dell'edificio reale | 185 |
| 4.1.2. Gli indicatori relativi al 'Greenhouse gas emissions along a building's life cycle' del framework Europeo Level(s) | 191 |
| 4.2. Metodologia per la realizzazione di un modello digitale di uno stabilimento specifico calibrato sul funzionamento dell'edificio..... | 194 |
| 4.2.1. Analisi del funzionamento reale dell'edificio | 194 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.2. Realizzazione del modello in ambiente virtuale | 220 |
| 4.2.3. Simulazione energetica dinamica per la verifica della calibrazione del modello 233 | |
| 4.3. Studio di scenari di decarbonizzazione attraverso la simulazione di interventi migliorativi | 236 |
| 4.3.1. Verifica delle ipotesi di interventi migliorativi attraverso la simulazione energetica dinamica..... | 236 |
| 4.3.2. Attuali limiti all'implementazione di un Digital Twin di un sito industriale e possibili sviluppi della ricerca..... | 255 |
| CONCLUSIONI..... | 257 |
| BIBLIOGRAFIA | 263 |
| INDICE DELLE FIGURE..... | 270 |
| INDICE DELLE TABELLE | 278 |

Nota dell'autore:

In osservanza delle disposizioni di cui nella Convenzione stipulata tra l'Università e l'Azienda, si è inteso tutelare la riservatezza dei dati quali il nome dell'Azienda, le frasi pubblicitarie, le rappresentazioni grafiche e i marchi.

Accordo di riservatezza:

Estratto Convenzione stipulata tra Università e Azienda in data 12/12/2021:

Convenzione per il co-finanziamento di n.1 borsa di studio aggiuntiva - PON "Ricerca e Innovazione" 2014/2020 "Dottorati su tematiche green" DM 1061 del 10/08/2021 per il Corso di Dottorato di Ricerca in "Architecture, Design, Planning", Curriculum "Innovation Design" XXXVII Ciclo a.a. 2021/2022.

Art. 5 - Proprietà intellettuale dei risultati e pubblicazioni

La Società avrà diritto di accesso e di utilizzazione interna dei risultati dell'attività sperimentale effettuata dal titolare della borsa presso i suoi laboratori nell'ambito del corso di dottorato. Qualora dall'attività di ricerca emergano risultati interessanti ai fini di un loro potenziale sfruttamento economico, la Società e l'Università si riserveranno la facoltà di stipulare un apposito accordo con particolare riguardo ai depositi di domande di brevetto, fermi restando i diritti morali del titolare della borsa.

Il titolare della borsa e l'Università si impegnano a mantenere confidenziali e a non divulgare informazioni e notizie inerenti l'attività della Società, con particolare riguardo ai risultati delle sue attività di ricerca.

I marchi, modelli industriali, disegni e/o le rappresentazioni grafiche in genere, i pay-off e/o le frasi pubblicitarie in genere e quant'altro di proprietà dell'Azienda non potranno essere utilizzati dall'Università, se non previo consenso espresso dell'Azienda.

ABSTRACT

*Circularity as a driver for decarbonization in the manufacturing Industry:
Environmentally sustainable digital and technological solutions for energy efficiency
and environmental impacts reduction.*

This doctoral thesis investigates the decarbonization of the industrial sector through the integration of three strategic transitions identified at the European level: circular, energy, and digital. Within the framework of the United Nations 2030 Agenda and the European Green Deal, the research explores the interconnections between the circular economy and the energy transition, placing particular emphasis on the enabling role of digitalization. The study includes a review of current technologies, as well as measurement tools and indicators for assessing energy and circularity performance in industrial organizations.

Developed in collaboration with a Major Agri-food manufacturing Company, the research is structured along four principal axes: (1) an analysis of the state of the art in policies and regulatory frameworks for measuring circularity and energy performance; (2) the application of these frameworks to an industrial case study; (3) an assessment of the potential of digital technologies for monitoring and managing industrial assets; (4) the simulation of decarbonization scenarios through a virtual model informed by real monitored data.

The research highlights the critical role of energy efficiency and on-site renewable energy generation as key strategies with a combined positive impact on circular performance. By integrating the Energy Audit methodology (as defined by Italian Legislative Decree 102/2014) with the UNI/TS 11820:2022 technical specification, the research proposes a comprehensive evaluation framework to support the strategic planning of decarbonization interventions. Improvement scenarios—focused on ambient cooling systems and photovoltaic installations—were simulated and demonstrated measurable benefits across all performance dimensions assessed.

The thesis concludes by advocating for the development of real-time, interconnected Digital Twin platforms as tools for integrated and continuous industrial asset management. Finally, it outlines future research directions involving the use of artificial intelligence to enhance the optimized capacity of simulation models in industrial decarbonization pathways.

Keywords

Industrial Decarbonization,

Circular Economy,

Energy Audit,

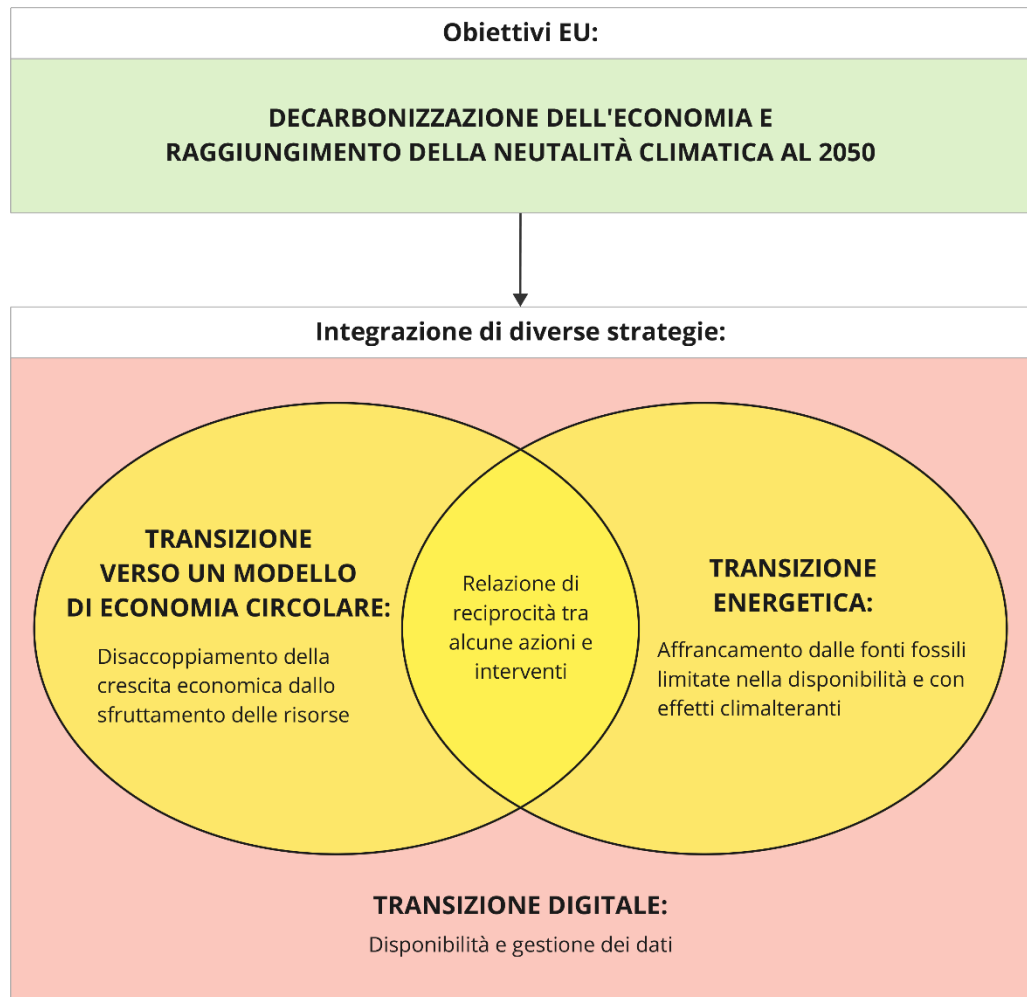
Digital Twin for Industrial Sites,

Dynamic Energy Simulation

INTRODUZIONE

La presente tesi di Dottorato ha lo scopo di dare un contributo al dibattito incentrato sugli obiettivi di sostenibilità che le Nazioni Unite hanno inserito nell'Agenda 2030, con focus sul tema della decarbonizzazione per il quale a livello europeo la Commissione ha stabilito il traguardo di neutralità climatica al 2050, pubblicando il Green Deal nel 2019. Tale traguardo viene considerato raggiungibile attraverso l'integrazione di diverse strategie, tra cui la transizione verso un modello di economia circolare, che prevede il disaccoppiamento della crescita economica dallo sfruttamento delle risorse, e la transizione energetica, che mira all'affrancamento del sistema di approvvigionamento dalle fonti fossili, le quali non solo sono anch'esse risorse limitate ma il loro utilizzo provoca emissioni pericolose per gli effetti climalteranti. Le due transizioni dimostrano numerosi punti di contatto e complementarità, e molte delle azioni ed interventi che la Commissione Europea promuove hanno valenza in entrambi gli orizzonti. In questo quadro di rinnovamento dei sistemi economici ed energetici viene riconosciuta una terza strategia, la transizione digitale, che supporta e veicola le altre due fornendo gli strumenti necessari al loro controllo e gestione, poiché realizza la possibilità di monitorare l'andamento delle azioni in quanto rende disponibili e condivisibili i dati, e offre la capacità computazionale per elaborarli al fine di supportare le decisioni future. Si schematizza di seguito le premesse concettuali descritte (Fig.1).

Fig. 1
Framework tematico
all'interno del quale si
colloca la tesi



Domande di ricerca

La ricerca indaga pertanto sulle seguenti domande:

- Quali sono le azioni che coniugano la transizione circolare e la transizione energetica nel settore industriale
- Quali sono i metodi e gli indicatori per misurare gli impatti di tali azioni nei rispettivi percorsi verso la transizione all'economia circolare e verso la transizione energetica del settore industriale?
- Quali strategie e strumenti di digitalizzazione possono supportare la pianificazione e il controllo di tali azioni?

Struttura della tesi

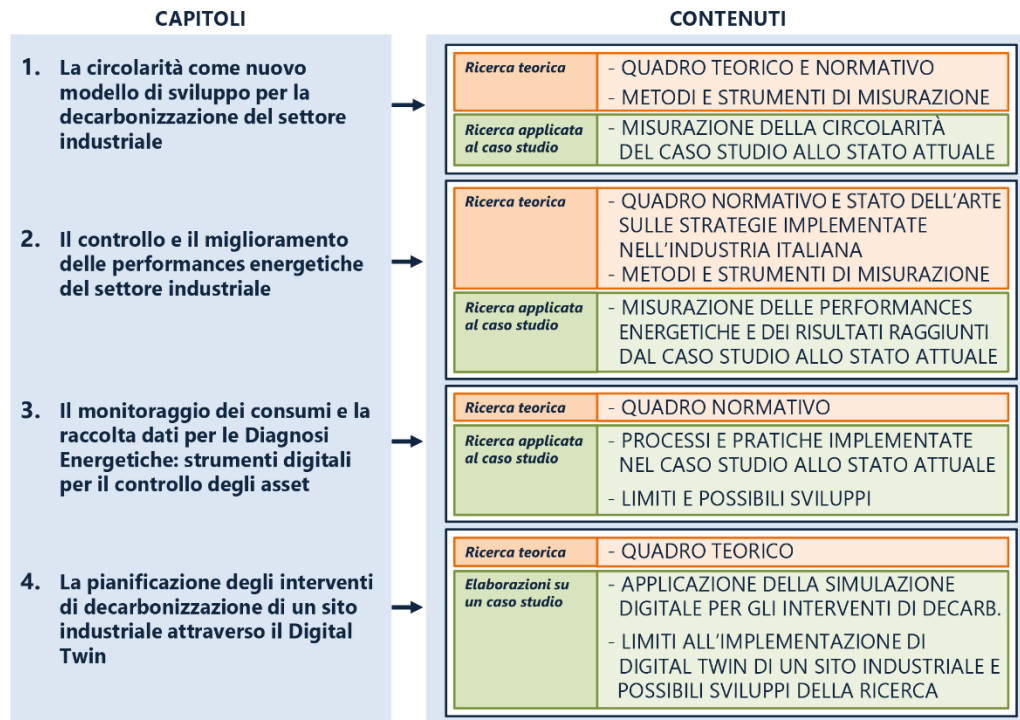
La tesi è frutto di un lavoro di ricerca afferente al programma dei Dottorati PON, affiancato ad una Grande Azienda multinazionale del settore industriale manifatturiero agroalimentare e le tematiche affrontate sono state pertanto declinate e analizzate in continua relazione al caso studio di riferimento. È stato definito un percorso di ricerca che comprende:

- La ricognizione dello stato dell'arte delle strategie di decarbonizzazione basate sulla transizione verso l'economia circolare, sulla transizione energetica e sulla transizione digitale, comprensiva di:
 - Analisi delle rispettive policies a più livelli
 - Individuazione di indicatori e metodi esistenti per misurare le performance di circolarità ed energetiche delle organizzazioni
 - Analisi del livello attuale di circolarità e delle performance energetiche del caso studio di uno specifico stabilimento aziendale
- L'elaborazione di uno schema di valutazione dell'integrazione delle strategie migliorative delle performance di circolarità ed energetiche da considerare per i percorsi di decarbonizzazione, che evidenzia gli indicatori principali da tenere in considerazione, le metodologie di misurazione e le fonti dove reperire i dati
- L'individuazione di metodi e strumenti digitali per la gestione dei dati relativi agli asset della fabbrica e per la progettazione di interventi di miglioramento delle performance di decarbonizzazione
- L'Applicazione degli strumenti digitali individuati al caso studio aziendale per la realizzazione di scenari di decarbonizzazione
- La discussione finale dei risultati in relazione alle strategie di circolarità ed efficienza energetica implementabili per migliorare le performance di decarbonizzazione, con riferimento allo schema di valutazione proposto e agli indicatori e ai metodi utilizzabili per la loro qualificazione, ed evidenziando i limiti e l'efficacia degli strumenti utilizzati per la pianificazione degli interventi e i possibili sviluppi futuri della ricerca.

Nel realizzare tale percorso di ricerca, e per tenere conto del riferimento e della verifica costanti sul caso studio Aziendale, ogni capitolo viene strutturato a sua volta in sottocapitoli che descrivono ed ordinano lo stato dell'arte del tema trattato, approfondendo le policies e il corredo normativo, individuano i metodi e gli strumenti di analisi specifici, riportano le applicazioni al caso studio effettuate attraverso le attività di collaborazione con l'Azienda, definendo perimetri di analisi e sperimentazione che vanno dal livello meso, inclusivo di un gruppo di stabilimenti, al livello micro, con focus su uno stabilimento particolare, ed espongono le relative conclusioni.

Si introduce di seguito l'organizzazione argomentativa del corpo della tesi, sviluppato in quattro capitoli principali caratterizzati ognuno dalla duplice natura teorica e applicativa sopra descritta (Fig.2):

Fig. 2
Struttura dei capitoli e dei contenuti del corpo della tesi



1. Il primo capitolo approfondisce il ruolo dell'economia circolare per gli obiettivi di decarbonizzazione del settore industriale, tracciando un percorso che parte dalle origini del dibattito teorico-scientifico, affronta un'analisi degli obiettivi delle policies, dell'evoluzione normativa, descrive i risultati raggiunti a livello nazionale e approfondisce la riflessione sugli approcci circolari in ambito energetico. Attraverso la ricerca in letteratura e nei documenti normativi istituzionali, individua quindi i metodi, gli strumenti e gli indicatori esistenti con cui le organizzazioni possono misurare il proprio livello di circolarità. Giunge infine alle implicazioni pratiche e al dettaglio della misurazione secondo i recenti standard normativi di una selezione di indicatori di circolarità relativi all'ambito energetico e riferiti al caso studio aziendale, sia a livello micro che a livello meso, al fine di definire lo stato dell'arte dello stabilimento.
2. Il secondo capitolo approfondisce il tema della transizione energetica per il settore industriale, introducendo gli obiettivi e le aspettative delle policies, lo stato dell'arte dei consumi e alcune strategie integrate per la transizione energetica. Successivamente, attraverso l'analisi della documentazione normativa istituzionale, introduce e descrive l'evoluzione della disciplina sulle Diagnosi Energetiche, che fornisce una metodologia di controllo delle performance nelle organizzazioni industriali e guida le stesse a realizzare piani di miglioramento. Tale metodologia è stata quindi assunta anche come strumento di ricerca per l'analisi dello stato dell'arte delle performance del sito produttivo oggetto di studio. Viene quindi riportato il lavoro svolto in Azienda sulla redazione delle Diagnosi Energetiche consegnate ad ENEA nel 2023, approfondendo per un caso studio aziendale di riferimento il tema del confronto con le Best Available Techniques e

l'analisi dei principali risultati conseguiti, al fine di designare lo stato dell'arte delle performance energetiche dello stabilimento.

Il capitolo si conclude con l'elaborazione dello schema degli indicatori principali di riferimento per la valutazione dell'integrazione delle strategie migliorative delle performance di circolarità ed energetiche da considerare per i percorsi di decarbonizzazione.

3. Il terzo capitolo approfondisce il tema della transizione digitale e dell'industria 4.0 per il controllo data-driven degli asset di fabbrica. Si introduce la disciplina sul monitoraggio attesa dalla normativa sulla Diagnosi Energetica, lo stato dell'arte sui benefici del monitoraggio e dei sistemi digitali per il facility management nelle aziende, e si descrive l'architettura del sistema di monitoraggio digitale implementato nel caso studio aziendale.

Viene quindi descritto il work-flow utilizzato per la redazione delle Diagnosi Energetiche durante l'attività svolta in collaborazione con l'Azienda e gli attori coinvolti, vengono analizzati i punti di forza e le opportunità di miglioramento.

In conclusione, viene suggerita l'automazione di alcuni processi, abilitandola attraverso le piattaforme integrate dei vari sistemi di fabbrica già presenti, e si descrivono i vantaggi delle piattaforme per il Facility Management BIM-based che realizzano il Digital Twin dell'intera fabbrica e agevolano lo svolgimento delle attività richieste dalle Diagnosi Energetiche e degli audit.

4. Il quarto capitolo approfondisce il tema della digitalizzazione e dei Digital Twin in termini di strumenti per l'individuazione, la valutazione, il calcolo dei miglioramenti energetici e di decarbonizzazione attraverso la simulazione basata sui dati reali e si descrivono i vantaggi della calibrazione del modello su dati di fabbrica effettivamente monitorati.

Viene effettuato lo studio di una metodologia per la realizzazione di un modello digitale di un sito produttivo che sia calibrato sui dati reali dello stabilimento caso studio, che comprende l'analisi preliminarmente e la comprensione del comportamento energetico basato sui dati raccolti in sede di elaborazione delle Diagnosi Energetiche, la modellazione e la verifica attraverso simulazioni dinamiche.

Viene infine effettuata la simulazione di interventi energetici migliorativi e la realizzazione di scenari futuri, valutati in relazione alle strategie integrate di decarbonizzazione, e vengono descritti i limiti dello studio e avanzati possibili sviluppi della ricerca per la realizzazione di Digital Twin efficaci.

La tesi si conclude con un capitolo di sintesi che evidenzia, in relazione agli argomenti trattati e agli obiettivi dichiarati, i risultati raggiunti.

CAPITOLO 1.

La circolarità come nuovo modello di sviluppo per la decarbonizzazione del settore industriale

1.1. La nuova competitività industriale trainata dall'attenzione verso l'ambiente

1.1.1. L'evoluzione dei concetti di Ecologia Industriale e di chiusura dei cicli per lo sviluppo sostenibile dei sistemi produttivi, la rinnovabilità delle risorse e la riduzione dell'impatto ambientale

La necessità di revisionare i modelli di sviluppo consolidati nelle economie industrializzate e il dibattito che ne è scaturito, trova le sue premesse in partire dagli anni 60, a seguito della presa di coscienza del critico rapporto che intercorre tra la ricerca dell'accrescimento continuo dei livelli di benessere caratteristico delle società avanzate e lo sfruttamento delle risorse naturali su cui l'intero sistema si basa per raggiungere tale scopo. A partire da pubblicazioni quali 'The Silent Spring' della biologa Rachel Carson nel 1962, che ha inquadrato il problema dell'incongruenza tra la crescita mondiale e la disponibilità delle risorse e l'insostenibilità dei modelli di consumo, e 'The Limits to Growth' del Club di Roma nel 1968, che preannunciava la crisi ambientale (Babkin et al., 2023), è stata sempre più promossa dal mondo scientifico la necessità di salvaguardare il capitale naturale e indagare le interrelazioni tra i modelli di business e gli impatti ambientali ad essi correlati, non potendo prescindere dalle seguenti condizioni al contorno:

- la limitatezza delle risorse disponibili al prelievo, utilizzate come flussi di input nei sistemi produttivi,
- le alterazioni degli equilibri della biosfera¹ dovute alle emissioni e al rilascio di rifiuti in output dai processi di estrazione delle materie prime, produzione e smaltimento dei prodotti a fine vita.

Nel 1966, l'economista Kenneth Ewart Boulding, pur non coniato ancora il termine 'Economia circolare', ha formulato nel suo 'The economy of the coming spaceship earth' l'idea che un modello economico configurato come sistema chiuso sia un prerequisito che rende attuabile la sostenibilità della vita umana sul pianeta che lo

¹ Vladimir Vernadskij (1863-1945) ha definito il termine Biosfera nel suo 'The Biosphere' del 1926 (Vernadsky, 1998), considerandola come la più grande forza geologica sulla Terra, che sposta, elabora e ricicla diversi miliardi di tonnellate di massa all'anno. È distinta da tutti gli altri involucri geologici del pianeta sia perché è abitata da materia vivente, la quale si rivela come forza geologica che la rimodella, modificandone le proprietà fisiche, chimiche e meccaniche, sia perché è l'unico involucro in cui l'energia solare permea in modo notevole permettendo la vita. Lo stesso pianeta Terra protegge le condizioni di vita nella biosfera dalla penetrazione dei raggi ultravioletti. In questo quadro, anche le attività umane vengono percepite come un fattore geologico, in gran parte negativo, che influenza il futuro del pianeta (Babkin et al., 2023).

ospita (Ghisellini et al., 2016), descrivendo tale sistema come fondato sul superamento dell'idea di 'frontiera' e di scambio di materia ed energia da e verso un 'esterno' inesauribile di risorse prelevabili e infinitamente capace di assorbire gli scarti, convinzione tipica degli approcci dei sistemi aperti. Veniva suggerito di considerare un unico perimetro nel quale quanto sia classificabile come output di alcune parti debba necessariamente diventare input delle altre (Boulding, 1966). In tale approccio emerge la considerazione dell'ambiente come recettore vulnerabile e sensibile agli effetti delle configurazioni assunte dai modelli economici delle attività antropiche, e non estraneo alle forme del consumo. Le riflessioni erano quindi rivolte al problema della finitezza delle risorse e dell'inquinamento, alla conseguente necessità di minimizzare gli sprechi, di considerare gli impatti dell'azione dell'uomo sull'ambiente e di estendere l'orizzonte temporale della valutazione di tali impatti alle generazioni future, considerate come parte di una stessa comunità in cerca di benessere, estesa non solo nello spazio ma anche nel tempo, e pertanto aventi voce seppur non diritto di voto nel momento presente (Boulding, 1966).

Nel 1972, il Club di Roma, associazione non governativa di scienziati e dirigenti pubblici ha pubblicato il rapporto sui limiti dello sviluppo globale commissionato nel 1968 al Massachusetts Institute of Technology (Meadows et al., 1972), che tramite modelli di calcolo al computer ha esaminato le tendenze e le interazioni dei cinque fattori determinanti la crescita pianeta: l'aumento della popolazione, la produzione agricola, l'esaurimento delle risorse non rinnovabili, la produzione industriale e la generazione di inquinamento. Lo studio ha evidenziato che il mantenimento delle tendenze registrate di crescita esponenziale in un sistema finito provocherà il raggiungimento del limite entro un secolo, con un conseguente declino improvviso e incontrollabile della popolazione e della capacità industriale, prevedendo un collasso per via dell'esaurimento delle risorse non rinnovabili e dell'inquinamento, non evitabile nemmeno attraverso l'applicazione delle soluzioni tecnologiche più ottimistiche (energia nucleare, riduzione dell'inquinamento, aumento della resa agricola, controllo delle nascite), che potrebbero al massimo solo ritardare l'ineluttabile esito. Tuttavia, nelle conclusioni dello studio è stata designata la possibilità di evitare lo scenario di collasso, previa tempestività d'azione, attraverso l'integrazione di diverse soluzioni che mirano a limitare la crescita combinando trasformazioni dei paradigmi sociali ed economici oltre all'innovazione tecnologica. Questi cambiamenti si rivolgono a:

- Stabilizzare la popolazione, attraverso metodi di controllo delle nascite e un cambiamento nei valori sociali che portino a una riduzione del tasso di natalità
- Stabilizzare il capitale, attraverso la gestione dei tassi di investimento in modo da eguagliare il tasso di deprezzamento del capitale, evitando un'espansione incontrollata

Secondo lo studio, il punto d'arrivo di tali trasformazioni socio economiche sarà un 'equilibrio globale', uno stato di stabilità sostenibile in cui la popolazione e il capitale sono costanti, ma non statici, poiché si potranno destinare risorse e tempo a settori come l'educazione, l'arte, la ricerca scientifica e lo sviluppo sociale, mentre

l'innovazione tecnologica potrà essere indirizzata verso la sostenibilità e la qualità della vita, piuttosto che verso una crescita quantitativa illimitata.

Nel 1976, Walter Stahel e Geneviève Reday-Mulvey hanno elaborato un rapporto per la Commissione Europea dal titolo 'The potential for substituting manpower for energy' (W. R. Stahel & Reday-Mulvey, 1977), introducendo un primo modello di 'loop economy' o economia dei circuiti chiusi e focalizzandosi sull'estensione della vita dei prodotti, sul riutilizzo e sul riciclo, con l'obiettivo di promuovere un sistema economico più sostenibile e meno dipendente dalle risorse energetiche. La tesi sosteneva che la sostituzione dell'energia con la manodopera potesse creare nuove opportunità occupazionali, ridurre l'impatto ambientale e aumentare la competitività economica, evidenziando che attività come la manutenzione, la riparazione e il ricondizionamento dei prodotti richiedono un maggiore impiego di forza lavoro rispetto alla produzione di nuovi beni e contribuiscono così alla creazione di posti di lavoro e alla riduzione del consumo energetico associato alla produzione industriale. In conclusione, si proponeva di ripensare i modelli di produzione e consumo, passando da un approccio lineare (prendi, produci, smaltisci) a uno circolare, in cui i materiali vengono costantemente reintegrati nel ciclo produttivo. Questo cambiamento di paradigma avrebbe potuto portare a una significativa riduzione dei rifiuti e a un uso più efficiente delle risorse naturali. Sull'importanza di estendere la vita utile dei prodotti per ridurre l'uso delle risorse naturali e l'impatto ambientale, Walter Stahel ha pubblicato in seguito, nel 1986, l'articolo 'Product Life as a Variable: The Notion of Utilization' (W. R. Stahel, 1986), in cui ha evidenziato come la società dei consumi tenda a favorire la rapida sostituzione dei beni, spesso a scapito della sostenibilità, e ha proposto il concetto di 'sistema autosufficiente', un modello economico basato su cicli di utilizzo più lunghi e cicli a spirale che minimizzano l'uso di materiali ed energia, riducendo al contempo il deterioramento ambientale. Tale modello include pratiche come:

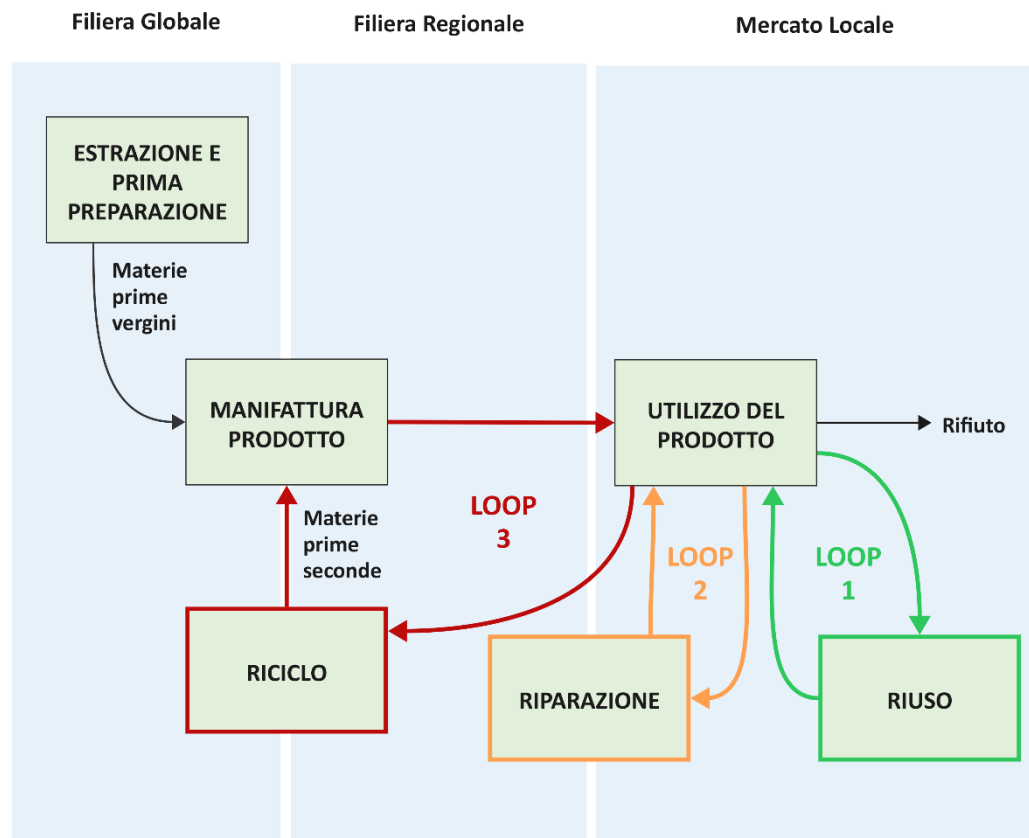
- Riutilizzo dei beni, che consiste nel prolungare la vita dei prodotti attraverso il loro riutilizzo diretto
- Riparazione dei beni, che comprende gli interventi per ripristinare la funzionalità dei prodotti danneggiati
- Ricondizionamento/Ricostruzione dei beni, che si riferiscono ai processi che riportano i prodotti a uno stato pari al nuovo
- Riciclo delle materie prime, ovvero il recupero dei materiali dai prodotti a fine vita per la produzione di nuovi beni

Questo approccio mira a:

- minimizzare il flusso di materiali ed energia, senza compromettere la crescita economica o il progresso tecnologico
- ridurre la dipendenza dalle importazioni di materiali strategici
- diminuire la quantità di rifiuti
- creare opportunità occupazionali nei settori della manutenzione e del ricondizionamento

L'autore, inoltre, ha sottolineato che la durata di vita di un prodotto non è determinata esclusivamente dal produttore, ma anche dall'utilizzatore. Ad esempio, beni identici possono avere una durata media di 10 anni nei paesi sviluppati e di 35 anni in quelli in via di sviluppo. Pertanto, estendere la vita dei prodotti attraverso una manutenzione adeguata e la progettazione orientata alla durabilità può ridurre significativamente l'esaurimento delle risorse e la produzione di rifiuti, promuovendo una società più sostenibile e responsabile dal punto di vista ambientale. Si riporta uno schema elaborato in seguito in un altro articolo di Stahel (W. Stahel & Clift, 2016) a supporto dell'idea che l'economia circolare si basa sulla conservazione del valore, non sull'aggiunta di valore, illustrando i diversi cicli di gestione dei beni (Fig.3):

Fig. 3
Flowchart dei cicli di gestione dei beni per la conservazione del valore.
Fonte: Stahel and Clift, 2016



- Il ciclo del riutilizzo (Reuse Loop 1), svolto solitamente a livello locale, include pratiche come i mercatini delle pulci e (o le attuali piattaforme come eBay) e il riutilizzo di beni come il riempimento di contenitori per bevande
- Il ciclo della riparazione/ricondizionamento (Remanufacturing – Loop 2), svolto sia a livello locale che a livello di centri regionali, comprende attività come la riparazione, la rigenerazione e l'aggiornamento per soddisfare nuovi standard tecnologici o nuove mode (si pensi alla riparazione delle automobili o degli elettrodomestici)
- Il ciclo del riciclaggio (Reprocessing – Loop 3), relativo a pratiche gestite a livello regionale o globale, secondo cui vengono recuperati i materiali dei prodotti a fine vita per essere rielaborati come materiali secondari ed essere

reimmessi in nuovi cicli produttivi, anzi che riparare o riutilizzare beni e componenti (si pensi al riciclaggio della carta e della plastica).

L'autore giudica il Loop 2 del riciclaggio meno redditizio ed efficiente dal punto di vista di materiale, poiché la proprietà cambia con ogni ciclo e ogni proprietario mira a massimizzare i profitti nei trasferimenti di risorse e spesso si assiste ad una perdita della qualità dei materiali (downcycling), mentre reputa interessante il modello di business della Lake Economy che può scaturire dal Loop 1 della riparazione/ricondizionamento e si concentra sulla conservazione del valore attraverso una gestione responsabile, senza cambiamenti di proprietà, dei beni posseduti da operatori economici che mettono a disposizione l'utilizzo e la manutenzione.

Nel 1989, altri autori diedero un contributo notevole al dibattito scientifico intorno ai temi della chiusura dei cicli per la sostenibilità del sistema economico e produttivo.

Robert A. Frosch e Nicholas E. Gallopoulos, incentivati dai concetti di Stahel di efficienza e durabilità delle risorse, svilupparono l'idea di 'Ecologia Industriale' (Frosch & Gallopoulos, 1989) basata su un'analogia tra i ecosistemi naturali ed ecosistemi industriali, promuovendo la necessità di impostare sistemi chiusi in cui ridurre la produzione di rifiuti nei processi e massimizzare l'impiego efficiente dei materiali di scarto e il riuso dei prodotti a fine vita come input per altri processi produttivi. Gli autori sostenevano che già nella fase di progettazione i prodotti devono essere pensati per essere destinati al riciclo/riuso a fine vita e riconoscevano la responsabilità del produttore (Cutaia & Morabito, 2012).

Robert U. Ayres nel suo articolo 'Industrial Metabolism' (Ayres, 1989) ha sviluppato a sua volta la metafora della 'biosfera' e della 'tecnosfera' a supporto del concetto di Ecologia Industriale. Ayres ha riconosciuto come punto di partenza che:

- nella biosfera si assiste ad un uso efficiente di materiali ed energia e i rifiuti di un organismo o di un processo diventano risorse per un altro, creando un ciclo chiuso che minimizza gli scarti
- nella tecnosfera invece i processi industriali seguono spesso un modello lineare (estrai, produci, smaltisci) che sfrutta le risorse e genera grandi quantità di rifiuti non utilizzati e rilasciati in ambiente (emissioni in aria, acqua, suolo)

Lo sforzo incoraggiato è quello di plasmare la tecnosfera ad imitazione della biosfera al fine di migliorare il livello di sostenibilità, adottando modelli circolari in cui i materiali vengono continuamente riutilizzati e reimmessi nei processi, riducendo gli sprechi e migliorando l'efficienza nell'uso delle risorse. Solo così sarà possibile garantire la coesistenza armoniosa tra i sistemi naturali e quelli artificiali, preservando l'ambiente per le generazioni future.

Nel 1990, David William Pearce e R. Kerry Turner (Pearce & Turner, 1990), proseguendo sull'indagine del legame tra economia e ambiente, hanno supposto di identificare tre funzioni economiche dell'ambiente:

1. fornitura di risorse,
2. sistema di supporto vitale,
3. deposito di rifiuti ed emissioni.

Analogamente ad altre funzioni economiche, queste tre funzioni fondamentali dovrebbero avere un prezzo, ma viene sottolineato che non esiste un mercato per i beni ambientali (come la qualità dell'aria e dell'acqua, i beni pubblici) anche se hanno un chiaro valore o utilità per gli individui e le società. Gli autori, analizzando diagrammi di flusso per input e output di materiali, energia e benessere, hanno sottolineato l'importanza di tutelare l'equilibrio tra economia e ambiente, considerando quest'ultimo e il sistema industriale come un unico ecosistema congiunto caratterizzato da flussi di materiali, energia e informazioni, nonché dalla fornitura di risorse e servizi dalla biosfera.

Già Pearce e Turner hanno utilizzato esplicitamente nei loro scritti il termine 'Economia Circolare', e negli anni '90 e 2000 questo è iniziato ad essere sempre più diffuso in letteratura. Contestualmente sono emersi i concetti di design rigenerativo e cradle-to-cradle.

Nel 1994, John T. Lyle, paesaggista e professore americano, nel suo 'Regenerative Design for Sustainable Development' ha approfondito il termine di 'Design rigenerativo', ponendo le basi per un approccio olistico alla progettazione che integra gli esseri umani e l'ambiente in un sistema armonioso che supera l'idea di sostenibilità tradizionale, poiché mira non solo a ridurre gli impatti negativi sull'ambiente, ma a ripristinare, rigenerare e migliorare gli ecosistemi naturali, includendo interventi che migliorano la qualità del suolo, dell'acqua e della biodiversità e contribuendo attivamente alla salute e alla resilienza dell'ambiente.

Nel 2002, Michael Braungart, chimico tedesco, e William McDonough, architetto e designer statunitense, hanno introdotto il concetto di 'Cradle-to-cradle' nel loro libro intitolato 'Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things' (McDonough & Braungart, 2002). Tale concetto sottende un approccio alla progettazione e produzione sostenibili che mira a creare un sistema rigenerativo in cui i flussi biologici e tecnici vengano continuamente reintegrati nell'ambiente o nei processi industriali, senza perdita di valore o sprechi, al fine di eliminare il concetto di rifiuto, poiché tutti i prodotti devono essere progettati con materiali riciclabili e componenti riutilizzabili (Fig.4). Nello specifico, la filosofia alla base considera la duplice natura dei flussi di materiali coinvolti nei cicli produttivi: da un lato i nutrienti biologici, riferiti alle risorse prelevate dalla biosfera e che hanno possibilità di tornarvi in sicurezza rinnovando il capitale naturale o fornendo energia come biomassa; dall'altro i nutrienti tecnici, quali polimeri, leghe e altri materiali artificiali, che dovrebbero essere progettati per il loro riutilizzo con la minima energia e il mantenimento della massima conservazione della loro qualità, attraverso l'upcycling piuttosto che il downcycling (più energivoro). In alcuni casi, in particolare per prodotti tecnologici soggetti a frequenti aggiornamenti, la durabilità non è la strategia ottimale. In tali situazioni, è preferibile progettare i prodotti in modo che siano facili da smontare e che i loro componenti possano essere

recuperati, sia per aggiornare alcuni elementi sia per riutilizzarli nella generazione successiva. I componenti dei prodotti possono essere progettati per un recupero continuo e il loro riutilizzo. Il framework Cradle to Cradle non si occupa solo di materiali, ma anche degli input di energia e acqua, e si basa su tre principi chiave:

- I rifiuti sono cibo, che mira ad eliminare il concetto di rifiuto
- Utilizzare il reddito solare, che si riferisce all'impiego di fonti di energia rinnovabile per i processi produttivi
- Celebrare la diversità biologica e sociale, secondo cui la progettazione deve rispettare e supportare i sistemi naturali e culturali

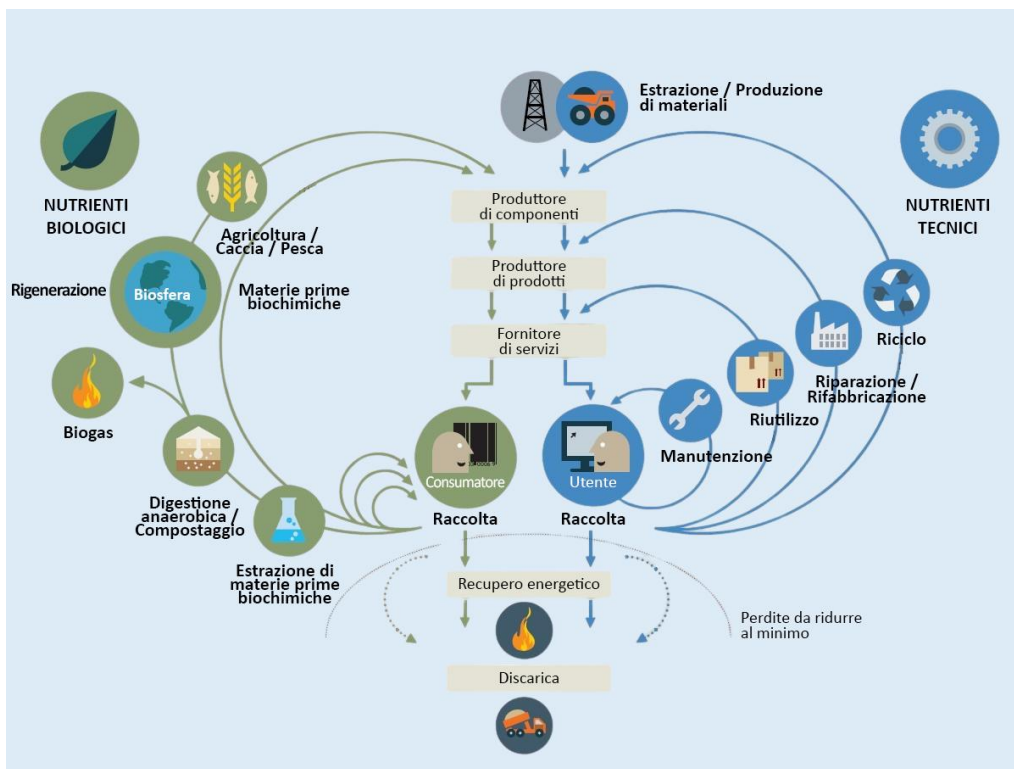


Fig. 4
Flowchart del sistema di produzione e consumo rigenerativo dei nutrienti biologici e tecnici nell'economia circolare.
Fonte: Ellen MacArthur Fondation, 2013

Tale approccio è stato considerato dagli stessi autori abilitante un design con impatto positivo, riflettendo sulla necessità di superare l'obiettivo di eco-efficienza per promuovere quello di eco-efficacia: il primo, puntando soltanto alla riduzione delle risorse materiali ed energetiche in input per unità di produzione, non altera la linearità del sistema e la natura finita delle scorte, ma può solo ritardare l'inevitabile; lavorare per l'eco-efficacia (seguendo il cosiddetto approccio "Cradle to cradle") significa invece operare lo sforzo di progettare i prodotti e i loro componenti per essere trasformati, smontati e riutilizzati, generando nuovi metabolismi industriali, secondo una dinamica a cascata che rinnova il valore dei materiali e non lo impoverisce. La semplice riduzione al minimo del flusso degli input nella produzione è una pratica che le industrie perseguono spontaneamente per motivi di pura convenienza economica, mentre ripensare alla progettazione in ottica di eco-efficacia è descritta come una sfida innovativa. Lo smaltimento di un prodotto in discarica comporta la perdita di tutta la

sua energia residua, il riciclaggio degli scarti comunemente inteso (downcycling) ne recupera una piccola quota, mentre il riutilizzo consente il risparmio di molta più energia (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Il framework 'Cradle to cradle' è stato tradotto successivamente in un processo di certificazione di sostenibilità dei prodotti.

Le tematiche ambientali di cui si è discusso, veicolate dalla letteratura, sono state assorbite anche sul piano istituzionale: nel 2011, con il quadro delle Nazioni Unite per lo sviluppo sostenibile è stata introdotta l'agenda ESG (Environment Social Governance) e nel 2010 è nata la Ellen MacArthur Foundation, con sede a Chicago e impegnata a supportare la transizione verso l'Economia Circolare sostenendo varie organizzazioni senza scopo di lucro in tutto il mondo.

In conclusione, si riporta che nel 2018, il rapporto speciale dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ha segnalato l'urgenza di ridurre le emissioni di gas climalteranti e la Circularity Gap Reporting Initiative (CGRi) lanciata nel 2017 dalla Economy Foundation per misurare l'economia circolare a livello globale ha registrato un valore pari al 9,1% nel 2018 ed un deludente 7,2% nel 2023.

1.1.2. Le caratteristiche dell'Economia Circolare quale modello emergente di produzione e consumo che mira alla sostenibilità delle attività antropiche

Benché non esiste una definizione ufficiale e univoca di 'Economia Circolare', le Istituzioni Europee ne hanno descritto le caratteristiche attraverso gli organi interni di ricerca del Parlamento (European Parliamentary Research Service, 2016) e le Comunicazioni della Commissione (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - A new Circular Economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe, 2020; Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - Closing the Loop. An EU Action Plan for the Circular Economy, 2015).

Volendo riassumere e sistematizzare, si tratta di un nuovo modello economico, quindi un 'mezzo' da perseguire al fine di raggiungere uno 'scopo', che consiste nel raggiungere la sostenibilità ambientale, economica e sociale (Fig.5). Essendo classificabile come 'modello economico', coinvolge:

- sia il lato della produzione
- sia il lato del consumo

ed è basato *'sulla condivisione, il noleggio, il riutilizzo, la riparazione, il ricondizionamento e il riciclaggio, in un ciclo (quasi) chiuso, che mira a mantenere sempre la massima utilità e valore di prodotti, componenti e materiali'* (European Parliamentary Research Service, 2016).

In un tale sistema, le strategie per mantenere il più a lungo possibile la vita dei prodotti implicano gli sforzi di:

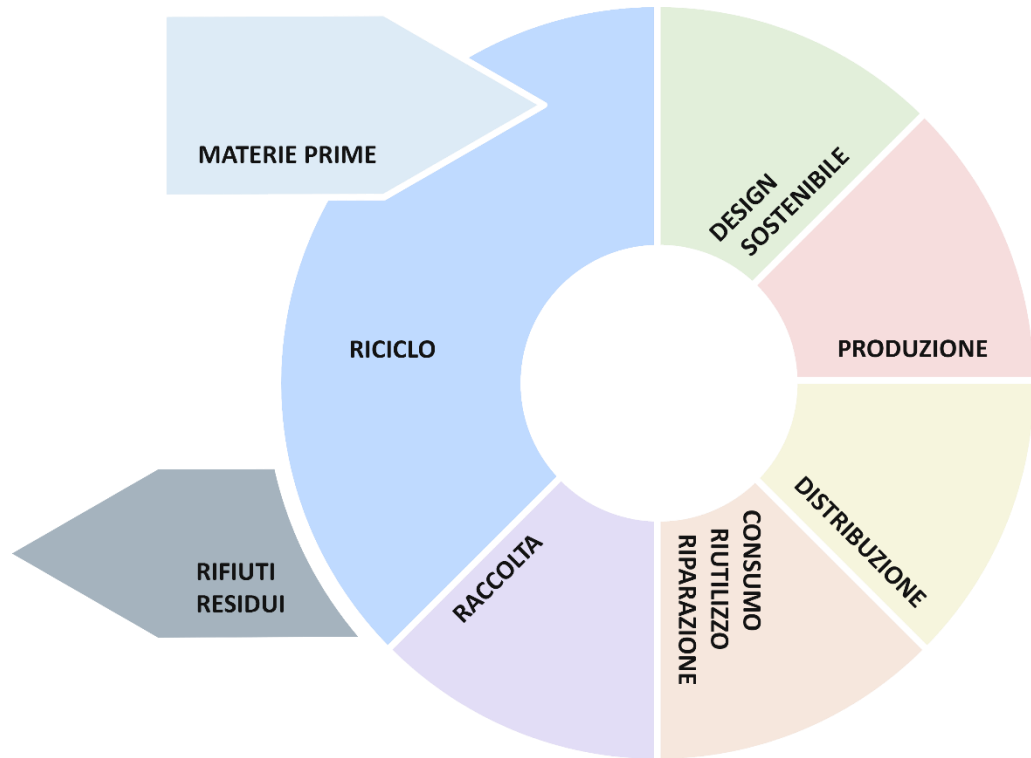
- estendere la durata del singolo prodotto
- moltiplicare i cicli del suo utilizzo

In questo modo, il perseguimento della sostenibilità ambientale viene trapiantato poiché si riducono:

- l'immissione continua di nuovi materiali vergini in input nei processi produttivi
- la produzione di rifiuti a fine vita

mentre la sostenibilità sociale ed economica è soddisfatta attraverso il mantenimento, la rigenerazione e l'aumento, ad ogni nuovo ciclo, del valore economico del bene.

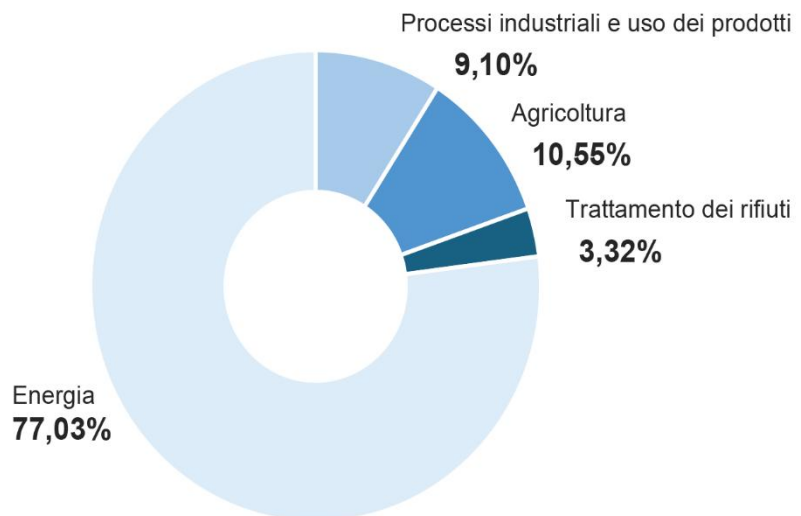
Fig. 5
 Il modello di economia circolare: meno materie prime, meno rifiuti e meno emissioni.
 Fonte: Servizio di ricerca del Parlamento Europeo



Volendo declinare più nello specifico gli effetti attesi dalla transizione verso un tale modello economico che inevitabilmente richiede un rinnovato impegno a produttori e consumatori e un'inversione di marcia rispetto alle consuetudini dell'attuale modello economico lineare, si specificano di seguito gli scenari di:

- salvaguardia del capitale naturale:
 - il rallentamento del prelievo di risorse naturali limita la distruzione del paesaggio, degli habitat e della biodiversità
 - la riduzione della produzione di nuovi beni di consumo e dei rifiuti legati al loro fine vita riduce gli impatti climateranti provocati dalle emissioni a carico dei processi industriali e dei trattamenti di dismissione in discarica (Fig.6)

Fig. 6
 Emissioni di gas serra in Europa divise per settore, escluso il settore uso del suolo, cambiamenti di uso del suolo e silvicoltura (LULUCF).
 Fonte: Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA)



- riduzione della dipendenza dell'Unione Europea dalle importazioni di materie prime. È stato stimato che quasi metà delle materie prime consumate in Europa provengono da importazione (Eurostat, 2024)
- aumento di competitività:
 - un sistema basato sulla riduzione degli sprechi si lega a vantaggi economici
 - la formulazione di modalità di rigenerazione di beni stimola l'innovazione
 - la revisione dei modelli di utilizzo e fruizione dei beni attiva nuove imprenditorialità e nuovi posti di lavoro

In conclusione si riporta uno schema esplicativo (Fig.7) dell'orizzonte cui tende la transizione verso l'Economia Circolare, elaborato a partire da un grafico illustrato in un Report del Working Group on Decoupling per l'Environment Programme delle Nazioni Unite (UNEP - UN Environment Programme, 2011). La transizione sottende il principio chiave del Disaccoppiamento della crescita economica e del benessere dall'utilizzo delle risorse e dagli impatti ambientali derivati, al fine di raggiungere lo sviluppo sostenibile. In particolare, si mira a:

- Resource decoupling, ovvero alla riduzione della quantità di risorse necessarie per generare un'unità di produzione economica
- Impact decoupling, ovvero alla riduzione degli impatti ambientali associati all'uso delle risorse o alle attività economiche
- Well-being decoupling, ovvero alla riduzione della quantità di risorse necessarie per il mantenimento delle aspettative di crescita di benessere

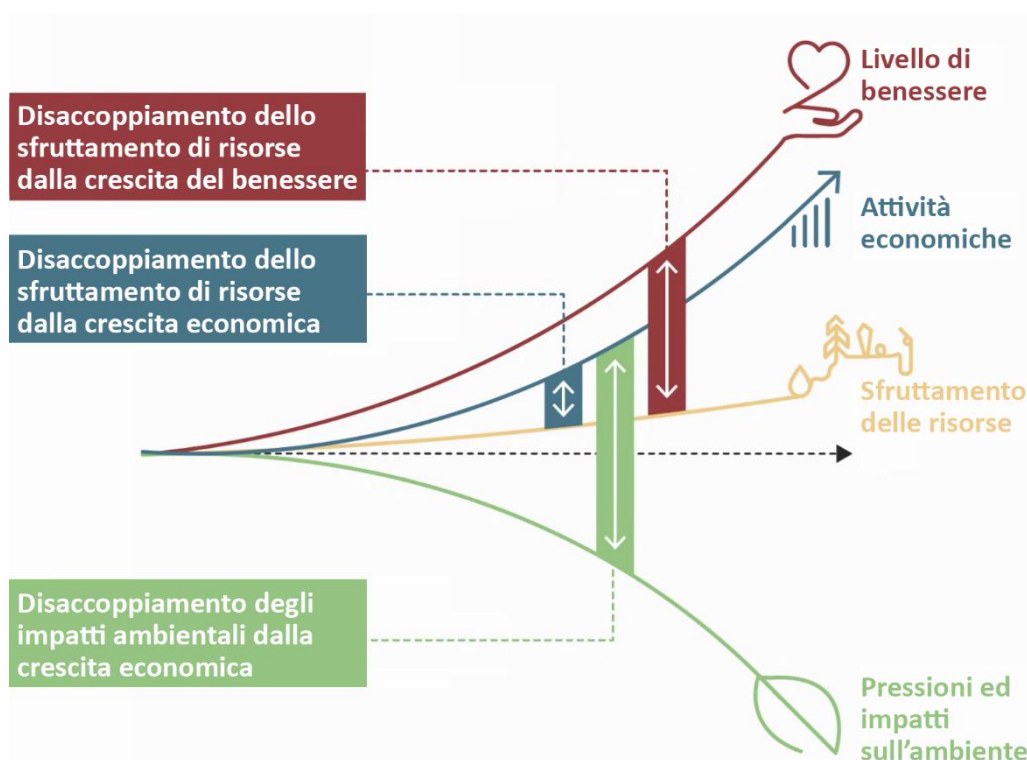


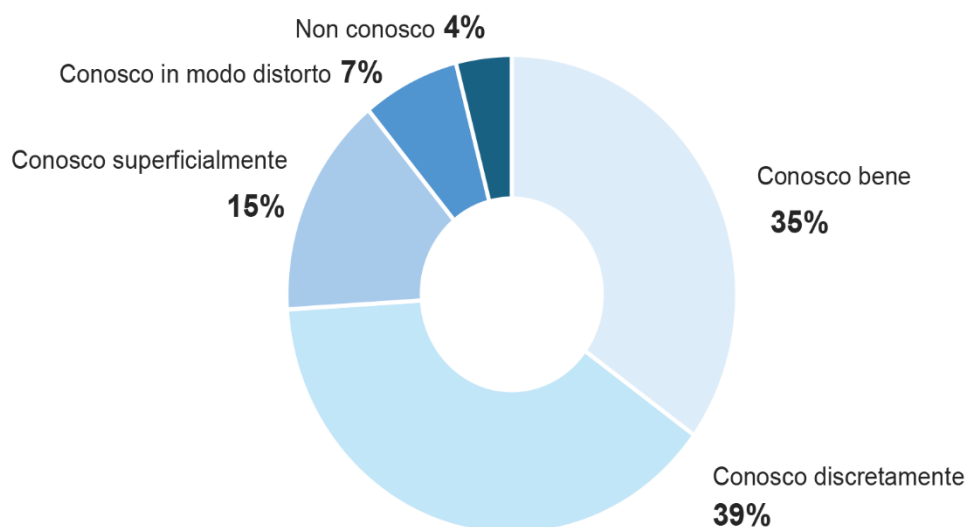
Fig. 7
 Disaccoppiare l'uso delle risorse naturali e gli impatti ambientali dalla crescita economica.
 Fonte: Nazioni Unite, 2011

1.1.3. L'attenzione dell'industria verso l'ambiente e l'economia circolare spinto da una nuova consapevolezza dei consumatori

Le organizzazioni sono sempre più attente a comunicare la propria attenzione verso la riduzione degli impatti ambientali legati alle loro attività e alla catena di fornitura in cui sono inserite, soprattutto perché il mercato lo richiede e una certa transizione verso la cultura della sostenibilità si sta diffondendo tra investitori e consumatori, promossa dalle istituzioni sovraordinate nelle strategie delle policies, con evidenti riverberi nell'apparato prescrittivo normativo, nelle iniziative di incentivazione pubblica e nell'ambito della finanza. Si analizzano qui le tendenze sul lato dei consumatori, approfondendo nel successivo paragrafo il ruolo delle policies e degli investitori.

I risultati di un sondaggio dal titolo 'L'Italia e l'Economia Circolare', somministrato nel mese di Giugno 2024 a una platea di 1000 consumatori italiani da Ipsos, importante società multinazionale di ricerche di mercato, ed esposta alla XI edizione dell'EcoForum nazionale organizzato da Legambiente e Kyoto Club, rivela che il 74% degli intervistati conosce bene o discretamente il concetto di sostenibilità. Nel complesso, tale consapevolezza è in fortissima crescita rispetto ai livelli che si registravano nel 2011 (Fig.8). Inoltre, un terzo degli intervistati sostiene che ogni cittadino dovrebbe non solo indirizzare i propri comportamenti in aderenza ai principi di un'etica attenta alla tutela del capitale ambientale, ma dovrebbe anche selezionare le aziende presso cui effettua i propri acquisti in base alla loro attenzione a ridurre gli impatti ambientali, con specifico riferimento alla mitigazione dei cambiamenti climatici; viene inoltre auspicato che le stesse aziende interpretino profittevole la realizzazione di strategie di economia circolare. La transizione verso l'economia circolare è percepita come prioritaria per oltre il 50%, insieme alla crescita della quota di fonti rinnovabili nella fornitura di energia (Fig.9).

Fig. 8a
La conoscenza del concetto di sostenibilità: percentuali indicative dei diversi livelli di conoscenza.
Fonte: Ipsos, 2024



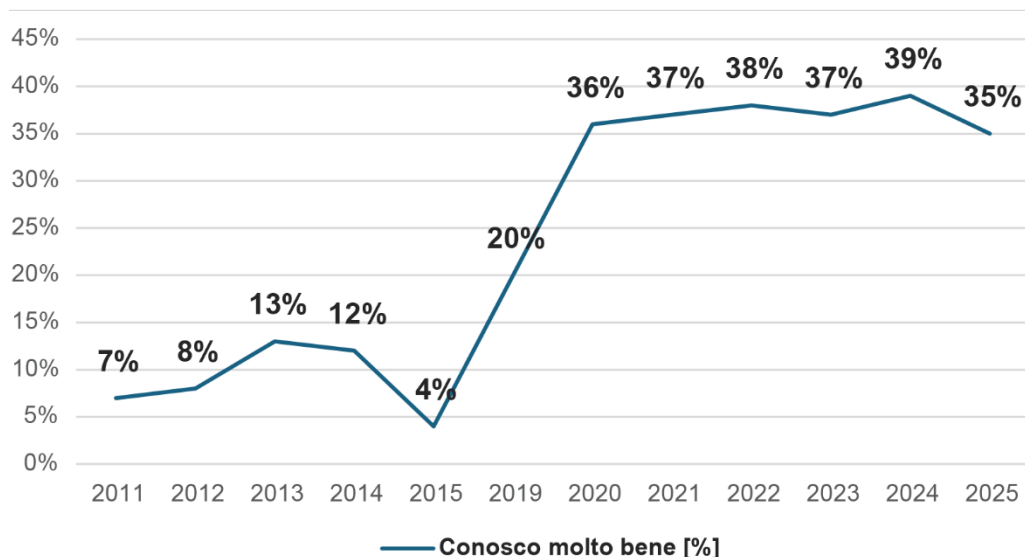


Fig. 8b
La conoscenza del concetto di sostenibilità: andamento nel tempo della percentuale di persone che hanno risposto 'Conosco molto bene'.
Fonte: Ipsos, 2024

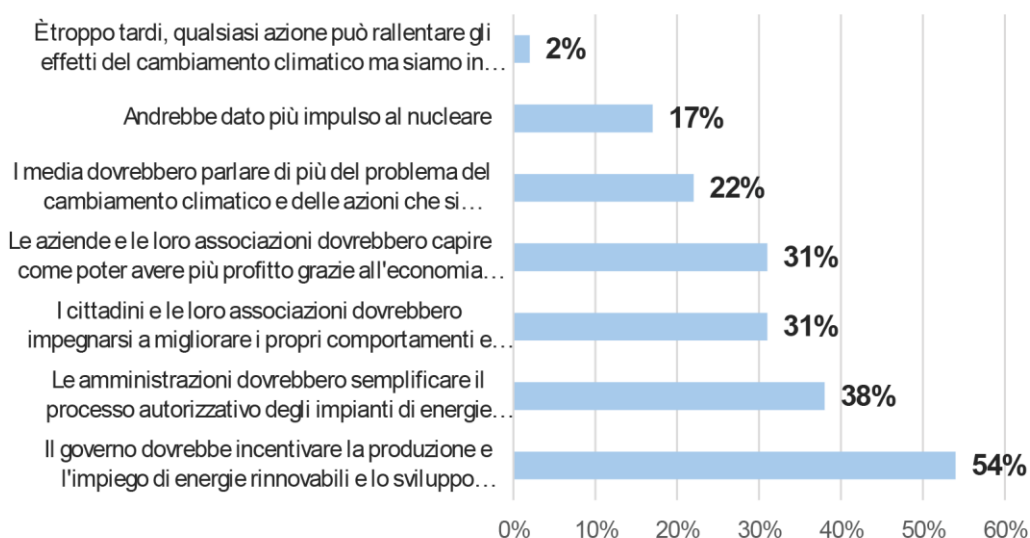


Fig. 9
Le azioni e provvedimenti ritenuti fondamentali per la gestione del problema del cambiamento climatico.
Fonte: Ipsos, 2024

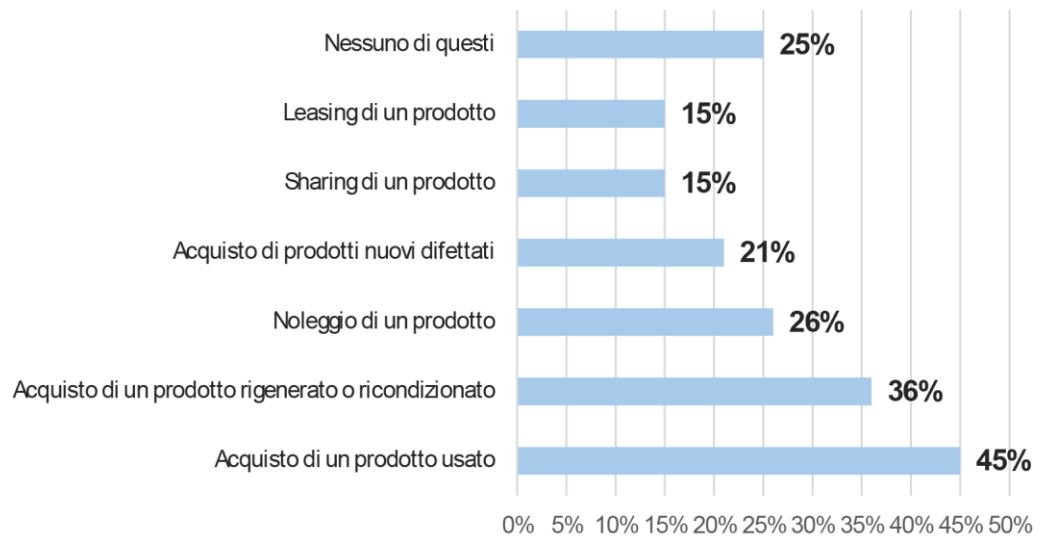
L'Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile nel suo 'Rapporto ASviS 2023' rivela che tra i consumatori, la conoscenza dei principi dell'Economia Circolare ha raggiunto quasi la metà della popolazione: il 45% dichiara di aver acquistato negli ultimi tre anni un prodotto usato e il 36% un prodotto rigenerato o ricondizionato (Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile, 2023) (Fig.10).

Il doppio filo culturale che lega il cambiamento delle abitudini della platea dei consumatori all'etica comportamentale delle imprese produttrici è evidentemente tessuto dalle policies internazionali. L'Obiettivo 12 dell'Agenda 2030 per lo Sviluppo sostenibile dell'Organizzazione delle Nazioni Unite è indirizzato verso il 'Consumo e Produzione Responsabili', e coinvolge pertanto sia le aziende produttrici che i clienti finali, riconoscendo le reciproche influenze. I risultati delle politiche a supporto di questa transizione collettiva vengono riportati nel citato 'Rapporto ASviS 2023', che monitora le evoluzioni dell'Italia relativamente agli obiettivi di sostenibilità dell'Agenda

2030 e ha registrato dal 2010 al 2020 un miglioramento di indicatori quali la quota di raccolta differenziata, aumentata del 27,7%, e il consumo pro-capite di materie prime, diminuito del 33% (Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile, 2023). Tali dati verranno illustrati in seguito.

Le aspettative politiche e l'evoluzione del mercato sono quindi interdipendenti.

Fig. 10
Tipologia di fruizione di beni negli ultimi tre anni.



1.1.4. L'attenzione dell'industria verso l'ambiente e l'economia circolare spinto dalle policies a più livelli che istituiscono obblighi e manipolano i mercati finanziari

La sollecitazione delle imprese del settore industriale verso la cura per la sostenibilità non proviene solo dalla domanda dei consumatori, ma è anch'essa fortemente influenzata dalle traiettorie definite delle Istituzioni sovraordinate, che come si diceva in apertura del precedente paragrafo, influenzano il loro business in termini di:

- Emanazione di normative e regolamenti, verso cui le Aziende sono obbligate a conformarsi (si pensi all'obbligo per alcune imprese di redigere il Report di Sostenibilità, o alla tassazione sui rifiuti)
- Emanazione di bandi e incentivi pubblici che richiedono specifici requisiti per la partecipazione, per cui le Aziende si trovano spontaneamente stimolate ad allinearsi (si pensi al caso dei Green Public Procurement)
- Influenza sul mercato finanziario, attraverso provvedimenti che spingono i grandi investitori a orientare il proprio interesse e le proprie risorse verso progetti e Aziende che dimostrano di muoversi verso i temi della sostenibilità (si pensi alla Finanza Sostenibile accompagnata dalla Tassonomia)

Si riassumono con ordine alcuni orizzonti di sostenibilità delle policies a più livelli, che a cascata si riflettono sui regolamenti e i requisiti richiesti agli attori economici.

La già citata Agenda 2030 ha stabilito per i 193 Paesi Membri dell'ONU il raggiungimento di 17 Obiettivi riguardanti lo sviluppo sostenibile, tra i quali si annoverano:



- Goal 8 'Lavoro dignitoso e crescita economica', di cui il sotto-obiettivo 8.4 'Efficienza nell'uso delle risorse materiali', finalizzato a disaccoppiare la crescita economica dagli impatti ambientali



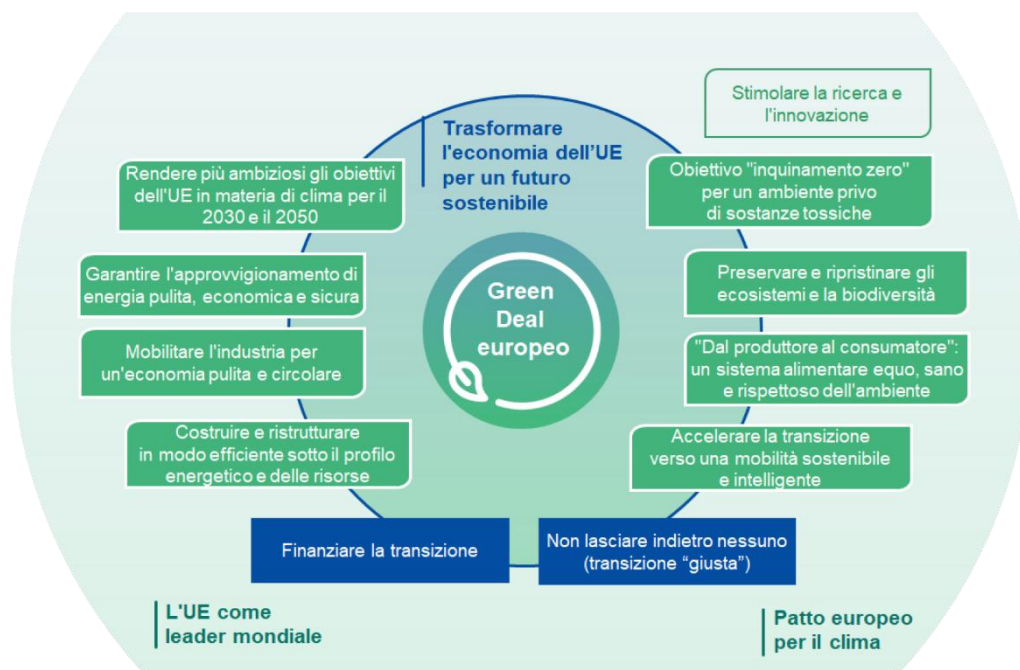
- Goal 12 'Consumo e Produzione responsabili', di cui i sotto-obiettivi:
 - 12.1 'Programmi di consumo e produzione sostenibili'
 - 12.2 'Uso sostenibile delle risorse naturali'
 - 12.5 'Riduzione nella generazione di rifiuti' attraverso strategie di prevenzione, riduzione, riciclaggio e riutilizzo

Allineandosi a tali obiettivi, la Commissione Europea ha emanato nel 2019 il 'Green Deal' con cui ha stabilito alcune strategie per avviare una transizione del proprio sistema economico che mira a migliorare la sostenibilità, con particolare riguardo al raggiungimento della Neutralità Climatica al 2050. Tali strategie hanno originato specifiche Direttive che gli Stati Membri sono stati chiamati a recepire nei propri ordinamenti interni (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal, 2019) (Fig.11). Si segnalano:

- Mobilitare l'industria per un'economia pulita e circolare
- Garantire l'approvvigionamento di energia pulita, economica e sicura

- Costruire e ristrutturare in modo efficiente sotto il profilo energetico e delle risorse

Fig. 11
Strategie del Green Deal alla base della transizione dell'economia dell'Unione Europea verso un futuro sostenibile.
Fonte: Commissione Europea, 2019



Al fine di dare attuazione al Green Deal, la Commissione Europea nel 2020 ha elaborato alcune iniziative che contengono manovre orientate all'Economia Circolare, tra cui:

- 'The New Circular Economy Action Plan', pubblicato nel 2020, che ha aggiornato il precedente piano del 2015 alla luce del Green Deal (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - A new Circular Economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe, 2020; Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - Closing the Loop. An EU Action Plan for the Circular Economy, 2015)
- 'The Fit for 55 Package', pubblicato nel 2021, che ha fornito il framework per revisionare il quadro normativo europeo legato alla riduzione delle emissioni climalteranti al fine di tragguardare i nuovi obiettivi di neutralità climatica introdotti con il Green Deal (European Commission, 2021). Da questo framework deriva l'emanazione di Direttive destinate all'efficientamento energetico come la Energy Performance Building Directive EU/2024/1275 (European Parliament and the Council of the European Union, 2024a) che sostengono pratiche di circolarità

Il ‘New Circular Economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe’ (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - A new Circular Economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe, 2020) che prescrive agli Stati Membri di introdurre a livello nazionale le misure di economia circolare riportate nella seguente tabella (Tab.1):

| |
|--|
| Miglioramento della durabilità, della riutilizzabilità, della possibilità di <i>upgrading</i> e della riparabilità dei prodotti, la questione della presenza di sostanze chimiche pericolose nei prodotti e l’aumento della loro efficienza sotto il profilo energetico e delle risorse . |
| Aumento del contenuto riciclato nei prodotti , garantendone al tempo stesso le prestazioni e la sicurezza. |
| Possibilità di rifabbricazione e di riciclaggio di elevata qualità |
| Riduzione delle impronte carbonio e ambientale |
| Limitazione dei prodotti monouso e la lotta contro l’ obsolescenza prematura |
| Introduzione del divieto di distruggere i beni durevoli non venduti |
| Promozione del modello “ prodotto come servizio ” o di altri modelli in cui i produttori mantengono la proprietà del prodotto o la responsabilità delle sue prestazioni per l’intero ciclo di vita |
| Mobilizzazione del potenziale di digitalizzazione delle informazioni relative ai prodotti, ivi comprese soluzioni come i passaporti , le etichettature e le filigrane digitali |
| Sistema di ricompense destinate ai prodotti in base alle loro diverse prestazioni in termini di sostenibilità , anche associando i livelli elevati di prestazione all’ottenimento di incentivi |

Tab. 1
Le misure contenute nel New Circular Economy Action Plan. Fonte: Commissione Europea, 2020

In recepimento degli orientamenti della Commissione Europea, l’Italia ha approvato il 24 giugno 2022 la sua ‘Strategia Nazionale per l’Economia Circolare’ (Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2022), un documento di indirizzo strategico cui seguiranno aggiornamenti normativi e provvedimenti finanziari che da un lato vincoleranno con obblighi e prescrizioni e dall’altro stimoleranno attraverso incentivi e punteggi premianti nell’ambito di definizione o implementazione di nuovi progetti, le organizzazioni ad assumere comportamenti sempre più virtuosi, responsabili e rispettosi dell’ambiente. Si riassumono di seguito le principali misure contenute nel cronoprogramma allegato al documento strategico (Tab.2):

| Tema | Attuazione |
|---|--|
| Governance della Strategia | Istituzione dell’Osservatorio nazionale per l’attuazione della Strategia per l’Economia Circolare entro il 30.09.2022 con finalità di monitoraggio, definizione e quantificazione di target intermedi e aggiornamento annuale del cronoprogramma per l’integrazione di tutte le misure della Strategia (T3 2022); |
| | Report annuale sull’andamento dell’attuazione della Strategia per l’economia circolare sulla base delle attività dell’Osservatorio (a partire da T4 2023). |
| Nuovo sistema di tracciabilità dei rifiuti | Sperimentazione del modello e consultazione con gli stakeholders per la definizione della metodologia (T3 2022); |
| | Schema di decreto ministeriale (con concerto del MEF) che definisce la disciplina del Registro Elettronico Nazionale di Tracciabilità dei Rifiuti (R.E.N.T.R.I.) (T3 2022); |

Tab. 2
Le misure contenute nella Strategia Nazionale per l’Economia Circolare.. Fonte: Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2022

| | |
|---|---|
| | <p>Invio al Consiglio di Stato e alla Commissione europea per i processi di notifica entro il 30 settembre 2022 (T3 2022) ai fini della successiva adozione del decreto;</p> <p>Predisposizione della piattaforma digitale e relative disposizioni di interoperabilità per le imprese, conformemente alle norme concorrenza (T1 2023).</p> |
| <p>Incentivi fiscali a sostegno delle attività di riciclo e utilizzo di materie prime secondarie</p> | <p>Proposta di misure per legge di bilancio 2023 sulla base dei risultati delle misure:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Credito di Imposta Prodotti Riciclati ai sensi del Decreto interministeriale MISE-MEF-MITE del 13.10.2021 • Credito di Imposta Materiali di Recupero del Decreto interministeriale MISE-MEF- MITE del 16.12.2021 (T4 2022); <p>Proposta di aggiornamento del Credito di Imposta Transizione 4.0 per interventi a supporto dell'economia circolare (T4 2022).</p> |
| <p>Revisione del sistema di tassazione ambientale dei rifiuti al fine di rendere più conveniente il riciclaggio rispetto al conferimento in discarica e all'incenerimento sul territorio nazionale</p> | <p>Proposta di schema normativo per Legge di Bilancio volta a sopprimere i Sussidi Ambientalmente Dannosi (SAD) seguenti (DPR 26 ottobre 1972 n.633, comma 127sexiesdecies Tab A, parte III):</p> <ul style="list-style-type: none"> • IVA agevolata al 10% relativamente alle prestazioni di gestione, stoccaggio e deposito temporaneo di rifiuti urbani e speciali, ivi inclusi lo smaltimento in discarica o l'incenerimento, nonché alle prestazioni di gestione di impianti di fognatura e depurazione; • tributo ridotto al 20% della tariffa ordinaria per i rifiuti smaltiti in impianti di incenerimento senza recupero di energia, per gli scarti ed i sovralli di impianti di selezione automatica, riciclaggio e compostaggio, nonché per i fanghi anche palabili. <p>Contestualmente lo schema prevede che risorse derivanti dalla soppressione dei SAD, saranno versate in conto entrata del bilancio dello Stato e riassegnate al fondo per la promozione di interventi di riduzione e prevenzione della produzione di rifiuti e per lo sviluppo di nuove tecnologie di riciclaggio e smaltimento previsto dall'articolo 2, comma 323, della legge 24 dicembre 2007, n. 244. (T4 2022).</p> <p>Individuazione dei Sussidi Dannosi all'Ambiente che ostacolano l'implementazione della Strategia Nazionale per l'economia Circolare e interventi normativi per la loro eliminazione (T2 2023);</p> <p>Al fine di accompagnare la misura con la realizzazione degli impianti di riciclaggio e l'implementazione della raccolta differenziata di cui agli investimenti 1.1 e 1.2 della M2C1, sulla base della valutazione congiunta con il Ministero dell'Economia e delle Finanze, proporre l'innalzamento dei tributi speciali previsti per il conferimento in discarica dei rifiuti urbani di almeno il 50% tenendo conto delle soglie minime e massime da rivedere per legge e anche ai fini della riduzione del divario territoriale, entro il T4 2023;</p> |

| | |
|--|--|
| | <p>Individuazione di misure di sostegno economico a Comuni e Regioni, per la prevenzione della produzione dei rifiuti, il riuso, l'implementazione della raccolta differenziata, massimizzando la valorizzazione degli scarti non riciclabili nel rispetto degli obiettivi e della gerarchia comunitari (T4 2023).</p> |
| Diritto al riutilizzo e alla riparazione | <p>Finanziamento, nell'ambito degli investimenti della M2C1 (inv.1.1) della realizzazione di centri per il riuso e la riparazione dei beni, di proprietà pubblica: realizzazione entro il 2026 (T4 2026);</p> |
| | <p>Utilizzo dei Criteri Ambientali Minimi obbligatori negli appalti pubblici come incentivo al riuso e alla riparazione dei beni: D.M della transizione ecologica del 23.06.2022: CAM arredi interni (T2 2022); D.M della transizione ecologica del 23 giugno 2022: CAM edilizia (T2 2022), D.M della transizione ecologica del 23 giugno 2022: CAM rifiuti (T2 2022) CAM Eventi Culturali (Riforma 3.1 Adozione di criteri ambientali minimi per eventi culturali - M1C3.3 - T4 2022);</p> |
| | <p>Adozione del regolamento ex art. 214-ter, comma 2, del D.Lgs. n. 152 del 2006 previsto per incentivare il riutilizzo e la riparazione (cfr. pag. 120) (T4 2022);</p> |
| | <p>Definizione di un Tavolo Ecodesign che includa un Gruppo di Lavoro su riutilizzo e riparazione (T1 2023) da parte del proprietario, che copra il ciclo di vita del prodotto dalla concezione e immissione sul mercato – labelling, etc.);</p> |
| | <p>Introdurre incentivi in favore di chi promuova comportamenti individuali tesi alla riduzione dei rifiuti, ivi compresi i consumatori (T4 2023)</p> |
| Riforma del sistema EPR (Extended Producer Responsibility) e dei Consorzi attraverso la creazione di uno specifico organismo di vigilanza , sotto la presidenza del MITE | <p>Proposta normativa per creare un organismo di vigilanza dei Consorzi e dei sistemi autonomi che sarà inserita nel prossimo veicolo normativo idoneo (T4 2022);</p> |
| | <p>Definizione Accordo di Programma per la realizzazione di un modello sperimentale di attuazione degli obblighi EPR per i venditori a distanza su mercati online (T4 2022);</p> |
| | <p>Istruttorie per istituzione di nuovi sistemi autonomi e DM ai sensi dell'articolo 178-bis del D.Lgs. n. 152 del 2006 in base all'arrivo istanze (continuo);</p> |
| | <p>Definizione di schemi di decreto per l'istituzione di EPR per filiere strategiche della SEC: Tessile (T4 2022) e plastiche non imballaggio (cap 2.4) (T4 2023);</p> |
| | <p>Modificare l'articolo 238, comma 10, del d.lgs. 3 aprile 2006, n. 152, eliminando la durata minima quinquennale prevista per gli accordi che le utenze non domestiche devono stipulare con il gestore pubblico o con l'operatore privato per la raccolta e l'avvio a recupero dei propri rifiuti; (T4 2022);</p> |
| | <p>Modificare le norme che prevedono la partecipazione delle imprese di selezione alle negoziazioni per la definizione dell'accordo di programma quadro (o di comparto) tra tutti i sistemi di compliance (consorzi di filiera e sistemi autonomi riconosciuti), l'ANCI, l'Unione delle province</p> |

| | |
|---|--|
| | italiane (UPI) e gli Enti di gestione di Ambito territoriale ottimale. (T4 2022); |
| | Adottare i decreti previsti dall'articolo 178-bis del D.Lgs. n. 152 del 2006 per l'istituzione dei regimi di responsabilità estesa del produttore. |
| Supporto agli strumenti normativi esistenti: normativa sui rifiuti (nazionale e regionale), Criteri ambientali minimi (CAM) nell'ambito degli appalti pubblici verdi. Lo sviluppo/aggiornamento di EOW (End Of Waste) e CAM riguarderà in particolare l'edilizia, il tessile, la plastica, i rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE) | Integrazioni e correzioni al Dlgs 116/2020 di recepimento della direttiva 2018/851 (T4 2022); |
| | Adozione del DM di adozione dell' aggiornamento del «Piano di azione nazionale per la sostenibilità ambientale dei consumi nella Pubblica Amministrazione» (PAN GPP), ai sensi dell'art.1, comma 1126 della legge 296 del 2006 (T4 2022); |
| | Decreto Direttoriale MITE DG EC «Istruzioni operative per la gestione e lo smaltimento dei pannelli fotovoltaici incentivati» RAEE (T3 2022); |
| | Definizione con Decreto Direttoriale MITE DG EC di una programmazione annuale dei Decreti CAM ed EOW condivisa all'interno del tavolo permanente con le regioni istituito dal MiTE (T1 2023; T1 2024; T1 2025); |
| | D.M Transizione Ecologica del 15 luglio 2022 relativo all'end of waste dei rifiuti da costruzione (riforma M2C2-1.1. g del PNRR) (T3 2022); |
| | D.M Transizione Ecologica relativo all'end of waste delle terre di spazzamento stradale entro il 31.01.2023 (T1 2023); |
| | D.M Transizione Ecologica relativo all'end of waste delle plastiche miste entro il 30.06.2023 (T2 2023); |
| | D.M Transizione Ecologica relativo all'end of waste dei tessili (T3 2023); |
| | D.M Transizione Ecologica relativo all'end of waste per pile e accumulatori (pastello di piombo) (T4 2023); |
| | Programma di supporto formativo alle amministrazioni sugli appalti pubblici verdi (CAM) in attuazione del progetto ARCA (riforma M2C11.3 del PNRR) (avvio T2 2022). |
| | Sostegno ai progetti di simbiosi industriale attraverso strumenti normativi e finanziari |
| Sviluppo di strumenti di progetti e/o schemi di incentivazione finanziaria e semplificazione delle reti di impresa con finalità circolari, di rigenerazione di brown areas in ecodistretti circolari in ottica di simbiosi industriale , in collaborazione con MiSE, Centri di ricerca, sistemi di istruzione/formazione e associazioni di categoria (T3 2023); | |
| Implementazione di una piattaforma digitale per favorire l'incontro di domanda e offerta di materie prime seconde in ottica di simbiosi industriale (T2 2024). | |

| | |
|--|---|
| Misure per l'uso del suolo in ottica di economia circolare | D.M Transizione Ecologica che definisce il Quadro giuridico per la bonifica dei siti orfani- Piano d'azione previsto dal PNRR (Milestone M2C4-24) (T4 2022) ai fini del recupero del suolo degradato ; |
| | Semplificazione delle procedure per la realizzazione di infrastrutture all'interno dei siti oggetto di bonifica allo scopo di limitare il consumo di suolo (T1 2023); |
| | Introduzione di semplificazioni della normativa nazionale sui siti contaminati in ottica di accelerazione degli interventi e recupero del suolo degradato (T4 2023). |
| | Promozione di una campagna di informazione sul risparmio idrico (T3 2022); |
| | Proposta di norme per il riuso delle acque (T4 2022); |
| | Proposta di norme per l'incremento delle sanzioni per i prelievi abusivi di acqua (T4 2022); |
| | Proposta di norme per il rafforzamento delle Autorità di Distretto in ottica di monitoraggio degli usi e prevenzione delle crisi idriche (T4 2022); |
| | Proposta di norme per la semplificazione delle autorizzazioni per la realizzazione di impianti di dissalazione delle acque (T4 2022). |

Volendo entrare nel merito degli obblighi normativi imposti agli operatori economici e delle manovre di orientamento dei mercati finanziari che le policies europee hanno implementato per proiettare concretamente le Aziende verso la transizione ecologica e l'Economia Circolare ad essa sottesa, di seguito si prendono in considerazione alcuni Regolamenti e Direttive:

- *L'obbligo di Rendicontazione non-finanziaria ESG (Environment, Social, Governance) attraverso la Redazione del Report di Sostenibilità*

La Non-financial Reporting Directive EU/2014/95 (NFRD) aveva già introdotto l'obbligo, per le Aziende quotate in borsa, di redigere annualmente una relazione che contenesse una rendicontazione non finanziaria relativa a ciò che l'organizzazione fa per la sostenibilità economica sociale e ambientale, in accompagnamento al bilancio finanziario che comprende gli aspetti economici quali stato patrimoniale e conto profitto e perdite (Directive (EU) 2014/95 of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 Amending Directive 2013/34/EU as Regards Disclosure of Non-Financial and Diversity Information by Certain Large Undertakings and Groups Text with EEA Relevance, 2014).

La Rendicontazione Non-finanziaria è legata al concetto di Responsabilità Sociale dell'impresa, descritto dalla UNI/EN/ISO 26000:2020, al punto 2.18, che definisce *'la responsabilità da parte di un'organizzazione per gli impatti delle sue decisioni e delle sue attività sulla società e sull'ambiente, attraverso un comportamento etico e trasparente che:*

- *contribuisce allo sviluppo sostenibile, inclusi la salute e il benessere della società*

- *tiene conto delle aspettative degli stakeholder;*
- *è in conformità con la legge applicabile e coerente con le norme internazionali di comportamento:*
- *è integrata in tutta l'organizzazione e messa in pratica nelle sue relazioni*

Nota 1: Il termine 'attività' include prodotti, servizi e processi

Nota 2: Le relazioni si riferiscono alle attività di un'organizzazione all'interno della propria sfera di influenza.'

La Corporate Social Responsibility Directive EU/2024/1760 (CSRD) ha aggiornato e superato la precedente rendendo la rendicontazione non finanziaria parte integrante di quella finanziaria, ampliando l'ambito delle imprese coinvolte e facendo in modo che le organizzazioni stesse, dovendo rendicontare e richiedere dati attinenti anche ai propri fornitori, inducano l'intera filiera ad allinearsi a comportamenti virtuosi in termini di sostenibilità (European Parliament and the Council of the European Union, 2024b). Esistono degli standard internazionali per la redazione dei Report di Sostenibilità delle organizzazioni, tra cui l'International Sustainability Standards Board (ISSB) e la Global Reporting Initiative (GRI), i quali coprono l'intera gamma di questioni ambientali, sociali e di governance, tra cui cambiamenti climatici, biodiversità e diritti umani, fornendo informazioni agli investitori per comprendere l'impatto sulla sostenibilità delle aziende in cui investono. La Commissione Europea ha redatto il proprio European Sustainability Reporting Standards (ESRS), coerente e allineato agli standard internazionali, emanato attraverso la Commission Delegated Regulation EU/2023/2772 (Commission Delegated Regulation (EU) 2023/2772 of 31 July 2023 Supplementing Directive 2013/34/EU of the European Parliament and of the Council as Regards Sustainability Reporting Standards, 2023). Si riporta uno schema in cui vengono segnalati i contenuti degli standard per la reportistica ESG europea (Tab.3).

Tab. 3
I contenuti degli European Sustainability Reporting Standards (ESRS).
Fonte: Commissione Europea, 2023

| Environment | Social | Governance |
|---|----------------------|--|
| Climate protection (Mitigation) | Diversity & Equality | Role of the company's governance |
| Adaptation to climate change (Adaptation) | Working conditions | Corporate ethics and culture |
| Water and marine resources | Human Rights | Anti-corruption and anti-bribery practices |
| Circular Economy | | Political engagement |
| Environmental pollution | | Relationships with business partners |
| Biodiversity and ecosystems | | Internal control and risk management |

Le Aziende che rientrano nell'ambito di applicazione della CSRD devono segnalare nei loro Report in che misura la loro attività è conforme ai criteri stabili negli atti delegati sulla Tassonomia Europea (Atta et al., 2024) al fine di poter accedere alla finanza sostenibile.

- *Finanza sostenibile e Tassonomia.*

Già nel 2018 la Commissione Europea aveva pubblicato *l'Action Plan on Sustainable Finance* per finanziare la crescita sostenibile fornendo vantaggi ai grandi investitori a supportare nuovi progetti specificatamente rivolti a tali tematiche (COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN CENTRAL BANK, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS Action Plan, 2018). Successivamente, sono stati pertanto pubblicati due importanti regolamenti tra loro complementari, che forniscono i criteri per la realizzazione di tale sistema di sostegno finanziario:

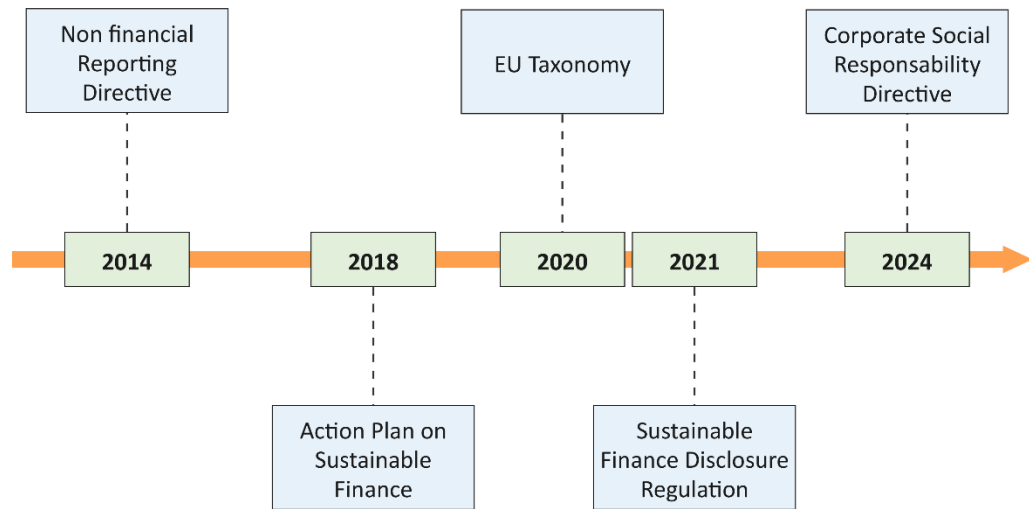
- La *'Sustainable Finance Disclosure Regulation'* (SFDR) (European Parliament and the Council, 2019), che stabilisce per gli operatori di servizi finanziari di fornire di informazioni relative alla sostenibilità in relazione ai prodotti finanziari sia a livello aziendale sia di prodotto e di rendicontare i rischi di sostenibilità, in termini di considerazione degli impatti negativi sulla sostenibilità nei loro processi di investimento. Questo al fine di rafforzare la trasparenza e creare condizioni di parità per i partecipanti al mercato finanziario necessaria all'intero mercato.
- La *'Sustainability Taxonomy Regulation'* (Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council of 18 June 2020 on the Establishment of a Framework to Facilitate Sustainable Investment, and Amending Regulation (EU) 2019/2088 (Text with EEA Relevance), 2020), che fornisce criteri di valutazione della pertinenza effettiva dei progetti agli obiettivi di sostenibilità, tra cui ovviamente anche la transizione verso un'economia circolare, e criteri per riconoscere ed escludere il green washing.

Si riporta di seguito in una timeline anche l'evoluzione delle policies europee nel complesso tema integrato tra finanza sostenibile, Tassonomia e Corporate Sustainability Reporting, in cui gli obblighi di comunicazione e rendicontazione delle Aziende e la loro conformità alla Tassonomia si sposano con i vantaggi derivanti dalla possibilità di accesso ad una finanza agevolata interessata alla sostenibilità (Fig.12).

- *La Responsabilità estesa del produttore.*

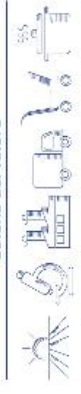
Definita dagli organi europei di ricerca un *‘approccio di politica ambientale in cui i produttori assumono la responsabilità finanziaria e/o organizzativa per la raccolta o il ritiro dei beni usati, oltre alla selezione e al trattamento per il loro riciclaggio’* (European Parliamentary Research Service, 2016). Si tratta di un concetto utilizzato nelle politiche europee (tra cui la Direttiva 2008/98/CE 'Direttiva Quadro sui Rifiuti', la Direttiva 2012/19/UE sulle RAEE, la Direttiva 94/62/CE su 'Imballaggi e Rifiuti di Imballaggio', Direttiva 2019/904/UE 'Direttiva Single-Use Plastics Directive') e nazionali (quali il Decreto Legislativo 152/2006 'Norme in Materia Ambientale) che disciplinano a livello operativo adempimenti e tassazione relativi alla gestione dei rifiuti. La finalità è quella di incentivare pratiche di progettazione ecologica e a promuovere il recupero e il riciclo dei materiali, riducendo in tal modo l'impatto ambientale e i costi associati.

Fig. 12
Cronologia dell'evoluzione delle policies europee in ambito di finanza sostenibile.



A titolo dimostrativo viene riportato di seguito un estratto del Report di Sostenibilità 2023 che il caso studio aziendale del dottorato ha redatto secondo la metodologia Global Reporting Initiative Standard che si fonda sul principio fondamentale di *‘materialità’*, ovvero l’indagine sui temi rispetto ai quali l’Azienda genera o potrebbe generare gli impatti più significativi su economia, ambiente e persone. Lo schema riassuntivo suddivide la rendicontazione in categorie (Pillar), temi materiali specifici (nei quali vengono anche sottolineate le rispettive corrispondenze con gli obiettivi dell’Agenda 2030 per lo Sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite), descrizione delle strategie implementate per ogni tema, quali fasi della catena del valore sono coinvolte (Fig.13):

Fig. 13
Schema sintetico del Report di Sostenibilità redatto dall’Azienda secondo lo standard Global Reporting Initiative.
Fonte: Azienda caso studio, 2024



| Pillar | Temi materiali | Descrizione | | | | | | | |
|-----------------------|--|---|--|--|--|--|--|--|--|
| GOVERNANCE | Governance, Business Etico e Integrità | Predisporre adeguati presidi di controllo interno e condurre ogni attività di business con trasparenza, integrità, onestà e nel rispetto della legge. Implementare politiche e pratiche definendo l'approccio responsabile alla strategia fiscale. Tutelare il patrimonio informatico e la privacy. | | | | | | | |
| | Prodotti | Formulare ricette di prodotto per il benessere delle persone. Garantire la qualità e la sicurezza dei prodotti in tutte le fasi della filiera. | | | | | | | |
| | Innovazione | Soddisfare le esigenze delle persone attraverso prodotti in grado di rispondere alle tendenze emergenti nel settore alimentare. | | | | | | | |
| | Marketing ed etichette | Garantire la correttezza delle informazioni nutrizionali dei prodotti, in conformità con le normative e/o i codici di autoregolamentazione nazionali e internazionali. | | | | | | | |
| FILIERE SOSTENIBILI | Materie prime | Promuovere una gestione responsabile delle filiere delle materie prime, promuovendo pratiche agricole sostenibili e selezionando materie prime di qualità. | | | | | | | |
| | Benessere animale | Promuovere pratiche di allevamento responsabili per le materie prime di origine animale, nel rispetto dei requisiti di legge, ma anche di elevati standard di benessere animale. | | | | | | | |
| | Tracciabilità e trasparenza | Assicurare la tracciabilità dei prodotti, dalla coltivazione delle materie prime fino alla distribuzione nel punto vendita. Garantire una comunicazione accurata e trasparente. | | | | | | | |
| | Cambiamento climatico | Garantire la gestione efficiente dell'intera filiera ⁴⁹ con l'obiettivo di limitare l'impatto ambientale, con particolare riferimento alle emissioni di gas a effetto serra. | | | | | | | |
| CAMBIAMENTO CLIMATICO | Circularità | Ricerare e garantire la valorizzazione dei materiali di scarto e una corretta gestione dei rifiuti favorendo l'ottimizzazione dei processi produttivi, la promozione di pratiche di consumo responsabili e l'adozione di pratiche circolari. | | | | | | | |
| | Confezioni | Ricerare le migliori tipologie e per cortezionare i prodotti, in grado di garantire la massima qualità e sicurezza e che abbiano al o stesso tempo il minore impatto ambientale possibile. | | | | | | | |
| | Consumi | Garantire l'adozione di soluzioni concrete per la gestione e la riduzione dei consumi energetici con l'obiettivo di limitare in modo sostanziale l'impatto ambientale. | | | | | | | |
| | Risorse Umane | Promuovere lo sviluppo di un ambiente di lavoro volto sia a bilanciare vita lavorativa e vita privata sia a garantire un processo continuo di crescita e valorizzazione delle proprie risorse. | | | | | | | |
| PERSONE E COMUNITÀ | Salute e Sicurezza | Garantire condizioni di lavoro che assicurino il pieno rispetto del diritto alla salute e alla tutela dell'integrità fisica e psicologica dei lavoratori, attraverso sistemi di gestione che consentano la prevenzione degli infortuni e degli incidenti sul lavoro e delle malattie professionali. | | | | | | | |
| | Diversità e inclusione | Promuovere una cultura aziendale globale e inclusiva valorizzando le diversità ed assicurando a tutti dipendenti le pari opportunità nei percorsi professionali. | | | | | | | |
| | Educazione | Promuovere la diffusione di stili di vita sostenibili ed equilibrati e un'alimentazione corretta, prestando una particolare attenzione ai più giovani. | | | | | | | |
| | Supporto alla comunità | Consolidare il proprio impegno nei confronti delle comunità, con iniziative specifiche ed attività volte al sostegno dell'economia locale. Potenziare le relazioni con i diversi attori del territorio. | | | | | | | |
| PERSONE E COMUNITÀ | Diritti Umani | Garantire la tutela dei diritti umani all'interno, all'esterno e lungo tutta la catena del valore di consolidando una cultura d'impresa contraria a ogni forma di violenza e discriminazione. | | | | | | | |

1.2. Gli strumenti disponibili e gli indicatori a supporto delle Aziende per la transizione verso l'Economia Circolare

1.2.1. I sistemi di valutazione e misurazione degli impatti ambientali: Rating Systems e Indicatori ambientali

Esistono diversi livelli di valutazione della sostenibilità ambientale di prodotti, processi, organizzazioni ed edifici, che permettono di comunicare e rendicontare le performances di un'azienda sotto il profilo di diversi tipi di impatti. In funzione dello scopo della comunicazione si possono utilizzare i Rating system, volontari e mirati all'accrescimento della reputazione sul mercato attraverso l'espressione di un punteggio, o concentrarsi sulla comunicazione diretta e rigorosa di Indicatori ambientali, che sono misure quantificate attraverso metodologie messe a punto da Enti e Istituti di Standardizzazione tecnica e vengono richieste nell'ambito della compliance con le normative politiche.

Si descrivono di seguito i Rating System, con focus sulla valutazione della sostenibilità per quanto concerne edifici, e gli Indicatori di misurazione, trasversalmente validi per prodotti, processi, edifici:

- *Rating Systems*, sono sistemi che forniscono criteri di scelta e regole che permettono di giudicare velocemente i requisiti di sostenibilità. Si basano su strumenti multicriterio a punteggi e sono forniti da organizzazioni no-profit, pertanto derivano da una iniziativa bottom up di stakeholders. Forniscono protocolli da seguire per la progettazione, realizzazione e gestione dell'intero ciclo di vita dell'oggetto che si sta valutando, pertanto aderiscono ad un approccio Life Cycle Thinking. Hanno carattere volontario e offrono la possibilità di ottenere una certificazione del risultato a firma dall'organizzazione no-profit proprietaria del protocollo. Si offre di seguito una panoramica sui principali Rating System esistenti per gli edifici, l'area di influenza geografica di validità (Tab.4). Tali sistemi assegnano un punteggio premiale a valle delle valutazioni, che si evince dal confronto con un benchmark.

Tab. 4
Elenco dei principali Rating Systems per gli edifici, dell'Organizzazione di riferimento, dell'area geografica e dell'anno di pubblicazione.

| Rating system | Organizzazione | Area di applicazione | anno |
|--|--|--|------|
| LEED Leadership in Environment & Energy Design | Green Building Council (GBC) | Nato negli U.S.A., successivamente declinato in altri contesti a livello internazionale | 1993 |
| BREEAM Building Research Establishment Environmental Assessment Method | Building Research Establishment (BRE) | United Kindom | 1990 |

| | | | |
|--|--|---|------|
| HQE Haute Qualité Environnementale | Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) | France | 1990 |
| DGNB Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen | Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) | Deutschland | 2008 |
| Protocollo ITACA | Istituto per l’Innovazione e la Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale (ITACA) | Italia | 2004 |
| GBTool Green Building Tool SBTool Sustainable Building Tool | International Initiative for a Sustainable Built Environment (iSBE) | Canada, ma ha valenza internazionale | 1998 |
| Level(s) European Framework | European Commission (EC) | European Union | 2021 |

Lo schema comune a tutti i protocolli di valutazione della sostenibilità degli edifici si può descrivere attraverso la seguente tabella (Tab.5):

| Categoria | Criterio / Requisito | Indicatore di prestazione | Metodo di calcolo | Benchmark | Punti premio | Pesatura |
|--------------------------|---|--|-----------------------------|---|--|--|
| Tematica di interesse | Espressione di un’esigenza da valutare | Indicatore da quantificare | Procedura da adottare | Valore soglia di riferimento | Valore migliorativ o rispetto al benchmar k | Attribuzione dell’importa nza del requisito nella categoria |
| es. Energia | es. Conteniment o consumi: Isolamento termico | es. Trasmittanza termica pacchetto murario | es. Norme UNI/EN/IS O | es. Valore definito dalle normative | es. Valori individuati dalle Best Practices | es. Il risparmio di energia ha un peso maggiore del risparmio idrico |

Tab. 5
*Schema di valutazione
comune a tutti i
protocolli di rating
degli edifici.*

Pur presentando una certa similarità di categorie e requisiti per la valutazione, ogni protocollo propone propri benchmark e propri punteggi pesati, pertanto la Commissione Europea ha recentemente introdotto un framework comunitario denominato ‘Level(s)’. Tale modello ha lo scopo di accompagnare la valutazione critica della sostenibilità degli edifici a diversi livelli, dal livello del concept design, al livello della progettazione dettagliata e della costruzione, al livello della fase operativa e di utilizzo, senza assegnare punteggi come i sistemi di rating, ma fornendo una metodologia di riferimento che seleziona e focalizza gli aspetti di sostenibilità sull’intero ciclo di vita dell’edificio attraverso la quantificazione di indicatori, per permettere agli stakeholder (progettisti, costruttori, clienti, investitori..) di prendere decisioni consapevoli basate su dati misurati. Tale framework è stato sviluppato dal Joint Research Centre (JRC) a partire dal 2015 ed è maturato negli anni attraverso test e correzioni, fino a giungere alla pubblicazione dello schema

definitivo nel 2021 (Joint Research Centre, 2021b) anche in accordo con le novità delle Direttive Europee introdotte nel corso del periodo, come l'Energy Buildings Performance Directive 1275/2024, che introduce l'obbligatorietà per gli Stati Membri di stilare una roadmap per la decarbonizzazione costituita da valori limite progressivi del Life cycle Global Warming Potential per gli edifici di nuova costruzione a partire dal 2027 (European Parliament and the Council of the European Union, 2024a). Si riporta la tabella delle categorie e degli indicatori proposti (Tab.6):

Tab. 6
Schema delle aree tematiche e degli indicatori del framework europeo Level(s).
 Fonte: Joint Research Centre (JRC), 2021

| Thematic Areas | Macro-objectives | Indicators | | | |
|--|--|--|--|---|--------------------------------|
| Resource use and environmental performance | 1. Greenhouse gas emissions along a buildings life cycle | 1.1. Use stage energy performance (kWh/m2/year) | 1.2 Life cycle Global Warming Potential (CO ₂ eq/m2/year) | | |
| | 2. Resource efficient and circular material life cycles | 2.1. Bill of quantities, materials and lifespans | 2.2. Construction and demolition waste | 2.3. Design for adaptability and renovation | 2.4. Design for deconstruction |
| | 3. Efficient use of water resources | 3.1. Use stage water consumption (m3/occupant/year) | | | |
| Health and comfort | 4. Healthy and comfortable spaces | 4.1. Indoor air quality | 4.2. Time out of thermal comfort range | 4.3. Lighting | 4.4. Acoustics |
| Cost, value and risk | 5. Adaption and resilience to climate change | 5.1. Protection of occupier health and thermal comfort | 5.2. Increased risk of extreme weather | 5.3. Sustainable drainage | |
| | 6. Optimised life cycle cost and value | 6.1. Life cycle costs (€/m2/year) | | | |

Tali sistemi di rating hanno la possibilità di declinare la valutazione della sostenibilità su tre livelli, tra cui il livello del Design, il livello del progetto definitivo per la costruzione e il livello della fase d'uso.

- *Indicatori di misurazione*, mirano ad una quantificazione esatta di grandezze fisiche, in termini di metriche oggettive ed unità di misura (quantificazione di flussi quali tonnellate di materie prime utilizzate, di rifiuti, di contenuto riciclato, di CO₂eq nelle emissioni, ecc.). Si tratta di indicatori ambientali sintetici (Tab.7), che rispondono alle politiche ambientali europee quali:

- il 'Circular Economy Action Plan'
- l'Energy Performance Buildings Directive 2024/1275
- i Criteri Ambientali Minimi per i Green Public Procurements
- Sustainable Production and Consumption

| Indicatore ambientale sintetico | Descrizione | Unità di misura |
|-------------------------------------|--|--|
| Impronta Ecologica | Misura la quantità di superficie terrestre biologicamente produttiva necessaria per supportare i consumi di risorse e assorbire i rifiuti | Ettari globali [gha] per persona o per area |
| Consumo di Energia Primaria | Misura il consumo di prodotti energetici allo stato naturale (carbone fossile, lignite picea e xiloide, petrolio greggio, gas naturale, energia idraulica, energia geotermica, combustibili nucleari..) prima di essere trasformati o convertita in altre forme utilizzabili | Tonnellate equivalenti di petrolio [Tep] |
| Produzione di Rifiuti | Misura la quantità di materia di cui il detentore si disfi | Tonnellate [t] per anno o per abitante [t/ab/anno] |
| Impronta di Carbonio | Misura le emissioni di gas climalteranti | Tonnellate di anidride carbonica equivalente [tCO ₂ eq] |
| Acidificazione | Rappresenta il potenziale di acidificazione dei composti emessi, che contribuiscono alla formazione di piogge acide | Chilogrammi di equivalente di diossido di zolfo [kg SO ₂ eq] |
| Eutrofizzazione | Misura il potenziale di arricchimento di nutrienti nei corpi idrici, che porta a crescita eccessiva di alghe e perdita di biodiversità | Chilogrammi di equivalente di fosfato [kg PO ₄ eq] |
| Formazione di Ossidanti Fotochimici | Indica il potenziale per la formazione di ozono troposferico, un inquinante dannoso derivante da reazioni fotochimiche tra composti organici volatili (COV) e ossidi di azoto (NO _x) | Chilogrammi di equivalente di etilene [kg C ₂ H ₄ eq] |
| Global Warming Potential | Misura il contributo complessivo dell'edificio alle emissioni che determinano i cambiamenti climatici lungo tutto il corso di vita. Combina le emissioni di gas a effetto serra incorporate nei materiali da costruzione con le emissioni dirette e indirette rilasciate nella fase d'uso. L'obbligo di calcolare il GWP nel corso del | Chilogrammi di anidride carbonica equivalente per superficie coperta utile [kgCO ₂ eq/mq] |

Tab. 7
Esempi di indicatori ambientali sintetici di misurazione.

| | | |
|--|--|--|
| | ciclo di vita degli edifici nuovi è quindi il primo passo verso una maggiore attenzione alle prestazioni degli edifici durante tutto il ciclo di vita utile e all'economia circolare | |
|--|--|--|

La misurazione di indicatori e la restituzione del dato scientifico è alla base delle metodologie standardizzate elaborate dagli Enti Normativi quali:

- International Standard Organisation (ISO)
- Comitato Europeo di Normazione (CEN)
- Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI)

Si introducono di seguito due metodologie normate da Enti di standardizzazione, i cui risultati si basano sulla quantificazione esatta di indicatori oggettivi: il Life Cycle Assessment per la misurazione degli impatti ambientali e le recenti normative specifiche per la misurazione del livello di circolarità:

- *Life Cycle Assessment (LCA)*, strutturata attraverso lo *standard ISO 14040*, è la metodologia normata più completa per quantificare gli impatti ambientali lungo l'intero ciclo di vita di un bene, ed è capace di gestire una complessa rete di indicatori. È possibile applicare tale standard per misurare gli impatti di prodotti, processi, edifici. La UNI/EN/ISO 14040:2021 al punto 3.2 definisce la valutazione del ciclo di vita come '*Compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita degli elementi in ingresso, in uscita e dei loro potenziali impatti ambientali di un sistema di prodotto*'.

La metodologia LCA prevede i seguenti passaggi:

- La definizione dell'obiettivo, in termini di scopo per cui viene svolta e utilità (certificazione, uso interno, comunicazione) e del campo di applicazione dell'analisi in termini di confini del sistema analizzato e delle unità di misura funzionale del prodotto su cui sarà dimensionata la valutazione
- La raccolta, la quantificazione e la compilazione di un inventario di dati relativo agli input (materie prime, energia) e degli output (emissioni, rifiuti) di un determinato sistema
- La valutazione del potenziale in determinate categorie di impatti ambientali correlati a tali input ed output, quali ad esempio il cambiamento climatico (CO₂ equivalente), acidificazione del suolo e dell'acqua (SO₂ equivalente), eutrofizzazione (PO₄ equivalente), formazione di ozono troposferico (C₂H₄ equivalente)
- L'interpretazione dei risultati per trarre conclusioni e raccomandazioni

Le Aziende sono spronate a svolgere un'analisi LCA al fine di migliorare la trasparenza delle prestazioni ambientali dei loro prodotti, supportare strategie di marketing e rispondere alla crescente domanda di sostenibilità da parte di consumatori e stakeholder. La scelta di redigere il LCA ha carattere volontario, ma viene espressamente richiesta nell'ambito dei Criteri Ambientali Minimi all'interno dei Green Public Procurement, pertanto pur non sussistendo un obbligo di legge, di fatto in alcune circostanze diviene prerequisito vincolante per la partecipazione a bandi pubblici e gare d'appalto. La comunicazione dei risultati dell'analisi LCA, nel caso di prodotti avviene attraverso l'Environmental Product Declaration (EPD).

Si riportano di seguito alcuni estratti dell'EPD di un prodotto del caso studio aziendale in cui viene:

- Dichiarati l'unità di misura funzionale e i confini del sistema considerato, comprensivo delle catene di filiera 'upstream' (relativo alla produzione ingredienti e alla produzione dell'imballaggio e materiali ausiliari), 'core' (relativo alla produzione), 'downstream' (che annovera la distribuzione e la fine vita imballaggio primario) (Fig.14)
- Descritta la filiera e dichiarate le fonti di reperimento dei dati (Fig.15)
- Quantificati input e output delle varie fasi del ciclo di vita all'interno del perimetro considerato (Tab.8)
- Quantificati gli impatti ambientali complessivi (Tab.9).

Fig. 14
Esempio di Environmental Product Declaration (EPD): la definizione dei confini del sistema valutato e la dichiarazione delle unità di misura.
Fonte: Azienda caso studio, 2020





INFORMAZIONI GENERALI

Le prestazioni ambientali associate al processo di produzione sono state valutate considerando come dati primari i consumi di energia e acqua e la produzione di rifiuti. Dati secondari (Ecoinvent) sono stati usati per gli aspetti ambientali associati alla produzione di energia e acqua.

ACQUA

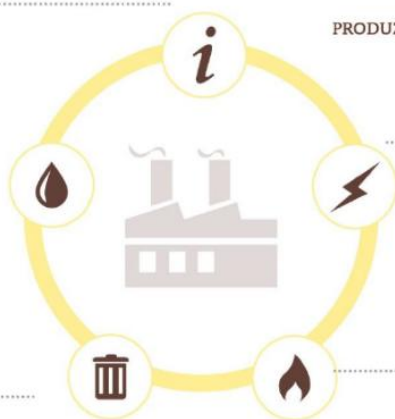
Il consumo di acqua viene ricavato dai contatori presenti nelle fornerie ed attribuiti alla produzione in esame secondo l'allocazione in massa (ossia in funzione del kg di produzione).

Il consumo di acqua dello stabilimento contiene al suo interno anche il quantitativo di acqua necessario per la realizzazione degli impasti. Cautelativamente, tale quantitativo viene conteggiato anche come ingrediente all'interno della ricetta del prodotto.

Dato primario anno 2019.

RIFIUTI

I dati relativi sono ricavati dai registri di carico e scarico e sono stati suddivisi secondo l'allocazione in



PRODUZIONE DEL PLUMCAKE

ENERGIA ELETTRICA

Il consumo di energia elettrica è stato suddiviso secondo il metodo dell'allocazione in massa (lo stabilimento produce altri prodotti oltre agli **ingredienti**).

Barilla, attraverso il sistema di certificazione GO (Certificati di garanzia d'origine), acquista energia da fonte rinnovabile di tipo idroelettrico in quantità tale da coprire l'intera produzione.

Dato primario anno 2019.

GAS METANO

Il consumo di metano è stato direttamente misurato mediante i contatori installati sulla linea di produzione.

Dato primario anno 2019.

INPUT ENERGETICI

INPUT MATERIALI

| USO DELLE RISORSE dati per 1 kg di prodotto | UPSTREAM | | CORE | DOWNSTREAM | | TOTALE | |
|--|-----------------------------|--|-----------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|
| | Produzione ingredienti | Produzione imballaggio e materiali ausiliari | Produzione | Distribuzione | Fine vita imballaggio primario | | |
| RISORSE DI ENERGIA PRIMARIE RINNOVABILI dati in MJ | Uso come vettore di energia | 1,86E+00 | 4,89E+00 | 1,36E+00 | 2,19E-03 | 2,69E-04 | 8,10E+00 |
| | Uso come risorsa* | 0,00E+00 | 1,39E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,39E+00 |
| | Totale | 1,86E+00 | 6,27E+00 | 1,36E+00 | 2,19E-03 | 2,69E-04 | 9,49E+00 |
| RISORSE DI ENERGIA PRIMARIE NON RINNOVABILI dati in MJ | Uso come vettore di energia | 1,60E+01 | 4,37E+00 | 5,41E+00 | 1,41E+00 | 6,71E-03 | 2,72E+01 |
| | Uso come risorsa | 0,00E+00 | 7,02E-01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 7,02E-01 |
| | Totale | 1,60E+01 | 5,07E+00 | 5,41E+00 | 1,41E+00 | 6,71E-03 | 2,79E+01 |
| Materie prime seconde (g) | 0,00E+00 | 8,81E+01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 8,81E+01 |
| Combustibili secondari rinnovabili (MJ, potere calorifico netto) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Combustibili secondari non rinnovabili (MJ, potere calorifico netto) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Uso di risorse idriche (litri) | 6,55E+01 | 1,14E+02 | 1,58E+00 | 7,01E-02 | 2,00E-02 | 1,81E+02 | |

OUTPUT RECUPERATI

| FLUSSI IN USCITA DAL SISTEMA dati per 1 kg di prodotto | UPSTREAM | | CORE | DOWNSTREAM | | TOTALE |
|---|------------------------|--|------------|---------------|--------------------------------|----------|
| | Produzione ingredienti | Produzione imballaggio e materiali ausiliari | Produzione | Distribuzione | Fine vita imballaggio primario | |
| Coprodotti destinati ad alimentazione animale (g) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 4,42E+01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 4,42E+01 |
| Componenti per il riuso (g) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Materiali per il riciclo (g) | 3,63E+00 | 2,18E-01 | 1,80E+01 | 8,19E+01 | 5,12E+01 | 1,55E+02 |
| Materiali per il recupero energetico (g) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Energia esportata, elettrica (MJ) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Energia esportata, termica (MJ) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

Le risorse energetiche secondarie e i flussi di energia recuperata non mostrano contributi rilevabili.

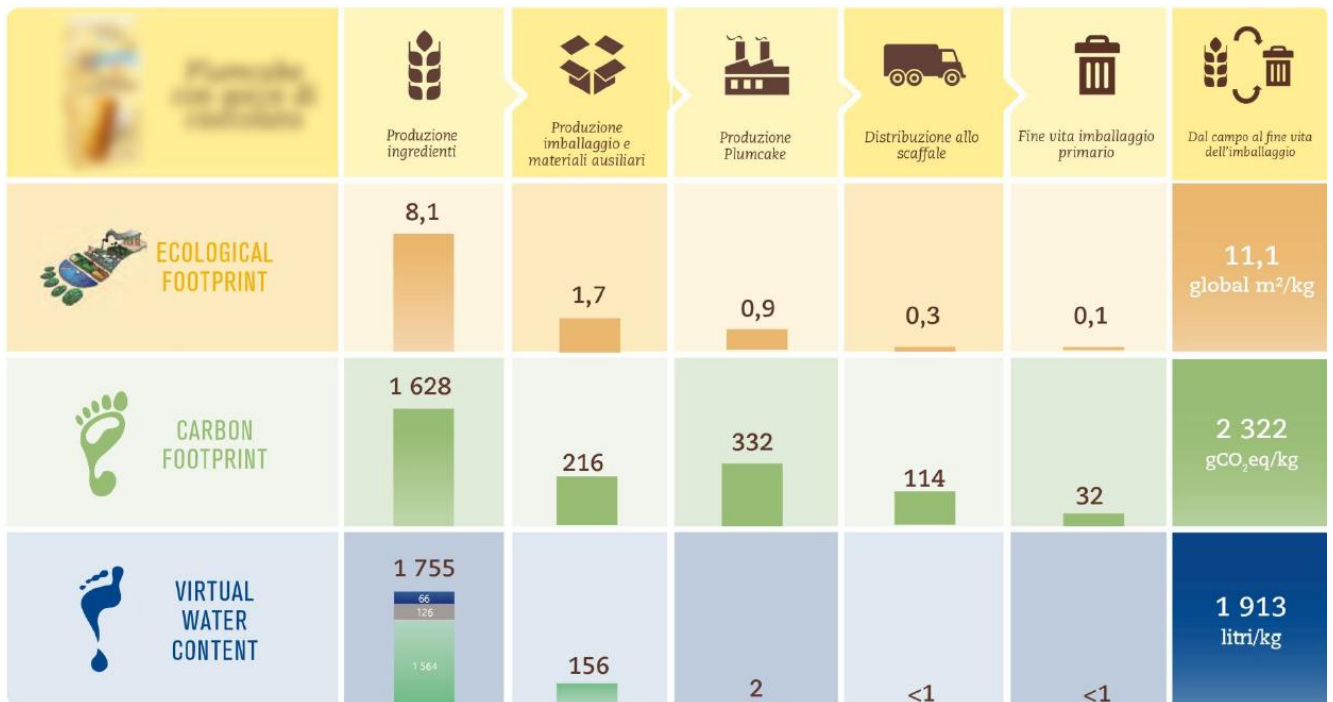
*La biomassa convertita nel prodotto non è contabilizzata.

OUTPUT RIFIUTI

| RIFIUTI* dati in grammi per 1 kg di prodotto | UPSTREAM | | CORE | DOWNSTREAM | | TOTALE |
|---|------------------------|--|------------|---------------|--------------------------------|---------|
| | Produzione ingredienti | Produzione imballaggio e materiali ausiliari | Produzione | Distribuzione | Fine vita imballaggio primario | |
| Rifiuti pericolosi | 4,93E-03 | 9,82E-02 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,0E-01 |
| Rifiuti non pericolosi | 4,00E+01 | 2,04E+01 | 4,40E+01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,0E+02 |
| Rifiuti radioattivi | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |

OUTPUT EMISSIONI

| INDICATORI DI IMPATTO AMBIENTALE dati per 1 kg di prodotto | UPSTREAM | | CORE | DOWNSTREAM | | TOTALE | |
|--|-------------------------|--|-----------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|
| | Produzione ingredienti | Produzione imballaggio e materiali ausiliari | Produzione | Distribuzione | Fine vita imballaggio primario | | |
| POTENZIALE RISCALDAMENTO GLOBALE - GWP (g CO ₂ e) | Fossile | 1,50E+03 | 2,15E+02 | 3,32E+02 | 1,01E+02 | 1,85E+01 | 2,17E+03 |
| | Biogenico | 1,79E+01 | 4,82E-01 | 2,91E-01 | 1,36E+01 | 1,31E+01 | 4,54E+01 |
| | Uso suolo e cambiamenti | 1,11E+02 | 1,67E-01 | 1,82E-03 | 1,07E-03 | 3,12E-04 | 1,11E+02 |
| | Totale | 1,63E+03 | 2,16E+02 | 3,32E+02 | 1,14E+02 | 3,16E+01 | 2,32E+03 |
| Acidificazione - g SO ₂ equivalente | 2,76E+01 | 8,16E-01 | 6,06E-01 | 5,30E-01 | 6,93E-03 | 2,96E+01 | |
| Eutrofizzazione - g PO ₄ ³⁻ equivalente | 1,17E+01 | 2,50E-01 | 9,23E-02 | 9,36E-02 | 1,03E-02 | 1,21E+01 | |
| Form. di ossidanti fotochimici - g NMVOC equivalente | 3,92E+00 | 6,98E-01 | 7,32E-01 | 6,77E-01 | 1,18E-02 | 6,04E+00 | |
| Potenziale di impoverimento abiotico - elementi g Sb eq | 1,65E-03 | 6,18E-05 | 5,29E-06 | 7,87E-06 | 3,19E-06 | 1,72E-03 | |
| Potenziale di impoverimento abiotico, combustibili fossili - MJ, potere calorifico netto | 1,49E+01 | 4,00E+00 | 5,40E+00 | 1,41E+00 | 6,31E-03 | 2,57E+01 | |
| Potenziale scarsità di acqua, m ³ eq | 1,17E+01 | 2,98E+01 | 2,63E-01 | -7,04E-06 | 5,01E-04 | 4,18E+01 | |



- ISO/DIS 59020:2024 Circular Economy — Measuring and assessing circularity performance, è lo Standard internazionale messo a punto per la misurazione del livello di circolarità di prodotti e organizzazioni. Il tavolo di lavoro per la redazione di tale Standard ha coinvolto anche l'Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI), meritevole di aver percorso la realizzazione dello Standard attraverso la pubblicazione

Fig. 15
Esempio di
Environmental Product
Declaration (EPD): la
descrizione della filiera
e la dichiarazione delle
fonti di reperimento dei
dati.

Fonte: Azienda caso
studio, 2020

Tab. 8
Esempio di
Environmental Product
Declaration (EPD): la
quantificazione degli
input e degli output
delle varie fasi del ciclo
di vita.

Fonte: Azienda caso
studio, 2020

Tab. 9
Esempio di
Environmental Product
Declaration (EPD): la
quantificazione degli
impatti ambientali
complessivi.

Fonte: Azienda caso
studio, 2020

nel Novembre 2022 della *Specifica Tecnica 11820 'Misurazione della circolarità - Metodi ed indicatori per la misurazione dei processi circolari nelle organizzazioni'* di cui si parlerà nello specifico in seguito.

L'interesse a quantificare la circolarità di prodotti e organizzazioni appartiene a diversi stakeholders, quali:

- I produttori, interessati alla loro competitività a fronte di una domanda del mercato attenta alle tematiche della sostenibilità e della necessità di rispettare le normative che premiano le scelte di circolarità dei prodotti
- I consumatori, perché gli aspetti di circolarità, quali la durabilità dei prodotti, vanno a loro vantaggio economico
- Le pubbliche amministrazioni, per l'erogazione di incentivi e la pianificazione di iniziative a supporto della transizione
- I gruppi finanziari che sostengono i business delle imprese
- I progettisti per prendere decisioni nella loro attività

A differenza dei metodi di valutazione basati su Rating System, i metodi di misurazione oggettiva presentano il dato quantificato attraverso le metodologie di calcolo degli standard normativi UNI/EN/ISO senza applicare punteggi premiali legati alla comparazione con modelli di riferimento.

A conclusione di questo paragrafo, al fine di rafforzare ed evidenziare l'utilità della misurazione, si introduce una riflessione critica in merito al rapporto tra l'Economia Circolare e la sostenibilità ambientale. L'Economia Circolare, come si è detto, è un modello di produzione e consumo che mira all'incremento della sostenibilità, ma non sempre l'implementazione di azioni conformi a traiettorie circolari si traducono in esiti di riduzione degli impatti ambientali. Si pensi ad esempio all'ambito degli aggregati da riciclo nel calcestruzzo, il cui utilizzo non solo potrebbe incidere sulle emissioni di CO₂ in relazione alle operazioni di trasporto nella fase di raccolta della materia prima seconda, ma richiedendo maggiore componente cementizia nell'impasto si fa carico dell'incremento della footprint legata alla produzione di quell'ingrediente. Pertanto, è necessario misurare correttamente gli impatti attraverso la metodologia scientifica del Life Cycle Assessment al fine di considerare non soltanto i flussi di materia, ma soprattutto le conseguenze ambientali che sono sottesi ai processi.

1.2.2. I risultati raggiunti nella transizione verso l'Economia Circolare a livello sistemico nazionale

Si riportano di seguito i risultati di alcuni indicatori relativi all'Obiettivo 12 dell'Agenda 2030 dell'ONU, che monitorano l'andamento degli sforzi intrapresi per raggiungere il 'Consumo e Produzione Responsabili'. Sono pubblicati dall'Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile, che li aggrega a livello di sistema-paese e a seguito di una analisi specifica fornisce anche il confronto tra i vari Stati europei di un indicatore composito sintetico, il quale rileva una buona performance dell'Italia, seconda solo ai Paesi Bassi.

- *Consumo di materiale interno per unità di PIL*

Il consumo di materiale interno si riferisce alle tonnellate di risorse materiali utilizzate in un paese, comprensivo delle estrazioni e importazioni e al netto delle esportazioni. È interessante notare che a partire dal 2007 il consumo di risorse materiche è notevolmente diminuito incidendo sempre meno nel PIL, a vantaggio della crescita dell'indicatore di efficienza 'Produttività delle risorse', che corrisponde al rapporto tra i due fattori (ISPRA, 2024) (Figg.16, 17).

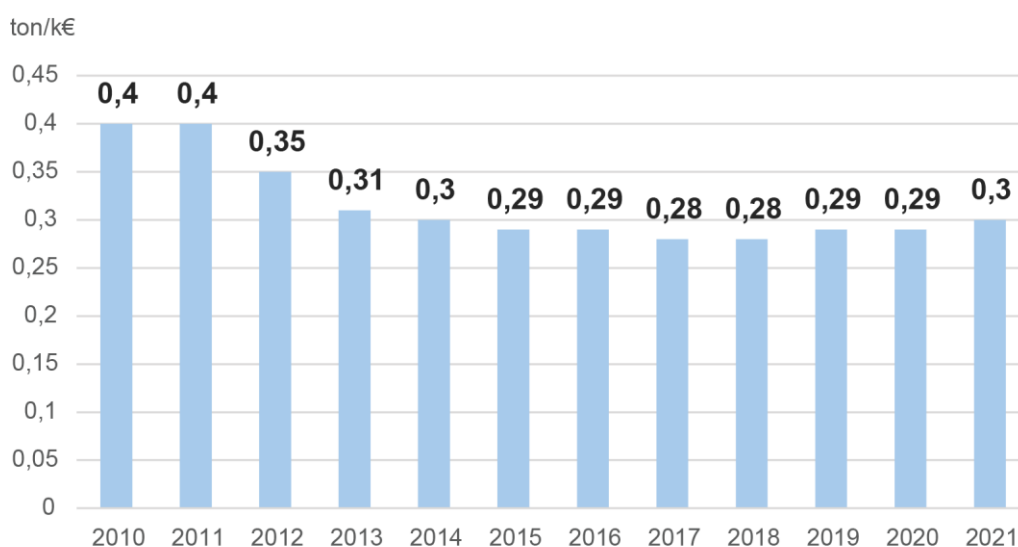


Fig. 17
Consumo di materiale interno per unità di PIL: andamento dell'indicatore dal 2010 al 2021.
Fonte: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), 2024

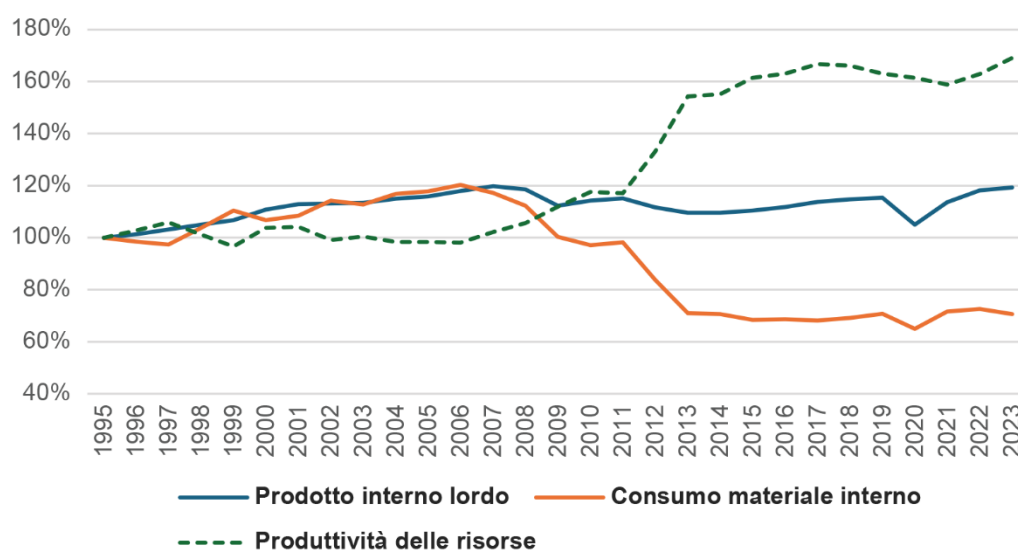


Fig. 16
Confronto tra gli andamenti del Consumo di materiale interno, il Prodotto Interno Lordo e la Produttività delle risorse dal 1995 al 2023.
Fonte: Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile (ASViS), 2023

- **Tasso di circolarità della materia**

Il tasso di circolarità della materia si riferisce alla quota di riutilizzo di risorse materiali, ovvero l'utilizzo di materiali non vergini, denominati materie prime seconde, rispetto al fabbisogno complessivo di materiali nei processi produttivi. Il trend di tale indicatore in Italia è in continua crescita da vent'anni (ISPRA, 2024) (Figg.18, 19) raggiungendo il 18,4% nel 2021 a fronte di una media europea del 11,5%.

Fig. 18

Tasso di circolarità della materia: confronto dell'indicatore tra il 2010 e il 2021.

Fonte: Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile (ASViS), 2023:

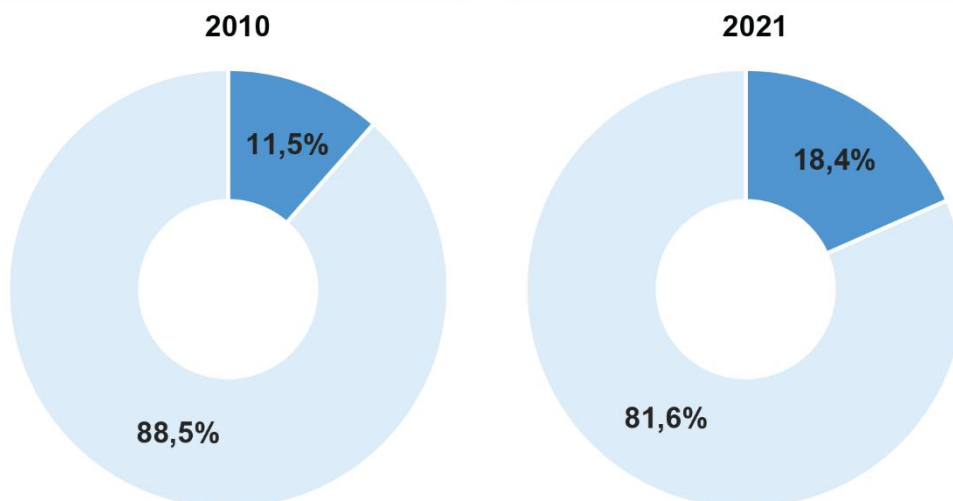
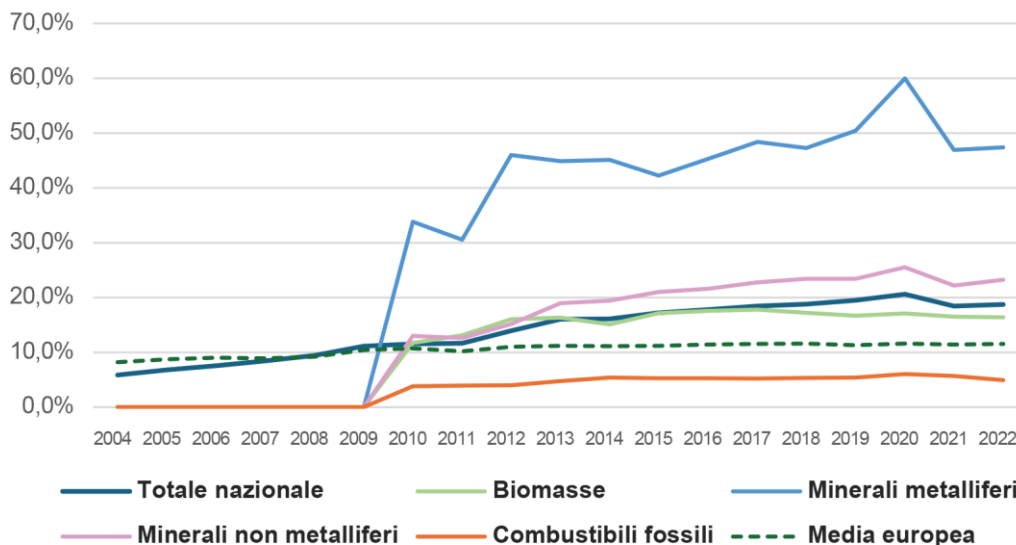


Fig. 19

Confronto tra gli andamenti del tasso di circolarità di alcune risorse, il dato aggregato a livello nazionale e la media europea dal 2004 al 2022.

Fonte: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), 2024



- **Tasso di riciclaggio dei rifiuti urbani**

Il tasso di riciclaggio dei rifiuti urbani individua la quantità di materiale reimmesso nell'economia. Tale indicatore misura il rapporto tra quantitativi di rifiuti riciclati rispetto alla quantità totale dei rifiuti urbani trattati. L'indicatore rileva un virtuoso aumento dell'indicatore, registrando un passaggio dal 31% nel 2010 a quasi il 60% nel 2021 (Fig.20).

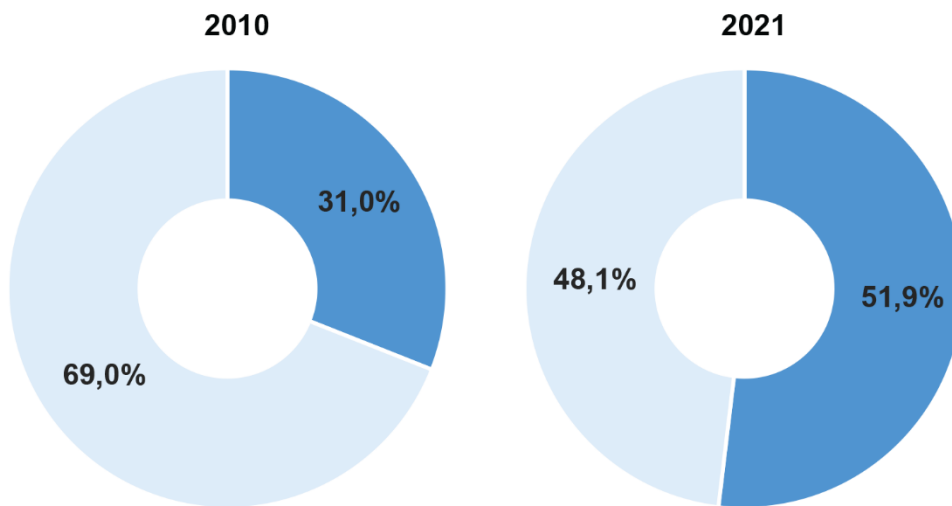


Fig. 20
Tasso di riciclaggio dei rifiuti urbani: confronto dell'indicatore tra il 2010 e il 2021.
Fonte: Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile (ASViS), 2023:

- **Tasso di raccolta differenziata dei rifiuti urbani**

L'indicatore misura la quantità di rifiuti urbani raccolta in modo differenziato nell'anno di riferimento rispetto al totale della produzione dei rifiuti urbani. Anche tale indicatore ha registrato una importante crescita nell'arco del periodo dal 2010 al 2021, passando dal 35,3% al 64% (Fig.21).

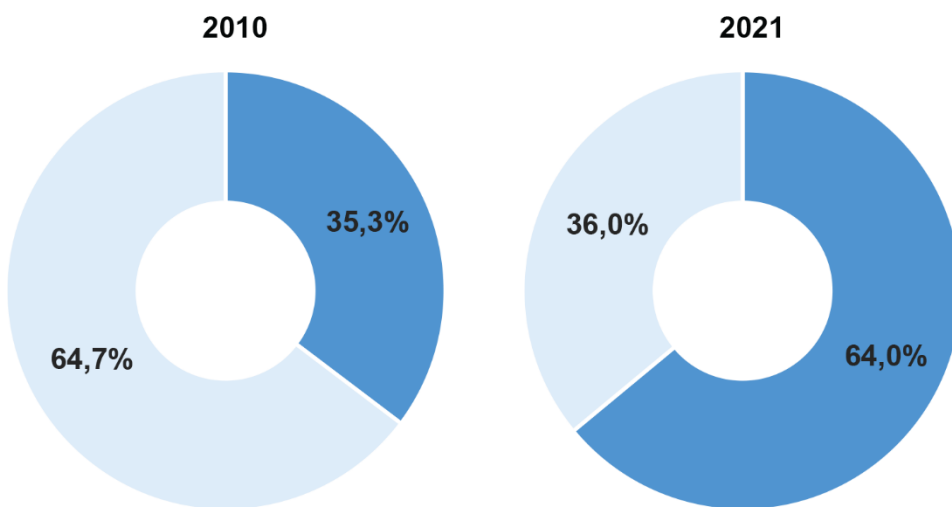
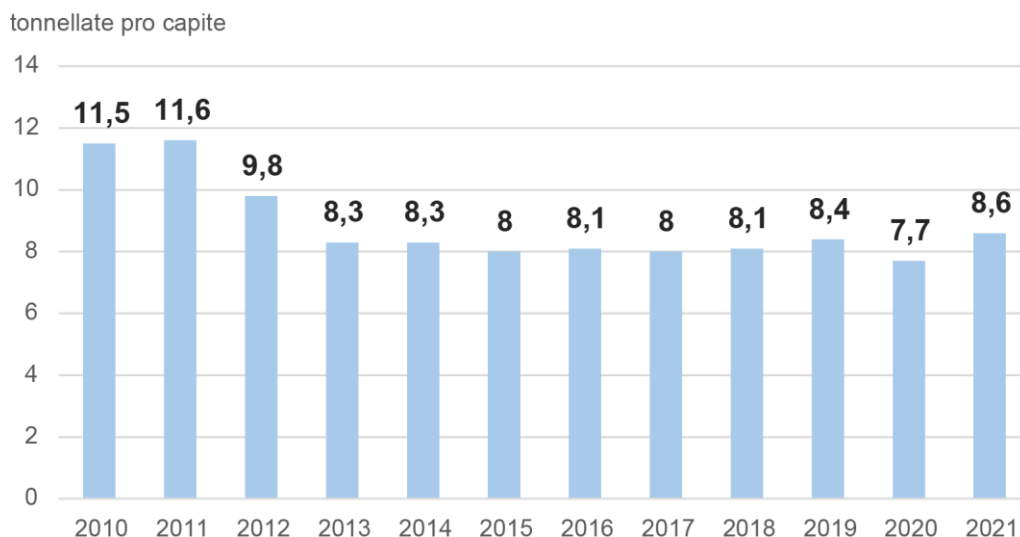


Fig. 21
Tasso di raccolta differenziata dei rifiuti urbani: confronto dell'indicatore tra il 2010 e il 2021.
Fonte: Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile (ASViS), 2023:

- **Consumo di materiale interno pro-capite**

L'indicatore rapporta il dato del consumo di materiale interno in un paese alla popolazione, al fine di dare un peso demografico. I valori monitorati segnalano che a fronte di un deciso calo risalente al periodo 2010-2013, l'andamento dell'indicatore oscilla intorno a una media di 8 tonnellate di materiale (Fig.22).

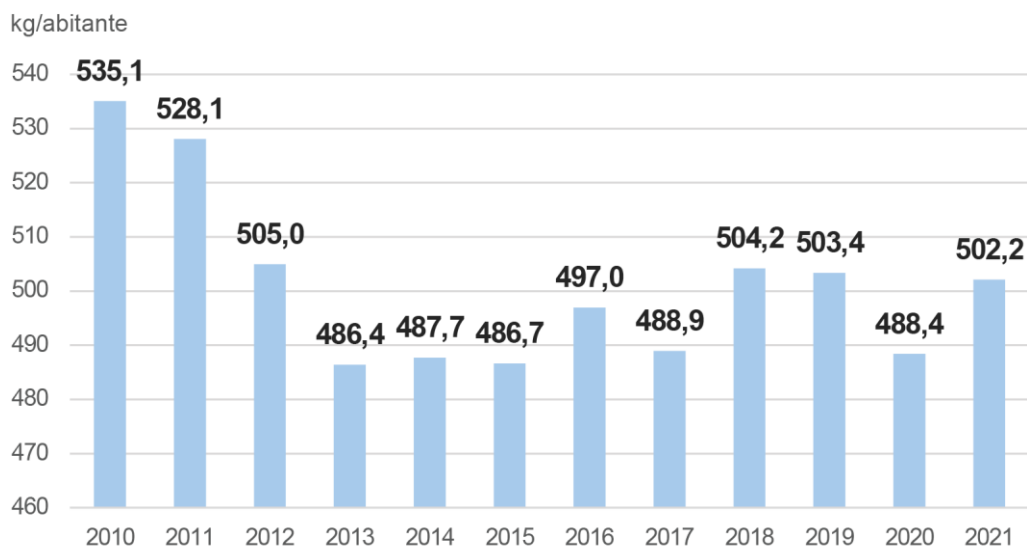
Fig. 22
Consumo di materiale
interno pro-capite:
andamento
dell'indicatore dal 2010
al 2021.
Fonte: Alleanza Italiana
per lo Sviluppo
Sostenibile (ASVIS),
2023



- *Produzione di rifiuti urbani pro-capite*

L'indicatore rapporta la produzione totale di rifiuti urbani in un paese alla popolazione, al fine di dare un peso demografico (Fig.23). Anche in questo caso si registra un andamento altalenante, ma complessivamente in calo rispetto ai valori iniziali nella decade di riferimento.

Fig. 23
Produzione di rifiuti
urbani pro-capite:
andamento
dell'indicatore dal 2010
al 2021.
Fonte: Alleanza Italiana
per lo Sviluppo
Sostenibile (ASVIS),
2023



Si riporta infine l'indicatore composito dell'Obiettivo 12 dell'Agenda 2030 dell'ONU e una mappa per valutare il confronto tra i diversi Stati Membri dell'Unione Europea nel 2021. L'indicatore composito ha il valore di sintesi degli indicatori precedentemente analizzati (Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile, 2023) (Fig.24):

- Consumo di materiale interno per unità di PIL
- Tasso di riciclaggio dei rifiuti urbani

- Consumo di materiale interno pro-capite
- Circolarità della materia
- Raccolta differenziata dei rifiuti urbani
- Produzione di rifiuti urbani pro-capite

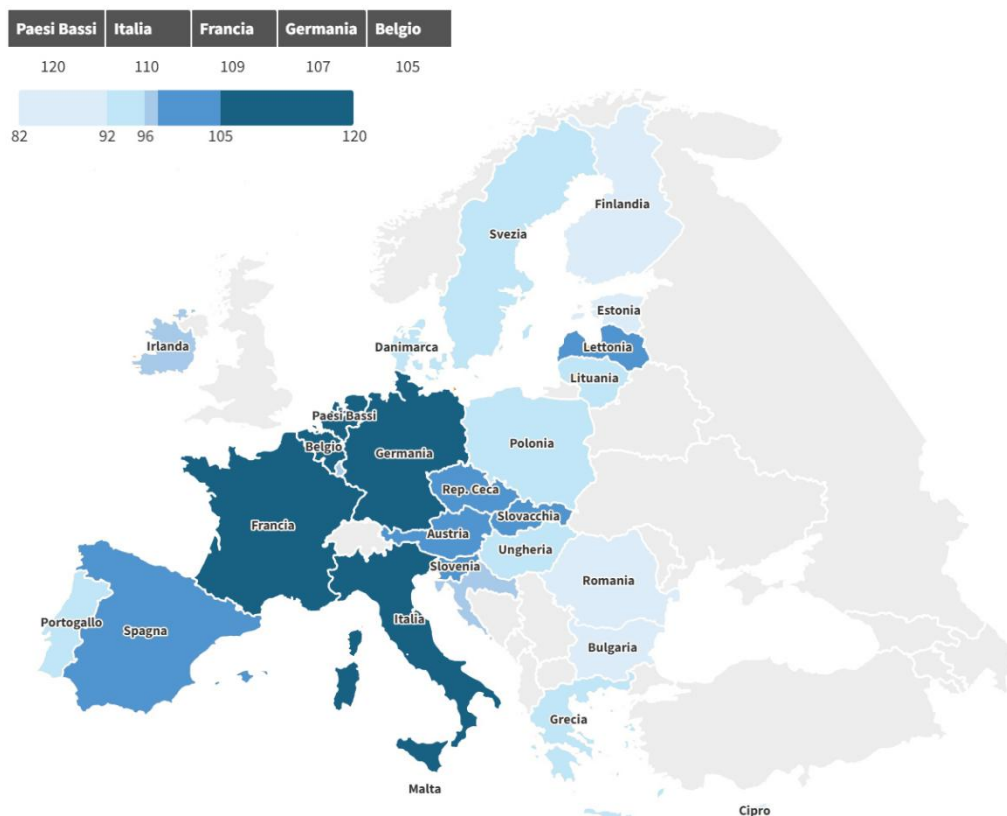


Fig. 24
 Mappa con il confronto dell'Indicatore composito del Consumo e Produzione responsabili (Goal 12) tra i vari Paesi dell'Unione Europea nel 2021.
 Fonte: Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile (ASViS),

In conclusione alle riflessioni sugli indicatori che monitorano il traguardo dell'obiettivo 12 dell'Agenda 2030, si riporta anche l'analisi di altri indicatori economici in riferimento ad un fenomeno utile a capire il trend dell'attenzione verso l'ambiente di tutti gli stakerholder che vanno dal mondo produttivo ai cittadini privati: le Ecoindustrie. Tali indicatori rilevano anche i vantaggi economici che la transizione ecologica veicola, in termini di crescita del PIL, di valore aggiunto, di imprenditorialità e occupazione. Le Ecoindustrie sono produttori di beni e servizi destinati a:

- Protezione dell'ambiente: attività di prevenzione, riduzione ed eliminazione dell'inquinamento e di ogni altra forma di degrado ambientale
- Gestione delle risorse naturali: attività di conservazione, mantenimento e tutela delle risorse naturali da fenomeni di esaurimento

I produttori possono essere aziende il cui core business è la realizzazione di beni e servizi ambientali, pubbliche amministrazioni, ma anche la collettività degli operatori economici che nella propria attività attivano azioni finalizzate alla tutela dell'ambiente o all'economia circolare, come il reimpiego di materiali nel proprio processo produttivo, e relative al proprio consumo finale, come l'autoproduzione di energia

solare. Il settore dei beni e servizi ambientali è definito 'Environmental Goods and Services Sector' (EGSS) e le relative attività vengono classificate a livello internazionale attraverso la 'Classification of Environmental Protection Activities' (CEPA) e la 'Classification of Resource Management Activities' (CReMA) (Tab10):

Tab. 10
Classificazione internazionale delle attività relative al settore dei beni e servizi ambientali (Ecoindustrie).
 Fonte: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA),

| Classification of Environmental Protection Activities | Classification of Resource Management Activities |
|---|---|
| Protezione dell'aria e del clima | Gestione delle acque |
| Gestione delle acque reflue | Gestione delle risorse forestali, di cui: <ul style="list-style-type: none"> • Gestione di aree boschive • Riduzione del consumo di risorse forestali |
| Gestione dei rifiuti | |
| Protezione e risanamento del suolo, delle acque del sottosuolo e delle acque di superficie | |
| Abbattimento del rumore e delle vibrazioni (esclusa la protezione degli ambienti di lavoro) | Gestione della fauna e della flora selvatiche |
| Protezione della biodiversità e del paesaggio | Gestione delle risorse energetiche, di cui: <ul style="list-style-type: none"> • Produzione di energia da fonti rinnovabili • Gestione e risparmio di energia • Riduzione dell'utilizzo delle energie fossili come materie prime |
| Protezione dalle radiazioni (ad esclusione della protezione degli ambienti di lavoro e del rischio tecnologico e di incidente nucleare) | |
| Ricerca e sviluppo | Gestione dei minerali |
| Altre attività di protezione dell'ambiente | Attività di ricerca e sviluppo in materia di gestione delle risorse |
| | Altre attività di gestione delle risorse |

Per dare un'idea dell'eterogeneità del settore EGSS, si specifica che tra le attività di gestione dei rifiuti si annoverano la raccolta, il trattamento, il riciclo e la produzione di materiali riciclati o riutilizzabili, nel settore legato all'efficienza energetica rientrano anche la progettazione di edifici a basso impatto ambientale (es. certificazioni LEED o Passive House) e lo sviluppo di apparecchiature e soluzioni per ridurre i consumi. Inoltre si fa riferimento all'ambito dell'agricoltura sostenibile e della bioeconomia come la produzione agricola svolta con pratiche ecologiche (es. agricoltura biologica) e l'utilizzo di materiali biodegradabili o biomasse per prodotti industriali, e quello legato alla mobilità sostenibile come la produzione di veicoli elettrici o a basse emissioni e le soluzioni per il trasporto pubblico ecologico.

Il Sistema statistico europeo ha sviluppato un programma di conto dei beni e servizi ambientali, coerente con lo standard statistico internazionale 'System of Environmental-Economic Accounting - Central Framework' (2012) e analizza i seguenti indicatori legati alle attività delle Ecoindustrie (Fig.25):

- Occupazione
- Valore aggiunto

I risultati dell'analisi rivelano che tra il 2018 e il 2020 l'occupazione del settore delle ecoindustrie si riduce del 7,8% ma meno drasticamente dell'indicatore corrispondente all'occupazione totale, da cui si evince la crescita della quota dell'occupazione nelle ecoindustrie sul totale dell'occupazione italiana. Nel 2020, le ecoindustrie hanno

generato 40,8 miliardi di euro di valore aggiunto, il quale costituisce stabilmente fra il 2018 e il 2020 circa il 2,% del Prodotto Interno Lordo (ISPRA, 2023).

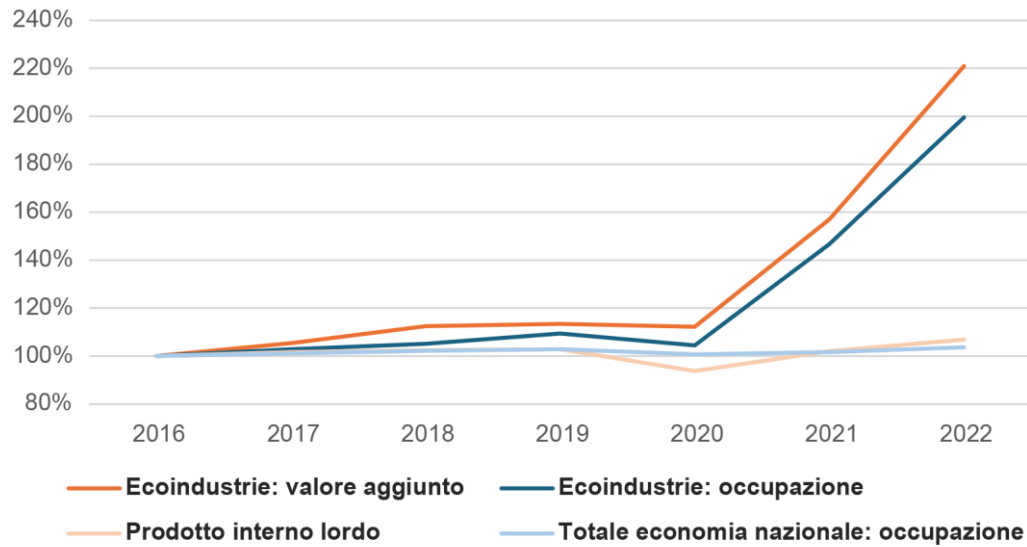


Fig. 25
 Confronti tra gli andamenti dell'occupazione nella produzione di beni e servizi ambientali e il dato dell'occupazione totale, e tra il valore aggiunto dei beni e servizi ambientali rispetto al PIL, dal 2016 al 2022.
 Fonte: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), 2024

1.2.3. Il nesso tra Economia Circolare e Transizione Energetica

Transizione energetica ed economia circolare sono strettamente correlati nell'obiettivo ultimo di ridurre gli impatti ambientali, con specifico riferimento alla riduzione delle emissioni di gas climalteranti dovuti ai processi di estrazione di materie prime vergini, produzione di beni e smaltimento dei rifiuti. Qualsiasi processo di trasformazione richiede energia e cercare di ridurre i consumi a carico dei processi, revisionando tutte le fasi del ciclo di vita dei prodotti, e soddisfare gli stessi con energia pulita è necessario per mitigare i cambiamenti climatici.

Inoltre, il concetto chiave di rinnovabilità delle risorse, verso cui si tende nell'economia circolare è parimenti promosso nell'ambito della transizione verso nuovi sistemi di produzione e utilizzo dell'energia. Flussi di materia e flussi energetici seguono logiche affini nella trasformazione dai modelli economici lineari a quelli a ciclo chiuso, si noti la similitudine tra l'idea di recupero e utilizzo di materie prime seconde da reimmettere in nuovi cicli produttivi e l'idea del riuso di cascami energetici in uscita da alcuni processi per alimentarne altri.

Anche l'approccio ad una visione sistemica di gestione e di condivisione delle risorse, di riutilizzo e riciclo delle stesse al fine dell'ottimizzazione del loro impiego e della riduzione degli sprechi sono concetti comuni alla transizione verso l'economia circolare e alla transizione energetica. Si pensi alle forme di cooperazione e condivisione di risorse materiali ed energetiche nei sistemi di simbiosi industriale.

Lo stesso Green Deal promuove un approccio olistico e intersettoriale, includendo in un unico frame una moltitudine di iniziative che comprendono tanto 'la mobilitazione dell'industria per un'economia pulita e circolare' quanto 'l'approvvigionamento di energia pulita, economica e sicura' (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal, 2019).

Il 'Fit for 55 Package' di cui si è accennato in precedenza, messo a punto per raggiungere gli obiettivi del Green Deal, ha posto come target la riduzione di emissioni nette di gas serra dell'Europa di almeno il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990 (Fig.26), e rappresenta un framework da cui sono derivate Direttive afferenti all'ambito energetico che promuovono pratiche circolari, quali la Energy Performance Buildings Directive EU/2024/1275 (European Parliament and the Council of the European Union, 2024a).

Tale Direttiva infatti introduce un importante elemento nella valutazione delle performance energetiche e di sostenibilità di un edificio, che si riferisce ai consumi e ai relativi impatti ambientali dell'intero ciclo di vita del manufatto. In questo senso l'approccio circolare è fondamentale, poiché pratiche di riuso di spazi e componenti edilizie consentono di ridurre le emissioni legate alle operazioni di estrazione di materiali, produzione di elementi costruttivi, relativo trasporto e dismissione in fase di ristrutturazione o demolizione, che sono a monte e a valle della fase di utilizzo dell'edificio. Si tratta di un approccio innovativo e circolare più ambizioso di quello che

fino ad ora è stato considerato nella valutazione delle performance energetiche dell'edificio, riferite alla sola fase d'uso, o 'operational'. La Direttiva promuove a tal

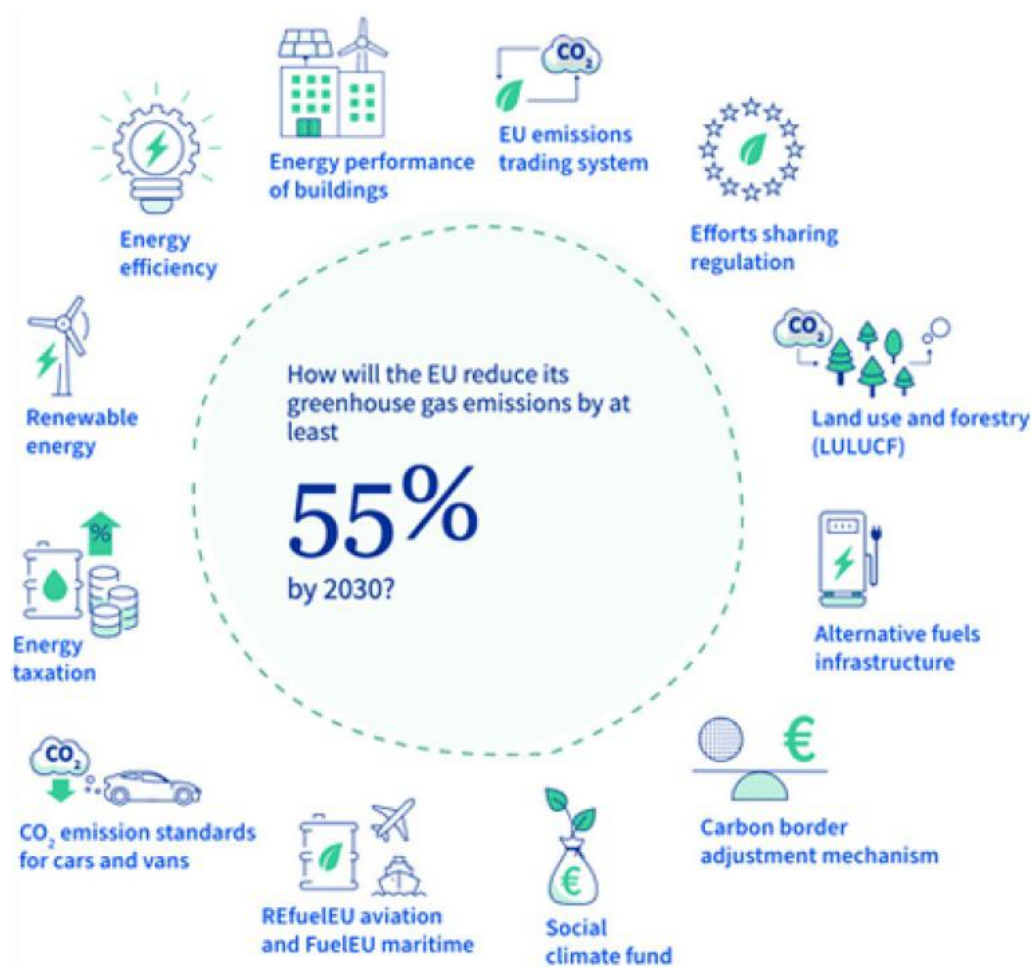


Fig. 26
 Schema di sintesi del
 Pacchetto Fit for 55%.
 Fonte: Commissione
 Europea

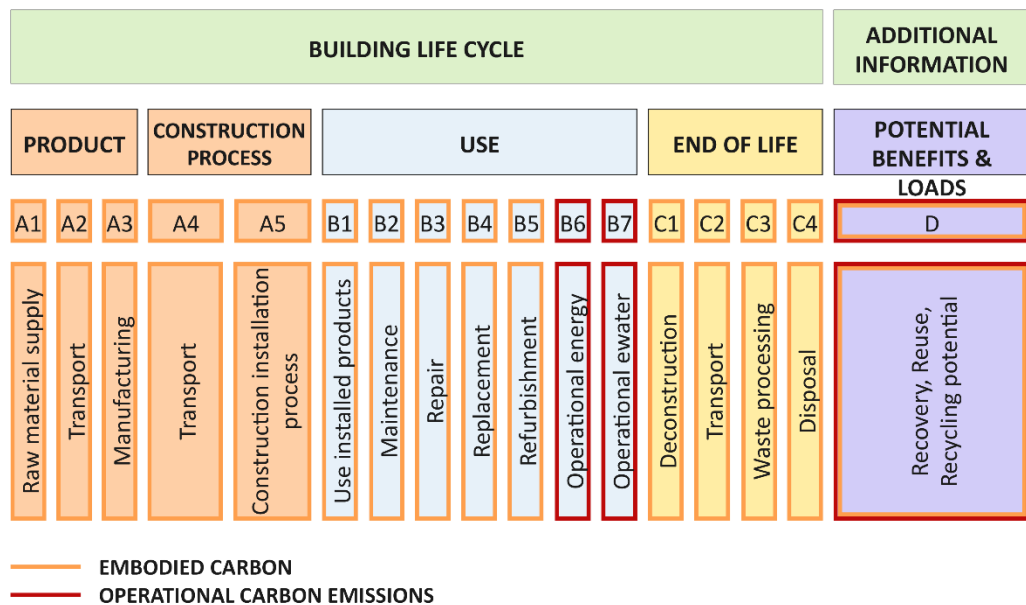
proposito il framework di valutazione e rendicontazione Level(s), di cui si è già fatto cenno e che fornisce un linguaggio comune per le prestazioni di sostenibilità degli edifici. Tra gli indicatori proposti introduce anche il Life cycle Global Warming Potential, espresso in kgCO_{2eq}/mq e definito come 'Misura del contributo complessivo dell'edificio alle emissioni che determinano i cambiamenti climatici lungo tutto il corso di vita. Combina le emissioni di gas a effetto serra incorporate nei materiali da costruzione con le emissioni dirette e indirette rilasciate nella fase d'uso. L'obbligo di calcolare il GWP nel corso del ciclo di vita degli edifici nuovi è quindi il primo passo verso una maggiore attenzione alle prestazioni degli edifici durante tutto il ciclo di vita utile e all'economia circolare'. La distinzione tra le emissioni di carbonio legate ai consumi energetici della fase 'Operational' e il concetto di carbonio 'Emodied' che invece riguarda tutte le altre fasi del ciclo di vita dell'edificio è la chiave per comprendere in che modo la circolarità influisce nella valutazione delle emissioni climalteranti degli edifici. La Direttiva suggerisce la quantificazione del Global Warming Potential (GWP) seguendo i criteri di valutazione del ciclo di vita contenuti nella Normativa UNI EN 15978:2011 'Sostenibilità delle costruzioni - Valutazione della prestazione ambientale

degli 15978:2011 'Sostenibilità delle costruzioni - Valutazione della prestazione ambientale degli edifici - Metodo di calcolo' (Fig.27).

Il Global Warming Potential è funzionale alla quantificazione quindi dell'impatto sui cambiamenti climatici definito Carbon Footprint. Come già accennato in precedenza, la Carbon Footprint è un indicatore misurabile tramite standard normativi e si riferisce alle emissioni complessive di gas climalteranti complessivi relativamente al ciclo di vita di prodotti, servizi e organizzazioni ed è fortemente legato ai consumi energetici. Viene espresso in tonnellate di anidride carbonica equivalente (tCO₂eq). La norma ISO 14067 – 'Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification and Communication', è lo standard per il calcolo della Carbon Footprint dei prodotti, mentre la norma UNI EN ISO 14064-1 'Greenhouse gases – Part 1: Specification for the quantification, monitoring and reporting of project emissions and removals' permette la rendicontazione dell'inventario delle emissioni a livello di organizzazione. La ISO 14068:2023 e la PAS 2060 (Standard britannico) normano la dichiarazione di Carbon Neutrality, che considera sia la quantificazione delle emissioni sia le compensazioni effettuate dall'organizzazione. Le emissioni considerate sono divise in tre categorie:

- Emissioni dirette (o di Scope 1), riferite alle emissioni prodotte da una sorgente di proprietà o controllata dall'organizzazione
- Emissioni indirette (o di Scope 2), riferite alle emissioni dovute dalla produzione di energia acquistata e usata dall'organizzazione
- Altre emissioni indirette (o di Scope 3), riferite ad attività che l'organizzazione non controlla direttamente, quali l'estrazione e la produzione dei materiali, le emissioni dei viaggi di affari degli impiegati, il trasporto di prodotti e materiale, la produzione di rifiuti gestiti da aziende esterne

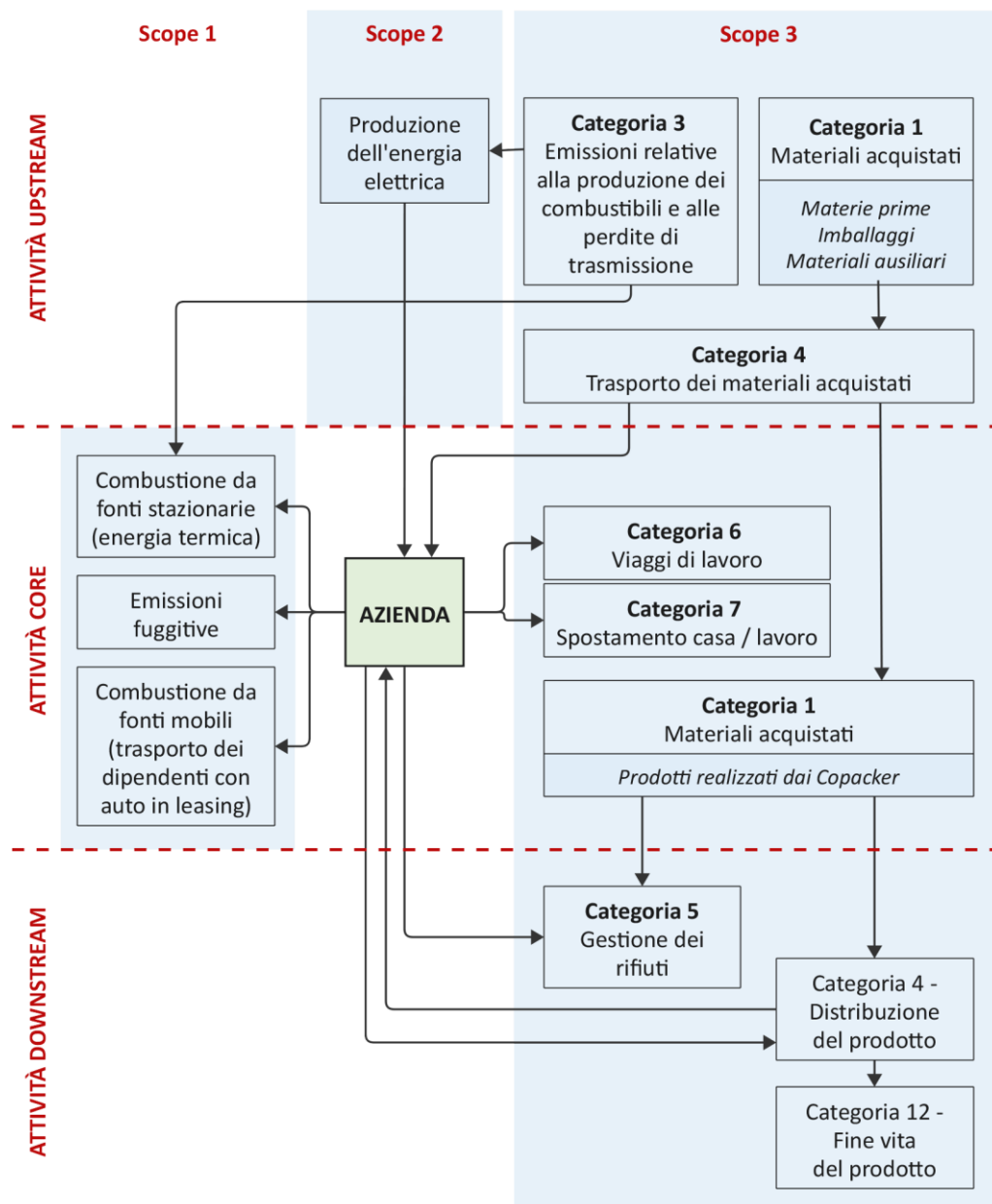
Fig. 27
 Schema del ciclo di vita degli edifici con individuazione delle fasi caratterizzate dal carico di embodied carbon e dalle emissioni relative all'utilizzo.
 Fonte: UNI EN 15978:2011



Si riportano degli estratti relativi alla quantificazione della dichiarazione di Carbon Neutrality 2021 del caso studio aziendale del presente lavoro, redatta secondo lo Standard 2060. In questo documento sono state riportate:

- La quantificazione delle emissioni totali di scope 1, scope 2, e scope 3, individuate come di seguito (Fig.28, Tab.11)
- I piani di riduzione delle emissioni completati e in programmazione, relativi agli interventi che l'Azienda può controllare direttamente, incentrati maggiormente sull'efficientamento energetico dei processi e sugli acquisti di fornitura di energia rinnovabile
- Il programma di compensazione delle emissioni certificati, quali progetti di compensazione etichettati dal Verified Carbon Standard (VCS) e Clean Development Mechanism (CDM) standard, riferiti ad interventi di installazione di impianti eolici e idroelettrici di produzione energetica in India e in Brasile

Fig. 28
 Individuazione delle categorie di emissioni considerate, divise per Scope 1, 2, 3 e per tipo di attività nella filiera di riferimento.
 Fonte: Azienda caso studio, 2021



Tab. 11
 Quantificazione delle categorie di emissioni considerate, divise per Scope 1, 2, 3 e per tipo di attività nella filiera di riferimento.
 Fonte: Il Gruppo Aziendale, 2021

| Scopo GhG Protocol | Contributo dello scopo | Attività | Emissioni di gas serra [tCO _{2eq}] | Contributo dell'attività |
|------------------------|------------------------|---|--|--------------------------|
| Scopo 1 | 8,6% | Combustione da fonti stazionarie | 42.740 | 8,3% |
| | | Combustione da fonti mobili | 146 | <0,1% |
| | | Emissioni fuggitive | 888 | 0,2% |
| Scopo 2 - market based | 0,2% | Produzione dell'energia elettrica | 546 | 0,1% |
| Scopo 3 - market based | 91,2% | Categoria 1 - Materiali acquistati: materie prime | 307.514 | 59,9% |
| | | Categoria 1 - Materiali acquistati: imballaggi | 55.328 | 10,8% |

| | | | |
|--|---|----------------|--------|
| | Categoria 1 - Materiali acquistati: materiali ausiliari | 669 | 0,1% |
| | Categoria 1 - Materiali acquistati: copacker | 21.310 | 4,1% |
| | Categoria 3 - Combustibili e attività collegate all'energia non incluse negli scopi 1 e 2 | 11.369 | 2,2% |
| | Categoria 4 - Trasporto dei materiali acquistati | 21.671 | 4,2% |
| | Categoria 4 - Distribuzione del prodotto | 32.687 | 6,4% |
| | Categoria 5 - Gestione dei rifiuti | 1.191 | 0,2% |
| | Categoria 6 - Viaggi di lavoro | 117 | <0,1% |
| | Categoria 7 - Spostamenti casa / lavoro | 1.860 | 0,4% |
| | Categoria 12 - Fine vita del prodotto venduto | 15.661 | 3,0% |
| | Totale | 513.698 | 100,0% |
| | Totale delle emissioni per t di prodotto | 1,77 | |

In conclusione, si menzionano alcune strategie che supportano la transizione verso l'economia circolare e che registrano miglioramenti anche per quanto riguarda le performance di transizione energetica, quali le pratiche di simbiosi industriale, espressamente richiamati nelle policies, e gli Ecopark per la condivisione delle infrastrutture energetiche. La simbiosi industriale è una strategia che spinge le imprese a lavorare insieme per ottenere benefici collettivi superiori alla somma dei vantaggi individuali (Chertow, 2000) e favorisce pertanto una transizione verso un modello economico più sostenibile, attraverso l'integrazione di processi efficienti e collaborativi. Il termine, introdotto da Renner nel 1947 (Cutaia & Morabito, 2012), concepisce le infrastrutture industriali come ecosistemi interconnessi e promuove lo sviluppo di pratiche quali (Chertow, 1998):

- Lo scambio di risorse (materia, energia, acqua e sottoprodotti) tra industrie diverse
- La condivisione delle infrastrutture
- L'approvvigionamento condiviso di servizi

Diversi possono essere i modelli organizzativi (Cutaia & Morabito, 2012):

- Distretti bottom-up (come l'iniziativa a Kalundborg, Danimarca) sviluppati senza programmazione specifica
- Parchi eco-industriali (top-down) progettati secondo principi di ecologia industriale, come le aree ecologicamente attrezzate (AEA) introdotte in Italia nell'ordinamento nazionale dall'art. 26 del DLgs 112/1998
- Reti di simbiosi industriale, riferiti a piattaforme (come la Piattaforma ENEA in Sicilia) che facilitano l'incontro tra domanda e offerta di risorse

Le pratiche di Simbiosi industriale nei distretti ed eco-industriali coinvolgono anche l'ambito energetico, poiché stimolano soluzioni di razionalizzazione dei consumi, di riduzione dei costi energetici e di gestione degli impianti, e quindi una maggiore competitività del parco e appetibilità per aziende e dipendenti, quali (Mainar-Toledo et al., 2022):

- l'investimento congiunto per la realizzazione di nuovi impianti efficienti, come centrali termiche ed elettriche combinate
- la realizzazione di servizi energetici mutualizzati, comprese le reti di teleriscaldamento e la mobilità congiunta
- l'implementazione di sistemi di recupero di calore dai processi delle aziende o sfruttamento di scarti di produzione a scopi energetici

Inoltre, la condivisione delle stesse condizioni geografiche e amministrative (clima, stakeholder energetici, politiche e reti locali) rappresenta un'opportunità per attuare strategie energetiche collettive volte all'approvvigionamento basato su fonti di energia rinnovabile, che consente l'indipendenza dai prezzi del mercato e una riduzione dell'impronta di carbonio del distretto (Balugani et al., 2019). Si citano soluzioni quali:

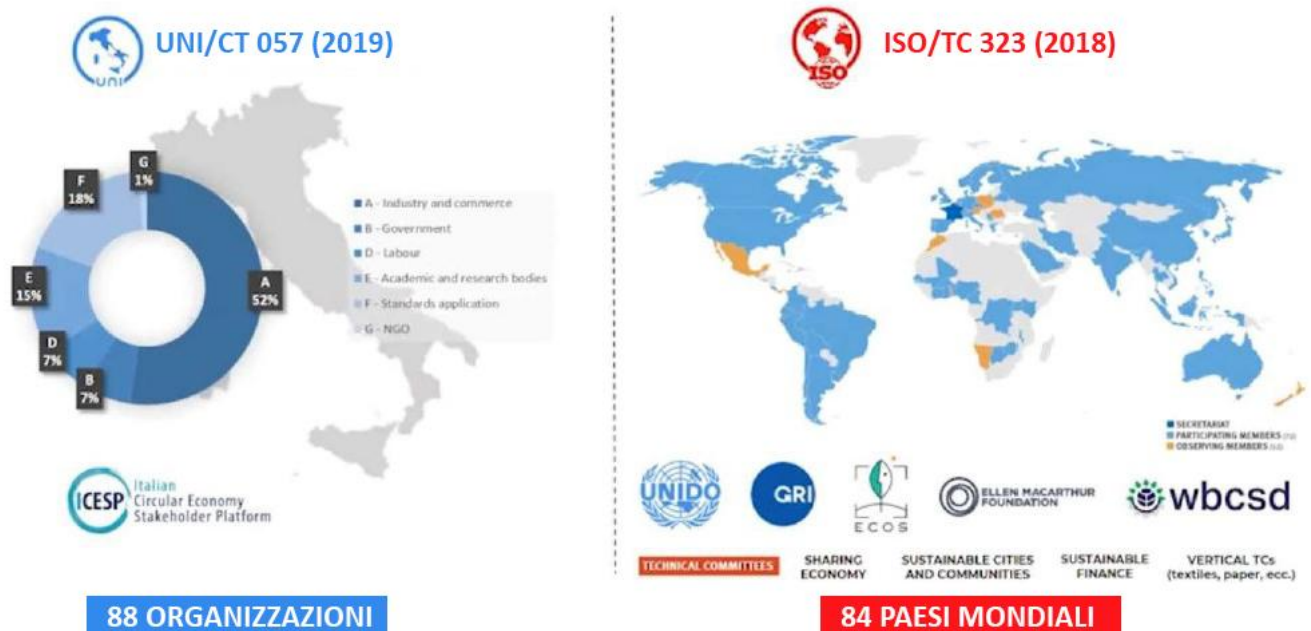
- l'organizzazione di hub energetici dotati di tecnologie che utilizzano le risorse rinnovabili ambientali locali quali turbine eoliche, pannelli solari (impianti fotovoltaici e collettori termici), pompe di calore geotermiche
- il recupero del calore di scarto dei processi industriali dai fumi, dai fluidi di raffreddamento e dal vapore di scarico, che può essere ceduto ad una rete di teleriscaldamento o convertito in energia elettrica
- la termovalorizzazione dei materiali di scarto, quali fanghi delle acque reflue o altri rifiuti organici non riutilizzabili nella produzione, che attraverso processi di gassificazione, pirolisi, digestione anaerobica costituiscono preziosi biocombustibili

Necessaria per la realizzazione di tali circuiti strategici ovviamente è l'esistenza di un rapporto di fiducia tra le aziende e tra le difficoltà che si possono incontrare si annovera la mancanza di know-how tecnico e di coordinamento, superabili tuttavia attraverso la nomina di un gestore energetico del parco o di una ESCO (Mainar-Toledo et al., 2022).

1.2.4. La UNI/TS 11820:2022 “Misurazione della circolarità - Metodi ed indicatori per la misurazione dei processi circolari nelle organizzazioni” come primo standard trasversale a tutti i tipi di organizzazioni e l’analisi degli indicatori ivi proposti

L’Ente normativo italiano UNI nel Novembre 2022 ha pubblicato la Specifica tecnica UNI/TS 11820:2022 ‘Misurazione della circolarità – Metodi ed indicatori per la misurazione dei processi circolari nelle organizzazioni’, prodotta attraverso il lavoro del Comitato tecnico UNI/TC 057 nato nel 2019 che ha coinvolto 88 organizzazioni di diversa estrazione, tra cui operatori economici, associazioni, enti governativi e non governativi, istituzioni accademiche e di cui oltre la metà di provenienza dal mondo dell’industria e del commercio. A livello nazionale il gruppo normativo italiano è stato pertanto anticipatore dell’attuale standard internazionale ISO 59020:2024 ‘Circular economy — Measuring and assessing circularity performance’, cui ha contribuito attraverso la partecipazione attiva nei tavoli di lavoro del Technical Committee ISO/TC 323 nato nel 2018 e costituito da 84 Paesi mondiali coinvolti nella stesura (Fig.29).

Fig. 29
Comitati tecnici UNI e ISO per la redazione di standard di misurazione della circolarità.
Fonte: Ente Normativo Italiano UNI, 2023



Si analizza la Specifica Tecnica UNI/TS 11820 si pone come obiettivi:

- Individuare e valorizzare elementi di circolarità già presenti all’interno delle organizzazioni
- Identificare opportunità di miglioramento delle prestazioni di circolarità
- Perseguire azioni concrete per la transizione verso l’economia circolare

Si descrivono di seguito i tratti salienti:

- *Introduzione.*
Una breve sintesi delle caratteristiche generali, può essere espressa per punti:

- Fornisce indicazioni su come misurare e valutare le prestazioni di circolarità di un'organizzazione
- Fornisce la metodologia per la raccolta delle informazioni necessarie
- Non prevede un valore di soglia minima, ma consente di valutare il livello raggiunto rispetto al massimo livello raggiungibile
- Fornisce opportunità per il miglioramento del livello di circolarità nel tempo
- Si basa su un'ampia prospettiva di circolarità, inclusi, tra gli altri, approcci complementari come Life Cycle Thinking, Material Flow Analysis, Resource Value Maintenance e Value Recovery
- Lo sviluppo del set di indicatori ha coinvolto, oltre agli organi tecnici pertinenti, anche un gruppo di organizzazioni (37) che hanno fornito diversi feedback al gruppo di lavoro
- È stata elaborata tenendo in considerazione i lavori del Working Group ISO/TC 323 Circular Economy
- *Scopo e campo di applicazione.*
 - Definire un set di indicatori atti a valutare, attraverso un sistema di misurazione su base 100, slegato da benchmark di settore, il livello di circolarità di un'organizzazione o di un gruppo di organizzazioni
 - Garantire l'applicabilità a tutte le organizzazioni, indipendentemente dal tipo o dimensione, o dai prodotti forniti e servizi erogati
 - Tenere conto degli aspetti ambientali, sociali ed economici, considerati attraverso opportuni indicatori
- *Riferimenti normativi:*
Tra gli altri riferimenti, si enumera:
 - Norme della serie ISO 59000 sull'Economia Circolare in corso di sviluppo (si ricorda che quando è stata pubblicata la UNI/TS, lo standard ISO non era ancora stato pubblicato)
 - Norme della serie ISO 14000 sulle tematiche Ambientali, quali la ISO 14040, ISO 14044, ISO 14050 sui temi di gestione ambientale e LCA, ISO 14067 sul tema della Carbon Footprint dei prodotti
 - Norma 26000 sulla Responsabilità Sociale
- *Termini e definizioni:*
Si selezionano le definizioni relative all'ambito energetico, che sono oggetto di interesse della presente tesi:
 - *Economia circolare:* Sistema economico che, attraverso un approccio sistemico e olistico, mira a mantenere circolare il flusso delle risorse, conservandone, rigenerandone o aumentandone il valore, e che al contempo contribuisce allo sviluppo sostenibile
 - *Valutazione della circolarità:* Procedura che interpreta e valuta l'esito della misurazione della circolarità, considerando gli impatti sociali, ambientali ed economici diretti

- *Perimetro di valutazione*: Limiti, sia spaziali che temporali, che definiscono quali processi debbano essere inclusi nella misurazione della circolarità, anche al fine di includere o escludere fasi non direttamente dipendenti dall'organizzazione o fuori dagli obiettivi della misurazione. Il perimetro di valutazione deve risultare coerente con l'obiettivo della misurazione
- *Indicatori di economia circolare*: Dati qualitativi, semiquantitativi e/o quantitativi necessari alla misurazione dei risultati conseguiti nel perseguimento di obiettivi di economia circolare
- *Sostenibilità*: Stato del sistema globale, compresi gli aspetti ambientali, sociali ed economici, in cui i bisogni del presente sono soddisfatti senza compromettere la capacità delle generazioni future.
Nota 1: Gli aspetti ambientali, sociali ed economici interagiscono, sono interdipendenti e sono spesso indicati come le tre dimensioni della sostenibilità.
Nota 2: La sostenibilità è l'obiettivo dello sviluppo sostenibile. [ISO GUIDE 82:2010, punto 3.1]
- *Risorsa*: risorsa: Fonte fisica che concorre alla realizzazione di un prodotto o servizio.
Nota 1: Le risorse sono di origine naturale o antropica.
Nota 2: Le risorse possono essere rinnovabili o non rinnovabili.
Nota 3: Il termine risorsa può essere applicato a materiali, acqua ed energia.
Nota 4: Le risorse includono la propria energia incorporata.
- *Risorsa energetica*: Risorsa che può essere utilizzata per generare energia utile per le attività umane
- *Risorsa rinnovabile*: Risorsa che cresce, si reintegra e si degrada in modo naturale in una scala temporale equiparabile a quella umana. Esempi: gli alberi delle foreste, l'erba, il vento, le onde del mare.
Nota 1: Una risorsa naturale può essere sfruttata ed esaurire, ma può durare indefinitamente se opportunamente gestita.
Nota 2: Attività che afferiscono alla tecnosfera, come le attività di riciclo, non si possono considerare attività di reintegro e degradazione naturali.
Nota 3: In questo contesto per scala temporale umana si fa riferimento più al tempo di vita medio tipico di un essere umano che al tempo di esistenza degli esseri umani. [ISO 21930:2017, punto 3.6.2]
- *Riciclo*: Qualsiasi operazione di recupero attraverso cui i materiali di rifiuto sono ritrattati per ottenere prodotti, materiali o sostanze da utilizzare per la loro funzione originaria o per altri fini
- *Acque reflue*: Acque provenienti da scarichi urbani e industriali che, opportunamente depurate, possono essere nuovamente immesse in un normale corso d'acqua.

Nota: Le acque reflue, o acque di scarico, sono le acque utilizzate nelle attività umane, domestiche, industriali o agricole, che per questo motivo contengono sostanze organiche e inorganiche che possono recare danno alla salute e all'ambiente. Queste tipologie di acque, dopo il loro utilizzo non possono quindi essere riversate direttamente nell'ambiente (nel terreno, nei fiumi, nei laghi e nei mari) senza prima essere sottoposte a interventi di depurazione costantemente monitorati. La depurazione deve essere effettuata ai sensi delle norme vigenti che prevedono azioni necessarie a raggiungere o mantenere il buono stato di qualità delle acque superficiali o profonde, tutelandole dall'inquinamento

- *Energia elettrica/termica autoprodotta*: Quantitativo di energia elettrica o termica generata internamente al sistema stesso
- *Fonti di energia rinnovabile*: Fonti di energia che, a differenza delle fonti fossili, non sono soggette ad esaurimento (energia solare, fotovoltaico, solare termodinamico, solare termico, energia eolica, energia idroelettrica, biomasse ed energia marina)
- *Carbon footprint (impronta climatica) di un prodotto (CFP)*: Somma delle emissioni di GHG e delle rimozioni di GHG in un sistema di prodotto espressa come CO₂ equivalenti e basata su una valutazione del ciclo di vita utilizzando la sola categoria di impatto del cambiamento climatico.

[UNI EN ISO 14067:2018, modificata, punto 3.1.1.1]

- *Gas a effetto serra (GHG)*: Costituente gassoso dell'atmosfera, sia naturale che antropico, che assorbe ed emette radiazioni a specifiche lunghezze d'onda all'interno dello spettro della radiazione infrarossa emessa dalla superficie terrestre, dall'atmosfera e dalle nuvole.
Nota 1: Il vapore acqueo e l'ozono sono GHG antropici così come naturali, ma non sono inclusi come GHG riconosciuti a causa delle difficoltà, nella maggior parte dei casi, nell'isolare la componente antropica del riscaldamento globale attribuibile alla loro presenza nell'atmosfera)

Nota 2: Le emissioni di GHG devono essere aggregate nelle seguenti categorie a livello organizzativo:

- Emissioni e rimozioni dirette di GHG;
- Emissioni indirette di GHG da energia importata;
- Emissioni indirette di GHG da trasporto;
- Emissioni indirette di GHG dai prodotti utilizzati dall'organizzazione;
- Emissioni indirette di GHG associate all'utilizzo dei prodotti dell'organizzazione;
- Emissioni indirette di GHG da altre fonti

In ciascuna categoria devono essere separate le emissioni non biogene, le emissioni biogeniche antropogeniche e, se quantificate e comunicate, le emissioni biogeniche non antropogeniche.

- *Recupero energetico netto*: Qualsiasi operazione di utilizzazione di cascami energetici e/o di residui come combustibili o come altro mezzo per produrre energia, incluso il ritrattamento per ottenere materiali da utilizzare quali combustibili o altri mezzi, sempre per produrre energia, al netto del fabbisogno energetico di eventuali pre-trattamenti qualora effettuati
- *Recupero di materia*: Qualsiasi operazione di recupero di residui diversa dal recupero energetico
- *Certificazioni di sostenibilità*: Certificazioni che includono norme e standard volontari nazionali, europei ed internazionali, afferenti la sostenibilità di prodotti, processi e/o servizi
- *Simbiosi industriale*: Parte dell'ecologia industriale che coinvolge industrie tradizionalmente separate in un collettivo approccio al vantaggio competitivo che implica il trasferimento e/o condivisione di materiali, energia, acqua e sottoprodotti, e/o servizi, capacità e competenze in maniera tale che le risorse in esubero o di residuo in output di una organizzazione diventino input per una o più organizzazioni. Per simbiosi Industriale si intende quindi il trasferimento e/o condivisione di risorse, tra due o più organizzazioni
- *Indice di prestazione energetica*: Quantità annua di energia primaria effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare, con un uso standard dell'immobile, i vari bisogni energetici dell'edificio, la climatizzazione invernale e estiva, la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, la ventilazione e, per il settore terziario, l'illuminazione, gli impianti ascensori e scale mobili [11], riferita all'unità di superficie utile
- *Approccio metodologico*

L'approccio metodologico si basa su 4 'principi di ispirazione' da cui scaturiscono 8 'principi operativi', tratti da una letteratura di riferimento che annovera i 6 principi della ISO/CD 59004 Circular Economy – Framework and principles for implementation' (quando è stata emanata la UNI/TS 11820 era ancora a livello di bozza), i 6 principi dello standard BS 8001:2017 Circular Economy, le 10 R, i 3 principi della Ellen MacArthur Foundation e i 7 principi operativi sviluppati da Suarez-Eiroa (Fig.30):

I 4 Principi di ispirazione possono essere così sintetizzati:

1. *Creazione del valore*: Creare e rigenerare valore privilegiando l'uso di risorse quali materie prime rinnovabili, risorse materiche secondarie, sottoprodotti, risorse idriche ed energetiche in uscita dai processi industriali/civili

2. *Condivisione del valore*: Creare valore reciproco tra le organizzazioni attraverso accordi stipulati con attori di diversa natura con l'obiettivo di realizzare azioni circolari
3. *Disponibilità delle risorse*: Considerare la disponibilità delle risorse del pianeta in ingresso e in uscita dai processi delle organizzazioni, mantenendo circolare il flusso delle risorse quanto più a lungo possibile, in un'ottica di sviluppo sostenibile
4. *Tracciabilità delle risorse*: Monitorare e gestire i dati di economia circolare delle risorse in ingresso e in uscita dai processi di un'organizzazione

Fig. 30
Principi di ispirazione e principi operativi dell'approccio metodologico della UNI/TS 11820.
Fonte: Ente Normativo Italiano UNI, 2022



Gli 8 Principi operativi possono essere così sintetizzati:

1. *Pensiero sistemico*: Interessarsi al rapporto che c'è tra gli elementi e alla loro evoluzione. Considerare le dipendenze e gli impatti rispetto a tutte le unità appartenenti al sistema in cui un'organizzazione opera. Life cycle perspective
2. *Collaborazione*: Capacità di instaurare partnership tra organizzazioni e sistemi in una logica simbiotica
3. *Generazione di valore circolare*: Utilizzare materie prime rinnovabili, risorse materiche secondarie, sottoprodotti, risorse idriche ed energetiche in uscita dai processi industriali/civili, supportando una gestione sostenibile delle risorse
4. *Ottimizzazione del valore circolare*: Utilizzare le risorse in modo efficace ed efficiente, anche attraverso meccanismi di sharing, per supportarne la gestione sostenibile e la loro disponibilità nel tempo
5. *Preservazione del valore*: Estendere nel tempo il valore delle risorse, degli asset e dei prodotti, con riferimento ad attività di riparazione, riuso, remanufacture, upcycling, recycling e recovery

6. *Innovazione*: Individuare soluzioni per la gestione efficace, efficiente e sostenibile delle risorse, permettendo di sviluppare nuovi prodotti, servizi, processi e modelli di business circolari
7. *Consapevolezza*: Considerare sia gli aspetti legati alla trasparenza, ovvero l'attitudine alla comunicazione delle informazioni agli stakeholder, sia quelli legati alla tracciabilità, ovvero la raccolta e controllo sistematico delle informazioni
8. *Inclusività*: Considerare il tema sociale nella sua accezione di non lasciar indietro nessuno e l'impatto positivo che la creazione di valore circolare può determinare nel soddisfare i bisogni della società

Inoltre, il metodo di misurazione della circolarità proposto è strutturato (Fig.31) per comprendere tutte le fasi del valore del prodotto e/o del servizio distribuito dall'organizzazione che viene analizzato, e va dalla progettazione all'approvvigionamento delle materie, alla produzione, alla distribuzione e vendita, all'utilizzo e consumo, al fine vita.



Fig. 31
 Fasi del valore del prodotto, tipo di indicatori e livelli di analisi nella metodologia della UNI/TS 11820.
 Fonte: Ente Normativo Italiano UNI, 2022

La misurazione può essere effettuata a più livelli:

- *Micro*: si intende stringere il perimetro di indagine alla singola organizzazione
- *Meso*: a questo livello viene preso in considerazione un gruppo di organizzazioni, cluster industriali o territoriali, aree e distretti industriali, filiere produttive e dei materiali

La misurazione viene effettuata attraverso la valutazione di indicatori, che possono avere varia natura:

- *Quantitativa*: per questi indicatori viene richiesto di quantificare un valore numerico

- *Qualitativa binaria*: si intende di esprimere una conferma o una negazione (si/no)
- *Semiquantitativa*: in questo caso viene effettuata una valutazione rispetto a delle soglie
- *Acquisizione dei dati*
Precedentemente alla fase di acquisizione dati, è necessario che siano stati definiti:
 - *Il perimetro della valutazione*: limiti sia spaziali che temporali che definiscono quali processi debbano essere inclusi nella misurazione, anche al fine di includere o escludere fasi non direttamente dipendenti dall'organizzazione o fuori dagli obiettivi della misurazione
 - *I requisiti di qualità dei dati*: caratteristiche dei dati che si riferiscono alla loro capacità di essere precisi e accurati
 - *La tipologia di valutazione e il relativo set di indicatori*: scelta tra organizzazione di prodotto o servizio

Si riporta di seguito il diagramma di flusso di acquisizione dei dati (Fig.32):



Fig. 32
Flusso di acquisizione dei dati per il calcolo degli indicatori della UNI/TS 11820.
Fonte: Ente Normativo Italiano UNI, 2022

- *Indicatori di Economia Circolare*
La Specifica Tecnica propone un set di 71 indicatori di circolarità delle organizzazioni, classificati in sei ambiti:
 - *Risorse materiche e componenti*
Ad esempio: Quantità di materie prime rinnovabili in ingresso rispetto al totale delle risorse materiche in ingresso
 - *Risorse energetiche e idriche*
Ad esempio: Quantità di acqua proveniente da recupero e/o riciclo rispetto al totale del fabbisogno idrico
 - *Rifiuti ed emissioni*
Ad esempio: Quantità di rifiuti urbani e/o speciali raccolti in modo differenziato rispetto alla quantità totale dei rifiuti prodotti
 - *Logistica*
Ad esempio: Numero di dipendenti aderenti a iniziative di mobilità sostenibile promosse dall'organizzazione o da terzi, rispetto al numero totale dei dipendenti
 - *Prodotto/servizio*
Ad esempio: Quantità di prodotti generati nell'anno 'n' rispetto alla quantità di risorse impiegate nell'anno 'n'

- *Risorse umane, asset, policy, sostenibilità*

Ad esempio: Gli edifici per uso civile dell'organizzazione hanno certificazioni di sostenibilità effettuate nell'anno n e/o n-1 e/o n-2 ?

Tali indicatori sono correlati a tre diverse tipologie di valutazione, in relazione alla natura dell'organizzazione:

- Indicatori relativi a *organizzazioni di Prodotti (P)*
- Indicatori relativi a *organizzazioni di Servizi (S)*
- Indicatori relativi a *organizzazioni di Prodotti e Servizi (P/S)*

Infine, sono contrassegnati da tre diverse categorie, che attribuiscono loro un peso diverso in funzione dell'importanza che la normativa riconosce loro:

- Indicatori *core*: la loro valutazione è obbligatoria per tutte le organizzazioni
- Indicatori *specifici*: si rende obbligatoria la compilazione di almeno il 50% degli indicatori del settore di afferenza (indicatori per organizzazioni di prodotto, di servizio o prodotto/servizio)
- Indicatori *premiati*: la valutazione di questi indicatori è facoltativa
-
- *Qualità dei dati*
Per una valutazione credibile, vengono specificate le caratteristiche richieste affinché i dati su cui applicare il calcolo abbiano il giusto livello di qualità:
 - *Copertura temporale*: l'anzianità dei dati e l'estensione di tempo
 - *Copertura geografica*: la zona geografica nella quale devono essere raccolti i dati relativi al perimetro di valutazione
 - *Completezza*: il dato raccolto descrive in maniera compiuta quel determinato aspetto relativo al perimetro di valutazione
 - *Rappresentatività*: l'insieme dei dati rappresenta in maniera compiuta il fenomeno analizzato
 - *Riproducibilità*: valutazione del grado con cui le informazioni riguardo la metodologia e i valori dei dati permettono a un esecutore indipendente di riprodurre i risultati riportati nella valutazione di circolarità
 - *Accuratezza*: intesa come perfetta rispondenza con il mondo reale che rappresenta
 - *Attualità*: giusto tempo in cui il dato è utilizzato
 - *Coerenza*: dati non contraddittori con altri dati
 - *Credibilità*: il dato è proveniente da fonte certa
 - *Comprensibilità*: il significato del dato è chiaro ed immediato
 - *Precisione*: il dato è del livello di misura necessario
 - *Disponibilità*: il dato necessario è disponibile e re-interrogabile
 - *Ripristinabilità*: il dato è salvato in un ambiente sicuro ed è recuperabile

- *Calcolo del livello di circolarità*

Per semplicità, viene descritto il calcolo attraverso step successivi:

- 1) Scelta del tipo di organizzazione (P, S, P/S)
- 2) Selezione del perimetro della valutazione
- 3) Reperimento dei dati per il calcolo degli indicatori
- 4) Compilazione di tutti gli indicatori Core (Tab.12)
- 5) Compilazione di almeno il 50% degli indicatori specifici (Tab.12)
- 6) Compilazione degli indicatori premianti selezionati (Tab.12)

Tab. 12

Schema di calcolo per la valutazione relativa ad organizzazioni di produzione.

Fonte: Ente Normativo Italiano UNI, 2022

| Indicatori | Tipologia | Numero di indicatori per tipologia |
|--|-----------|------------------------------------|
| 04, 07, 10, 16, 17, 18, 57, 59 | Core | 8 |
| 02, 03, 05, 06, 08, 09, 11, 12, 13, 14, 15, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 55, 56, 60, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 71 | Specifici | 50 |
| 01, 20, 29, 36, 37, 38, 58, 61, 62, 69, 70 | Premianti | 11 |

- 7) Calcolo del livello di circolarità (LC), di seguito descritto (Fig.33):
 - a) Sommare i valori degli indicatori Core
 - b) Sommare i valori degli indicatori specifici compilati
 - c) Sommare i valori degli indicatori premianti compilati e moltiplicare tale somma per 0,5
 - d) Sommare i valori precedentemente ottenuti (a+b+c)
 - e) Calcolare il livello di circolarità (LC) dividendo il risultato (d) per il numero totale degli indicatori Core+Specifici disponibili

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^n c_i + \sum_{j=1}^m s_j + 0,5 \sum_{k=1}^f p_k}{c + s} \times 100$$

con $0\% \leq LC \leq 100\%$

Fig. 33

- 8) Si consiglia di calcolare il livello di circolarità di ciascuna delle 6 categorie di indicatori, al fine di valutare le aree di intervento sulle quali agire per aumentare il livello di circolarità complessivo, visualizzando i risultati attraverso un grafico di tipo radar (Fig.34)

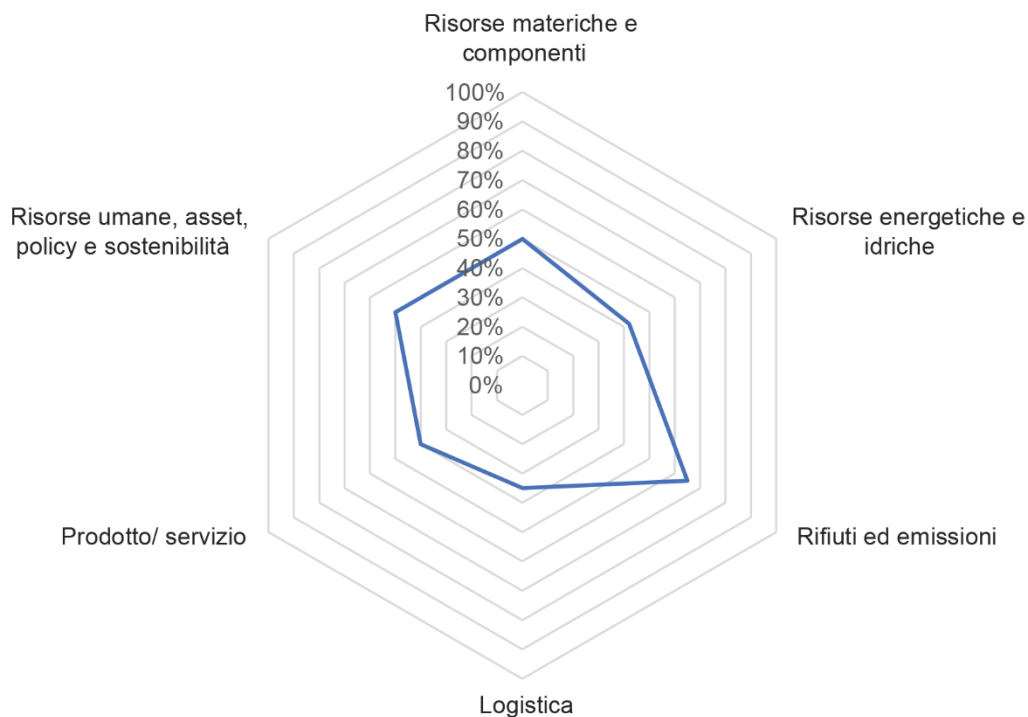


Fig. 34
Esempio di grafico radar per la visualizzazione dei risultati del livello di circolarità distribuito per i vari ambiti tematici.
Fonte: Ente Normativo Italiano UNI, 2022

- **Valutazione di conformità**

In conclusione si riporta lo schema con cui esprimere l'asserzione di conformità del livello di circolarità calcolato secondo la metodologia stabilita dalla Specifica Tecnica (Tab.13).

| Livello di circolarità dell'organizzazione xxxx relativo al perimetro di valutazione yyyy (codice ATECO A.BB) misurato nell'anno zzzz secondo la UNI/TS 11820:2022 pari a pp% |
|--|
| <p>Dove:</p> <ul style="list-style-type: none"> • xxxx è il nome dell'organizzazione • yyyy è il perimetro di valutazione • A è la sezione ATECO • BB è la divisione ATECO • zzzz è l'anno n di valutazione • pp è il risultato del livello di circolarità |

Tab. 13
Schema di asserzione di conformità del livello di circolarità calcolato secondo la metodologia della UNI/TS 11820.
Fonte: Ente Normativo Italiano UNI, 2022

La conformità del livello di circolarità alla UNI/TS 11820:2022 può essere effettuata mediante un'attività di valutazione di:

- Prima parte: auto-valutazione a cura dell'organizzazione stessa
- Seconda parte: valutazione a cura del cliente dell'organizzazione interessato al livello di circolarità
- Terza parte: valutazione a cura di un organismo indipendente accreditato ai sensi della UNI CEI EN ISO/IEC 17029 e della UNI EN ISO 14065 (verifica di asserzione di circolarità)

1.3. La valutazione del livello di circolarità delle performances energetiche del caso studio aziendale attraverso l'applicazione della UNI/TS 11820:2022

1.3.1. Il valore dell'applicazione dello standard di misurazione per la realizzazione di un benchmark di settore ad oggi assente

Valutare il proprio livello di circolarità fornisce vantaggi intrinseci ed estrinseci alle imprese, in termini di:

- Delineazione di una propria baseline da cui partire per prendere decisioni in merito a nuovi progetti volti a migliorare le proprie performances di circolarità, rendere più efficiente la gestione delle risorse, ridurre i costi ed incrementare la produttività
- Verificare la qualità dei progetti implementati e futuri
- Comunicare le proprie qualità in ambito di dichiarazioni ESG
- Guadagnare punteggi premiali nell'ambito di strumenti di finanziamento/supporto alla transizione ecologica che valutino positivamente i progetti secondo le metriche circolari della UNI/TS 11820

Essendo la Specifica Tecnica di recente pubblicazione, attualmente le Aziende pioniere del suo utilizzo sono fondamentali per iniziare a costruire un database di parametri di riferimento per i vari settori ATECO di appartenenza, che avranno valore di benchmark con cui in futuro altre organizzazioni si potranno confrontare.

Pertanto in questa tesi si è analizzata, attraverso la metodologia fornita dalla UNI/TS 11820, un'Azienda che rappresenta una delle realtà produttive più importanti del mondo dell'industria agroalimentare, poiché di Grandi dimensioni, multinazionale e multi-sito, ed attenta ad esprimere la sua attenzione ai temi della sostenibilità.

1.3.2. Individuazione del perimetro di valutazione del caso studio considerato e selezione degli indicatori applicabili

L'Azienda del caso studio è una multinazionale che ha 30 comprensori produttivi in Italia e all'estero. Il perimetro dell'analisi si è stretto al territorio italiano, ove l'Azienda opera in tre settori ATECO, all'interno della categoria 'C - Attività manifatturiere', sotto-categoria '10 – Industria Agroalimentare':

- 10.61.20 'Molitura di altri cereali'
- 10.72.00 'Produzione di fette biscottate e di biscotti; produzione di prodotti di pasticceria conservati'
- 10.73.00 'Produzione di paste alimentari, di cuscus e di prodotti farinacei simili'

Il 'Perimetro di valutazione' è così definito dalla UNI/TS 11820: *'I limiti, sia spaziali che temporali, che definiscono quali processi debbano essere inclusi nella misurazione della circolarità, anche al fine di includere o escludere fasi non direttamente dipendenti dall'organizzazione o fuori dagli obiettivi della misurazione. Il perimetro di valutazione deve risultare coerente con l'obiettivo della misurazione'*.

Si è selezionato come perimetro di valutazione il gruppo di tutti i sei siti produttivi afferenti al codice ATECO 10.72.00 'Produzione di fette biscottate e di biscotti; produzione di prodotti di pasticceria conservati', cui per brevità ci si riferirà con il termine 'Bakery', considerati in un duplice livello:

- Livello micro: lo studio è stato condotto singolarmente, utilizzando dati distinti ed afferenti ad ogni sito, separatamente
- Livello meso: inteso come studio dei dati aggregati dell'intero gruppo

I limiti temporali si riferiscono a dati misurati e tracciati dell'anno 2022. La fase delle attività dell'organizzazione che si è presa in considerazione è quella della produzione, e il focus è stato fatto sulla categoria di indicatori relativa alle 'Risorse energetiche e idriche'.

1.3.3. Misurazione delle performances dell'organizzazione e conclusioni

L'Azienda di riferimento, afferente all'Industria manifatturiera Agroalimentare, rientra nella categoria delle 'Organizzazioni di prodotto', pertanto la misurazione è stata effettuata selezionando gli indicatori specifici appositamente dedicati.

Si riportano di seguito gli indicatori proposti dalla UNI/TS 11820:2022 per la sezione 'Risorse energetiche e idriche' (Tab.14):

Tab. 14
Dettaglio delle caratteristiche degli indicatori relativi alle risorse energetiche e idriche.
 Fonte: Ente Normativo Italiano UNI, 2022

| # | Descrizione | Tipo di misura | Grandezza misurata | Tipologia dato | Calcolo dell'indicatore | | Definizioni correlate | Tipologia di valutazione | Tipologia di indicatore |
|----|--|----------------|--------------------|----------------|---|---|---|--|-------------------------|
| | | | | | Numeratore | Denominatore | | | |
| 11 | Energia elettrica autoprodotta da fonti rinnovabili e/o da processi di recupero rispetto al totale dell'energia elettrica consumata | Quantità | Energia | Input | Energia elettrica autoprodotta da fonti rinnovabili e/o da processi di recupero nell'anno n | Totale energia elettrica consumata nell'anno n | <ul style="list-style-type: none"> Energia elettrica e termica autoprodotta Fonti rinnovabili Recupero | <ul style="list-style-type: none"> Prodotto Servizio | Specifico |
| 12 | Energia termica autoprodotta da fonti rinnovabili e/o da processi di recupero nell'anno n, rispetto al totale dell'energia termica consumata | Quantità | Energia | Input | Energia termica autoprodotta da fonti rinnovabili e/o da processi di recupero nell'anno n | Totale energia termica consumata nell'anno n | <ul style="list-style-type: none"> Energia elettrica e termica autoprodotta Fonti rinnovabili Recupero | <ul style="list-style-type: none"> Prodotto Servizio | Specifico |
| 13 | Se non si acquista energia elettrica non compilare l'indicatore. Energia elettrica acquistata da fonti rinnovabili, rispetto al | Quantità | Energia | Input | Energia elettrica acquistata da fonti rinnovabili nell'anno n | Totale energia elettrica acquistata nell'anno n | <ul style="list-style-type: none"> Fonti rinnovabili | <ul style="list-style-type: none"> Prodotto Servizio | Specifico |
| 14 | Se non si acquista energia termica non compilare l'indicatore. Energia termica acquistata da fonti rinnovabili, rispetto al | Quantità | Energia | Input | Energia termica acquistata da fonti rinnovabili nell'anno n | Totale energia termica acquistata nell'anno n | <ul style="list-style-type: none"> Fonti rinnovabili | <ul style="list-style-type: none"> Prodotto Servizio | Specifico |
| 15 | Quantità di acqua proveniente da recupero e/o riciclo rispetto al totale del fabbisogno idrico | Massa | Energia | Input | Quantità di acqua proveniente da recupero e/o riciclo anno n | Fabbisogno idrico anno n | <ul style="list-style-type: none"> Acque reflue Recupero Riciclo Fabbisogno idrico | <ul style="list-style-type: none"> Prodotto Servizio | Specifico |

I dati utilizzati sono stati quelli ufficialmente comunicati anche in Diagnosi Energetica, provenienti dal sistema di monitoraggio energetico presente in Azienda e confrontato con le letture delle bollette, hanno pertanto un buon livello di qualità in termini di copertura temporale, copertura geografica, completezza, rappresentatività, riproducibilità, accuratezza, coerenza, credibilità, comprensibilità e precisione.

Come è possibile rilevare, tutti gli indicatori della categoria ‘Risorse energetiche e idriche’ sono validi per la tipologia di valutazione dedicata sia alle organizzazioni di prodotto che di servizio, e si identificano tutti come indicatori di tipo specifico. La categoria di indicatore ‘specifico’ ha un peso pari a 1 nel calcolo finale proposto dalla metodologia della UNI/TS 11820.

Si riportano di seguito i dati raccolti, il calcolo eseguito ed i grafici ottenuti, sia a livello micro, relativo ai singoli stabilimenti all’interno del perimetro di valutazione, sia a livello meso, relativo al gruppo della categoria ATECO 10.72.00, qui denominato ‘Bakery’ per brevità². Si descrive il lavoro distinguendo le fasi:

- *Fase 1: Raccolta dei Dati* (Tabb.15-19):
 - Si riportano i dati del livello micro e meso, contestualmente

| N. Indicatore | Dati richiesti |
|---------------|---|
| #11 | Energia elettrica autoprodotta da fonti rinnovabili e/o da processi di recupero [energia] |
| | Totale energia elettrica consumata [energia] |

Tab. 15
Raccolta dati a livello micro e macro per l’indicatore 11 relativo all’energia elettrica autoprodotta

| | | AUTOPRODUZIONE ENERGIA ELETTRICA DA FONTI RINNOVABILI | | TOTALE ENERGIA ELETTRICA CONSUMATA |
|---------------|----------------------|--|---|------------------------------------|
| | STABILIMENTI | Strategia di autoproduzione | Energia autoprodotta da FER [kWh _e] | [kWh _e] |
| | Località | | | |
| BAKERY | Stabilimento A | NO | | 11.790.053 |
| | Stabilimento B | NO | | 18.177.000 |
| | Stabilimento C | NO | | 19.552.908 |
| | Stabilimento D | FOTOVOLTAICO: 207,36 kW _p [768 pannelli, 1305,6 mq] | 328.704 | 20.192.277 |
| | Stabilimento E | NO | | 20.275.663 |
| | Stabilimento F | NO | | 11.994.367 |
| | TOTALE BAKERY | | | 328.704 |

² Si precisa che per i motivi di riservatezza richiamati in apertura, i siti del gruppo sono in questa tesi denominati con i codici “Stabilimento” + “lettera” in progressivo ordine alfabetico”.

Tab. 17
Raccolta dati a livello
micro e macro per
l'indicatore 12 relativo
all'energia termica
autoprodotta.

| N. Indicatore | Dati richiesti |
|---------------|---|
| #12 | Energia termica autoprodotta da fonti rinnovabili e/o da processi di recupero [energia] |
| | Totale energia termica consumata [energia] |

| | | PROCESSI DI RECUPERO CALORE | | TOTALE ENERGIA TERMICA CONSUMATA | |
|----------------------|-----------------------|---|-------------------|----------------------------------|--|
| STABILIMENTI | Strategia di recupero | Calore recuperato [Smc] | [Smc] | | |
| BAKERY | Stabilimento A | Adeguamento dell'impianto di riscaldamento dei reparti officina e confezione, utilizzando utenze di vapore già presenti nelle stesse aree. Questo ha permesso di spegnere le caldaie di riscaldamento nei mesi invernali. | 170.000 | 2.227.818 | |
| | Stabilimento B | Sostituzione scambiatore di calore in Centrale termica B | 7.000 | 5.676.511 | |
| | Stabilimento C | NO | 0 | 3.569.189 | |
| | Stabilimento D | NO | 0 | 4.827.645 | |
| | Stabilimento E | Recupero del calore dei fumi del forno cracker | 397.000 | 3.745.949 | |
| | Stabilimento F | NO | 0 | 4.564.021 | |
| TOTALE BAKERY | | 574.000 | 24.611.133 | | |

Tab. 16
Raccolta dati a livello
micro e macro per
l'indicatore 13 relativo
all'energia elettrica
acquistata da fonti
rinnovabili.

| N. Indicatore | Dati richiesti |
|---------------|---|
| #13 | Energia elettrica acquistata da fonti rinnovabili [energia] |
| | Totale energia elettrica acquistata [energia] |

| | | ENERGIA ELETTRICA ACQUISTATA DA FONTI RINNOVABILI | | TOTALE ENERGIA ELETTRICA ACQUISTATA | |
|----------------------|-----------------------|---|---------------------|-------------------------------------|--|
| STABILIMENTI | Strategia di acquisto | Energia acquistata da FER [kWh _e] | [kWh _e] | | |
| BAKERY | Stabilimento A | Energia da Idroelettrico certificata G.O. | 11.790.053 | 11.790.053 | |
| | Stabilimento B | Energia da Idroelettrico certificata G.O. | 18.177.000 | 18.177.000 | |
| | Stabilimento C | Energia da Idroelettrico certificata G.O. | 19.552.908 | 19.552.908 | |
| | Stabilimento D | Energia da Idroelettrico certificata G.O. | 19.863.573 | 19.863.573 | |
| | Stabilimento E | Energia da Idroelettrico certificata G.O. | 20.275.663 | 20.275.663 | |
| | Stabilimento F | Energia da Idroelettrico certificata G.O. | 11.994.367 | 11.994.367 | |
| TOTALE BAKERY | | 101.653.564 | 101.653.564 | | |

Nota 1: La sigla G.O. è l'acronimo di Garanzia di Origine: 'una certificazione elettronica che attesta l'origine rinnovabile delle fonti utilizzate dagli impianti qualificati IGO'. (Gestore dei Servizi Energetici - GSE, soggetto autorizzato a rilasciare la certificazione)

| N. Indicatore | Dati richiesti |
|---------------|---|
| #14 | Energia termica acquistata da fonti rinnovabili [energia] |
| | Totale energia termica acquistata [energia] |

Tab. 19
Raccolta dati a livello micro e macro per l'indicatore 14 relativo all'energia termica acquistata da fonti rinnovabili.

| | | ENERGIA TERMICA ACQUISTATA DA FONTI RINNOVABILI | | TOTALE ENERGIA TERMICA ACQUISTATA |
|---------------|----------------|---|---|-----------------------------------|
| STABILIMENTI | | Strategia di acquisto | Energia acquistata da FER [kWh _t] | [kWh _t] |
| BAKERY | Stabilimento A | NO | 0 | 23.324.887 |
| | Stabilimento B | NO | 0 | 59.432.134 |
| | Stabilimento C | NO | 0 | 37.368.820 |
| | Stabilimento D | NO | 0 | 50.544.647 |
| | Stabilimento E | NO | 0 | 39.219.468 |
| | Stabilimento F | NO | 0 | 47.784.547 |
| TOTALE BAKERY | | | 0 | 257.674.502 |

| N. Indicatore | Dati richiesti |
|---------------|---|
| #15 | Quantità di acqua proveniente da recupero e/o riciclo [massa] |
| | Fabbisogno idrico [massa] |

Tab. 18
Raccolta dati a livello micro e macro per l'indicatore 15 relativo all'acqua proveniente da recupero e/o riciclo.

| | | ACQUA PROVENIENTE DA RECUPERO E/O RICICLO | | FABBISOGNO IDRICO |
|---------------|----------------|---|-----------------------|-------------------|
| STABILIMENTI | | Strategia di recupero e/o riciclo | Acqua recuperata [mc] | [mc] |
| BAKERY | Stabilimento A | Riciclo | 1.815 | 52.627 |
| | Stabilimento B | NO | 0 | 81.692 |
| | Stabilimento C | Riciclo | 3.700 | 122.389 |
| | Stabilimento D | NO | 0 | 115.595 |
| | Stabilimento E | NO | 0 | 70.264 |
| | Stabilimento F | NO | 0 | 45.054 |
| TOTALE BAKERY | | | 5.515 | 487.621 |

Nota 1: Il fabbisogno idrico si riferisce alla somma di acqua riciclata, acqua di acquedotto e acqua di pozzo.

- Fase 2: Calcolo degli indicatori (Tabb.20-26)
 - Livello micro:

| BAKERY - Stabilimento A | | | | | | |
|-------------------------------|----|-----------------------|----------------------|------|-------------------|--------------------------|
| | N. | Tipologia valutazione | Tipologia indicatore | peso | Valore indicatore | Valore indicatore pesato |
| Risorse energetiche e idriche | 11 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,000 | 0,000 |
| | 12 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,076 | 0,076 |
| | 13 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 1,000 | 1,000 |
| | 14 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,000 | 0,000 |
| | 15 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,034 | 0,034 |

Tab. 20
Calcolo degli indicatori sulle risorse energetiche e idriche per lo Stabilimento A.

Tab. 22
Calcolo degli indicatori
sulle risorse
energetiche e idriche
per lo Stabilimento B.

| BAKERY - Stabilimento B | | | | | | |
|-------------------------------|----|-----------------------|----------------------|------|-------------------|--------------------------|
| | N. | Tipologia valutazione | Tipologia indicatore | peso | Valore indicatore | Valore indicatore pesato |
| Risorse energetiche e idriche | 11 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,000 | 0,000 |
| | 12 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,001 | 0,001 |
| | 13 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 1,000 | 1,000 |
| | 14 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,000 | 0,000 |
| | 15 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,000 | 0,000 |

Tab. 21
Calcolo degli indicatori
sulle risorse
energetiche e idriche
per lo Stabilimento C.

| BAKERY - Stabilimento C | | | | | | |
|-------------------------------|----|-----------------------|----------------------|------|-------------------|--------------------------|
| | N. | Tipologia valutazione | Tipologia indicatore | peso | Valore indicatore | Valore indicatore pesato |
| Risorse energetiche e idriche | 11 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,000 | 0,000 |
| | 12 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,000 | 0,000 |
| | 13 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 1,000 | 1,000 |
| | 14 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,000 | 0,000 |
| | 15 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,030 | 0,030 |

Tab. 23
Calcolo degli indicatori
sulle risorse
energetiche e idriche
per lo Stabilimento D.

| BAKERY - Stabilimento D | | | | | | |
|-------------------------------|----|-----------------------|----------------------|------|-------------------|--------------------------|
| | N. | Tipologia valutazione | Tipologia indicatore | peso | Valore indicatore | Valore indicatore pesato |
| Risorse energetiche e idriche | 11 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,016 | 0,016 |
| | 12 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,000 | 0,000 |
| | 13 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 1,000 | 1,000 |
| | 14 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,000 | 0,000 |
| | 15 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,000 | 0,000 |

Tab. 24
Calcolo degli indicatori
sulle risorse
energetiche e idriche
per lo Stabilimento E.

| BAKERY - Stabilimento E | | | | | | |
|-------------------------------|----|-----------------------|----------------------|------|-------------------|--------------------------|
| | N. | Tipologia valutazione | Tipologia indicatore | peso | Valore indicatore | Valore indicatore pesato |
| Risorse energetiche e idriche | 11 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,000 | 0,000 |
| | 12 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,071 | 0,071 |
| | 13 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 1,000 | 1,000 |
| | 14 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,000 | 0,000 |
| | 15 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,000 | 0,000 |

Tab. 25
Calcolo degli indicatori
sulle risorse
energetiche e idriche
per lo Stabilimento F.

| BAKERY - Stabilimento F | | | | | | |
|-------------------------------|----|-----------------------|----------------------|------|-------------------|--------------------------|
| | N. | Tipologia valutazione | Tipologia indicatore | peso | Valore indicatore | Valore indicatore pesato |
| Risorse energetiche e idriche | 11 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,000 | 0,000 |
| | 12 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,000 | 0,000 |
| | 13 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 1,000 | 1,000 |
| | 14 | prodotto/servizio | specifico | 1 | | 0,000 |
| | 15 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,000 | 0,000 |

- Livello meso:

| TOTALE BAKERY | | | | | | |
|-------------------------------|----|-----------------------|----------------------|------|-------------------|--------------------------|
| | N. | Tipologia valutazione | Tipologia indicatore | peso | Valore indicatore | Valore indicatore pesato |
| Risorse energetiche e idriche | 11 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,003 | 0,003 |
| | 12 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,018 | 0,018 |
| | 13 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 1,000 | 1,000 |
| | 14 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,000 | 0,000 |
| | 15 | prodotto/servizio | specifico | 1 | 0,011 | 0,011 |

Tab. 26
Calcolo degli indicatori sulle risorse energetiche e idriche a livello meso.

Fase 3: Restituzione dei grafici (Figg.35-41)

- Livello micro:

| BAKERY - Stabilimento A | |
|-------------------------------------|------------|
| En.Elettrica autoprodotta da FER | 0,000 |
| En. Termica da processi di recupero | 0,076 |
| En. Elettrica acquistata da FER | 1,000 |
| En. Termica acquistata da FER | 0,000 |
| Acqua proveniente da riciclo | 0,034 |
| LIVELLO DI CIRCOLARITÀ | 22% |

Fig. 35
Calcolo e rappresentazione con grafico a radar del livello di circolarità delle risorse energetiche e idriche per lo Stabilimento A.

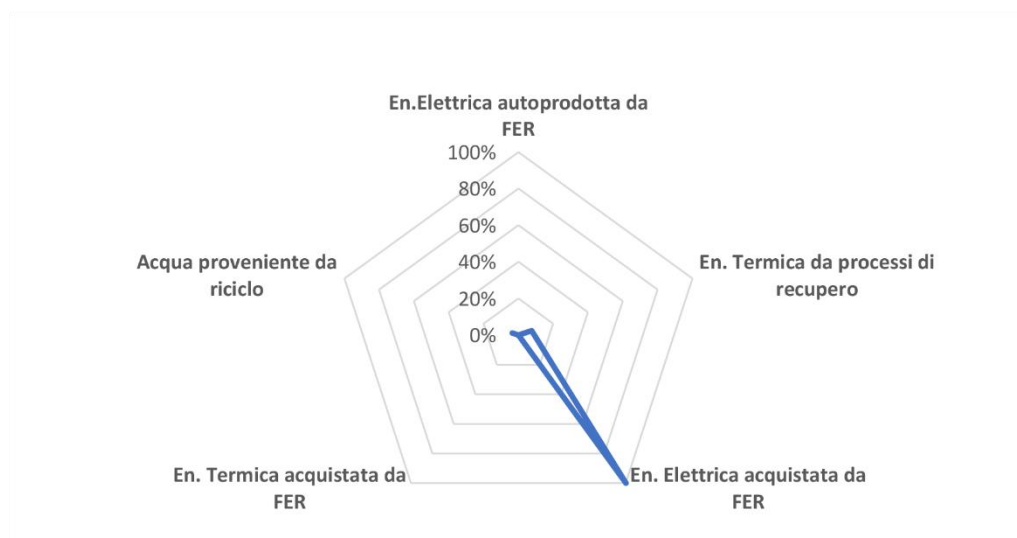


Fig. 37
Calcolo e rappresentazione con grafico a radar del livello di circolarità delle risorse energetiche e idriche per lo Stabilimento B.

| BAKERY - Stabilimento B | |
|-------------------------------------|------------|
| En.Elettrica autoprodotta da FER | 0,000 |
| En. Termica da processi di recupero | 0,001 |
| En. Elettrica acquistata da FER | 1,000 |
| En. Termica acquistata da FER | 0,000 |
| Acqua proveniente da riciclo | 0,000 |
| LIVELLO DI CIRCOLARITÀ | 20% |

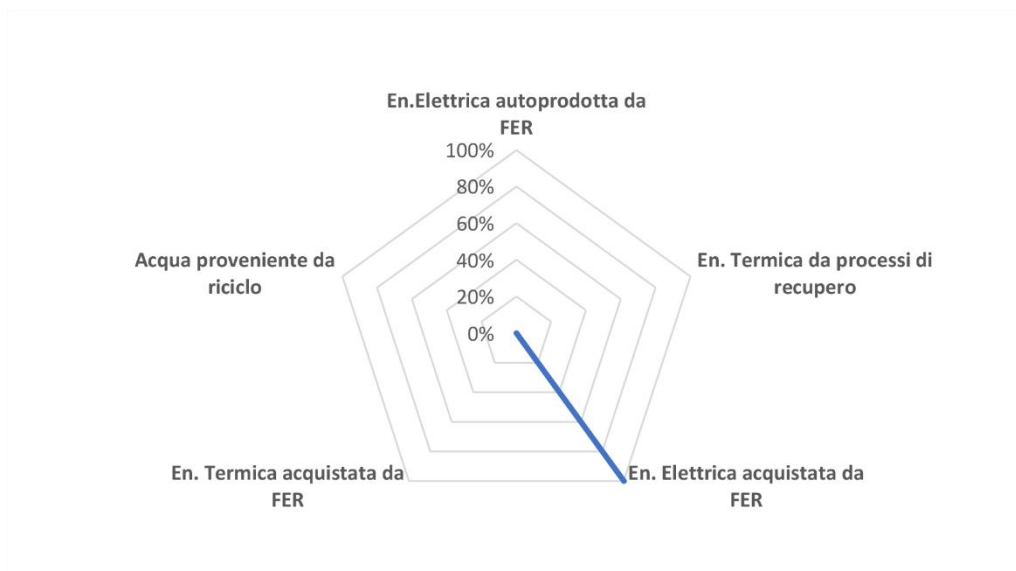
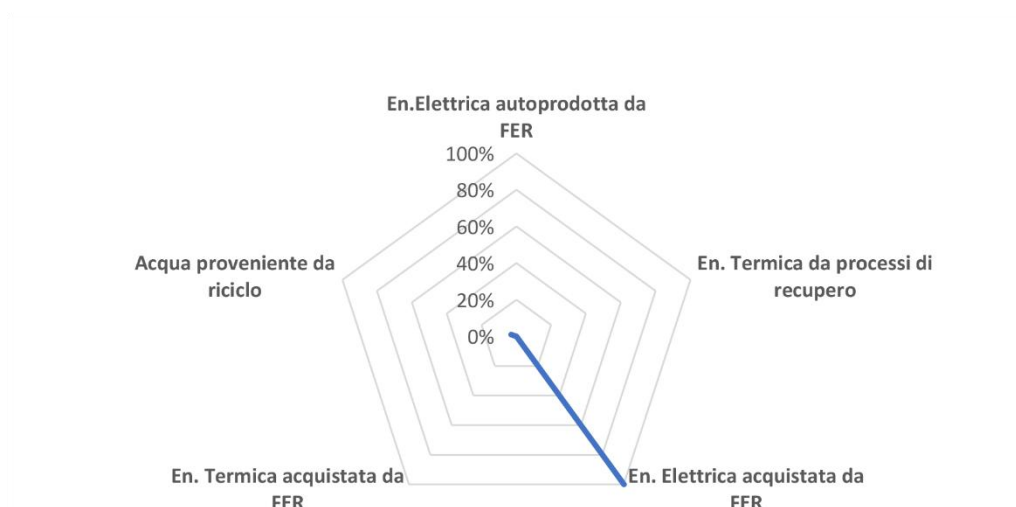


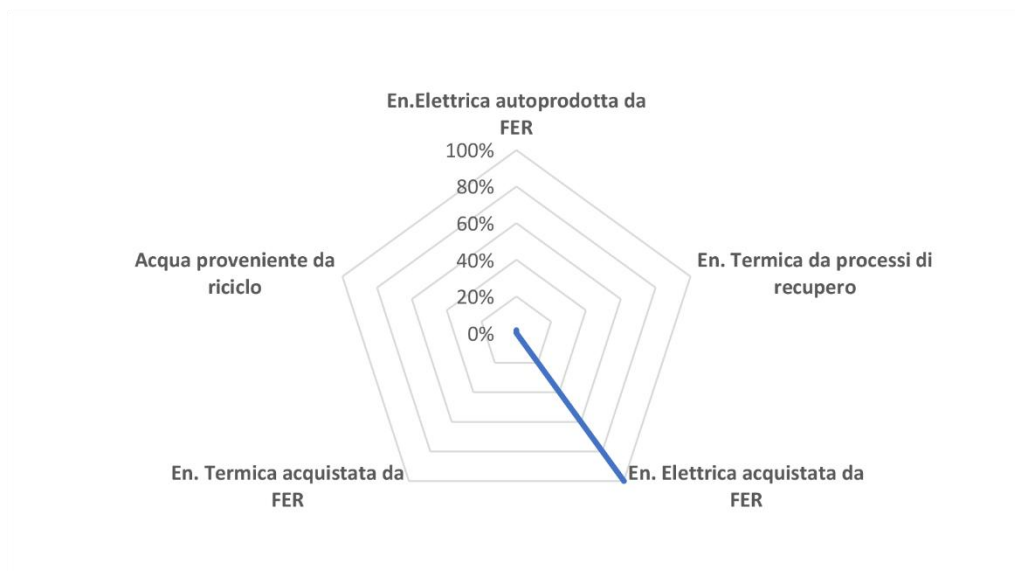
Fig. 36
Calcolo e rappresentazione con grafico a radar del livello di circolarità delle risorse energetiche e idriche per lo Stabilimento C.

| BAKERY - Stabilimento C | |
|-------------------------------------|------------|
| En.Elettrica autoprodotta da FER | 0,000 |
| En. Termica da processi di recupero | 0,000 |
| En. Elettrica acquistata da FER | 1,000 |
| En. Termica acquistata da FER | 0,000 |
| Acqua proveniente da riciclo | 0,030 |
| LIVELLO DI CIRCOLARITÀ | 21% |



| BAKERY - Stabilimento D | |
|-------------------------------------|------------|
| En.Elettrica autoprodotta da FER | 0,016 |
| En. Termica da processi di recupero | 0,000 |
| En. Elettrica acquistata da FER | 1,000 |
| En. Termica acquistata da FER | 0,000 |
| Acqua proveniente da riciclo | 0,000 |
| LIVELLO DI CIRCOLARITÀ | 20% |

Fig. 39
Calcolo e rappresentazione con grafico a radar del livello di circolarità delle risorse energetiche e idriche per lo Stabilimento D.



| BAKERY - Stabilimento E | |
|-------------------------------------|------------|
| En.Elettrica autoprodotta da FER | 0,000 |
| En. Termica da processi di recupero | 0,071 |
| En. Elettrica acquistata da FER | 1,000 |
| En. Termica acquistata da FER | 0,000 |
| Acqua proveniente da riciclo | 0,000 |
| LIVELLO DI CIRCOLARITÀ | 21% |

Fig. 38
Calcolo e rappresentazione con grafico a radar del livello di circolarità delle risorse energetiche e idriche per lo Stabilimento E.

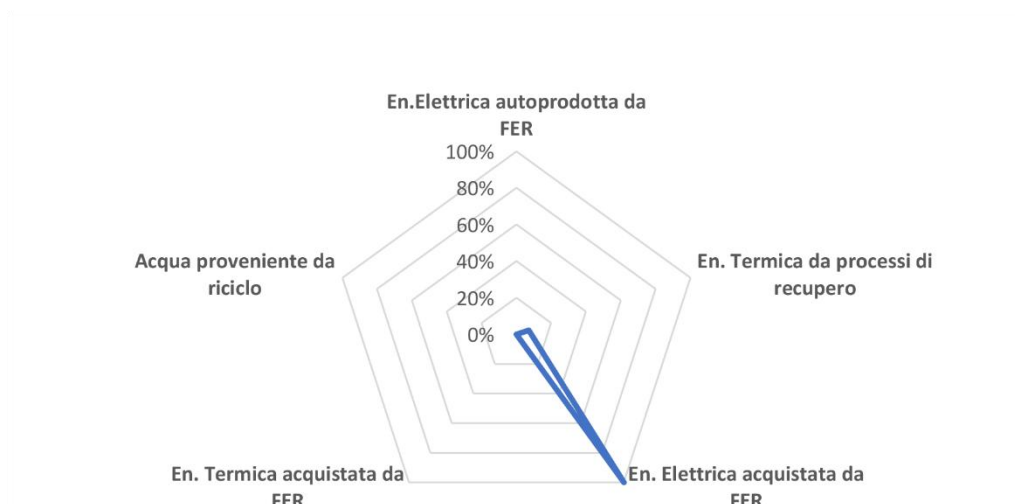
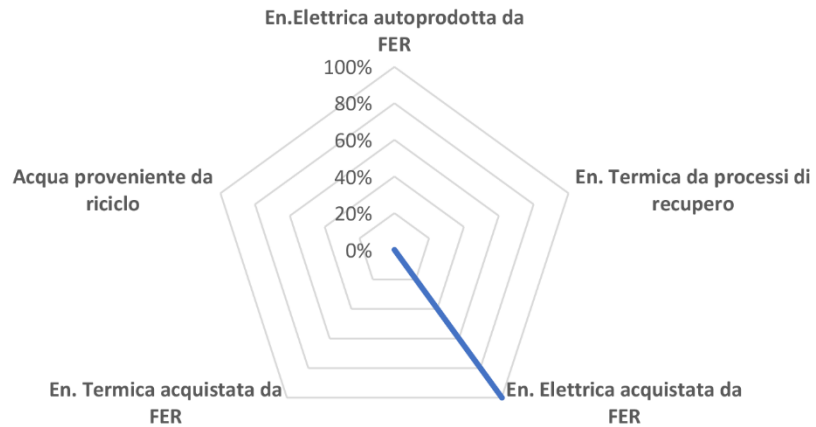


Fig. 40
Calcolo e rappresentazione con grafico a radar del livello di circolarità delle risorse energetiche e idriche per lo Stabilimento F.

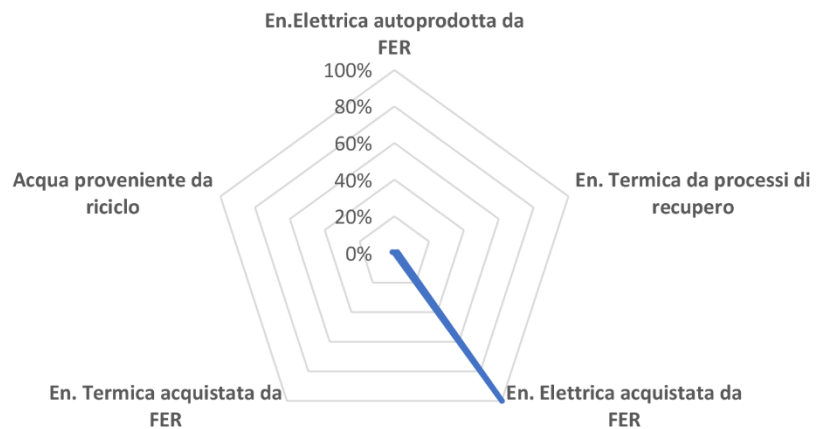
| BAKERY - Stabilimento F | |
|-------------------------------------|------------|
| En.Elettrica autoprodotta da FER | 0,000 |
| En. Termica da processi di recupero | 0,000 |
| En. Elettrica acquistata da FER | 1,000 |
| En. Termica acquistata da FER | 0,000 |
| Acqua proveniente da riciclo | 0,000 |
| LIVELLO DI CIRCOLARITÀ | 20% |



- Livello meso:

Fig. 41
Calcolo e rappresentazione con grafico a radar del livello di circolarità delle risorse energetiche e idriche a livello meso.

| TOTALE BAKERY | |
|-------------------------------------|------------|
| En.Elettrica autoprodotta da FER | 0,003 |
| En. Termica da processi di recupero | 0,018 |
| En. Elettrica acquistata da FER | 1,000 |
| En. Termica acquistata da FER | 0,000 |
| Acqua proveniente da riciclo | 0,011 |
| LIVELLO DI CIRCOLARITÀ | 21% |



Il calcolo degli indicatori di circolarità relativi alla categoria 'Risorse energetiche e idriche' premia la scelta dell'organizzazione di aver curato l'approvvigionamento di energia elettrica acquistata totalmente da fonte rinnovabile attraverso la stipula di contratti certificati 'Garanzia di Origine' con il fornitore, si specifica la provenienza della produzione di energia da impianti idroelettrici. D'altro canto, è evidente che l'organizzazione potrebbe aumentare il suo livello di circolarità se incrementasse l'autoproduzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, attualmente implementata nel solo sito produttivo dello Stabilimento D. Ulteriori miglioramenti potrebbero derivare dalle strategie di recupero dell'energia termica, che attualmente sono entrate a regime soltanto nello Stabilimento E e nello Stabilimento A. Si registra una penalizzante mancanza di energia termica acquistata da fonte rinnovabile, poiché si utilizza ancora totalmente il metano, ma ciò è legato alle necessità produttive di cottura del prodotto. Per quanto riguarda l'utilizzo di acqua proveniente da riciclo, si potrebbe incrementare la performance di circolarità estendendo le buone pratiche già implementate nei siti dello Stabilimento C e dello Stabilimento A. In conclusione, a livello meso il livello di circolarità si attesta ad un 21% e a livello micro i vari siti sono abbastanza allineati, spicca la performance dello stabilimento dello Stabilimento A che raggiunge il 22% superando la media del suo settore di appartenenza.

CAPITOLO 2.

Il controllo e il miglioramento delle performances energetiche del settore industriale

2.1. La necessità della transizione energetica del settore industriale per gli obiettivi di decarbonizzazione

2.1.1. Obiettivi e policies per l'efficiamento energetico e la riduzione delle emissioni climalteranti del settore industriale

Gli impatti climalteranti globali dovuti alle emissioni di carbonio in atmosfera vengono costantemente valutati dall'*Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, istituito nel 1988 dalla World Meteorological Organization (WMO) e dallo United Nations Environment Programme (UNEP), che coinvolge le principali organizzazioni internazionali, intergovernative, non-governative e i governi di 195 Paesi membri delle Nazioni Unite e relaziona i risultati della propria attività nei suoi 'Assessment Reports'. Il Sixth Assessment Report (AR6) pubblicato nel 2023 contiene gli aggiornamenti al 2019, da cui si evince che in quell'anno sono state complessivamente quantificate circa 56 Gigatonnellate di CO₂ equivalente, di cui il 34% a carico dei sistemi energetici e il 24% a carico dell'Industria (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023). Si riporta di seguito il grafico che illustra il trend delle emissioni climalteranti divise per settore, da cui si può constatare anche un generale aumento del 40% delle emissioni negli ultimi 20 anni (Fig.42):

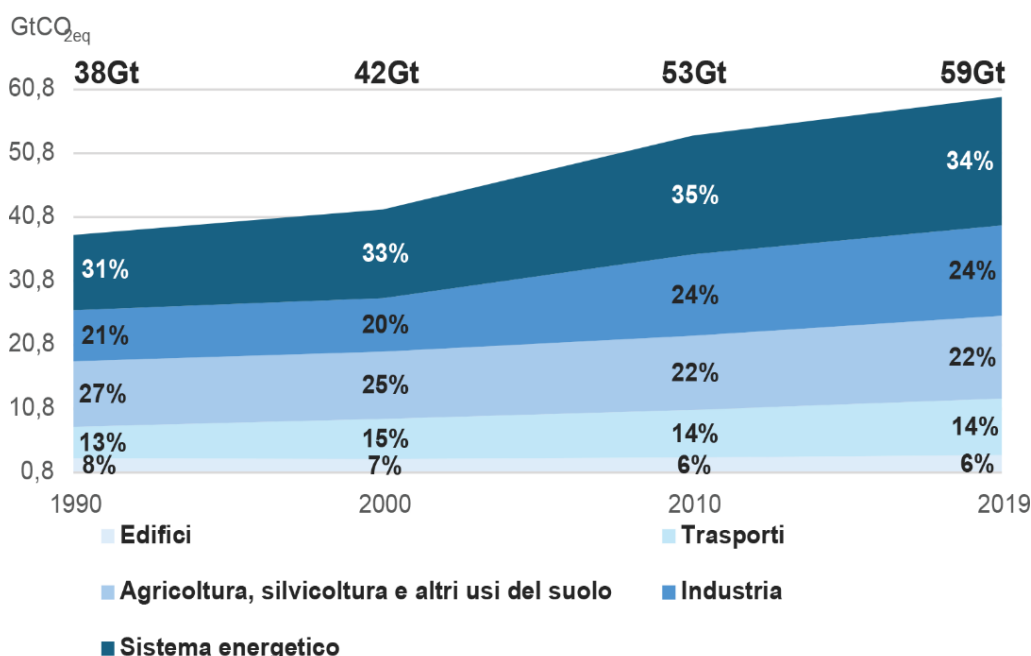
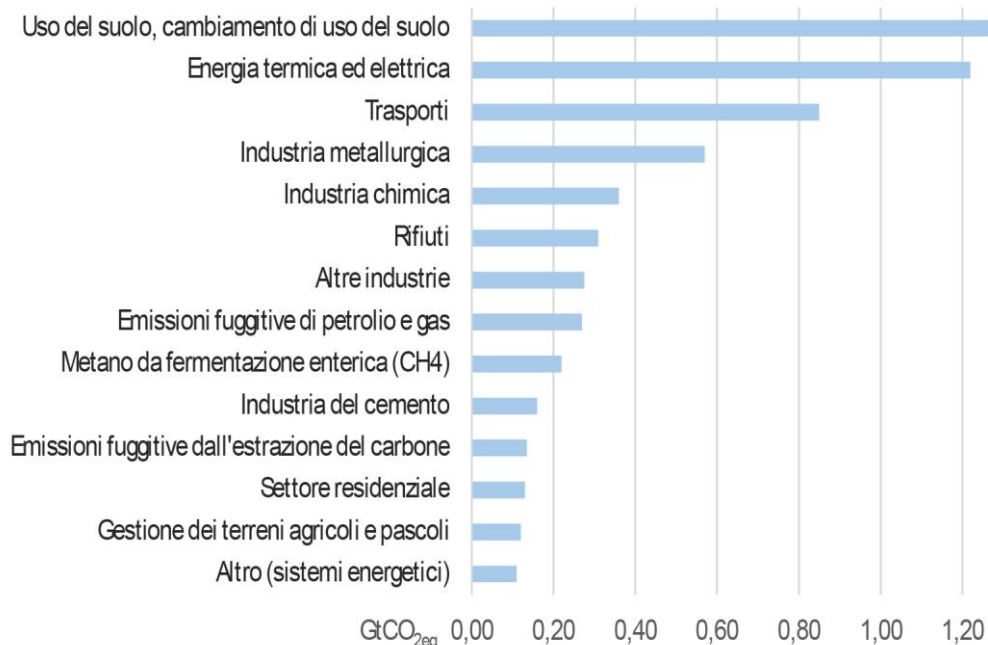


Fig. 42
Andamento delle emissioni climalteranti globali divise per settore dal 1990 al 2019.
Fonte: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023

Considerando il dato assoluto sull'aumento delle emissioni relative ai diversi settori nelle ultime due decadi, viene rilevato ancora una volta una forte tendenza alla crescita

legata ai sistemi di produzione energetici e all'industria di vari indirizzi, tra cui i più rilevanti sono a carico della produzione di metalli, prodotti chimici e rifiuti (Fig.43):

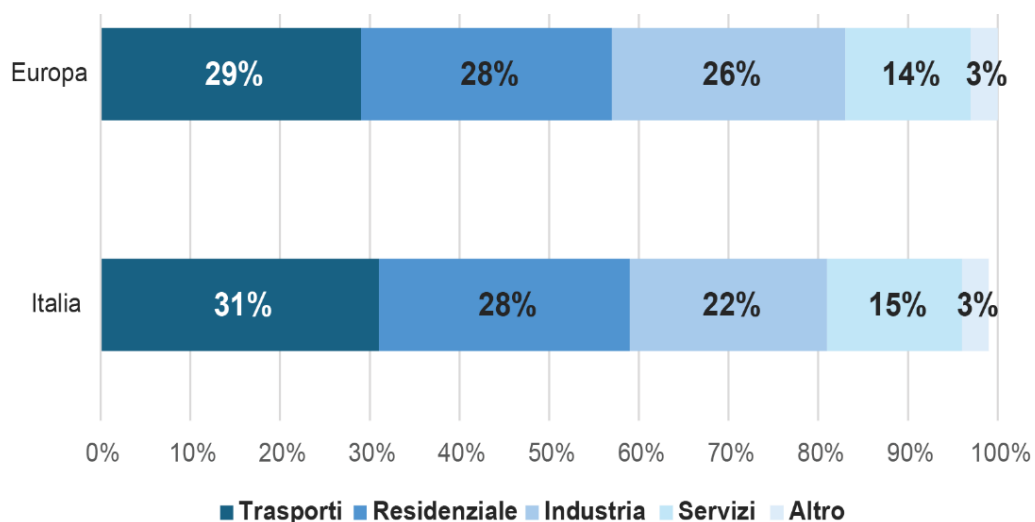
Fig. 43
Incremento di emissioni climalteranti globali divise per sottettore nel periodo tra il 2010 al 2019.
Fonte: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023



Scendendo di scala, si riportano i grafici delle quantificazioni dei consumi energetici e delle emissioni di gas climalteranti suddivisi per settore, sia a livello europeo che a livello italiano, al fine di fare un confronto tra la situazione nazionale e la tendenza europea:

- Consumi di energia finale in Italia e in Europa nel 2022 (Fig.44).
A livello nazionale è a carico dell'industria circa il 22% dei consumi di energia finale, performance migliore rispetto alla media europea in cui la percentuale rappresenta oltre un quinto del totale.
- Emissioni di gas ad effetto serra in Italia e in Europa nel 2022 (Fig. 45).

Fig. 44
Consumi di energia finale divisi per settore in Europa e in Italia nel 2022.
Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Eurostat, 2024



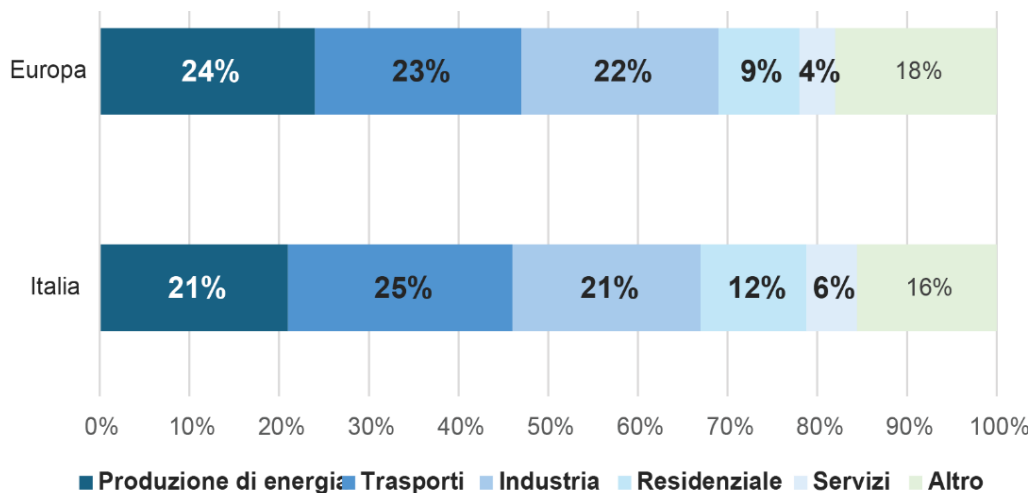


Fig. 45
Emissioni di gas a effetto serra per settore in Europa e in Italia nel 2022.
Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Eurostat, 2024

Il settore industriale manifatturiero è il settore che in Italia è riuscito a dimostrare la miglior performance di decarbonizzazione dal 1990 al 2021 (Fig.46). Questa performance di decarbonizzazione è legata a una duplice evoluzione:

- L'efficiamento energetico, poiché i consumi sono stati ridotti del 25,8% dal 1990 al 2021
- Il miglioramento del mix-energetico, poiché è stata registrata una diminuzione dell'utilizzo di combustibili fossili solidi, prodotti petroliferi e gas naturale e un aumento dell'utilizzo dell'energia elettrica (Fig.47). Si aggiunge che il tasso di elettrificazione nell'industria italiana ha registrato valori più alti del 10,2% della media europea.

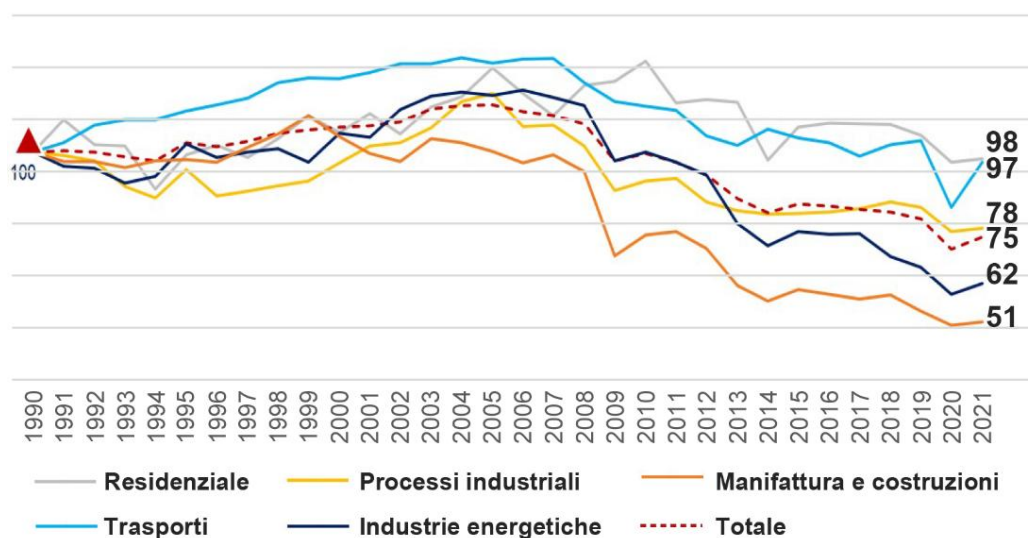
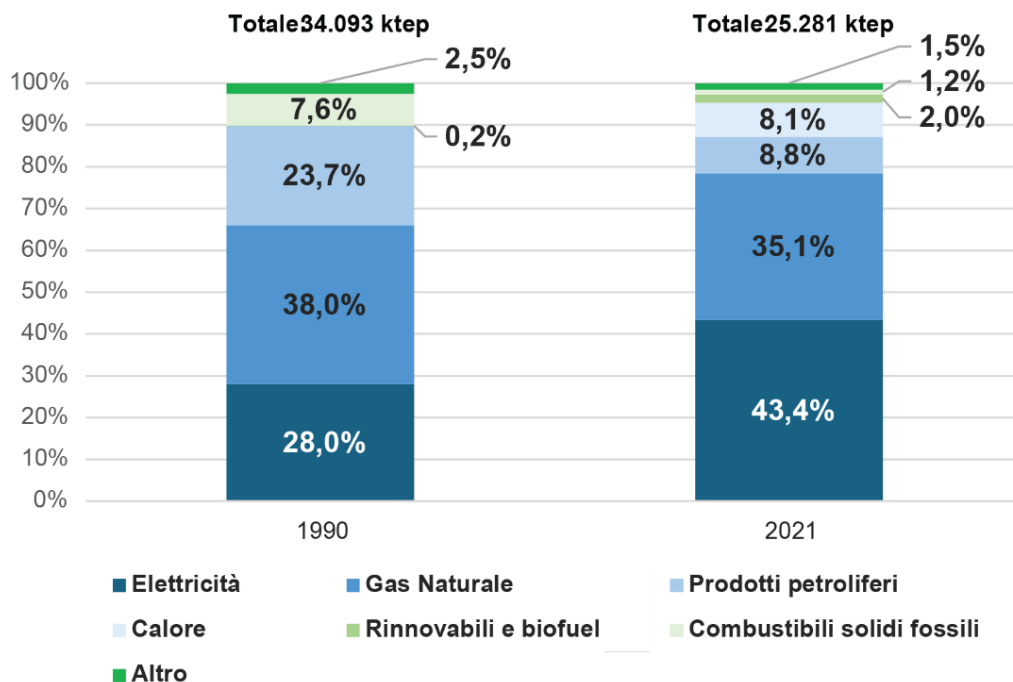


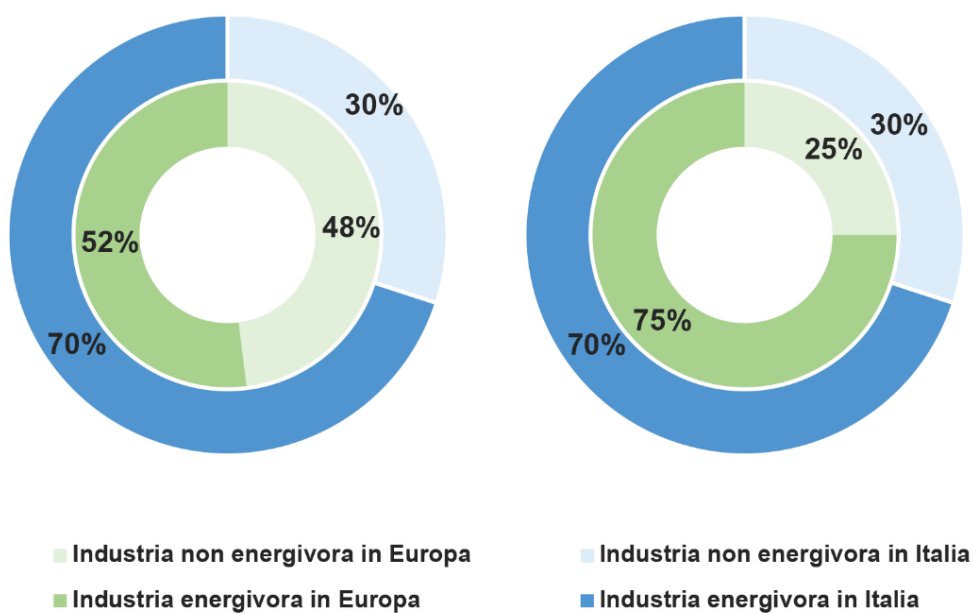
Fig. 46
Trend delle emissioni di gas a effetto serra per settore in Italia.
Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Eurostat, 2023

Fig. 47
 Confronto tra i consumi energetici finali nell'industria manifatturiera in Italia divisi per settore nel 1990 e nel 2021.
 Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Eurostat, 2024



Tuttavia, il fabbisogno energetico dell'industria energivora, che corrisponde al 70% sia dei consumi energetici sia delle emissioni a carico del settore industriale manifatturiero italiano complessivo (Fig.48), è soddisfatto da fonti rinnovabili solo per il 5% (The European House Ambrosetti, 2024). In particolare, il consumo di gas naturale è la fonte fossile preponderante, corrispondente a un valore medio del 36% dell'industria energivora (Figg.49, 50).

Fig. 48
 Emissioni di gas a effetto serra (a sinistra) e consumi di energia finale (a destra) in Italia e in Europa nel 2021, ripartiti tra industria energivora e non energivora.
 Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti su dati Eurostat, 2023



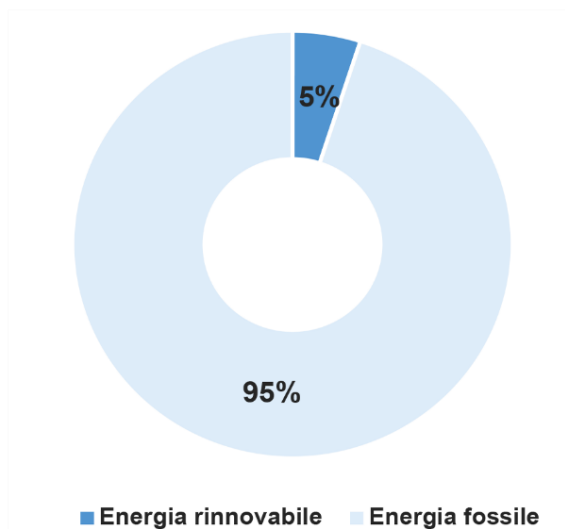


Fig. 50
Incidenza del gas naturale nei consumi di energia finale per settore energivoro in Italia nel 2021.

Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti su dati Eurostat e Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2023

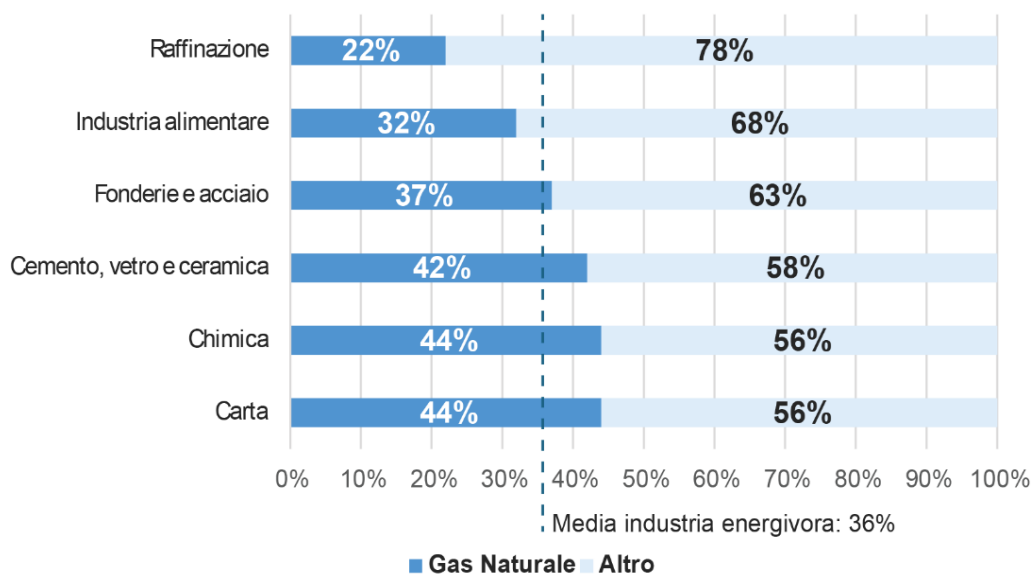


Fig. 49
Consumi di energia finale distinti per fonte di approvvigionamento nell’industria energivora italiana nel 2021.

Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti su dati Eurostat e Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2023

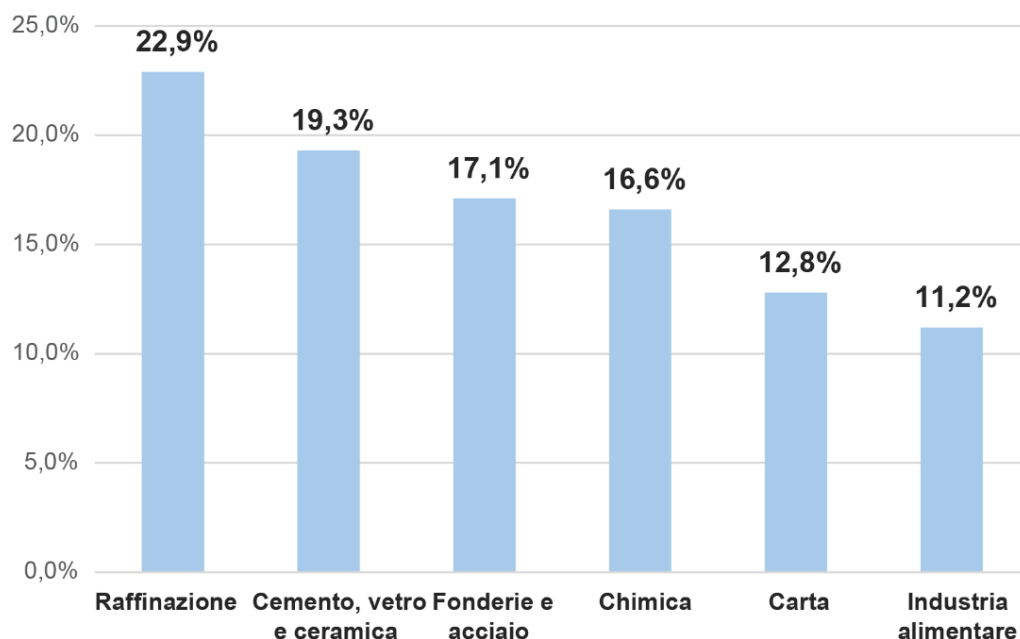
L’industria energivora in Italia comprende i settori della raffinazione, del cemento, del vetro e ceramica, delle fonderie dell’acciaio, dei prodotti chimici, della carta e dell’industria alimentare, i cui consumi energetici nel 2021 sono distribuiti come illustrato in Fig.51.

La Commissione Europea, attraverso il Green Deal, ha introdotto nel Dicembre 2019 l’obiettivo di raggiungere la Neutralità climatica della propria economia al 2050 (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal, 2019), elaborando pacchetti di iniziative per raggiungerla che nel tempo si sono evoluti anche a seguito delle vicissitudini geo-politiche che si sono verificate, modificando al rialzo i target di decarbonizzazione. In Fig. 52 si riporta una timeline in cui viene riassunta la cronologia dell’attività normativa dell’Unione Europea in tema di decarbonizzazione.

Fig. 51

Consumi di energia finale per settore energivoro in Italia (percentuali sul totale dei consumi dell'industria energivora) nel 2021.

Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti su dati Eurostat e Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2023



Nelle Policies europee, le principali direttrici verso cui tendono gli obiettivi di decarbonizzazione sono tre:

- L'aumento della quota di **energia da fonti rinnovabili** sui consumi finali lordi
- L'aumento di **efficienza energetica** inteso come riduzione dei consumi finali rispetto allo scenario tendenziale emerso nello studio PRIMES del 2007
- La riduzione delle **emissioni di gas serra** rispetto ai valori del 1990

Si riassume brevemente la cronologia dei vari programmi e dei target ivi proposti che di volta in volta sono stati stabiliti dalla Commissione Europea (Fig.53):

- *'Clean Energy for all Europeans Package'* (CEEP), pubblicato nel Maggio 2019, quindi prima del Green Deal, come nuovo pacchetto che rinnovasse per il decennio 2020-2030 gli obiettivi già perseguiti nella precedente decade attraverso il *'2020 climate and energy package'*.
- *'The Fit for 55 Package'*, pubblicato nel Luglio 2021 (European Commission, 2021), che ha revisionato i target al 2030 del precedente pacchetto rendendoli più sfidanti al fine di rendere possibile il raggiungimento della neutralità climatica introdotta con il Green Deal e riguardante il 2050
- *'RepowerEU'*, pubblicato a Maggio 2022 (Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - REPowerEU Plan (COM(2022) 230 Final), 2022), che ha modellato ancora una volta il target relativo alle quote di energia da fonte rinnovabile per accelerare l'indipendenza dalle

importazioni energetiche dai Paesi Extra Unione Europea, in risposta allo scoppio del conflitto tra Russia e Ucraina, portandolo al 45%.

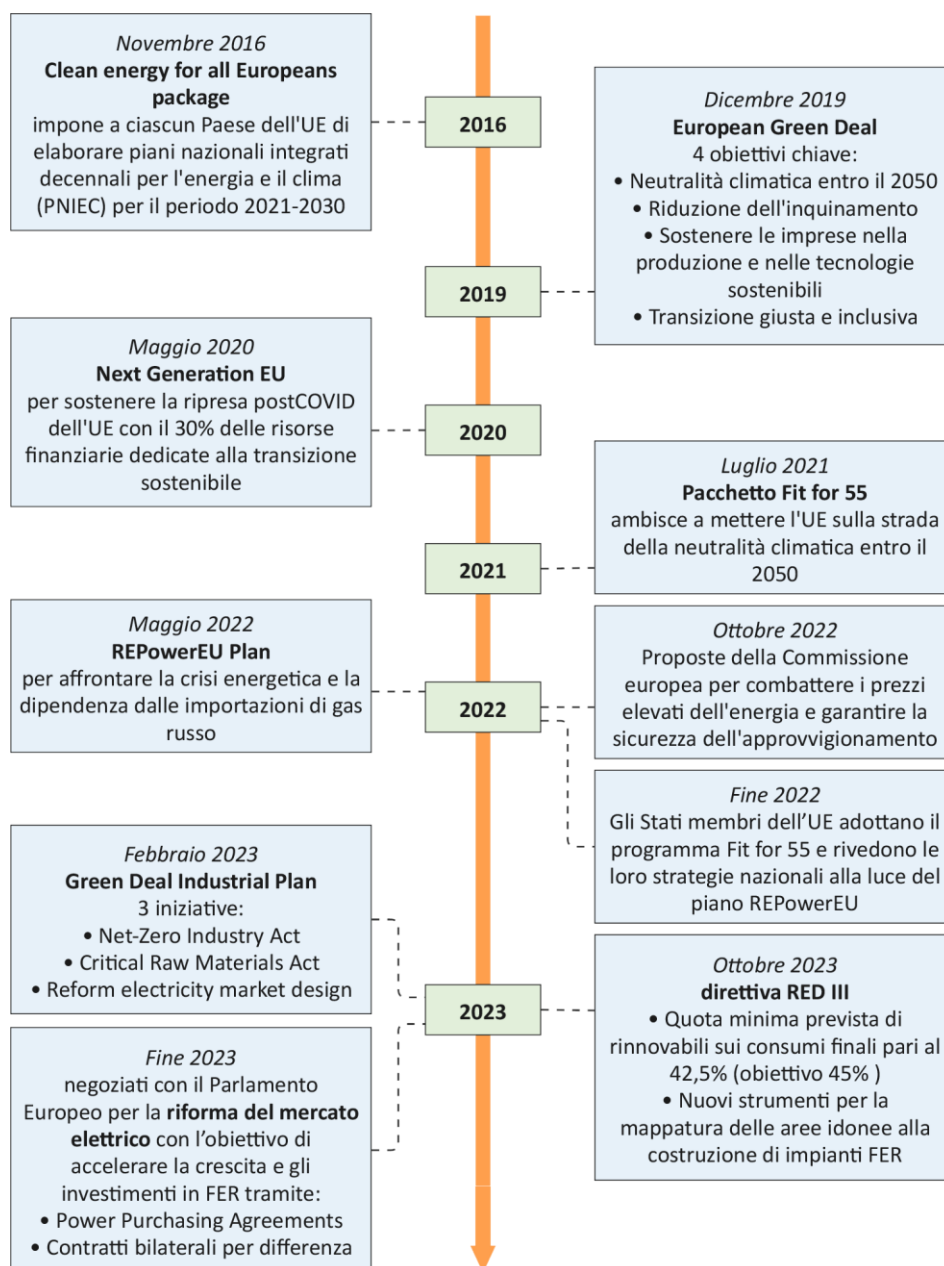
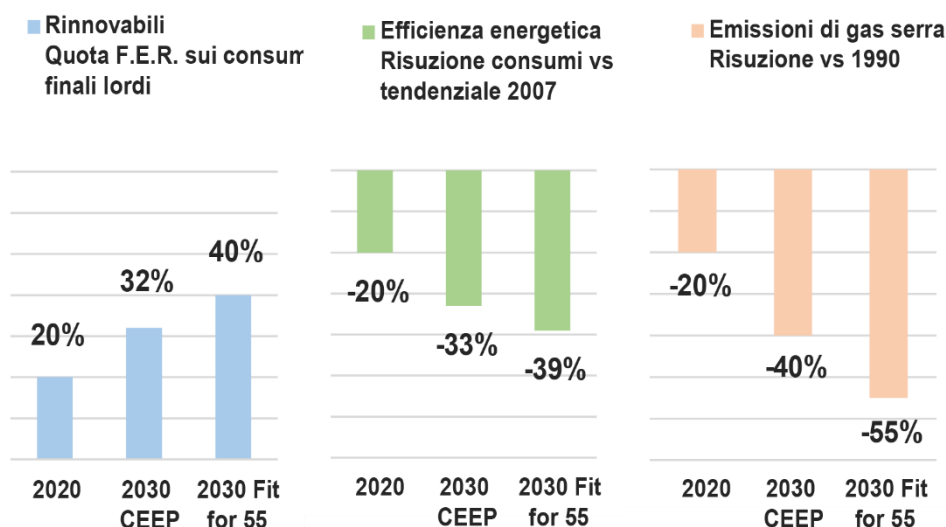


Fig. 52
Evoluzione dell'Agenda strategica europea.
Fonte: Commissione Europea

Fig. 53
Target revisionati al rialzo nel tempo per gli obiettivi di decarbonizzazione.
Fonte: Commissione Europea



Nel 2023 è stato emanato il Net Zero Industry Act del 2023, nel cui allegato vengono elencate le Tecnologie Strategiche a Zero Emissioni Nette (Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on Establishing a Framework of Measures for Strengthening Europe’s Net-Zero Technology Products Manufacturing Ecosystem (Net Zero Industry Act) (COM/2023/161 Final), 2023), riportate di seguito insieme all’individuazione del settore energetico su cui tali tecnologie incidono (Tab.27):

Tab. 27
Tecnologie strategiche individuate nel Net Zero Industry Act divise per settore energetico coinvolto.
Fonte: Parlamento Europeo, 2023

| n. | Classifica | Settore energetico coinvolto | |
|----|---|------------------------------|---------|
| | | Elettrico | Termico |
| 1 | Tecnologie solari fotovoltaiche e termiche | x | x |
| 2 | Tecnologie per l'energia eolica onshore e le energie rinnovabili offshore | x | |
| 3 | Tecnologie delle batterie/di stoccaggio | x | |
| 4 | Pompe di calore e tecnologie dell'energia geotermica | x | x |
| 5 | Elettrolizzatori e celle a combustibile | x | x |
| 6 | Tecnologie del biogas/biometano sostenibile | x | x |
| 7 | Tecnologie di cattura e stoccaggio del carbonio | - | - |
| 8 | Tecnologie di rete | x | x |

Risulta evidente che la maggior parte delle tecnologie fanno riferimento alla sfera dell’approvvigionamento e della fornitura di energia.

Le policies europee, per quanto riguarda l’industria manifatturiera fanno un distinguo tra:

- il settore dell’industria energivora vincolato dalla normativa dell’*Emission Trading System (ETS)*³, che comprende la produzione di energia, le industrie

³ Il sistema di scambio quote EU ETS prevede che lo Stato stabilisce un tetto massimo di emissioni per ciascun settore incluso nel sistema, pertanto chi emette più del limite stabilito per il proprio settore di riferimento deve acquistare “permessi” ad emettere, mentre chi emette meno può vendere le quote che ha in avanzo. La compravendita si basa su un mercato apposito. Non solo le Aziende virtuose che immettono i titoli nel mercato, ma anche lo Stato riceve parte del ricavato dei “permessi” acquistati da chi inquina di più, e dovrà utilizzare almeno il 50% del valore per incentivare interventi di decarbonizzazione. Si noti che per le

quali segnatamente raffinerie, acciaierie e produttori di ferro, alluminio, metalli, cemento, calce, vetro, ceramica, pasta per carta, carta e cartone, acidi e prodotti chimici organici su larga scala, i trasporti aerei e marittimi

- il resto delle attività industriali che invece rientra nel generale settore che risponde alla normativa *Effort Sharing Regulation (ESR)*, in cui rientra anche il settore terziario e il settore degli edifici. Per questo settore gli obiettivi nazionali variano in base al prodotto interno lordo pro capite (Regulation (EU) 2023/857 of the European Parliament and of the Council of 19 April 2023 Amending Regulation (EU) 2018/842 on Binding Annual Greenhouse Gas Emission Reductions by Member States from 2021 to 2030 Contributing to Climate Action to Meet Commitments under the Paris Agreement, and Regulation (EU) 2018/1999 (Text with EEA Relevance), 2023).

Il 'Fit for 55 Package' ha stabilito per il settore ETS una riduzione delle emissioni di gas climalteranti del 61% rispetto ai livelli del 2005 da raggiungere entro il decennio 2021-2030, mentre per il settore ESR è prevista per l'Italia una riduzione del 43,7%.

L'importante Società di consulenza per le imprese *The European House – Ambrosetti (TEHA)*, ripartendo le quote tra l'industria energivora e l'industria non-ETS, ha segnalato che complessivamente viene richiesto al settore manifatturiero di ridurre le emissioni del 56% (The European House Ambrosetti, 2024). Si riporta un grafico in cui sono state quantificate le emissioni, espresse in Megatonnellate di CO₂ equivalente, dell'intero settore industriale manifatturiero dagli anni 1990 fino al target atteso dal 'Fit for 55 Package' al 2030 (Fig.54):

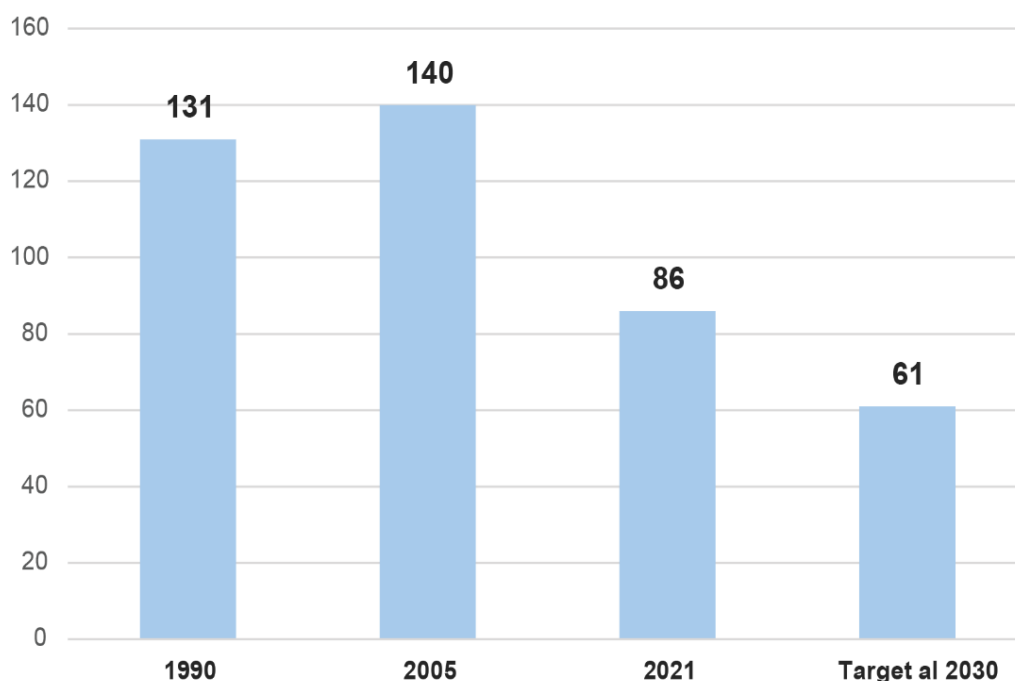


Fig. 54
Emissioni di gas climalteranti dell'intero settore industriale manifatturiero in Italia dal 1990 fino al target atteso al 2030 dal Fit for 55 Package.

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Eurostat, Commissione Europea e ISPRA, 2024

Aziende a rischio delocalizzazione (ovvero quelle Aziende che potrebbero permettersi di spostarsi in Paesi in cui vi sono meno attenzioni verso i temi di decarbonizzazione) i "permessi" relativi alle emissioni eccedenti il tetto previsto sono gratuiti.

Si riporta, in conclusione una tabella con gli obiettivi che a livello nazionale l'Italia si è posta recependo e addirittura migliorando gli obiettivi che sono stati imposti dalle Istituzioni Europee sovraordinate, riportate nel Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2024) (Tab.28):

Tab. 28
Obiettivi del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima a confronto con gli obiettivi imposti all'Italia dall'Europa.
 Fonte: Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2024

| Descrizione | Unità di misura | Dato rilevato | PNIEC 2024: Scenario di policy | Obiettivi Fit for 55 e RePowerEU |
|---|---------------------|---------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| | | 2022 | 2030 | 2030 |
| Emissioni e assorbimenti di gas serra | | | | |
| Riduzione dei GhG vs 2005 per tutti gli impianti vincolati dalla normativa ETS | % | -45% | -66% | -62% |
| Riduzione dei GhG vs 2005 per tutti i settori ESR | % | -20% | -40,6% | -43,7% |
| Emissioni e assorbimenti di GhG da LULUCF | MtCO _{2eq} | -21,2 | -28,4 | -35,8 |
| Energie rinnovabili | | | | |
| Quota di energia da FER nei consumi finali lordi di energia (criteri di calcolo RED III) | % | 19% | 39,4% | 38,7% |
| Quota di energia da FER nei consumi finali lordi di energia nei trasporti (criteri di calcolo RED III) | % | 8% | 34% | 29% |
| Quota di energia da FER nei consumi finali lordi di energia per riscaldamento e raffrescamento (criteri di calcolo RED III) | % | 21% | 36% | 26,6% - 39,1% |
| Quota di energia da FER nei consumi finali del settore elettrico (criteri di calcolo RED III) | % | 37% | 63% | non previsto |
| Quota di idrogeno da FER rispetto al totale dell'idrogeno usato nell'industria | % | 0% | 54% | 42% |
| Efficienza energetica | | | | |
| Consumi di energia primaria | Mtep | 140 | 123 | 111 |
| Quota di energia da FER nei consumi finali lordi di energia nei trasporti (criteri di calcolo RED III) | Mtep | 112 | 102 | 93 |
| Quota di energia da FER nei consumi finali lordi di energia per riscaldamento e raffrescamento (criteri di calcolo RED III) | Mtep | 3,8 | 73,4 | 73,4 |

Come è possibile vedere, per gli obiettivi di decarbonizzazione si è inteso stabilire:

- una riduzione del 66% per l'industria ETS
- una riduzione del 40,6% per l'industria afferente al settore ESR

Lo storico e lo scenario al 2030 delle emissioni tratto dal PNIEC è riportato in Fig.55, in cui è evidenziata la distinzione tra gli ambiti ESR e ETS.

Negli indirizzi del documento viene stabilito che per la decarbonizzazione dei settori ESR, sebbene la maggiore competitività delle tecnologie di generazione di energia elettrica da fonti rinnovabili consenta di accelerare senza oneri significativi, si ritiene primario promuovere la riduzione dei consumi finali, tra cui l'aumento dell'efficienza energetica nel settore civile (residenziale e terziario) e la diminuzione della domanda di mobilità privata. Per la decarbonizzazione dei settori industriali coperti dal sistema di scambio quote EU ETS - innanzitutto il termoelettrico e le industrie a forte consumo di energia - il contributo principale deriva dall'incremento di rinnovabili nel mix di generazione elettrica. Oltre alle rinnovabili elettriche si segnalano ulteriori contributi di riduzione delle emissioni derivanti dal phase-out dal carbone, dall'incremento dell'efficienza energetica nei processi di lavorazione, dall'utilizzo di gas rinnovabili alternativi, quali il biometano e l'idrogeno, negli usi finali ed energetici, inclusi i settori industriali hard-to-abate. Per raggiungere l'obiettivo di contenimento delle emissioni, in particolare del settore industriale, sarà necessario anche il ricorso alla cattura, trasporto e stoccaggio/utilizzo della CO2 (CCUS).

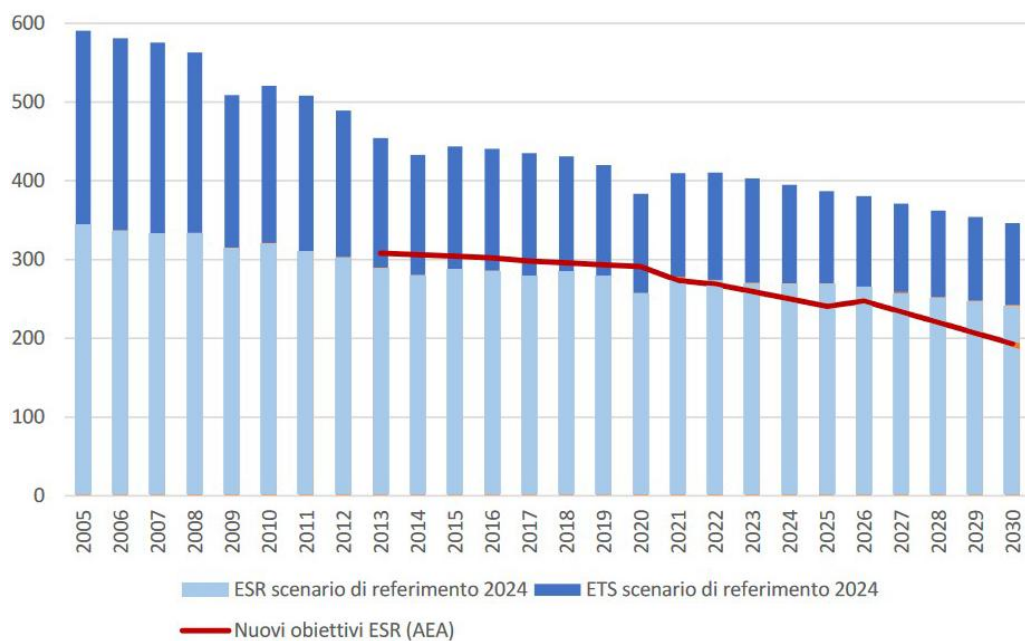























Fig. 55
 Storico e scenario al 2030 delle emissioni in Italia degli ambiti ESR e ETS.
 Fonte: Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica,

2.1.2. Obiettivi e policies per l'efficiamento energetico e la riduzione delle emissioni degli edifici: l'Energy Performance of Buildings Directive IV e il Framework Level(s)

In Europa il 40% del consumo finale di energia e il 36% delle emissioni legate alla richiesta energetica è a carico degli edifici, il 75% del parco edilizio è ancora inefficiente e solo l'1% è destinatario di ristrutturazione energetica importante. Il 39% del fabbisogno di riscaldamento è inoltre ancora soddisfatto dal gas naturale (European Parliament and the Council of the European Union, 2024a). Nell'Aprile 2024, è stata emanata la quarta Direttiva Europea sulla prestazione energetica dell'edilizia, denominata Energy Performance of Buildings Directive (EPDB) IV, che stabilisce una time line di target energetici e una road map di azioni da implementare al fine di raggiungere gli obiettivi stabiliti nel pacchetto Fit for 55% (European Commission, 2021), imponendo per il settore non residenziale la riqualificazione di almeno il 16% degli edifici esistenti più energivori entro il 2030 (calcolato con riferimento al 1 Gennaio 2020), e di almeno il 26% entro il 2033. Si riporta di seguito una tabella esplicativa dei target contenuti nella Direttiva (Fig.56):

Fig. 56
Schema della roadmap di azioni e target previsti nella Energy Performance of Buildings Directive (EPDB) IV.
Fonte: Parlamento Europeo, 2024

| | Goals | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2033 | 2035 | 2040 | 2050 |
|---------------------------|-----------------------------------|---|---|--|---|---|---|--|-----------|------|
| Energy Efficiency | Zero Emissions Buildings | | |  All | |  All  All | | | | |
| | Energy Re-qualification | | | | |  16% has to be renovated  -16% average consumption of the entire building stock compared to 2020 |  26% has to be renovated |  -22% average consumption of the entire building stock compared to 2020 | | |
| Energy Supply | Installation Solar plants |  All  > 250 m ² |  > 5000 m ²  > 500 m ² |  > 750 m ² |  All |  > 250 m ² | | | | |
| | Energy generators by fossil fuels | | | | | | | | 100% stop | |
| CO ₂ Emissions | GWP Calculation | | Draft a roadmap for GWP limit values starting from 2030 |  > 1000 m ²  | |  All  | | | | |

■ Goal related to the new buildings
  Public buildings
  Not-residential buildings
  Residential buildings

Nello schema si evince che per quanto concerne gli edifici non residenziali, le aspettative europee distinguono:

- Per gli edifici di nuova costruzione (in azzurro nel grafico):
 - In ambito di efficientamento energetico:

- L'obiettivo dello 'Zero Emissions Building' entro il 2030
- In ambito di approvvigionamento da Fonti di Energia Rinnovabile:
 - L'obiettivo di installazione di impianti solari su tutti i nuovi edifici di superficie superiore a 250 mq entro il 2026
- In ambito di riduzione delle emissioni climalteranti:
 - L'obiettivo di fissare specifici limiti del Global Warming Potential per i nuovi edifici con superficie superiore a 1000 mq entro il 2028
 - L'obiettivo di fissare specifici limiti del Global Warming Potential per tutti i nuovi edifici entro il 2030
- Per gli edifici esistenti (in arancione nel grafico):
 - In ambito di efficientamento energetico:
 - L'obiettivo della riqualificazione di almeno il 16% degli edifici esistenti più energivori entro il 2030 (con riferimento al 1 Gennaio 2020)
 - L'obiettivo della riqualificazione energetica di almeno il 26% degli edifici esistenti più energivori entro il 2033 (con riferimento al 1 Gennaio 2020)
 - In ambito di approvvigionamento da Fonti di Energia Rinnovabile:
 - L'obiettivo di installazione di impianti solari su tutti gli edifici esistenti di superficie superiore a 500 mq entro il 2027

Per quanto concerne l'approvvigionamento energetico, la Direttiva 2023/2413, conosciuta come RED III, promuove l'utilizzo di energia da fonte rinnovabile, fissando l'obiettivo comunitario di copertura del 49% nel consumo di energia finale per il settore degli edifici entro il 2030 (European Parliament and the Council of the European Union, 2023), portando ad individuare per l'Italia un target settoriale al 2030 tra il 29,6% e il 39,1%, come riportato nel Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2024), che in recepimento di tale richiesta europea e seguendo i criteri di calcolo proposti, fissa l'obiettivo di quota di energia da fonti rinnovabili nei consumi finali lordi per riscaldamento e raffreddamento pari al 36%.

Il tema dell'efficienza energetica e il tema dell'aumento di copertura da F.E.R. sono complementari, ed il PNIEC propone:

- Per quanto concerne l'aumento di penetrazione di fonti rinnovabili, di portare i consumi finali lordi di energia da F.E.R. nel settore termico da 10,5Mtep del 2022 a 19 Mtep al 2030 (Fig.57), corrispondente al 36,7% di penetrazione di F.E.R. (Fig.58), utilizzando come principali driver (Fig.59):
 - la biomassa, favorendo la sostituzione di vecchi apparecchi con nuovi ad elevate prestazioni e fissando requisiti emissivi ed energetici stringenti
 - le pompe di calore (geotermiche, gas), favorendone la diffusione anche per il raffrescamento

- Il biometano, promuovendone l'immissione in rete per favorire la decarbonizzazione degli impieghi di gas naturale
- Per quanto concerne l'efficienza energetica (complessiva, non soltanto relativa agli edifici) di raggiungere 123 Mtep di consumi di energia primaria e 102 Mtep di consumi finali di energia, a fronte dei rispettivi target di 115 Mtep e 94,4 Mtep dello scenario designato dalla Direttiva 2023/1791 sull'Efficientamento Energetico, conosciuta come EED III (Directive (UE) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council, of 13 settembre 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955 (recast) (Text with EEA relevance), 2023) (Fig.60).

Fig. 57
 Andamento dei consumi finali lordi di energia da fonti rinnovabili nel settore termico.
 Fonte: Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2024

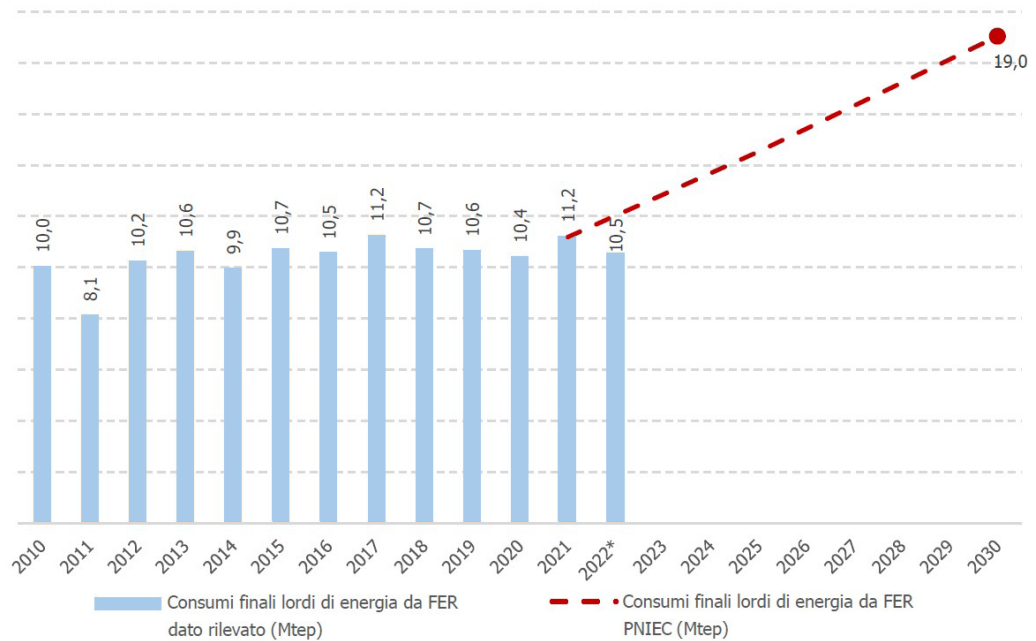
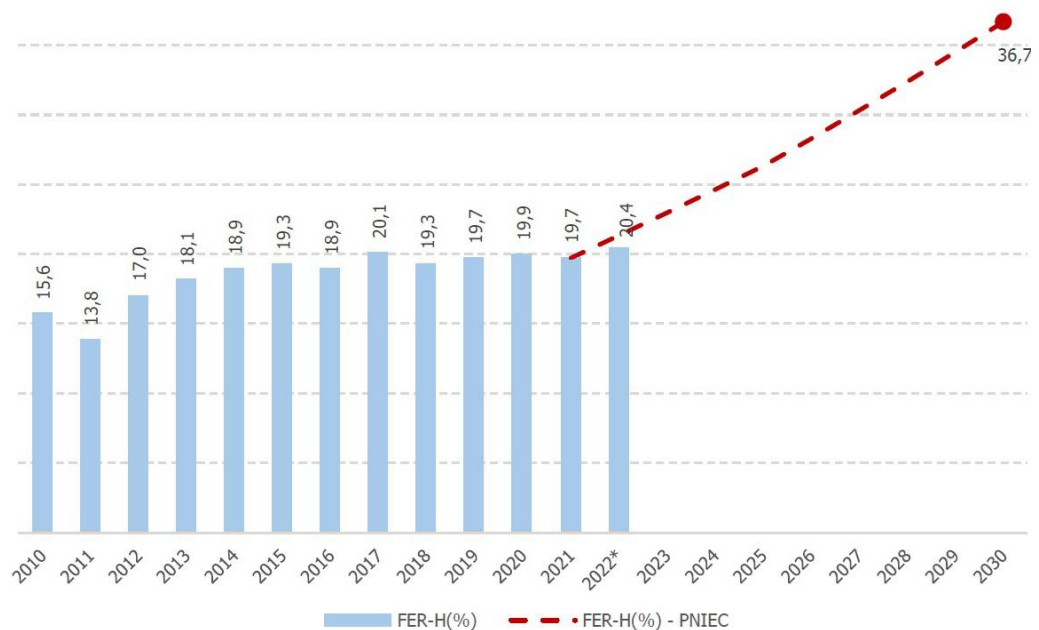


Fig. 58
 Andamento della percentuale di penetrazione di energia da fonti rinnovabili
 Fonte: Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2024



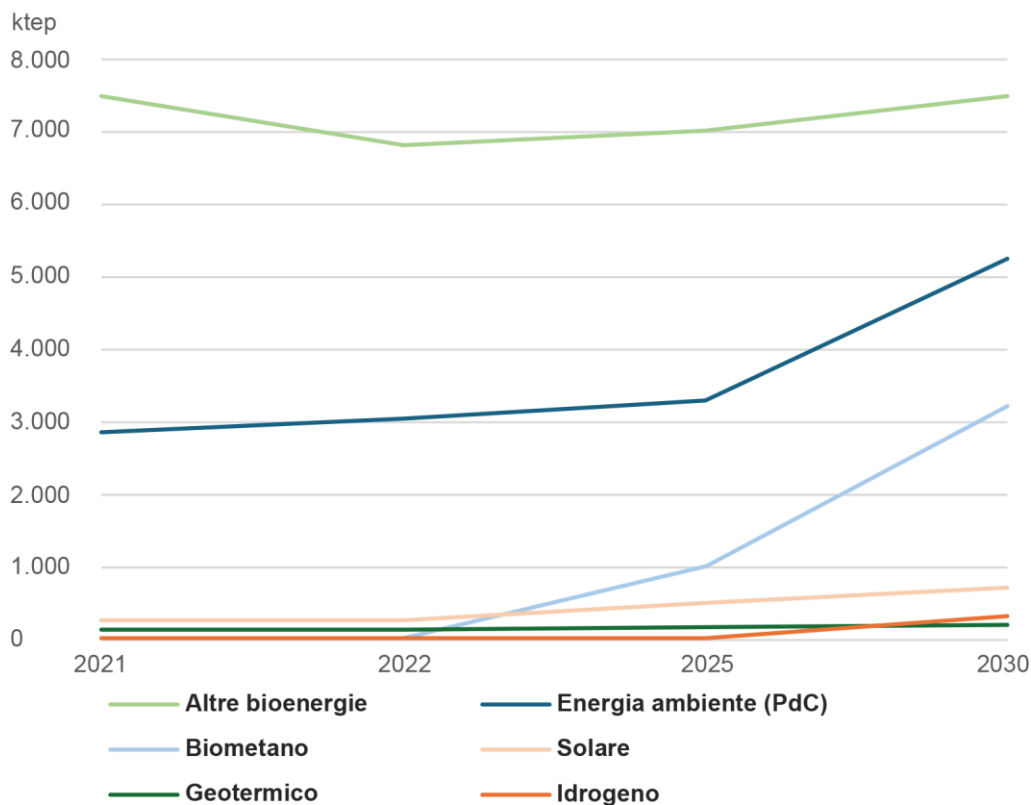


Fig. 59
Andamento dell'utilizzo delle diverse fonti di energia rinnovabile nel settore termico.
Fonte: Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2024

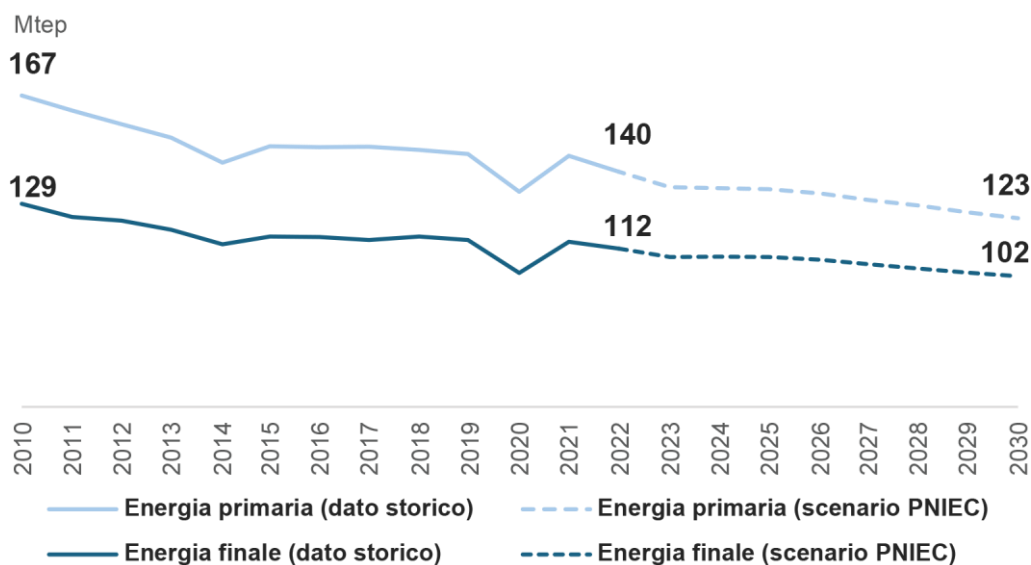


Fig. 60
Traiettoria dei consumi di energia primaria e finale (Mtep) nel periodo 2010-2030.
Fonte: Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2024

La Direttiva EU 2024/1275 esplicita la necessità di valutare le prestazioni di sostenibilità degli edifici attraverso il framework europeo Level(s) di cui si è fatto cenno in precedenza, il quale funge pertanto anche da guida per assicurare di prendere in considerazione gli aspetti di decarbonizzazione nell'attività edilizia, dalla progettazione, alla realizzazione, all'utilizzo dell'edificio (Joint Research Centre, 2021b). Lo schema definisce, infatti, indicatori e parametri comuni per misurare le prestazioni ambientali lungo il ciclo di vita dell'edificio e si rivolge a:

- Progettisti: architetti, ingegneri, geometri, consulenti
- Clienti e investitori: promotori immobiliari, proprietari, gestori
- Responsabili politici: committenti pubblici a livello locale, regionale e nazionale

Lo scopo del quadro è sia quello di fornire una traccia comune in area europea per:

- la valutazione della sostenibilità degli edifici
- la comunicazione delle prestazioni

richiedendo quantificazioni scientifiche basate su standard di misurazione e pertanto la raccolta, la gestione e il trattamento di un'ampia gamma di dati pertinenti.

Lo schema Level(s) è un importante strumento che consente di valutare criticamente:

- i punti critici ai fini dell'impatto ambientale lungo il ciclo di vita
- scenari delle prestazioni future legate alle decisioni nella fase di progettazione
- ottimizzare le prestazioni di un edificio in fase di progetto ma anche in fase di utilizzo
- costi a breve, medio e lungo termine di un edificio

Il framework è disponibile per essere declinato nei tre livelli che strutturano il processo edilizio, per i quali viene quindi progressivamente richiesto un aumento dell'accuratezza e dell'affidabilità dei dati e della comunicazione:

- Livello della fase di progettazione concettuale
Obiettivo: Elaborare valutazioni qualitative iniziali per definire i concetti progettuali; è il livello più semplice e serve per comunicare idee e approcci destinati ad essere applicati
- Livello della fase di progettazione dettagliata e costruzione
Obiettivo: Valutare quantitativamente le prestazioni progettate e monitorare la costruzione; si tratta del Livello intermedio ed utilizza unità e metodi standardizzati per misurare e verificare
- Livello della fase "as built" dell'edificio realizzato e del suo utilizzo
Obiettivo: Monitorare le prestazioni effettive dell'edificio dopo la costruzione e durante l'uso, si tratta del livello più avanzato, che garantisce dati accurati e affidabili sul funzionamento reale dell'edificio

Level(s) non è un sistema di rating che assegna un punteggio comparando l'edificio analizzato ad un edificio modello, ma è stato pensato per garantire una comparabilità minima tra edifici con funzioni equivalenti, specificando per ogni indicatore aspetti mandatori da considerare e specifiche da rispettare per assicurare risultati quantitativi significativi e confrontabili. Per promuovere l'adozione di Level(s) in tutta l'UE, si applica un "principio di equivalenza", che consente l'uso di strumenti e metodi nazionali o anche privati, purché esplicitamente accettati nelle istruzioni del framework.

Nello specifico, Level(s) comprende 16 indicatori, divisi in 6 Macro-obiettivi e sono di seguito riportati (Tab.29). La maggior parte è quantificabile attraverso appropriate unità di misura, altri indicatori rientrano in tipologie diverse, quali:

- indicatori compositi, che per la loro complessità, non sono facilmente riconducibili a una singola unità di misura ma sono costituiti da diverse unità interconnesse, da analizzare nel loro insieme per valutare correttamente le prestazioni di un edificio. È il caso degli indicatori 1.2, 2.2, 4.1
- valutazioni qualitative, per indicatori per cui non esiste un'unità di misura standardizzata. È il caso degli indicatori 4.3, 4.4, 5.2, 5.3, 6.2
- Comunicazioni informative, introdotte per incentivare gli utenti a raccogliere e utilizzare dati specifici a supporto dell'approccio basato sul ciclo di vita complessivo. È il caso dell'indicatore 2.1

| Macro-obiettivo | Indicatore | Unità di misura |
|---|--|---|
| 1. Emissioni di gas serra e di inquinanti atmosferici lungo il ciclo di vita di un edificio | 1.1 Prestazioni energetiche nella fase di utilizzo | chilowattora per metro quadrato all'anno (kWh/m ² /anno) |
| | 1.2 Potenziale di riscaldamento globale del ciclo di vita | kg CO ₂ equivalenti per metro quadrato all'anno (kg CO ₂ eq./m ² /anno) |
| 2. Cicli di vita dei materiali circolari ed efficienti nell'uso delle risorse | 2.1 Computo estimativo, distinta dei materiali e vita utile | Quantitativi unitari, massa e anni |
| | 2.2 Rifiuti e materiali da costruzione e demolizione | kg di rifiuti e di materiali per m ² di superficie utile totale |
| | 2.3 Progettazione a fini di adattabilità e di ristrutturazione | Punteggio relativo all'adattabilità |
| | 2.4 Progettazione a fini di smantellamento, riutilizzo e riciclaggio | Punteggio relativo allo smantellamento |
| 3. Utilizzo efficiente delle risorse idriche | 3.1 Consumo idrico nella fase di utilizzo | m ³ di acqua per occupante |
| 4. Spazi salubri e confortevoli | 4.1 Qualità dell'aria interna | Parametri relativi a ventilazione, CO ₂ e umidità Elenco degli inquinanti considerati: TCOV, formaldeide, COV CMR, coefficiente LCI, muffa, benzene, particolato, radon |
| | 4.2 Tempo al di fuori dell'intervallo di comfort termico | % di tempo al di fuori dell'intervallo durante le stagioni di riscaldamento e di raffrescamento |
| | 4.3 Illuminazione e comfort visivo | Lista di controllo di livello 1 |
| | 4.4 Acustica e protezione contro il rumore | Lista di controllo di livello 1 |
| 5. Adattamento e resilienza ai cambiamenti climatici | 5.1 Protezione della salute e del comfort termico dell'occupante | % prevista di tempo al di fuori dell'intervallo per gli anni 2030 e 2050 (cfr. anche l'indicatore 4.2) |
| | 5.2 Maggior rischio di eventi atmosferici estremi | Lista di controllo di livello 1 (in fase di sviluppo) |

Tab. 29
Macro-obiettivi e Indicatori del Framework Level(s).
Fonte: Joint Research Centre, 2021

| | | |
|--|---|---|
| | 5.3 Maggior rischio di eventi di piena | Lista di controllo di livello 1 (in fase di sviluppo) |
| 6. Ottimizzazione del valore e del costo del ciclo di vita | 6.1 Costi del ciclo di vita | € per metro quadrato all'anno (€/m2/anno) |
| | 6.2 Creazione di valore ed esposizione al rischio | Lista di controllo di livello 1 |

Level(s) adotta un approccio alla sostenibilità degli edifici basato sul ciclo di vita completo. Per supportare questo approccio, gli indicatori principali dei macro-obiettivi 1, 2 e 3 sono integrati da una valutazione globale del ciclo di vita (LCA) dell'edificio, che permette, quantificando gli impatti ambientali, di identificare i "punti critici" su cui intervenire per migliorare le prestazioni (Fig.61).

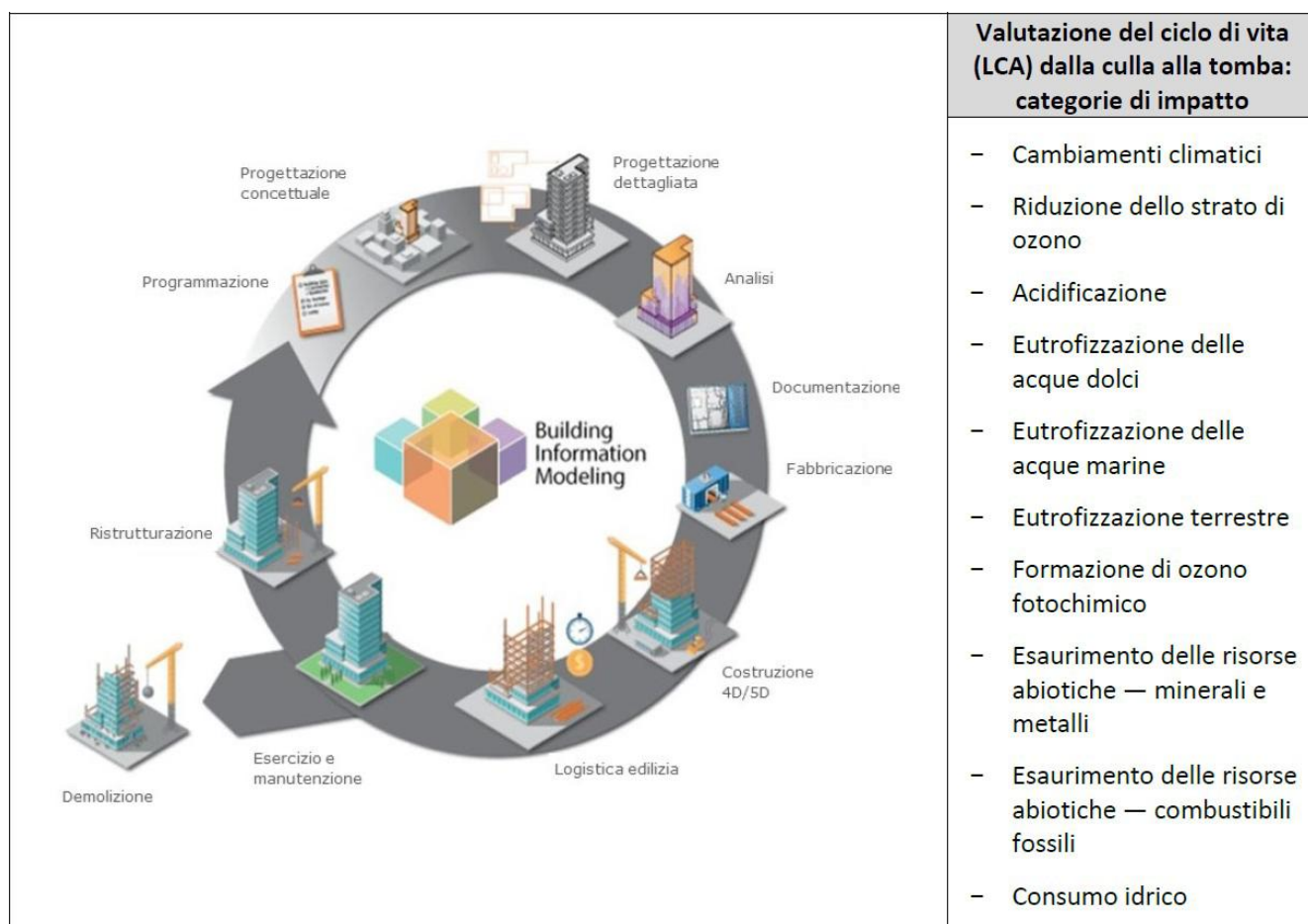


Fig. 61
Approccio Life Cycle Assessment del Framework Level(s).
 Fonte: Joint Research Centre, 2021

L'impostazione metodologica del Life Cycle Assessment è individuabile nel processo che comprende:

- la raccolta di informazioni sul computo estimativo, sulla distinta dei materiali e sulla vita utile
- la possibilità di sviluppare scenari a fini di adattabilità e di smantellamento
- la valutazione del rischio di possibili cambiamenti climatici futuri per gli edifici

In questo approccio olistico, che considera sia la fase di costruzione sia quella d'uso, ottimizzando materiali, progettazione e intensità di utilizzo per minimizzare gli impatti ambientali complessivi, è evidente la logica sottesa di circolarità, che mira a garantire, fin dalla progettazione, l'efficienza a lungo termine delle risorse.

L'EPBD IV infatti, promuovendo il concetto di "edifici a energia quasi zero" (Nearly Zero-Energy Building, NZEB) a elevata efficienza energetica, ha acceso l'attenzione anche sugli impatti associati ai processi e ai materiali da costruzione, in aggiunta a quelli già noti connessi alla fase di utilizzo degli edifici, per la riduzione dei quali la legislazione è già operativa e che ovviamente restano fondamentali.

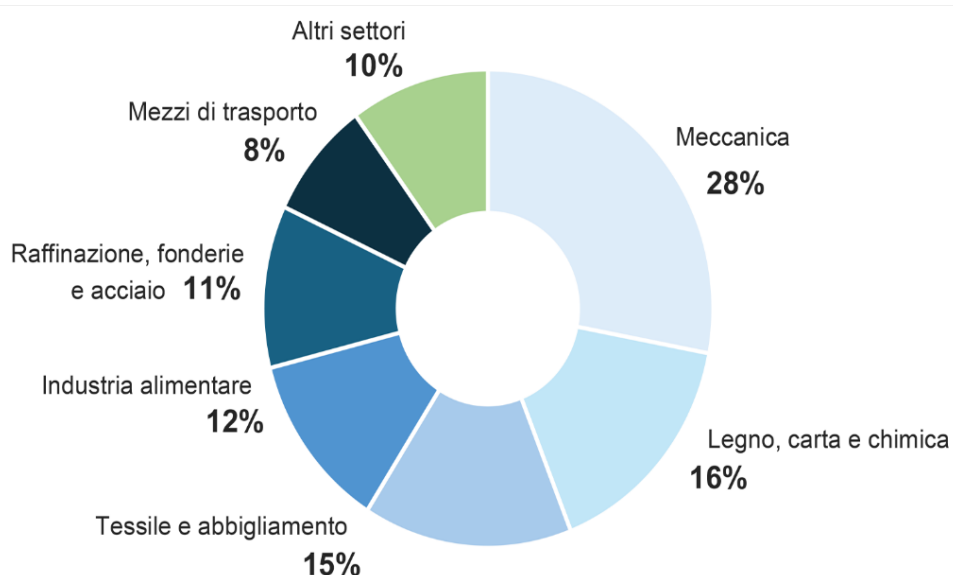
2.1.3. Lo stato dell'arte delle soluzioni energetiche integrate che consentono alle singole imprese di massimizzare il bilanciamento tra gli obiettivi di decarbonizzazione e quelli di competitività

The European House – Ambrosetti (TEHA) ha condotto, nel mese di Gennaio 2023, una survey a 425 Aziende del settore manifatturiero, al fine di:

- testare il livello di consapevolezza in relazione alle sfide della decarbonizzazione e delle soluzioni energetiche integrate che consentono di massimizzare il bilanciamento tra gli obiettivi di riduzione delle emissioni e quelli di competitività
- capire quali sono le strategie maggiormente implementate
- realizzare scenari al 2030 e avanzare suggerimenti per raggiungere gli obiettivi delle policies

La distribuzione delle aziende per i vari settori di appartenenza è illustrata di seguito (Fig.62):

Fig. 62
Settori di appartenenza delle imprese manifatturiere italiane rispondenti alla survey.
Fonte: The European House – Ambrosetti (TEHA), 2023



Da quanto è emerso, gli orientamenti maggiori delle imprese nel settore industriale manifatturiero riguardano le strategie di efficienza energetica, dell'autoproduzione energetica (soprattutto in relazione alla tecnologia del fotovoltaico), delle misure di economia circolare e delle soluzioni digitali. Di seguito si illustrano i risultati per quanto riguarda la consapevolezza delle varie strategie di decarbonizzazione (Fig.63), e i risultati in termini di effettiva implementazione negli ultimi 3 anni degli stessi interventi relativi alle varie strategie possibili individuate (Fig.64):

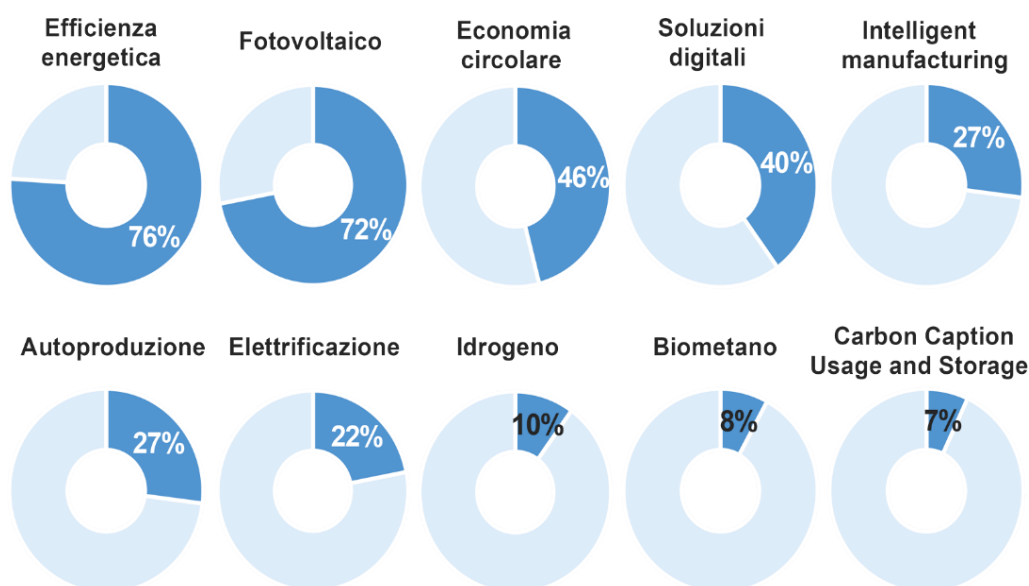


Fig. 64
Livello di consapevolezza circa le strategie di decarbonizzazione e le soluzioni energetiche necessarie ad abilitarle.

Fonte: The European House – Ambrosetti (TEHA), 2023

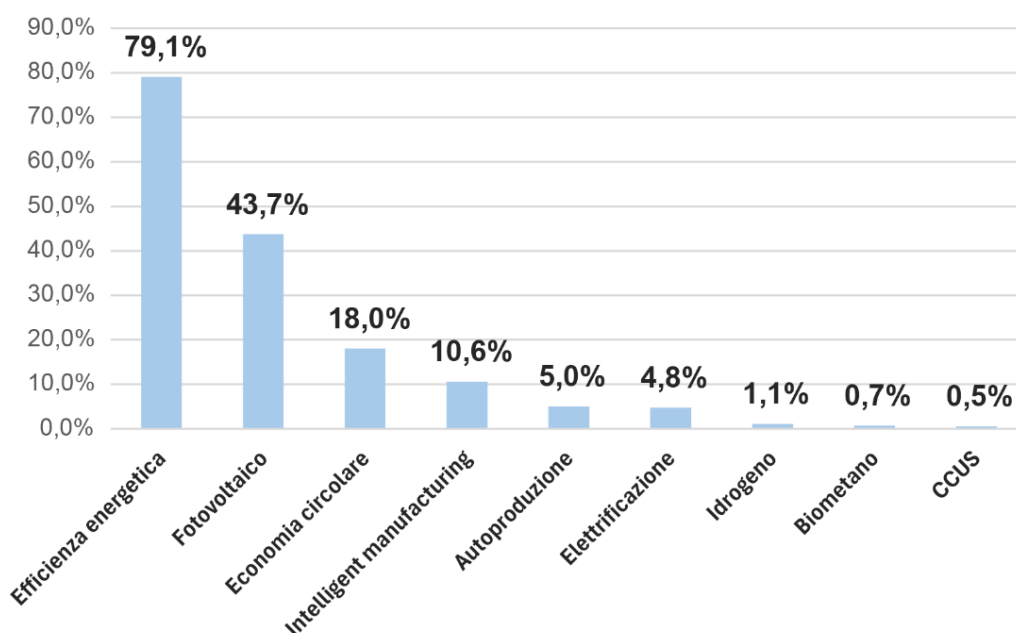


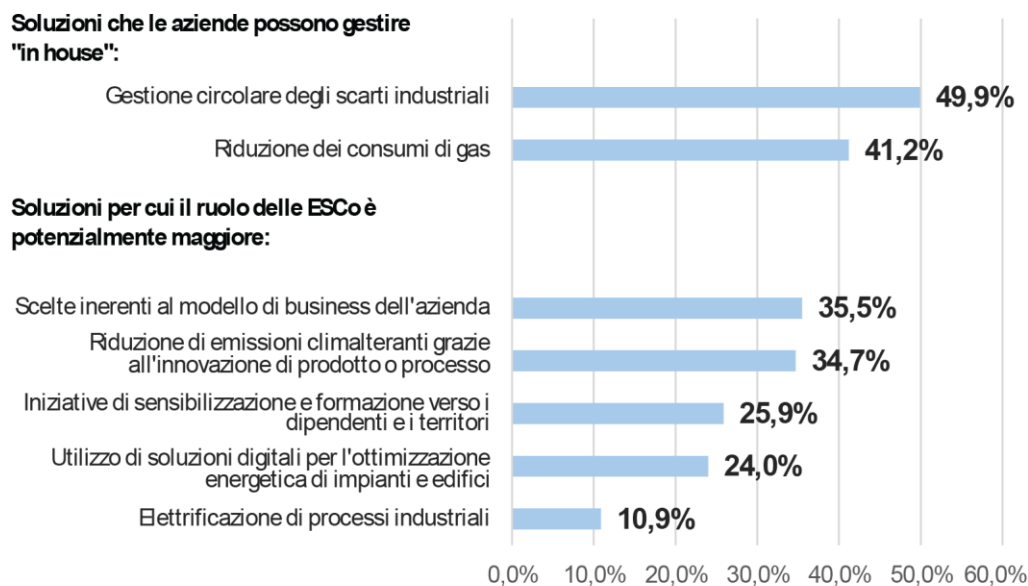
Fig. 63
Interventi di miglioramento energetico ha effettuati delle aziende negli ultimi 3 anni.

Fonte: The European House – Ambrosetti (TEHA), 2023

Interpretando i risultati sulle risposte inerenti agli strumenti su cui le aziende si stanno orientando per il miglioramento delle performances energetiche e per gli obiettivi di decarbonizzazione, emerge una certa propensione per la scelta di implementare soluzioni che le stesse organizzazioni possono gestire in house rispetto alle soluzioni per cui è più opportuno coinvolgere Operatori energetici integrati quali le Energy Service Companies (ESCO) (Fig.65).

Il sondaggio di Ambrosetti fornisce tra i risultati alcuni scenari di fattibilità per raggiungere i target di decarbonizzazione attesi dalle policies al 2030, prendendo come

Fig. 65
Strumenti attraverso le
Aziende possono
contribuire alla
transizione energetica.
Fonte: The European
House – Ambrosetti
(TEHA), 2023



punto di partenza le emissioni climalteranti del 2020. Estendendo i risultati della survey del campione indagato all'intero comprensorio industriale nazionale, ha tracciato tre scenari⁴:

- Scenario di fattibilità *'Business as usual'*, realizzato estendendo i risultati che prescindono dal coinvolgimento di un Operatore energetico integrato (ESCo) per l'implementazione delle strategie di decarbonizzazione e dalla presenza di un piano di investimento significativo aziendale per la decarbonizzazione (Fig.66).
Come si evince dal grafico, i vari contributi della rotta verso la decarbonizzazione a carico delle varie strategie integrate non si dimostrano abbastanza per raggiungere il target emissivo fissato.
- Scenario di fattibilità *'Moderato'*, realizzato estendendo i risultati delle risposte ottenute da solo ed esclusivamente quelle imprese che hanno coinvolto un Operatore energetico integrato (ESCo), pur senza avere un piano di investimento significativo per la decarbonizzazione (Fig.67).
Come si evince dal grafico, anche in questo caso i contributi delle varie strategie integrate non bastano a raggiungere il target emissivo atteso.
- Scenario di fattibilità *'Accelerato'*, realizzato considerando solo ed esclusivamente le risposte ottenute da quelle imprese che hanno coinvolto un Operatore energetico integrato (ESCo) e presentano un piano di investimento significativo per la decarbonizzazione (Fig.68). Come si evince dal grafico, solo in questo scenario si riscontra una incidenza significativa

⁴ Si precisa che gli scenari di fattibilità riguardano la combinazione dei risultati della survey somministrata alle 425 Aziende del settore manifatturiero e di un campione di 402 Aziende del settore terziario, la cui survey è stata qui omessa per fare focus sul settore industriale. Gli scenari di fattibilità al 2030 illustrano quindi l'incidenza delle varie strategie di decarbonizzazione a confronto con gli obiettivi delle policies cumulativi dei due settori: 61 Mton di CO_{2eq} per il settore manifatturiero e 13 Mton di CO_{2eq} per il settore terziario, che complessivamente ammontano a 74 Mton CO_{2eq}.

delle strategie integrate per raggiungere il target emissivo stabilito dalle policies per il 2030.

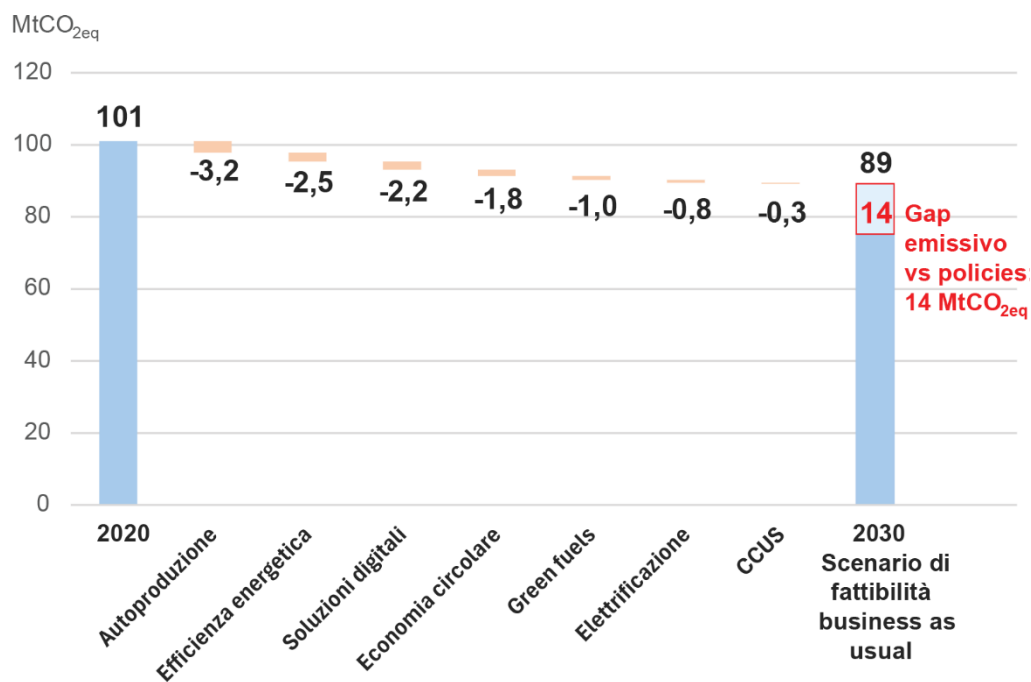


Fig. 66
 Il contributo delle diverse soluzioni per la decarbonizzazione dell'industria manifatturiera e del settore terziario nello scenario di fattibilità business as usual.
 Fonte: The European House – Ambrosetti (TEHA), 2023

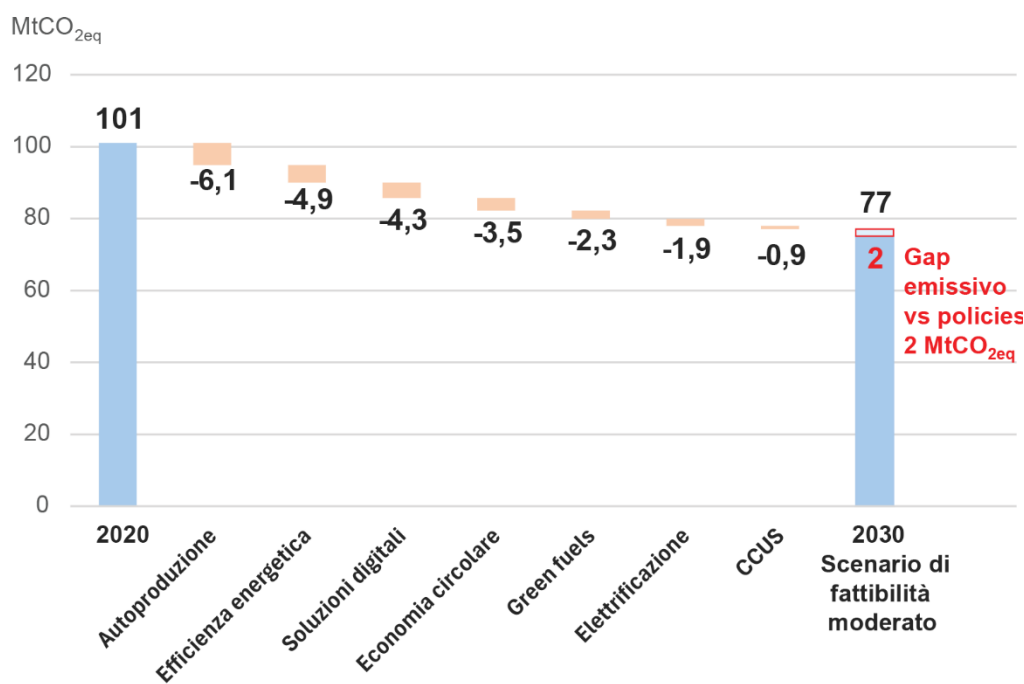
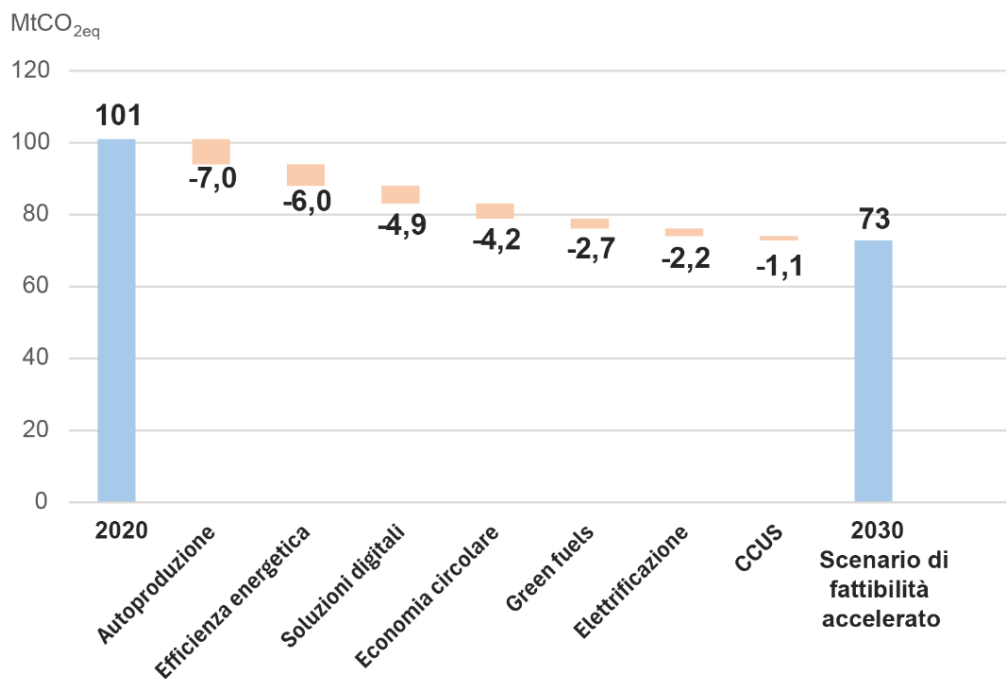


Fig. 67
 Il contributo delle diverse soluzioni per la decarbonizzazione dell'industria manifatturiera e del settore terziario nello scenario di fattibilità moderato.
 Fonte: The European House – Ambrosetti (TEHA), 2023

Fig. 68
 Il contributo delle diverse soluzioni per la decarbonizzazione dell'industria manifatturiera e del settore terziario nello scenario di fattibilità accelerato
 Fonte: The European House – Ambrosetti (TEHA), 2023



Tra i suggerimenti che vengono avanzati in conclusione per accelerare la transizione energetica al fine di trarre gli obiettivi sfidanti di decarbonizzazione imposti dalle istituzioni, si riportano:

- La necessità di rafforzare la collaborazione tra mondo accademico, industrie, aziende e operatori energetici, al fine di condividere competenze per sviluppare soluzioni innovative e tecnologiche, attraverso l'apertura di hub di ricerca accademici aperti alle imprese, ancora non abbastanza diffusi in Italia
- La realizzazione di comunità territoriali e poli industriali per la decarbonizzazione, che permette di sviluppare strategie condivise e raggiungere economie di scala, superando ostacoli economici attraverso la ripartizione equa degli investimenti. Un esempio concreto sono le Comunità Energetiche Rinnovabili (CER): associazioni di utenti che collaborano per produrre, consumare e gestire energia da fonti rinnovabili tramite impianti locali. Le CER si basano su un modello partecipativo, aperto e volontario, che promuove l'uso sostenibile dell'energia e la condivisione delle risorse, favorendo la transizione energetica in modo inclusivo e collettivo

Volendo fare un focus sul settore agroalimentare, si riportano ricerche specifiche condotte dall'Ente di Ricerca sul Sistema Energetico RSE, che ha prodotto dei Report incentrati sul tema della decarbonizzazione di tale ambito industriale. Si riportano alcuni estratti dei diversi Report analizzati.

Nel Report “Le opportunità della decarbonizzazione nel settore manifatturiero e agroalimentare” del 2023 (Bazzocchi et al., 2023) si riportano i risultati di una survey sottoposta ad alcune aziende del settore alimentare, per la maggior parte relative a Piccole Imprese da 1-5 addetti, e principalmente afferenti al settore della coltivazione e della macinazione del grano duro e della produzione di pasta (Fig.69):

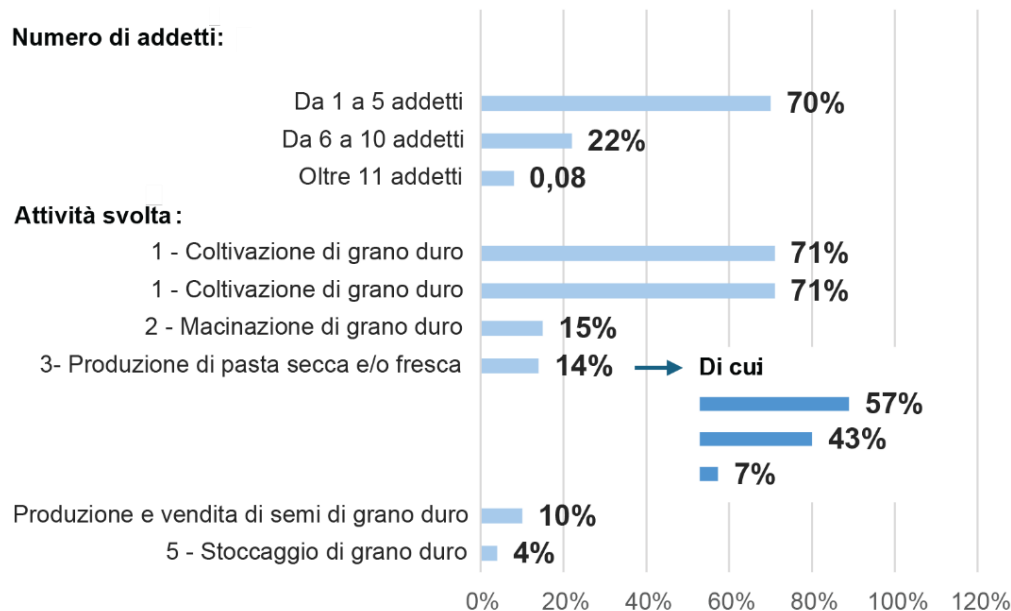


Fig. 69
Numero di addetti e attività svolta delle imprese agroalimentari rispondenti alla survey. Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2023

Tra i risultati emersi in merito alle strategie di decarbonizzazione attuate dalle Aziende intervistate, si evidenziano quelli che afferiscono in particolare al settore della produzione della pasta, elencando, in ordine di importanza (Fig.70):

- Interventi di efficientamento energetico per la riduzione dei consumi (62%), con attenzione particolare all’efficientamento dei processi
- Interventi per l’utilizzo di fonti rinnovabili e l’autoconsumo energetico (39%)
- Altri interventi di economia circolare riguardanti la riduzione della produzione di rifiuti (15%) e la razionalizzazione del consumo di acqua (15%)
- Interventi di innovazione e digitalizzazione (8%)

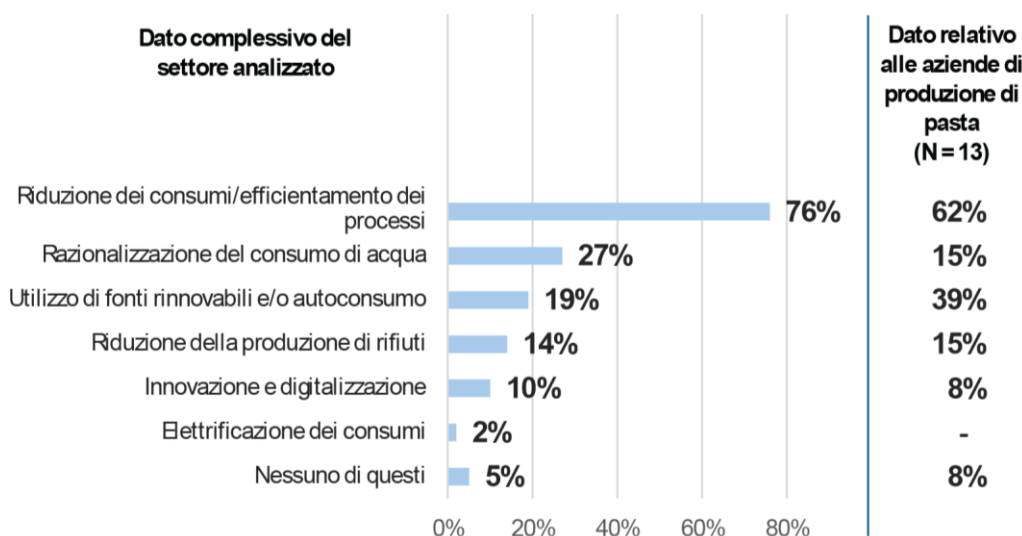
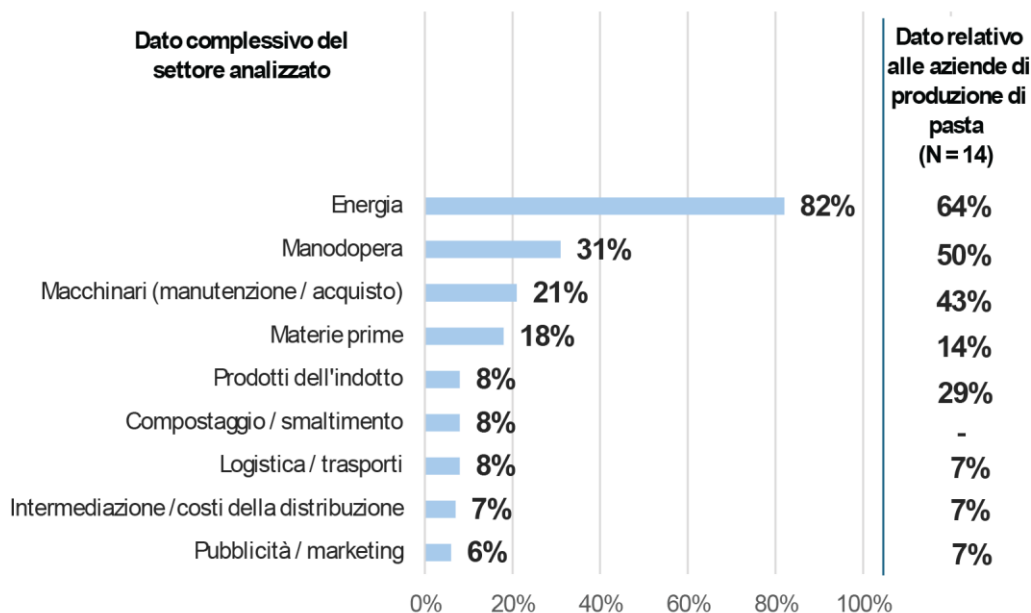


Fig. 70
Le azioni intraprese o potenzialmente implementabili dalle Aziende per la transizione energetica. Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2023

I consumi energetici risultano anche i costi che maggiormente incidono sul prezzo del prodotto finito (Fig.71):

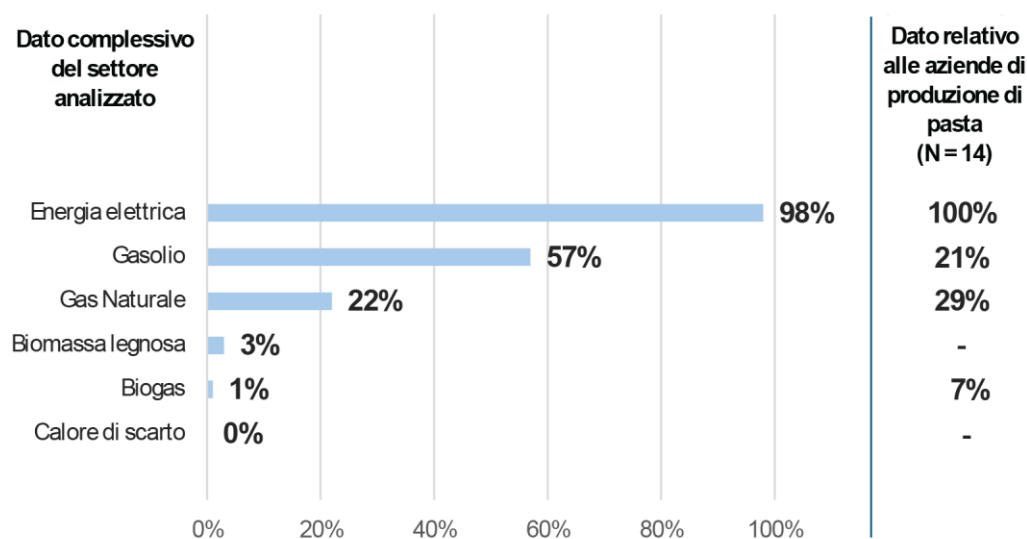
Fig. 71
I costi sostenuti dalla filiera che impattano di più sul prezzo del prodotto finito.
Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2023



Si riporta un focus sulle principali strategie di decarbonizzazione:

- Sistemi di approvvigionamento energetico:
Nel medesimo Report “Le opportunità della decarbonizzazione nel settore manifatturiero e agroalimentare” del 2023 (Bazzocchi et al., 2023) emergono le maggiori fonti energetiche utilizzate dalle Aziende. Per il settore della produzione della pasta emerge per l’ambito termico il gas naturale a discapito di una minore diffusione del biogas (Fig.72).
In ambito di approvvigionamento da fonti di energia rinnovabile emerge per il settore della pasta l’utilizzo delle sole tecnologie del solare fotovoltaico e del biogas (Fig.73):

Fig. 72
Le principali fonti energetiche utilizzate dalle imprese del campione in analisi.
Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2023



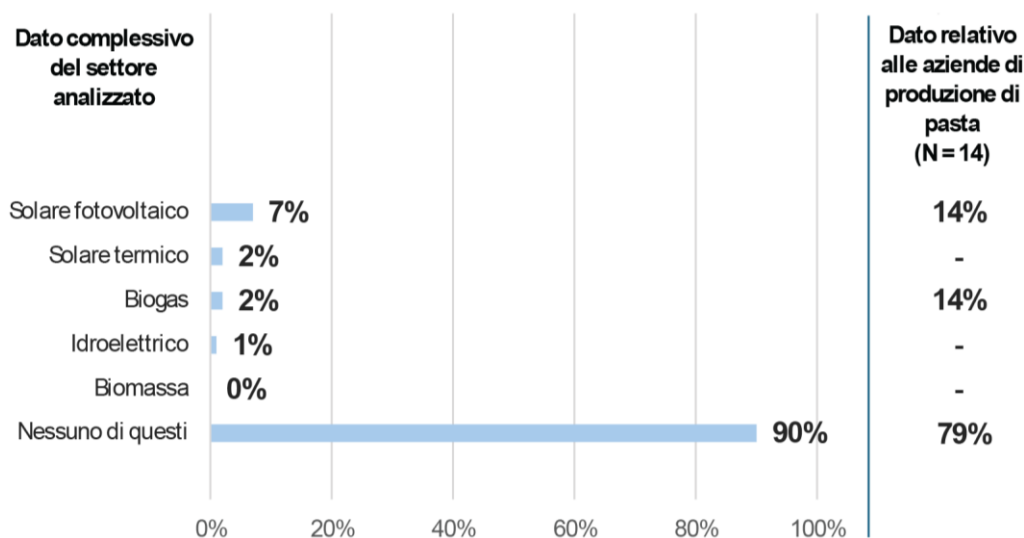


Fig. 73
 Fonti di energia rinnovabile utilizzate dalle Aziende.
 Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2023

- **Interventi di efficientamento energetico:**

Per quanto riguarda gli interventi di efficientamento energetico si sono confrontati due Report del RSE.

Il già citato Report “Le opportunità della decarbonizzazione nel settore manifatturiero e agroalimentare” del 2023 (Bazzocchi et al., 2023) evidenzia che per il settore della produzione della pasta le voci più energivore in Azienda riguardano i processi produttivi: le fasi di essiccamento (40%), trafila (30%), macinazione (10%) e miscelatura (10%) insieme pesano il 90% contro il 10% dei servizi generali (Fig.74).

Gli interventi di innovazione tecnologica per il settore della produzione della pasta mirano infatti per la maggior parte nell’efficientamento dei macchinari, seguita da investimenti in software e tecnologie informatiche di cui si parlerà successivamente (Fig.75).

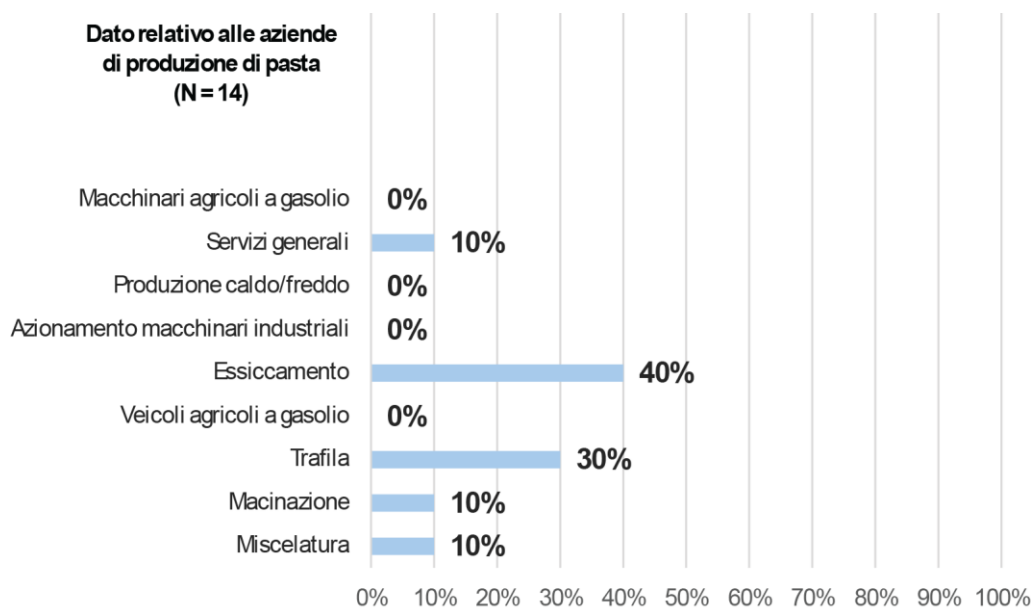


Fig. 74
 Voce maggiormente energivora nelle Aziende agroalimentari intervistate.
 Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2023

Fig. 75
 Gli investimenti in innovazione tecnologica o efficientamento dei processi produttivi negli ultimi 5 anni.
 Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2023

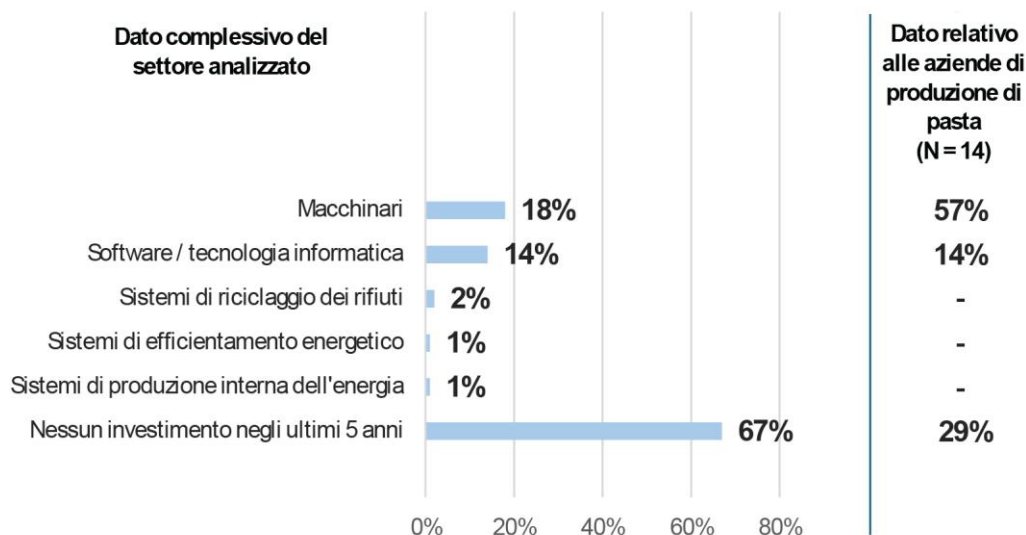
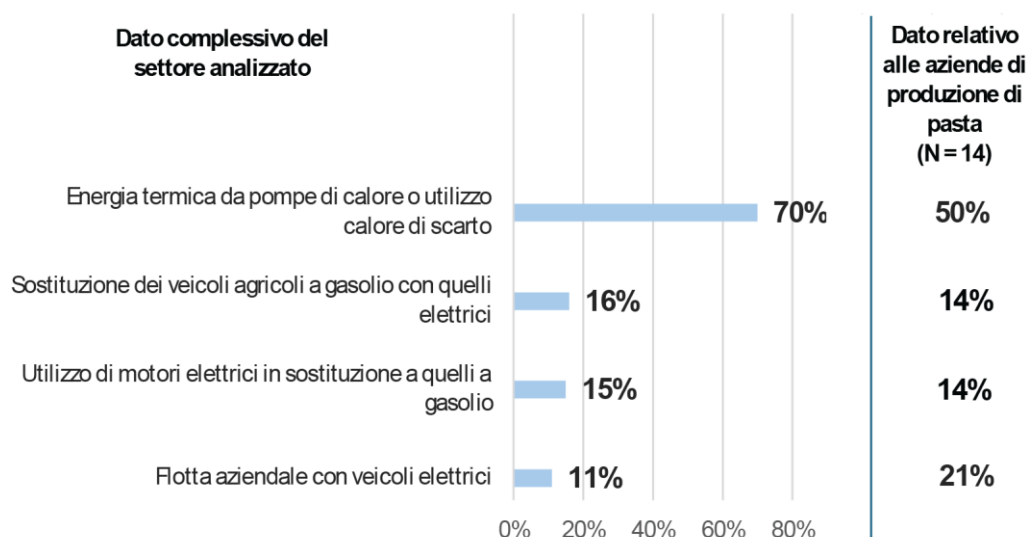


Fig. 76
 Le potenzialità di elettrificazione delle Aziende intervistate.
 Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2023

Al fine della riduzione dei consumi energetici emerge anche l'interesse verso l'elettrificazione dell'energia termica e l'utilizzo di calore di scarto (Fig.76):

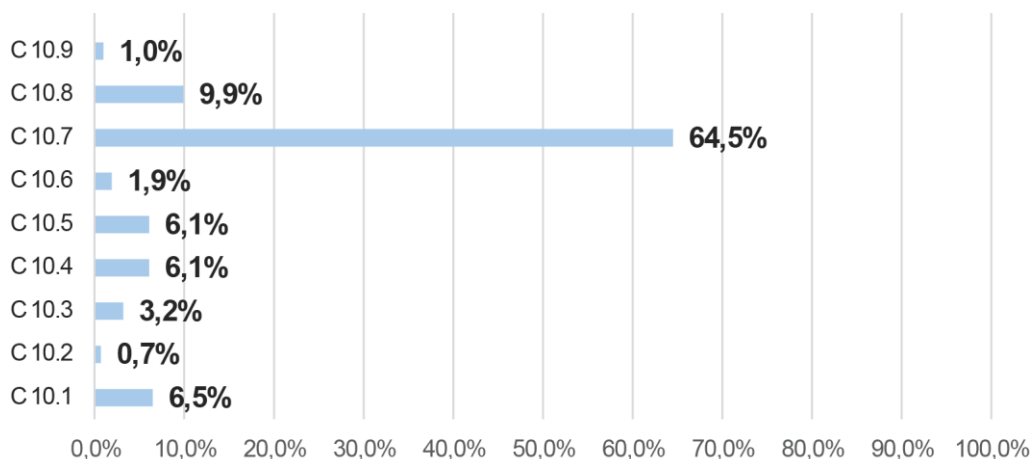


Si è inoltre analizzato il Report dell'RSE "L'efficienza energetica nell'industria: potenzialità di risparmio energetico e impatto sulle performance e sulla competitività delle imprese" del 2018 (Bazzocchi et al., 2018), poiché viene data contezza dei risparmi energetici medi ottenuti annualmente da un campione di 58 stabilimenti di 50 diverse Aziende del settore agroalimentare, di cui alcune appartenenti a gruppi societari anche internazionali. In particolare, il maggior numero di Aziende rientra nell'ambito del Codice ATECO C 10.7 dei prodotti da forno e farinacei, poiché rappresentativo della distribuzione nazionale dei settori dell'agroalimentare: in Italia appartengono a tale settore il 64,5% delle imprese alimentari. Delle 16 Aziende analizzate per il detto Codice, 8 stabilimenti sono caratterizzati da produzioni annuali

dell'ordine dei 100.000-430.000 t/anno, 4 da produzione annua compresa tra i 5000÷20.000 t/anno, e 4 di carattere locale (Fig.77):

| Carini e prodotti a base di carne | Pesce, crostacei e molluschi | Frutta e ortaggi | Oli e grassi vegetali e animali | Industria lattiero-casearia | Granaglie e prodotti amidacei | Prodotti da forno e farinacei | Altri prodotti alimentari | Alimenti per animali |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------|
| C 10.1 | C 10.2 | C 10.3 | C 10.4 | C 10.5 | C 10.6 | C 10.7 | C 10.8 | C 10.9 |
| 9 | 1 | 8 | 7 | 6 | 3 | 16 | 6 | 2 |

Fig. 77
Numero di stabilimenti agroalimentari italiani per codice Ateco 2007 rispondenti alla survey.
 Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2018

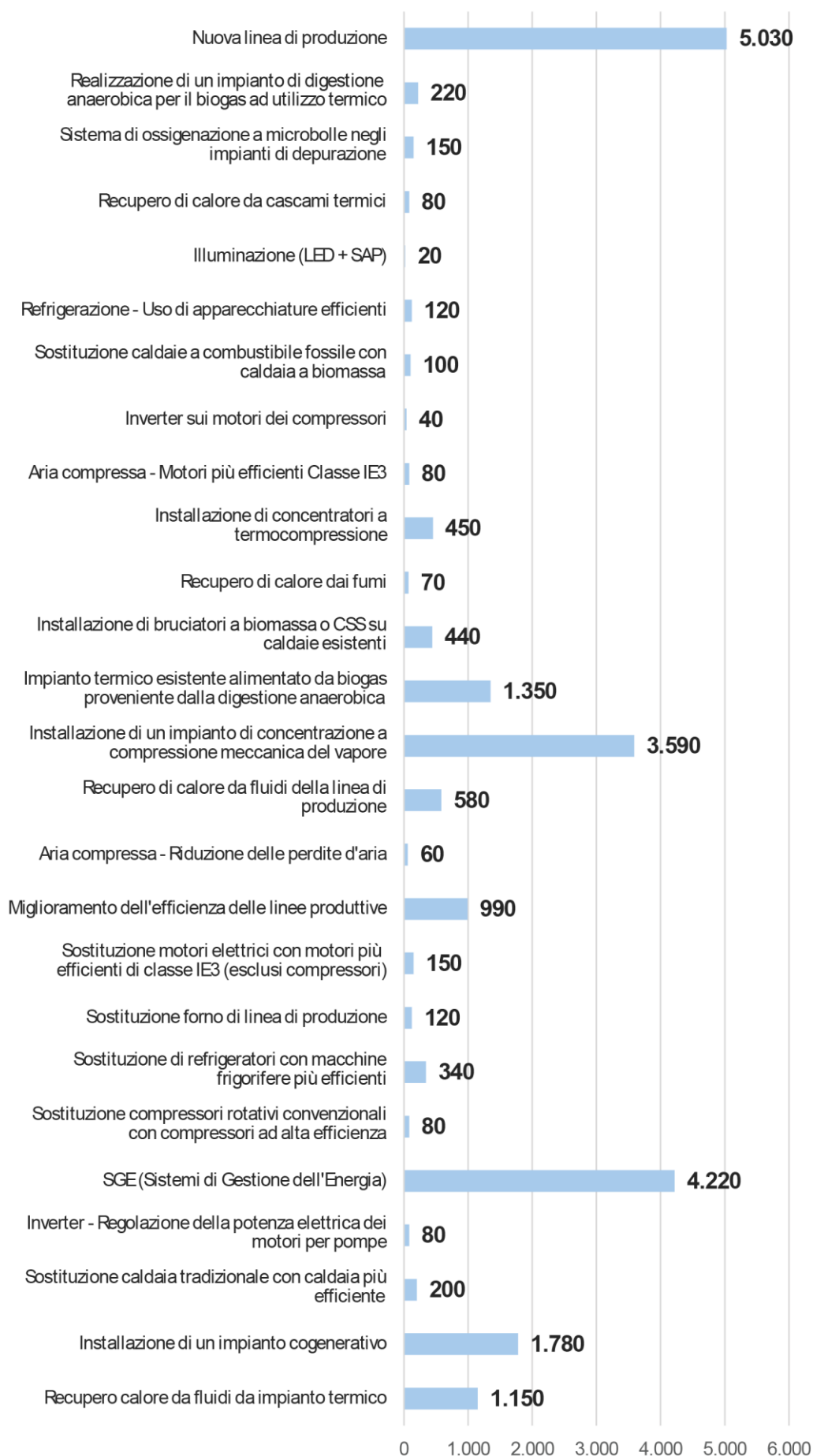


Da questo studio si evince la distribuzione della frequenza degli interventi realizzati che riguardano:

- Per oltre la metà la Centrale termica (52,5%), in particolare:
 - il 26,3% riguarda gli interventi di recupero di calore, essendo relativamente semplice da un punto di vista tecnologico ed economicamente remunerativo
 - il 17,5% cogenerazione, tecnologia matura ma piuttosto costosa
 - il 5,8% la sostituzione delle caldaie tradizionali con caldaie più efficienti
 - il 2,2% l'alimentazione dell'impianto termico esistente con biogas da digestione anaerobia
 - lo 0,7% la sostituzione di caldaie a combustibile fossile con caldaie a biomassa
- poco più del 30% si concentrano sui processi specifici di lavorazione dei prodotti alimentari

La frequenza delle realizzazioni rilevate non corrisponde ad un maggiore risparmio specifico, calcolato confrontando i ktep totali con la numerosità degli interventi. Lo studio riporta anche i dati dei risparmi specifici di ciascun intervento (Fig.78):

Fig. 78
 Valori medi dei tep risparmiati per ogni singolo intervento realizzato per i casi studio analizzati.
 Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2018



Infine, lo studio individua i cluster dei maggiori interventi per ogni codice ATECO alimentare analizzato, distinguendo (Tab.30):

- cluster elettrico, riferito agli interventi che riguardano i consumi elettrici
- cluster termico, riferito agli interventi che riguardano i consumi termici
- cluster di processo, riferito agli interventi che riguardano i consumi dei processi produttivi (elettrici e termici)

| Sottosettore | Classificazione ATECO | Cluster | Interventi presenti nel cluster |
|---|-----------------------|-----------|--|
| Lavorazione e conservazione di carne e produzione di prodotti a base di carne | C. 10.1 | Elettrico | - Inverter - Sistemi di Gestione dell'Energia |
| | | Processo | - Ossigenazione a microbolle - Digestione anaerobica |
| | | Termico | - Recupero di calore da fluidi |
| Lavorazione e conservazione di frutta e ortaggi | C. 10.3 | Termico | - Recupero di calore da fluidi |
| Produzione di oli e grassi vegetali e animali | C. 10.4 | Processo | - Sostituzione forno di linea di produzione |
| | | Termico | - Recupero di calore da fluidi |
| Industria lattiero casearia | C. 10.5 | Processo | - Sostituzione forno di linea di produzione |
| | | Termico | - Recupero di calore da fluidi |
| Lavorazione delle granaglie, produzione di amidi e prodotti amidacei | C. 10.6 | Processo | - Concentratori a termocompressione - Concentratori a compressione meccanica del vapore - Macchine frigorifere più efficienti |
| | | Termico | - Recupero di calore da fluidi - Recupero di calore dai fumi |
| Produzione di prodotti da forno e farinacei | C. 10.7 | Elettrico | - Sostituzione dei motori con motori più efficienti - Compressori ad alta efficienza |
| | | Processo | - Sostituzione dei forni con forni più efficienti - Nuova linea di produzione - Riduzione delle perdite nella fase di compressione dell'aria |
| | | Termico | - Recupero di calore da fluidi - Recupero di calore dai cascami termici |
| Produzione di prodotti per l'alimentazione degli animali | C. 10.9 | Termico | - Recupero di calore da fluidi della linea di produzione |

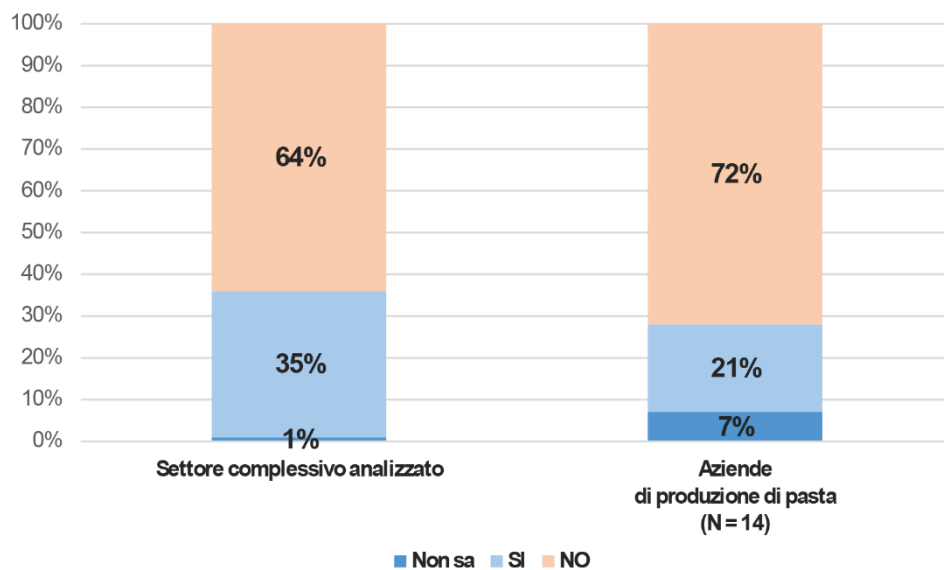
Tab. 30
Sottosettori alimentari e cluster di intervento.
Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2018

In conclusione, al fine di completare la trattazione sullo stato dell'arte degli interventi possibili di efficientamento energetico per il settore manifatturiero si rimanda alla consultazione dell'elenco (non esaustivo) delle tipologie di interventi di efficienza energetica che possono essere utilizzate per formulare proposte da riportare nel rapporto di diagnosi energetica, pubblicato a

settembre 2024 da ENEA ai sensi dell'Art. 4 comma 7 DM 256 del 10 luglio 2024, che verrà aggiornato con cadenza biennale. L'elenco divide gli interventi per area o famiglia omogena (ENEA, 2024):

- Aria compressa
 - Aspirazione
 - Centrale termica / Recupero termico
 - Climatizzazione
 - Cogenerazione/Trigenerazione
 - Freddo di processo
 - Generale/Gestionale
 - Illuminazione
 - Impianti elettrici
 - Involucro edilizio
 - Linee produttive
 - Motori elettrici/Inverter
 - Produzione da fonti rinnovabili
 - Reti di distribuzione
 - Rifasamento
 - Sistemi di pompaggio
 - Trasporti
- Pratiche di economia circolare:
 Il Report “Le opportunità della decarbonizzazione nel settore manifatturiero e agroalimentare” del 2023 (Bazzocchi et al., 2023) ha evidenziato che nel settore della produzione della pasta il 72% delle Aziende intervistate non utilizza pratica di economia circolare finalizzata al riciclo di scarti e rifiuti (Fig.79):

Fig. 79
Utilizzo di pratiche di economia circolare per riciclare gli scarti o i rifiuti.
 Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2023



- Dotazioni digitali e tecnologie 4.0:

Per analizzare l'incidenza delle dotazioni digitali sulla riduzione dei consumi energetici è stato effettuato di nuovo un confronto tra due diversi Report del RSE.

Il Report "Le opportunità della decarbonizzazione nel settore manifatturiero e agroalimentare" del 2023 (Bazzocchi et al., 2023) fa notare che gli interventi sull'efficientamento dei macchinari sono accompagnati dall'introduzione di tecnologia informatica e software (si rimanda alla Fig.74).

Approfondendo l'ambito delle tecnologie informatiche, emerge che i più diffusi nelle aziende intervistate nel settore della produzione della pasta sono i software gestionali aziendali (35%), i software di gestione di fornitori e magazzino (28%), i software di monitoraggio e controllo (17%) (Fig.80):

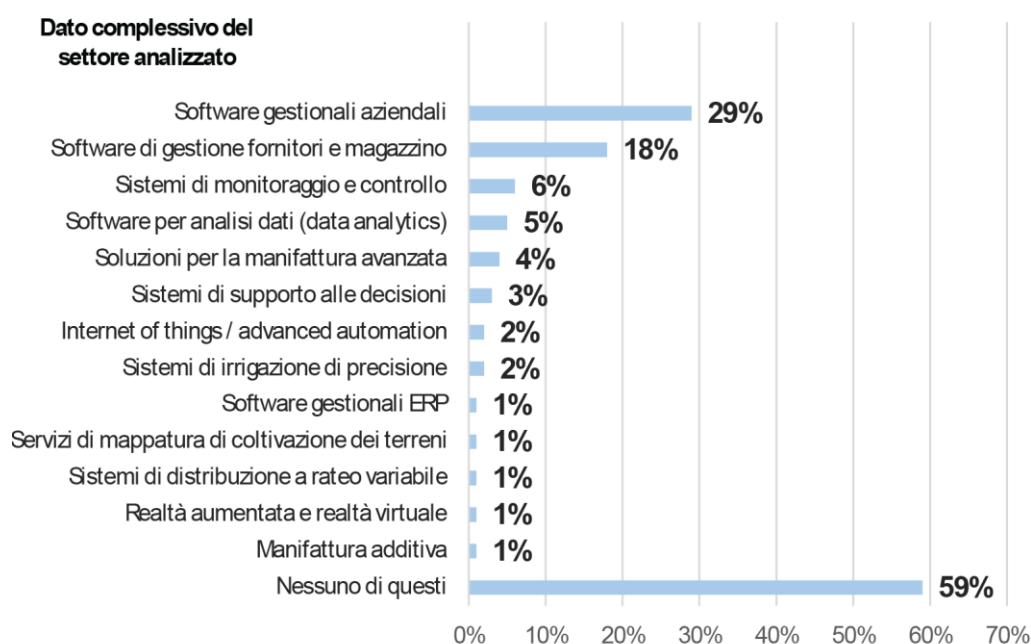
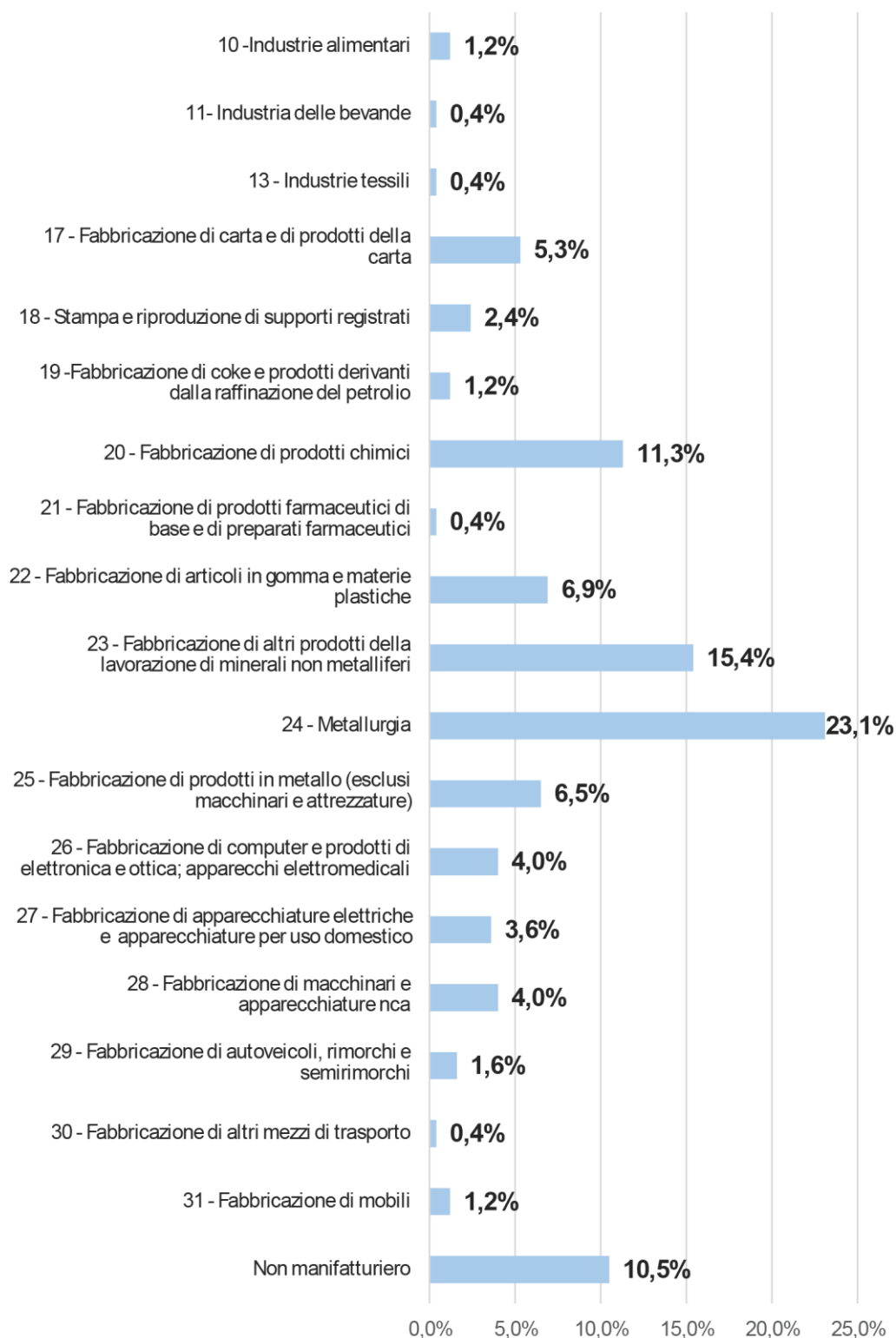


Fig. 80
Le tecnologie 4.0 per la gestione dei processi produttivi e amministrativo/gestionali.
Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2023

Il Report dell'RSE "L'industria efficiente. Le opportunità delle imprese nella transizione energetica" (Gobbi et al., 2021) ha indagato gli effetti delle tecnologie digitali 4.0 sulla transizione energetica. L'indagine ha riguardato un campione eterogeneo di 278 imprese del settore manifatturiero di cui l'1,2% afferente al Codice ATECO 10 delle Industrie alimentari. Il 40% da aziende è di dimensione medio/grande, con un fatturato maggiore di 100 milioni di euro e più di 250 dipendenti (Figg. 81, 82):

Fig. 81
Suddivisione delle imprese manifatturiere italiane oggetto dell'analisi per categoria ATECO.
 Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2021



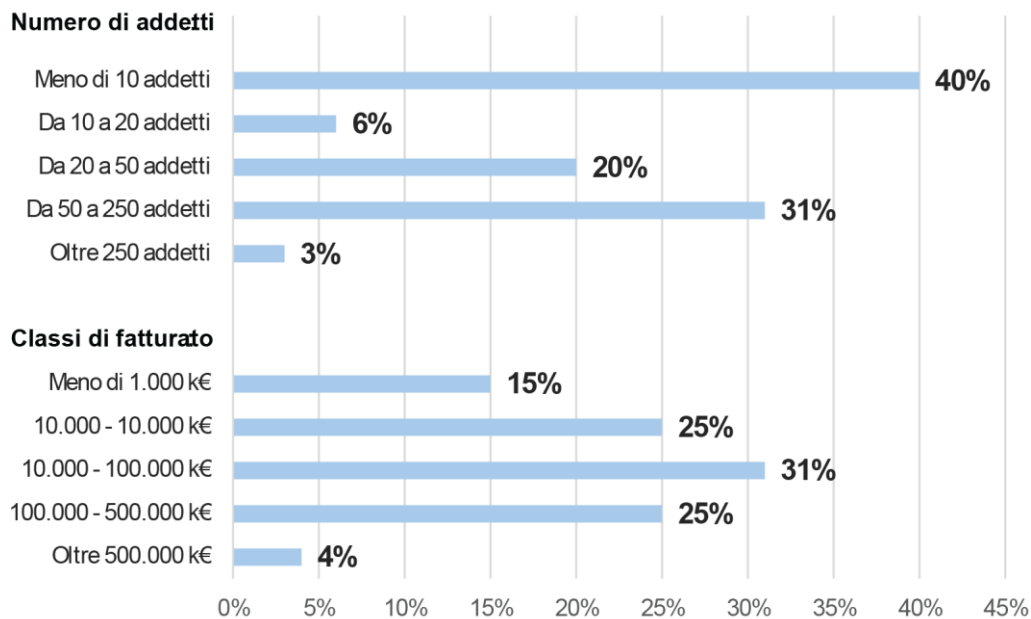


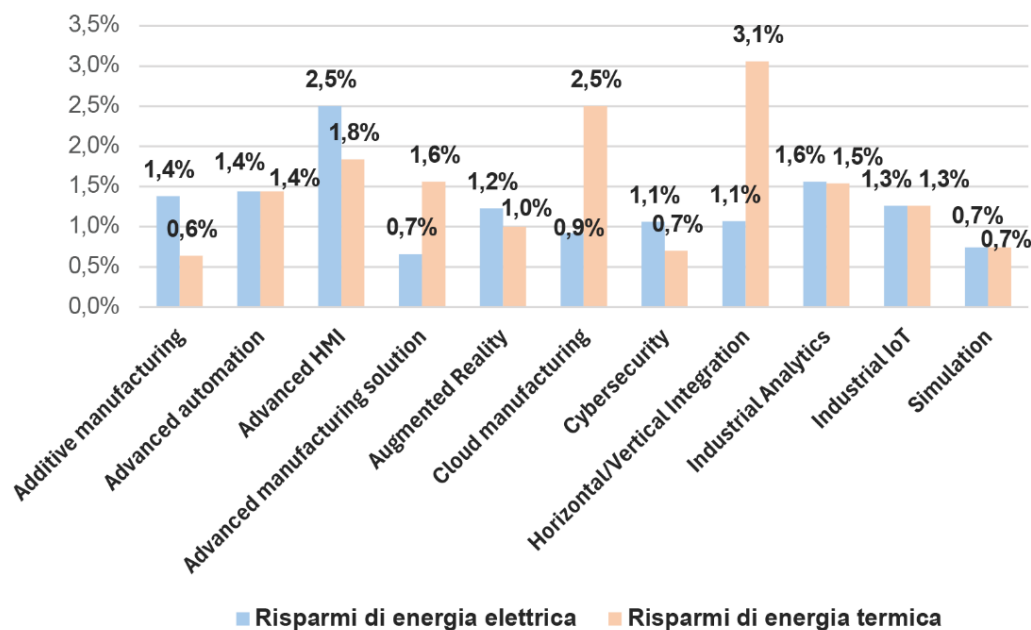
Fig. 82
 Ripartizione delle aziende manifatturiere italiane rispondenti alla survey per classi di fatturato e numero di dipendenti.
 Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2021

Dallo studio emerge che i risparmi energetici medi sono compresi tra lo 0,5% e il 3% e gli interventi di maggiore impatto sono (Fig. 83):

- Lo scambio di informazioni integrate, che prevedono una visione organica e integrata di tutto il processo produttivo
- il Cloud Manufacturing, riferito ai dispositivi connessi alla rete che possono visualizzare e sfruttare le informazioni provenienti da un insieme condiviso e configurabile di risorse manifatturiere (ad esempio software di supporto alla produzione, risorse e capacità produttive)
- gli interventi di Advanced HMI, riferiti all'interfaccia tra uomo e macchina, finalizzati a veicolare e organizzare le informazioni riguardanti i componenti e i dati sul processo
- gli interventi di Advance Automation, riferiti ai sistemi di produzione automatizzati con capacità d'interazione con l'ambiente, di auto-apprendimento e di guida automatica

Per alcune tecnologie le percentuali di risparmio sono sbilanciate verso il termico, cioè l'utilizzo di calore per il processo produttivo. La capacità di interconnessione tra le fasi del processo e il controllo dinamico dei componenti dell'impianto può, infatti, facilitare un utilizzo maggiormente ottimizzato dei vettori termici, sia per quanto riguarda il freddo che il caldo (Gobbi et al., 2021).

Fig. 83
 Risparmi medi registrati dalle imprese del campione suddivisi per tecnologia implementata e per tipologia di consumo termico ed elettrico.
 Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2021



A partire dallo studio dei documenti e Report descritti, è stata realizzata una mappa che individua le strategie, le azioni e gli interventi di decarbonizzazione che le Aziende del settore manifatturiero agroalimentare possono implementare, provvista di indicazione dei vantaggi in termini di risparmi di energia ed emissioni climalteranti. Vi è inoltre illustrata la multi-valenza di alcuni interventi per diverse strategie.

Le strategie di riferimento per la decarbonizzazione riguardano:

- l'autoproduzione da fonti rinnovabili
- l'efficienza energetica
- l'economia circolare
- la digitalizzazione

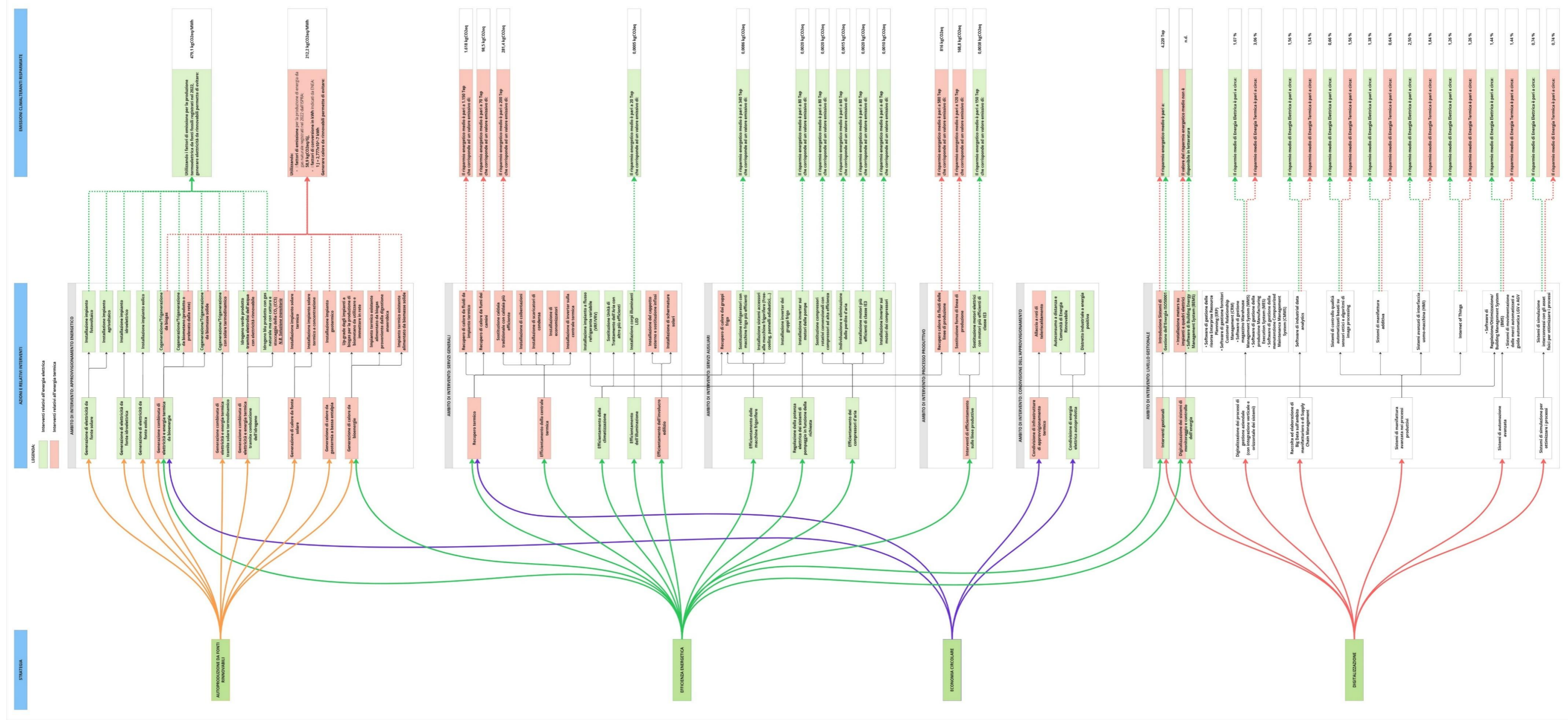
L'individuazione delle emissioni di gas climalteranti evitate corrispondenti agli interventi di decarbonizzazione è stata effettuata distinguendo:

- gli interventi di produzione di energia rinnovabile:
 Per questi interventi sono state individuate le emissioni evitate per ogni kWh di energia prodotta considerando le caratteristiche emissive della corrispondente produzione energetica da fonti non rinnovabili, inventariate in apposite tabelle excel dall'ISPRA per l'anno 2022 (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, 2024). In particolare:
 - per l'energia elettrica è stato considerato il valore registrato di 479,1 kgCO_{2eq}/MWh per la produzione termoelettrica lorda (solo combustibili fossili) in Italia
 - per l'energia termica è stato considerato il valore registrato di 58,9 kgCO₂/Gj per la combustione del Gas Naturale, convertito in 212,2 kgCO_{2eq}/MWh attraverso i fattori di conversione dell'energia forniti da ENEA secondo cui 1 J = 2,777 x 10⁻⁷ kWh (ENEA, 2023)
- gli interventi di riduzione dei consumi:

Per questi interventi sono state individuate le emissioni evitate per ogni tep di energia risparmiata considerando le caratteristiche emissive della corrispondente produzione energetica da fonti non rinnovabili, inventariate in apposite tabelle excel dall'ISPRA per l'anno 2022 (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, 2024). In particolare:

- per ogni tep di consumo elettrico è stato considerato il valore registrato di 293,0 gCO_{2eq}/kWh per i consumi finali elettrici, convertiti in 0,0000252 kgCO_{2eq}/Tep attraverso i fattori di conversione dell'energia forniti da ENEA secondo cui 1 kWh = 8,598 x 10⁻⁵ Tep (ENEA, 2023)
- per ogni tep di consumo termico è stato considerato il valore registrato di 58,9 kgCO₂/Gj per i consumi di Gas Naturale, convertiti in 1,4070 kgCO_{2eq}/Tep attraverso i fattori di conversione dell'energia forniti da ENEA secondo cui 1 J = 2,388 x 10⁻¹¹ Tep (ENEA, 2023)

Fig. 84
Mappa con individuazione delle strategie, delle azioni e degli interventi di decarbonizzazione che le Aziende del settore manifatturiero agroalimentare possono implementare, provvista di indicazione dei vantaggi in termini di risparmi di energia ed emissioni climalteranti.



2.1.4. Alcune soluzioni circolari in ambito energetico applicabili al settore industriale

La decarbonizzazione è una sfida che richiede trasformazioni tecnologiche su diversi livelli:

- A livello dei consumi, attraverso:
 - Soluzioni di efficientamento energetico, sia elettrico che termico, per la riduzione dei fabbisogni
 - Soluzioni di elettrificazione delle richieste energetiche, poiché l'energia elettrica, essendo un vettore derivato a partire da differenti sorgenti, è facilmente producibile anche con fonti rinnovabili
- A livello dell'approvvigionamento energetico, attraverso:
 - Lo sviluppo di sistemi basati sull'utilizzo delle fonti rinnovabili
 - Lo sviluppo di sistemi di produzione diffusa e decentrata sul territorio
 - Lo sviluppo di strategie per la condivisione dell'energia prodotta in modo decentrato

A fronte di questo quadro, le sfide tecnologiche da affrontare riguardano anche problemi complessi legati al settore elettrico quali:

- Problemi di stoccaggio e conservazione giornaliera e stagionale dell'energia elettrica, che vertono su:
 - Potenziamento delle soluzioni per l'accumulo
 - Implementazione di strategie che spingono ad allineare in regime di contemporaneità i prelievi dell'energia con il periodo di produzione da fonti rinnovabili, come le strategie dell'autoconsumo declinate nelle varie configurazioni delle Comunità Energetiche Rinnovabili e dell'Autoconsumo a distanza
- Problemi delle tecnologie elettriche sul fronte delle richieste termiche, poiché non sempre sono efficienti e competitive al confronto con le tecnologie tradizionali basate sulla combustione delle fonti fossili. A questo proposito vengono promosse anche le soluzioni di tipo cogenerativo e trigenerativo, le quali:
 - Rientrano nella categoria delle strategie per l'efficientamento energetico (non per l'approvvigionamento) poiché, utilizzando il combustibile per la contestuale richiesta combinata di elettricità ed energia termica, riducono nel complesso il prelievo energetico a parità di fabbisogni da soddisfare
 - Sono oggetto di sperimentazione anche per quanto riguarda l'ambito dell'approvvigionamento, relativamente all'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili alternative al gas naturale, quali il biometano
 - Si possono inserire nelle strategie di produzione decentrata e di condivisione di cui si è parlato, sia in ambito termico che in ambito elettrico, poiché:

- Sul piano elettrico, possono riversare in rete le eccedenze di produzione non autoconsumata, al pari di qualsiasi altro sistema di produzione elettrica
- Sul piano termico, possono recuperare calore di scarto, che può essere:
 - riutilizzato nel ciclo produttivo
 - messo a disposizione e di altre imprese con unità circostanti localizzate vicino all'impianto attraverso reti di teleriscaldamento

Alla base delle strategie di autoproduzione decentrata e condivisione dell'energia non autoconsumata, vi è ovviamente un approccio di circolarità.

In termini di decarbonizzazione, si specificano i rispettivi ambiti in cui le sfide tecnologiche incidono a livello di Carbon Footprint:

- gli interventi per l'efficientamento energetico incidono sullo scope 1, che riguarda le emissioni dirette prodotte all'interno dei confini dell'impresa
- l'approvvigionamento da fonti rinnovabili incide:
 - sullo scope 2, che riguarda le emissioni indirette legate alla produzione di vettori elettrici
 - sullo scope 1 nel caso di sostituzione di un macchinario che utilizza gas naturale, con uno che utilizza ad esempio biomassa
- infine, ulteriori interventi di revisione delle intere filiere, che riguardano strategie di circolarità sul ciclo di vita dei prodotti incidono sullo scope 3, che riguarda le emissioni indirette fuori dai confini dell'impresa

Strategie utili alla decarbonizzazione implementabili dalle imprese sono riassunte di seguito (Tab.31):

Tab. 31
Principali interventi di decarbonizzazione implementabili dalle imprese.
 Fonte: Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia (FIRE), 2024

| Interventi gestionali | Interventi di efficientamento energetico | Interventi di generazione dell'energia |
|-------------------------------|---|---|
| Monitoraggio | Involucro edilizio | Fotovoltaico |
| Sistema di gestione ISO 50001 | Fumi caldi | Altre F.E.R. elettriche |
| Automazione | Fumi freddi | Biomasse |
| Comportamenti individuali | Illuminazione | Solare termico |
| | Aria Compressa | Cogenerazione |
| | Recuperi termici | Accumuli |
| | Motori e pompe | |
| | Sistema elettrico | |

Si descrivono di seguito alcune soluzioni che vengono sempre più promosse in ambito energetico e che sono permeate da approcci circolari in quanto si concentrano sulla generazione di energia locale e sull'immissione in rete a beneficio degli altri utilizzatori.

Le Comunità Energetiche Rinnovabili e l'Autoconsumo Diffuso

Il sistema elettrico sta conoscendo una transizione delle sue logiche di produzione, mercato, trasmissione, distribuzione e consumo (Fig.85):

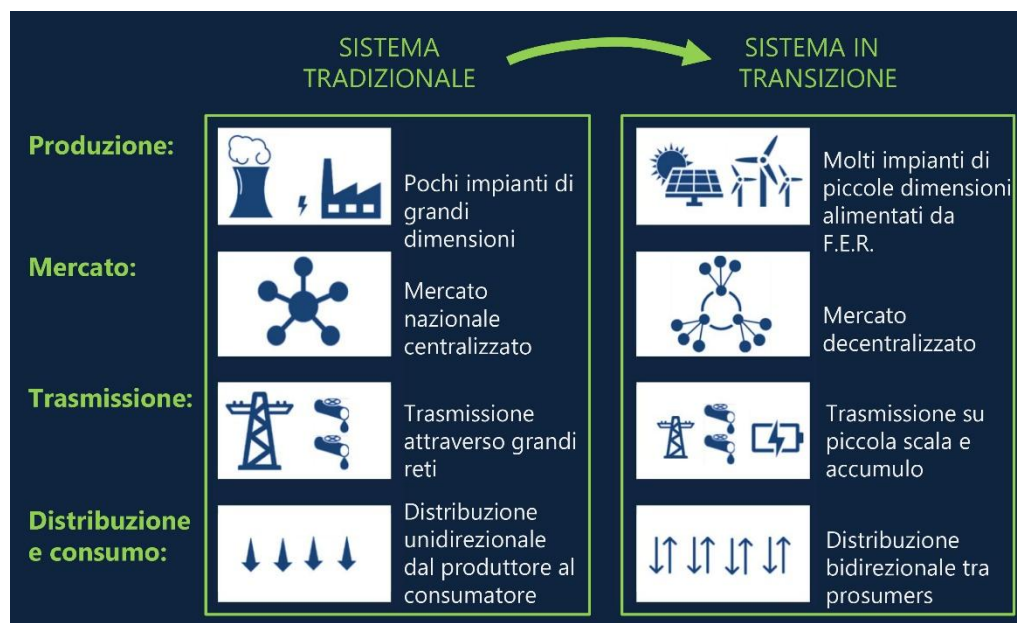


Fig. 85
Confronto tra le logiche del sistema elettrico tradizionale e del sistema verso cui verte la transizione

L'Autoconsumo Diffuso, così definito dal 'Testo unico integrato-TIAD' dell'ARERA che disciplina la determinazione e la valorizzazione dell'energia autoconsumata e incentivata (Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente, 2022), è un sistema decentrato concepito per favorire l'autoproduzione, l'autoconsumo e la condivisione delle eccedenze di energia locale da fonti rinnovabili mirando alla sostenibilità ambientale sociale ed economica, in termini di riduzione degli impatti ambientali legati ai sistemi di produzione e distribuzione centralizzati tradizionali e di riduzione dei costi energetici e quindi della povertà energetica. Tali valori e tali meccanismi rientrano a pieno titolo nei concetti di economia circolare e della sharing economy⁵ (Barroco et al., 2020).

La normativa di riferimento è la Direttiva EU 2018/2001 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili (European Parliament and the Council of the European Union, 2018) e, in Italia, la Legge n. 8/2020 (Decreto Milleproroghe) che ha anticipato

⁵ La Sharing Economy è un modello di economia circolare basato su reti collegate d'individui, organizzazioni o comunità che si fondano sulla collaborazione, la condivisione, lo scambio, il commercio di prodotti e/o servizi. Il principio che maggiormente ispira la sharing economy è quello di 'accesso al bene', in quanto non è più la proprietà ad essere un fattore discriminante, ma la funzione che esso svolge. La condivisione e non nega il concetto di proprietà, ma introduce il principio secondo cui l'accesso ai beni/servizi è prioritario rispetto al suo possesso. Nella sharing economy l'utilizzo del bene condiviso può essere sincrono nel caso in cui la condivisione del bene avvenga contemporaneamente tra diversi attori oppure differito quando il bene è ceduto temporaneamente. Il bene può essere condiviso e restare in possesso del proprietario oppure essere di proprietà di una parte terza rispetto alla rete/comunità di utilizzatori.

il recepimento ufficiale di tale Direttiva europea, avvenuto successivamente con il Decreto Legislativo 199/2021 (Presidente della Repubblica, 2021).

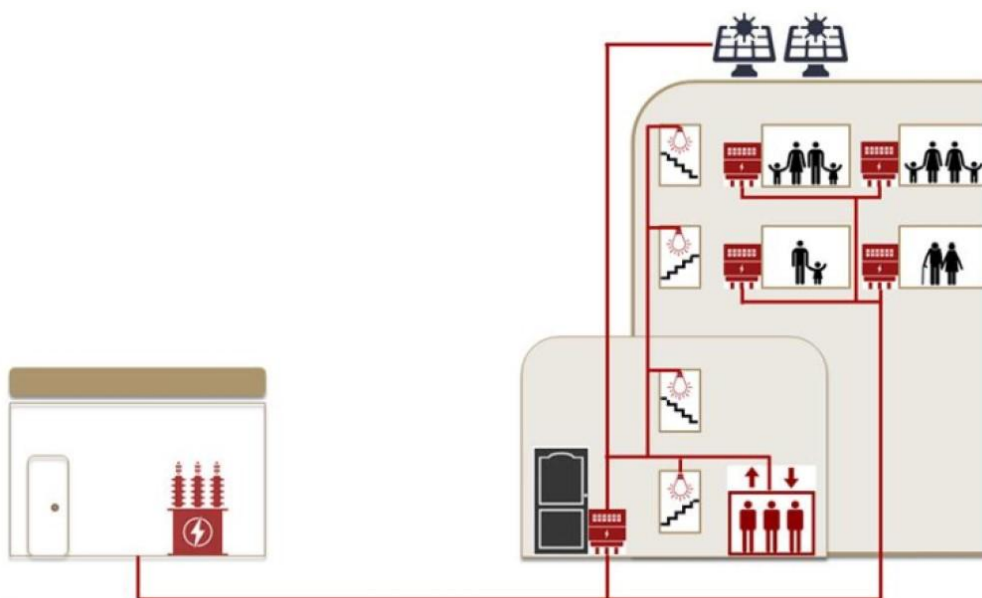
Le forme dell'Autoconsumo Diffuso si basano sul concetto chiave di 'Autoconsumatore' o 'Prosumer' (termine inglese che integra il ruolo di 'Consumer', consumatore passivo, e di 'Producer', produttore), inteso come soggetto che produce energia rinnovabile per il proprio consumo e può stoccare o cedere ad altri l'energia autoprodotta in eccedenza, attraverso impianti di proprietà o di terzi, i quali possono fornire anche i servizi di gestione e manutenzione e gestione del fine vita, in piena logica circolare di messa a disposizione di product-as-a-service.

Diverse sono le configurazioni realizzabili:

- Autoconsumo Individuale a Distanza:
 - con linea diretta, che prevede che una singola unità di produzione sia connessa a una singola unità di consumo, senza altre utenze intermedie, e con una distanza massima di 10 km
 - con utilizzo della rete di distribuzione esistente, in cui lo stesso prosumer può allacciare più unità di produzione e più unità di consumo purché sottese alla stessa cabina primaria
- Autoconsumo Collettivo:

In questa configurazione i partecipanti, che possono essere prosumer o semplici consumer, devono trovarsi all'interno dello stesso edificio o condominio e gli impianti possono essere ubicati sia nell'area di pertinenza del condominio (Fig.86) sia in altre aree nella disponibilità dei partecipanti stessi

Fig. 86
Configurazione
dell'Autoconsumo
Collettivo nello stesso
edificio.
Fonte: Isnova, 2022



- Comunità Energetiche Rinnovabili
Consistono in un soggetto giuridico che consente lo scambio di energia autoprodotta tra i membri partecipanti, che possono essere prosumer o

semplici consumer, dislocati in edifici diversi sottesi alla medesima cabina primaria, allacciati alla rete elettrica in cui immettere l'energia in eccesso non autoconsumata (Fig.87). La partecipazione è libera e aperta a persone fisiche, Piccole Medie Imprese, ed enti pubblici. Tra le attività che il soggetto C.E.R. può realizzare ci sono la produzione di altre forme di energia da fonti rinnovabili finalizzate all'utilizzo da parte dei membri, l'implementazione di interventi integrati di domotica e di efficienza energetica, l'offerta di servizi di ricarica dei veicoli elettrici ai propri membri. Gli impianti di produzione devono essere nella piena disponibilità della Comunità (es. usufrutto, comodato d'uso o altro titolo contrattuale).

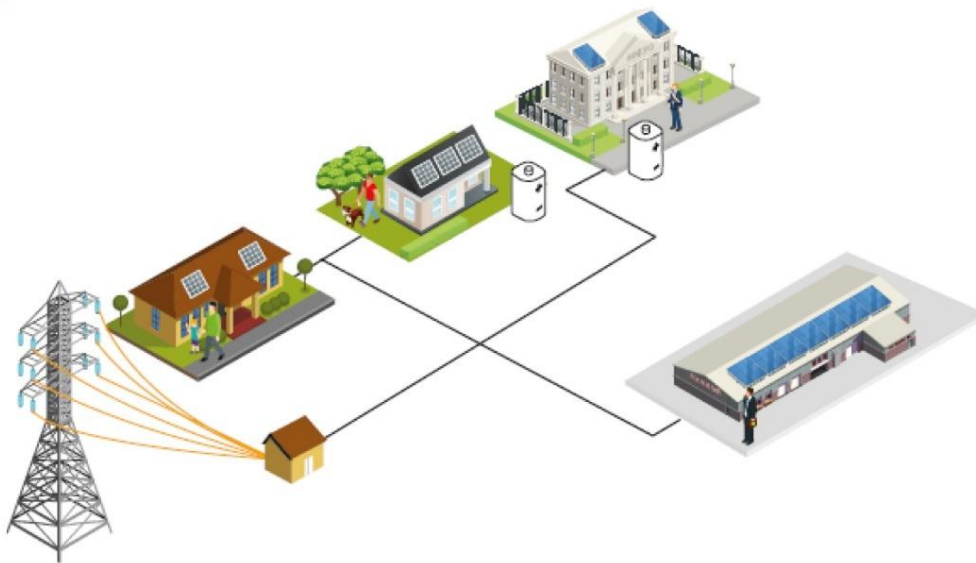
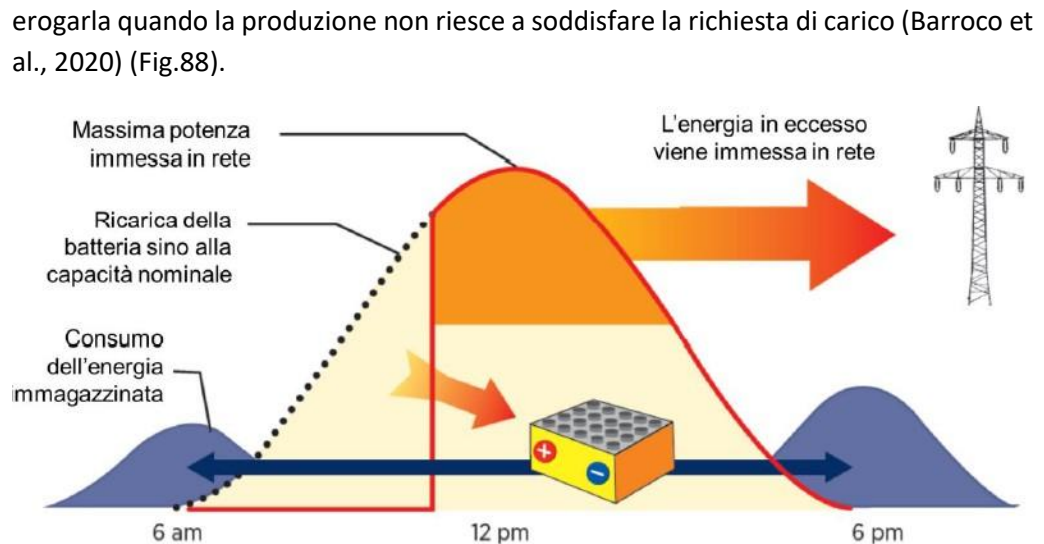


Fig. 87
*Configurazione di una
Comunità di Energia
Rinnovabile.*

Le configurazioni dell'Autoconsumo Diffuso sono allacciate alla rete nazionale nella quale riversano l'energia non autoconsumata. Va specificato che le utenze prelevano dalla rete nazionale attraverso il loro POD, come è sempre avvenuto, e l'energia prodotta dagli impianti decentralizzati viene immessa nella stessa rete nazionale, anch'essa attraverso apposito POD. Pertanto, l'energia considerata condivisa è riferita ad un quantitativo virtuale, ovvero è frutto di un calcolo che tiene in considerazione l'ammontare della produzione locale e dei prelievi che avvengono nello stesso momento in cui quella produzione è in corso. La spinta che le policies hanno dato alla produzione energetica decentralizzata al fine di aumentare in modo più capillare la copertura da fonti rinnovabili ha imposto di fare attenzione alla reale capacità fisica di assorbimento dell'infrastruttura locale che riceve l'immissione di elettricità, soprattutto durante le ore di punta. Per questo si è reso necessario spingere anche sul concetto di condivisione dell'energia in regime di contemporaneità, affinché si stimolasse il prelievo nelle ore di produzione, alleggerendo la rete ed evitando il sovraccarico complessivo. Per gli stessi motivi sono promossi l'utilizzo di batterie di accumulo che possono storing l'energia prodotta non direttamente consumata, riducendo la potenza dei picchi di potenza immessi in rete e i conseguenti squilibri, ed

Fig. 88
 Schema di
 funzionamento
 dell'utilizzo di batterie
 combinato
 all'autoproduzione
 energetica.



La strategia per spostare quanto più possibile il prelievo nelle ore di produzione, è stata quella di incentivarlo economicamente, permettendo ai membri delle configurazioni descritte di maturare somme corrispondenti ai prelievi effettuati in regime di contemporaneità. Per questo alle configurazioni possono partecipare anche semplici consumer che non hanno impianti da mettere a disposizione ma possono contribuire a massimizzare il prelievo complessivo. Inoltre, le finalità sociali di queste iniziative quali il contributo a combattere la povertà energetica, hanno escluso dalla partecipazione alle Comunità Energetiche le imprese che hanno come core business la produzione e la vendita di energia e le Grandi Imprese, le quali tuttavia possono partecipare da produttori terzi. Le Grandi Imprese, tuttavia, possono usufruire dei vantaggi della configurazione 'Autoconsumo Individuale a Distanza', che consente di maturare vantaggi economici nel caso di condivisione dell'energia prodotta tra siti della stessa proprietà. In particolare, la legge stabilisce una soglia massima di energia condivisa di cui l'impresa può beneficiare direttamente dell'incentivo maturato, pari al 55% del totale di energia autoprodotta, mentre la restante quota di incentivi maturati con la condivisione deve essere destinata a consumatori diversi dalle imprese e con finalità sociali e ricadute sul territorio, che rappresentano opportunità in ambito ESG che l'azienda può comunicare nel Report di Sostenibilità.

Il biometano

Con Decreto Ministeriale del 15/9/2022 è stata incentivata la produzione e l'immissione di biometano nella rete di distribuzione nazionale, riferita a:

- impianti agricoli, ovvero gli impianti di produzione di biometano da raffinazione di biogas di un'azienda agricola che utilizza materie provenienti da attività agricola, forestale, di allevamento, alimentare e agroindustriale non costituenti rifiuto

- impianti a rifiuti organici, ovvero gli impianti di produzione di biometano da raffinazione di biogas alimentato a FORSU (Frazione Organica del Rifiuto Solido Urbano) ed altri rifiuti

Tale produzione permette alle industrie di utilizzare la frazione della biomassa corrispondente ai rifiuti industriali non idonei all'uso nella catena alimentare umana o animale (Presidente della Repubblica, 2021), sia per gli usi energetici interni che per l'immissione in rete a beneficio di altre aziende, maturando in quel caso certificati di garanzia d'origine ai fini della remunerazione. Con Decreto Ministeriale del 14/7/2023, i certificati di Garanzia d'Origine, che inizialmente riguardavano solo il mercato elettrico, sono stati introdotti anche per le fonti rinnovabili termiche come il biometano, per cui le aziende sono spronate ad installare impianti di produzione di biometano, sia ai fini ESG che per i vantaggi economici.

L'Italia negli anni ha insistito sempre di più nella produzione di biometano ed è il terzo paese in Europa per investimenti dedicati, i target richiesti dalle policies comunque si aspettano un aumento decuplicato (Fig.89).



Fig. 89
Andamento della produzione di biometano in Italia, investimenti europei dedicati e target al 2030.
Fonte: Italgas, 2024

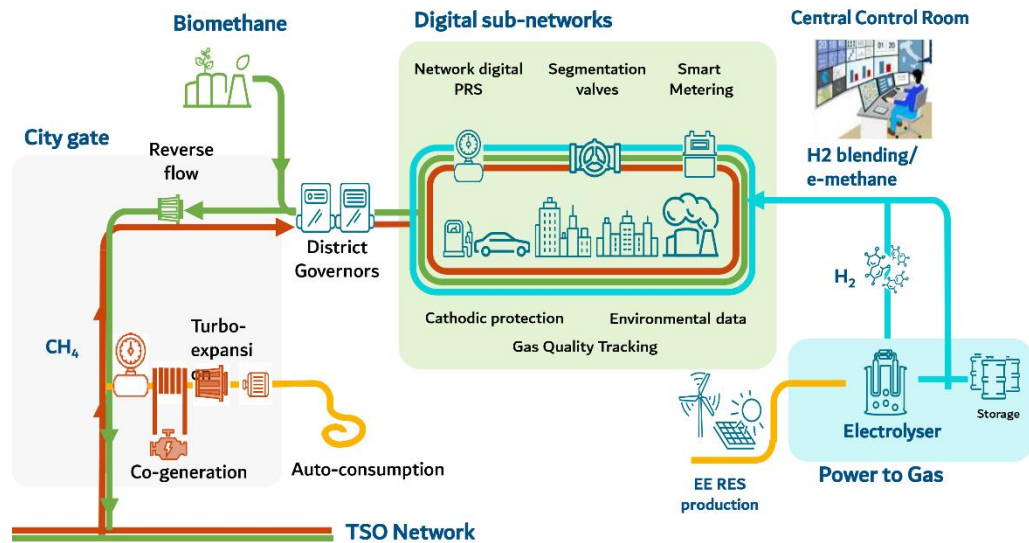
Oggi la distribuzione nazionale del gas avviene a cascata, venendo immesso il metano nella rete di distribuzione da fornitori centralizzati (Snam, TSO,..) in maniera unidirezionale alle utenze. L'introduzione di fonti rinnovabili come il biometano e l'idrogeno spinge verso la necessità di adattabilità del sistema di rete come è già stato fatto per l'ambito elettrico. In particolare sono necessari sviluppi per:

- aumentare i punti di immissione al fine di accogliere la possibilità di una massiccia produzione decentrata
- aumentare la capacità di assorbimento delle rete

Di seguito viene riportato il concept sotteso a tale sistema, che ovviamente necessita di una componente di digitalizzazione per gestire i flussi di immissione e prelievo (Fig.90):

Fig. 90

La rete del futuro: miglioramento e riconversione della rete combinati con la digitalizzazione per consentire la distribuzione/iniezione di gas verdi, ridurre i costi e aumentare l'efficienza e l'affidabilità.
Fonte: Italgas, 2024



In conclusione, da un punto di vista degli incentivi che vengono messi a disposizione per la decarbonizzazione, si annovera il Piano Innovazione 5.0, che mira:

- Primariamente all'ambito dell'efficienza e del risparmio energetico per le Aziende. In particolare, sono destinatari di agevolazione come interventi trainanti i beni strumentali materiali e immateriali tecnologicamente avanzati dotati dei requisiti 4.0 che provano di aver raggiunto:
 - almeno una riduzione del 3% dei consumi sulla struttura produttiva
 - o almeno una riduzione del 5% dei consumi del processo produttivo

In secondo luogo, all'ambito dell'approvvigionamento. Infatti, tra gli interventi trainati viene agevolata l'installazione di impianti per l'autoproduzione e l'autoconsumo da fonti rinnovabili

Le bioenergie per l'agroalimentare promosse dal PNIEC

Tra i diversi settori industriali, l'alimentare è quello che meglio si presta all'utilizzo delle biomasse di seconda generazione, di origine vegetale e animale, scaturiti dai processi di trasformazione, a fini termici (grazie soprattutto agli incentivi) (Bazzocchi et al., 2018):

- impianti termici alimentati con le biomasse solide (scarti di processi produttivi), in cui il generatore alimentato a gas metano viene sostituito con un generatore alimentato a biomassa o opportunamente modificato con bruciatori per biomasse
- nelle aziende alimentari con una rilevante produzione di reflui organici, si realizza un impianto di digestione anaerobica per la produzione di BIOGAS, costituito per circa la metà da metano; il metano prodotto viene successivamente utilizzato, dopo trattamento, come combustibile in:
 - caldaie per produzione di vapore
 - cogeneratori

Il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima promuove la produzione combinata di elettricità e calore da scarti e residui del settore agroindustriale, in particolare tramite impianti facenti parte del ciclo produttivo delle imprese, secondo i principi dell'economia di circolare. Incentivi per impianti di produzione di energia elettrica alimentati a biogas, con potenza elettrica non superiore a 300 kW e facenti parte del ciclo produttivo di una impresa agricola, di allevamento, realizzati da imprenditori agricoli anche in forma consortile e la cui alimentazione deriva per almeno l'80 per cento da reflui e materie derivanti dalle aziende agricole realizzatrici e per il restante 20 per cento da materie prime provenienti da loro colture di secondo raccolto e con autoconsumo in sito dell'energia termica prodotta, a servizio dei processi aziendali (la Legge n. 145/2018, aggiornata poi dalla Legge n. 21/2021, ha esteso la possibilità di accesso agli incentivi, secondo le procedure le modalità e le tariffe del D.M. 23/06/2016). Gli impianti a biogas dimostrano anche il vantaggio in termini di utilizzazione del digestato (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2024).

Il PNIEC prevede:

- per il settore termico un andamento sostanzialmente stabile dei consumi di biomassa solida e una crescita molto sostenuta del biometano
- per il settore elettrico stima una tendenziale riduzione delle produzioni totali da bioenergie, poiché attende una sostenuta dinamica di upgrade degli impianti dalla produzione di biogas a quella di biometano che considera incidere sul settore termico

Gli incentivi per le bioenergie si distinguono tra:

- incentivi per le bioenergie nel settore termico:
 - Certificati Bianchi:
Sono titoli negoziabili che certificano il conseguimento del risparmio energetico negli usi finali di energia attraverso interventi e progetti di incremento dell'efficienza energetica. Nell'ambito del meccanismo è promossa anche la realizzazione di progetti che prevedano l'impiego di fonti rinnovabili per usi non elettrici, in relazione alla loro capacità di incrementare l'efficienza energetica e di generare risparmi di energia non rinnovabile. I Certificati Bianchi sono emessi inoltre per i risparmi di energia generati dagli impianti di Cogenerazione ad Alto Rendimento, ivi compresi gli impianti:
 - a fonti rinnovabili
 - connessi a reti di teleriscaldamento
 - Incentivi del PNRR per il biometano:
Il D.M. 15 settembre 2022 "Sviluppo del biometano, secondo criteri per la promozione dell'economia circolare", in continuità con il D.M. 2 marzo 2018, sostiene gli investimenti per la realizzazione di nuovi impianti di produzione di biometano e per la riconversione, totale o parziale, di impianti esistenti a biogas. Incentiva l'immissione di

biometano nella rete del gas naturale attraverso un sostegno in conto capitale e un incentivo in conto energia (tariffa incentivante). Il biometano prodotto e immesso nella rete del gas naturale può essere esclusivamente destinato al settore dei trasporti o al settore termico. La legge 34 del 27/04/2022 all'Art. 12-bis ha inserito tra i sottoprodotti utilizzabili per la produzione di biometano i sottoprodotti dell'industria della panificazione, della pasta alimentare, dell'industria dolciaria: sfridi di pasta, biscotti, altri prodotti da forno nell'elenco dei sottoprodotti utilizzabili negli impianti a biogas. (Si veda il relativo Dossier (Camera dei deputati, 2022))

- incentivi per le bioenergie nel settore elettrico (con recupero dell'energia termica):
 - Meccanismo di supporto FER-2
Il meccanismo interessa in particolare tecnologie innovative quali: l'eolico off shore, il solare termodinamico, la geotermia a ridotto impatto ambientale, le tecnologie di sfruttamento dell'energia marina, nonché alcune fattispecie di fotovoltaico, quali realizzazioni floating, sia su acque interne sia offshore. Sono anche previsti limitati contingenti per tecnologie che hanno costi operativi elevati quali gli impianti a biogas e biomassa che rispettino i criteri di sostenibilità previsti dalla RED II. L'energia termica prodotta è recuperata ed è:
 - prioritariamente autoconsumata in sito, a servizio dei processi aziendali
 - secondariamente immessa in un sistema di teleriscaldamento efficiente (Gestore dei Servizi Energetici, 2024)

Con il DM del 19/06/2024 elenca tra i sottoprodotti utilizzabili i sottoprodotti dell'industria della panificazione, della pasta alimentare, dell'industria dolciaria: sfridi di pasta, biscotti, altri prodotti da forno nell'elenco dei sottoprodotti utilizzabili negli impianti a biogas elettrico. La produzione di energia elettrica da impianti biogas, con costi tuttora elevati, deve essere incentivata limitatamente a impianti per i quali la produzione di biometano non sia tecnicamente ed economicamente perseguibile e che, conseguentemente, con il presente decreto, si debba incentivare la produzione di energia elettrica da impianti a biogas solo se di piccola taglia e riferibili a dimensioni aziendali che non consentano di realizzare la produzione di biometano.

2.2. Lo strumento della Diagnosi Energetica per il controllo delle performances energetiche e la pianificazione degli interventi di miglioramento nel settore industriale

2.2.1. L'evoluzione della Normativa sulle Diagnosi Energetiche

L'attenzione per l'efficientamento energetico del settore industriale è legata agli obiettivi di sostenibilità ambientale e decarbonizzazione individuati e promossi dal mondo scientifico e dagli organi istituzionali, ma va a beneficio della stessa produttività e competitività delle organizzazioni, perché significa ovviamente fare economia delle risorse in input e quindi ridurre i costi. Chiaramente l'obiettivo dell'efficientamento energetico nell'industria è una materia complessa perché si deve confrontare con i vincoli imposti dai processi produttivi e spesso richiede uno sforzo di innovazione che interferisce sugli assetti messi a punto nel tempo che garantiscono i risultati attesi sul prodotto. Volendo portare esempi pratici, si pensi alla difficoltà che incontra l'industria manifatturiera agro-alimentare bakery rispetto al tema dell'elettrificazione dei forni, che influisce moltissimo sulle dinamiche di cottura del prodotto e quindi del risultato organolettico garantito dalla tecnologia a gas naturale. In Fig.91, si propone una timeline che dimostra l'evoluzione di normative europee e nazionali che hanno portato allo sviluppo di strumenti per i sistemi di controllo dei consumi, il monitoraggio e criteri per identificare gli interventi migliorativi.

La Direttiva EU/2012/27 sull'efficientamento energetico ha introdotto l'obbligo per gli Stati membri di legiferare in materia di redazione di Diagnosi Energetica delle organizzazioni industriali o di adozione di Sistemi di Gestione dell'Energia certificati ISO 50001 affinché fosse possibile per le Aziende avere il controllo di tutto l'apparato degli impianti che introducono energia e delle utenze che la richiedono, avere contezza dei consumi specifici e complessivi e comprensione dei punti nevralgici su cui intervenire. Tale Direttiva è stata recepita in Italia nel 2014 con il Decreto Legislativo n.102, seguito da altri aggiornamenti di cui brevemente viene riportata una sintesi dei passaggi fondamentali:

- D.Lgs. n.102/2014: Obbliga, all'Art. 8, alla redazione della Diagnosi Energetica ogni 4 anni ad organizzazioni quali:
 - Grandi imprese: Imprese che hanno oltre 250 dipendenti effettivi e fatturato annuo maggiore di 50 milioni di euro o Bilancio annuo maggiore di 43 milioni di euro
 - Imprese Energivore: le imprese che, superando una certa soglia di consumi elettrici (inizialmente si è considerata come soglia 2,4 GWh, successivamente è diminuita a 1 GWh, nel 2018), ed operando in specifici settori, sono iscritte agli elenchi della *Cassa Servizi Energetici e Ambientali (CSEA)* istituita con il D.M. del 5/4/2013, che da diritto loro a delle agevolazioni economiche. Si noti che l'iscrizione agli elenchi CSEA in questo caso costituiva un requisito per l'obbligo di redazione della Diagnosi Energetica

- D.Lgs. n.73/2020: Introduce l'obbligo, per tutti i siti per cui è stata redatta la Diagnosi Energetica, di realizzazione effettiva di almeno un intervento ivi proposto o in alternativa di adottare un Sistema di Gestione dell'Energia certificato ISO 50001. Esonera invece dall'obbligo di Diagnosi Energetica le grandi imprese con un consumo annuo complessivo inferiore a 50 tep
- D.M. 541/2021: Istituisce gli elenchi CSEA anche per le organizzazioni Gasivore, ovvero che consumano almeno 1 GWh/anno di gas metano (pari a 94.582 Sm³/anno) e lavorano in determinati settori. Per queste, la redazione della Diagnosi Energetica o l'adozione di un Sistema di Gestione dell'Energia certificato ISO 50001 costituisce un prerequisito per l'iscrizione agli elenchi CSEA, e non viceversa come per la disciplina sugli Energivori del D.Lgs 102/2014.
- D.L. 131/2023: Cambia i requisiti per l'accesso agli Elenchi CSEA e al meccanismo di agevolazione ad essi connesso e definisce le organizzazioni energivore aventi diritto quali Aziende che:
 - Hanno registrato un consumo di energia elettrica di almeno 1 GWh/anno
 - Operano in uno dei settori a rischio o alto rischio di rilocalizzazione di cui all'allegato 1 alla comunicazione della Commissione Europea 2022/C 80/01
 - Sono in possesso di una Diagnosi Energetica

Come si vede, decade l'interesse per lo status di Grande Impresa, poiché si è considerato di usare l'ammontare del consumo energetico come discriminante per attribuire la qualità di Energivoro piuttosto che la dimensione che dell'Azienda, che di per sé non è indicativa delle tematiche connesse all'energia. Come per le Gasivore, anche le organizzazioni Energivore hanno ora l'obbligo di redigere la Diagnosi Energetica come pre-requisito per potersi iscrivere agli Elenchi CSEA ed avere diritto alle agevolazioni.

Inoltre obbliga le Aziende energivore iscritte agli elenchi CSEA ad adempiere ad uno delle seguenti alternative, definite *Green Conditionalities*:

- Implementare interventi di Efficientamento Energetico, corrispondenti alle raccomandazioni di cui al rapporto di diagnosi energetica, qualora:
 - il tempo di ammortamento degli investimenti a tal fine necessari non superi i tre anni
 - il costo degli investimenti non ecceda l'importo dell'agevolazione percepita
- Raggiungere una copertura del consumo di energia elettrica con Energia da Fonti Rinnovabili, fino almeno il 30 per cento del proprio fabbisogno al fine di ridurre la propria impronta di carbonio

- Investire una quota pari almeno al 50 per cento dell'importo dell'agevolazione in progetti che comportano riduzioni sostanziali delle emissioni di gas a effetto serra

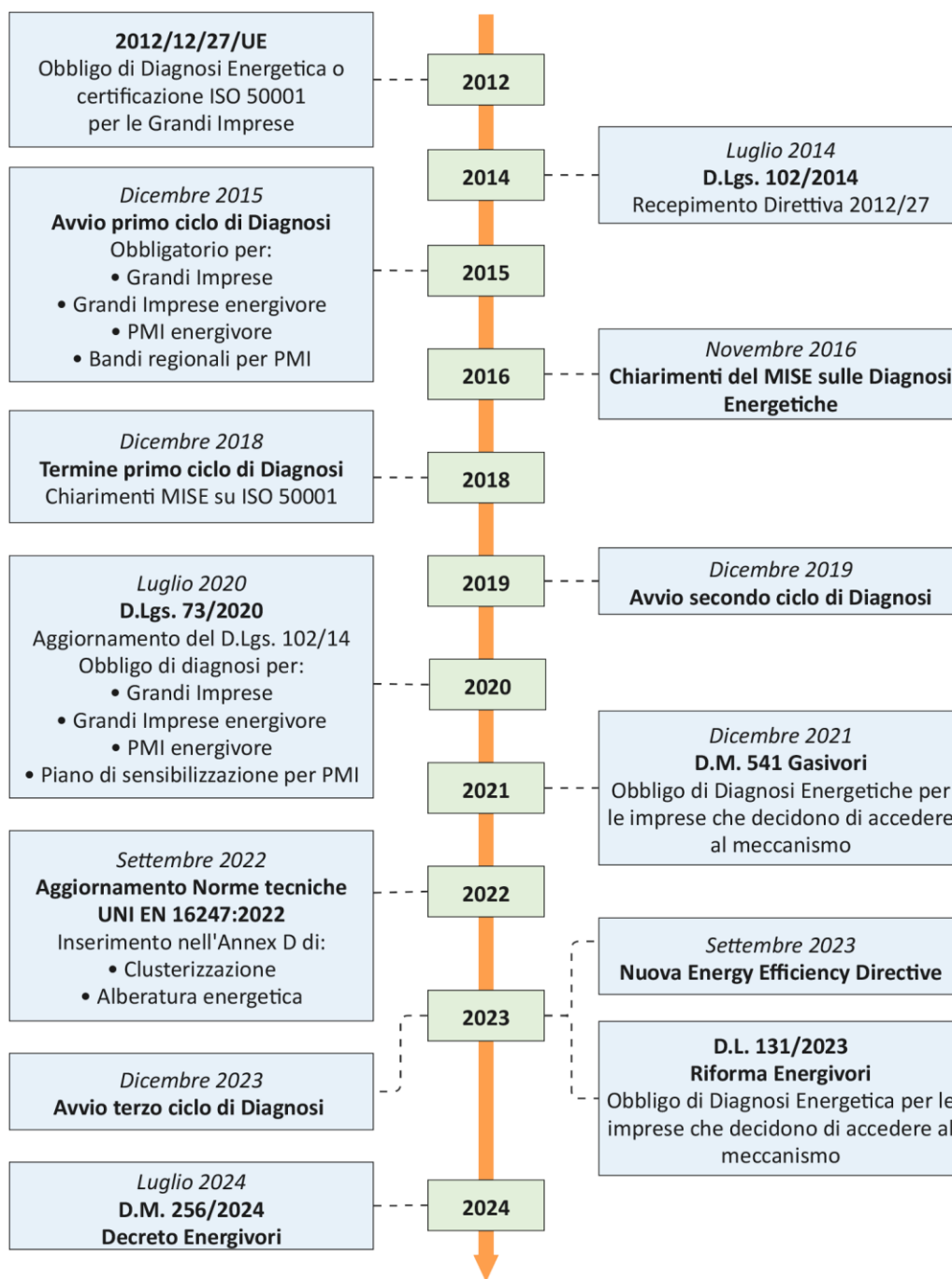


Fig. 91
Cronologia della normativa in materia di controllo delle performance energetiche delle Imprese.
Fonte: ENEA, 2024

Si riporta per completezza anche uno schema che descrive l'iter delle operazioni cui l'organizzazione deve ottemperare per ottenere l'agevolazione che le spetta in quanto iscritta agli elenchi CSEA, in funzione della Green Conditionality che sceglie di implementare (Fig.92):

Fig. 92
Iter per l'adempimento degli obblighi delle Aziende energivore iscritte agli elenchi CSEA.
 Fonte: ENEA, 2024

| L'impresa energivora entro la fine dell'anno T di agevolazione, dichiara le modalità con cui ottempera alle condizioni green con riferimento all'anno T | | |
|--|---|---|
| Interventi di Efficienza Energetica | Copertura del fabbisogno con Fonti di Energia Rinnovabile | Interventi di Riduzione di Gas serra |
| <p>Attuazione con investimento di almeno 1/3 entro l'anno T e completamento entro l'anno T+2 interventi delle Diagnosi con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • payback semplice non superiore a 3 anni • costo non superiore all'agevolazione dell'anno T <p>L'impresa invia ad ENEA la dichiarazione relativa alla realizzazione degli interventi effettuati con annesso caricamento di fatture nel portale Audit102 dedicato agli interventi realizzati dagli energivori</p> | <p>Copertura del 30% del fabbisogno dell'anno T (o il 50% nel caso di maggiorazione dell'agevolazione) con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • autoproduzione in sito • Garanzie d'Origine O Power Purchase Agreement <p>Adesione al sistema di certificazione della percentuale di FER di cui all'art. 9 del D.M. 224/2023</p> <p>Presentazione al GSE della dichiarazione su ottemperanza all'obbligo</p> | <p>Attuazione entro l'anno T+2 dell'investimento di almeno il 50% dell'agevolazione dell'anno T in progetti di riduzione di emissioni al di sotto del più basso tra:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 90% del parametro di riferimento per l'assegnazione gratuita delle quote di emissione nel sistema ETS • emissioni medie del 10% dei migliori impianti elencati dalla Commissione 2021/447 per prodotto. <p>Presentazione a ISPRA, entro il 31 Dicembre dell'anno T+2, della relazione asseverata del verificatore delle emissioni</p> |

2.2.2. La metodologia per la redazione delle Diagnosi Energetiche nel settore industriale

La Diagnosi Energetica è una valutazione sistematica di come l'energia viene gestita e consumata in azienda, pertanto è uno strumento propedeutico allo sviluppo di un piano di energy management, poiché veicola la comprensione dell'utilizzo e l'identificazione delle eventuali inefficienze o potenziali di miglioramento, promuovendo audit che costituiscono delle vere e proprie opportunità per le imprese in quanto consentono di stimolare strategie per ridurre i consumi e accrescere la loro competitività.

La Diagnosi energetica è disciplinata dall'Allegato 2 del D.Lgs n.102/2014, che prescrive il rispetto dei criteri per la compilazione e redazione contenuti nelle norme tecniche della serie EN 16247, quali:

- EN 16247-1 Diagnosi Energetiche – Requisiti generali
- EN 16247-2 Diagnosi Energetiche – Edifici
- EN 16247-3 Diagnosi Energetiche – Processi
- EN 16247-4 Diagnosi Energetiche – Trasporti

Devono essere rispettati alcuni criteri minimi quali:

- Utilizzare dati operativi relativi al consumo di energia aggiornati, misurati e tracciabili e sui profili di carico
- Comprendere un esame dettagliato del profilo di consumo energetico di attività o impianti industriali
- Essere proporzionate e sufficientemente rappresentativa e per consentire di tracciare un quadro fedele della prestazione energetica globale e di individuare le opportunità di miglioramento più significative

I documenti che devono essere prodotti sono di tre tipi:

- File di clusterizzazione se la Diagnosi si riferisce ad un'Azienda multisito o ad un gruppo di Aziende: si tratta di un foglio di calcolo .xlsx contiene la lista di tutti i siti produttivi oggetto di Diagnosi e i loro consumi totali (tep)
- Rapporto di Diagnosi, da redigere per ogni sito produttivo analizzato: si tratta di un documento .pdf contenente tutte le informazioni raccolte sia in termini qualitativi che quantitativi e rappresenta la documentazione che i soggetti obbligati devono inviare ad ENEA
- File di riepilogo da compilare per ogni sito produttivo analizzato: è anch'esso un foglio di calcolo Excel .xlsx contenente i dati sui consumi totali del sito, suddivisi per vettore energetico e per area funzionale e il calcolo degli indicatori energetici globali

Tale documentazione deve essere fatta pervenire all'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile ENEA attraverso l'up-loading sull'apposito Portale Audit102.

L'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile ENEA ha pubblicato le 'Linee Guida e Manuale Operativo' per accompagnare le imprese nella redazione della Diagnosi Energetica del settore industriale.

Si descrivono di seguito i principali aspetti:

- La *Clusterizzazione*.

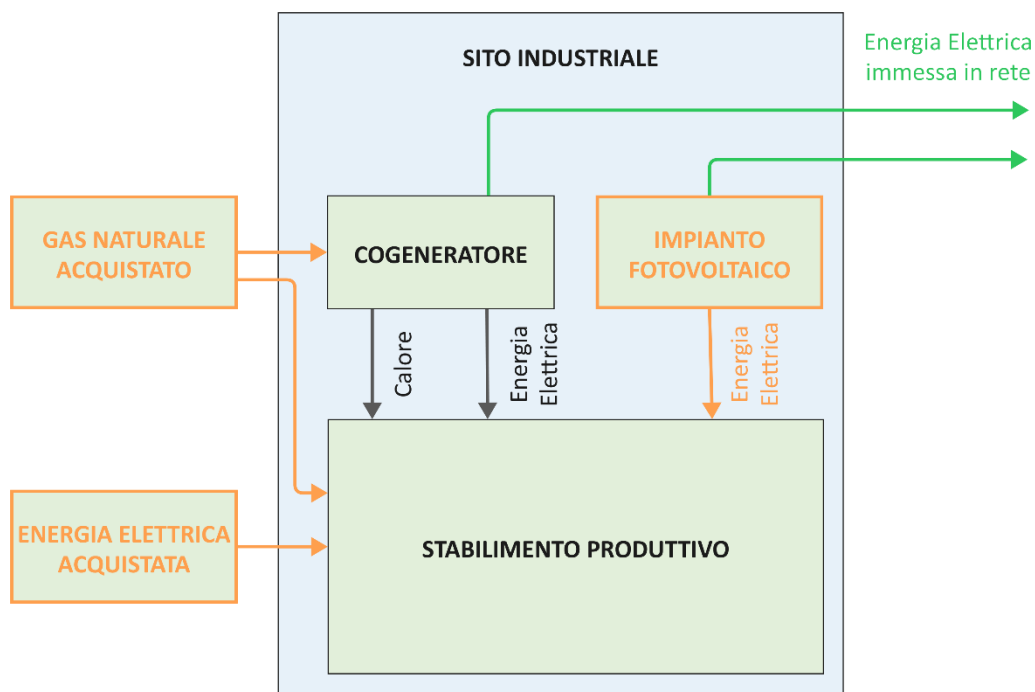
Nel caso di impresa multisito o di un gruppo di imprese, è possibile effettuare il campionamento di alcuni siti produttivi da analizzare attraverso la Diagnosi Energetica, rispettando comunque i criteri minimi di proporzionalità e rappresentatività dell'Azienda proposti da ENEA.

Per sito produttivo si intende una località geograficamente definita in cui viene prodotto un bene e/o fornito un servizio, entro la quale l'uso dell'energia è sotto il controllo dell'impresa.

Operativamente, l'impresa dovrà stilare un elenco di tutti i siti appartenenti al proprio patrimonio immobiliare (escludendo i siti ad uso residenziale), e calcolare il consumo annuo di ciascuno di essi attraverso i seguenti criteri:

- Considerare i consumi in termini di energia in ingresso al sito derivante dai combustibili e dai vettori energetici, compresi gli autoprodotti da fonti rinnovabili ed autoconsumata (Fig.93)
- Riportare i suddetti valori in consumo primario mediante gli appositi fattori di conversione in Tonnellate Equivalenti di Petrolio, di cui all'articolo 19 della Legge 10 del 1991 (circolare MISE del 18 dicembre 2014) (Tab.32)

Fig. 93
Confini del sistema per la quantificazione dell'energia in ingresso al sito da valutare nella Diagnosi Energetica.
Fonte: ENEA, 2021



| Descrizione | Unità di misura | Fattore di conversione in tep |
|-------------------|-----------------|--|
| Energia elettrica | kWh | $0,187 \times 10^{-3}$ |
| Gas naturale | Smc | $PCI \times 10^{-7}$ |
| Calore | kWh | $860/0,9 \times 10^{-7}$ |
| Freddo | kWh | $(1/ EER) \times 0,187 \times 10^{-3}$ |
| Biomassa | t | $PCI \text{ (kcal/kg)} \times 10^{-4}$ |
| Olio combustibile | t | $PCI \text{ (kcal/kg)} \times 10^{-5}$ |
| GPL | t | $PCI \text{ (kcal/kg)} \times 10^{-6}$ |
| Gasolio | t | $PCI \text{ (kcal/kg)} \times 10^{-7}$ |
| Coke di petrolio | t | $PCI \text{ (kcal/kg)} \times 10^{-8}$ |
| Altro | tep | $PCI \text{ (kcal/kg)} \times 10^{-9}$ |

Tab. 32
Elenco dei vettori energetici e dei relativi fattori di conversione in tep.
 Fonte: ENEA, 2021

Il campionamento obbliga alla Diagnosi Energetica per il settore industriale tutti i siti con consumi maggiori di 10.000 Tep, e clusterizza gli altri siti in scaglioni da 1.100 Tep di consumo. In questo modo è possibile anche effettuare delle esclusioni, secondo i seguenti criteri:

- Un numero di siti con meno di 100 Tep di consumi tale per cui il totale dei consumi non ecceda il 20% del consumo complessivo di tutti i siti dell'Azienda
- Per ogni scaglione sopra ai 100 Tep di consumo è stabilita una percentuale diversa di siti per cui è obbligatorio effettuare la Diagnosi, come si legge nella piramide in Fig.94.

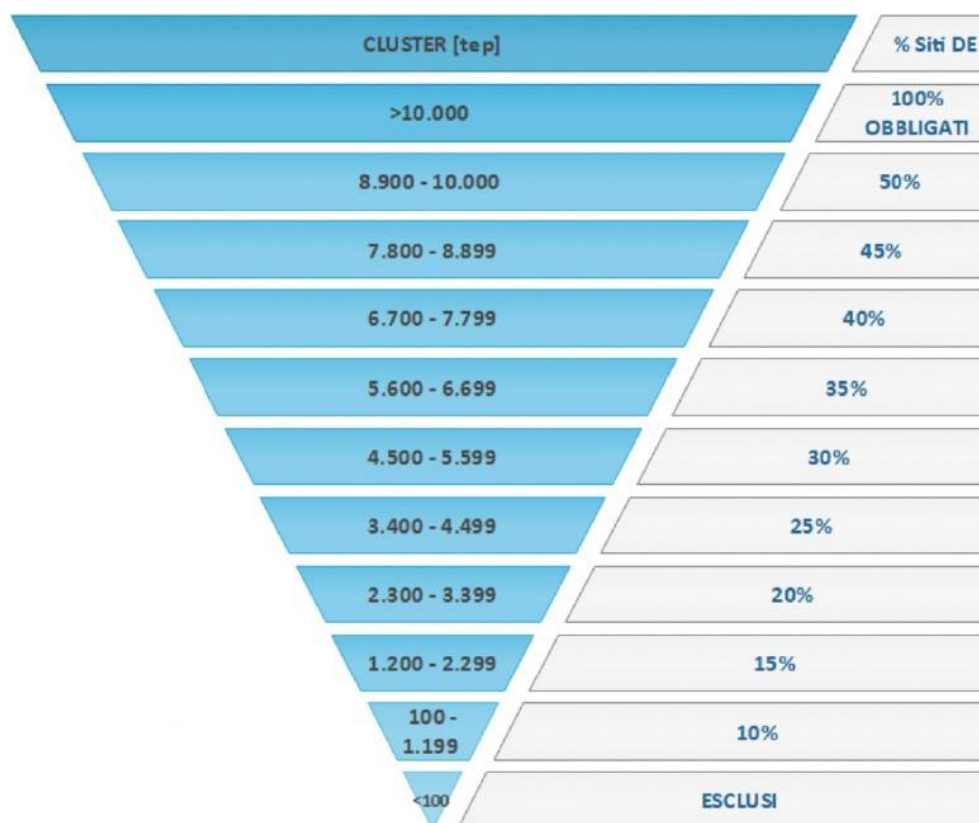


Fig. 94
Clusterizzazione attraverso fasce di campionamento per imprese industriali.
 Fonte: ENEA, 2021

- *Lo Schema energetico aziendale.*

Individua la struttura con cui vengono analizzati gli utilizzi di ciascun vettore energetico (elettrico, termico, vapore, acqua surriscaldata, etc.) all'interno del sito analizzato. Lo schema energetico dovrà essere costruito relativamente ad ogni vettore energetico acquistato e utilizzato nel sito in esame ed avrà lo scopo di suddividere i consumi annui tra le diverse utenze, realizzando un inventario dettagliato. Per ogni vettore, le utenze vengono aggregate secondo tre tipologie:

- **Attività principali:** sono le utenze legate alle attività dei processi produttivi del sito, quali le linee di produzione e i macchinari che effettivamente lavorano le risorse materiche e realizzano i prodotti
- **Attività ausiliari:** sono le utenze che pur non essendo direttamente interessate nella realizzazione di un prodotto, sono necessarie e imprescindibili per il funzionamento delle linee produttive (si pensi ad esempio all'aria compressa, che permette il movimento pneumatico dei macchinari che si trovano sulle linee di produzione).
- **Attività generali:** sono le utenze che hanno in carico i servizi che non dipendono affatto dalla produzione, e qualora venissero a mancare i processi andrebbero avanti (si pensi all'illuminazione del capannone della fabbrica o alla climatizzazione ambienti per il personale).

Lo Schema energetico aziendale descrive l'assetto dell'organizzazione e aggrega gerarchicamente le utenze delle tre attività di cui sopra distinguendo diversi livelli, come di seguito illustrato (Fig.95).

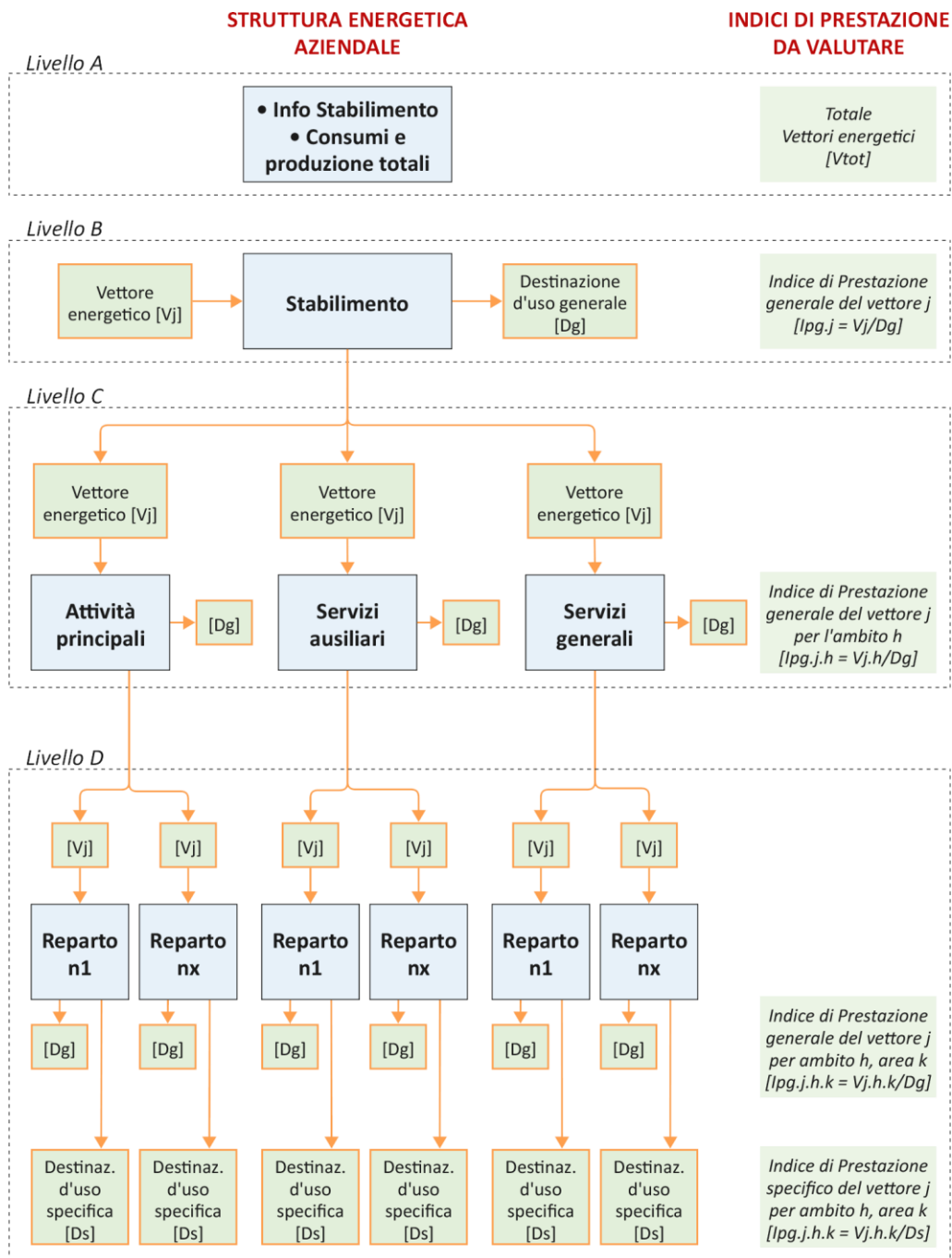


Fig. 95
 Schema della struttura energetica aziendale, dei livelli di analisi dei consumi e degli indici di prestazione da valutare.

Fonte: ENEA, 2021

- Livello A (LA).
 A questo livello vengono identificati l'insieme dei vettori energetici che "entrano" in azienda in maniera diretta, ovvero sono oggetto di fornitura esterna e non di trasformazione interna all'azienda stessa. La definizione del livello A permette quindi di capire quante strutture ad albero dovranno essere realizzate. Ad esempio se l'azienda utilizza soltanto due vettori energetici, come l'energia elettrica e il gas naturale, si creeranno due strutture energetiche aziendali. Si stabilisce inoltre quale unità di misura assegnare alla 'Destinazione d'uso generale', ovvero alla produzione, in relazione al tipo di prodotto

che realizza (si pensi alle tonnellate di prodotto, o alle volumetrie ...) che servirà successivamente per valutare gli indicatori di performance, di cui si parlerà in seguito.

In questo livello viene attribuita anche un'identità anagrafica all'organizzazione in termini di informazioni di cui si parlerà in seguito.

- Livello B (LB).

Questo livello costituisce il punto di estrema sintesi della struttura energetica relativa a ciascun vettore. Vi è dunque un livello B per ogni vettore utilizzato in Azienda. E si prendono in considerazione quindi anche i vettori energetici autoprodotti dall'Azienda e non solo quelli acquistati (si pensi al caso di impianto fotovoltaico o ai vettori in uscita dalla cogenerazione o trigenerazione)

- Livello C (LC).

A questo livello ogni vettore energetico in esame viene suddiviso nelle macro aree dettagliate in precedenza: attività principali, attività ausiliari, attività generali.

- Livello D (LD).

A questo livello viene analizzata, per ogni vettore energetico, la singola area funzionale in cui ogni macroarea del livello C è suddivisa, esprimendo specifici sottoinsiemi logici e funzionali con cui l'organizzazione è strutturata.

Si specifica che a questo livello gli indicatori di performance si basano su '*Destinazioni d'uso specifiche*', legate agli output della specifica utenza presa in considerazione e quindi possono non riferirsi all'unità di misura della produzione o, in ogni caso, anche quando si relazionano alla produzione si concentrano sulla quota a carico della specifica linea analizzata e non al quantitativo complessivo come ai livelli superiori. Gli indicatori di performance saranno di conseguenza '*Indicatori prestazionali specifici*'.

A questo livello, i singoli macchinari e le singole tecnologie utilizzate vanno confrontate con gli indici di prestazione rappresentati dagli standard di mercato e disponibili in letteratura (es. Best Available Techniques).

- *I Modelli Energetici.*

È opportuno visualizzare un modello relativamente ad ogni vettore energetico (elettrico, termico, combustibili, etc.) acquistato e utilizzato nel sito con lo scopo di suddividere i consumi annui del vettore specifico tra le diverse utenze presenti nel sito stesso. Il modello permette di visualizzare l'inventario degli assorbimenti delle utenze al fine di comprenderne il peso all'interno dell'organizzazione e individuare i maggiori consumi su cui è necessario intervenire con progetti di efficientamento.

- *Il Benchmarking e gli Indici di Prestazione Energetica.*

Molto importante è la valutazione degli indici di prestazione energetica e il loro confronto con i benchmark di settore. Il benchmarking è uno strumento

strategico che ha l'obiettivo di individuare possibilità di miglioramento attraverso il confronto sistematico delle prestazioni della propria attività con quelle dei best performers.

Il Benchmark può essere di due tipi:

- Benchmark interno: la valutazione delle performances viene effettuata confrontando i propri trend attuali rispetto a delle baseline tratte da dati storici
- Benchmark esterno: la valutazione delle performances viene effettuata rispetto ai risultati di altri operatori del settore. Sono utili a questo scopo i confronti con report e analisi fornite dalla letteratura

Alla base del benchmarking è importante normalizzare il dato sui consumi energetici, ricavando un Energy Performance Indicator (EnPI) o IPE (Indice di Prestazione Energetica). In tal modo vengono individuati valori di riferimento tali da permettere alle aziende di pianificare in modo appropriato la propria politica energetica. Tali valori possono essere relativi all'intero sito produttivo, come nel caso dell'*Indice di Prestazione Energetica Generale (Ipg)* relativo alla *Destinazione d'uso generale* a Livello B (LB) o C (LC), o a un singolo processo produttivo, a un'area/reparto aziendale, a una singola fase del processo, come nel caso degli *Indici di Prestazione Energetica Specifici (Ips)* relativi alla *Destinazioni d'uso specifiche* a Livello D (LD). L'IPE assume solitamente la forma di un consumo specifico, avendo come denominatore l'energy driver (ovvero il fattore per il quale viene richiesta energia, come ad esempio le tonnellate di prodotto) e come numeratore il consumo di energia.

- L'identificazione delle *opportunità di risparmio energetico*.

La diagnosi energetica mira a identificare opportunità di risparmio energetico all'interno delle aziende attraverso quattro principali linee di intervento:

- Valutazione di combustibili alternativi: selezionare combustibili che migliorano la conversione energetica, riducendo sprechi e aumentando l'efficienza.
- Sistemi di conversione dell'energia: ottimizzare componenti come scambiatori di calore o processi di combustione, ad esempio riducendo l'eccesso d'aria durante la combustione.
- Distribuzione dell'energia: efficientare trasformatori, cavi, sistemi elettrici e di raffreddamento, migliorando anche il fattore di potenza.
- Energia nei processi aziendali: analizzare i processi produttivi per individuare possibilità di recupero e integrazione energetica, spesso la principale area di miglioramento.

Questi interventi contribuiscono a ottimizzare i consumi e ridurre l'impatto ambientale dell'azienda. Viene richiesto di avanzare proposte di interventi migliorativi, considerando:

- Fattibilità tecnico economica
- Tempo di Ritorno semplice (Pay Back Period)
- Valore attuale netto (VAN)

- Tasso Interno di Rendimento (TIR)
- *Altre informazioni.*

Nel Report di Diagnosi viene richiesto di inserire le informazioni anagrafiche e rendicontate le descrizioni delle attività, del sistema di monitoraggio e gli inventari degli impianti. Nello specifico, si devono indicare:

- Denominazione
- Ubicazione
- Partita IVA
- Settore merceologico (codice ATECO)
- Classificazione azienda: numero dipendenti, fatturato, appartenenza alle imprese a forte consumo di energia, etc.
- Periodo di riferimento dei dati comunicati
- Quantitativo e unità di misura della destinazione d'uso generale dell'azienda (Dg)
- Planimetria aziendale, anche semplificata, con individuazione di: attività principali, servizi ausiliari e servizi generali
- Descrizione dell'attività aziendale che dovrà essere coerente con quanto sarà articolato nel livello "C", ovvero si dovranno distinguere le attività principali, i servizi ausiliari e i servizi generali
- Lista degli impianti generali e ausiliari
- Descrizione del sistema di monitoraggio, di cui si parlerà più approfonditamente in seguito.

2.2.3. Scenari evolutivi delle Diagnosi Energetiche

La Normativa UNI CEI EN 16247-1: 2022 definisce la diagnosi energetica come 'ispezione e analisi sistematiche dell'uso e del consumo di energia di un sito, edificio, sistema o organizzazione con l'obiettivo di identificare i flussi di energia e il potenziale di miglioramento dell'efficienza energetica e comunicarli'. Tale pratica è sempre più richiesta per l'accesso ai bandi legati alla transizione energetica e quindi all'ottenimento di finanziamenti per progetti di efficientamento energetico e di decarbonizzazione.

Sin dagli esordi, ci si è concentrati sulla quantificazione del fabbisogno dell'energia e sull'identificazione di azioni per ridurre i consumi relativamente ai vettori energetici prelevati dai fornitori, quali l'energia elettrica attraverso il POD e i combustibili fossili attraverso il PDR. Le performance dei processi e i relativi benchmark si sono sempre riferiti al prodotto finito in uscita dai cicli di produzione.

A fronte di una diffusione sempre più massiccia delle tecnologie di autoproduzione energetica, quali:

- le fonti rinnovabili (impianti solari, fotovoltaici, solari termici, biomassa)
- la cogenerazione e trigenerazione (che benché utilizzino combustibili fossili autoproducono elettricità riducendone il prelievo dalla rete)

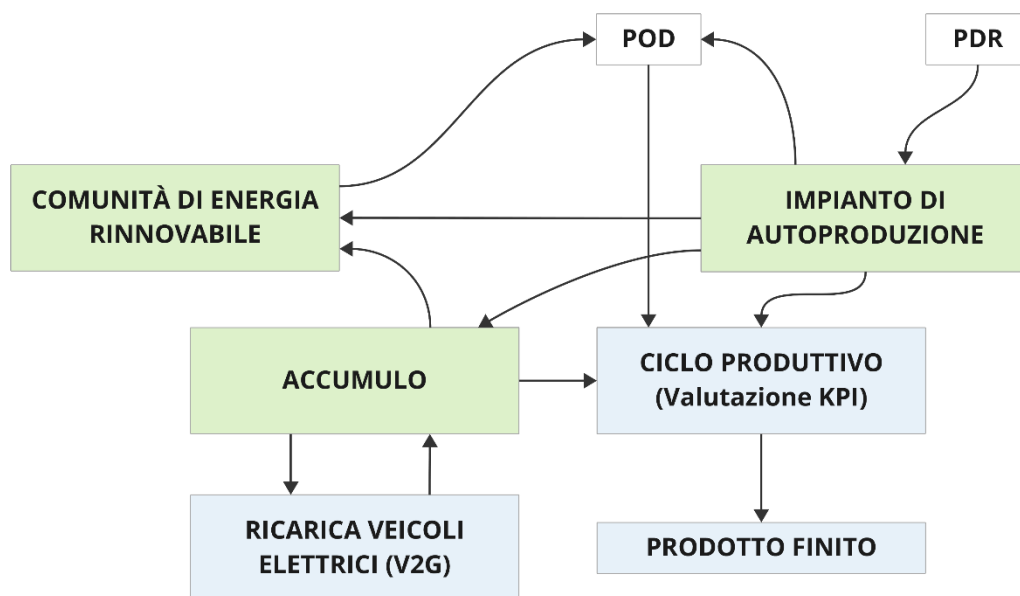
si sono aggiunti nuovi elementi di complessità che necessitano di revisionare il modo di considerare i Key Performance Indicators nelle Diagnosi Energetiche, introducendo una valutazione del consumo di energia primaria sull'unità di prodotto che distingua il tipo di approvvigionamento. In altre parole, la disponibilità di impianti di autoproduzione dovrebbe influire sugli indici di performance rispetto alla condizione iniziale di approvvigionamento energetico da fornitori esterni e dal sistema centralizzato.

Dal 2020 la complessità del sistema si è evoluta ancora di più attraverso:

- L'introduzione delle Comunità Energetiche Rinnovabili, per cui i fattori che andrebbero considerati nelle performance energetiche dovrebbero anche comprendere le eccedenze di autoproduzione che, immessa in rete, va a beneficio degli altri membri.
- L'evoluzione dei sistemi di accumulo che massimizzano il consumo di energia autoprodotta e possono eventualmente essere destinati:
 - All'alimentazione dei processi di produzione
 - alla ricarica delle autovetture aziendali (che a loro volta, hanno la possibilità di scambiare energia attraverso il V2G 'Vehicle to Grid')

Il nuovo perimetro del sistema in cui valutare gli usi di energia nelle diagnosi energetiche dovrebbe tenere conto, dunque, del seguente schema (Fig.96):

Fig. 96
 Schema dei possibili
 confini del sistema
 futuri di valutazione
 delle prestazioni dei siti
 produttivi nelle
 Diagnosi Energetiche.



Si potrebbero quindi valutare anche KPI relativi ai diversi target cui mirano le policies, quali:

- Riduzione consumi energia primaria
- Diminuzione dell'utilizzo delle fonti fossili
- Decarbonizzazione dei processi produttivi
- Riduzione della povertà energetica
- Sovranità energetica
- Riduzione dell'inquinamento urbano ed extraurbano

2.3. La valutazione delle performances energetiche attraverso la redazione della Diagnosi per il caso studio aziendale

2.3.1. Il controllo prestazionale dei processi produttivi attraverso il confronto con le Best Available Techniques pubblicate dalla Comunità Europea

Nel contesto della ricerca dottorale è stata svolta un'attività in Azienda di aiuto e supporto alla raccolta dei dati e alla redazione delle Diagnosi Energetiche di una Grande Impresa multinazionale multisito del settore Agroalimentare, poiché il 2023 è stato l'anno in cui si è inaugurato il terzo ciclo di raccolta delle Diagnosi Energetiche da parte di ENEA, prassi iniziata nel 2015, anno successivo all'emanazione del D.Lgs 102/2014, con cadenza quadriennale.

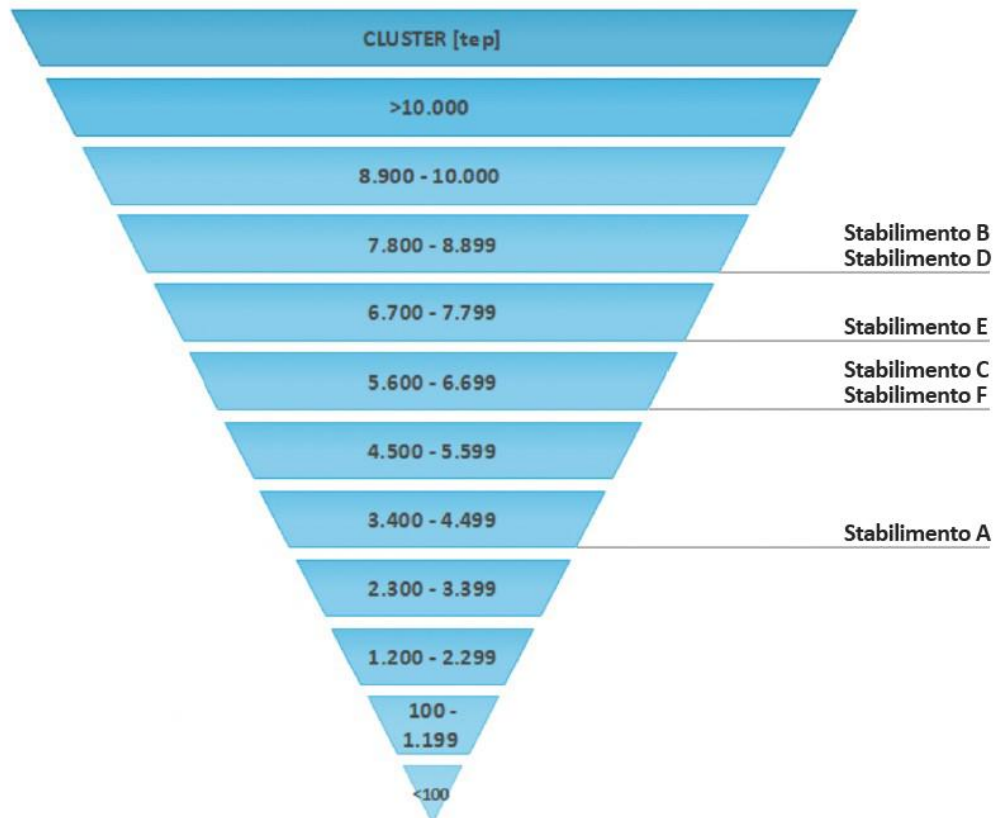
L'Azienda costituisce un caso virtuoso in tema di conformità con le normative in materia energetica, poiché si è premurata in autonomia di redigere piani di efficientamento energetico già dal 2004, dieci anni prima dell'uscita delle normative vincolanti sulla redazione della Diagnosi Energetica e anticipando di sette anni la prima versione dello standard ISO 50001 per i Sistemi di Gestione dell'Energia, quando ha avviato il progetto di risparmio energetico ESP (Energy Saving Project). Inoltre, ha successivamente adottato per tutti gli stabilimenti italiani un Sistema di Gestione dell'Energia certificato ISO 50001, per il quale pratica periodici audit di rinnovo, in coerenza con i principi del ciclo di Deming, metodo di gestione iterativa su cui lo standard internazionale si basa. Si riporta di seguito la cronologia con cui i vari siti dell'Azienda hanno ottenuto la certificazione per il loro Sistema di Gestione dell'Energia, considerando il solo settore Bakery. (Tab.33).

| | Stabilimento | Anno di certificazione ISO 50001 |
|----------------|----------------|----------------------------------|
| Settore Bakery | Stabilimento A | 2015 |
| | Stabilimento B | 2017 |
| | Stabilimento C | 2013 |
| | Stabilimento D | 2018 |
| | Stabilimento E | 2018 |
| | Stabilimento F | 2016 |

Tab. 33
Anno di certificazione ISO 50001 del Sistema di Gestione dell'Energia per i diversi stabilimenti del settore Bakery.
Fonte: Azienda caso studio, 2019

Inoltre, per quanto attiene alla Diagnosi Energetica di cui al D.Lgs 102/2014, l'Azienda ad ogni tornata si è posta l'obiettivo di redigere e inviare ad ENEA i documenti relativi a tutti i 15 siti, benché la clusterizzazione consenta per legge di stringere la selezione, come si è spiegato in precedenza. In questa tesi si riporta la clusterizzazione dei siti del solo settore Bakery (Fig.97).

Fig. 97
 Clusterizzazione degli
 Stabilimenti bakery
 comunicata ad ENEA.
 Fonte: Azienda cas
 studio, 2023



L'Azienda è in regola con gli adempimenti di legge, attenzionati da Esperti in Gestione dell'Energia (EGE) certificati che costituiscono risorse interne e non figure esterne delegate. La Diagnosi Energetica per ogni sito è stato frutto di un lavoro che ha coinvolto gli E.G.E. apicali della sede centrale e Responsabili dei vari stabilimenti quali il Direttore, il Responsabile di Area Tecnica e il Responsabile HSE&E.

L'azienda, già introdotta nel primo capitolo, riassume tre settori merceologici all'interno di un'unica partita IVA, che comprende Pasta (fresca e secca) e sughi, prodotti da forno (bakery) e Stabilimenti Molitori (Mulini).

Vengono presentati in questa sezione i principali risultati emersi attraverso la redazione delle Diagnosi Energetiche, a partire dal confronto che si è effettuato tra le performances dei vari siti, ognuno rispetto al settore merceologico di afferenza, con le 'Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Food, Drink and Milk Industries', pubblicate dal Joint Research Centre della Commissione Europea nel 2019, suggerite nelle Linee Guida ENEA per la Diagnosi Energetica.

Stringendo il perimetro di indagine al settore dei prodotti da forno, il documento delle Best Available Techniques presenta i risultati di una ricerca condotta per due anni su 51 forni diversi, e riporta un range ampio di indicatori energetici poiché nei processi industriali diverse possono essere i cicli di cottura scelti e le tecnologie, alimentate da vettori energetici diversi, tra cui si annoverano:

- Forni a riscaldamento diretto, che generalmente utilizzano come combustibili gas naturale, propano e butano. In questa tecnologia l'aria e i gas di combustione vengono riciccolati per convezione naturale o tramite ventole attorno al prodotto da cuocere e la temperatura nel forno viene controllata regolando le portate di aria e combustibile verso il bruciatore. Il gas viene bruciato in 'bruciatori a nastro' sopra o talvolta sotto il nastro trasportatore e il prodotto. I vantaggi dei forni a riscaldamento diretto sono i loro brevi tempi di cottura, le elevate efficienze termiche, l'avvio rapido e il buon controllo della temperatura, ma è indispensabile una buona gestione e cura per prevenire la contaminazione del cibo da parte di prodotti di combustione indesiderati.
- Forni a riscaldamento indiretto, in cui il riscaldamento dell'aria nella camera di cottura avviene tramite uno scambiatore di calore, vapore o combustione di un combustibile. L'aria nella camera di cottura viene solitamente ricircolata attraverso la stessa e attraverso lo scambiatore di calore. Altri metodi includono il passaggio dei gas di combustione attraverso tubi radiatori nella camera di cottura, o la combustione del combustibile tra pareti doppie, con evacuazione dei gas di combustione dalla parte superiore del forno.
- Forni elettrici, riscaldati per induzione o tramite piastre o barre radianti

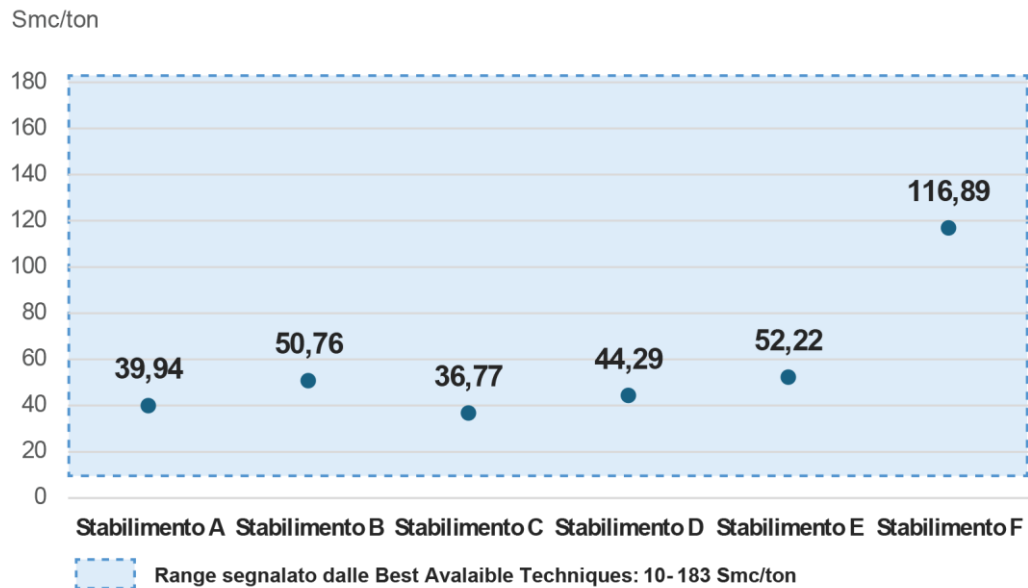
Tutti i tipi di forni possono essere:

- Forni a lotti, in cui vengono il riscaldamento interessa le pareti e la base
- Forni continui, in cui i radiatori sono posizionati sopra, lungo e sotto il nastro trasportatore, i quali comportano meno costi di manodopera e evitano i rischi di non uniformità nei tempi di cottura causata da ritardi nel carico e nello scarico del forno, che invece può avvenire nei forni a lotti.

Il documento riporta un range di energia termica necessaria alla cottura che va da 0,110 a 2 kWh/kg di prodotto.

L'Azienda ha un capillare sistema di monitoraggio dei consumi di gas sulle linee di produzione, pertanto è stato possibile ricavare gli indicatori di performances per ogni singola linea in ogni sito produttivo, aggregare i risultati a livello di stabilimento e confrontarli con il range proposto nel documento delle Best Available Techniques, al fine di valutare l'Azienda rispetto al benchmark esterno, come raccomandato dalle linee guida per le Diagnosi Energetiche (Fig.98). Si segnala che è stata effettuata la conversione tra le unità di misura proposte nel documento di riferimento delle Best Available Techniques, kWh/kg, e le unità di misura su cui si sono basate tutte le Diagnosi Energetiche, Smc/t:

Fig. 98
Key Performance Indicators del consumo di gas delle linee di produzione degli stabilimenti bakery e confronto con le Best Available Techniques.
Fonte: Azienda caso studio, 2023



Si riporta la metodologia seguita per ogni singolo stabilimento, prendendo come esempio lo Stabilimento A:

- Fase 1: Raccolta dei dati misurati dei consumi di gas naturale, espressi in Standard metri cubi, per il forno di ogni linea produttiva, monitorati attraverso il sistema di meter in campo che raggiungono una precisione del quarto d'ora. Si sono aggregati i dati a livello mensile (Tab.34):

Tab. 34
Consumi di gas mensili e dell'anno 2022 divisi per linee di produzione nello Stabilimento A.
Fonte: Azienda caso studio, 2023

| | Consumi di gas (Smc) per linea di produzione del 2022 | | | | |
|---------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Forno linea 1 | Forno linea 2 | Forno linea 3 | Forno linea 4 | Forno linea 5 |
| gen | 49.493 | 16.648 | 20.178 | 8.069 | 11.100 |
| feb | 46.802 | 22.746 | 22.666 | 8.222 | 17.818 |
| mar | 53.810 | 24.099 | 30.128 | 8.617 | 21.757 |
| apr | 47.576 | 19.642 | 24.996 | 7.469 | 14.893 |
| mag | 54.786 | 17.524 | 22.765 | 9.761 | 23.299 |
| giu | 26.972 | 19.001 | 26.943 | 9.299 | 18.173 |
| lug | 43.140 | 20.894 | 20.285 | 6.991 | 19.209 |
| ago | 51.844 | 27.554 | 30.408 | 7.963 | 19.250 |
| set | 57.059 | 34.533 | 31.172 | 8.561 | 24.023 |
| ott | 56.737 | 25.683 | 27.318 | 9.006 | 25.043 |
| nov | 54.361 | 26.512 | 24.495 | 11.816 | 13.873 |
| dic | 56.011 | 21.956 | 23.765 | 7.834 | 15.663 |
| totale | 598.593 | 276.792 | 305.118 | 103.608 | 224.100 |

- Fase 2: Raccolta dei dati misurati della produzione, espressi in tonnellate di prodotto. Anche in questo caso i dati sono stati aggregati a livello mensile (Tab.35):

| Volumi per linea di produzione del 2022 | | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Forno linea 1 | Forno linea 2 | Forno linea 3 | Forno linea 4 | Forno linea 5 |
| gen | 20.178 | 365 | 296 | 106 | 277 |
| feb | 22.666 | 495 | 335 | 105 | 430 |
| mar | 30.128 | 553 | 451 | 113 | 545 |
| apr | 24.996 | 366 | 366 | 92 | 340 |
| mag | 22.765 | 367 | 323 | 110 | 537 |
| giu | 26.943 | 397 | 377 | 116 | 431 |
| lug | 20.285 | 420 | 277 | 82 | 437 |
| ago | 30.408 | 591 | 444 | 120 | 454 |
| set | 31.172 | 732 | 427 | 123 | 535 |
| ott | 27.318 | 532 | 361 | 106 | 583 |
| nov | 24.495 | 578 | 347 | 136 | 313 |
| dic | 23.765 | 447 | 337 | 100 | 378 |
| totale | 305.118 | 5.843 | 4.340 | 1.309 | 5.260 |

Tab. 35
Volumi prodotti mensili e dell'anno 2022 divisi per linee di produzione nello Stabilimento A.
Fonte: Azienda caso studio, 2023

- Fase 3: Calcolo dei Key Performance Indicator (KPI) dei consumi di gas naturale su tonnellata di prodotto, per il forno di ogni linea produttiva e confronto con il range proposto nelle Best Available Techniques (Tab.36):

| | KPI dei consumi di gas (Smc/t) per linea di produzione del 2022 | | | | | Range proposto dalle BAT |
|---------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------|
| | linea 1 | linea 2 | linea 3 | linea 4 | linea 5 | 10 - 183 Smc/t |
| gen | 27,24 | 45,61 | 68,24 | 75,97 | 40,05 | Verificato |
| feb | 27,07 | 46,00 | 67,70 | 78,58 | 41,41 | Verificato |
| mar | 26,94 | 43,58 | 66,80 | 76,26 | 39,92 | Verificato |
| apr | 27,21 | 53,67 | 68,30 | 81,18 | 43,80 | Verificato |
| mag | 28,69 | 47,75 | 70,48 | 88,74 | 43,39 | Verificato |
| giu | 29,98 | 47,86 | 71,47 | 80,17 | 42,17 | Verificato |
| lug | 29,35 | 49,75 | 73,23 | 85,32 | 43,96 | Verificato |
| ago | 30,26 | 46,62 | 68,49 | 66,57 | 42,40 | Verificato |
| set | 30,42 | 47,18 | 73,00 | 69,66 | 44,90 | Verificato |
| ott | 29,34 | 48,28 | 75,67 | 84,62 | 42,96 | Verificato |
| nov | 28,27 | 45,87 | 70,59 | 86,89 | 44,32 | Verificato |
| dic | 28,15 | 49,12 | 70,52 | 78,42 | 41,44 | Verificato |
| totale | 28,50 | 47,38 | 70,30 | 79,17 | 42,60 | Verificato |

Tab. 36
Key Performance Indicators del consumo di gas mensile e dell'anno 2022 divisi per linee di produzione nello Stabilimento A e confronto con le Best Available Techniques.
Fonte: Azienda caso studio, 2023

- Fase 4: Utilizzo della media dei dati aggregati a livello annuale per ottenere un unico KPI dei consumi dei forni delle linee produttive rappresentativo dello stabilimento, per poter ricavare un dato unico confrontabile con gli altri stabilimenti (Tab.37):

Tab. 37
 Key Performance Indicators del consumo di gas del totale delle linee di produzione nello Stabilimento A nell'anno 2022 e confronto con le Best Available Techniques.
 Fonte: Azienda caso studio, 2023

| | |
|--|-----------------------------------|
| Consumi di gas (Smc) totali annui di tutte le linee di produz. del 2022 | Range del KPI proposto dalle BAT: |
| 1.508.210 | |
| Volumi (Tons) totali annui di tutte le linee di produzione del 2022 | 10 - 183 Smc/t |
| 37.758 | |
| KPI di stabilimento per i consumi di gas (Smc/t) del 2022 | Verificato |
| 39,94 | |

Ai fini degli adempimenti della diagnosi energetica, si è effettuato anche il calcolo di benchmark interni all'Azienda, aggregando gli stabilimenti della stessa categoria merceologica, e sono stati espressi attraverso gli indici di prestazione generali Ipg relativi ai due principali consumi energetici: il vettore elettrico e il quantitativo di gas naturale. Gli indici di prestazione energetica generali si riferiscono al totale dei consumi energetici di stabilimento rispetto al totale delle tonnellate prodotte nell'anno. Si riportano i risultati del settore Bakery per il 2022 (Figg.99,100):

Fig. 100
 Benchmark interno all'Azienda relativo ai Key Performance Indicators del consumo di gas complessivo degli stabilimenti bakery.
 Fonte: Azienda caso studio, 2023

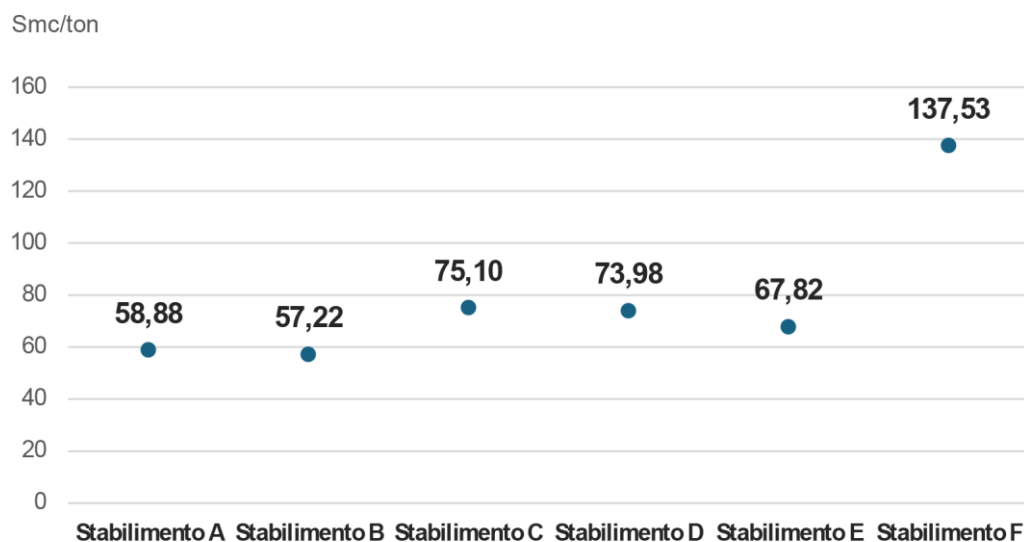
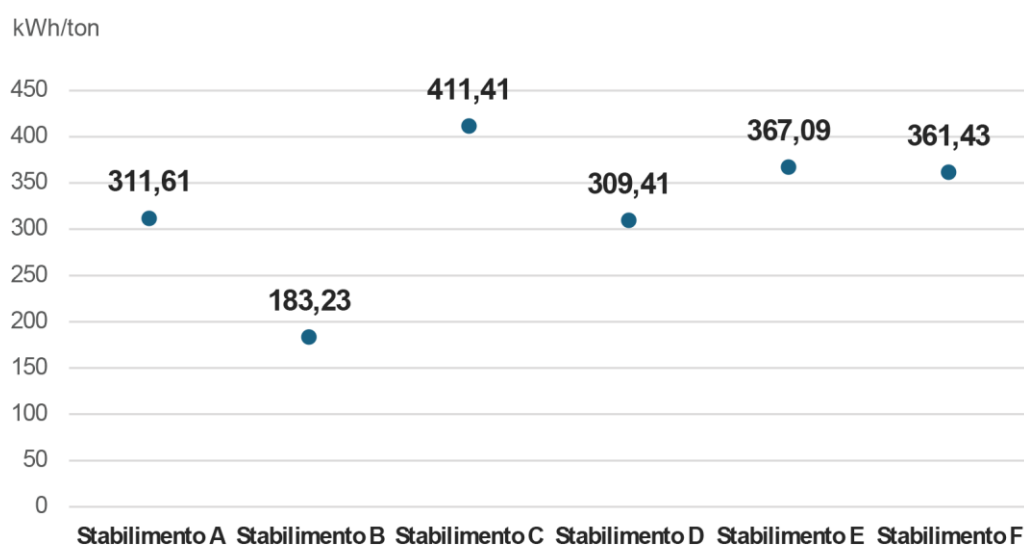


Fig. 99
 Benchmark interno all'Azienda relativo ai Key Performance Indicators del consumo elettrico complessivo degli stabilimenti bakery.
 Fonte: Azienda caso studio, 2023



Ai fini di un controllo più capillare, il Benchmark interno è stato analizzato non solo tra i siti, ma anche nell'ambito del perimetro di ogni singolo stabilimento, attraverso un'analisi basata sui KPI dei consumi mensili e il confronto tra l'anno di rendicontazione delle Diagnosi Energetica e il precedente, considerato come baseline, al fine di apprezzare i trend e poter avanzare eventualmente delle considerazioni. Si riporta un esempio di tale confronto, relativo al KPI del vettore energetico elettrico (kWh/t) e al KPI dei consumi di gas naturale (Smc/t) dello Stabilimento A (Figg.101, 102):

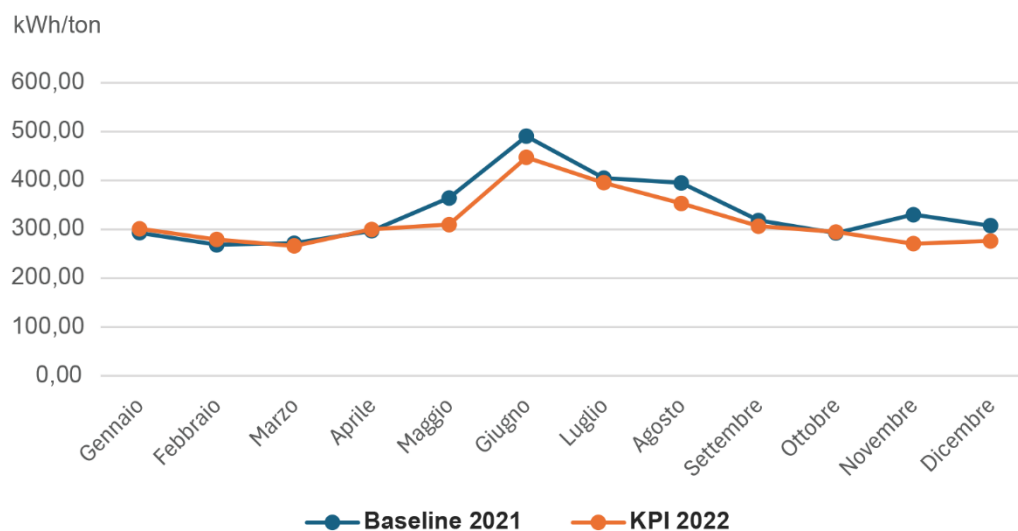


Fig. 101
Confronto del KPI dei consumi elettrici mensili della baseline del 2021 e dell'anno 2022 dello Stabilimento A.
Fonte: Azienda caso studio, 2023

L'andamento del KPI è variabile poiché d'estate una notevole parte di elettricità viene assorbita dalla climatizzazione estiva, aumentando i consumi totali dello stabilimento sulla tonnellata prodotta. Rispetto alla baseline individuata per l'anno 2021, nel 2022 si sono registrati valori complessivamente migliorativi.

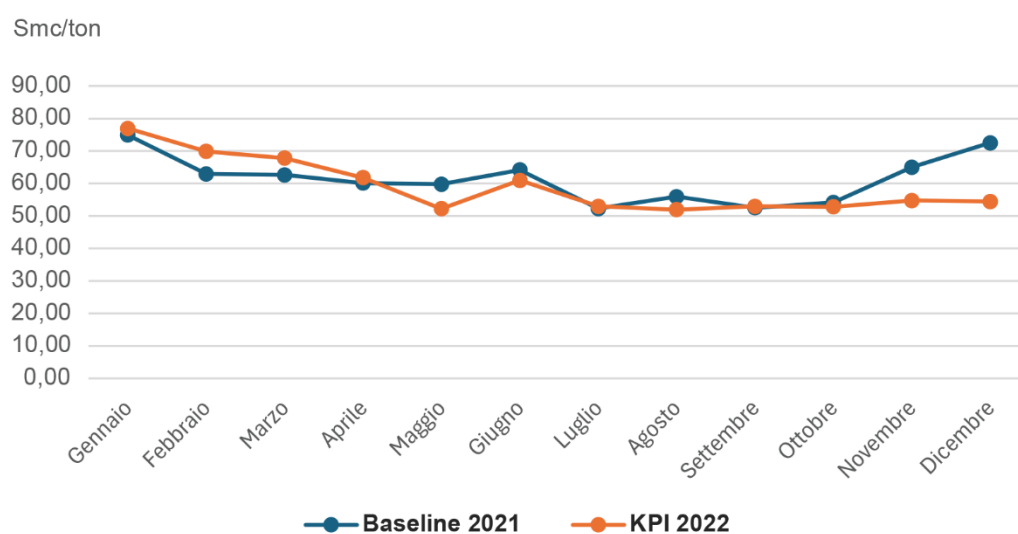


Fig. 102
Confronto del KPI dei consumi di gas mensili della baseline del 2021 e dell'anno 2022 dello Stabilimento A.
Fonte: Azienda caso studio, 2023

Il KPI gas presenta valori tendenzialmente migliorativi rispetto a quelli della baseline individuata per il 2021, fatta eccezione per i mesi da gennaio ad aprile.

2.3.2. Principali progetti di miglioramento pianificati e implementati

Si riporta di seguito una panoramica degli interventi di miglioramento energetico svolti nei diversi siti italiani, in relazione ai settori ATECO 10.72.00 'Produzione di fette biscottate e di biscotti, produzione di prodotti di pasticceria conservati' di attività dell'Azienda. Si intende distinguere:

- Gli interventi che hanno caratterizzato nel tempo un miglioramento dal punto di vista dell'approvvigionamento dell'energia, e che hanno portato allo stato dell'arte del 2022 come rendicontato ad ENEA
- Gli interventi di efficientamento energetico specifici eseguiti nel triennio dal 2020 al 2022, periodo di riferimento espressamente richiesto dall'ultima Diagnosi Energetica, quantificando i risparmi ottenuti, trasmessi anch'essi all'ENEA.

Per quanto riguarda l'approvvigionamento energetico, l'Azienda, al 2022 ha vantato i seguenti sistemi (Tab.38):

Tab. 38
Ricognizione delle fonti di approvvigionamento energetico per l'anno 2022 e dei progetti futuri nei totali degli Stabilimenti del settore bakery.
Fonte: Azienda caso studio, 2023

| | STABILIMENTI | Approvvigionamento energetico 2022 | | PROGETTI FUTURI | |
|--------|----------------|--------------------------------------|--|-----------------|---|
| | | Eneriga Elettrica | Energia Termica | | |
| BAKERY | Stabilimento A | Acquisti G.O. da fonte idroelettrica | | | |
| | Stabilimento B | Acquisti G.O. da fonte idroelettrica | | | |
| | Stabilimento C | Acquisti G.O. da fonte idroelettrica | | | |
| | Stabilimento D | Acquisti G.O. da fonte idroelettrica | | Gas Naturale | Ampliamento FOTOVOLTAICO [Potenza complessiva 1,5 MW _p con previsione di 1.842.091 kWh/anno] |
| | | FOTOVOLTAICO | 207,36 kW _p [768 pannelli, 1305,6 mq] | Gas Naturale | |
| | Stabilimento E | Acquisti G.O. da fonte idroelettrica | | Gas Naturale | |
| | Stabilimento F | Acquisti G.O. da fonte idroelettrica | | Gas Naturale | Installazione FOTOVOLTAICO [Potenza complessiva 320 kW _p] |

Mentre per i siti di altri settori sono stati implementati impianti di cogenerazione e trigenerazione alimentati a gas naturale, con i quali soddisfano il proprio fabbisogno energetico, immettendo una quota eccedente di produzione elettrica in rete, per quanto riguarda il settore bakery, non vi è stata considerata la necessità, avendo raggiunto l'obiettivo aziendale della copertura del fabbisogno elettrico attraverso acquisti da fonte rinnovabile, certificati Garanzia d'Origine da idroelettrico. Tuttavia, nello Stabilimento di D è già stato installato un impianto per l'autoproduzione elettrica, e tra i progetti futuri vi saranno nuove installazioni fotovoltaiche anche nello Stabilimento F. Il fabbisogno termico resta ancora legato al gas naturale, che alimenta

le dotazioni tecnologiche dei processi produttivi a garanzia dei target di qualità del prodotto che l’Azienda ha consolidato nel tempo, e per le quali si attenziona costantemente strategie di efficientamento finalizzate a ridurre i consumi.

Per quanto riguarda gli interventi di efficientamento energetico realizzati, si riporta di seguito una lista dei principali interventi svolti, con l’evidenza dei risparmi misurati, distinguendo l’ambito afferente ai consumi di energia elettrica da quello relativo all’energia termica. Si dividono gli interventi nei tre livelli funzionali che caratterizzano la struttura energetica dell’Azienda come categorizzata dalla normativa sulla Diagnosi Energetica.

- Attività principali
- Attività ausiliari
- Attività generali

Si riportano solo alcuni degli interventi di efficientamento per la riduzione dei consumi elettrici, realizzati nel corso del triennio 2020-2022 e la quantificazione dei risparmi annui misurati (Tab.39).

| | | Alcuni interventi realizzati a seguito delle Diagnosi Energetiche presentate nel 2019 e risparmi conseguiti [kWh _e /anno] | | | | | |
|-----------|----------------|--|-------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| | | Impianti generali | Impianti ausiliari | | | Impianti di processo | Risparmi totali |
| STABILIM. | | Illuminaz. LED | Automaz. centrale frigo | Automaz. UTA ambiente | Ripristini fughe di aria compressa | Installaz. nuovo frigo | Tot. [kWh _e] |
| BAKERY | Stabilimento A | 12.717 | 400.000 | | | 11.400 | 424.117 |
| | Stabilimento B | 21.000 | | | | | 21.000 |
| | Stabilimento C | | 1.200.000 | | | | 1.200.000 |
| | Stabilimento D | | | | | 73.000 | 73.000 |
| | Stabilimento E | | | | | | |
| | Stabilimento F | | | | | 267.000 | 267.000 |

Tab. 39
Ricognizione di alcuni interventi realizzati nell’ambito elettrico a seguito delle Diagnosi Energetiche presentate nel 2019 e quantificazione dei risparmi annui conseguiti negli Stabilimenti del settore bakery.

Fonte: Azienda caso studio, 2023

Si riportano solo alcuni degli interventi di efficientamento per la riduzione dei consumi termici, realizzati nel corso del triennio 2020-2022 e la quantificazione dei risparmi annui misurati (Tab.40).

Tab. 40
*Ricognizione di alcuni
interventi realizzati
nell'ambito termico a
seguito delle Diagnosi
Energetiche presentate
nel 2019 e
quantificazione dei
risparmi annui
conseguiti negli
Stabilimenti del settore
bakery.*
Fonte: Azienda caso
studio, 2023

| Alcuni interventi realizzati a seguito delle Diagnosi Energetiche presentate nel | | | | | | | | |
|--|---|---|------------------------------------|---|----------------------|------------------------|--|-----------------|
| SITI | Impianti generali | | Impianti ausiliari | | Impianti di processo | | | Risparmi totali |
| | Ottimizzaz. impianto di riscaldam. ambienti | Sostituz. Scambiat. di calore in centrale | Coibentaz. valvole circuito vapore | Installaz. scaricatori di condensa vapore | Nuovo forno | Nuovi bruciatori forni | Revisione procedure avviamento/spegnimento | Tot. [kWh] |
| Stab. A | 170.000 | | 11.200 | | 200.000 | | | 381.200 |
| Stab. B | | 7.000 | | | | 222.948 | | 229.948 |
| Stab. C | | | | | | | | |
| Stab. D | | | | 22.800 | 140.000 | | 3.800 | 166.600 |
| Stab. E | | | | | | 11.930 | 1.450 | 13.380 |
| Stab. F | | | | | | | | |

2.3.3. I risultati emersi dalle Diagnosi Energetiche effettuate nel 2023 al confronto con i valori prestazionali registrati e comunicati nel 2019: il caso di studio di uno stabilimento specifico.

All'interno del gruppo di stabilimenti del tipo 'bakery', si analizzano e si confrontano i risultati comunicati negli ultimi due cicli di Diagnosi energetica rendicontata ad ENEA: i dati dell'anno 2018, comunicati nella Diagnosi Energetica consegnata nel 2019, e i dati dell'anno 2022, raccolti e comunicati nella Diagnosi Energetica consegnata nel 2023.

Lo Stabilimento A è il più piccolo degli stabilimenti 'bakery' per numero di addetti nel 2022 (Fig.103), e lo è anche per volumi produttivi insieme allo stabilimento F (Fig.104).

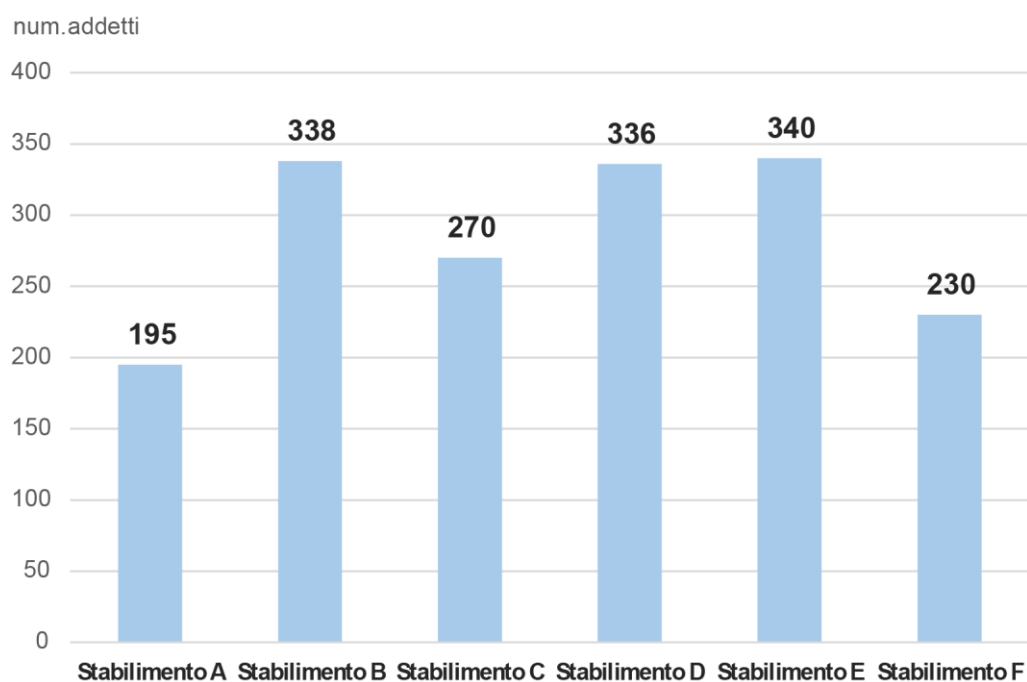


Fig. 104
Numero di addetti divisi per stabilimento nel settore bakery nell'anno 2022.
Fonte: Azienda caso studio, 2023

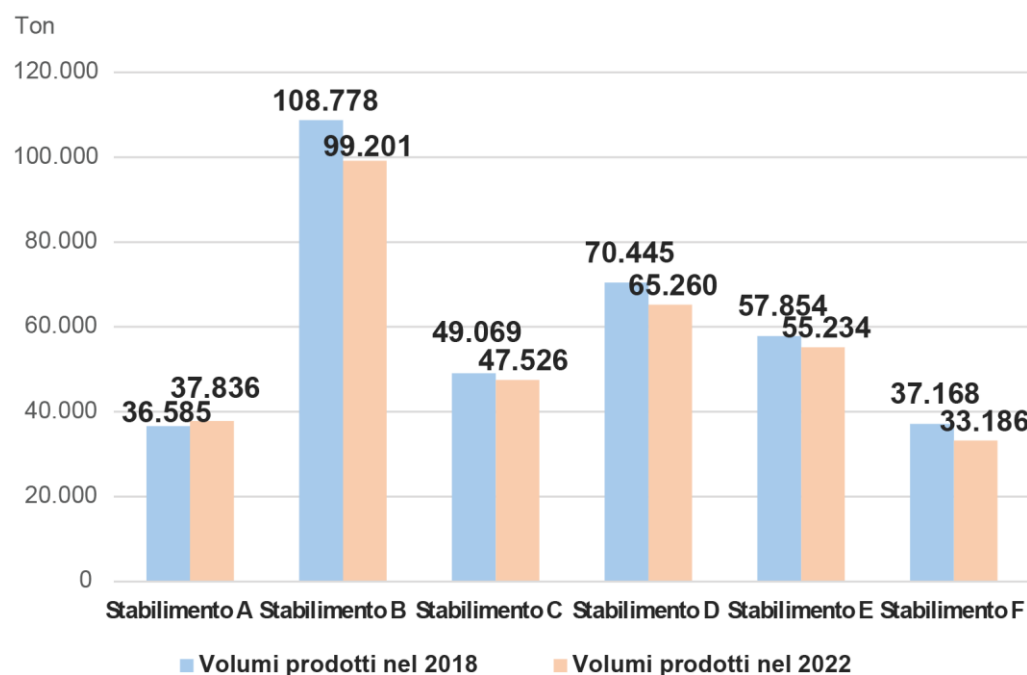


Fig. 103
Confronto tra i volumi produttivi del 2018 rendicontati nelle Diagnosi Energetiche 2019 e i volumi produttivi del 2022 rendicontati nel 2023 relativi agli Stabilimenti del settore bakery.
Fonte: Azienda caso studio, 2023

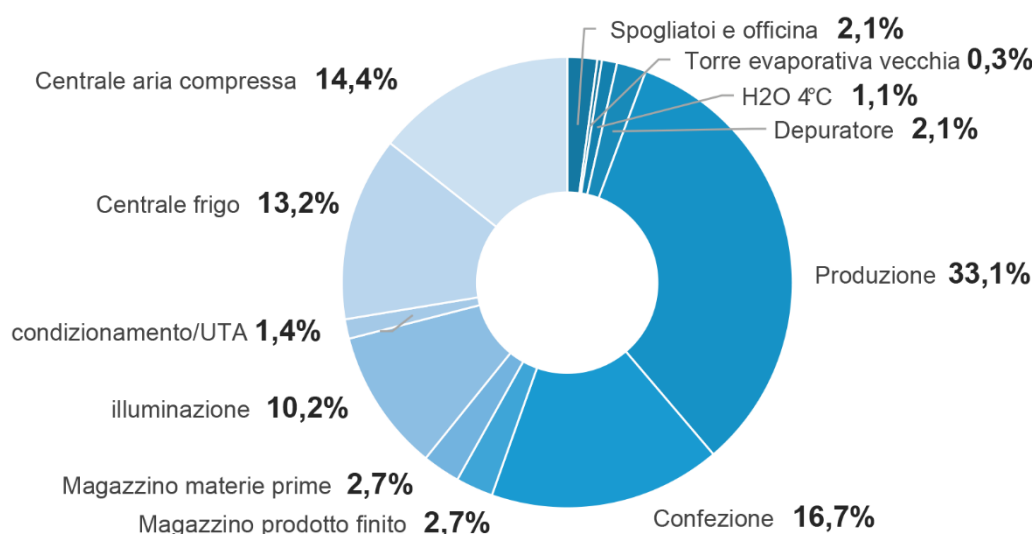
Tra il 2018 e il 2022 si è registrato un aumento della produzione e una diminuzione del 11% del KPI sui consumi elettrici di stabilimento e del 18% del KPI sui consumi di gas naturale (Tab.41). Si deduce che il controllo dei consumi attuato con i ripetuti audit e il lavoro di pianificazione degli interventi di miglioramento energetico ha dimostrato la sua efficacia.

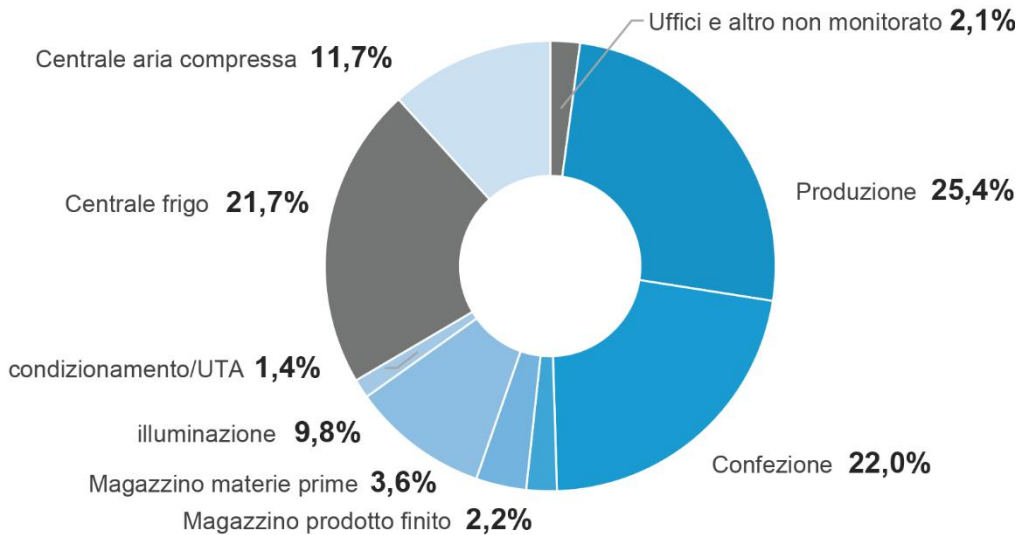
Tab. 41
Confronto tra le performance energetiche dello Stabilimento A del 2018 rendicontate nelle Diagnosi Energetiche 2019 e del 2022 rendicontate nel 2023.
Fonte: Azienda caso studio, 2023

| STABILIMENTO A | | | | | | Confronto performance |
|---|-------------------|-------------------------------------|--|-------------------|-------------------------------------|--|
| Volumi produttivi 2018 - 2022 | | | | | | Incremento dei volumi prodotti |
| Volumi produttivi 2018 [Ton] | | | Volumi produttivi 2022 [Ton] | | | |
| 36.585 | | | 37.836 | | | 3% |
| Consumi totali di Energia Elettrica 2018 - 2022 | | | | | | Riduzione del KPI generale sui consumi elettrici |
| Consumi di EE 2018 [kWh _e] | KPI 2018 [Tep] | KPI 2018 [kWh _e /ton] | Consumi di GAS 2022 [kWh _e] | KPI 2022 [Tep] | KPI 2022 [kWh _e /ton] | |
| 12.796.000 | 2.393 | 349,76 | 11.790.053 | 2.205 | 311,61 | -11% |
| Consumi totali di GAS 2018 - 2022 | | | | | | Riduzione del KPI generale sui consumi di gas |
| Consumi di GAS 2018 [Smc] | KPI 2018 [Tep] | KPI 2018 [Smc/ton] | Consumi di GAS 2022 [Smc] | KPI 2022 [Tep] | KPI 2022 [kWh _e /ton] | |
| 2.614.038 | 2.185 | 71,45 | 2.227.818 | 1.862 | 58,88 | -18% |

Un significativo miglioramento si è raggiunto, in ambito elettrico, dall'intervento sull'automazione della centrale frigo, che ha comportato un risparmio misurato di 400.000 kWh elettrici all'anno. Tale miglioramento è stato accompagnato anche da un intervento sul sistema di monitoraggio digitalizzato e telelettura dei consumi, e questo dà anche la cifra di come l'efficientamento energetico necessita sempre di un buon livello digitalizzazione a supporto. Tali risultati sono visibili dal confronto tra i modelli elettrici rispettivamente del 2018 e del 2022 (Fig.105):

Fig. 105
Confronto tra il modello energetico dei consumi elettrici del 2018 rendicontato nella Diagnosi Energetica 2019 e del 2022 rendicontato nel 2023 relativi allo Stabilimento A.
Fonte: Azienda caso studio, 2023





Come si vede, nel 2018, benché siano stati aggregati i valori dei singoli meter di energia elettrica di area, partendo dalla consuntivazione delle misure che hanno un livello di dettaglio al quarto d'ora, per alcune voci sono state necessarie degli aggiustamenti dovuti a periodi temporanei di mancato funzionamento integrale del software di telelettura. In particolare, sono state corrette con delle stime le voci Centrali Frigo e Uffici, che riportati in grigio nel diagramma a torta del Modello Elettrico. Gli interventi che si dichiaravano da svolgere in Diagnosi Energetica riguardavano:

- L'automazione della centrale frigo, che consisteva nell'installazione di inverter nelle pompe presenti nella centrale frigo e installazione di un software di regolazione automatica dell'intera centrale.
- Il revamping generale del sistema di monitoraggio e di telelettura dei consumi energetici di stabilimento, che comprendeva nella spesa l'hardware, lo sviluppo software, l'assistenza di rete, l'aggiornamento delle licenze, i collaudi in campo e da remoto ed infine la formazione agli utenti.

I risultati al 2022 sono evidenti, la centrale frigo è passata dall'aver un peso del 20% circa sui consumi elettrici del 2018, ad un 13% circa. In termini assoluti si è trattato di passare da 2.500.000 kWh stimati nel 2018 ai 1.528.041 kWh misurati nel 2022. Dal confronto con i dati degli altri stabilimenti bakery si può apprezzare la qualità dell'intervento (Figg.106, 107).

Nel 2018 il KPI della centrale frigo era tra i più alti del settore bakery ed i consumi incidono per il 20% sul totale dei consumi elettrici dello Stabilimento A. Nel 2023 il KPI risulta migliorato e l'incidenza sul totale è scesa del 7%.

Fig. 107
 Confronto tra i Key Performance Indicators elettrici delle Centrali frigo del 2018 rendicontati nelle Diagnosi Energetiche 2019 e del 2022 rendicontati nel 2023 relativi agli Stabilimenti del settore bakery.
 Fonte: Azienda caso studio, 2023

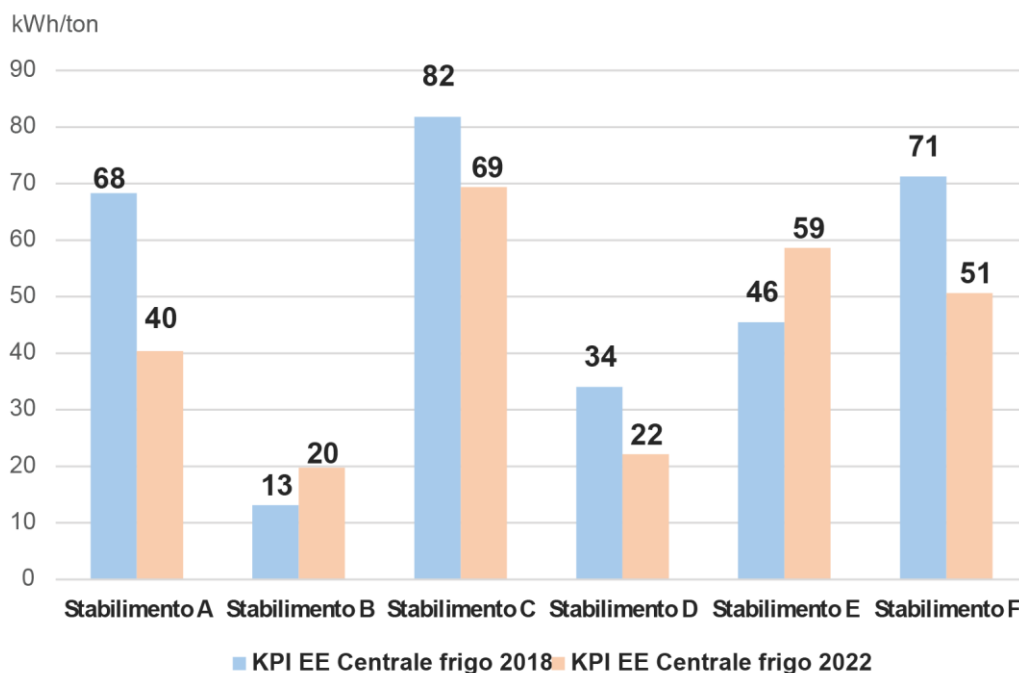
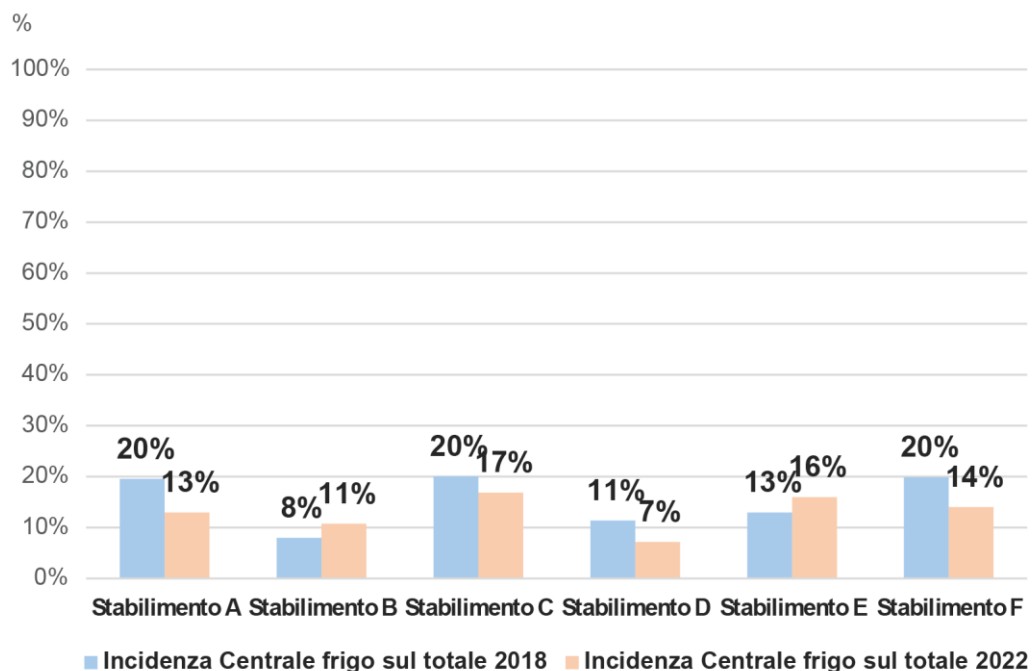


Fig. 106
 Confronto tra l'incidenza percentuale delle Centrali frigo rispetto ai consumi elettrici totali nel 2018 rendicontata nelle Diagnosi Energetiche 2019 e nel 2022 rendicontata nel 2023 relativamente agli Stabilimenti del settore bakery.
 Fonte: Azienda caso studio, 2023



Si è elaborata una tabella di valutazione delle strategie integrate di decarbonizzazione descritte in precedenza, che riunisce i principali indicatori delle varie strategie e che può essere utile per controllare:

- i progressi delle aziende
- verificare gli interventi migliorativi in sede di pianificazione
- comprendere il rapporto di reciprocità di alcuni interventi in merito al doppio percorso verso la transizione circolare e verso la transizione energetica

Tale schema richiede di considerare i risultati emersi nelle Diagnosi Energetiche e nelle misurazioni dei livelli di circolarità utili a tracciare il percorso migliorativo implementato e a fissare la baseline di partenza su cui valutare gli scenari di miglioramento basati sulla ricerca di nuove soluzioni e la sperimentazione attraverso l'utilizzo di strumenti digitali, evidenziando quindi l'interdipendenza tra gli obiettivi di transizione circolare ed energetica e la transizione digitale. Tale lavoro verrà condotto nei successivi capitoli in relazione allo stabilimento caso studio di riferimento.

Si riporta di seguito la tabella che struttura il percorso di valutazione delle strategie integrate di decarbonizzazione (Tab.42), in cui sono resi espliciti:

- Gli obiettivi
- Le fasi del lavoro
- Gli indicatori della valutazione
- I metodi che si intende utilizzare
- I dati da reperire
- I risultati attesi

Nello specifico la tabella richiede di analizzare le quattro principali strategie di decarbonizzazione, svolgendo:

- in una prima fase una ricognizione dello stato dell'arte delle performance raggiunte dall'Azienda, attraverso lo studio dei dati raccolti e dei risultati rendicontati ad ENEA relativi ai due cicli di Diagnosi Energetiche effettuate. Tale prima fase si intende raggiunta poiché, trattandosi dello stato dell'arte, i risultati sono emersi e già discussi al capitolo 1 e al capitolo 2 della tesi.
- in una seconda fase uno studio di scenari migliorativi al fine di tracciare suggerimenti e verificare i vantaggi di alcuni interventi di miglioramento energetico e di circolarità che si potrebbero implementare al 2030. Questa fase viene esplorata nei capitoli della tesi che seguono.

La tabella riporta, per ognuna delle strategie di decarbonizzazione da valutare, l'individuazione dei metodi di analisi e gli output cui si mira in termini di indicatori da misurare.

Questo schema può essere preso come riferimento per essere replicato ogni volta che un'organizzazione decide di valutare strategie integrate nella rotta verso la decarbonizzazione, utilizzando i dati dello stato di fatto reperibili attraverso la pratica delle Diagnosi Energetiche e sperimentando i miglioramenti attraverso strumenti digitali. L'utilizzo dello schema è scalabile in base al perimetro di analisi che si decide di valutare.

Tab. 42
Schema di riferimento per la valutazione delle Strategie integrate di decarbonizzazione: il framework generale.

| OBIETTIVI: | | FASE 1 | FASE 2 | |
|--|---------------------|--|--|---|
| VALUTAZIONE DELLE PRINCIPALI SOLUZIONI INTEGRATE DI DECARBONIZZAZIONE | | RISULTATI GIÀ OTTENUTI DALL'AZIENDA | | SCENARIO FUTURO |
| | | Anno della precedente valutazione | Anno corrente di valutazione | Anno dello scenario futuro d'interesse |
| AUTOPRODUZIONE ENERGETICA | Indicatore: | [kWh _{autoprodotti} /kWh _{consumati}] | [kWh _{autoprodotti} /kWh _{consumati}] | [kWh _{autop. simulatir} /kWh _{consumi2022}] |
| | Metodologia: | Raccolta dati d'archivio energia autoprodotta e svolgimento del calcolo | Raccolta dati d'archivio energia autoprodotta e svolgimento del calcolo | Progetto di nuovi sistemi di approvvigionamento attraverso software di simulazione |
| | Fonti dati: | Diagnosi Energetica precedente | Diagnosi Energetica dell'anno corrente | Dati reali su cui calibrare il modello digitale e file climatici di scenari futuri |
| | Risultati: | Valori assoluti: xx kWh/kWh | - Valori assoluti: xx kWh/kWh - Differenza percentuale rispetto alla precedente valutazione: xx % | Risultati della simulazione: - Valori assoluti: xx kWh/kWh - Differenza percentuale rispetto alla precedente valutazione: xx % |
| EFFICIENZA ENERGETICA | Indicatore: | [tep/ton] | [tep/ton] | [tep _{consumi simulati} /ton ₂₀₂₂] |
| | Metodologia: | Raccolta dati d'archivio sui consumi di energia e svolgimento del calcolo | Raccolta dati d'archivio sui consumi di energia e svolgimento del calcolo | Progetto di nuovi interventi di efficientamento energetico attraverso software di simulazione |
| | Fonti dati: | Diagnosi Energetica precedente | Diagnosi Energetica dell'anno corrente | Dati reali su cui calibrare il modello digitale e file climatici di scenari futuri |
| | Risultati: | Valori assoluti: xx tep/ton | - Valori assoluti: xx tep/ton - Differenza percentuale rispetto alla precedente valutazione: xx % | Risultati della simulazione: - Valori assoluti: xx tep/ton - Differenza percentuale rispetto alla precedente valutazione: xx % |
| SOLUZIONI DIGITALI | Indicatore: | Descrizione qualitativa | Descrizione qualitativa | Descrizione qualitativa |
| | Metodologia: | Raccolta dati d'archivio sui sistemi digitali per il controllo e il monitoraggio dell'energia | Raccolta dati d'archivio sui sistemi digitali per il controllo e il monitoraggio dell'energia | Ricerca su innovativi sistemi per il controllo digitale degli asset di fabbrica |
| | Fonti dati: | Documentazione a supporto della Diagnosi Energetica precedente | Documentazione a supporto della Diagnosi Energetica dell'anno corrente | Articoli/webinar/consulenti |
| | Risultati: | Descrizione Sistemi implementati | Descrizione Sistemi implementati | Verifica e riflessione sui vantaggi |
| ECONOMIA CIRCOLARE | Indicatore: | % di circolarità | % di circolarità | % di circolarità |
| | Metodologia: | Misurazione secondo la UNI/TS 11820:22 | Misurazione secondo la UNI/TS 11820:22 | Misurazione secondo la UNI/TS 11820:22 |
| | Fonti dati: | Diagnosi Energetica precedente | Diagnosi Energetica dell'anno corrente | Dati risultati dalle simulazioni effettuate |
| | Risultati: | Valori percentuali specifici dell'anno di valutazione: xx % | - Valori percentuali specifici dell'anno di valutazione: xx % - Differenza percentuale rispetto alla precedente valutazione: xx % | - Valori percentuali specifici dell'anno simulato: xx % - Differenza percentuale rispetto alla precedente valutazione: xx % |

Si riporta il compilamento della tabella per quanto riguarda lo stato dell'arte dello stabilimento di riferimento del caso studio, di cui le performance energetiche e il livello di circolarità sono state analizzate in precedenza (Tab.43):

| <u>OBIETTIVI:</u> | | <u>FASE 1</u> | | <u>FASE 2</u> |
|---|---------------------|--|--|--|
| VALUTAZIONE DELLE PRINCIPALI SOLUZIONI INTEGRATE DI DECARBONIZZAZIONE | | RISULTATI GIÀ OTTENUTI DALL'AZIENDA | | SCENARIO FUTURO |
| | | 2019 | 2023 | 2030 |
| AUTOPRODUZIONE ENERGETICA | <u>Indicatore:</u> | $[\text{kWh}_{\text{autoprodotti}}/\text{kWh}_{\text{consumati}}]$ | $[\text{kWh}_{\text{autoprodotti}}/\text{kWh}_{\text{consumati}}]$ | $[\text{kWh}_{\text{autop. simulati}}/\text{kWh}_{\text{consumi2022}}]$ |
| | <u>Metodologia:</u> | Raccolta dati d'archivio energia autoprodotta e svolgimento del calcolo | Raccolta dati d'archivio energia autoprodotta e svolgimento del calcolo | Progetto di nuovi sistemi di approvvigionamento attraverso software di simulazione |
| | <u>Fonti dati:</u> | Diagnosi Energetica 2019 | Diagnosi Energetica 2023 | Dati reali su cui calibrare il modello digitale e file climatici di scenari futuri |
| | <u>Risultati:</u> | 0 | 0 | Risultati della simulazione |
| EFFICIENZA ENERGETICA | <u>Indicatore:</u> | [tep/ton] | [tep/ton] | $[\text{tep}_{\text{consumi simulati}}/\text{ton}_{2022}]$ |
| | <u>Metodologia:</u> | Raccolta dati d'archivio sui consumi di energia e svolgimento del calcolo | Raccolta dati d'archivio sui consumi di energia e svolgimento del calcolo | Progetto di nuovi interventi di efficientamento energetico attraverso software di simulazione |
| | <u>Fonti dati:</u> | Diagnosi Energetica 2019 | Diagnosi Energetica 2023 | Dati reali su cui calibrare il modello digitale e file climatici di scenari futuri |
| | <u>Risultati:</u> | 0,1251 tep/ton | 0,1075 tep/ton -14,1% rispetto al 2019 | Risultati simulazione |
| SOLUZIONI DIGITALI | <u>Indicatore:</u> | Descrizione qualitativa | Descrizione qualitativa | Descrizione qualitativa |
| | <u>Metodologia:</u> | Raccolta dati d'archivio sui sistemi digitali per il controllo e il monitoraggio dell'energia | Raccolta dati d'archivio sui sistemi digitali per il controllo e il monitoraggio dell'energia | Ricerca su innovativi sistemi per il controllo digitale degli asset di fabbrica |
| | <u>Fonti dati:</u> | Documentazione a supporto della Diagnosi Energetica 2019 | Documentazione a supporto della Diagnosi Energetica 2023 | Articoli/webinar/consulenti |
| | <u>Risultati:</u> | Sistema di monitoraggio dei consumi digitalizzato | Sistema di monitoraggio dei consumi digitalizzato (successivo ad un intervento di revamping) | Verifica e riflessione sui vantaggi |
| ECONOMIA CIRCOLARE | <u>Indicatore:</u> | % di circolarità | % di circolarità | % di circolarità |
| | <u>Metodologia:</u> | Misurazione secondo la UNI/TS 11820:22 | Misurazione secondo la UNI/TS 11820:22 | Misurazione secondo la UNI/TS 11820:22 |
| | <u>Fonti dati:</u> | Diagnosi Energetica 2019 | Diagnosi Energetica 2023 | Dati risultati dalle simulazioni effettuate |
| | <u>Risultati:</u> | 20,7 % | 22,2% +7,4% rispetto al 2019 | xxx % |

Tab. 43
*Schema di riferimento
per la valutazione delle
Strategie integrate di
decarbonizzazione:
ricognizione dello stato
dell'arte dello
Stabilimento A
attraverso la
compilazione con i dati
rendicontati nelle
Diagnosi Energetiche
del 2019 e del 2023.*

Com è possibile vedere, gli interventi che si sono svolti dal 2019 al 2023 hanno portato benefici sia sul piano dell'efficienza energetica che sul livello di circolarità del sito. Nei capitoli successivi si svilupperà la ricerca e la sperimentazione di ulteriori azioni all'interno del framework delle strategie integrate, valutandone infine l'efficacia attraverso la stessa tabella.

CAPITOLO 3.

Il monitoraggio dei consumi e la raccolta dati per le Diagnosi Energetiche: strumenti digitali per il controllo degli asset

3.1. Policies e stato dell'arte dei sistemi per il monitoraggio e la raccolta di dati negli stabilimenti industriali

3.1.1. Le disposizioni normative per il monitoraggio dei consumi per le Diagnosi Energetiche industriali

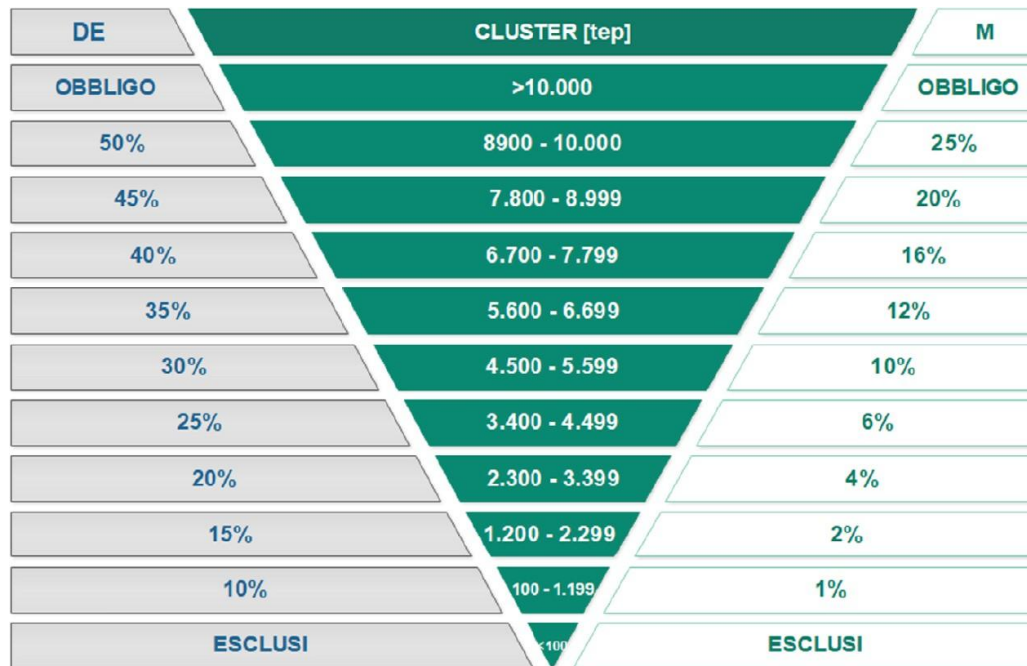
Nei 'Chiarimenti in materia di diagnosi energetica nelle imprese' del novembre 2016 pubblicati dal Ministero dello Sviluppo Economico, viene specificato il ruolo fondamentale del monitoraggio ai fini della redazione di Diagnosi Energetiche affidabili, ma comunicando anche i vantaggi indiscussi che le Aziende possono trarne a prescindere dal problema della conformità alle normative. Infatti, un sistema di monitoraggio permanente dell'energia distribuito in modo capillare sulle utenze e che riesca a misurare e archiviare dati di consumo più specifici di quelli ricavabili dalla lettura dei contatori generali di stabilimento, consente di implementare un piano di monitoraggio in modo da:

- Tener sotto controllo continuo i dati significativi del contesto aziendale, acquisendo informazioni utili al processo gestionale
- Dare il giusto peso energetico allo specifico prodotto realizzato dal sito, tradotti in Indicatori di Performance energetica Generali (Ipg) e Specifici (Ips)

Nelle Linee Guida ENEA viene comunicato che ai fini della Diagnosi Energetica, le aree funzionali aziendali devono avere dei contatori dedicati almeno a livello C (LC), riferendosi quindi alla aggregazione tipica degli impianti presenti in azienda in 'attività principali', 'attività ausiliari' e 'servizi generali'. L'obiettivo è quello di rendere affidabili, in quanto effettivamente misurati, gli indicatori di prestazione, in modo da poter individuare benchmark altrettanto affidabili per il settore industriale, per una comparazione corretta.

Ai fini dell'affidabilità delle valutazioni, il sistema di monitoraggio deve garantire un'opportuna copertura dei sistemi di strumentazione. Viene quindi richiesto alle Aziende multisito, ai fini della Diagnosi Energetica, un requisito di copertura che appare simile alla clusterizzazione da effettuarsi per la scelta del numero minimo di siti da sottoporre a Diagnosi Energetica, basato sulle fasce di consumo dei vari siti. Si illustra di seguito uno schema che mette in relazione la clusterizzazione per i siti da sottoporre obbligatoriamente alla Diagnosi e la clusterizzazione per i siti da dotare di un sistema di monitoraggio affidabile e capillare almeno a Livello C (Fig.108):

Fig. 108
 Percentuale dei siti su
 cui adottare il piano di
 misurazioni e/o
 monitoraggio.
 Fonte: ENEA, 2021



Definito, per ogni scaglione, il numero di siti soggetti ad obbligo di misura, è facoltà dell'impresa decidere su quale sito (per singola fascia) adottare il sistema di monitoraggio.

È fatto obbligo di misurare tutti i vettori energetici utilizzati in Azienda, escludendo quelli il cui consumo totale incide per meno del 10% sul totale del consumo dei siti. Sono concessi misuratori manuali, in remoto, con software di monitoraggio con funzioni di memorizzazione e presentazione delle misure stesse e le misure devono essere conformi agli standard nazionali ed internazionali di riferimento quali ISO, UNI, Protocollo IPMVP.

3.1.2. Lo stato dell'arte dei sistemi digitalizzati per il monitoraggio e la raccolta dei dati negli stabilimenti industriali

Un efficace sistema di monitoraggio permette di acquisire numerose variabili relative al sistema di produzione e alla domanda di energia, consentendo analisi approfondite per individuare inefficienze e malfunzionamenti e comprendere le opportunità di miglioramento. Il monitoraggio digitalizzato permette inoltre la manutenzione predittiva, la gestione dei big data, e il miglioramento dell'innovazione e della consapevolezza energetica all'interno dell'azienda. Il monitoraggio svolto su circa 300 imprese evidenzia che in oltre la metà dei casi si è misurato un risparmio dei consumi elettrici, a volte accompagnato da una diminuzione dei consumi termici, di acqua e rifiuti.

Nell'ambito delle attività di ricerca di sistema sul tema dell'efficienza energetica, nel 2020 la Ricerca sul Sistema Energetico - RSE S.p.A., società indirettamente controllata dal Ministero dell'Economia e delle Finanze attraverso il suo azionista unico GSE S.p.A., ha rilevato che l'importanza e il ruolo di un efficace sistema di monitoraggio dei consumi per un'Azienda può essere declinato in quattro aspetti principali:

- **La manutenzione.**
Il monitoraggio e l'acquisizione di una memoria storica degli eventi relativi ad un certo macchinario o ad un certo fenomeno offre la possibilità di avviare una programmazione regolare di interventi manutentivi (manutenzione programmata) o perfino anticipare il verificarsi di un'anomalia attraverso la capacità di rilevamento, interpretazione e riconoscimento degli andamenti di funzionamento dei macchinari, evitando così la manutenzione a guasto, dispendiosa e inefficiente in quanto interrompe la produttività.
- **La gestione al fine di evitare sprechi**
Il monitoraggio, offrendo dati relativi all'andamento di un certo fenomeno, riesce a dare risposte alle analisi sulle inefficienze, offrendo l'opportunità di pianificare interventi, e quindi in Azienda è utile al Risk Analysis lato GMP (Good Manufacturing Practices)
- **L'innovazione**
Il monitoraggio consente di individuare e classificare quali sono le principali utilities che in Azienda richiedono energia, al fine di poter focalizzare quali sono le aree dove si rende prioritario l'intervento introducendo soluzioni di innovazione più adeguate alle esigenze reali, ottimizzando gli sforzi di programmazione
- **La consapevolezza**
Il monitoraggio è utile al fine di informare e sensibilizzare tutto il personale in Azienda affinché collabori agli obiettivi di risparmio energetico sul lato comportamentale. È opportuno che nell'Energy Team aziendale sia presente anche il responsabile del monitoraggio, che vengano inviate 'push-mail' con pillole energetiche ai dipendenti e che vengano condivise le informazioni

relativi agli utilizzi e ai flussi energetici sugli schermi all'interno degli spazi dell'Azienda.

3.1.3. L'architettura del sistema digitale di monitoraggio implementato nel caso studio aziendale

L'Azienda con cui è stato condotto il presente lavoro monitora in ogni singolo stabilimento i propri consumi energetici che riguardano tre principali vettori:

- Energia elettrica
- Gas metano
- Acqua

Attraverso un sistema digitalizzato di monitoraggio strutturato secondo logiche multilivello gerarchizzate ad albero, a partire dalle misure effettuate sul campo attraverso appositi meters, consentendo la lettura aggregata dei livelli superiori, distinguendo per aree funzionali e vettori energetici. Viene inoltre effettuato localmente, dall'Energy Man di stabilimento, un check incrociato a cadenza mensile relativo al confronto tra le misurazioni acquisite da tale architettura digitale, i dati fatturati in bolletta e le letture dirette dei contatori presenti in sito.

Il sistema, di cui si riporta lo schema (Fig.109) è basato su un'architettura software e hardware installata nel 2010 e con ultimo aggiornamento effettuato tra il 2019 e il 2020. Tutte le misure vengono inviate alla sede centrale dell'Azienda e ivi storate in appositi database. Ad oggi sono stati installati 1950 meter per l'energia elettrica e 145 meter per il gas.

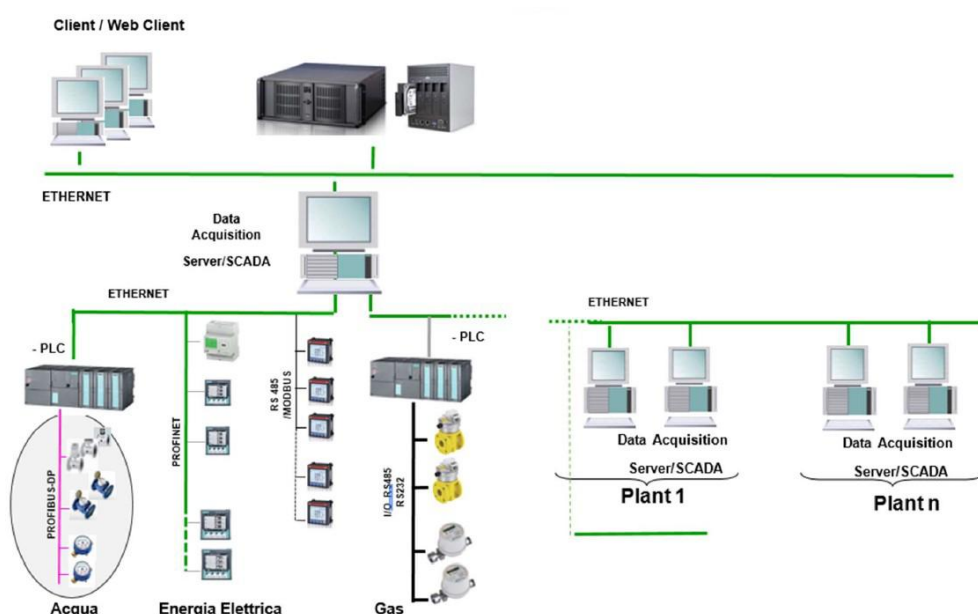


Fig. 109
Schema dell'architettura del sistema di monitoraggio digitalizzato dell'energia di cui è dotata l'Azienda. Fonte: Azienda caso studio, 2023

In funzione del vettore energetico da misurare sono installati appositi meter che misurano le grandezze fisiche e inviano i dati attraverso opportuni protocolli di comunicazione ai sistemi di acquisizione e supervisione, in particolare si distinguono:

- per il Gas, l'impiego di misuratori che inviano i dati attraverso il protocollo di comunicazione PROFIBUS o RS232 ad un PLC, che a sua volta li raccoglie e li reindirizza ad un sistema di supervisione SCADA via Ethernet
- per l'energia elettrica, smart meters comunicano direttamente le misure, attraverso protocollo PROFINET, ad un gateway che le reindirizza direttamente al PC Client

I dati acquisiti vengono quindi trasmessi:

- ai PC client di stabilimento, via Ethernet, i quali raccolgono le informazioni riguardo fattori di rifasamento, allarmi e soglie di superamento consumi, che possono impostare e gestire in locale
- al server centrale, sottoforma di Report

3.2. La metodologia di raccolta dei dati nella prassi e la necessità di un ambiente digitale condiviso e integrato di tutti i sistemi di fabbrica in logica 4.0 per una maggiore efficacia del processo di redazione del Report di Diagnosi

3.2.1. Il workflow di raccolta dati per la redazione della Diagnosi Energetica

Il caso studio aziendale è un'impresa multi-sito che ha scelto come politica interna di dotare tutti i propri stabilimenti di un sistema di gestione dell'energia certificato ISO 50001 e trasmette all'ENEA ogni quattro anni le di Diagnosi Energetiche per tutti i siti produttivi, dimostrando un impegno che supera le disposizioni normative che consentono una selezione rappresentativa all'interno della pratica della clusterizzazione.

Per la redazione della Diagnosi Energetica, ogni sito produttivo fa pervenire la documentazione con i propri dati alla Sede Centrale aziendale, dove l'Energy Manager e EGE formula, conferendo una veste coerente, i rispettivi report e li trasmette all'ENEA. Si esplicita di seguito il workflow, i mezzi documentali scambiati e i dati d'interesse ivi contenuti per la redazione del Report di Diagnosi Energetica da consegnare all'ENEA per un qualsiasi stabilimento "n" (Fig.110).

Nel processo di raccolta dati avviene uno 'scambio manuale', attraverso corrispondenze di posta elettronica, di file costuditi e aggiornati da responsabili diversi in ogni stabilimento. Tali file sono di 'natura agnostica' (ovvero statica e non direttamente allacciati ad alcun sistema, come file di Microsoft Word, Adobe PDF o Microsoft Excel), redatti separatamente e i dati contenuti provengono da sistemi di fabbrica eterogenei (come il sistema di monitoraggio dell'energia per le misure dei consumi energetici acquisite dai meters in campo, o l'Enterprise Resource Planning che tiene traccia degli acquisti inerenti gli interventi di efficientamento svolti) o da fonti di terze parti (come ad esempio i dati sulle Best Available Techniques pubblicati dal Joint Research Centre della Commissione Europea, o i dati sui consumi energetici provenienti dalla lettura locale dei contatori fiscali e dalle fatture ricevute, usati nel file di bilancio per la comparazione con i dati forniti dal sistema di monitoraggio dell'energia).

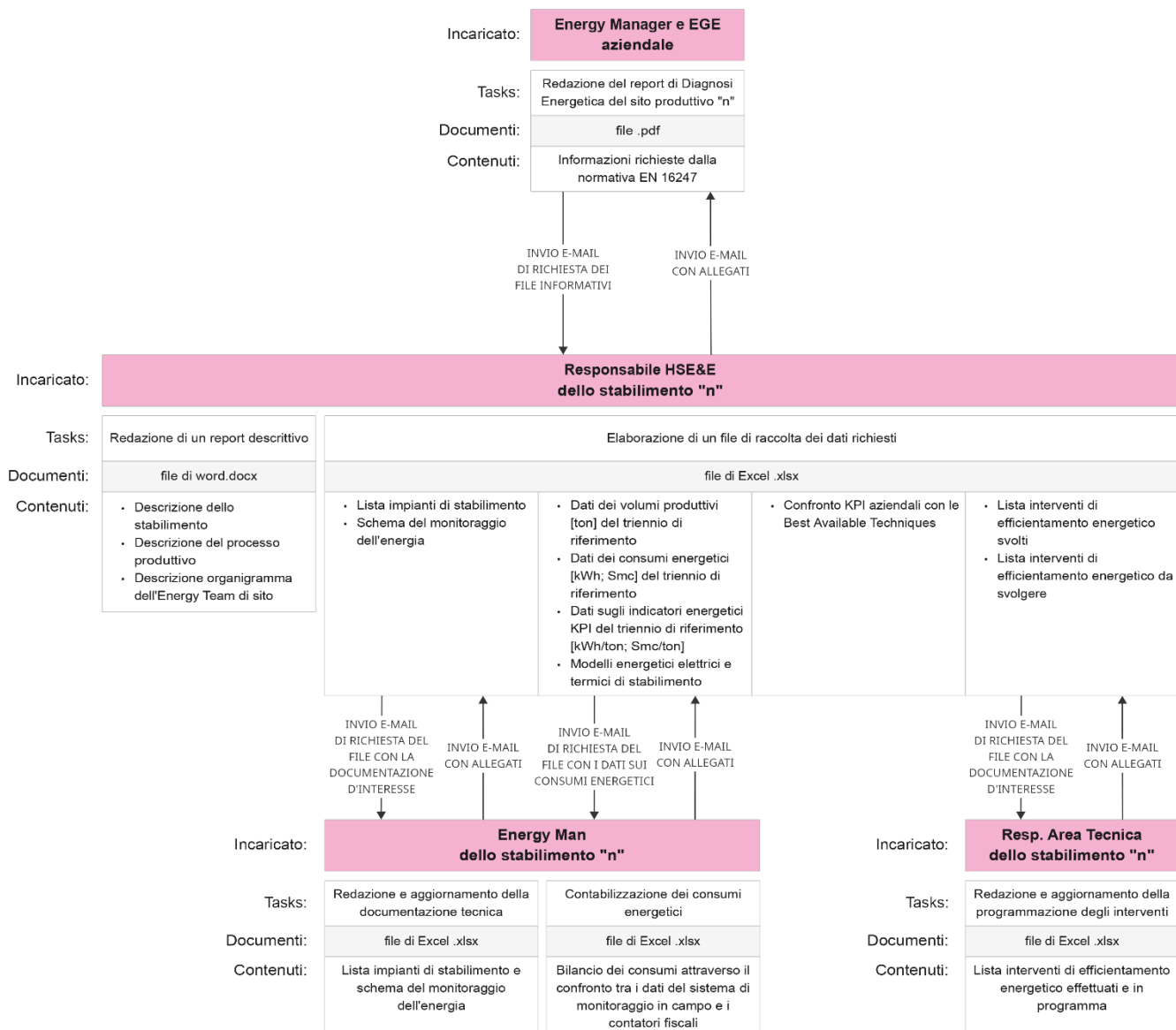
In questo quadro, si rilevano alcune principali criticità:

- qualsiasi modifica venga apportata ai file di origine, vi è la necessità di ripetere lo scambio lungo tutta la filiera, poiché tali file hanno natura stand-alone ed è necessario attenzionare il corretto rimpiazzo nei database aziendali.
- La maggior parte delle informazioni sono funzionali alla sola operazione compilativo-didascalica con finalità di rendicontazione, che avviene regolarmente ma non ha implicazioni a livello di routine operativa giornaliera, pertanto non vi è una necessità di up-date in real time da parte dei responsabili, e questo può comportare ritardi o il rischio di un mancato aggiornamento, essendo questo manuale e non automatizzato o direttamente connesso con altri sistemi IT e database di fabbrica (ad esempio

il modello energetico, il confronto con le Best Available Techniques, la lista degli interventi di efficientamento energetico svolti e i risultati raggiunti, la lista degli impianti, la descrizione dello stabilimento e del processo produttivo, ecc..).

- la mancata interoperabilità tra i tipi di file coinvolti nella filiera rende obbligatorio il passaggio reciproco di informazioni attraverso il copia-incolla manuale, e per tanto soggetto ad errore umano.
- il confronto tra stabilimenti diversi che dà origine alla clusterizzazione richiesta da ENEA ed è riportata nel Report di Diagnosi di ogni singolo stabilimento, non è automatizzato, e ciò richiede un maggiore sforzo di coordinamento ai livelli manageriali della sede centrale per il recupero e il completamento della trasmissione dei dati dei vari siti produttivi che lavorano in modo separato.

Fig. 110
Workflow di raccolta dati e la redazione delle Diagnosi Energetiche.



3.2.2. Caratteristiche e obiettivi della transizione Industry 4.0

Il paradigma dell'Industria 4.0, sviluppato nel 2013 in Germania nell'ambito di un progetto di rilancio del settore produttivo manifatturiero, promosso dal Ministero per gli affari economici e il clima e dal Ministero per l'Educazione e la Ricerca, ha inaugurato la Quarta Rivoluzione Industriale. Nella timeline di seguito riportata vengono riportate le tappe e le caratteristiche salienti dell'evoluzione industriale (Fig.111):

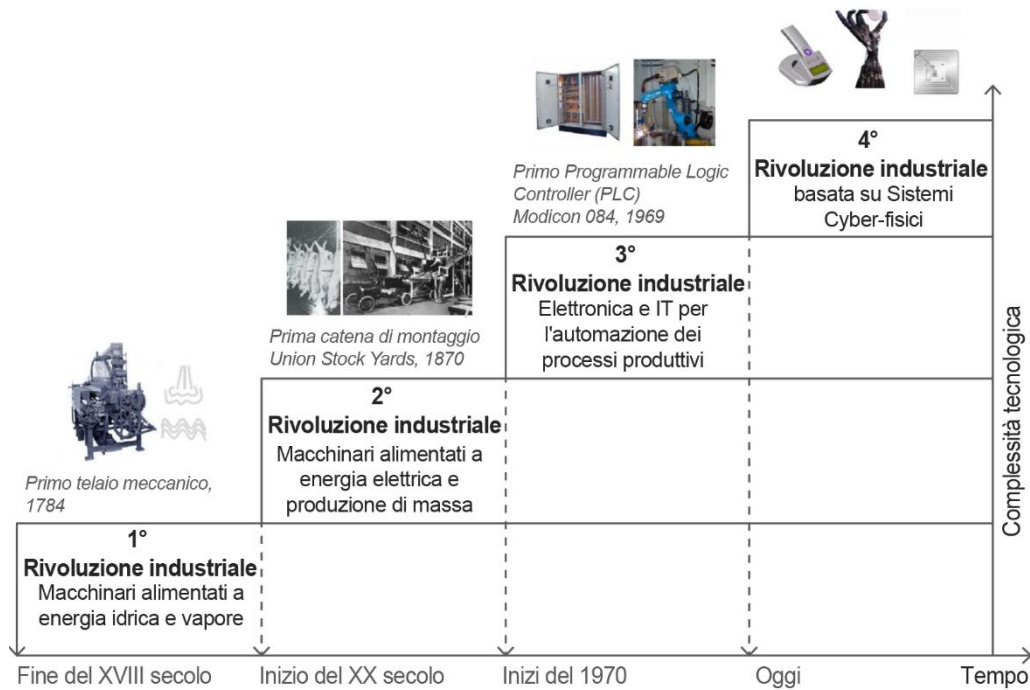


Fig. 111
Cronologia delle rivoluzioni industriali e individuazione dei principali driver.
Fonte: Università Politecnica delle Marche, 2022

- La Prima rivoluzione industriale, risalente alla fine del XVIII secolo, si è basata sullo sfruttamento del lavoro meccanico nella manifattura, attraverso l'introduzione della macchina a vapore e lo sfruttamento dell'energia idroelettrica
- La Seconda rivoluzione industriale, risalente alla fine del XIX secolo, ha introdotto l'elettricità nelle macchine sviluppando capacità produttive tali che sono sfociate nella produzione di massa
- La Terza rivoluzione industriale, risalente agli inizi degli anni '70 del XX secolo, ha introdotto l'informatica e l'elettronica nei processi, che ha reso possibile l'automazione programmabile attraverso appositi controllori
- La Quarta rivoluzione industriale, risalente al secondo decennio del XXI secolo, ha sfruttato l'avanzamento tecnologico raggiungendo elevati livelli di digitalizzazione e di connettività che hanno permesso l'integrazione dei vari sistemi di fabbrica, la decentralizzazione del controllo e l'approdo ai sistemi cyber-fisici e spostando la chiave di volta dei sistemi produttivi sul dato.

Si approfondisce l'evoluzione raggiunta nel controllo dei processi di fabbrica con la quarta rivoluzione industriale rispetto alla terza, attraverso il confronto riportato di seguito (Fig.112):

Fig. 112
Confronto tra i progressi tecnologici e digitali della terza e della quarta rivoluzione industriale



Rispetto ai progressi tecnologici, nella terza rivoluzione industriale si è assistito all'ascesa dell'elettronica e del mondo dell'Information Technology che hanno permesso di introdurre l'automazione in fabbrica e la programmabilità dei processi designando uno schema ordinato e gerarchizzato della gestione rappresentato dal modello piramidale ANSI/ISA-95 nel quale erano distinti:

- Il livello dei sistemi informativi IT, che organizzavano il lavoro, tra cui:
 - Il livello della pianificazione, rappresentato da software quali l'Enterprise Resource Planning (ERP) per la gestione degli acquisti, della logistica, della contabilità ed altri aspetti legati alla supplychain
 - Il livello della gestione della produzione, rappresentato da software quali il Manufacturing Execution System (MES), che gestisce più nel dettaglio la produzione, i turni lavorativi, le ricette della produzione, la quantità di pezzi, ed altre istruzioni da comunicare agli addetti del livello operativo
- Il livello dei sistemi operativi (Operation Technology – OT), nelle disponibilità di chi effettivamente si trovava sul campo tra le linee della produzione, e divisi in:
 - Sistemi di supervisione e monitoraggio della produzione di una singola linea o di un singolo macchinario, rappresentati dai software SCADA e HMI (Human Machine Interface), supportati da monitor prossimi alle macchine per la gestione specifica delle operazioni di processo

- Programmable Logic Controller (PLC), il dispositivo principe dell'automazione, il cervello elettronico dei macchinari programmato per far attuare i movimenti coordinati in funzione alle istruzioni specifiche e le informazioni che riceve
- L'apparato di sensori ed attuatori a bordo macchina, che rilevano lo stato della lavorazione e realizzano i movimenti impartiti dal PLC

La quarta rivoluzione industriale riorganizza la gestione dei processi e dell'intera filiera produttiva, supportata da progressi tecnologici che hanno permesso di:

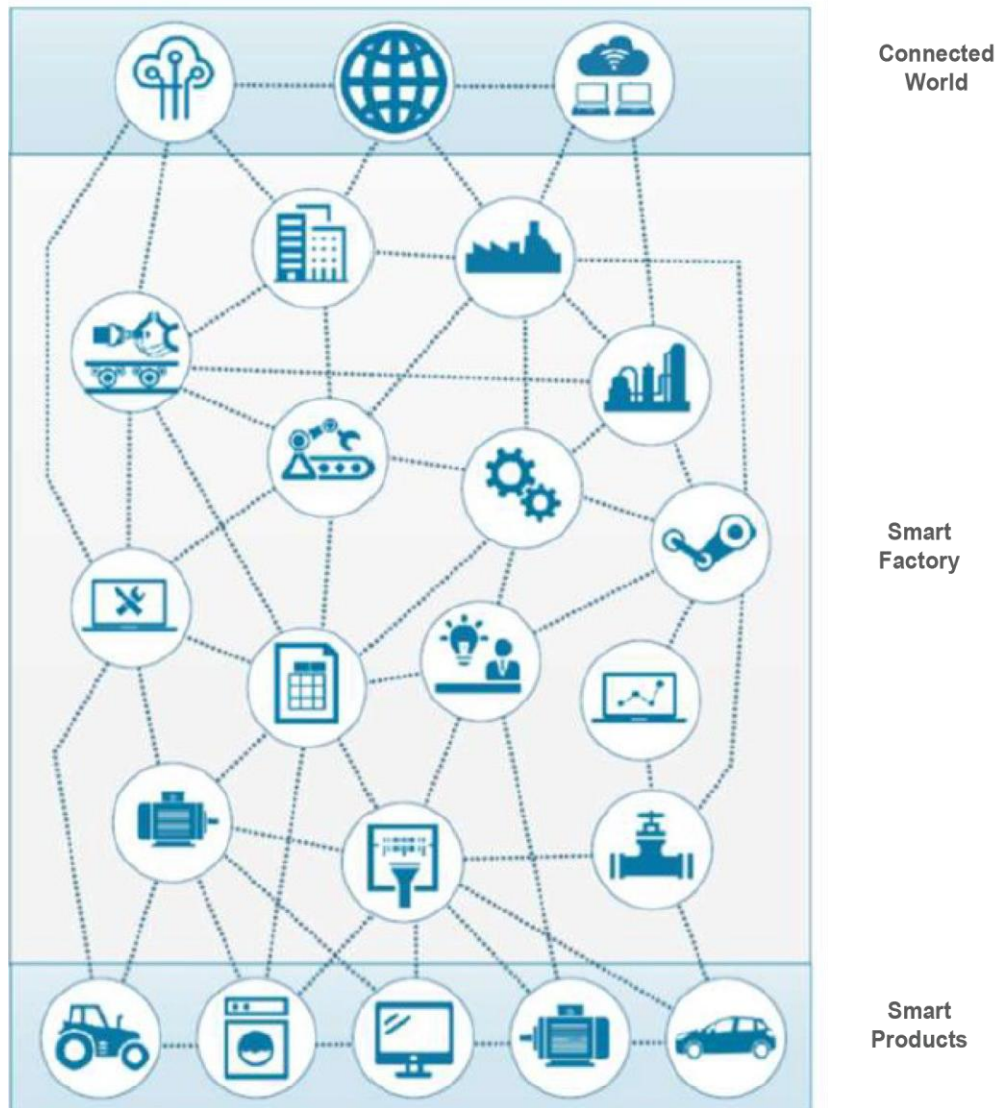
- disporre di una vasta quantità di dati digitali (Big Data) e di una potenza computazionale tale da poterli analizzare e gestire ricavando utili informazioni alla base di tutti i processi decisionali
- disporre di una connettività spinta, che consente di decentrare il controllo e integrare i vari sistemi precedentemente separati in silos

Da questo quadro sono emerse le principali direttrici, quali:

- l'Interconnessione, ovvero la capacità di un bene di scambiare informazioni in modo bidirezionale con sistemi interni (ERP, MES..) e/o esterni (clienti, fornitori, partner..)
- la Virtualizzazione, ovvero la possibilità di avere una 'copia virtuale' (Digital Twin) del sistema reale e/o dei suoi componenti creata e aggiornata mediante i dati provenienti da opportuni sensori capace di prevedere l'evoluzione del comportamento mediante simulazioni. La combinazione tra componenti fisici (impianti, macchine, ecc.) e digital twin dà origine al cosiddetto modello cyber-fisico che abilita modelli produttivi in cui si riducono i tempi e i costi
- l'Interazione da remoto, ovvero la capacità di decentrare il controllo degli asset attraverso appositi device connessi e di usufruire di servizi in cloud

Il superamento del modello piramidale ANSI/ISA-95 approda ad uno scenario di controllo distribuito e decentrato di tutti i processi interni alla fabbrica e dell'intera filiera fino alla gestione dei prodotti nella fase di utilizzo, grazie ad una connettività pervasiva e alla disponibilità dei dati digitali, raffigurato secondo lo schema seguente (Bonci et al., 2018) (Fig.113):

Fig. 113
Schema dello scenario di controllo distribuito e decentrato di tutti i processi interni alla fabbrica, dell'intera filiera e della gestione dei prodotti.
Fonte: Università Politecnica delle Marche, 2022



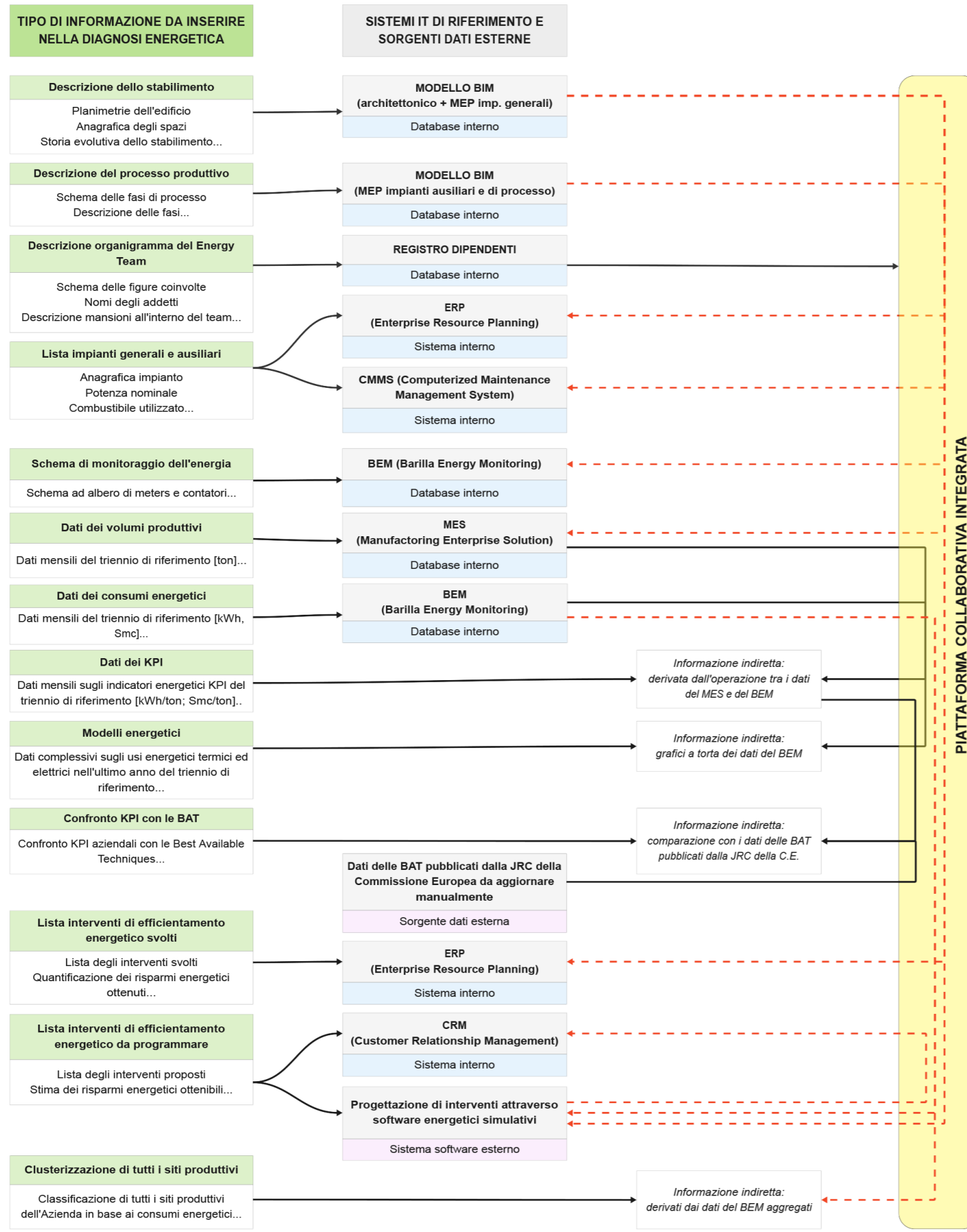
3.2.3. Analisi dell'apparato informativo necessario e dei sistemi di fabbrica da interconnettere in una piattaforma collaborativa di condivisione dati per gli stakeholder coinvolti nella Diagnosi Energetica e negli audit di certificazione ISO 50001

Si è descritto in precedenza il workflow per la raccolta dati e la redazione del report di Diagnosi Energetica di sito da consegnare ad ENEA, evidenziando gli aspetti che potrebbero essere migliorati attraverso uno sforzo di automazione dei processi di interscambio e integrazione tra le fonti dei dati, seguendo le logiche 'industry 4.0' dell'interconnessione pervasiva dei diversi sistemi di fabbrica, della gestione data-driven dei processi, dell'interazione da remoto, della decentralizzazione del controllo sui processi, di virtualizzazione degli asset reali in ambienti cyber-fisici ed elaborazioni e reazioni real-time (Ministero dello Sviluppo Economico, 2017). Sarebbe utile in questo contesto la realizzazione di una piattaforma che consenta l'integrazione di database attualmente separati dei vari sistemi interni dell'azienda e permetta l'estrazione controllata di informazioni da parte di diversi stakeholder, abilitando la gestione di diverse tasks a partire da un ambiente digitale comune condiviso e coordinato. Di seguito si illustra uno schema (Fig.114) in cui vengono elencate:

- le diverse informazioni richieste nella Diagnosi Energetica
- i rispettivi sistemi IT da cui estrarle al fine di considerarne l'allaccio alla piattaforma

Inoltre, vengono individuati gli stakeholder interessati alle varie informazioni, distinguendone tre categorie in funzione all'utilizzo che ne fanno:

1. gli stakeholder interni all'azienda di livello operativo, ovvero chi utilizza l'informazione in modo passivo, per necessità di conoscerla nell'ambito della propria mansione e chi la gestisce in prima persona all'interno del rispettivo sistema in cui sono contenute
2. gli stakeholder interni all'azienda di livello manageriale, ovvero chi utilizza l'informazione per prendere le decisioni in azienda
3. gli stakeholder esterni, quali partners, fornitori di beni e servizi, ispettori coinvolti negli audit di certificazione ISO 50001 del sistema di gestione dell'energia



| STAKEHOLDER COINVOLTI | | |
|--|--|---|
| Livello Operativo | Livello Manageriale | Soggetti esterni |
| Ogni nuovo assunto per prendere conoscenza del sito | Energy Manager e EGE Responsabile HSE&E | Certificatore ISO 50001 Studio di progettazione BIM |
| Ogni nuovo addetto per prendere conoscenza degli impianti | Energy Manager e EGE Responsabile HSE&E | Certificatore ISO 50001 Studio di progettazione BIM |
| Responsabile HR | Energy Manager e EGE Responsabile HSE&E | Certificatore ISO 50001 |
| Responsabile acquisti Energy Man | Energy Manager e EGE Responsabile HSE&E | Certificatore ISO 50001 Fornitori |
| Tecnico Manutentore aziendale Responsabile Area Tecnica Energy Man | Energy Manager e EGE Responsabile HSE&E | Certificatore ISO 50001 Fornitori di servizi di manutenzione |
| Energy Man | Energy Manager e EGE Responsabile HSE&E | Certificatore ISO 50001 |
| Operatore su macchina di proces Responsabile della produzione | Energy Manager e EGE Responsabile HSE&E | Certificatore ISO 50001 |
| Energy Man | Energy Manager e EGE Responsabile HSE&E | Certificatore ISO 50001 |
| Energy Man | Energy Manager e EGE Responsabile HSE&E | Certificatore ISO 50001 |
| Energy Man | Energy Manager e EGE Responsabile HSE&E | Certificatore ISO 50001 |
| Energy Man | Energy Manager e EGE Responsabile HSE&E | Certificatore ISO 50001 |
| Responsabile HSE&E | Energy Manager e EGE Responsabile HSE&E | Certificatore ISO 50001 |
| Responsabile acquisti Responsabile Area Tecnica | Energy Manager e EGE Responsabile HSE&E | Certificatore ISO 50001 |
| Responsabile acquisti Responsabile Area Tecnica | Energy Manager e EGE Responsabile HSE&E | Certificatore ISO 50001 Fornitori |
| Energy Man Responsabile Area Tecnica | Energy Manager e EGE Responsabile HSE&E | Studio di progettazione energetica |
| Responsabile HSE&E | Energy Manager e EGE Responsabile HSE&E | Certificatore ISO 50001 |

Fig. 114
 Schema per una piattaforma collaborativa di integrazione dei sistemi di gestione presenti in fabbrica e del modello BIM di stabilimento per l'ottimizzazione del facility management e degli audit energetici, con l'evidenza delle informazioni rilevanti e degli stakeholder coinvolti.

Attraverso questa analisi emerge che in alcuni casi medesime informazioni devono essere disponibili e rintracciabili in sistemi diversi e pertanto si evince la necessità della condivisione di database per avere coerenza e allineamento (si veda ad esempio la 'lista impianti': è un'informazione che deve essere rintracciabile e coerente sia nel sistema di gestione degli acquisti all'interno dell'ERP - Enterprise Resource Planning - sia nel sistema di gestione della manutenzione CMMS - Computerized Maintenance Management System). La ricerca di database comuni per diversi sistemi IT di fabbrica e lo sforzo di integrazione per rispondere alla contestuale eterogeneità delle informazioni richieste dalla Diagnosi Energetica, portano a suggerire l'introduzione anche di modelli BIM nella piattaforma. Tali modelli associano i database informativi alla visualizzazione geometrica, dimostrando i seguenti vantaggi:

- contengono informazioni direttamente utilizzabili per l'inserimento nel report di Diagnosi Energetica (come la descrizione del sito e del processo produttivo)
- agevolano la lettura di tutti i dati veicolati dalla piattaforma perché permettono di riferirli a spazi ed oggetti e quindi ne migliorano la comprensione e ottimizzano la collaborazione tra gli stakeholders
- si interfacciano con i software di simulazione energetica a cui inviano le informazioni geometriche, spaziali e quelle relative alle caratteristiche tecniche di edificio e impianti attraverso la piattaforma, abilitando le operazioni di individuazione degli interventi di efficientamento energetico richiesti nella Diagnosi Energetica

3.3. Il modello BIM come database comune nelle piattaforme per l'ottimizzazione del Facility Management della fabbrica, per il supporto all'Operation & Maintenance, al monitoraggio dei consumi e alla raccolta dati per le Diagnosi Energetiche

La redazione della Diagnosi Energetica, obbligatoria per alcune categorie di organizzazioni, è una pratica di individuazione e controllo dei consumi energetici che rientra tra le operazioni di Facility Management, ovvero di gestione della fase operativa di un edificio. Infatti, come si evince dai precedenti paragrafi, molte delle informazioni richieste nel Report di Diagnosi sono di dominio anche di altri sistemi di gestione presenti in fabbrica, quali quelli deputati alla programmazione della manutenzione, al monitoraggio dei consumi energetici e alla gestione degli acquisti.

Lo standard ISO 19650 descrive il Building Information Modeling (BIM) come un processo collaborativo per la gestione dell'informazione che utilizza una rappresentazione digitale delle caratteristiche fisiche e funzionali di un edificio e degli asset in esso contenuti, favorendo la condivisione di informazioni tra i diversi stakeholders coinvolti. La definizione introduce quindi l'idea di strutturare un lavoro inclusivo e coordinato tra diversi attori attorno alla gestione degli asset fisici ed esplicita come oggetto di interesse l'informazione, veicolata da una rappresentazione digitale. In questo modo, il modello informativo dell'edificio e degli asset in esso presenti, costituisce un utile database di informazioni da considerare come riferimento univoco per tutte le operazioni di Facility Management, che possono essere riunite a sistema superando l'ordinaria gestione in silos separati interna alla fabbrica. E poiché in fabbrica esistono già sistemi di gestione, seppur separati, dei vari aspetti legati al Facility Management degli asset, risulta interessante lo scenario di integrazione e la possibilità di agevolare la lettura delle informazioni attraverso una rappresentazione geometrica.

È opportuno riconoscere che l'informazione geometrica (Fig.115) non è utile solo a livello di 'rappresentazione grafica' per agevolare la lettura dei dati, ma va considerata soprattutto per il valore strettamente legato alla gestione degli spazi, rivolta ai futuri interventi edilizi e alla progettazione, il dimensionamento e l'installazione fisica di nuovi asset.

I sistemi basati sul BIM, effettuando una modellazione informativa che riunisce in un unico database aspetti tecnici, economici, funzionali e dimensionali degli asset fisici reali, consentono di eseguire anche simulazioni prestazionali e diventano spazi virtuali di supporto alle decisioni dinamici ed efficienti. Il risultato di questo sforzo di digitalizzazione degli asset fisici e integrazione delle operazioni di gestione all'interno di un database univoco è quello che viene definito 'Digital Twin', e il suo maggiore valore in termini pratici è quello di ridurre i costi e i tempi e aumentare l'affidabilità delle procedure del Facility Management e quindi l'efficienza ed efficacia complessiva (Russo Ermolli, 2019).

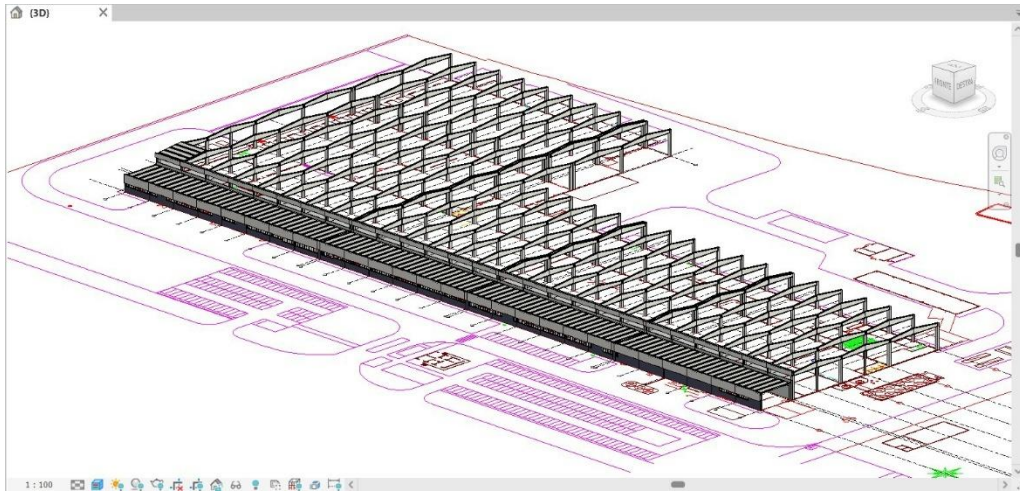
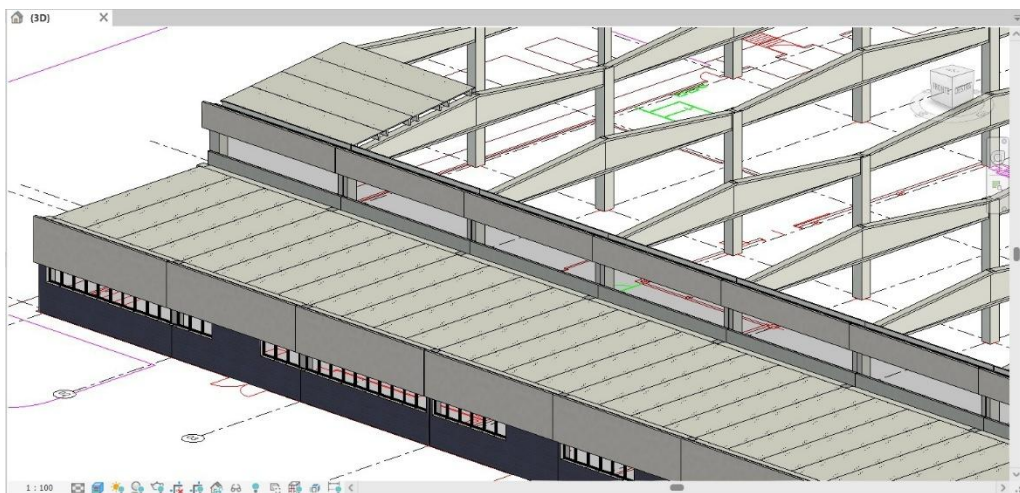


Fig. 115
Viste dell'aspetto
geometrico del modello
BIM di uno
stabilimento



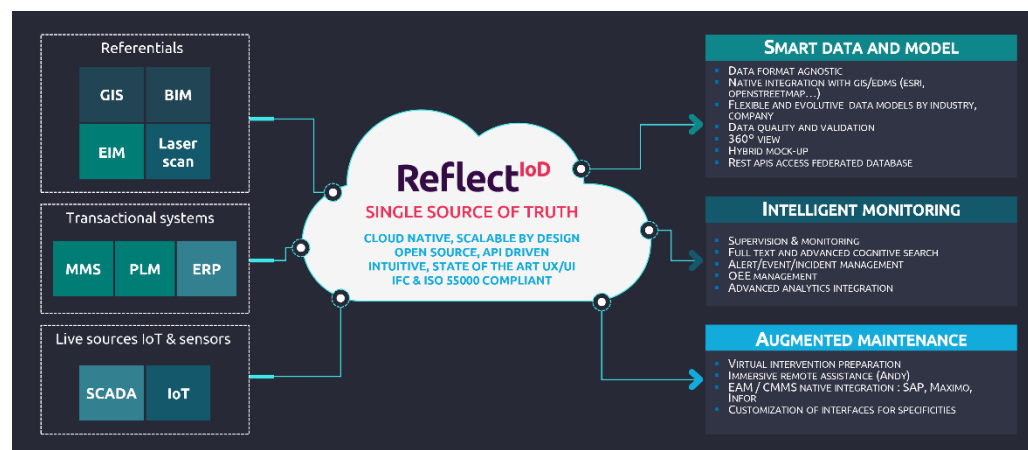
3.3.1. Alcune piattaforme Digital Twin per il Facility Management con approccio BIM-oriented

Negli ultimi anni stanno emergendo con insistenza piattaforme per la digitalizzazione del Facility Management degli edifici esistenti che adottano modelli informativi degli asset oggetto di interesse per ordinare e strutturare le operazioni. Tali piattaforme consentono di avere un modello virtuale degli oggetti fisici dotato di un database informativo costantemente aggiornato, e che riguarda lo stato manutentivo e operativo del corrispettivo reale e viene pertanto definito Digital Twin.

Si riporta l'esempio della piattaforma Reflect IoD, sviluppata dalla società Capgemini, che offre servizi in cloud per le imprese e che nel 2019 ha stretto un accordo con Autodesk, nota società di software per l'architettura e l'ingegneria, che sviluppa sistemi e strumenti BIM.

L'obiettivo di Reflect IoD è raccogliere, integrare e federare i dati che in fabbrica vengono prodotti da sistemi diversi, attori diversi e in formati diversi, ospitati in silos IT, utilizzando la piattaforma di servizi cloud Azure di Microsoft. È utile anche per aziende multi-sito perché permette di mettere in comunicazione, comparare e trasferire esperienze e risultati tra stabilimenti diversi (Fig.116).

Fig. 116
Schema delle potenzialità di integrazione e federazione dei dati eterogenei presenti nei diversi sistemi della fabbrica e delle operazioni abilitate da una piattaforma BIM-based.



I dati che la piattaforma riesce a ricevere, leggere, gestire e archiviare sono:

- Dati statici ('freddi'): modelli grafici 2D e 3D, modelli BIM (IFC), nuvole di punti, documenti agnostici (PDF), informazioni geografiche GIS (ESRI, OpenStreetMap)
- Dati dinamici ('caldi'): dati provenienti da sistemi OT (SCADA) e IoT
- Dati transazionali: dati provenienti dai sistemi IT (ERP, CMMS, MES..)

Le operazioni di Facility Management eseguibili per mezzo della piattaforma sono:

- Gestione e visualizzazione del vasto pacchetto eterogeneo di dati e modelli in grado di ricevere (Fig.117)

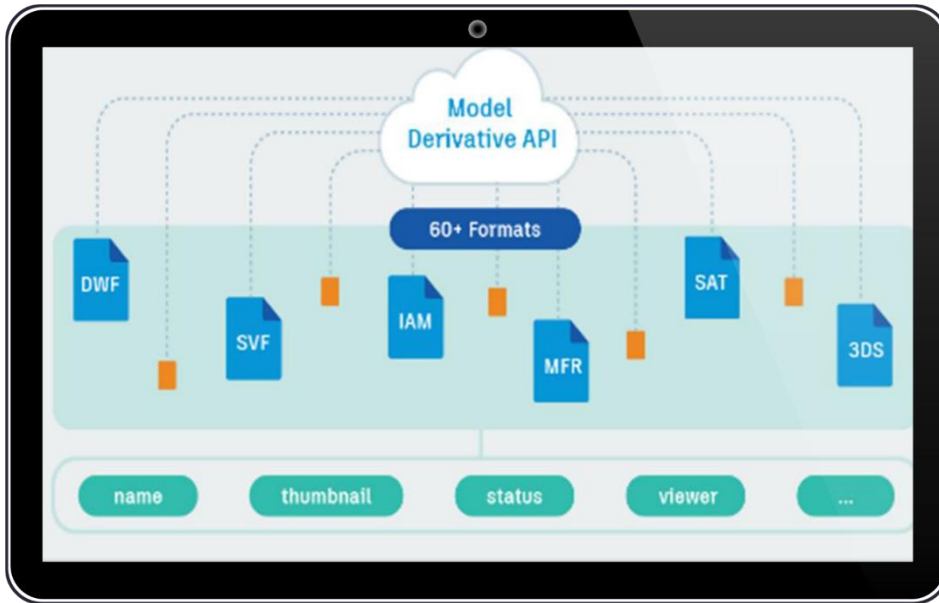


Fig. 117
 Dati e modelli in grado di essere gestiti dalla piattaforma.
 Fonte: Capgemini, 2022

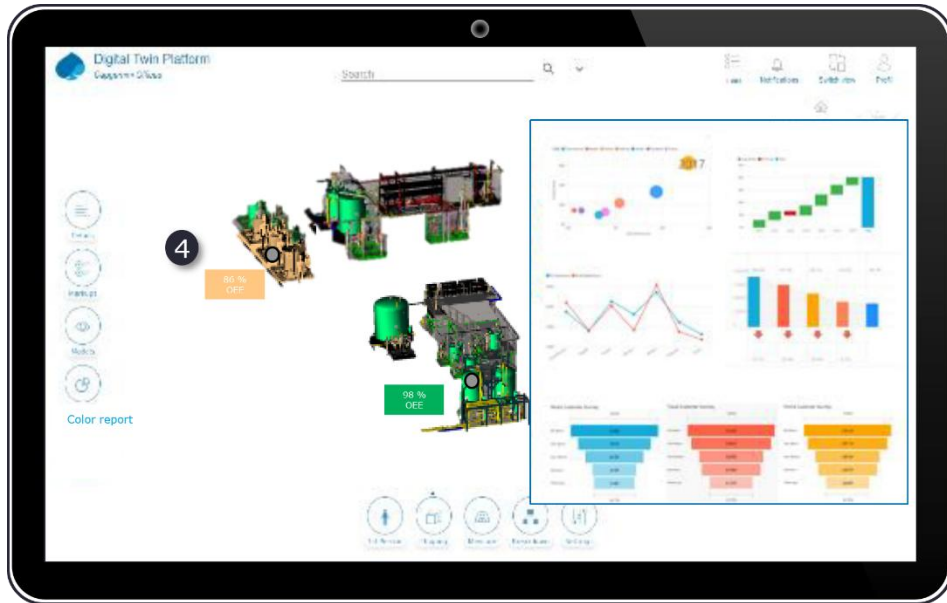
- Operazioni di supervisione e monitoraggio degli asset presenti (in termini di operatività dei macchinari, di assorbimenti energetici, ecc.):
 - Consente di riferire i dati di monitoraggio all'oggetto visualizzato (Fig.118)
 - Fornisce dashboard e reportistica (Fig.119)
 - Raccoglie dati da sensoristica IoT e dai sistemi SCADA archiviando gli eventi durante l'intero ciclo di vita degli asset ed eseguendo allarmi in caso di anomalie



Fig. 118
 Possibilità di riferire i dati di monitoraggio all'oggetto visualizzato.
 Fonte: Capgemini, 2022

Fig. 119
Elaborazione di dati e visualizzazione su dashboard.

Fonte: Capgemini, 2022



- Operazioni di manutenzione:

- Dispone dell'integrazione diretta con software di CMMS come il SAP attraverso cui gestire gli ordini di manutenzione e conservare la cronologia degli interventi effettuati (ad esempio, i ticketing del SAP si possono vedere all'interno della piattaforma, interrogando l'oggetto, oppure si può aprire direttamente il software SAP) (Fig.120)
- Consente la preparazione virtuale degli interventi grazie alla navigabilità a 360° all'interno del modello 3D e la possibilità di misurare gli spazi e gli oggetti (Fig.121)
- Fornisce servizi di assistenza remota attraverso live stream e applicazioni di realtà aumentata

Fig. 120
Integrazione diretta con software di gestione già presenti in fabbrica..

Fonte: Capgemini, 2022

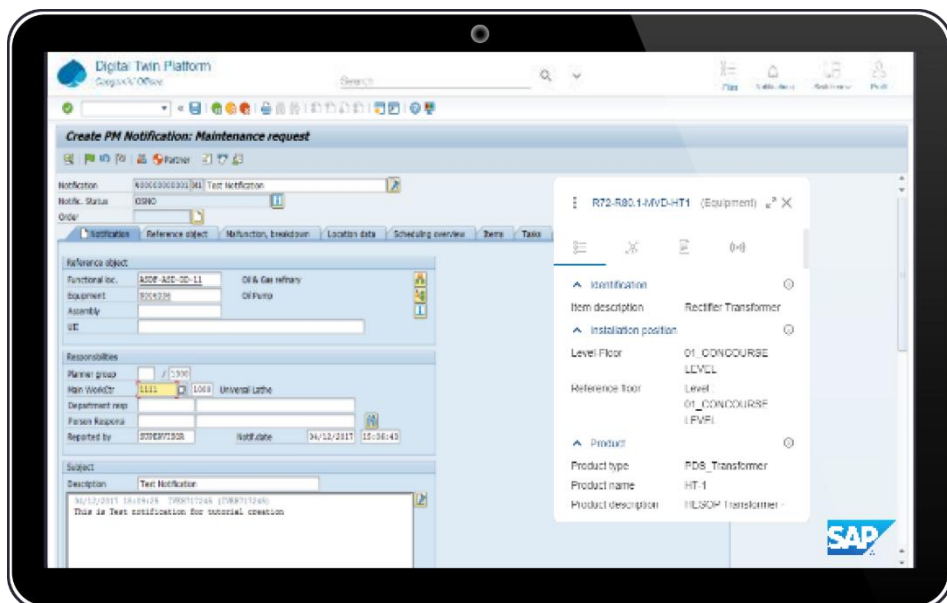




Fig. 121
 Possibilità di interazione con il modello 3D per misurare spazi e per la preparazione virtuale di nuovi interventi.
 Fonte: Capgemini, 2022

L'architettura tecnica supportata dalla piattaforma è illustrata di seguito in Fig.122.

In conclusione, piattaforme come Reflect IoD abilitano una moltitudine di operazioni di Facility Management, tra cui l'operation & maintenance e il monitoraggio dei consumi energetici e contengono in un unico ambiente digitale le diverse informazioni utili da raccogliere per compilare un rapporto di Diagnosi Energetica.

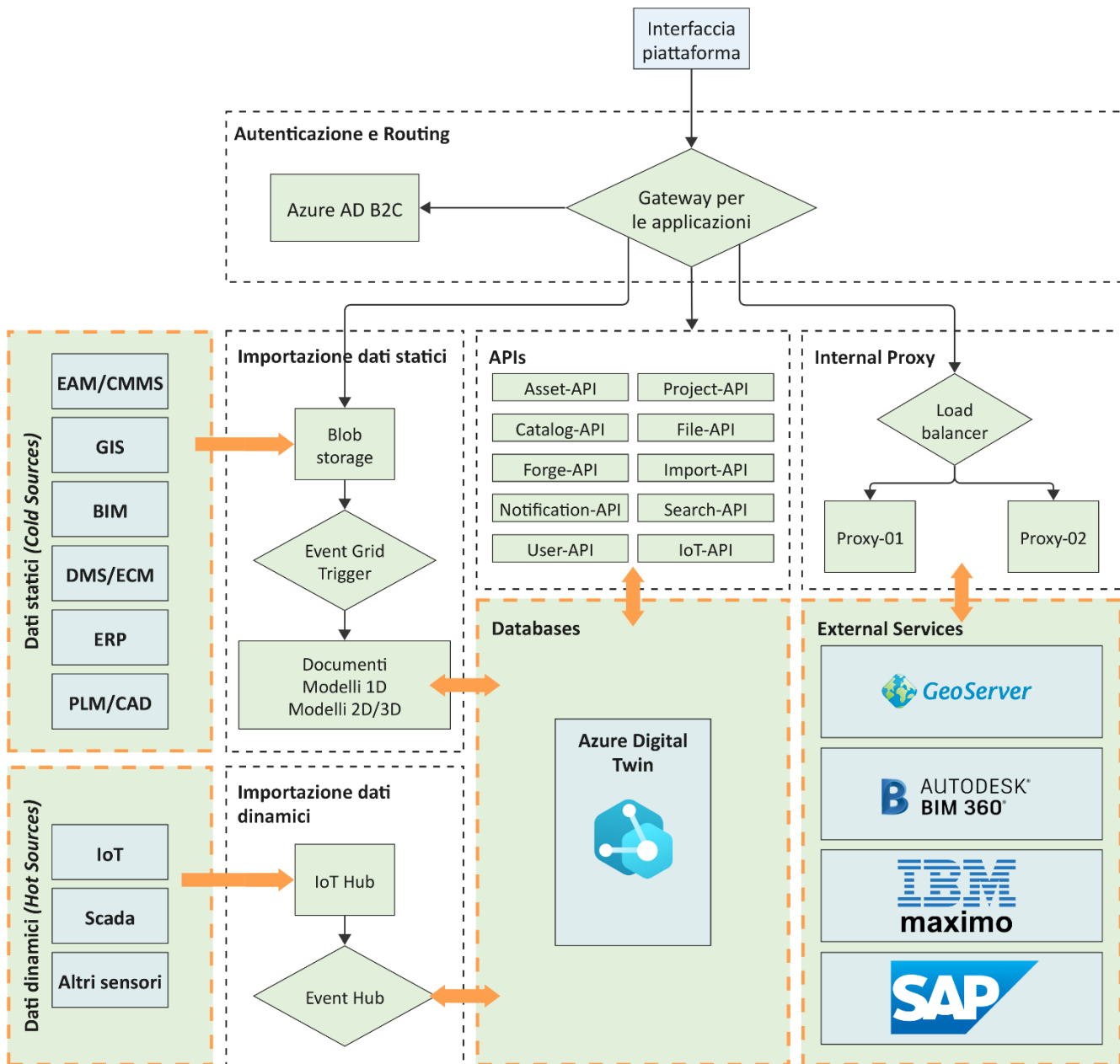


Fig. 122
 Architettura tecnica
 della piattaforma
 integrata per il Facility
 Management.
 Fonte: Capgemini,
 2022

3.3.2. Predisposizione del modello BIM per il Facility Management

Le caratteristiche specifiche del modello informativo BIM da associare alle piattaforme per il Facility Management riguardano:

- Lo *Space Management*, in termini di gestione e tracciamento dei vari spazi. In particolare:
 1. Devono essere note le informazioni relative all'anagrafica, alle funzioni e alle condizioni di utilizzo:
 - Seguendo la norma UNI 11337-1:2017, devono essere distinti gli Ambiti Funzionali Omogenei (AFO), a sua volta suddivisi in Locali
 - Seguendo la normativa internazionale ANSI/BOMA Z65.1-2017, tali locali devono essere codificati per categoria e contenere gli attributi COBie (Construction Operations Building Information Exchange) legati a usi, dati dimensionali di superfici e volumi, e dati su comparto REI, ecc..
 - Devono essere note le condizioni termoigrometriche, illuminotecniche desiderate e relative alla programmazione dell'occupazione
 2. Devono essere riconoscibili e correlabili, tramite appositi ID, alle altre entità che ad essi si riferiscono, quali oggetti, impianti, documenti, sistemi di monitoraggio e applicativi gestionali.
- L'*Asset Management*, in termini di gestione ed utilizzo del sistema edificio/impianti. In particolare:
 1. Devono essere note le informazioni relative agli elementi tecnici dell'edificio e agli impianti presenti:
 - Seguendo la norma UNI 82901:1981, devono essere distinte le Unità tecnologiche e gli elementi tecnici, sia per quanto riguarda gli impianti che i componenti che confinano gli spazi
 - Devono contenere gli attributi COBie (Construction Operations Building Information Exchange) legati a usi, dati tecnico-costruttivi, materici, funzionali e dimensionali, anagrafica del costruttore, dati relativi alla manutenzione quali operazioni manutentive, frequenza e costi, ecc..
 2. Devono essere associati agli spazi a cui si riferiscono e devono essere riconoscibili e correlabili, tramite appositi ID, a documenti, manuali di manutenzione, sistemi di monitoraggio e applicativi gestionali (ad esempio i sistemi ERP e CMMS).

3.3.3. Possibili sviluppi delle piattaforme per il Facility Management basato su BIM

Si sono analizzate in precedenza le possibilità fornite dalle piattaforme Digital Twin per il Facility Management, assumendo la piattaforma Reflect IoD a valore esemplificativo. In conclusione si possono individuare due possibili sviluppi di tali piattaforme al fine di rendere automatizzato il lavoro di redazione delle Diagnosi Energetiche.

1. Introdurre nelle attuali piattaforme una sezione appositamente dedicata, che individua, filtra, raccoglie e aggrega opportunamente i dati disponibili al fine di comporre e presentare le varie analisi richieste dalla normativa sulla redazione delle Diagnosi Energetiche.
2. Introdurre nelle piattaforme una sezione destinata alla realizzazione di scenari di efficientamento energetico per l'individuazione, il dimensionamento e la valutazione economica degli interventi da implementare, la cui rendicontazione è richiesta dalla normativa delle Diagnosi Energetiche. Sfruttando l'interoperabilità dei modelli BIM con i software di simulazione energetica, si estenderebbero le funzionalità delle piattaforme collaborative per il Facility Management all'elaborazione delle proposte di efficientamento energetico da presentare in Diagnosi.

CAPITOLO 4.

La pianificazione degli interventi di decarbonizzazione di un sito industriale attraverso il Digital Twin

4.1. Il Digital Twin simulativo per la pianificazione degli interventi energetici migliorativi e la valutazione degli scenari di decarbonizzazione di un sito produttivo industriale

4.1.1. Il Digital Twin dell'edificio come modello virtuale calibrato e connesso capace di simulare il comportamento dell'edificio reale

Il Digital Twin, già familiare nel mondo industriale relativamente ai macchinari e ai processi, è un concetto che si sta estendendo a comprendere anche l'ambito degli edifici. Il Digital Twin è il corrispettivo virtuale di una entità fisica, connesso ad essa e capace di simulare il medesimo comportamento, realizzando un sistema cyber-fisico. La sua complessità è legata al livello di accuratezza attesa della copia e alla scala dell'oggetto di cui si fa specchio (Pavan & Capozzoli, 2024). La Direttiva Europea 2024/1275 (EPBD IV) definisce il Digital Twin dell'edificio 'una simulazione interattiva e dinamica che riflette in tempo reale lo stato e il comportamento di un edificio fisico. Integrando dati in tempo reale di sensori, contatori intelligenti e altre fonti, un gemello digitale dell'edificio fornisce una visione olistica delle prestazioni dell'edificio, compresi il consumo energetico, la temperatura, l'umidità, i livelli di occupazione e altro ancora, e può essere utilizzato per monitorare e gestire il consumo energetico dell'edificio' (European Parliament and the Council of the European Union, 2024a).

Obiettivi del Digital Twin

Il Digital Twin è uno strumento che può adempiere a diversi scopi (Pavan & Capozzoli, 2024):

- Simulare le prestazioni dell'entità fisica a cui si riferisce, al fine di fare previsioni e creare scenari futuri in funzione della variazione di parametri o eventi esterni
- Monitorare il comportamento e le prestazioni dell'entità fisica in tempo reale
- Registrare una cronologia degli eventi riferiti all'entità fisica
- Attivare azioni e impartire comandi sull'entità fisica attraverso l'interfaccia della copia digitale (abilitando nei casi d'uso opportuni l'automazione del comportamento dell'entità)
- Agevolare la presa di decisioni strategiche basate sul corredo di informazioni che possono essere fornite (siano esse riferite agli eventi storici registrati o agli scenari futuri simulati..)

In questo modo si possono ottimizzare le prestazioni dell'oggetto fisico.

Caratteristiche del Digital Twin

Alcuni importanti aspetti caratterizzano il Digital Twin, a fronte degli scopi di cui si è parlato:

- la connessione, ovvero la trasmissione continua di un flusso di dati che informi entrambi i sistemi (fisico e digitale) in tempo reale e possibilmente in modo biunivoco, consentendo di plasmare i cambiamenti della parte fisica anche sulla controparte virtuale, consentendone il rilevamento, lo storage e la storicizzazione e, viceversa, di influire sulla dimensione reale attraverso le modifiche sulla parte digitalizzata (Dawkins et al., 2018)
- la capacità di apprendimento in modo autonomo del sistema cyber-fisico, a partire dai dati e feedback ricevuti dall'ambiente reale e dalla capacità computazionale della copia digitale e dai risultati delle simulazioni (Liu et al., 2023)

In conclusione, il Digital Twin è uno strumento al cui utilità è riferita alla possibilità di analisi, simulazione e previsione delle prestazioni di una risorsa, identificando in via preventiva i potenziali guasti, in alcuni casi predicendoli, e agevolando i processi decisionali attraverso la fornitura di informazioni più accurate e un maggiore controllo dell'asset lungo tutto il ciclo di vita. Nel caso degli edifici, il Digital Twin è complementare al modello BIM, importante database di dati storici statici, perché aggiunge la capacità di valutazione dinamica dello stato corrente e di previsione potenziale dello stato futuro (Stojanovic et al., 2018).

Possono esistere diverse configurazioni di Digital Twin di un edificio, in funzione dell'utilizzo atteso, di cui si tiene traccia già in fase di realizzazione del modello BIM attraverso le specifiche stabilite nell'Asset Information Requirement, nel Capitolato Informativo e nel LoIN (level of information needs) scelto. Per gli edifici esistenti, la norma UNI EN ISO 19650-3 distingue tra Asset Management, che riguarda la gestione del portafoglio e della proprietà di un edificio, e Facility Management, incentrato sulla gestione dell'uso dell'asset e degli spazi, superando la generica definizione di gestione degli asset della norma britannica BS PAS 1192-3.

Una certa complessità per la realizzazione del Digital Twin è da riferirsi a:

- la capacità di interfacciarsi con una moltitudine di sorgenti di dati, informazioni e sistemi eterogenea, quali:
 - dati nativi digitali del modello BIM/GIS
 - dati dei sensori (a volte anche analogici)
 - dati delle proiezioni meteo
 - sistemi informatizzati di controllo dell'asset e dell'edificio (es. BMS)
- la fruibilità da parte di una platea eterogenea di stakeholders

Diversi sono i modelli di Digital Twin riferiti agli edifici, in relazione alle necessità da soddisfare, tra cui:

- Modello BIM:
 - di progetto, che supporta le fasi di design multidisciplinare

- As-built, riferito all'edificio come costruito e realizzato a partire dal modello di progetto
- As-is, quando si realizza un modello di un edificio esistente a partire dalle informazioni che si ha a disposizione e utile a supportare la fase di uso, manutenzione e pianificazione di nuovi interventi
- per la visualizzazione attraverso la Virtual Reality (VR), fruibile in modo immersivo dall'utente attraverso visori
- per la visualizzazione attraverso la Augmented Reality, fruibile attraverso display, e Mixed Reality, fruibile attraverso visore olografico
- Modello 3D navigabile, come i rilievi in nuvole di punti effettuati attraverso laser scanner
- Modello predittivo, che consiste nella rappresentazione matematica o statistica di un fenomeno monitorato e simulato, non per forza connessa alla visualizzazione geometrica
- Modello alfa-numerico, che si riferisce al corredo informativo, anch'esso a prescindere dalla visualizzazione geometrica, ma apprezzabile tramite Dashboard

Le task specifiche cui i Digital Twin nell'ambito degli edifici possono adempiere sono:

- La progettazione e la gestione del cantiere
- Il monitoraggio delle condizioni interne degli spazi quali la raccolta di dati su temperature, umidità, qualità dell'aria, dello stato di affollamento degli spazi, dei consumi energetici e dei dati che la dotazione di sensoristica installata può fornire
- La raccolta delle informazioni aggiornate rispetto alla documentazione relativa all'edificio e alle sue dotazioni, quali gli attestati di certificazione energetica, gli interventi di manutenzione degli impianti, fruibili attraverso piattaforme apposite con interfaccia user-friendly
- La gestione degli spazi e la pianificazione dell'occupazione, attraverso tool di prenotazione degli spazi o di controllo da remoto dei set point per le condizioni termoigrometriche indoor
- La predizione di miglioramenti, nel caso di Digital Twin che supera la semplice task di monitoraggio e archiviazione dei dati, integrando modelli predittivi che anticipano il comportamento dell'edificio attraverso:
 - Applicazioni di Intelligenza artificiale, che attraverso la correlazione tra dati storici provenienti dall'edificio e dagli spazi come l'occupazione, dati simulati e dati prelevati da fonti esterne come i dati meteorologici permettono anche un controllo diretto e autonomo degli apparecchi presenti
 - Applicazioni di modellazione energetica dinamica, che permettono il confronto tra il comportamento reale dell'immobile con quello

simulato, evidenziando divergenze ed anomalie ed abilitando pertanto la manutenzione “preventiva” prima di arrivare a guasto.

L'utilizzo del Digital Twin per l'analisi, la simulazione e la realizzazione di scenari a supporto dei processi decisionali di interventi di riqualificazione dimostra le potenzialità della transizione digitale per la decarbonizzazione degli edifici esistenti.

Il Digital Twin performativo viene realizzato riproducendo le caratteristiche fisiche, funzionali e prestazionali dell'edificio esistente, ed è capace di effettuare simulazioni energetiche dinamiche basate sulla fisica e calibrate con i dati effettivi dell'asset in funzione, provenienti da bollette, da sistemi BMS o dalla sensoristica che registra i dati sulle condizioni indoor. Costituisce una rappresentazione virtuale dinamica dell'edificio che risponde e si comporta come la sua controparte nel mondo reale, superando la staticità nativa dei modelli BIM e aggiornandosi ed evolvendosi costantemente insieme ad esso, lungo tutto il ciclo di vita (IES, 2024a), aiutando a identificare eventuali lacune nelle prestazioni e a valutare gli impatti degli interventi di miglioramento futuri. Il punto di forza è la possibilità di testare scenari:

- senza incidere sull'edificio reale
- riducendo i rischi degli investimenti
- monitorare e verificare la qualità degli interventi una volta realizzati, confrontando le reali performance con quelle attese

grazie alla simulazione, validata dalla calibrazione del modello.

La metodologia per la realizzazione di un Digital Twin performativo è costituita da quattro principali step (Fig.123):

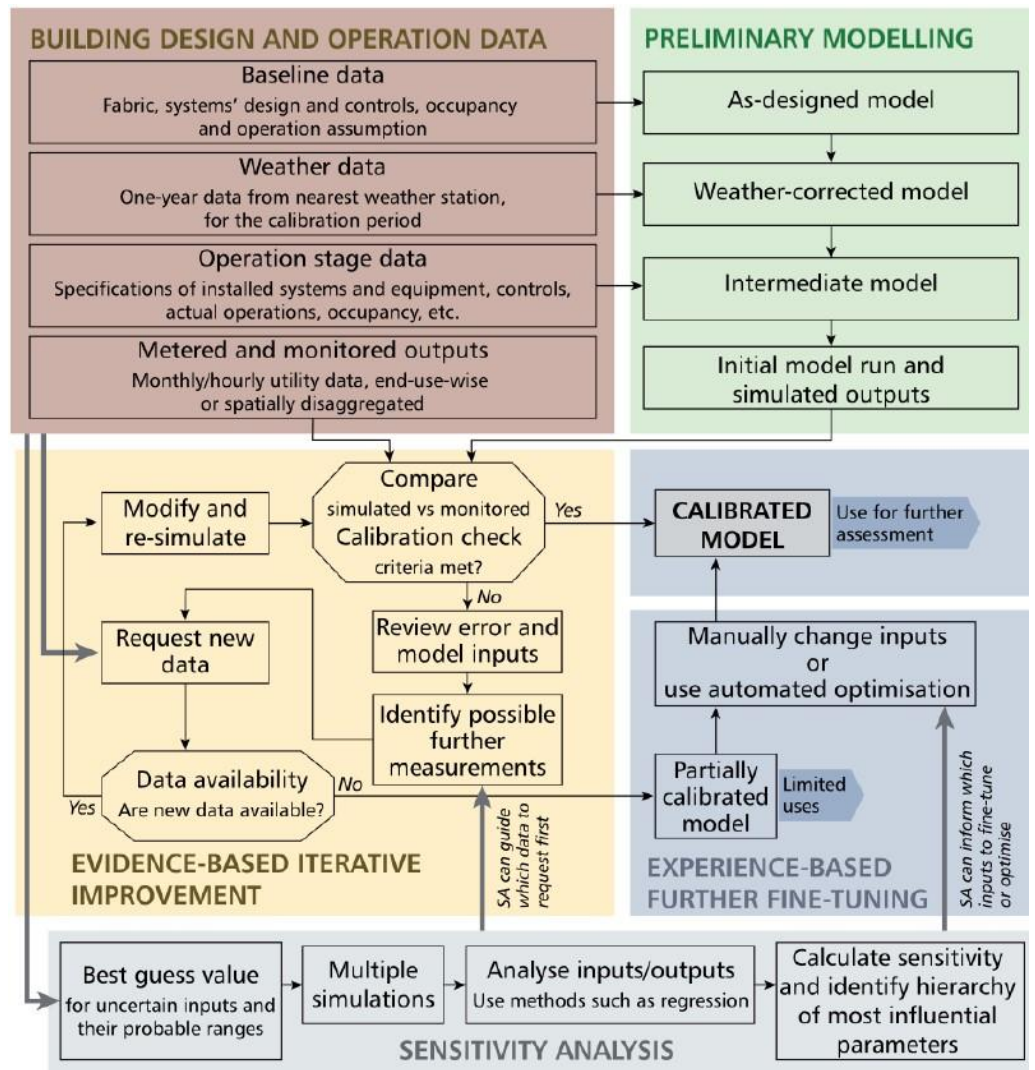
Fig. 123
I 4 step principali della metodologia di realizzazione di un Digital Twin.
Fonte: IES, 2024



- **Step 1: Audit energetico e raccolta dati**
In questa fase iniziale è necessario collezionare le informazioni reali riferite all'edificio, per poter successivamente modellare una copia coerente. Tali informazioni possono essere ricavate da un modello BIM predisposto e da eventuali sistemi BMS (Building Management System), e vertono su:
 - Informazioni geometriche: dimensioni, orientamento, superficie totale, numero di piani, altezza dell'edificio
 - Caratteristiche costruttive: materiali e stratigrafie dell'involucro, relative proprietà fisico-termiche come trasmittanza e tasso di infiltrazione

- Requisiti ambientali di ogni spazio: set point di riscaldamento e raffrescamento, ricambi d'aria e ventilazione, illuminazione desiderata
- Informazioni tecniche impiantistiche: relative ai sistemi di climatizzazione e ventilazione (HVAC), per l'acqua calda sanitaria e illuminazione artificiale
- Informazioni relative all'utilizzo: profili orari di occupazione, profili orari di utilizzo degli impianti
- Dati relativi ai consumi energetici effettivi per i diversi vettori energetici utilizzati: ottenibili dalle bollette o dal sistema di monitoraggio se presente
- Dati meteo
- Dati relativi a eventuali impianti di approvvigionamento energetico: generazione locale e reti di servizi di distribuzione ecc...
- Step 2: Realizzazione del modello energetico
 - Modellazione geometrica statica
 - Inserimento delle informazioni tecniche dei componenti dell'edificio e degli impianti e delle impostazioni di funzionamento
 - Inserimento delle condizioni al contorno (quali i dati metereologici)
 - Collegamento del modello con le fonti dati dei consumi energetici e di qualità dell'aria dell'edificio reale attraverso apposite piattaforme. Si tratta di serie temporali di dati provenienti da controller, sensori e contatori nell'edificio, inclusi ma non limitati a BMS/SCADA, BACnet, Modbus, controller DALI, sistemi AMR (Automatic Meter Reading), sensori IoT
- Step 3: Calibrazione del modello
 il processo di calibrazione confronta i risultati della simulazione dinamica basata sulla fisica con i dati storici di consumo effettivi, al fine di aumentare l'accuratezza del Digital Twin e garantire che la risorsa digitale si comporterà nello stesso modo della sua controparte fisica e risponderà agli stimoli nello stesso modo. La calibrazione si configura come processo iterativo che utilizza un'analisi di sensibilità per identificare i fattori che hanno il maggiore impatto e segue le linee guida ASHRAE 14, lo standard International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) e la metodologia CIBSE TM63:2020 'Building performance modelling and calibration for energy in use' (Fig.124).
- Step 4: Connessione real-time
 Mentre la calibrazione viene operata attraverso i dati storici, in questo step viene stabilita una connessione live tra il modello energetico calibrato e i dati misurati, BMS e/o sensori IoT all'interno dell'edificio. In questo modo è possibile tracciare e monitorare le prestazioni operative dell'edificio in tempo reale e compararle rispetto al benchmark dato dalla simulazione del modello energetico basate sulla fisica, rilevando eventuali discostamenti e anomalie.

Fig. 124
 Metodologia di
 calibrazione del
 modello.
 Fonte: CIBSE
 TM63:2020



4.1.2. Gli indicatori relativi al 'Greenhouse gas emissions along a building's life cycle' del framework Europeo Level(s)

Il framework europeo Level(s) destinato alla valutazione della sostenibilità degli edifici, di cui si è già discusso nei precedenti capitoli, come primo dei sei macro-obiettivi introduce l'indagine sulle emissioni di gas serra e di inquinanti atmosferici lungo il ciclo di vita del manufatto, seguendo un approccio 'cradle to grave'. Questa indagine si basa su due indicatori (Joint Research Centre, 2021b):

- Le prestazioni energetiche nella fase di utilizzo, per cui si cerca di guidare il controllo dei consumi energetici dell'edificio mirando al net zero, ovvero a livelli bassissimi di fabbisogno e al soddisfacimento di quelli attraverso tecnologie e infrastrutture a basse o nulle emissioni ed efficienti anche sul piano dei costi
- Il Life cycle Global Warming Potential (GWP), ovvero il potenziale di riscaldamento globale del ciclo di vita, che prende in considerazione l'embodied carbon, ovvero le emissioni legate all'intera filiera e a tutte le fasi che un manufatto attraversa, dalla fabbricazione, alla manutenzione, alla riparazione, all'adattamento, alla ristrutturazione e alla fine del ciclo di vita dei prodotti che lo compongono

Si è posta particolare enfasi sui possibili trade-off tra le emissioni incorporate e quelle operative durante la fase di utilizzo, con l'obiettivo di minimizzare le emissioni totali di gas serra. Lo schema di riferimento che fornisce l'interpretazione delle fasi di vita dell'edificio è fornito dalla normativa UNI EN 15978:2011 'Sostenibilità delle costruzioni - Valutazione della prestazione ambientale degli edifici - Metodo di calcolo', già introdotto nel primo capitolo a pagina 52 della presente tesi e di seguito richiamato:

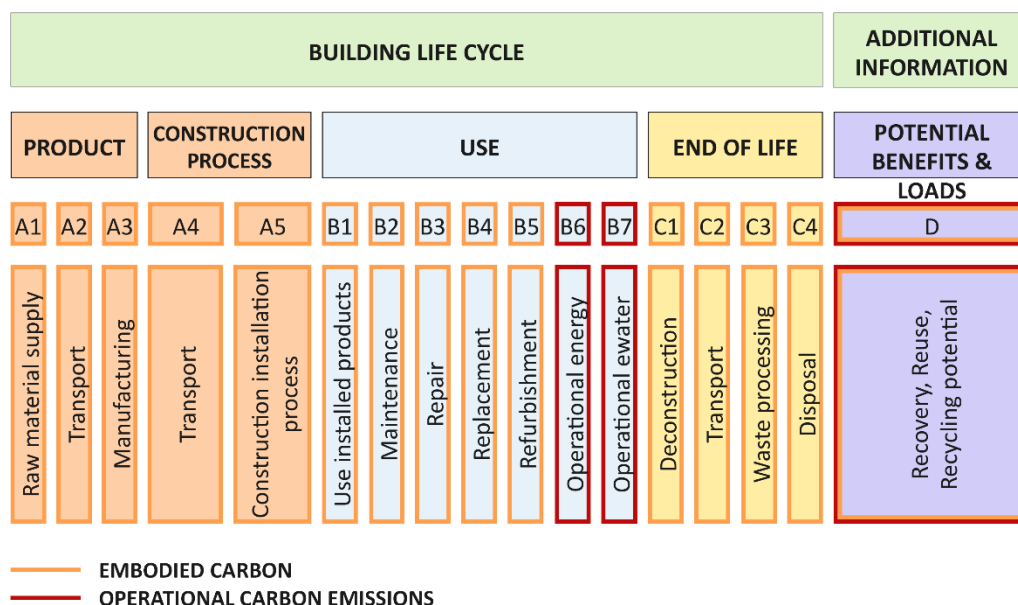


Fig. 27
 Schema del ciclo di vita degli edifici con individuazione delle fasi caratterizzate dal carico di embodied carbon e dalle emissioni relative all'utilizzo.
 Fonte: UNI EN 15978:2011

Indicatore 1.1 sulle Prestazioni Energetiche in fase di Utilizzo

L'indicatore fa riferimento alla fase B6 del ciclo di vita dell'edificio secondo la normativa EN 15978. Richiede una quantificazione dell'energia primaria non rinnovabile annuale consumata su unità di superficie utile totale dell'edificio, l'unità di misura è kWh/m²/anno. L'utilizzo dell'energia primaria è un parametro chiave per la certificazione energetica degli edifici nell'Unione Europea, necessario per le conformità a:

- Le normative sui requisiti minimi di prestazione energetica
- Gli attestati di prestazione energetica

Si basa su dati di progetto o dati "as-is". L'incidenza del fabbisogno di energia primaria in fase di utilizzo varia a seconda dell'età dell'edificio: per gli edifici pre-2010 rappresenta l'impatto maggiore del ciclo di vita; per quelli più recenti l'impatto delle fasi relative all'utilizzo dei materiali, come a fase di produzione e la ristrutturazione, sono più rilevanti, e la fase di utilizzo può contribuire anche solo per il 30% al consumo energetico totale. L'indicatore misura la prestazione energetica di un edificio basandosi sul consumo energetico (calcolato o misurato) per soddisfare le esigenze di:

- Riscaldamento
- Raffrescamento
- Acqua calda sanitaria
- Illuminazione degli spazi
- Funzionamento dei sistemi tecnici presenti

Si considerano i vettori di energia elettrica, gas naturale, biomassa, e si consente anche di comunicare la quota di domanda di energia primaria soddisfatta con produzione di energia rinnovabile e la quota di energia primaria esportata come eccedenza. L'energia primaria è calcolata usando fattori specifici di conversione per ogni vettore energetico derivato da medie nazionali/regionali o valori specifici per la produzione in loco, che considerano le perdite del sistema (Joint Research Centre, 2021c).

Indicatore 1.2 sul Potenziale di riscaldamento globale (GWP) del ciclo di vita

L'indicatore fa riferimento alle seguenti fasi del ciclo di vita dell'edificio individuate dalla normativa EN 15978:

- fase della produzione (A1-5)
- fase di utilizzo (B1-6)
- fase di fine vita (C1-4)
- ulteriori benefici e oneri (D)

L'obiettivo è quantificare il contributo dell'edificio alle emissioni che concorrono al riscaldamento globale e ai relativi impatti sui cambiamenti climatici, concetto noto come carbon footprint. L'unità di misura è espressa in kg di CO₂ equivalente per m² di superficie utile interna per un periodo di riferimento dell'analisi di 50 anni e viene

richiesto di comunicare i risultati rispettivamente per ciascuna delle quattro fasi del ciclo di vita. La valutazione combina:

- le emissioni di carbonio incorporate nei materiali da costruzione, come l'estrazione delle materie prime, la loro produzione, il trasporto..)
- le emissioni di carbonio legate ai processi (di costruzione, di smantellamento e di trattamento dei relativi materiali da costruzione, ossia recupero, riutilizzo, riciclaggio e smaltimento)
- le emissioni dirette e indirette generate durante la fase di utilizzo, come quelle derivanti dal consumo per il riscaldamento, il raffrescamento e la fornitura di elettricità.

Le Norme di riferimento per il metodo di calcolo sono la EN 15978, la ISO 14040/44, la EN 15804 e al metodo dell'impronta ambientale di prodotto (Product Environmental Footprint, PEF) della Commissione europea. Nel calcolo vanno considerati i 'fattori di caratterizzazione' al fine di convertire il consumo energetico in emissioni di CO2 equivalente (il potenziale di riscaldamento globale) (Joint Research Centre, 2021a).

4.2. Metodologia per la realizzazione di un modello digitale di uno stabilimento specifico calibrato sul funzionamento dell'edificio

4.2.1. Analisi del funzionamento reale dell'edificio

Per la realizzazione di un modello digitale che sia in grado di emulare in ambiente virtuale il comportamento energetico del corrispettivo edificio reale, è necessario preliminarmente individuare i parametri che caratterizzano la fisionomia ed il funzionamento di quest'ultimo nel mondo fisico, analizzarne e capirne le dinamiche al fine di plasmare una copia fedele, opportunamente calibrata.

Il lavoro si è concentrato sullo studio del funzionamento del sistema che governa le condizioni microclimatiche ambientali indoor nello spazio principe della fabbrica: l'area operativa ove sono ubicate le linee produttive e il confezionamento dei prodotti finiti. Quest'area è costituita da un unico grande ambiente di difficile controllo del microclima, che può essere assimilato agli ambienti di tipo 'non moderabile' (Merlino et al., 2019) della classificazione dell'INAIL (INAIL, 2018). Ciò è dovuto alle notevoli dimensioni del volume dello spazio e al fatto che le condizioni ambientali sono influenzate dall'attività dei processi produttivi e dal riscaldamento indotto dai macchinari in funzione.

Va precisato, a tal proposito, che l'area produttiva è anche sprovvista di impianti di riscaldamento dell'ambiente per la stagione invernale, poiché gli apporti gratuiti di calore dovuti ai macchinari di processo bastano a soddisfare il fabbisogno dei lavoratori. È presente invece il sistema di climatizzazione estiva, ambito in cui si è concentrato il perimetro dello studio. Il flusso di lavoro seguito per analizzare il problema è descritto attraverso una flowchart (Fig.125) e si specifica che è stata costruita una metodologia di indagine che parte dall'analisi dei consumi e dei regimi di funzionamento della centrale frigorifera effettivamente monitorati in azienda e dall'analisi delle portate delle UTA per raggiungere la stima distinta dei fabbisogni per il raffrescamento dell'ambiente dalle richieste di freddo provenienti da alcune fasi del processo produttivo (ad esempio, il raffreddamento del prodotto in uscita dai forni)

La distinzione di tali fabbisogni è frutto di una stima dovuta al fatto che il sistema di produzione delle frigoriferie monitorato è il medesimo a servizio delle diverse utenze e non vi sono dati specifici che distinguono i due utilizzi dell'energia.

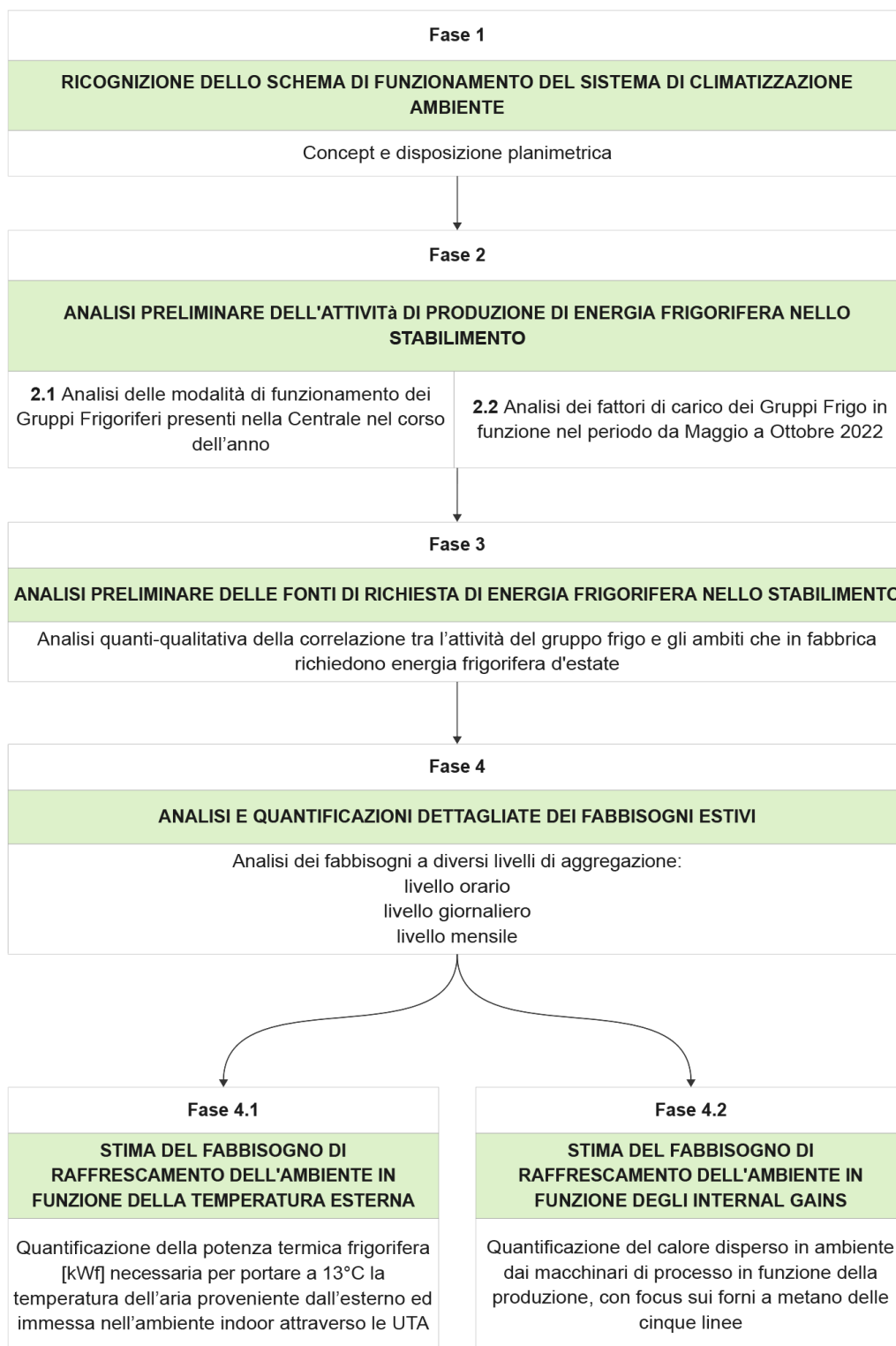


Fig. 125
Flusso di lavoro seguito per l'analisi e la comprensione del funzionamento reale dell'edificio relativamente all'ambito del raffrescamento.

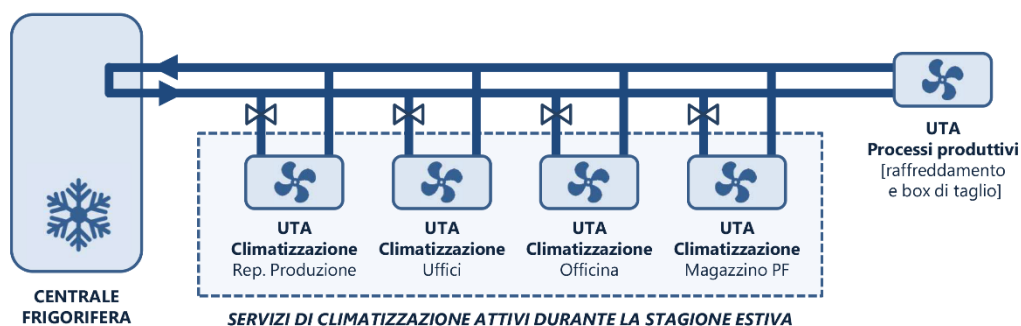
Di seguito vengono elencate le fasi del lavoro di analisi svolto per interpretare il comportamento energetico dello stabilimento. Viene strutturata la descrizione distinguendo gli obiettivi, i dati raccolti dal campo, la metodologia delle elaborazioni operate su quei dati, gli strumenti utilizzati e i risultati. Si specifica che le analisi per la comprensione del comportamento energetico dell'edificio hanno preso come

riferimento dati storici misurati nell'anno 2022, che è lo stesso periodo su cui si è basata la rendicontazione nelle Diagnosi Energetiche consegnate ad ENEA nel 2023.

Fase 1: Ricognizione dello schema di funzionamento del sistema di climatizzazione.

In questa fase è stata necessaria l'interlocuzione con il Responsabile della Manutenzione in fabbrica, che ha descritto il concept con cui è stato stabilito il funzionamento del sistema di climatizzazione (Fig.126) e la raccolta della planimetria, gentilmente resa disponibile dal Responsabile HSE&E, dove sono tracciati i gruppi frigo, i circuiti del freddo e le Unità di Trattamento dell'Aria (*qui non riportata per motivi di privacy*).

Fig. 126
Schema di
funzionamento del
servizio generale di
raffrescamento in
stabilimento



Il circuito di produzione e distribuzione del freddo è lo stesso che serve sia i dispositivi preposti a specifiche fasi di raffreddamento nel processo produttivo, sia le unità di trattamento dell'aria per il raffrescamento estivo degli ambienti. Il circuito di distribuzione attinge frigorifici dall'attività dei Gruppi nella Centrale frigorifera e le veicola per tutta la fabbrica; la richiesta del raffrescamento degli ambienti nel periodo estivo viene gestita attraverso un sistema di valvole che permette la deviazione di parte del percorso del fluido freddo alle Unità di Trattamento dell'Aria per gli ambienti di interesse.

La planimetria colloca nello spazio della fabbrica i Gruppi Frigo (GR) e le Unità di Trattamento dell'Aria (UTA) e permette quindi di avere una immagine della distribuzione del freddo più comprensibile rispetto al semplice schema concettuale (*qui non riportata per motivi di privacy*).

Fase 2: Analisi preliminare dell'attività di produzione di energia frigorifera nello stabilimento: il funzionamento dei Gruppi Frigo presenti nella Centrale frigorifera.

Si sono analizzate le tipologie dei Gruppi Frigoriferi in dotazione, il loro regime di funzionamento e i fattori di carico, di seguito descritti nel dettaglio.

- *Fase 2.1: Analisi delle modalità di funzionamento dei Gruppi Frigoriferi presenti nella Centrale nel corso dell'anno.*

Obiettivo: Individuazione del Gruppo Frigo che lavora d'estate per servire la climatizzazione dell'ambiente.

Metodologia: Ricognizione della tipologia dei diversi Gruppi Frigo presenti nella Centrale frigorifera e analisi degli assorbimenti elettrici nel corso del 2022, aggregati a livello mensile.

Dati reperiti:

- *Dati anagrafici sulla tipologia dei Gruppi Frigoriferi*, elencati nella 'Lista Impianti Generali' integrata al report di Diagnosi Energetica
- *Dati degli assorbimenti dei diversi Gruppi Frigoriferi [kWh_e]*, reperiti dal sistema di monitoraggio energetico B.E.M. utilizzato in fabbrica, basato sui meter in campo e relativo ad ogni singolo Gruppo Frigo presente in centrale frigorifera

Strumento di elaborazione dei dati: Foglio di calcolo Excel.

Risultati: Dall'analisi (Tab.44) si è evinto che i Gruppi Frigo presenti in centrale sono tre, di cui due gruppi caratterizzati dal sistema di condensazione basato sullo scambio di energia termica per mezzo dell'acqua e pertanto abbinati a torri evaporative, e un gruppo ubicato sul tetto che invece scambia energia termica con l'aria. Tali gruppi lavorano in serie, ed in particolare:

- durante la stagione di maggiore richiesta di frigoriferie nel circuito (da giugno a settembre, quando gli usi del freddo interessano anche la climatizzazione estiva) viene attivato il Gruppo Frigo più potente, con condensazione ad acqua
- durante la stagione di minore richiesta, in cui le frigoriferie sono destinate ai soli processi produttivi e le Unità di Trattamento dell'Aria per il condizionamento ambienti sono spente (da Novembre ad Aprile), si predilige l'utilizzo del Gruppo Frigo ad aria, che consente lo spegnimento delle torri evaporative per il risparmio energetico; tuttavia, il secondo Gruppo Frigo ad acqua, quello di minor potenza, viene attivato al bisogno ad integrazione della produzione di frigoriferie del Gruppo ad aria
- durante i periodi intermedi (maggio e ottobre), il maggiore fabbisogno di frigoriferie viene soddisfatto dal Gruppo Frigo ad acqua

più potente, lo stesso che viene utilizzato d'estate, ma si tende a non sfruttarlo al massimo, integrando con gli altri Gruppi Frigo

Tab. 44
Assorbimenti mensili di energia elettrica dei tre gruppi frigoriferi presenti nella centrale termica e individuazione del gruppo attivo nel periodo estivo di raffrescamento del luogo di produzione.

| Assorbimenti di energia elettrica mensili (kWh _e) | | | | | | |
|---|---------|--|---------|---|--------|--|
| Alimentazione Gruppo frigo Carrier tetto [ad aria] | | Alimentazione Gruppo frigo York [ad acqua] | | Alimentazione Gruppo frigo Carrier [ad acqua] | | |
| P _{nom} [kW] | 253 | P _{nom} [kW] | 411 | P _{nom} [kW] | 255 | |
| Potenzialità [kW _f] | 876 | Potenzialità [kW _f] | 2300 | Potenzialità [kW _f] | 1294 | |
| [kWh _e] | | [kWh _e] | | [kWh _e] | | |
| gen | 37.487 | | 558 | | 0 | |
| feb | 40.911 | | 336 | | 0 | |
| mar | 47.560 | | 355 | | 0 | |
| apr | 56.421 | | 363 | | 2.662 | |
| mag | 2.994 | | 61.309 | | 21.506 | |
| giu | 2.109 | | 134.407 | | 338 | |
| lug | 0 | | 137.616 | | 0 | |
| ago | 0 | | 154.360 | | 0 | |
| set | 0 | | 101.309 | | 0 | |
| ott | 20.474 | | 50.626 | | 5.957 | |
| nov | 35.026 | | 555 | | 3.246 | |
| dic | 28.110 | | 575 | | 0 | |
| totale | 271.093 | | 642.368 | | 33.708 | |

- *Fase 2.2: Analisi dei fattori di carico dei Gruppi Frigo in funzione nel periodo da Maggio a Ottobre 2022.*

Obiettivo: Individuazione del regime di utilizzo medio della Potenza Frigorifera [kW_f] dei Gruppi Frigo rispetto alla loro Potenza Frigorifera Nominale [kW_f].

Metodologia: Per ogni ora è stato individuato il fattore di carico della potenza frigorifera prodotta dal Gruppo Frigo rispetto alla Potenza frigorifera nominale di etichetta. Si noti che, avendo come dati monitorati soltanto gli assorbimenti elettrici dei gruppi frigoriferi e non le frigoriferie prodotte, il profilo di potenza frigorifera è stato ricavato a partire dai profili dei consumi energetici moltiplicati per il Coefficiente di Prestazione (COP).

Dati reperiti:

- *Dati anagrafici sulla Potenza dei Gruppi Frigoriferi e della torre evaporativa, elencati nella 'Lista Impianti Generali' integrata al report di Diagnosi Energetica*
- *Dati orari degli assorbimenti dei diversi Gruppi Frigoriferi e della torre evaporativa [kWh_e], reperiti dal sistema di monitoraggio energetico B.E.M. utilizzato in fabbrica, basato sui meter in campo e relativo ad ogni singolo Gruppo Frigo presente in centrale frigorifera e alla torre evaporativa*

Strumento di elaborazione dei dati: Foglio di calcolo Excel.

Risultati: Si riportano i risultati dell'analisi condotta, a diversi livelli di aggregazione:

- A livello di giornaliero, illustrando come sono stati elaborati i dati ai fini dell'individuazione dei fattori di carico su base oraria. Si riporta a titolo esemplificativo i risultati relativi al 28 Giugno 2022 (Tab.45).
- A livello settimanale, al fine di comprendere le oscillazioni dei fattori di carico. Si riporta a titolo esemplificativo i risultati relativi alla settimana dal 27 Giugno 2022 al 3 Luglio 2022 (Fig.127).
- A livello mensile, al fine di riassumere le performance nel periodo di maggior richiesta di raffrescamento. Dall'analisi si evince che da Giugno ad Agosto la Centrale frigorifera ha registrato un fattore di carico medio mensile di produzione intorno al 45% rispetto alla potenzialità del Gruppo Frigo in funzione, con picchi anche di oltre 90% (Tab.46).

| Potenze di alimentazione elettrica orarie monitorate (kW _e) | | | | | | Calcoli effettuati | |
|---|--------------------|--|--------------------|---|--------------------|-------------------------------------|---|
| Alimentazione Gruppo frigo Carrier tetto [ad aria] | | Alimentazione Gruppo frigo York [ad acqua] | | Alimentazione Gruppo frigo Carrier [ad acqua] | | Torre vaporativa | |
| P _{nom} [kW _e] | 253 | P _{nom} [kW _e] | 411 | P _{nom} [kW _e] | 255 | | |
| Potenzialità [kW _e] | 876 | Potenzialità [kW _e] | 2300 | Potenzialità [kW _e] | 1294 | P _{nom} [kW _e] | 81 |
| ora | [kW _e] | [kW _e] | [kW _e] | [kW _e] | [kW _e] | [kW _e] | Fattore di carico rispetto alla potenzialità del Gruppo Frigo in funzione [%] |
| 00:00 | 0 | 226,6 | 0 | 31,9 | 1208,4 | 52,5% | |
| 01:00 | 0 | 208,8 | 0 | 31,3 | 1122,4 | 48,8% | |
| 02:00 | 0 | 197 | 0 | 32,8 | 1074,3 | 46,7% | |
| 03:00 | 0 | 177,9 | 0 | 32,1 | 981,7 | 42,7% | |
| 04:00 | 0 | 169,3 | 0 | 32,2 | 942,0 | 41,0% | |
| 05:00 | 0 | 145,7 | 0 | 32,4 | 832,6 | 36,2% | |
| 06:00 | 0 | 158 | 0 | 31,9 | 887,7 | 38,6% | |
| 07:00 | 0 | 174,9 | 0 | 32,7 | 970,5 | 42,2% | |
| 08:00 | 0 | 196,5 | 0 | 31,1 | 1064,0 | 46,3% | |
| 09:00 | 0 | 213,6 | 0 | 32,6 | 1150,9 | 50,0% | |
| 10:00 | 0 | 265,3 | 0 | 30,9 | 1384,7 | 60,2% | |
| 11:00 | 0 | 270,9 | 0 | 32,2 | 1416,9 | 61,6% | |
| 12:00 | 0 | 295,9 | 0 | 30,8 | 1527,3 | 66,4% | |
| 13:00 | 0 | 353,2 | 0 | 31,8 | 1799,8 | 78,3% | |
| 14:00 | 0 | 349,8 | 0 | 30,8 | 1779,2 | 77,4% | |
| 15:00 | 0 | 329,9 | 0 | 31,1 | 1687,6 | 73,4% | |
| 16:00 | 0 | 363,5 | 0 | 32,0 | 1848,9 | 80,4% | |
| 17:00 | 0 | 332,8 | 0 | 31,4 | 1702,6 | 74,0% | |
| 18:00 | 0 | 248,7 | 0 | 30,5 | 1305,2 | 56,7% | |
| 19:00 | 0 | 257,2 | 0 | 32,2 | 1352,9 | 58,8% | |
| 20:00 | 0 | 265,7 | 0 | 31,6 | 1389,8 | 60,4% | |
| 21:00 | 0 | 306,8 | 0 | 30,7 | 1577,7 | 68,6% | |
| 22:00 | 0 | 365,2 | 0 | 31,7 | 1855,4 | 80,7% | |
| 23:00 | 0 | 339,8 | 0 | 31,8 | 1737,2 | 75,5% | |

Tab. 45
Fattori di carico orario della potenza frigorifera erogata dal Gruppo frigo in attività rispetto alla potenzialità, nell'arco della giornata del 28 Giugno 2022, ricavato a partire dai dati reali monitorati della potenza elettrica assorbita.

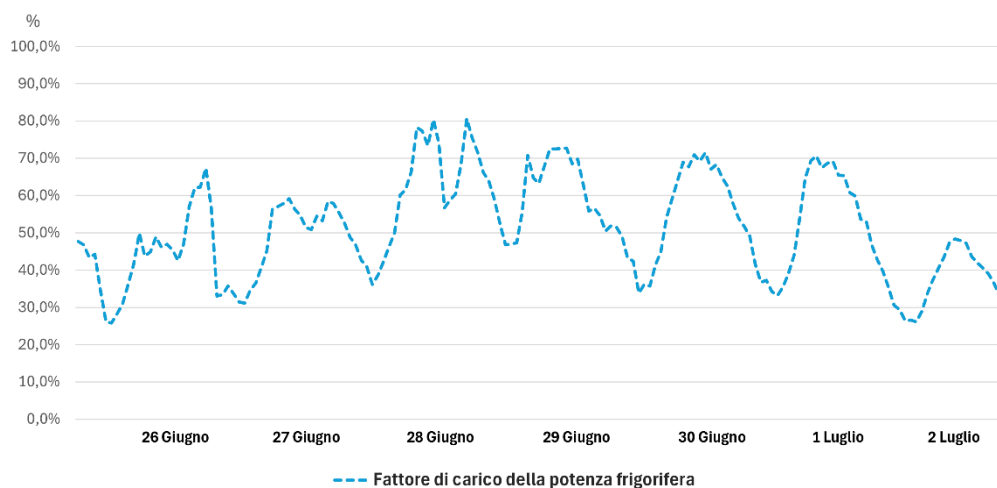


Fig. 127
Andamento del fattore di carico orario di produzione frigorifera relativamente alla settimana dal 26 Giugno al 2 Luglio 2022.

Tab. 46
*Media mensile del
 fattore di carico del
 gruppo frigo in attività
 nel periodo di
 raffrescamento
 dell'ambiente
 produttivo.*

| Fattori di carico mensili della potenza frigorifera rispetto alla potenzialità del Gruppo Frigo in funzione | | |
|---|---------------|---------------|
| | Media mensile | Picco mensile |
| mese | [%] | [%] |
| mag | 30% | 83% |
| giu | 45% | 93% |
| lug | 43% | 79% |
| ago | 45% | 85% |
| set | 32% | 73% |
| ott | 31% | 100% |

Fase 3: Analisi preliminare delle fonti di richiesta di energia frigorifera nello stabilimento e del loro andamento.

Nota importante: Poiché, come si è detto, il sistema di produzione e il circuito di distribuzione del freddo sono gli stessi che d'estate servono sia le UTA ambientali che i processi produttivi, non vi sono misurazioni dirette che distinguono le frigorie richieste per il raffrescamento dell'ambiente da quelle destinate alle fasi di processo. Si è reso pertanto necessario avanzare delle stime e si è inteso iniziare il lavoro con l'osservazione degli andamenti delle variabili legate al tema della produzione di frigorie in fabbrica.

Obiettivo: Analisi preliminare quanti-qualitativa della correlazione tra l'attività del gruppo frigo e gli ambiti che in fabbrica richiedono energia frigorifera, quali i processi e il raffrescamento ambiente.

Metodologia: Confronto del profilo orario di potenza frigorifera prodotta, calcolata a partire dagli assorbimenti elettrici monitorati del gruppo frigo in attività (come descritto nella fase 2, con gli andamenti orari delle temperature dell'aria esterna e della produzione, facendo focus sulle settimane di maggiore interesse, selezionate attraverso i seguenti criteri:

- La ricerca dei giorni di picco delle temperature dell'aria esterna
- La ricerca dei giorni di picco di produzione
- La ricerca dei giorni di picco delle frigorie prodotte

Dati reperiti:

- *Dati climatici orari [°C]* relativi alle temperature del sito dello Stabilimento A del 2022, acquistabili online
- *Dati orari delle tonnellate di prodotto processato [tons]* schedulati in apposite tabelle di programmazione delle linee di produzione
- *Dati orari degli assorbimenti dei diversi Gruppi Frigoriferi e della torre evaporativa [kWh_e]*, reperiti dal sistema di monitoraggio energetico B.E.M. utilizzato in fabbrica, basato sui meter in campo e relativo ad ogni singolo Gruppo Frigo presente in centrale frigorifera e della torre evaporativa

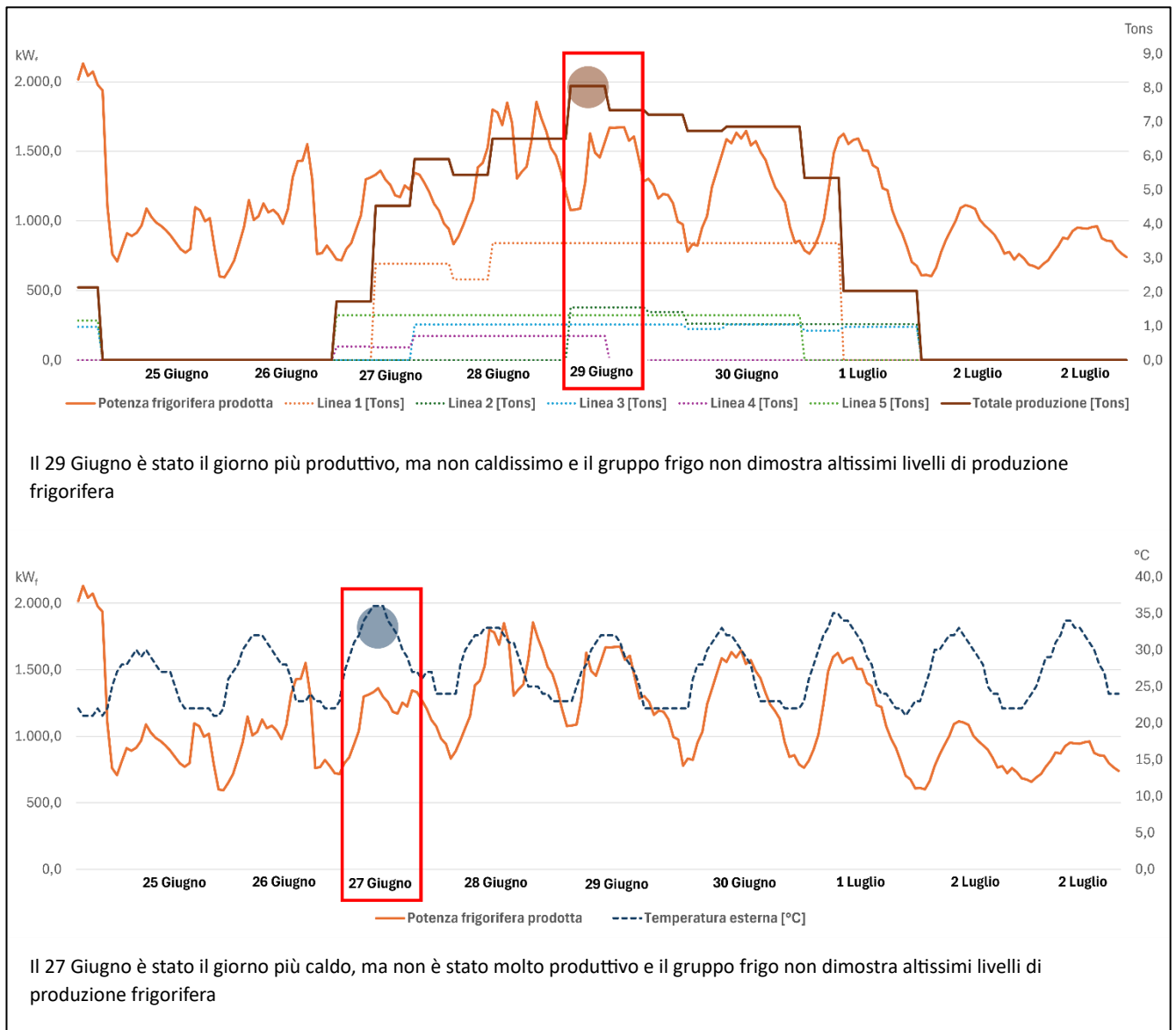
Strumento di elaborazione dei dati: foglio di calcolo di Microsoft Excel.

Risultati: Come ci si aspettava, dalle analisi risulta evidente che il lavoro di produzione del freddo segue una richiesta complessa e non segue le sole temperature dell'aria esterna al fine del raffrescamento degli ambienti, ma anche la curva delle tonnellate di prodotto coinvolte nei processi produttivi. La comprensione del peso delle diverse componenti nella richiesta di potenza frigorifera non è riconoscibile con immediatezza (Figg.128-130). Si riportano i grafici delle analisi relative alle settimane selezionate, distinguendo, per facilità di lettura:

- il confronto tra potenza frigorifera oraria prodotta e andamento della produzione
- il confronto tra potenza frigorifera oraria prodotta e andamento delle temperature esterne.

Periodo dal 25 Giugno al 3 Luglio 2022 (Fig.128):

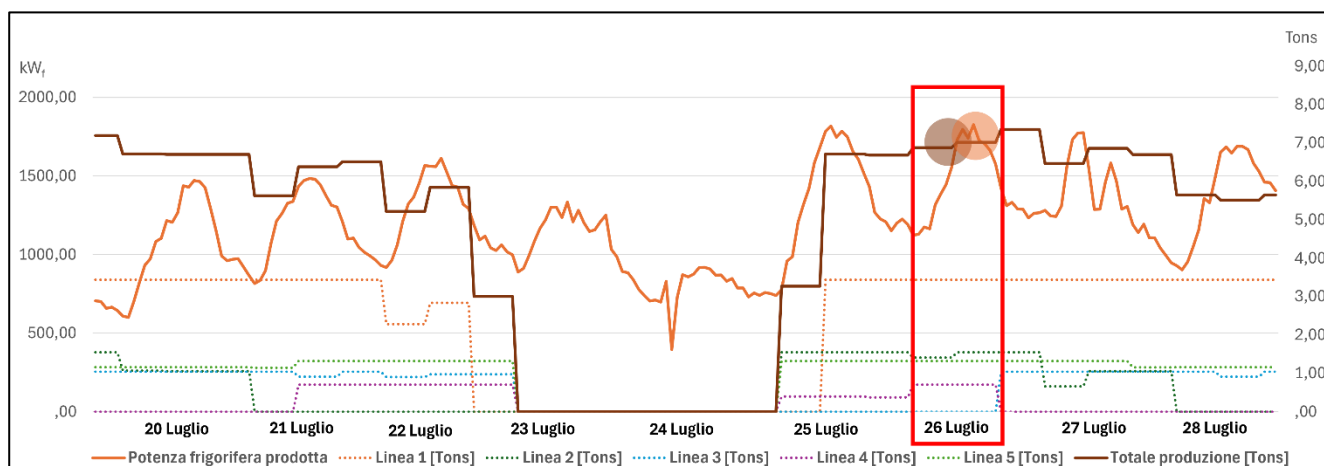
Fig. 128
Confronto tra l'andamento della potenza frigorifera oraria prodotta, l'andamento della produzione e della temperatura esterna nella settimana dal 25 Giugno al 3 Luglio 2022.



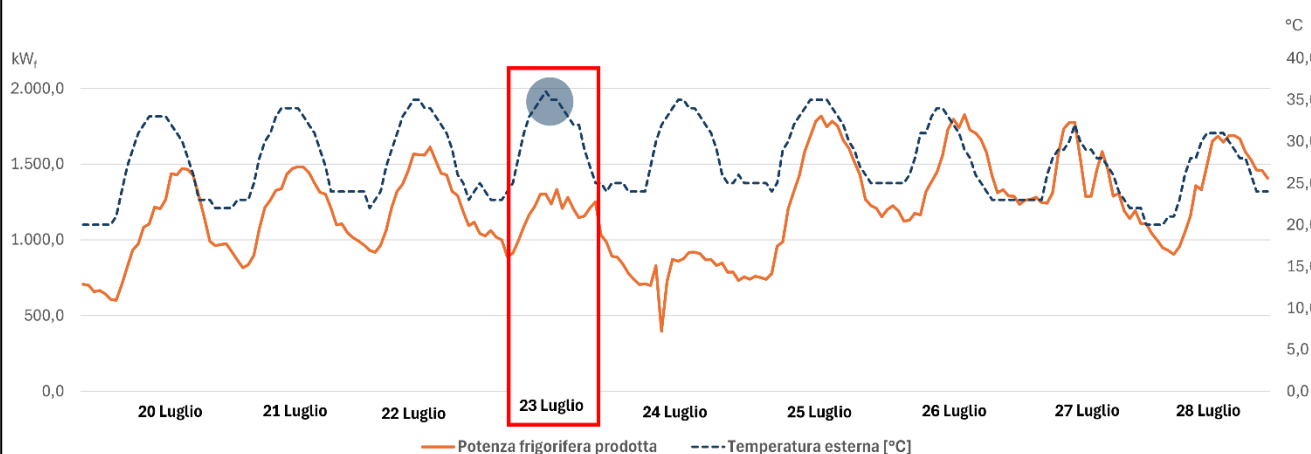
Il periodo dal 25 Giugno al 3 Luglio 2022 non è stato in generale tra i più caldi benché ci sia stato un picco (36 °C il 27 Giugno). L'attività frigorifera dimostra i maggiori livelli nei giorni a seguire il picco delle temperature e in concomitanza con l'aumento della produzione il 28 Giugno. Si noti, inoltre, che tale aumento della produzione riguarda più che altro la componente della linea pane, e quando nei giorni successivi aumenta anche la produzione della linea 2 (il 29 Giugno), raggiungendo il picco della produzione totale dello stabilimento, l'attività frigorifera non risente di tale aumento. Non è quindi esplicito se quest'ultima risente più della richiesta di climatizzazione in seguito al giorno più caldo o se più dell'aumento del processo produttivo.

Fig. 129
 Confronto tra
 l'andamento della
 potenza frigorifera
 oraria prodotta,
 l'andamento della
 produzione e della
 temperatura esterna
 nella settimana dal 20
 Luglio al 28 Luglio
 2022.

Periodo dal 20 Luglio al 28 Luglio 2022 (Fig.129):



Il 26 Luglio non è stato il giorno più caldo, ma è stato molto produttivo e il gruppo frigo dimostra elevati livelli di produzione frigorifera



Il 23 Luglio è stato il giorno più caldo, ma non produttivo perché sabato, e il gruppo frigo non dimostra altissimi livelli di produzione frigorifera

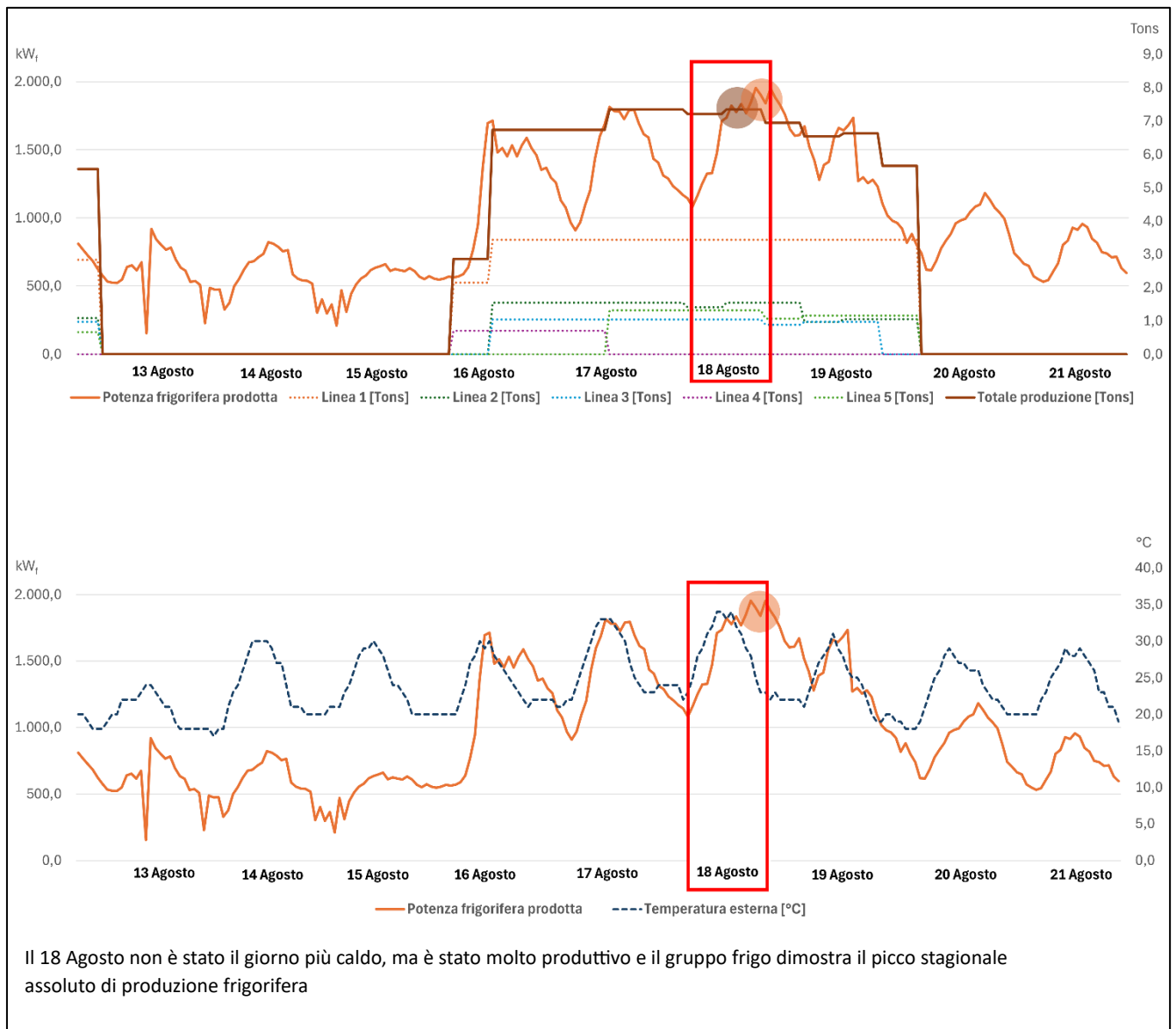
Il periodo dal 20 Luglio al 28 Luglio 2022 è stato in generale tra i più caldi. Si è verificato anche il picco estivo di 36 °C il 23 Luglio, giorno di non produzione poiché è stato

sabato. Passato il weekend, l'andamento della produzione e l'andamento delle temperature sono concordi, e con esse l'andamento dell'attività frigorifera. Risulta quindi anche in questo caso difficile capire quanto questa sia influenzata dalle temperature esterne e quanto dalla richiesta di frigoriferie nei processi produttivi.

Prima del weekend, invece, l'andamento della produzione e l'andamento delle temperature sono discordi, e la curva dell'attività frigorifera sembra seguire più le temperature esterne.

Periodo dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022 (Fig.130):

Fig. 130
Confronto tra l'andamento della potenza frigorifera oraria prodotta, l'andamento della produzione e della temperatura esterna nella settimana dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022.



Il periodo dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022 non è stato in generale tra i più caldi. L'andamento della produzione e l'andamento delle temperature sono concordi, e con esse l'andamento dell'attività del Gruppo Frigorifero. Risulta quindi anche in questo

caso difficile capire quanto tale attività sia influenzata dalle temperature esterne e quanto dalla richiesta di frigorie nei processi produttivi.

Fase 4: Analisi e quantificazioni dettagliate dei fabbisogni estivi di energia frigorifera.

Le fasi di stima del fabbisogno dei diversi ambiti che richiedono energia frigorifera nella fabbrica, descritte nei paragrafi successivi, hanno cercato di quantificare tre variabili:

- Il fabbisogno di raffrescamento richiesto dalle UTA ambientali in funzione della temperatura dell'aria esterna (fase 4.1)
- Il fabbisogno di raffrescamento richiesto dalle UTA ambientali in funzione degli apporti di calore interni dovuti ai macchinari di processo in attività all'interno dello spazio (fase 4.2)
- Il fabbisogno di energia frigorifera richiesto dalle fasi di raffreddamento nei processi produttivi (fase 4.3)

Dette variabili sono state quantificate, quando possibile, a diversi livelli di aggregazione:

- livello orario,
- livello giornaliero, selezionando come giorno d'interesse il 18 Agosto 2022 poiché è stato quello che ha registrato il picco stagionale di lavoro del Gruppo Frigorifero attivo d'estate,
- livello mensile, relativamente ai mesi da Maggio a Ottobre, periodo nel quale la climatizzazione ambiente è in funzione

Vengono descritte di seguito le varie fasi di stima del fabbisogno dei diversi ambiti che richiedono energia frigorifera in fabbrica:

- *Fase 4.1: Individuazione del fabbisogno estivo di raffrescamento degli ambienti: Stima del fabbisogno teorico di raffrescamento in funzione della temperatura dell'aria esterna.*

Non essendo presente un sistema di monitoraggio diretto delle frigorie destinate al raffrescamento dell'ambiente, si è cercato di calcolare quelle teoriche richieste dalle Unità di Trattamento dell'Aria dedicate, in funzione della temperatura esterna.

Obiettivo: Quantificazione della potenza termica frigorifera $[kW_f]$ necessaria per portare a 13°C la temperatura dell'aria proveniente dall'esterno ed immessa nell'ambiente indoor attraverso l'Unità di Trattamento dell'Aria.

Metodologia: Si è utilizzata la formula per la quantificazione della *Potenza termica* $[kW]$, $Q = m \cdot c_s \cdot (\Delta T)$ richiesta per ogni ora del giorno e per tutti i giorni da Maggio ad Ottobre 2022 per raffrescare l'aria introdotta

attraverso le portate (mc/h) delle UTA. Ci si è basati quindi sui dati di massa (convertita in volume attraverso il valore di densità per poterla confrontare con i dati di portata delle UTA), calore specifico e temperatura del fluido. Ovviamente, si è considerato di limitare la richiesta di raffrescamento ai periodi in cui la temperatura esterna fosse superiore a 13°C.

Dati reperiti:

- *Dati climatici orari [°C]* relativi alle temperature del sito dello Stabilimento A del 2022, acquistabili online
- *Portate d'aria nominali [mc/h]* delle UTA deputate al raffrescamento ambienti, riportate nella 'Lista Impianti Generali' integrata al report di Diagnosi Energetica. Questa informazione è stata utile per quantificare la massa d'aria che si considera di raffrescare
- *Volume dello spazio da raffrescare [mc]*, disponibile analizzando i disegni tecnici architettonici dell'edificio. Questa informazione è stata utile per confrontarla con le portate d'aria delle UTA, al fine di capire quanti ricambi d'aria orari sono stati previsti nel dimensionamento delle UTA

Strumento di elaborazione dei dati: foglio di calcolo di Microsoft Excel

Risultati: Si riporta un'estratto del foglio di calcolo che illustra come sono stati elaborati i dati ai fini dell'individuazione:

- delle potenze frigorifere e delle frigorie per il raffrescamento su base oraria
- del totale di energia termica frigorifera mensile per il raffrescamento

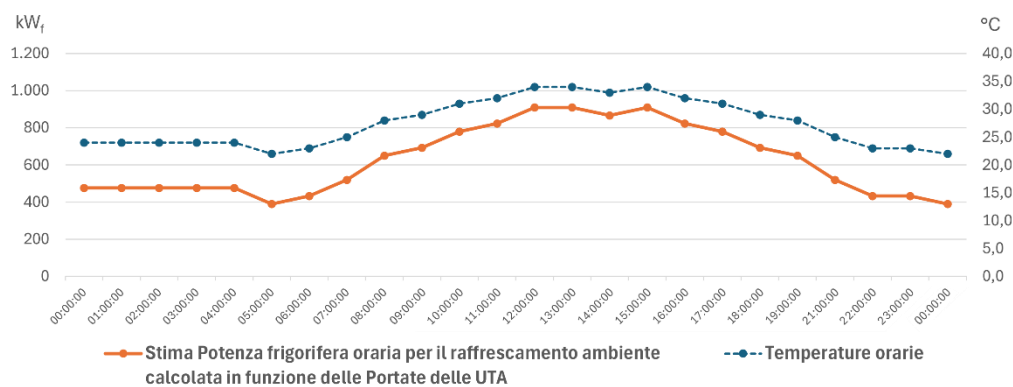
Si riporta a titolo esemplificativo i risultati relativi al 18 Agosto 2022 che come si diceva è stato il giorno che ha registrato il picco stagionale di lavoro del Gruppo Frigorifero attivo d'estate. Dai risultati dell'analisi si è evinto anche che il ricambio d'aria ad opera delle UTA è pari a 1 volume dell'intero spazio, in quanto la cubatura corrisponde esattamente alla portata oraria installata, pari a 120.000 mc (Tab.47):

Tab. 47
Stima dell'andamento orario del fabbisogno teorico di raffrescamento in funzione della temperatura dell'aria esterna e le portate delle Unità di Trattamento dell'Aria presenti nell'ambiente produttivo, per il 18 Agosto 2022.

| ora | Temperatura dell'aria esterna [°C] | Temperatura in uscita dall'UTA soffiata all'interno dell'ambiente [°C] | Calore specifico dell'aria [Kj/(kg*°C)] | Portate nominali UTA | | | Volumetria da climatizzare | | | Potenza richiesta ogni ORA per raffrescare l'aria di immissione [kW] | Energia richiesta ogni MESE per raffrescare l'aria di immissione [kWh] |
|-------|------------------------------------|--|---|--|--|---|----------------------------|----------------------|------------------------|--|--|
| | | | | UTA 5 (area confezionamento biscotti) [mc/h] | UTA 8 (area confezionamento frotte) [mc/h] | UTA 9 (area confezionamento sfoglie) [mc/h] | h. zona [m] | Superficie zona [mq] | n. ricambi per ora [-] | | |
| | | | | 1.005 [Wh/(mc*°C)] | 25.000 [mc/h] | 60.000 [mc/h] | 35.000 [mc/h] | 12 [m] | 10.000 [mq] | | |
| 00:00 | 24 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 476,51 | 363.749 | |
| 01:00 | 24 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 476,51 | | |
| 02:00 | 24 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 476,51 | | |
| 03:00 | 24 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 476,51 | | |
| 04:00 | 24 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 476,51 | | |
| 05:00 | 22 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 389,87 | | |
| 06:00 | 23 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 433,19 | | |
| 07:00 | 25 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 519,83 | | |
| 08:00 | 28 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 649,78 | | |
| 09:00 | 29 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 693,10 | | |
| 10:00 | 31 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 779,74 | | |
| 11:00 | 32 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 823,06 | | |
| 12:00 | 34 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 909,70 | | |
| 13:00 | 34 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 909,70 | | |
| 14:00 | 33 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 866,38 | | |
| 15:00 | 34 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 909,70 | | |
| 16:00 | 32 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 823,06 | | |
| 17:00 | 31 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 779,74 | | |
| 18:00 | 29 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 693,10 | | |
| 19:00 | 28 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 649,78 | | |
| 20:00 | 25 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 519,83 | | |
| 21:00 | 23 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 433,19 | | |
| 22:00 | 23 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 433,19 | | |
| 23:00 | 22 | 13 | 0,361 | | 120.000 | | | 120.000 | 389,87 | | |

Si riporta il grafico del profilo di richiesta di Potenza frigorifera teorica [kW_f] per il raffrescamento dell'aria da immettere in ambiente così come calcolata in funzione delle temperature esterne e delle portate delle UTA, distribuita su base oraria il giorno 18 Agosto 2022 (Fig.131).

Fig. 131
Grafico della stima della potenza frigorifera oraria richiesta per il raffrescamento ambiente a confronto con l'andamento della temperatura esterna.



Si riportano una tabella (Tab.48) ed il relativo grafico (Fig.132) con indicati i valori dell'Energia frigorifera teorica [kWh_f], aggregata a livello mensile, richiesta per il raffrescamento dell'aria da immettere in ambiente così come calcolata in funzione delle temperature esterne e delle portate delle UTA.

| | Temperature medie | Stima Frigorie raffreddamento ambiente calcolate in funzione delle Portate delle UTA | |
|-----|-------------------|---|--|
| | [°C] | [kWh] | |
| mag | 18,3 | 176.568 | |
| giu | 24,0 | 342.003 | |
| lug | 26,0 | 419.847 | |
| ago | 24,3 | 363.749 | |
| set | 19,8 | 212.999 | |
| ott | 17,8 | 155.298 | |

Tab. 48
Valori del fabbisogno di energia frigorifera stimato per il raffreddamento ambiente aggregati a livello mensile.

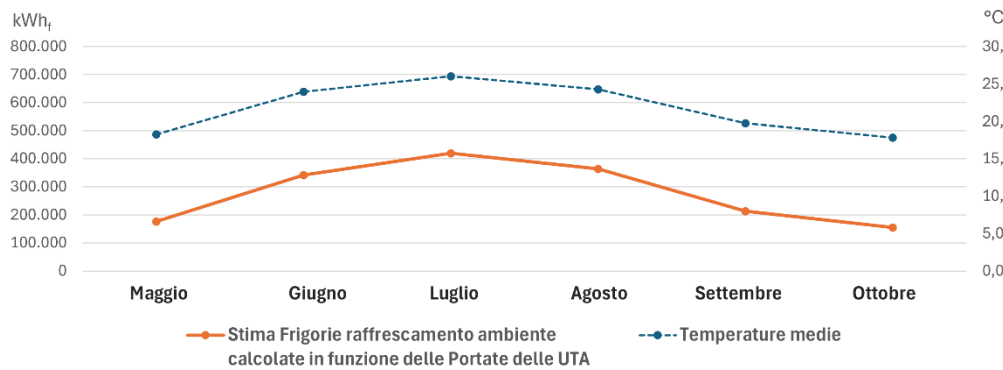


Fig. 132
Grafico dell'andamento mensile del fabbisogno di raffreddamento a confronto con le temperature medie esterne.

- *Fase 4.2: Individuazione del fabbisogno estivo di raffreddamento degli ambienti: Stima degli apporti di calore dovuti ai macchinari di processo all'interno dell'ambiente ('internal gains').*

Oltre a richiedere un certo fabbisogno di frigorie da destinare direttamente ad alcune fasi del processo produttivo, le linee di produzione aggiungono una componente da considerare nella quantificazione della richiesta di raffreddamento degli ambienti, poiché apportano calore nello spazio ove lavorano. Si è pertanto cercato di quantificare tale contributo al fabbisogno di climatizzazione, corrispondente ad una categoria definita 'internal gain'.

Obiettivo: Quantificazione del calore disperso in ambiente dai macchinari di processo in funzione della produzione, con focus sui forni a metano delle cinque linee.

Metodologia: Attraverso le equazioni di bilancio energetico (Le-bail et al., 2010; Paton et al., 2013) e alcuni risultati sperimentali forniti dalla letteratura (Broyart & Trystram, 2002; Paton et al., 2013), e basandosi sui dati reali monitorati in fabbrica relativi ai consumi di metano delle linee di produzione, alle tonnellate di prodotto processato e ai saggi delle analisi svolte sulle emissioni dei camini di estrattori e bruciatori dei forni, si sono stimati gli apporti interni di calore disperso nello spazio della produzione a carico delle singole linee.

In particolare, tali dispersioni interne [Q_{LA} , dove 'LA' sta per 'energy Losses to the Ambience' = 'Perdite di energia nell'Ambiente'] sono state ricavate per differenza, sottraendo dall'ammontare di energia termica immessa

attraverso il metano in input nei forni [Q_{BT} , dove 'BT' sta per 'energy Baking Total' = 'energia Totale per Cuocere'], l'energia assorbita dalla cottura dei prodotti e quella espulsa attraverso i fumi dai camini. Nello specifico, l'energia da sottrarre riguarda:

- Il calore assorbito dalla variazione di entalpia degli impasti del prodotto della linea 1 e del prodotto della linea 5 [Q_D , dove 'D' sta per 'Dought' = 'impasto']. Tale dato è stato recepito dalla letteratura, che ha fornito risultati sperimentali calcolati attraverso la formula $Q_D = m_{DOUGHT} * (\Delta H_D)$
- Il calore latente di vaporizzazione a 100°C dell'umidità persa dall'impasto durante la cottura [Q_{ML} , dove 'ML' sta per 'Moisture Loss' = 'perdite di umidità']. Tale dato è stato recepito dalla letteratura, che ha fornito risultati sperimentali calcolati attraverso la formula $Q_{ML} = (\Delta m_{ML}) * L_V$, dove m_{ML} è la quantità di acqua persa e L_V è il calore latente di vaporizzazione dell'acqua a 100°C
- Il calore assorbito dagli oggetti interni al forno quali teglie e nastri trasportatori [Q_T , dove 'T' sta per 'Tools' = 'Strumenti']. Tale dato è stato recepito dalla letteratura, che ha fornito risultati sperimentali calcolati attraverso la formula $Q_T = \sum_{i=1}^n m_i * c_{si} * (\Delta T_i)$, dove 'i' si riferisce agli 'n' tools presenti nel forno, dalle teglie ai nastri trasportatori.
- Il calore disperso all'esterno della fabbrica attraverso la fuoriuscita del vapore dagli estrattori [Q_{LEC} , dove 'LEC' sta per 'Losses through the Extraction Chimneys' = 'Perdite attraverso i Camini di Estrazione']. Per il calcolo è stata utilizzata la formula della *Potenza termica* [kW], $Q = m * c_s * (\Delta T)$ riferita al fluido in uscita dal camino. Essendo tale fluido composto da sostanze chimiche in quantità diverse, è stata considerata la massa e il calore specifico di ogni componente.
- Il calore disperso all'esterno della fabbrica attraverso la fuoriuscita dei fumi dai camini dei bruciatori [Q_{LBC} , dove 'LEC' sta per 'Losses through the Burner Chimneys' = 'Perdite attraverso i Camini dei Bruciatori']. Per il calcolo è stata utilizzata la formula della *Potenza termica* [kW], $Q = m * c_s * (\Delta T)$ riferita al fluido in uscita dal camino. Essendo tale fluido composto da sostanze chimiche in quantità diverse, è stata considerata la massa e il calore specifico di ogni componente.

In sintesi, l'equazione di bilancio termico considerata per governare le variabili energetiche di cui sopra è:

$$Q_{LA} = Q_{BT} - (Q_D + Q_{ML} + Q_T + Q_{LEC} + Q_{LBC})$$

Il calcolo è stato sviluppato su base oraria ed è stato riferito a dati legati all'andamento della produzione del giorno selezionato, il 18 Agosto 2022, considerato d'interesse perché è stato tra i più produttivi e ha registrato il picco stagionale di assorbimento elettrico del Gruppo Frigo, che implica un'alta richiesta di frigoriferie.

Dati reperiti: Come introdotto nel precedente paragrafo sulla metodologia utilizzata, si è fatto riferimento a dati reali dello stabilimento e dati risultati da sperimentazioni riportate in letteratura. Si annoverano, quindi:

- *Dati specifici afferenti all'Azienda:*
 - *Dati delle tonnellate orarie di prodotto processato [tons]* schedulati in apposite tabelle di programmazione delle linee di produzione, divisi per tipo di prodotto e relativi al giorno selezionato
 - *KPI di consumo di gas metano per tonnellata di prodotto [Smc/ton]* per ogni linea di produzione e riferito al dato mensile disponibile nel file di raccolta per la rendicontazione in Diagnosi Energetica. Tale KPI è stato utile per stimare il consumo orario di metano in input nei forni a partire dai dati della produzione di cui al punto precedente
 - *Dati dei saggi eseguiti sulle emissioni dei camini degli estrattori* in cui sono state rilevate le portate orarie umide e secche in uscita, le quantità dei componenti chimici contenuti nei fluidi estratti e le relative temperature. Si specifica che tale campagna di rilevamento viene eseguita una volta all'anno e i dati in possesso erano relativi a una giornata di Novembre 2022.
 - *Dati dei saggi eseguiti sulle emissioni dei camini dei bruciatori* in cui sono state rilevate le portate orarie umide e secche in uscita, le quantità dei componenti chimici contenuti nei fluidi estratti e le relative temperature. Si specifica che tale campagna di rilevamento viene eseguita una volta all'anno e i dati in possesso erano relativi a una giornata di Novembre 2022.
- *Dati ricavati dalla letteratura:*
 - *Dati di energia termica specifica richiesta per la variazione entalpica della massa del prodotto [kJ/kg]* sia per quanto riguarda la categoria del prodotto della linea 1 (Paton et al.,

2013) che la categoria del prodotto della linea 5 (Broyart & Trystram, 2002).

- *Dati di energia termica specifica richiesta come calore latente di evaporazione a 100°C dell'umidità persa dall'impasto [kJ/kg]* sia per quanto riguarda la categoria del prodotto della linea 1 (Paton et al., 2013) che la categoria del prodotto della linea 5 (Broyart & Trystram, 2002)
- *Dati di energia termica specifica assorbita da teglie e nastri trasportatori all'interno del forno [kJ/kg]* (Paton et al., 2013) considerata uguale per tutte le linee di produzione

Strumento di elaborazione dei dati: foglio di calcolo di Microsoft Excel

Risultati: Si riportano i risultati attraverso tabelle che illustrano tutti gli step utilizzati nel calcolo.

- *Quantificazione dell'energia termica in input immessa nei forni attraverso il metano [Q_{TB}]*

Viene riportato su base oraria l'analisi delle tonnellate di prodotto schedate nelle tabelle dei programmi di produzione e relative alle singole linee, con riferimento al giorno 18 Agosto 2022, e vengono presi in considerazione i KPI dei consumi di gas metano su tonnellata prodotta [Smc/ton] relativamente al mese interessato (Tab.49).

Attraverso tali KPI, e conoscendo gli andamenti della produzione, si è arrivati a stimare su base oraria i consumi di gas metano in input in ogni linea, espressi in Standard metri cubi (Tab.50).

| Mese | KPI mensili di produzione [Smc/Ton] | | | | |
|----------------|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Agosto 2022 | 68,49 | 42,40 | 46,62 | 30,26 | 66,57 |
| Giorno | Produzione giornaliera [Tons] | | | | |
| 18 Agosto 2022 | 24,59 | 30,92 | 36,05 | 82,45 | 0,00 |
| Ora | Forno 3 | Forno 5 | Forno 2 | Forno 1 | Forno 4 |
| 00:00:00 | 1,044 | 1,321 | 1,548 | 3,436 | 0,000 |
| 00:01:00 | 1,044 | 1,321 | 1,548 | 3,436 | 0,000 |
| 02:00:00 | 1,044 | 1,321 | 1,548 | 3,436 | 0,000 |
| 03:00:00 | 1,044 | 1,321 | 1,548 | 3,436 | 0,000 |
| 04:00:00 | 1,044 | 1,321 | 1,548 | 3,436 | 0,000 |
| 05:00:00 | 1,044 | 1,319 | 1,410 | 3,436 | 0,000 |
| 06:00:00 | 1,044 | 1,319 | 1,410 | 3,436 | 0,000 |
| 07:00:00 | 1,044 | 1,319 | 1,410 | 3,436 | 0,000 |
| 08:00:00 | 1,044 | 1,319 | 1,410 | 3,436 | 0,000 |
| 09:00:00 | 1,044 | 1,319 | 1,410 | 3,436 | 0,000 |
| 10:00:00 | 1,044 | 1,319 | 1,410 | 3,436 | 0,000 |
| 11:00:00 | 1,044 | 1,319 | 1,410 | 3,436 | 0,000 |
| 12:00:00 | 1,044 | 1,319 | 1,410 | 3,436 | 0,000 |
| 13:00:00 | 1,044 | 1,319 | 1,548 | 3,436 | 0,000 |
| 14:00:00 | 1,044 | 1,319 | 1,548 | 3,436 | 0,000 |
| 15:00:00 | 1,044 | 1,319 | 1,548 | 3,436 | 0,000 |
| 16:00:00 | 1,044 | 1,319 | 1,548 | 3,436 | 0,000 |
| 17:00:00 | 1,044 | 1,319 | 1,548 | 3,436 | 0,000 |
| 18:00:00 | 1,044 | 1,319 | 1,548 | 3,436 | 0,000 |
| 19:00:00 | 1,044 | 1,319 | 1,548 | 3,436 | 0,000 |
| 20:00:00 | 1,044 | 1,319 | 1,548 | 3,436 | 0,000 |
| 21:00:00 | 0,888 | 1,071 | 1,548 | 3,436 | 0,000 |
| 22:00:00 | 0,888 | 1,071 | 1,548 | 3,436 | 0,000 |
| 23:00:00 | 0,888 | 1,071 | 1,548 | 3,436 | 0,000 |

Tab. 50
Andamento orario delle tonnellate prodotte secondo i turni programmati per il 18 Agosto 2022, divisi per linee di produzione.

| Consumi Sm3 | | | | | |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Ora | Forno 3 | Forno 5 | Forno 2 | Forno 1 | Forno 4 |
| 00:00:00 | 71,50 | 55,99 | 72,17 | 103,95 | 0,00 |
| 00:01:00 | 71,50 | 55,99 | 72,17 | 103,95 | 0,00 |
| 02:00:00 | 71,50 | 55,99 | 72,17 | 103,95 | 0,00 |
| 03:00:00 | 71,50 | 55,99 | 72,17 | 103,95 | 0,00 |
| 04:00:00 | 71,50 | 55,99 | 72,17 | 103,95 | 0,00 |
| 05:00:00 | 71,50 | 55,92 | 65,74 | 103,95 | 0,00 |
| 06:00:00 | 71,50 | 55,92 | 65,74 | 103,95 | 0,00 |
| 07:00:00 | 71,50 | 55,92 | 65,74 | 103,95 | 0,00 |
| 08:00:00 | 71,50 | 55,92 | 65,74 | 103,95 | 0,00 |
| 09:00:00 | 71,50 | 55,92 | 65,74 | 103,95 | 0,00 |
| 10:00:00 | 71,50 | 55,92 | 65,74 | 103,95 | 0,00 |
| 11:00:00 | 71,50 | 55,92 | 65,74 | 103,95 | 0,00 |
| 12:00:00 | 71,50 | 55,92 | 65,74 | 103,95 | 0,00 |
| 13:00:00 | 71,50 | 55,92 | 72,17 | 103,95 | 0,00 |
| 14:00:00 | 71,50 | 55,92 | 72,17 | 103,95 | 0,00 |
| 15:00:00 | 71,50 | 55,92 | 72,17 | 103,95 | 0,00 |
| 16:00:00 | 71,50 | 55,92 | 72,17 | 103,95 | 0,00 |
| 17:00:00 | 71,50 | 55,92 | 72,17 | 103,95 | 0,00 |
| 18:00:00 | 71,50 | 55,92 | 72,17 | 103,95 | 0,00 |
| 19:00:00 | 71,50 | 55,92 | 72,17 | 103,95 | 0,00 |
| 20:00:00 | 71,50 | 55,92 | 72,17 | 103,95 | 0,00 |
| 21:00:00 | 60,83 | 45,41 | 72,17 | 103,95 | 0,00 |
| 22:00:00 | 60,83 | 45,41 | 72,17 | 103,95 | 0,00 |
| 23:00:00 | 60,83 | 45,41 | 72,17 | 103,95 | 0,00 |

Tab. 49
Andamento orario dei consumi di metano divisi per linee di produzione relativo al 18 Agosto 2022.

- Quantificazione del calore disperso all'esterno della fabbrica attraverso la fuoriuscita del vapore dagli estrattori [Q_{LEC}] e dei fumi esausti dai bruciatori [Q_{LBC}]

Per questa analisi viene riportato un estratto dei risultati ottenuti per la quantificazione dell'energia termica espulsa attraverso le emissioni dei camini sia per quanto riguarda gli estrattori sia per quanto riguarda i bruciatori, poiché il processo è stato lo stesso. In particolare, si è quantificato:

- Il calore sensibile disperso dai camini, considerando le quantità percentuali dei volumi di Ossigeno, Anidride Carbonica e Azoto sulle portate secche, rilevate dai saggi sui fluidi emessi, ed i relativi calori specifici al fine di quantificare gli apporti energetici a carico di ogni sostanza (Tab.51)
- Il calore latente contenuto nel vapore acqueo disperso dai camini, considerando la quantità di acqua sulle portate umide (Tab.52)

Tab. 52
Calcolo del calore sensibile disperso dai camini a partire dai risultati dei saggi effettuati

| | | CAMINO | | | Portata secca [Nm ³ /h] | Portata secca [mc/h] | Ossigeno [% V/V gas secco] | Anidride Carbonica [% V/V gas secco] | Azoto [% V/V gas secco] | Calore specifico considerato per la miscela gassosa [Wh*mc ⁻¹ *°C ⁻¹] | Temperatura del fluido in uscita dal camino [°C] | Temperatura comburente in ingresso [°C] | Calore sensibile disperso dai camini nell'ora analizzata attraverso il saggio [kWh] |
|---------|------------|------------|------------|------|------------------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--|--|---|---|
| ID | Estrattori | Bruciatori | | | | | | | | | | | |
| Linea 5 | E93 | | Bruciatore | 477 | 843,72 | 0,1360 | 0,0427 | 0,8213 | 0,2195 | 210 | 21,1 | 34,98 | |
| | E94 | | Bruciatore | 420 | 834,23 | 0,1580 | 0,0317 | 0,8103 | 0,2195 | 269,4 | 21,8 | 45,35 | |
| | E95 | | Bruciatore | 483 | 916,93 | 0,1120 | 0,0497 | 0,8383 | 0,2199 | 245,4 | 22,4 | 44,97 | |
| | E96 | Estrattore | | 126 | 203,59 | 0,2090 | 0,0400 | 0,7906 | 0,2251 | 168,2 | 21,8 | 6,71 | |
| | E97 | Estrattore | | 704 | 1240,86 | 0,2090 | 0,0400 | 0,7906 | 0,2251 | 208,3 | 21,8 | 52,10 | |
| | E98 | Estrattore | | 187 | 268,74 | 0,2090 | 0,0400 | 0,7906 | 0,2251 | 118,4 | 21,8 | 5,91 | |
| | E19 | | Bruciatore | 850 | 1303,40 | 0,1410 | 0,0537 | 0,8053 | 0,2179 | 145,7 | 33,0 | 32,01 | |
| | E20 | Estrattore | | 1209 | 1567,96 | 0,2090 | 0,0400 | 0,7906 | 0,2251 | 81,1 | 33,0 | 16,98 | |
| Linea 2 | E21 | | Bruciatore | 1308 | 2173,30 | 0,1637 | 0,0440 | 0,7923 | 0,2178 | 180,7 | 33,0 | 69,93 | |
| | E22 | Estrattore | | 1868 | 2566,23 | 0,2090 | 0,0400 | 0,7906 | 0,2251 | 102,1 | 33,0 | 39,91 | |
| | E14 | | Bruciatore | 1031 | 1606,99 | 0,1890 | 0,0230 | 0,8080 | 0,2200 | 152,6 | 28,7 | 43,79 | |
| Linea 1 | E15 | | Bruciatore | 1320 | 2520,40 | 0,1303 | 0,0513 | 0,8183 | 0,2188 | 248,4 | 28,9 | 121,02 | |
| | E75 | | Bruciatore | 1329 | 2303,06 | 0,1867 | 0,0167 | 0,7967 | 0,2198 | 200,2 | 27,9 | 87,21 | |
| | E36 | | Bruciatore | 819 | 1340,41 | 0,1843 | 0,0227 | 0,7930 | 0,2192 | 173,9 | 30,8 | 42,04 | |
| Linea 4 | E37 | Estrattore | | 405 | 521,69 | 0,2087 | 0,0100 | 0,7903 | 0,2214 | 78,7 | 31,0 | 5,51 | |
| | E38 | | Bruciatore | 882 | 1677,95 | 0,1837 | 0,0147 | 0,8017 | 0,2202 | 246,5 | 30,9 | 79,64 | |
| | E39 | | Bruciatore | 701 | 1325,39 | 0,1650 | 0,0287 | 0,8063 | 0,2195 | 243,3 | 31,4 | 61,65 | |

Tab. 51
Calcolo del calore latente disperso dai camini a partire dai risultati dei saggi effettuati

| | | CAMINO | | | Portata umida [Nm ³ /h] | Portata umida [mc/h] | Acqua [% V/V gas umido] | Calore del vapore acqueo disperso dai camini nell'ora analizzata attraverso il saggio [kWh] |
|---------|------------|------------|------------|------|------------------------------------|----------------------|-------------------------|---|
| ID | Estrattori | Bruciatori | | | | | | |
| Linea 5 | E93 | | Bruciatore | 488 | 863,18 | 2,20% | 21,78 | |
| | E94 | | Bruciatore | 430 | 854,10 | 2,40% | 24,64 | |
| | E95 | | Bruciatore | 498 | 945,41 | 3,01% | 33,59 | |
| | E96 | Estrattore | | 127 | 205,20 | 1,10% | 2,50 | |
| | E97 | Estrattore | | 717 | 1263,77 | 1,80% | 26,05 | |
| | E98 | Estrattore | | 189 | 271,62 | 1,10% | 3,18 | |
| | E19 | | Bruciatore | 877 | 1344,80 | 3,10% | 45,33 | |
| | E20 | Estrattore | | 1257 | 1630,21 | 3,80% | 63,66 | |
| Linea 2 | E21 | | Bruciatore | 1325 | 2201,54 | 1,30% | 32,05 | |
| | E22 | Estrattore | | 1895 | 2603,33 | 1,40% | 38,16 | |
| | E14 | | Bruciatore | 1067 | 1663,10 | 3,40% | 61,85 | |
| Linea 1 | E15 | | Bruciatore | 1347 | 2571,95 | 2,00% | 60,96 | |
| | E75 | | Bruciatore | 1355 | 2348,12 | 1,90% | 50,76 | |
| | E36 | | Bruciatore | 847 | 1386,24 | 3,30% | 50,94 | |
| Linea 4 | E37 | Estrattore | | 406 | 522,98 | 0,20% | 1,07 | |
| | E38 | | Bruciatore | 920 | 1750,24 | 4,10% | 84,73 | |
| | E39 | | Bruciatore | 727 | 1374,65 | 3,60% | 58,28 | |

Si ricorda che i valori quantificati di calore sensibile e latente sono stati considerati riferiti all'ora in cui sono stati eseguiti i saggi sulle emissioni dei camini (Tab.53). Conoscendo la produzione corrispondente a quell'ora, è stato possibile ricavare un KPI del calore emesso dai camini per tonnellata di prodotto e quindi in seguito è stato considerato di quantificare, seguendo le curve della produzione di ogni linea produttiva, l'andamento delle perdite di calore dei gas fuoriusciti dai camini, ipotizzando che variassero proporzionalmente all'attività della fabbrica. Si riporta di seguito un estratto esemplificativo della distribuzione oraria del calore emesso dai camini dei forni (Tab.54), ma si vuol preliminarmente specificare un ulteriore accorgimento adottato: poiché i saggi sono stati effettuati nel corso di alcune giornate di Novembre 2022, per poter valutare le curve orarie delle emissioni di calore relative al 18 Agosto 2022 si è inteso ridimensionare il KPI delle perdite di energia termica attraverso i camini tenendo in considerazione il rapporto che intercorre tra i KPI mensili dei consumi di Agosto e Novembre, per ogni linea produttiva. Lo stesso accorgimento andrebbe applicato nel caso di valutazione della distribuzione delle emissioni di qualsiasi giorno di qualsiasi mese.

| | CAMINO | | | Calore TOTALE disperso dai camini nell'ora analizzata attraverso il saggio [kWh] | Data dell'analisi | | Approssimazione oraria considerabile di riferimento |
|---------|--------|------------|-------------|--|-------------------|-------------|---|
| | ID | Estrattori | Brucciatori | | Giorno | Orario | |
| Linea 5 | E93 | | Brucciatore | 56,8 | 29/11/2022 | 12:34-13:34 | 13:00:00 |
| | E94 | | Brucciatore | 70,0 | 29/11/2022 | 13:44-14:44 | 14:00:00 |
| | E95 | | Brucciatore | 78,6 | 29/11/2022 | 14:52-15:52 | 15:00:00 |
| | E96 | Estrattore | | 9,2 | 29/11/2022 | 10:39-12:19 | 11:00:00 |
| | E97 | Estrattore | | 78,2 | 29/11/2022 | 12:33-14:13 | 13:00:00 |
| | E98 | Estrattore | | 9,1 | 29/11/2022 | 14:23-16:03 | 15:00:00 |
| Linea 2 | E19 | | Brucciatore | 77,3 | 29/11/2022 | 08:11-09:51 | 09:00:00 |
| | E20 | Estrattore | | 80,6 | 30/11/2022 | 13:13-14:53 | 14:00:00 |
| | E21 | | Brucciatore | 102,0 | 29/11/2022 | 09:19-10:59 | 09:00:00 |
| | E22 | Estrattore | | 78,1 | 30/11/2022 | 13:56-15:36 | 14:00:00 |
| Linea 1 | E14 | | Brucciatore | 105,6 | 28/11/2022 | 08:22-10:02 | 09:00:00 |
| | E15 | | Brucciatore | 182,0 | 28/11/2022 | 09:31-11:11 | 10:00:00 |
| | E75 | | Brucciatore | 138,0 | 28/11/2022 | 10:56-12:36 | 12:00:00 |
| Linea 4 | E36 | | Brucciatore | 93,0 | 28/11/2022 | 13:02-14:02 | 13:00:00 |
| | E37 | Estrattore | | 6,6 | 28/11/2022 | 14:11-15:51 | 15:00:00 |
| | E38 | | Brucciatore | 164,4 | 28/11/2022 | 14:09-15:09 | 14:00:00 |
| | E39 | | Brucciatore | 119,9 | 28/11/2022 | 15:17-16:17 | 16:00:00 |

Tab. 53
Quantificazione del calore totale disperso dai camini nelle ore di svolgimento dei saggi.

Tab. 54
*Distribuzione oraria
delle dispersioni di
calore dai camini divisi
per linee di
produzione, calcolati
per il 18 Agosto 2022*

| Andamenti orari del calore espulso attraverso i camini degli estrattori e dei bruciatori | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--|
| Ora | Forno 5 | | | | | | Forno 2 | | | | Forno 1 | | | |
| | E93 | E94 | E95 | E96 | E97 | E98 | E19 | E20 | E21 | E22 | E14 | E15 | E75 | |
| 00:00:00 | 54,3 | 67,0 | 75,2 | 8,8 | 74,8 | 8,7 | 78,6 | 109,3 | 103,7 | 105,8 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 01:00:00 | 54,3 | 67,0 | 75,2 | 8,8 | 74,8 | 8,7 | 78,6 | 109,3 | 103,7 | 105,8 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 02:00:00 | 54,3 | 67,0 | 75,2 | 8,8 | 74,8 | 8,7 | 78,6 | 109,3 | 103,7 | 105,8 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 03:00:00 | 54,3 | 67,0 | 75,2 | 8,8 | 74,8 | 8,7 | 78,6 | 109,3 | 103,7 | 105,8 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 04:00:00 | 54,3 | 67,0 | 75,2 | 8,8 | 74,8 | 8,7 | 78,6 | 109,3 | 103,7 | 105,8 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 05:00:00 | 54,2 | 66,9 | 75,1 | 8,8 | 74,7 | 8,7 | 71,6 | 99,5 | 94,4 | 96,4 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 06:00:00 | 54,2 | 66,9 | 75,1 | 8,8 | 74,7 | 8,7 | 71,6 | 99,5 | 94,4 | 96,4 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 07:00:00 | 54,2 | 66,9 | 75,1 | 8,8 | 74,7 | 8,7 | 71,6 | 99,5 | 94,4 | 96,4 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 08:00:00 | 54,2 | 66,9 | 75,1 | 8,8 | 74,7 | 8,7 | 71,6 | 99,5 | 94,4 | 96,4 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 09:00:00 | 54,2 | 66,9 | 75,1 | 8,8 | 74,7 | 8,7 | 71,6 | 99,5 | 94,4 | 96,4 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 10:00:00 | 54,2 | 66,9 | 75,1 | 8,8 | 74,7 | 8,7 | 71,6 | 99,5 | 94,4 | 96,4 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 11:00:00 | 54,2 | 66,9 | 75,1 | 8,8 | 74,7 | 8,7 | 71,6 | 99,5 | 94,4 | 96,4 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 12:00:00 | 54,2 | 66,9 | 75,1 | 8,8 | 74,7 | 8,7 | 71,6 | 99,5 | 94,4 | 96,4 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 13:00:00 | 54,2 | 66,9 | 75,1 | 8,8 | 74,7 | 8,7 | 78,6 | 109,3 | 103,7 | 105,8 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 14:00:00 | 54,2 | 66,9 | 75,1 | 8,8 | 74,7 | 8,7 | 78,6 | 109,3 | 103,7 | 105,8 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 15:00:00 | 54,2 | 66,9 | 75,1 | 8,8 | 74,7 | 8,7 | 78,6 | 109,3 | 103,7 | 105,8 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 16:00:00 | 54,2 | 66,9 | 75,1 | 8,8 | 74,7 | 8,7 | 78,6 | 109,3 | 103,7 | 105,8 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 17:00:00 | 54,2 | 66,9 | 75,1 | 8,8 | 74,7 | 8,7 | 78,6 | 109,3 | 103,7 | 105,8 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 18:00:00 | 54,2 | 66,9 | 75,1 | 8,8 | 74,7 | 8,7 | 78,6 | 109,3 | 103,7 | 105,8 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 19:00:00 | 54,2 | 66,9 | 75,1 | 8,8 | 74,7 | 8,7 | 78,6 | 109,3 | 103,7 | 105,8 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 20:00:00 | 54,2 | 66,9 | 75,1 | 8,8 | 74,7 | 8,7 | 78,6 | 109,3 | 103,7 | 105,8 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 21:00:00 | 44,0 | 54,3 | 60,9 | 7,1 | 60,6 | 7,0 | 78,6 | 109,3 | 103,7 | 105,8 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 22:00:00 | 44,0 | 54,3 | 60,9 | 7,1 | 60,6 | 7,0 | 78,6 | 109,3 | 103,7 | 105,8 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| 23:00:00 | 44,0 | 54,3 | 60,9 | 7,1 | 60,6 | 7,0 | 78,6 | 109,3 | 103,7 | 105,8 | 113,0 | 194,7 | 147,6 | |
| Totali | 1.271 | 1.567 | 1.760 | 206 | 1.750 | 203 | 1.831 | 2.545 | 2.414 | 2.464 | 2.713 | 4.673 | 3.543 | |
| [kWh] | 6.758 | | | | | | 9.253 | | | | 10.929 | | | |

- *Quantificazione dell'energia termica assorbita dalla variazione di entalpia degli impasti del prodotto della linea 1 e del prodotto della linea 5 [Q_D], dagli oggetti interni al forno quali teglie e nastri trasportatori [Q_T] e del calore latente di vaporizzazione a 100°C dell'umidità persa dall'impasto durante la cottura [Q_{M,L}]*

Come si è detto in precedenza, tali valori di energia termica sono stati recuperati dalla letteratura. In particolare:

- Per quanto riguarda il calcolo della variazione di entalpia degli impasti [Q_D] si è effettuata una distinzione:
 - Per i prodotti della Linea 1, 3 e 4, assimilati in quanto sono prodotti più umidi, si è considerato il valore di 222 kJ/kg_{di prodotto} + 12 kJ/kg (energia considerata necessaria per la gelatinizzazione dell'amido) (Paton et al., 2013)
 - Per i prodotti della Linea 5 e 2, più secchi, si è considerato il valore di 12,5 kJ/kg_{di prodotto} (Broyart & Trystram, 2002)
- Per quanto riguarda il calcolo dell'energia termica assorbita dagli oggetti interni al forno [Q_T] si è considerato per tutti i prodotti:
 - 56 kJ/kg_{di prodotto} per le teglie (Paton et al., 2013)
 - 77 kJ/kg_{di prodotto} per i nastri trasportatori (Paton et al., 2013)

- Per quanto riguarda il calcolo del calore latente di vaporizzazione a 100°C dell'umidità persa dall'impasto durante la cottura [Q_{ML}], di nuovo si è distinto:
 - Per i prodotti della Linea 1, 3 e 4, il valore di 242 kJ/kg_{di prodotto} (Paton et al., 2013)
 - Per i prodotti della Linea 5 e 2, più secchi, il valore di 501 kJ/kg_{di prodotto} (Broyart & Trystram, 2002)

Sommando gli apporti di [Q_D], [Q_T], [Q_{ML}], si è quindi considerato che il calore contenuto all'interno dei forni da correlare alla cottura ammonta a:

- Per i prodotti della Linea 1, 3 e 4, 609 kJ/kg_{di prodotto} = 169 kWh/ton_{di prodotto}
- Per i prodotti della Linea 2 e 5, il valore di 647 kJ/kg_{di prodotto} = 180 kWh/ton_{di prodotto}

In conclusione, si riportano le tabelle in cui viene illustrato a livello orario il bilancio termico (Tabb.55-57) per alcune linee produttive, da cui valutare le dispersioni di calore in ambiente [Q_{LA}] durante il 18 Agosto 2022, ed i rispettivi grafici che quantificano i modelli energetici (Figg.133-135). Inoltre, poiché tutte le quantità del calore coinvolte nel bilancio termico sono state ricavate in relazione alla produzione, è possibile calcolare anche un KPI delle dispersioni in ambiente ('internal gain') su tonnellata di prodotto, variabili mensilmente seguendo le variazioni dei KPI del consumo di metano.

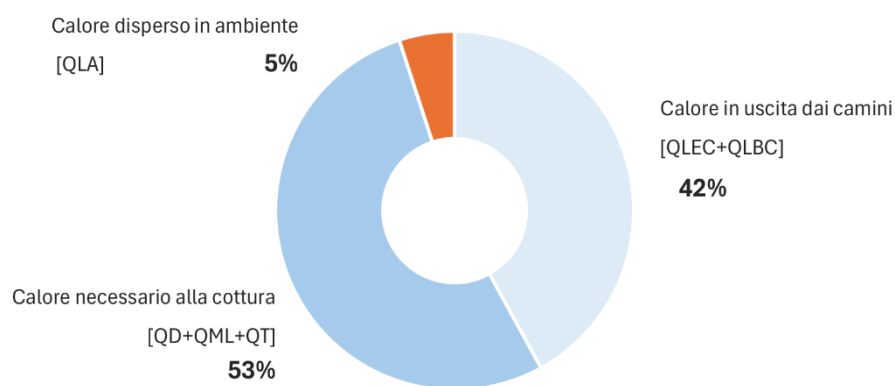
Linea produttiva 1:

Alla luce dei calcoli effettuati (Tab.55) si stimano delle dispersioni in ambiente pari a circa il 5% dell'energia termica che viene introdotta con il gas naturale (Fig.133). Il relativo KPI per il mese di Agosto si assume pari a 15,1 kWh_t/t.

Tab. 55
*Bilancio termico
 calcolato per la linea
 del forno 1.*

| Giorno | Bilancio termico | | | | |
|-----------------------|--|---|---|--|----------------------|
| 18 Agosto 2022 | Forno 1 | | | | |
| Ora | Metano consumato [Q _{TB}] | Calore in uscita dai camini [Q _{LEC} +Q _{LBC}] | Calore necessario alla cottura [Q _D +Q _{ML} +Q _T] | Calore disperso in ambiente [Q _{LA}] | Produzione [tons] |
| 00:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 00:01:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 02:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 03:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 04:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 05:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 06:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 07:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 08:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 09:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 10:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 11:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 12:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 13:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 14:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 15:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 16:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 17:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 18:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 19:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 20:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 21:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 22:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| 23:00:00 | 1.088,34 | 455,39 | 581,23 | 51,72 | 3,44 |
| Totali [kWh] | 26.120 | 10.929 | 13.949 | 1.241 | 82,45 |

Fig. 133
*Grafico del bilancio
 termico calcolato per
 la linea del forno 1.*



Linea produttiva 5:

Alla luce dei calcoli effettuati (Tab.56) si stimano delle dispersioni in ambiente pari a circa il 10% dell'energia termica che viene introdotta con il gas naturale (Fig.134). Il relativo KPI per il mese di Agosto si assume pari a 45,7 kWh/t.

| Giorno | Bilancio termico | | | | |
|---------------------|-------------------------------------|---|---|--|-------------------|
| 18 Agosto 2022 | Forno 5 | | | | |
| Ora | Metano consumato [Q _{TB}] | Calore in uscita dai camini [Q _{LEC} +Q _{LBC}] | Calore necessario alla cottura [Q _D +Q _{ML} +Q _T] | Calore disperso in ambiente [Q _{LA}] | Produzione [tons] |
| 00:00:00 | 586,22 | 288,67 | 237,18 | 60,37 | 1,32 |
| 00:01:00 | 586,22 | 288,67 | 237,18 | 60,37 | 1,32 |
| 02:00:00 | 586,22 | 288,67 | 237,18 | 60,37 | 1,32 |
| 03:00:00 | 586,22 | 288,67 | 237,18 | 60,37 | 1,32 |
| 04:00:00 | 586,22 | 288,67 | 237,18 | 60,37 | 1,32 |
| 05:00:00 | 585,44 | 288,29 | 236,86 | 60,29 | 1,32 |
| 06:00:00 | 585,44 | 288,29 | 236,86 | 60,29 | 1,32 |
| 07:00:00 | 585,44 | 288,29 | 236,86 | 60,29 | 1,32 |
| 08:00:00 | 585,44 | 288,29 | 236,86 | 60,29 | 1,32 |
| 09:00:00 | 585,44 | 288,29 | 236,86 | 60,29 | 1,32 |
| 10:00:00 | 585,44 | 288,29 | 236,86 | 60,29 | 1,32 |
| 11:00:00 | 585,44 | 288,29 | 236,86 | 60,29 | 1,32 |
| 12:00:00 | 585,44 | 288,29 | 236,86 | 60,29 | 1,32 |
| 13:00:00 | 585,44 | 288,29 | 236,86 | 60,29 | 1,32 |
| 14:00:00 | 585,44 | 288,29 | 236,86 | 60,29 | 1,32 |
| 15:00:00 | 585,44 | 288,29 | 236,86 | 60,29 | 1,32 |
| 16:00:00 | 585,44 | 288,29 | 236,86 | 60,29 | 1,32 |
| 17:00:00 | 585,44 | 288,29 | 236,86 | 60,29 | 1,32 |
| 18:00:00 | 585,44 | 288,29 | 236,86 | 60,29 | 1,32 |
| 19:00:00 | 585,44 | 288,29 | 236,86 | 60,29 | 1,32 |
| 20:00:00 | 585,44 | 288,29 | 236,86 | 60,29 | 1,32 |
| 21:00:00 | 475,39 | 234,10 | 192,34 | 48,96 | 1,07 |
| 22:00:00 | 475,39 | 234,10 | 192,34 | 48,96 | 1,07 |
| 23:00:00 | 475,39 | 234,10 | 192,34 | 48,96 | 1,07 |
| Totali [kWh] | 13.724 | 6.758 | 5.553 | 1.413 | 30,92 |

Tab. 56
Bilancio termico calcolato per la linea del forno 5.

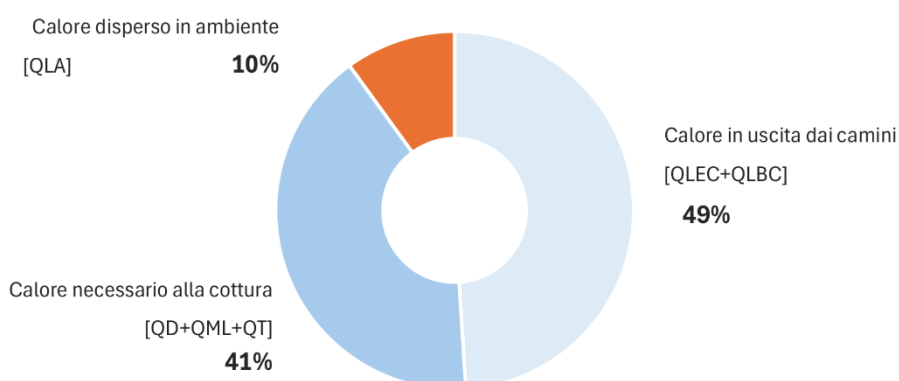


Fig. 134
Grafico del bilancio termico calcolato per la linea del forno 5.

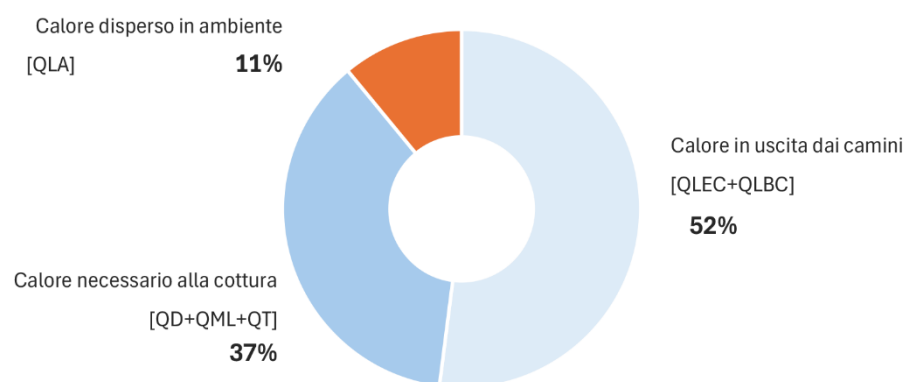
Linea produttiva 2:

Alla luce dei calcoli effettuati (Tab.57) si stimano delle dispersioni in ambiente pari a circa l'11% dell'energia termica che viene introdotta con il gas naturale (Fig.135). Il relativo KPI per il mese d Agosto si assume pari a 51,8 kWh_t/t.

Tab. 57
Bilancio termico
calcolato per la linea
del forno 2.

| Giorno | Bilancio termico | | | | |
|-----------------|--|---|---|--|----------------------|
| 18 Agosto 2022 | Forno 2 | | | | |
| Ora | Metano consumato [Q _{TB}] | Calore in uscita dai camini [Q _{LEC} +Q _{LBC}] | Calore necessario alla cottura [Q _D +Q _{ML} +Q _T] | Calore disperso in ambiente [Q _{LA}] | Produzione [tons] |
| 00:00:00 | 755,63 | 397,35 | 278,04 | 80,23 | 1,55 |
| 00:01:00 | 755,63 | 397,35 | 278,04 | 80,23 | 1,55 |
| 02:00:00 | 755,63 | 397,35 | 278,04 | 80,23 | 1,55 |
| 03:00:00 | 755,63 | 397,35 | 278,04 | 80,23 | 1,55 |
| 04:00:00 | 755,63 | 397,35 | 278,04 | 80,23 | 1,55 |
| 05:00:00 | 688,26 | 361,93 | 253,25 | 73,08 | 1,41 |
| 06:00:00 | 688,26 | 361,93 | 253,25 | 73,08 | 1,41 |
| 07:00:00 | 688,26 | 361,93 | 253,25 | 73,08 | 1,41 |
| 08:00:00 | 688,26 | 361,93 | 253,25 | 73,08 | 1,41 |
| 09:00:00 | 688,26 | 361,93 | 253,25 | 73,08 | 1,41 |
| 10:00:00 | 688,26 | 361,93 | 253,25 | 73,08 | 1,41 |
| 11:00:00 | 688,26 | 361,93 | 253,25 | 73,08 | 1,41 |
| 12:00:00 | 688,26 | 361,93 | 253,25 | 73,08 | 1,41 |
| 13:00:00 | 755,63 | 397,35 | 278,04 | 80,23 | 1,55 |
| 14:00:00 | 755,63 | 397,35 | 278,04 | 80,23 | 1,55 |
| 15:00:00 | 755,63 | 397,35 | 278,04 | 80,23 | 1,55 |
| 16:00:00 | 755,63 | 397,35 | 278,04 | 80,23 | 1,55 |
| 17:00:00 | 755,63 | 397,35 | 278,04 | 80,23 | 1,55 |
| 18:00:00 | 755,63 | 397,35 | 278,04 | 80,23 | 1,55 |
| 19:00:00 | 755,63 | 397,35 | 278,04 | 80,23 | 1,55 |
| 20:00:00 | 755,63 | 397,35 | 278,04 | 80,23 | 1,55 |
| 21:00:00 | 755,63 | 397,35 | 278,04 | 80,23 | 1,55 |
| 22:00:00 | 755,63 | 397,35 | 278,04 | 80,23 | 1,55 |
| 23:00:00 | 755,63 | 397,35 | 278,04 | 80,23 | 1,55 |
| Totali [kWh] | 17.596 | 9.253 | 6.475 | 1.868 | 36,05 |

Fig. 135
Grafico del bilancio
termico calcolato per
la linea del forno 2.



Si riportano una tabella (Tab.58) ed il relativo grafico (Fig.136) con indicati i valori delle dispersioni di calore [kWh_t], aggregata a livello mensile.

| | Metano consumato [Q _{TB}] [kWh _t] | Calore in uscita dai camini [Q _{LEC} +Q _{LBC}] [kWh _t] | Calore necessario alla cottura [Q _D +Q _{ML} +Q _T] [kWh _t] | Calore disperso in ambiente [Q _{LA}] [kWh _t] | Produzione totale [Tons] |
|-----|--|---|---|--|-----------------------------|
| mag | 1.341.551 | 503.276 | 558.735 | 279.541 | 3.247 |
| giu | 1.051.043 | 371.693 | 384.314 | 295.036 | 2.221 |
| lug | 1.157.111 | 444.637 | 463.350 | 249.125 | 2.686 |
| ago | 1.434.570 | 540.401 | 572.930 | 321.238 | 3.322 |
| set | 1.626.459 | 627.842 | 637.903 | 360.715 | 3.692 |
| ott | 1.505.417 | 575.066 | 606.498 | 323.854 | 3.516 |

Tab. 58
Valori mensili del bilancio termico totale calcolato.

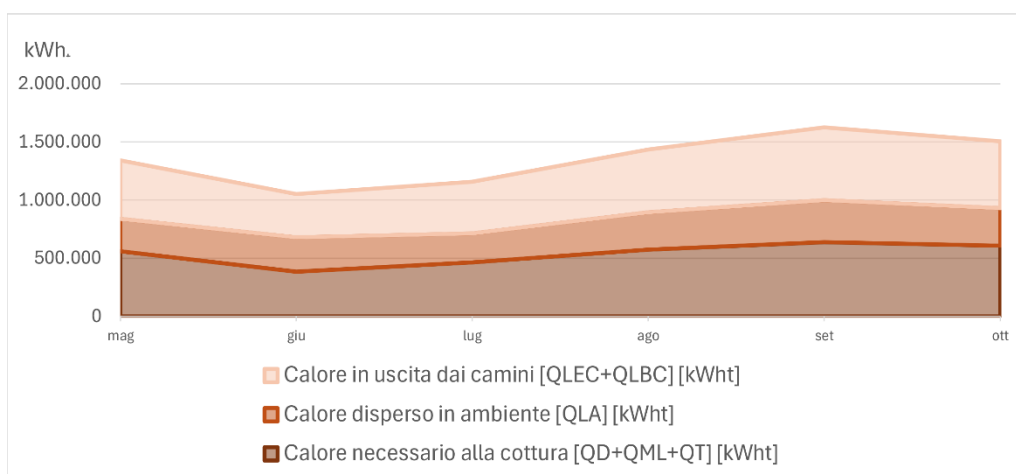


Fig. 136
Grafico dei valori mensili del bilancio termico totale calcolato.

4.2.2. Realizzazione del modello in ambiente virtuale

In questo sottocapitolo si illustra la metodologia seguita per la realizzazione del modello virtuale sulla base dei dati reali dell'edificio fisico, reperiti grazie alla preziosa collaborazione con l'Azienda.

È stato modellato l'edificio 'as-is' all'interno di un software di simulazione energetica dinamica, al fine di poter successivamente verificare che la copia digitale si comportasse in modo coerente, attraverso la comparazione tra i dati della simulazione e i dati dei consumi effettivamente monitorati in Azienda.

Si descrive la metodologia distinguendo il corredo dei dati da reperire e le relative sorgenti informative da cui estrarli, i criteri con cui è stata impostata la modellazione e le caratteristiche dell'edificio reale effettivamente assegnate nei settaggi del modello virtuale.

Dati da reperire e sorgenti informative

- Informazioni fisico-geometriche:
 - Relative all'edificio:
 - Informazioni geometriche di:
 - Spazi
 - Componenti costruttivi

Sorgente informativa: Disegni tecnici (piante, prospetti, sezioni..)
 - Informazioni relative alle caratteristiche termofisiche dei componenti (Copertura, involucro verticale opaco, involucro verticale trasparente, solaio dell'attacco a terra, partizioni verticali e orizzontali interne)

Sorgente informativa: Disegni tecnici di dettaglio, relazioni di progetto sulle prestazioni termiche e sulle stratigrafie dei componenti (spessori e tipo di materiale)
 - Relative agli impianti:
 - Layout dei circuiti impiantistici e dei componenti

Sorgente informativa: Disegni schematici di layout e schede tecniche degli impianti
- Informazioni relative all'utilizzo degli spazi che influiscono sulle prestazioni energetiche
 - Carichi termici interni:
 - Presenza delle persone all'interno degli spazi, a partire da:
 - Numero di persone per ogni ora per ogni ambiente

Sorgente informativa: schede dei profili occupazionali contenenti dati sul numero di persone presenti per ogni ora (schede di programmazione dei turni di lavoro giornalieri)
 - Presenza di apparecchi in funzione che rilasciano calore in ambiente e dati sulla potenza termica rilasciata a partire da
 - Potenza nominale dell'apparecchio

- Frazione delle perdite di calore (intesa come frazione della potenza consumata dall'apparecchio in attività, dispersa in ambiente sotto forma di calore, nelle componenti di calore sensibile, che comprende le componenti radiante e convettive, e latente)
 - Profilo di utilizzo dell'apparecchio

Sorgente Informativa: Schede tecniche degli apparecchi e schede di programmazione degli utilizzi
- Presenza di illuminazione artificiale installata che rilascia calore a partire da:
 - Potenza nominale installata
 - Lux desiderati all'interno degli spazi
 - Profilo di utilizzo dell'illuminazione

Sorgente informativa: schede tecniche degli impianti di illuminazione e schede di programmazione degli utilizzi
- Condizioni termiche interne imposte agli spazi:
 - Condizioni di raffrescamento dell'ambiente, quali:
 - Temperature di set point (durante l'occupazione e in assenza di occupazione)
 - Profilo di utilizzo

Sorgente informativa: schede di programmazione stabilite all'interno dell'Azienda
 - Condizioni di ventilazione meccanica, quali:
 - Ricambi d'aria orari [mc/h]

Sorgente informativa: schede di programmazione stabilite all'interno dell'Azienda
 - Condizioni di ventilazione naturale, quali:
 - Superficie finestrata apribile [mq]
 - Ricambi d'aria orari [mc/h oppure h giornaliera di apertura]

Sorgente informativa: Disegni tecnici e programmi di gestione o prassi stabilite all'interno dell'Azienda
- Informazioni tecniche di dettaglio sul sistema HVAC
 - Relative ai Gruppi frigoriferi, quali:
 - Potenza nominale [kW]
 - Coefficiente di Prestazione COP [-]
 - Profilo di assorbimento [kW di potenza per ogni ora del giorno]
 - Portata d'acqua refrigerata di riferimento [mc/s]
 - Flusso d'acqua di riferimento al condensatore [mc/s]
 - Temperatura di riferimento dell'acqua refrigerata in uscita [°C]
 - Temperatura di riferimento del fluido in ingresso nel condensatore [°C]

Sorgente informativa: Schede tecniche, misurazioni del sistema di monitoraggio e programmi di gestione stabiliti all'interno dell'Azienda

- Relative al circuito ad acqua refrigerata, quali:
 - Tipo di fluido
 - Disponibilità della portata variabile
 - Massima temperatura [°C]
 - Minima temperatura [°C]
 - Temperatura di mandata [°C]
 - Differenza di temperatura del circuito [°C]

Sorgente informativa: Schede tecniche, misurazioni del sistema di monitoraggio e programmi di gestione stabiliti all'interno dell'Azienda

- Relative alle Unità di Trattamento dell'Aria (UTA), quali:
 - Portata aria di immissione [mc/s]
 - Portata minima di aria esterna [mc/s]
 - Portata massima di aria esterna [mc/s]
 - η ventilatore di mandata
 - η ventilatore di estrazione
 - Profilo di assorbimento [kW di potenza per ogni ora del giorno]

Sorgente informativa: Schede tecniche, misurazioni del sistema di monitoraggio e programmi di gestione stabiliti all'interno dell'Azienda

- Relative al circuito dell'aria
 - Portata aria [mc/s]
 - Portata aria esterna [mc/s]
 - Frazione di portata aria esterna minima [-]
 - Temperatura aria immessa nella centrale di raffreddamento [°C]

Sorgente informativa: Schede tecniche, misurazioni del sistema di monitoraggio e programmi di gestione stabiliti all'interno dell'Azienda

- Relative ai terminali dell'aria, quali:
 - Portata [mc/s]
 - Disponibilità del Volume d'aria variabile

Sorgente informativa: Schede tecniche, misurazioni del sistema di monitoraggio e programmi di gestione stabiliti all'interno dell'Azienda

- Relative agli estrattori, quali:
 - η ventilatore
 - Portata [mc/s]

Sorgente informativa: Schede tecniche, misurazioni del sistema di monitoraggio e programmi di gestione stabiliti all'interno dell'Azienda

- Condizioni climatiche al contorno

Sorgente informativa: File climatici contenenti dati storici (.epw)

Realizzazione del modello virtuale del manufatto con le caratteristiche costruttive allo stato as-is reale

Criteri scelti di modellazione

Per la modellazione del manufatto in ambiente virtuale si sono scelte due strategie:

- Individuazione di zone termiche specifiche destinate alla climatizzazione all'interno di open spaces.

Le diverse zone termiche all'interno del grande open space, sono state delimitate da partizioni virtuali, ovvero fittizie, che il software non riconosce come barriere fisiche e considera il passaggio d'aria attraverso di esse. Questa scelta è stata assunta poiché all'interno del grande volume della fabbrica, dove avviene la produzione e il confezionamento, il sistema meccanico di canalizzazioni per il raffrescamento e il ricambio d'aria è concentrato solo nella parte relativa al confezionamento, poiché è quella destinata alla permanenza dei lavoratori ed è pertanto l'area di interesse della climatizzazione. Non essendoci separazioni fisiche tra l'area da climatizzare e l'area della produzione, i forni delle linee produttive sono responsabili di una quota dei guadagni termici interni che influenza anche le condizioni termiche dell'area oggetto di interesse della climatizzazione. Nell'area per il confezionamento sono presenti tre sistemi di canalizzazioni afferenti a tre diverse UTA e riferibili a tre diverse aree per il confezionamento, ognuna con un numero determinato e distinguibile di lavoratori presenti, pertanto si sono modellate tre zone termiche come base per quantificare i fabbisogni di raffrescamento. Di seguito si riporta una immagine esplicativa che rileva il sistema delle tre zone termiche nominate ognuna 'Zona confezionamento', separato attraverso le partizioni virtuali dalle zone della produzione nominate ognuna 'Zona forni' (Fig.137). Si specifica che in realtà i sistemi open space per la produzione e il confezionamento sono due, poiché in passato sono stati effettuati lavori di ampliamento del capannone con aggiunta una nuova campata ad ospitare l'inserimento di una ulteriore linea produttiva ed il relativo confezionamento, lasciando la parete di separazione del preesistente spazio.

- Individuazione del perimetro di valutazione e l'assegnazione di partizioni adiabatiche all'interfaccia con gli altri ambienti interni non oggetto di studio. Si è assegnata la caratteristica di adiabaticità alle partizioni che delimitano l'ambiente interno oggetto di interesse separandolo dagli altri ambienti interni della fabbrica fuori dal perimetro di valutazione, lasciando pertanto la possibilità degli scambi termici alle sole pareti del sistema che:
 - si interfacciano direttamente con lo spazio outdoor
 - separano i due ambienti open spaces adiacenti oggetto di studio

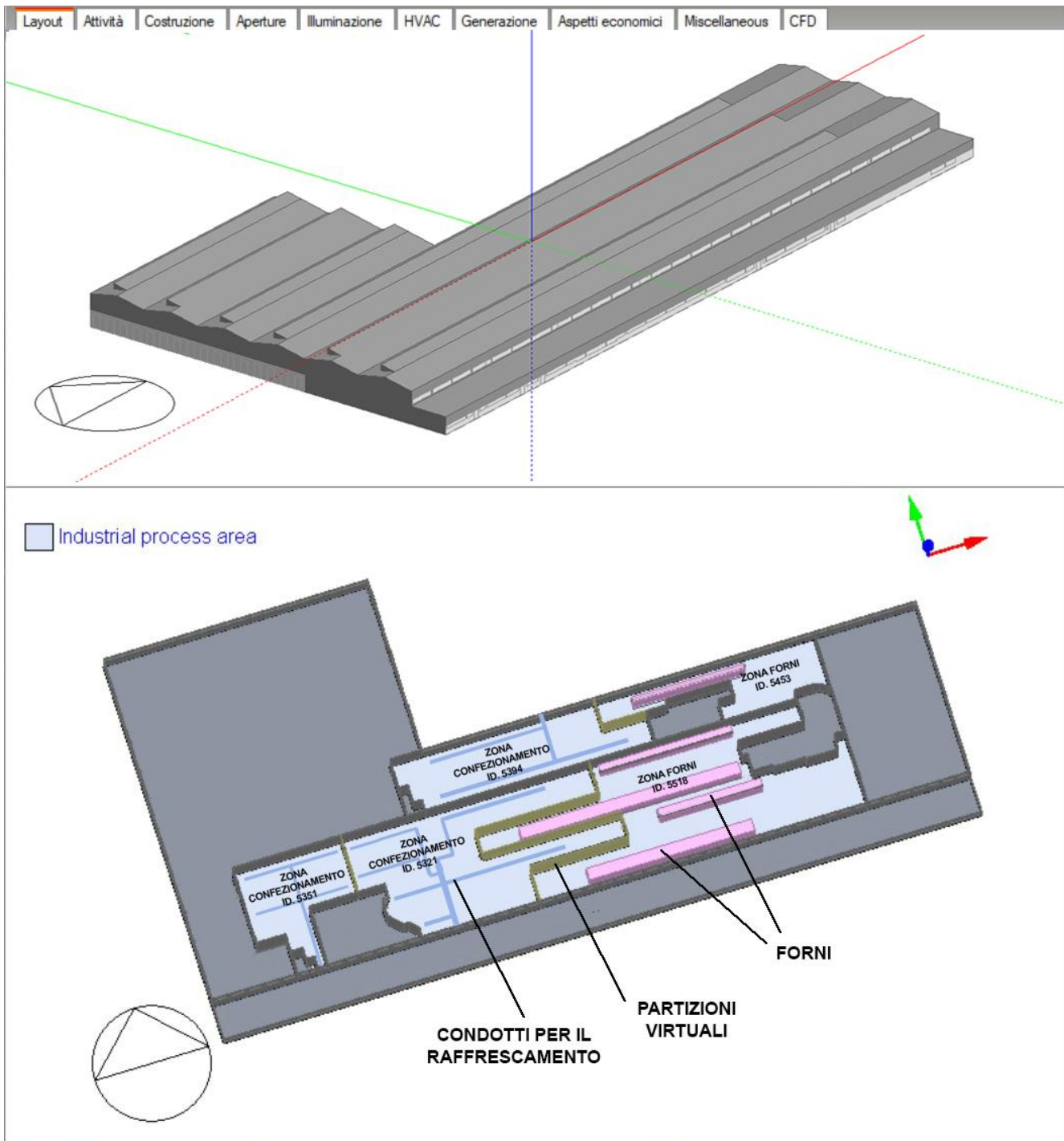


Fig. 137
 Vista del modello
 realizzato e
 illustrazione della
 divisione nelle zone
 termiche considerate
 all'interno del grande
 open space del reparto
 di produzione e
 confezionamento.

Caratteristiche dell'edificio reale inserite nei settaggi del modello virtuale

Si riporta una tabella con le caratteristiche della fabbrica che sono state inserite nel modello (Tab.59):

| ZONE TERMICHE | | | | | | |
|---|---------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|---|---|
| | u.m. | Zona confezionamento 1 | Zona confezionamento 2 | Zona confezionamento 3 | Zona forni 1 | Zona forni 2 |
| Internal Gains | | | | | | |
| Occupazione | | | | | | |
| Numero persone | [num] | 15 | 6 | 8 | Nessuna persona considerata | Nessuna persona considerata |
| Profilo di occupazione | [-] | 100% h24 esclusi i weekend | 100% h24 esclusi i weekend | 100% h24 esclusi i weekend | | |
| Equipments | | | | | | |
| Potenza nominale complessiva di tutti gli equipments considerati | [kW] | Nessun equipment considerato | Nessun equipment considerato | Nessun equipment considerato | 4300 (Potenza complessiva dei forni presenti) | 800 (Potenza complessiva dei forni presenti) |
| Profilo di utilizzo | [-] | | | | 60% h24 esclusi i weekend | 75% h24 esclusi i weekend |
| Frazione dispersa (nota importante: nel software si intende il calore che NON costituisce 'Internal Gain', quindi non il calore disperso in ambiente ma quello utilizzato + quello che fuoriesce dai camini) | [-] | | | | 0,79 | 0,90 |
| Frazione latente | [-] | | | | 0,02 | 0,02 |
| Frazione convettiva | [-] | | | | 0,14 | 0,06 |
| Frazione radiante | [-] | 0,05 | 0,02 | | | |
| Illuminazione | | | | | | |
| Densità di potenza | [W/mq] | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Lux desiderati | [lux] | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Profilo di utilizzo | [-] | 100% h24 esclusi i weekend | 100% h24 esclusi i weekend | 100% h24 esclusi i weekend | 100% h24 esclusi i weekend | 100% h24 esclusi i weekend |
| Condizioni imposte agli spazi | | | | | | |
| Raffrescamento | | | | | | |
| Temperatura di setpoint durante l'occupazione | [C°] | 26 | 26 | 26 | Zona non considerata nel servizio di raffrescamento | Zona non considerata nel servizio di raffrescamento |
| Temperatura di setpoint in assenza di occupazione | [C°] | 28 | 28 | 28 | | |
| Profilo di utilizzo | [-] | 100% h24 | 100% h24 | 100% h24 | | |
| Ventilazione meccanica | | | | | | |
| Ricambi d'aria orari | [vol/h] | 1 | 1 | 1 | Zona non considerata | Zona non considerata |
| Informazioni tecniche sistema HVAC | | | | | | |
| Gruppo Frigo | | | | | | |
| Potenza nominale | [kW] | 411 | | | Zona non considerata nel servizio di raffrescamento | Zona non considerata nel servizio di raffrescamento |
| Coefficiente di Prestazione COP | [-] | 4,7 | | | | |
| Profilo di assorbimento | [-] | Disponibile h24 | | | | |
| UTA | | | | | | |
| Portata d'aria di immissione | [mc/h] | 60.000 | 35.000 | 25.000 | Zona non considerata | Zona non considerata |
| Profilo di assorbimento | [-] | Disponibile h24 | Disponibile h24 | Disponibile h24 | | |
| Terminali | | | | | | |
| Portata d'aria | [mc/s] | 60.000 | 35.000 | 25.000 | Zona non considerata | Zona non considerata |
| Volume d'Aria Variabile | [si/no] | no | no | no | | |

Tab. 59
Elenco delle caratteristiche di dotazioni tecnologiche e utilizzo degli spazi assegnate ad ogni zona termica individuata.

Si riportano le impostazioni relative ai profili di utilizzo di spazi, macchinari e dotazioni impiantistiche che nel perimetro della fabbrica considerato contribuiscono alla formulazione della domanda di energia (fase di uso dell'edificio).

Si distinguono i programmi, ovvero la distribuzione settimanale dei profili di utilizzo giornalieri. quali:

- Il programma e il profilo di occupazione, che è il medesimo per la quantificazione dei guadagni termici interni dovuti:
 - alla presenza delle persone
 - all'illuminazione artificiale

In particolare, la programmazione aziendale prevede una differenziazione dei profili giornalieri di occupazione tra i giorni feriali e festivi (Fig.138). Nei giorni feriali è stata considerato un profilo di massima occupazione h.24 poiché i turni lavorativi garantiscono la copertura del medesimo numero di persone per tutto l'arco della giornata (Fig.139); nei weekend invece la fabbrica è chiusa e pertanto il profilo di occupazione è nullo.

Fig. 139
Programmazione dell'occupazione settimanale della zona considerata.

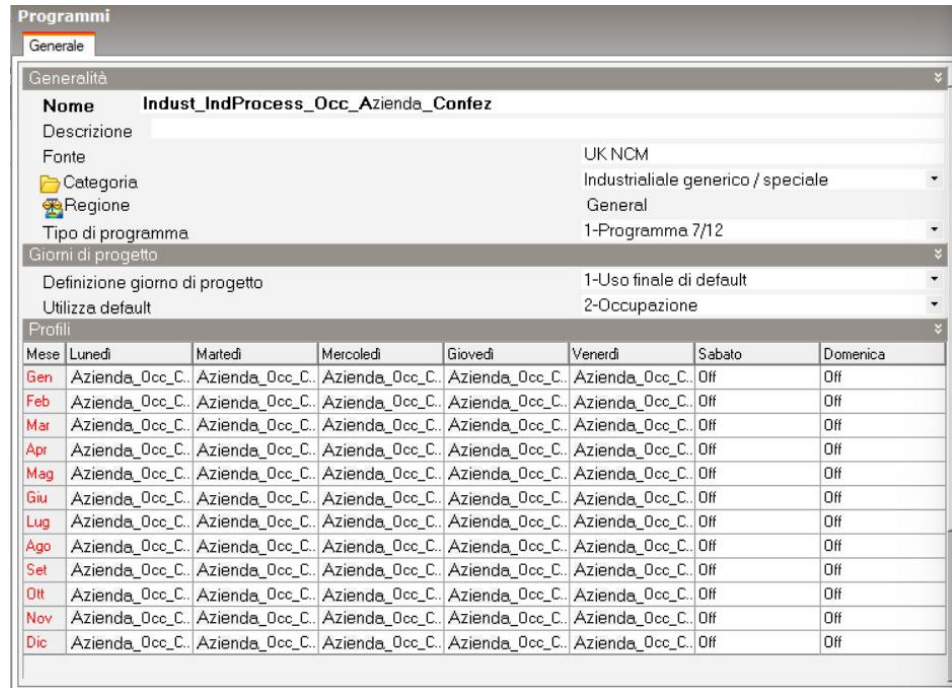
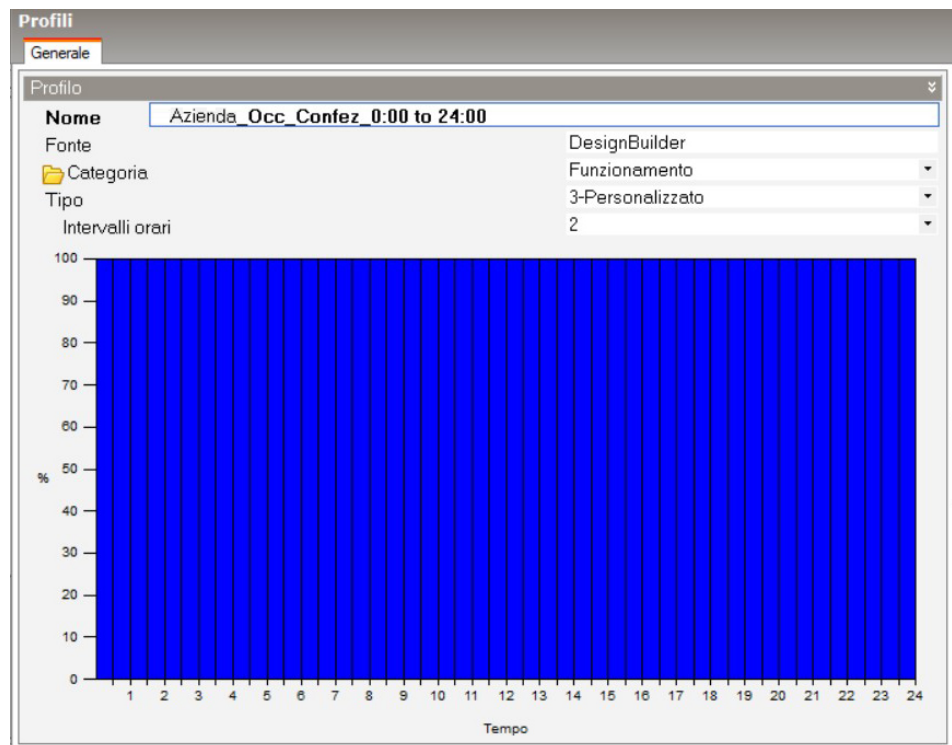


Fig. 138
Profilo orario di occupazione considerato per i giorni lavorativi



- Il programma e il profilo di funzionamento dei forni nella 'Zona forni 1', per la quantificazione dei guadagni termici interni dovuti alle dispersioni di calore in ambiente di tali macchinari in funzione sulle linee produttive presenti. Anche in questo caso la programmazione aziendale prevede una differenziazione dei profili giornalieri di utilizzo tra giorni feriali e festivi (Fig.140). In base ai dati in possesso, nei giorni feriali è stato considerato un profilo di utilizzo h.24 del 60% della potenza complessiva dei forni presenti (Fig.141); nei weekend invece la fabbrica è chiusa e pertanto il profilo di utilizzo dei forni è nullo.

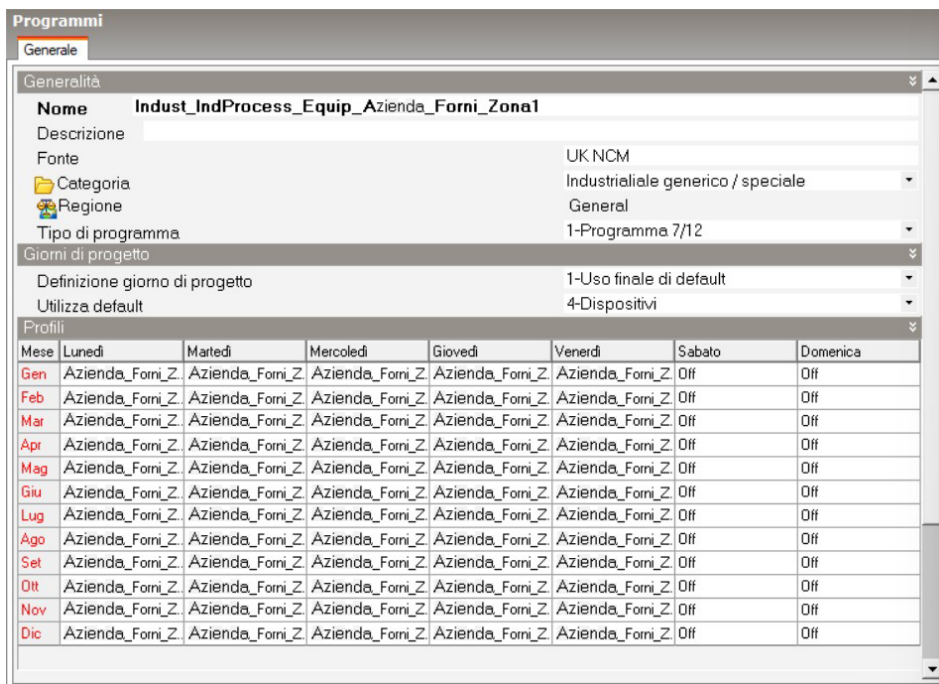


Fig. 140
Programmazione settimanale dell'attività delle linee produttive nella Zona 1.

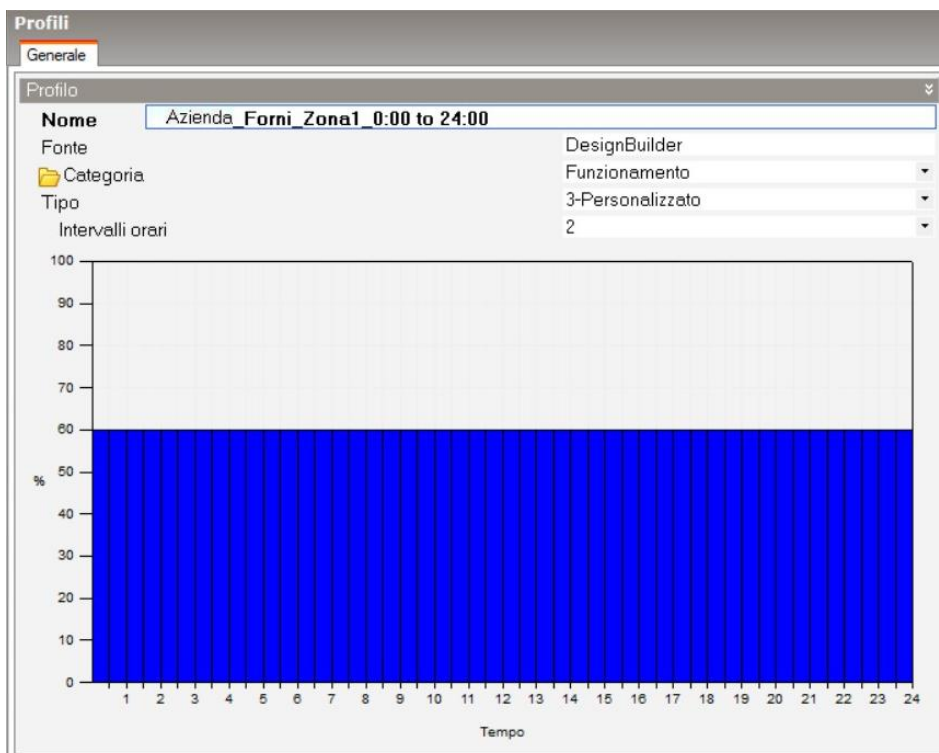


Fig. 141
Profilo orario di attività dei forni della zona 1 considerato per i giorni lavorativi.

- Il programma (Fig.142) e il profilo di funzionamento dei forni nella 'Zona forni 2', per cui si è proceduto in modo analogo alla 'Zona forni 1' già descritta. In questo caso, in base ai dati in possesso, nei giorni feriali è stato considerato un profilo di utilizzo h.24 del 75% della potenza complessiva dei forni presenti (Fig.143); nei weekend invece la fabbrica è chiusa e pertanto il profilo di utilizzo dei forni è nullo.

Fig. 142
Programmazione settimanale dell'attività delle linee produttive nella Zona 2.

Programmi

Generale

Generalità

Nome Indust_IndProcess_Equip_Azienda_Forni_Zona2

Descrizione

Fonte UK NCM

Categoria Industriale generico / speciale

Regione General

Tipo di programma 1-Programma 7/12

Giorni di progetto

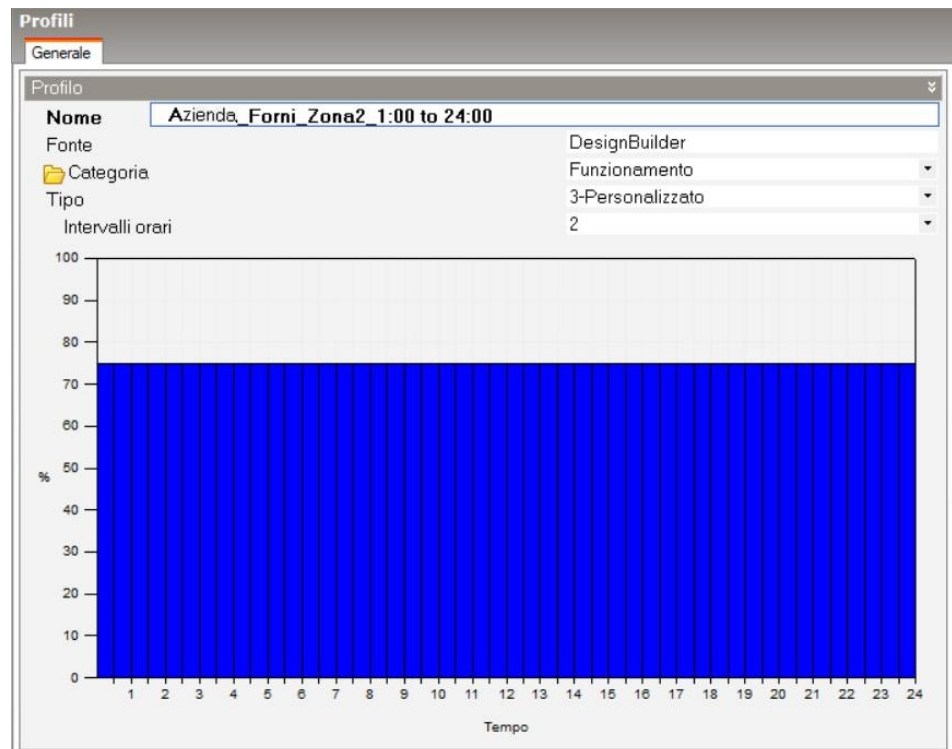
Definizione giorno di progetto 1-Usò finale di default

Utilizza default 4-Dispositivi

Profili

| Mese | Lunedì | Martedì | Mercoledì | Giovedì | Venerdì | Sabato | Domenica |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|----------|
| Gen | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Off | Off |
| Feb | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Off | Off |
| Mar | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Off | Off |
| Apr | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Off | Off |
| Mag | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Off | Off |
| Giu | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Off | Off |
| Lug | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Off | Off |
| Ago | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Off | Off |
| Set | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Off | Off |
| Ott | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Off | Off |
| Nov | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Off | Off |
| Dic | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Azienda_Forni_Z | Off | Off |

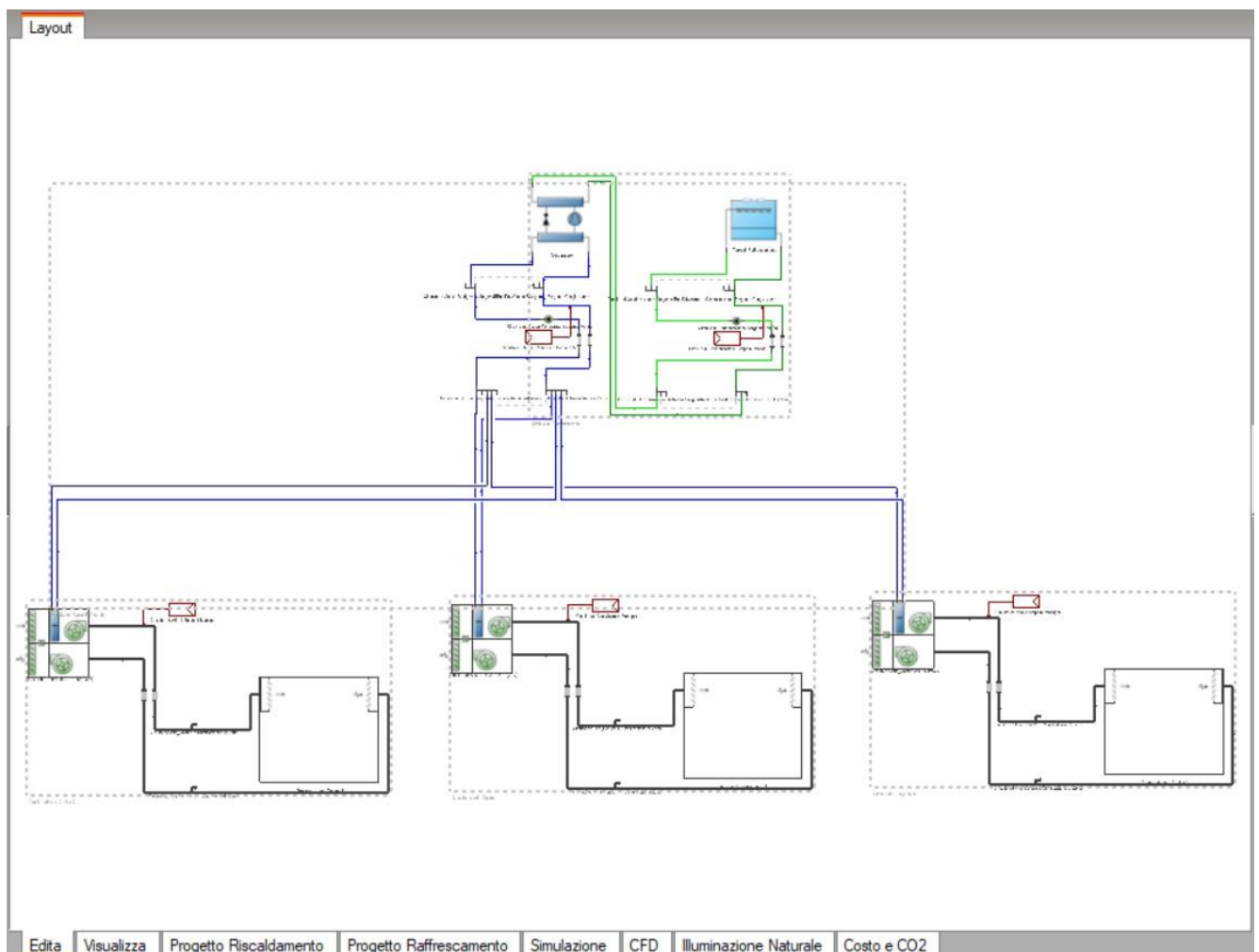
Fig. 143
Profilo orario di attività dei forni della zona 2 considerato per i giorni lavorativi.



Infine, si riporta l'evidenza di come è stato strutturato lo schema impiantistico. Come già segnalato, si sono concepite tre zone di interesse per il servizio di raffrescamento, ognuna ospitante le funzioni di confezionamento per specifiche linee produttive ed ognuna servita da un sistema di canalizzazioni terminali che afferiscono a distinte Unità di Trattamento dell'Aria (UTA), le quali sono collegate allo stesso circuito frigorifero che fa capo alla medesima Centrale frigorifera in cui, nel periodo di raffrescamento estivo, lavora un Gruppo Frigorifero ad acqua costituito da un sistema con Chiller connesso ad una torre evaporativa. Nell'immagine di seguito illustrata (Fig.144) sono individuati:

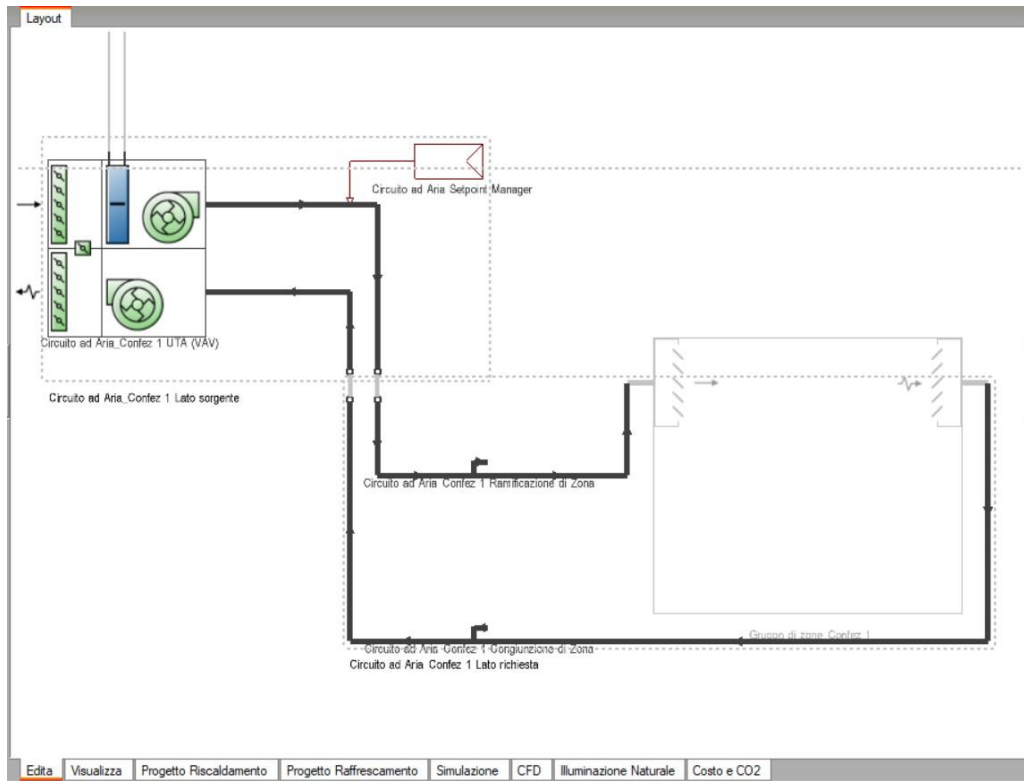
- Tre zone termiche distinte (in basso)
- Tre UTA riferite ognuna a una diversa zona termica
- Un unico circuito frigorifero a servizio delle batterie di raffreddamento di tutte e tre le UTA
- Un sistema di condensazione connesso al refrigeratore del circuito frigorifero, dotato di torre evaporativa

Fig. 144
Layout del sistema frigorifero a servizio delle zone termiche impostato modello.



Facendo focus sul sistema delle zone termiche e delle UTA ad esse riferite (Fig.145), si riportano i dettagli dei settaggi che sono stati assegnati:

Fig. 145
Focus sul sistema della zona termica e delle Unità di Trattamento dell'Aria a servizio: schematizzazione grafica.



La zona termica servita è settata per avere la temperatura dell'aria immessa di raffreddamento a 13°C (Fig.146):

Fig. 146
Settaggi delle condizioni termoigrometriche assegnati alla zona considerata.

| Zona HVAC | | Info | |
|---|---|---|--|
| Generale | | Zona HVAC | |
| Nome | BLOCCO1.ZONACONFEZIONAMENTO1 | I dati di dimensionamento di zona riguardano il riscaldamento, il raffreddamento, il controllo di umidità e la richiesta di ventilazione. | |
| Controllo dell'Umidostato | | Utilizzare la scheda 'Target' per salvare questi dati su altre zone HVAC oltre a questa. | |
| Controllo CO2 e Contaminante | | Setpoint di zona | |
| Efficacia Distribuzione Aria di Ricircolo | | Il metodo dati attività HVAC Dettagliato '1-Dati HVAC Semplificati' è stato selezionato, per cui i valori di setpoint di riscaldamento, di raffreddamento, di umidificazione e di deumidificazione così come i tassi di ventilazione dell'aria di rinnovo sono ricavati dalle schede Attività e HVAC in dati modello. | |
| Metodo | 1-Raffrescamento e riscaldamento separato | Dati aria esterna | |
| Efficacia in modalità di raffreddamento | 1,000 | Vengono visualizzati i dati equivalenti di dimensionamento dell'aria esterna che verranno utilizzati nelle simulazioni, in grigio qui per comodità. | |
| Efficacia in modalità di riscaldamento | 1,000 | I dati di dimensionamento dell'aria esterna saranno utilizzati solo se la 'Portata Aria Esterna' nella scheda Sistema ad Aria Esterna della finestra di dialogo UTA è autodimensionata. | |
| Frazione di ricircolo | 0,000 | | |
| Sizing | | | |
| Dimensionamento di Riscaldamento | | | |
| Metodo inserimento temperatura di progetto aria immessa di riscaldamento | 1-Temperatura aria immessa | | |
| Temperatura di progetto aria immessa di riscaldamento (°C) | 50,000 | | |
| Umidità di progetto aria immessa di riscaldamento | 0,0040 | | |
| Fattore di dimensionamento riscaldamento di zona | 1,000 | | |
| Metodo di progetto per il flusso d'aria di riscaldamento | 1-Giorno di progetto | | |
| Dimensionamento di Raffreddamento | | | |
| Metodo inserimento temperatura di progetto aria immessa di raffreddamento | 1-Temperatura aria immessa | | |
| Temperatura di progetto aria immessa di raffreddamento (°C) | 13,000 | | |
| Umidità di progetto aria immessa di raffreddamento | 0,009 | | |
| Frazione minima del flusso d'aria di raffreddamento (rapporto tra m³/s) | 0,000 | | |
| Fattore di dimensionamento raffreddamento di zona | 1,000 | | |
| Metodo di progetto per il flusso d'aria di raffreddamento | 1-Giorno di progetto | | |
| Dimensionamento Aria Esterna | | | |
| Metodo di definizione dell'aria esterna | 2-Flow/Zone | | |
| Flusso d'aria esterna per zona (m³/s) | 9,045867 | | |
| Dedicated Outdoor Air System (DOAS) | | | |
| <input type="checkbox"/> Include DOAS system? | | | |

L'unità di Trattamento dell'Aria nell'esempio mostrato è stata caratterizzata da una portata di progetto dell'aria di immissione pari a 16,66667 mc/s, che corrispondono ai 60.000 mc/h dell'UTA reale presente in fabbrica (Fig.147), ed il setpoint della temperatura è impostato per seguire una programmazione che mantiene costantemente l'aria a 13°C, come si è ipotizzato nell'analisi preliminare (Fig.148):

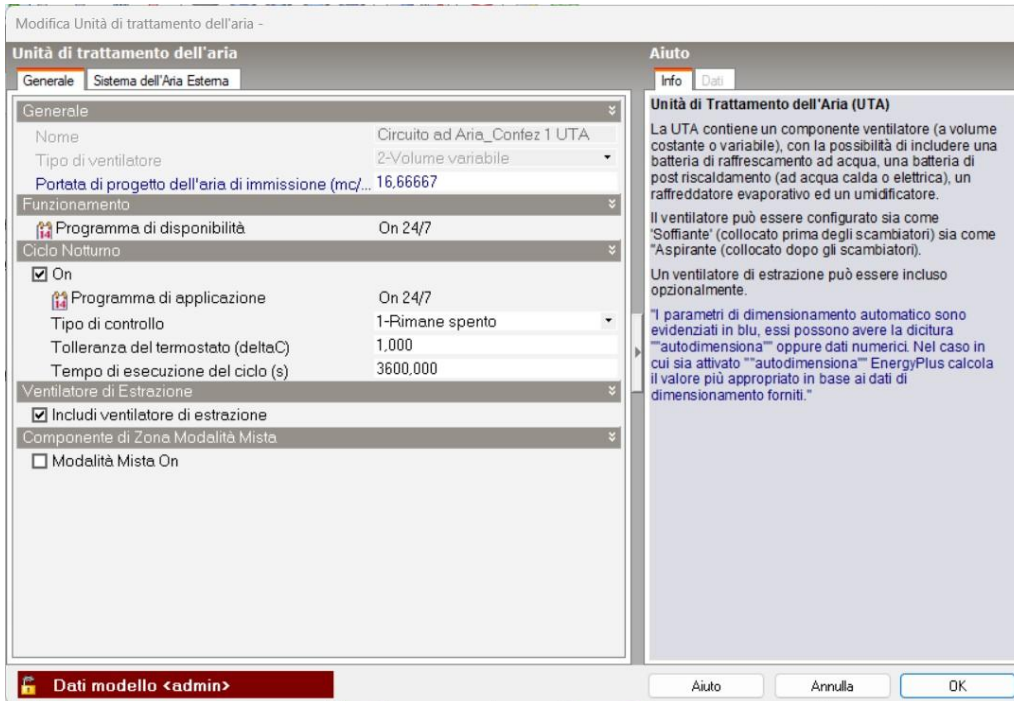


Fig. 147
Settaggi delle Unità di Trattamento dell'Aria.

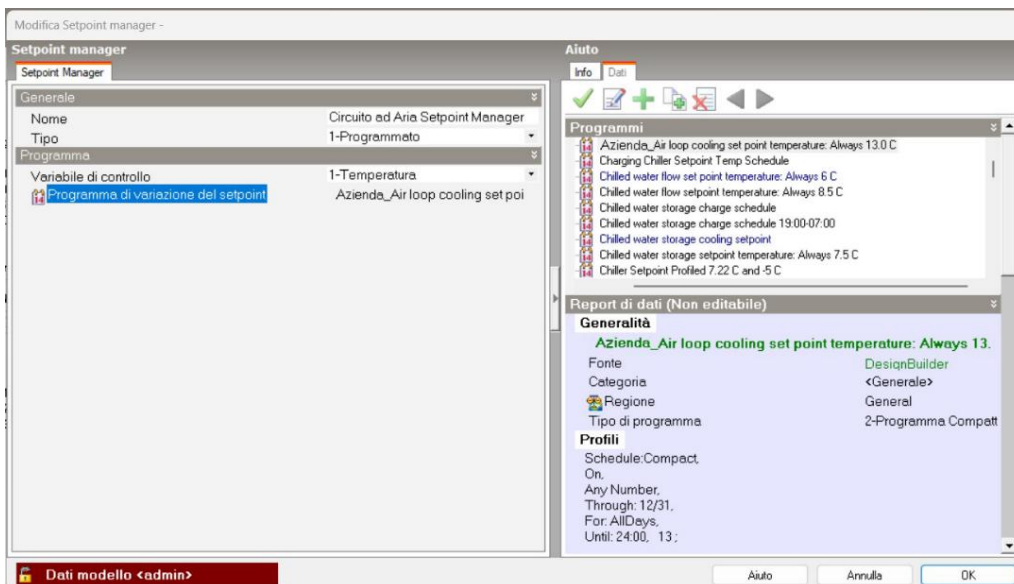


Fig. 148
Impostazioni della temperatura di set point per il circuito ad aria.

Per quanto riguarda il circuito frigorifero, è stato selezionato un refrigeratore della stessa marca di quello di cui effettivamente la fabbrica è dotata, con Coefficiente di prestazione di riferimento pari a quello considerato nell'analisi preliminare (Fig.149, 150):

Fig. 149
Focus sul sistema di produzione e distribuzione del freddo: schematizzazione grafica.

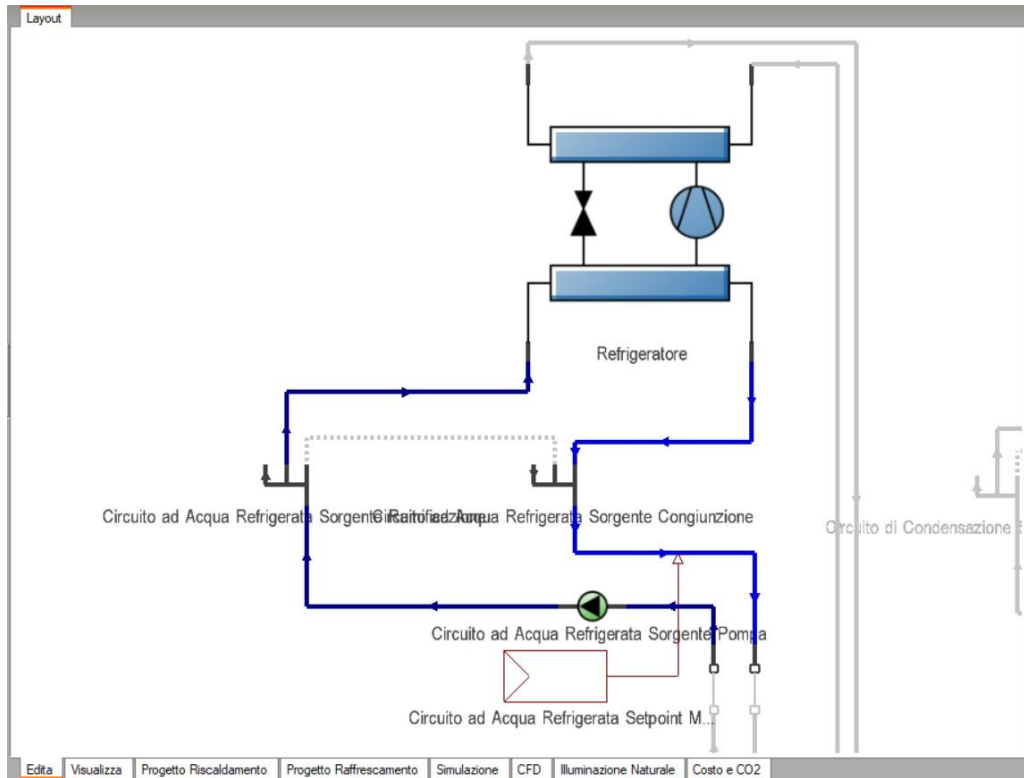


Fig. 150
Settaggi del gruppo frigorifero selezionato a servizio del sistema di raffrescamento.

Modifica Refrigeratore -

| Refrigeratore | |
|--|---|
| Generale | |
| Nome | Refrigeratore |
| Template refrigeratore | ElectricEIRChiller Centrifugal York YT 960kW/ |
| Tipo di refrigeratore | 2-Electric EIR |
| Capacità di riferimento (W) | 960000,000 |
| COP di riferimento (-) | 4,640 |
| Efficienza del motore del compressore | 1,000 |
| Modalità di flusso del refrigeratore | 3-Non modulante |
| Fattore di dimensionamento | 1,000 |
| Condensatore | |
| Tipo di Condensatore | 2-Raffreddato ad acqua |
| Temperature | |
| Temperatura di riferimento dell'acqua refrigerata in uscita (°C) | 4,440 |
| Temperatura di riferimento del fluido in ingresso al condensatore... | 26,110 |
| Limite di temperatura in uscita dell'acqua fredda (°C) | 2,000 |
| Portate | |
| Portata acqua refrigerata di riferimento (mc/s) | 0,037850 |
| Flusso d'acqua di Riferimento al condensatore (mc/s) | 0,047320 |
| Curve di Prestazione | |
| Curva della capacità di raffreddamento in funzione della tem... | ElectricEIRChiller York YT 960kW/4.64COP/N |
| Curva del rapporto tra energia consumata e raffreddamento f... | ElectricEIRChiller York YT 960kW/4.64COP/N |
| Curva del rapporto tra energia consumata e raffreddamento f... | ElectricEIRChiller York YT 960kW/4.64COP/N |
| Impostazioni del carico parziale | |
| Rapporto di carico parziale minimo | 0,090 |
| Rapporto di carico parziale massimo | 1,090 |
| Rapporto di carico parziale ottimale | 1,000 |
| Rapporto di scarico minimo | 0,090 |
| Recupero di calore | |
| <input type="checkbox"/> Recuperatore di calore | |

Aiuto

Refrigeratore

I refrigeratori sono collocati nel sotto circuito dell'acqua fredda e forniscono acqua refrigerata alle batterie di raffreddamento, alle travi fredde e ai soffitti refrigerati.

Tipo di Condensatore

Il condensatore determina che tipo di condensatore verrà incluso in questo refrigeratore. Le opzioni valide sono:

- 1-Raffreddato ad aria
- 2-Raffreddato ad acqua
- 3-Raffreddato evaporativamente

I refrigeratori condensati ad acqua devono essere collegati ad un Circuito di Condensazione con Torre Evaporativa. Gli altri tipi di refrigeratori non richiedono l'aggiunta di alcun circuito aggiuntivo.

Per modificare il tipo di condensatore

DesignBuilder impedisce di cambiare tipo di condensatore direttamente nella finestra di dialogo Chiller, ciò rende più difficile l'inserimento di impostazioni della curva inappropriata. Per modificare il tipo di condensatore è necessario o selezionare un template di refrigeratore esistente oppure creare un nuovo template di refrigeratore facendo aggiungi o facendo copia/modifica.

I parametri di dimensionamento automatico sono evidenziati in blu, essi possono avere la dicitura "autodimensiona" oppure dati numerici. Nel caso in cui sia attivato "autodimensiona" EnergyPlus calcola il valore più appropriato in base ai dati di dimensionamento forniti.

Dati modello <admin> Aiuto Annulla OK

4.2.3. Simulazione energetica dinamica per la verifica della calibrazione del modello

L'uso che si intende fare del modello realizzato è pianificare quanto più accuratamente possibile gli interventi di retrofit energetico sull'edificio, per questo si è cercato di verificarne la calibrazione attraverso una analisi energetica dinamica e il confronto dei risultati con i consumi energetici effettivamente registrati dal sistema di monitoraggio implementato nello stabilimento fisico.

I vantaggi della simulazione energetica dinamica, che tiene conto delle caratteristiche termiche inerziali dell'edificio, risiedono nella mitigazione dei rischi nella pianificazione degli interventi perché permette di:

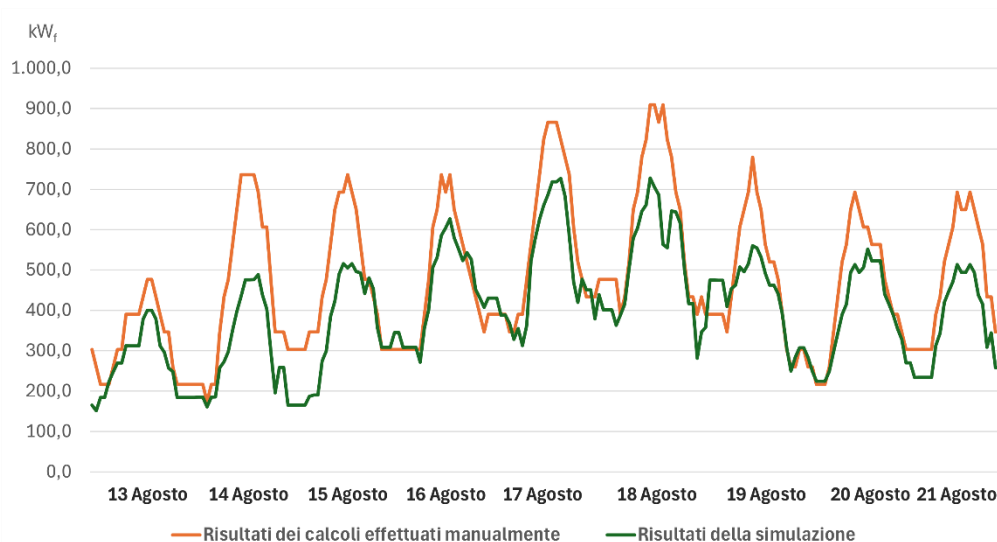
- Considerare la complessità delle interdipendenze tra diversi interventi, passivi e attivi, e prevenendo potenziali effetti negativi derivanti dalle ristrutturazioni edilizie, come problemi di ventilazione o surriscaldamento. Ad esempio, il miglioramento dell'illuminazione può ridurre il calore di scarto emesso, aumentando così il fabbisogno di riscaldamento (al contrario, in climi più caldi, questo potrebbe rappresentare un vantaggio in estate, grazie alla diminuzione della domanda di raffrescamento). Così come i miglioramenti nell'ermeticità dell'aria potrebbero richiedere aggiornamenti degli impianti HVAC per garantire una ventilazione adeguata e il comfort degli occupanti (IES, 2024b).
- Basarsi su parametri variabili nel tempo come l'occupazione e le condizioni climatiche locali, su base oraria o sub-oraria
- Analizzare l'effettivo livello di comfort termo-igrometrico degli spazi attraverso il calcolo della temperatura dell'aria, media radiante e operativa per ogni zona termica (Di Perna, 2024)
- Valutare le performance combinate di impianti per la climatizzazione e gli impianti di generazione energetica da fonti rinnovabili intermittenti
- Effettuare una previsione affinata del comportamento estivo e invernale dell'edificio
- Individuare la potenza di picco dell'edificio per dimensionare l'impianto

Si riportano i risultati delle simulazioni effettuate a confronto con i risultati delle elaborazioni svolte precedentemente a partire dai dati monitorati in Azienda. Si ricorda che il lavoro si è concentrato sullo studio del sistema edificio-impianti per quanto riguarda l'ambito della climatizzazione estiva, rispetto al quale, in estrema sintesi, si hanno i dati tecnici delle apparecchiature coinvolte e i consumi elettrici monitorati di ciascun gruppo frigo in attività e della torre evaporativa. Purtroppo, essendo il circuito frigorifero per la climatizzazione il medesimo che fornisce frigorifici ai processi produttivi, non si ha una distinzione effettivamente misurata degli assorbimenti di energia elettrica e dei fabbisogni di frigorifici a carico del servizio di raffrescamento ambiente rispetto alle richieste della produzione. Si è pertanto proceduto a fare delle stime a partire dai dati reali, come precedentemente descritto (si rimanda alla lettura del capitolo 4.2.1.). Di seguito si riportano pertanto i confronti

tra i risultati delle stime effettuate a partire dai dati reali rispetto ai risultati in output dalla simulazione energetica dinamica del modello virtuale realizzato, per quanto riguarda:

- I fabbisogni di raffrescamento degli ambienti:
 - A livello orario, prendendo come riferimento il periodo dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022 (Fig.151)
 - A livello di aggregazione mensile (Tab.60, Fig.152)

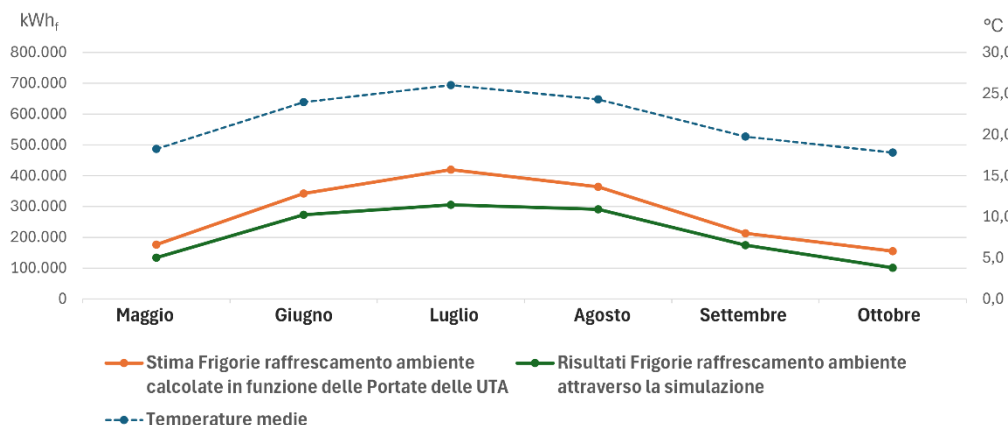
Fig. 151
Andamento del fabbisogno di raffrescamento ambiente stimato con i calcoli svolti manualmente a confronto con l'andamento del fabbisogno risultato con la simulazione per il periodo dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022.



Tab. 60
Confronto tra i fabbisogni di raffrescamento mensile stimati manualmente e i risultati della simulazione.

| | Temperature medie | Stima Frigorie raffrescamento ambiente calcolate in funzione delle Portate delle UTA | Risultati Frigorie raffrescamento ambiente attraverso la simulazione |
|-----|-------------------|--|--|
| | [°C] | [kWh _f] | [kWh _f] |
| mag | 18,3 | 176.568 | 134.032 |
| giu | 24,0 | 342.003 | 273.256 |
| lug | 26,0 | 419.847 | 305.488 |
| ago | 24,3 | 363.749 | 290.814 |
| set | 19,8 | 212.999 | 174.731 |
| ott | 17,8 | 155.298 | 101.374 |

Figura 152
Andamento delle frigorie mensili stimate per il raffrescamento ambiente attraverso i calcoli manuali a confronto con i risultati della simulazione.



- I consumi elettrici del Gruppo Frigorifero in attività
 - A livello orario, prendendo come riferimento il periodo dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022 (Fig.153)
 - A livello di aggregazione mensile (Tab.61, Fig.154)

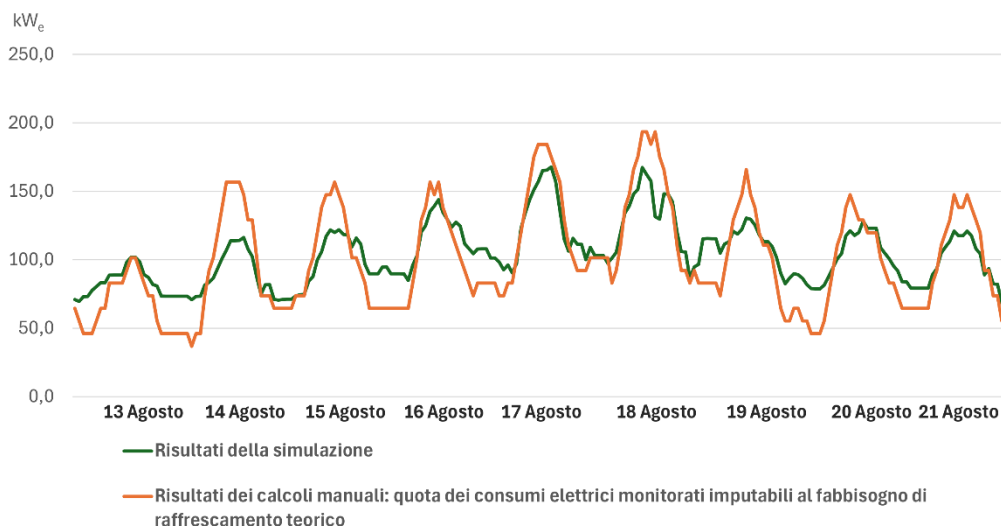


Fig. 153
Andamento degli assorbimenti elettrici del Gruppo frigo destinati al raffreddamento risultati dalle stime svolte manualmente a confronto con l'andamento dei consumi elettrici risultati con la simulazione, nel periodo dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022.

| | Stima Consumi elettrici per il raffreddamento ambiente a partire dagli assorbimenti elettrici totali monitorati | Risultati dei Consumi elettrici del Gruppo Frigo per il raffreddamento ambiente attraverso la simulazione |
|-----|---|---|
| | [kWh _e] | [kWh _e] |
| mag | 39.193 | 47.960 |
| giu | 73.159 | 74.074 |
| lug | 89.811 | 79.873 |
| ago | 77.811 | 77.087 |
| set | 45.563 | 55.481 |
| ott | 34.894 | 45.415 |

Tab. 61
Confronto tra i consumi elettrici mensili per il raffreddamento ambiente stimati e i risultati della simulazione.

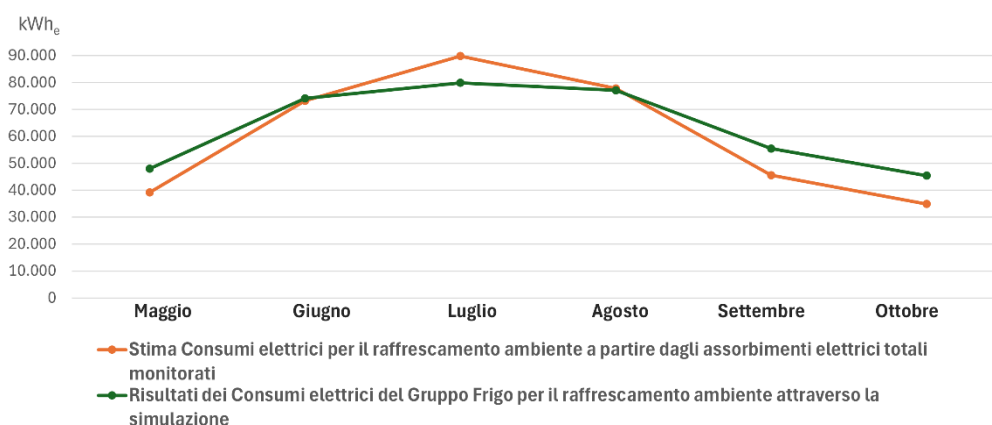


Fig. 154
Andamento degli assorbimenti elettrici mensili per il raffreddamento ambiente stimati attraverso i calcoli manuali a confronto con i risultati della simulazione.

Come si evince dai diversi confronti analizzati, il modello si avvicina ma non è calibrato perfettamente con le stime avanzate a partire dai dati reali del modello fisico. Sia i fabbisogni di raffreddamento che gli assorbimenti elettrici del circuito frigorifero che serve la climatizzazione risultano leggermente minori nei risultati energetici simulati.

4.3. Studio di scenari di decarbonizzazione attraverso la simulazione di interventi migliorativi

4.3.1. Verifica delle ipotesi di interventi migliorativi attraverso la simulazione energetica dinamica

Sono stati analizzati attraverso la simulazione energetica dinamica del modello, alcuni interventi di miglioramento energetico afferenti alle strategie integrate di decarbonizzazione di cui al secondo capitolo della tesi e sono stati valutati i risultati in relazione anche alle opportunità di miglioramento delle performance di circolarità dell'azienda nella rotta verso la decarbonizzazione.

Il lavoro ha riguardato:

- la simulazione delle prestazioni del modello corrispondente allo stato as-is dell'edificio, al fine di riconoscere i punti di debolezza in cui intervenire
- la simulazione combinata di:
 - un intervento di efficientamento energetico per il sistema edificio-impianti
 - un intervento di autoproduzione energetica

Sono stati valutati i risultati in termini di:

- miglioramento delle prestazioni passive dell'edificio
- miglioramento delle condizioni termoigrometriche indoor
- miglioramento energetico
- decarbonizzazione

Il perimetro di analisi, coerentemente con le analisi precedentemente svolte, si è focalizzato su:

- l'area produttiva della fabbrica
- il servizio di climatizzazione estiva della parte del confezionamento.

Le simulazioni sono state condotte:

- su base oraria per quanto concerne la settimana dal 13 Agosto al 21 Agosto, per dimensionare gli interventi
- su base mensile, per verificare i risultati in comparazione con i dati annuali effettivamente registrati

Simulazione dello stato as-is

Come espresso già in precedenza, il grande open space dell'area produttiva della fabbrica allo stato as-is è stata modellato considerando diverse zone termiche, in funzione di come sono servite dall'attuale sistema di climatizzazione a miscelazione, per cui si distinguono:

- Zona confezionamento 1, servita dal sistema di canalizzazioni che fanno capo all'UTA 1
- Zona confezionamento 2, servita dal sistema di canalizzazioni che fanno capo all'UTA 2
- Zona confezionamento 3, servita dal sistema di canalizzazioni che fanno capo all'UTA 3
- Zona con forni 1, che contiene quattro delle cinque linee produttive della fabbrica e influisce sui guadagni termici interni dell'open space che contiene la Zona confezionamento 1 e 2 ed è sprovvista di sistema di climatizzazione poiché non sono previste postazioni fisse per i lavoratori
- Zona con forni 1, che contiene quattro delle cinque linee produttive della fabbrica e influisce sui guadagni termici interni dell'open space che contiene la Zona confezionamento 3 ed è sprovvista di sistema di climatizzazione poiché non sono previste postazioni fisse per i lavoratori

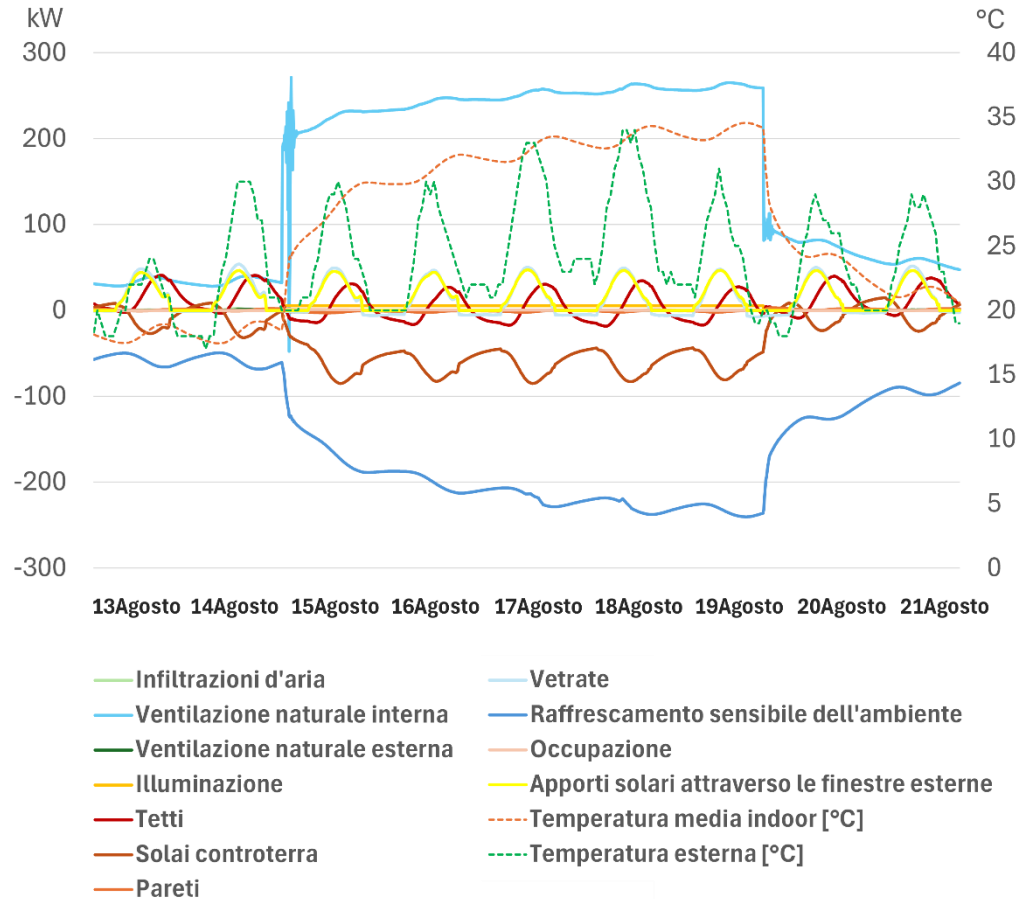
Gli altri spazi modellati sono fuori dal perimetro di analisi e le pareti adiacenti alle zone termiche di interesse sono state considerate adiabatiche.

Una prima analisi è stata svolta in relazione al bilancio termico delle zone, per individuare gli ambiti dell'edificio che nella stagione estiva contribuiscono a fornire guadagni di calore all'interno dello spazio e a indurre la richiesta di climatizzazione. Si riportano di seguito i profili orari per la settimana estiva di riferimento, con focus esemplificativo sui risultati relativi alla Zona Confezionamento 1 (Fig.155).

Da questa analisi è possibile rilevare che nei giorni in cui lo stabilimento è in attività:

- i maggiori apporti di calore all'interno della zona sono dovuti ai flussi d'aria che vengono naturalmente scambiati internamente tra l'area del confezionamento e le aree contigue, che come si sa corrisponde all'area dove vi sono i forni
- Una quota parte degli apporti di calore proviene anche per conduzione del solaio di copertura nelle ore diurne
- Le temperature medie indoor, nonostante il setpoint per il raffrescamento sia stato settato a 26 °C, sono sempre superiori a 30 °C
- La potenza frigorifera che il sistema di raffrescamento deve produrre per bilanciare gli apporti di calore supera quasi sempre i 200 kW poiché preposta al raffrescamento dell'intero volume dell'area di confezionamento attraverso le canalizzazioni installate sul soffitto

Fig. 155
Analisi dei guadagni e delle perdite di calore nella zona di Confezionamento 1 nel periodo dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022.



Pertanto si è valutata l'ipotesi di:

- Sostituire il sistema di climatizzazione esistente a miscelazione predisposto per raffrescare l'intero volume dello spazio del confezionamento attraverso appositi condotti traforati installati a soffitto, con un sistema con diffusori a dislocamento, che raffreschi volumi d'aria inferiori prossimi alle postazioni dei lavoratori piuttosto che la zona a tutt'altezza, al fine di:
 - Migliorare la temperatura media dove operano le persone che occupano lo spazio
 - Ridurre i consumi energetici per il raffrescamento
- Inserire un sistema di autoproduzione fotovoltaica in copertura al fine di:
 - Proiettare ombra sul solaio di copertura, che riduca la radiazione trasmessa per conduzione all'interno degli spazi
 - Coprire i consumi elettrici attraverso l'autoproduzione, aumentando le performance di decarbonizzazione e circolarità dell'Azienda

Simulazione dell'intervento di sostituzione del sistema di raffrescamento ambiente con diffusori a dislocamento

La ventilazione a dislocamento (Displacement Ventilation) è una strategia di ventilazione che consiste nell'immettere aria fresca e pulita nella parte bassa

dell'ambiente, in prossimità del pavimento, in modo che l'aria più calda e inquinata venga spinta verso l'alto e successivamente espulsa dal soffitto. Questo sistema sfrutta le differenze di densità dell'aria e si basa sulle forze di galleggiamento naturali, generate dai moti convettivi prodotti all'interno dell'ambiente stesso (come i pennacchi di calore). L'aria viene introdotta a bassa velocità nella zona dove si trovano le persone, e l'obiettivo principale di questa tecnica è garantire una qualità dell'aria elevata nella zona occupata. All'interno del locale si formano due aree distinte: una zona superiore con aria più calda e contaminata, dove l'aria risulta miscelata, e una zona inferiore, dove si concentra aria più pulita e fresca, termicamente stratificata (Tecno-ventil, 2025). L'altezza che separa le due zone si chiama 'altezza del piano neutro'. La Displacement Ventilation è da prediligere negli ambienti a notevole altezza, quando la porzione di spazio da raffrescare ha un volume inferiore rispetto a quello del locale, e nei casi in cui vi siano presenti sorgenti inquinanti calde di grande potenza che innescano moti convettivi importanti e una certa stabilità della stratificazione dell'aria, pertanto sono molto utili in ambito industriale (Filippi & Corgnati, 2002).

Per la simulazione del sistema con diffusori a dislocamento si è provveduto a modificare le zone termiche oggetto di analisi. È stato ipotizzato di ridurre il volume da raffrescare considerando come altezza massima 3 metri, e non l'intera altezza del capannone, poiché risulta irrilevante climatizzare la porzione superiore allo spazio dove si muovono effettivamente le persone per le dinamiche di stratificazione dell'aria. Le tre zone termiche corrispondenti alle aree di confezionamento sono state pertanto ridotte, modellando sul software di simulazione un solaio buco, funzionale a delimitare virtualmente il volume desiderato per i calcoli dei fabbisogni di raffrescamento ma lasciasse inalterata la possibilità di scambio di aria come avviene effettivamente per spazi contigui senza separazioni fisiche. Inoltre, essendo il sistema da simulare più prossimo alle postazioni di lavoro, si sono separate le zone termiche in sottozone più puntuali:

- La Zona Confezionamento 1, così individuata nella simulazione dello stato di fatto poiché servita dal medesimo sistema di tubazioni che raffrescano in modo generalizzato uno spazio comprensivo di diverse aree di lavoro, per lo stato di progetto è stata suddivisa in:
 - 'Zona Confezionamento 1a', che interessa uno spazio con postazioni di lavoro per 4 persone a valle di una specifica linea di produzione
 - 'Zona Confezionamento 1b', che interessa uno spazio con postazioni di lavoro per 3 persone a valle di una specifica linea di produzione
 - 'Zona Confezionamento 1c', che interessa uno spazio con postazioni di lavoro per 8 persone a valle di una specifica linea di produzione
 - 'Zona Confezionamento 1residua', che si riferisce ad uno spazio di passaggio coperto dal sistema di raffrescamento dello stato di fatto ma in cui non vi sono postazioni di lavoro
- La Zona Confezionamento 2, così individuata nella simulazione dello stato di fatto poiché servita dal medesimo sistema di tubazioni che raffrescano in

modo generalizzato uno spazio comprensivo di diverse aree di lavoro, per lo stato di progetto è stata suddivisa in:

- 'Zona Confezionamento 2a', che interessa uno spazio con postazioni di lavoro per 6 persone a valle di una specifica linea di produzione
- 'Zona Confezionamento 2residua', che si riferisce ad uno spazio di passaggio coperto dal sistema di raffrescamento dello stato di fatto ma in cui non vi sono postazioni di lavoro
- La Zona Confezionamento 3, coincidendo con lo spazio per 8 postazioni dedicato alla medesima linea di produzione, non è stata sottodivisa

Si sono modificate anche alcune impostazioni del software per la simulazione, cambiando la modalità di distribuzione dell'aria dalla modalità "Mixed" (distribuzione miscelata) opzione predefinita in cui la temperatura dell'aria è modellata come uniforme in tutta la zona, alla modalità "Three Node Displacement Ventilation", applicabile agli spazi serviti da un sistema di distribuzione dell'aria a bassa velocità a pavimento con sistema di ventilazione a dislocamento. Tale modello prevede tre temperature nella stanza:

- Temperatura a livello del piede (T_{floor}). La zona del fondovalle è profonda 0,2 metri e T_{floor} rappresenta la temperatura al punto medio
- Temperatura della sottozona occupata (T_{occ}), che rappresenta la temperatura nella regione tra lo strato del pavimento e lo strato superiore miscelato
- Un nodo superiore che rappresenta la temperatura dello strato miscelato/di deflusso (T_{mixed}), essenziale per i calcoli del bilancio energetico complessivo e per la modellazione degli effetti del comfort della temperatura dello strato superiore.

In questa modalità viene richiesto dal software di indicare anche l'altezza dal pavimento del termostato, che è stata impostata a 1,60 m, e l'altezza di comfort, impostata a 1,50 m (DesignBuilder Team, 2025).

Si riportano a scopo esemplificativo i risultati relativi alla Zona di confezionamento 1, declinata nella nuova divisione delle quattro Zone distinte precedentemente descritte.

Per la simulazione è stato impostato il setpoint per il raffrescamento ambiente più basso per cercare di raggiungere un maggior comfort termoigrometrico all'interno degli spazi, spostando l'attuale setpoint di 26 °C a 24 °C. A seguito di varie simulazioni, per raggiungere una migliore temperatura estiva indoor è stata riscontrata la necessità di aumentare anche i ricambi d'aria orari previsti, portando da 1 vol/h dello stato di fatto, a 3,5 vol/h. Si riportano i risultati.

Si riportano di seguito un raffronto tra le volumetrie da raffrescare e le portate d'aria da immettere allo stato di fatto e allo stato di progetto in cui si rileva che benché si tenga conto di intervenire triplicando il ricambio d'aria, le portate di immissione segnano un risparmio del 14% (Tab.62):

| Zona confezionamento 1 | | | |
|--|----------------|-----------------------------------|------------|
| | Stato di Fatto | Stato di Progetto | |
| Volume della zona da climatizzare [mc] | 32.565 | Zona 1a | 1.961 |
| | | Zona 1b | 1.410 |
| | | Zona 1c | 2.801 |
| | | Zona 1residua | 1.872 |
| Numero di ricambi d'aria orari [vol/h] | 1 | 3,5 | |
| Portata d'aria da immettere in ambiente [mc/h] | 32.580 | Zona 1a | 6.876 |
| | | Zona 1b | 4.932 |
| | | Zona 1c | 9.792 |
| | | Zona 1residua | 6.552 |
| | | Totale | 28.152 |
| | | <i>Portata d'aria risparmiata</i> | <i>14%</i> |

Tab. 62
Confronto tra il volume d'aria da raffrescare allo stato di fatto e allo stato di progetto e la riduzione della portata d'immissione in ambiente .

Si riportano i risultati delle temperature rilevate nell'ambiente attraverso la simulazione per le zona di confezionamento oggetto di interesse, confrontando le condizioni allo stato di fatto e distinguendo le sottozone della fase di progetto (Figg.156-159):

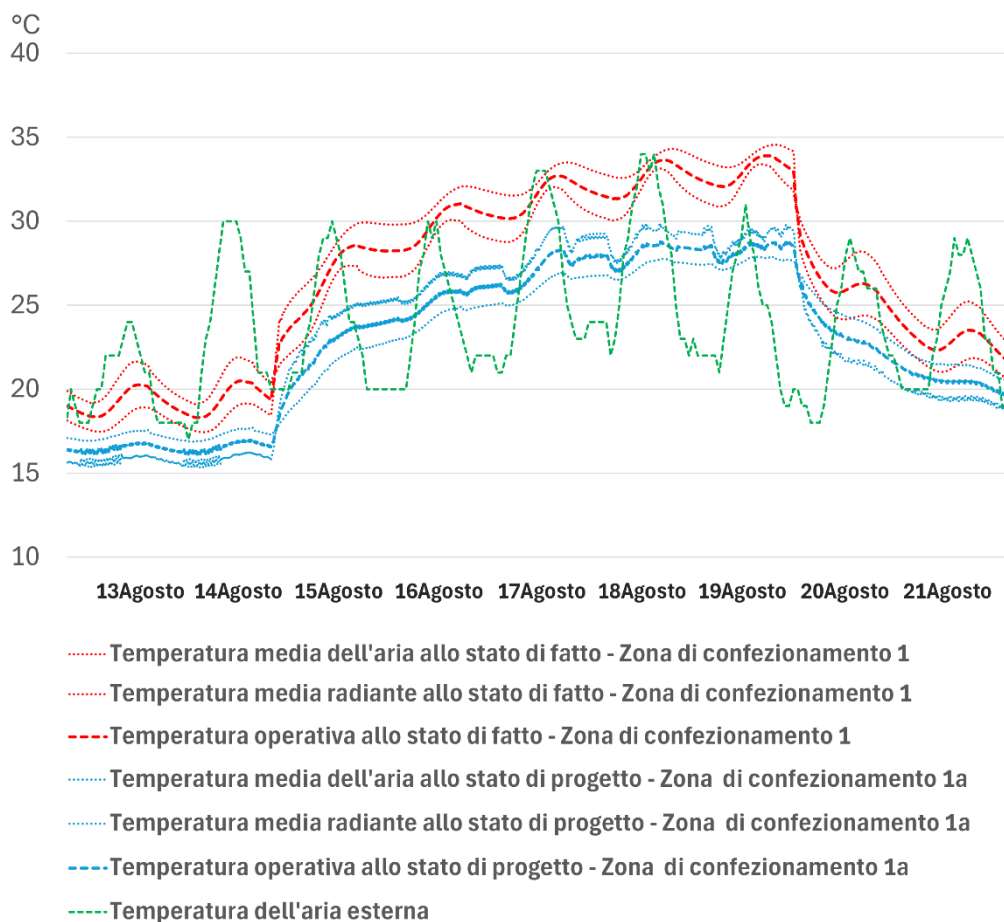


Fig. 156
Confronto tra le temperature indoor della Zona 1 allo stato di fatto e della Zona 1a allo stato di progetto nel periodo dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022.

Fig. 158
 Confronto tra le
 temperature indoor
 della Zona 1 allo stato
 di fatto e della Zona 1b
 allo stato di progetto
 nel periodo dal 13
 Agosto al 21 Agosto
 2022.

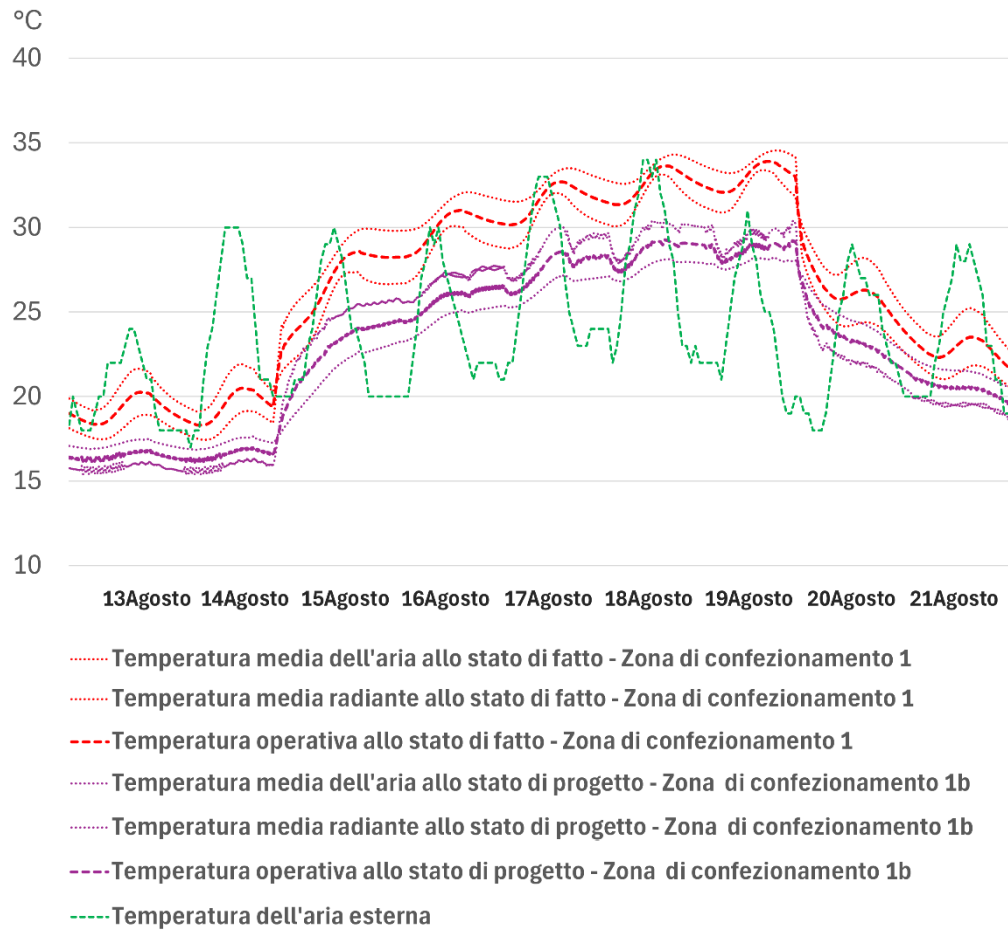
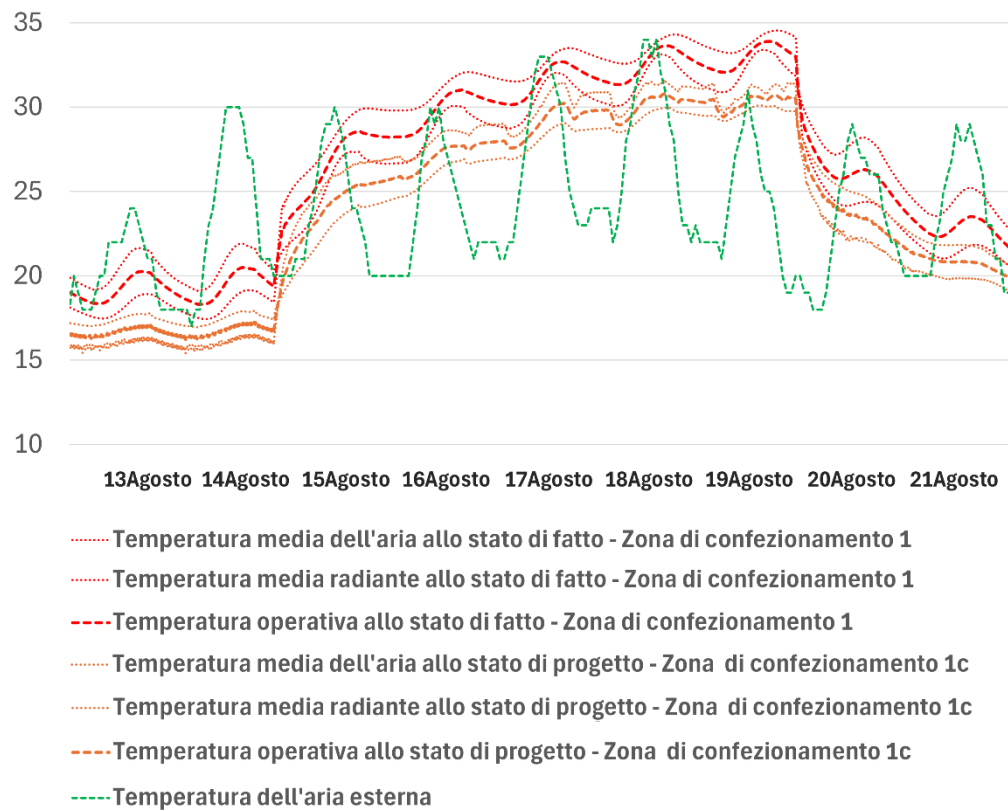


Fig. 157
 Confronto tra le
 temperature indoor
 della Zona 1 allo stato
 di fatto e della Zona 1c
 allo stato di progetto
 nel periodo dal 13
 Agosto al 21 Agosto
 2022.



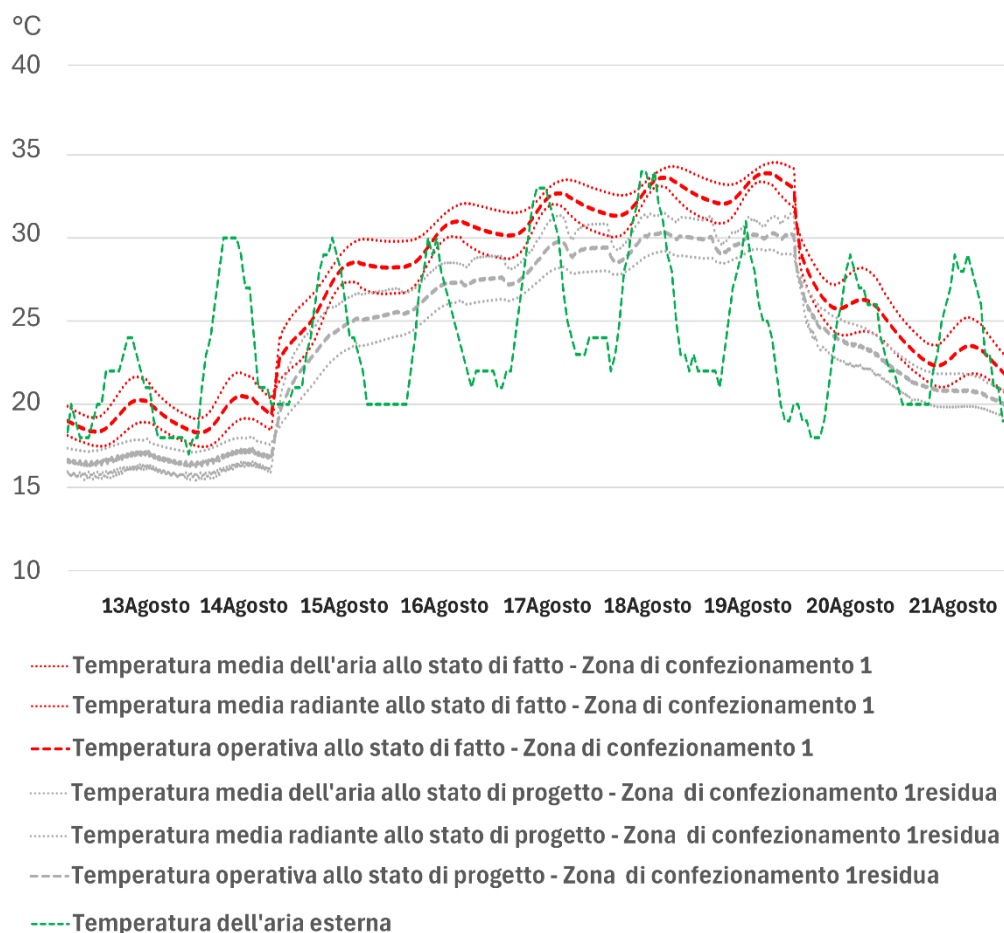
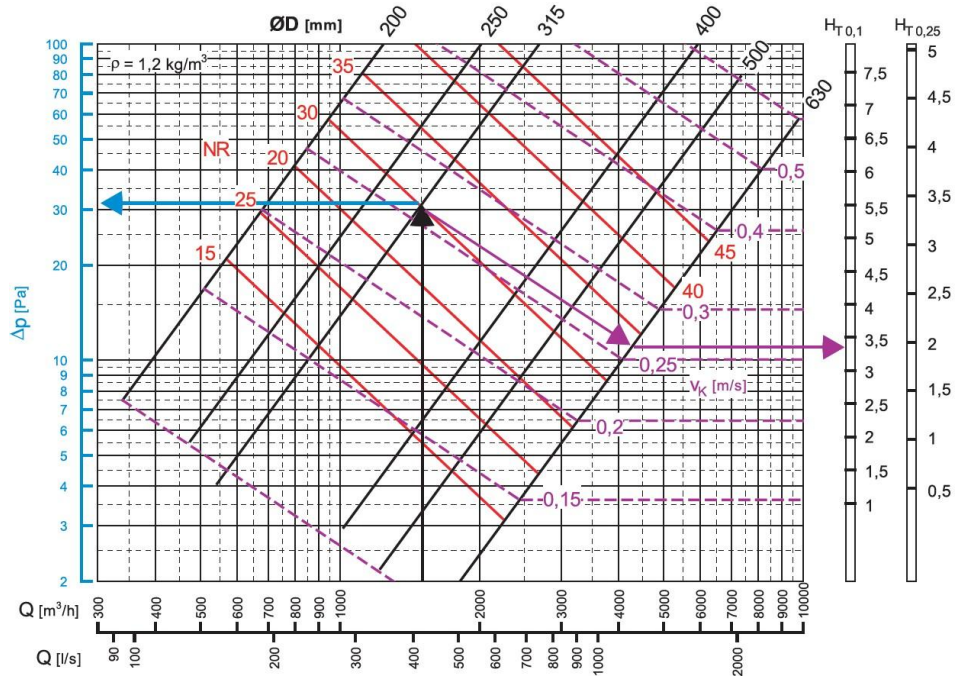


Fig. 159
 Confronto tra le temperature indoor della Zona 1 allo stato di fatto e della Zona 1residua allo stato di progetto nel periodo dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022.

Come si evince dai grafici, in tutte le sottozone in cui è stata suddivisa la Zona Confezionamento 1 si rilevano miglioramenti delle temperature rispetto allo stato di fatto.

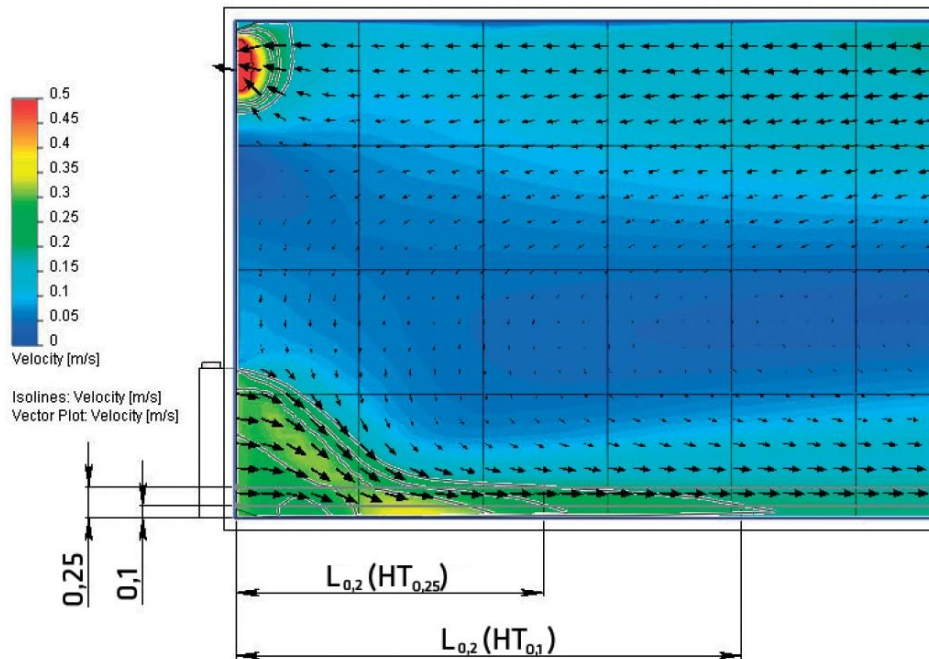
Si riportano le indicazioni sulla scelta dei diffusori a dislocamento su cui si basa l'intervento proposto. Utilizzando il grafico fornito nelle schede tecniche di questo tipo di dispositivi è possibile orientarsi nella scelta in funzione di parametri quali la velocità di immissione dell'aria in ambiente, il raggio di copertura del raffrescamento e la portata. Questo tipo di ventilazione, chiamata Displacement Ventilation, poiché immette aria ad altezza d'uomo deve tener conto di non recare discomfort locale agli occupanti dovuto ad elevate velocità dell'aria o a temperature troppo fredde. Viene valutato pertanto il raggio di draft risk l_n , ovvero il raggio in cui la velocità è superiore al limite ammissibile di 0,2 m/s, in cui si dovrebbe escludere la presenza di persone. Tale raggio è in funzione del ΔT di temperatura tra l'aria immessa e la media dello spazio occupato e la portata di immissione. A ΔT maggiori, quindi nel caso di immissione di aria più fredda, va considerata una riduzione del raggio di draft risk l_n (secondo opportuni coefficienti) al fine di non creare discomfort. Si riporta uno schema tratto dalla scheda tecnica di un tipo di diffusore a dislocazione commerciale (Fig.160):

Fig. 160
 Schema per il dimensionamento dei diffusori a dislocamento a partire dalle portate desiderate ed in funzione della distanza di draft risk.
 Fonte: Tecno-Ventil, 2025



A destra, gli indicatori HT fanno riferimento alle distanze di draft risk prese a 25 cm e 10 cm dal pavimento, come illustrato di seguito (Fig.161):

Fig. 161
 Visualizzazione del flusso di immissione dell'aria attraverso i diffusori a dislocamento e dei parametri da considerare nel dimensionamento.
 Fonte: Tecno-Ventil, 2025



Selezionando una portata 2000 m³/h con immissione d'aria ad una velocità non superiore a 0,2 m/s, si ricava un diffusore dal diametro di circa 400 mm, a cui corrisponde un raggio di draft risk di circa 1,20 m, preso all'altezza di 25 cm da terra, e 2,25 m, preso all'altezza di 10 cm da terra.

Considerando le portate richieste per il raffrescamento delle zone afferenti all'area di confezionamento 1, come risulta dai risultati della simulazione, si ottiene che siano necessari 15 diffusori a dislocamento (Tab.63).

| Zona confezionamento 1 | | |
|------------------------|--|-------------------------------|
| Zone da raffrescare | Portata d'aria da immettere in ambiente [mc/h] | Numero di diffusori necessari |
| Zona 1a | 6.876 | 4 |
| Zona 1b | 4.932 | 3 |
| Zona 1c | 9.792 | 5 |
| Zona 1residua | 6.552 | 3 |
| Totale | 28.152 | 15 |

Tab. 63
Stima del numero di diffusori da introdurre nelle diverse zone termiche considerate dell'area di Confezionamento 1.

Si riportano infine due tabelle riepilogative dei risultati della simulazione per tutte le zone di confezionamento, con il confronto rispetto allo stato di fatto, il calcolo del risparmio delle portate d'aria da immettere negli spazi e la quantificazione dei diffusori necessari a sostituire l'attuale sistema di Mixing Ventilation (ventilazione a miscelazione) con il Displacement Ventilation (Tabb.64, 65):

| | Stato di Fatto | | Stato di Progetto | |
|---|------------------------|--------|-----------------------------------|------------|
| Numero di ricambi d'aria orari [vol/h] | 1 | | 3,5 | |
| Volume della zona da climatizzare [mc] | Zona Confezionamento 1 | 32.565 | Zona 1a | 1.961 |
| | | | Zona 1b | 1.410 |
| | | | Zona 1c | 2.801 |
| | | | Zona 1residua | 1.872 |
| | Zona Confezionamento 2 | 12.074 | Zona 2a | 2.257 |
| | | | Zona 2residua | 731 |
| | Zona Confezionamento 3 | 18.489 | Zona Confezionamento 3 | 4.578 |
| Portata d'aria da immettere in ambiente [mc/h] | Zona Confezionamento 1 | 32.580 | Zona 1a | 6.876 |
| | | | Zona 1b | 4.932 |
| | | | Zona 1c | 9.792 |
| | | | Zona 1residua | 6.552 |
| | | | Totale | 28.152 |
| | | | <i>Portata d'aria risparmiata</i> | 14% |
| | Zona Confezionamento 2 | 12.060 | Zona 2a | 7.884 |
| | | | Zona 2residua | 2.559 |
| | | | Totale | 10.443 |
| | | | <i>Portata d'aria risparmiata</i> | 13% |
| | Zona Confezionamento 3 | 18.504 | Zona 3 | 16.020 |
| <i>Portata d'aria risparmiata</i> | | | 13% | |

Tab. 64
Quantificazione dei risparmi di portata d'aria allo stato di progetto in tutte le zone per il confezionamento della fabbrica.

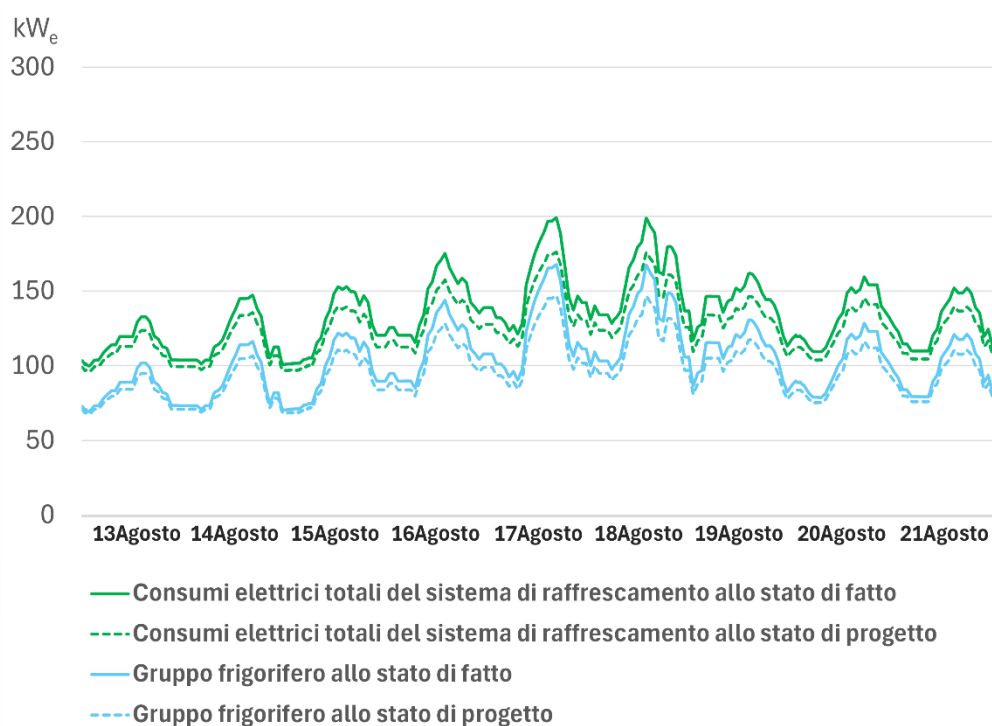
Tab. 65
Stima del numero di diffusori da introdurre nelle zone termiche considerate in tutte le aree destinate al Confezionamento in fabbrica.

| Portata d'aria da immettere in ambiente allo stato di Progetto [mc/h] | | Numero di diffusori necessari |
|---|---------------|-------------------------------|
| Zona 1a | 6.876 | 4 |
| Zona 1b | 4.932 | 3 |
| Zona 1c | 9.792 | 5 |
| Zona 1residua | 6.552 | 3 |
| Zona 2a | 7.884 | 4 |
| Zona 2residua | 2.559 | 1 |
| Zona 3 | 16.020 | 8 |
| Totale | 54.615 | 28 |

Il totale dei diffusori necessari al sistema Displacement Ventilation di progetto ammonta a 28 unità.

È stato successivamente verificato il risparmio energetico connesso all'intervento di introduzione dei diffusori a dislocamento, analizzando i dati in output dalla simulazione e confrontando lo stato di fatto con lo stato di progetto. Si riportano di seguito i grafici che illustrano i risultati in termini di potenza ed energia (Figg.162-165):

Fig. 162
Confronto tra i consumi orari elettrici allo stato di fatto e allo stato di progetto nel periodo dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022.



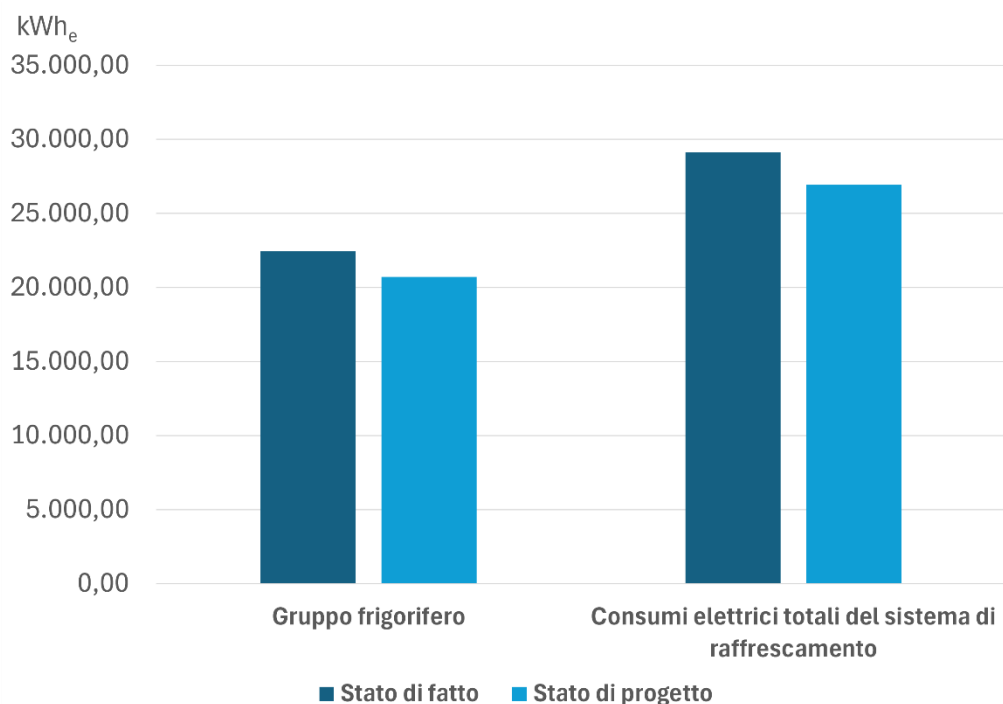


Fig. 163
Confronto tra i consumi di energia elettrica complessivi allo stato di fatto e allo stato di progetto nel periodo dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022.

Nell'arco della settimana di riferimento, i consumi elettrici allo stato di progetto mostrano un risparmio del 7,7% per il gruppo frigo (chiller+torre evaporativa) e del 7,5% per l'intero sistema di raffrescamento (comprensivo anche dei ventilatori delle UTA, delle pompe del circuito ad acqua refrigerata e del circuito di condensazione).

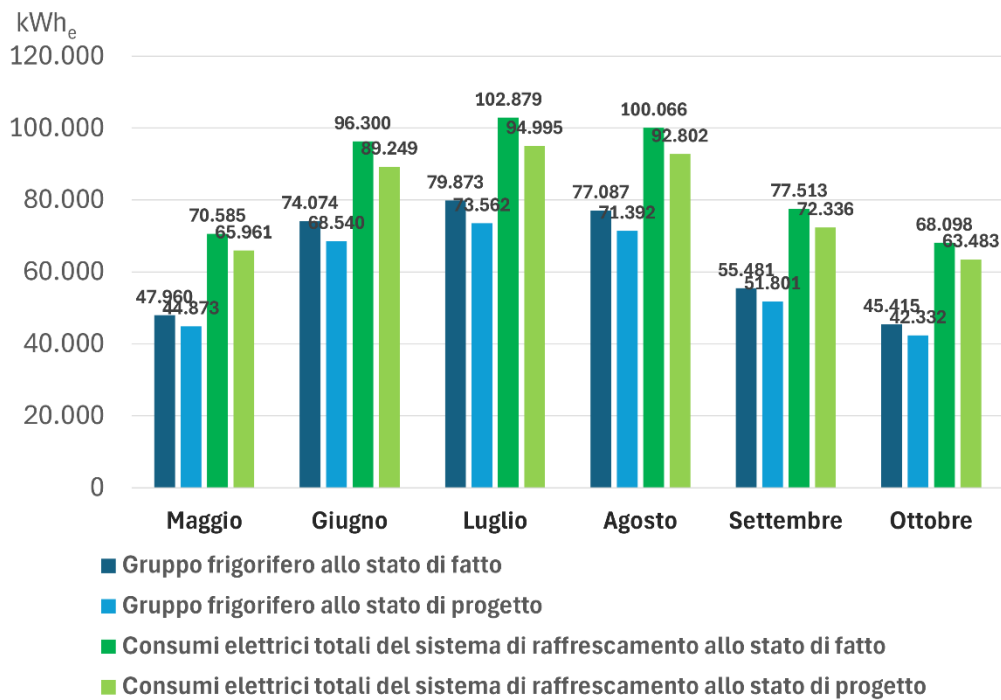
A livello di aggregazione mensile, riferito al periodo da Maggio a Ottobre, in cui la climatizzazione ambiente viene attivata, si hanno i seguenti risultati (Tab.66, Fig.164):

| Confronto tra i consumi elettrici mensili allo stato di fatto e allo stato di progetto | | | | |
|--|---------------------|---|---------------------|---------------------|
| Gruppo frigorifero | | Sistema di raffrescamento nel complesso | | |
| | Stato di fatto | Stato di progetto | Stato di fatto | Stato di progetto |
| | [kWh _e] | [kWh _e] | [kWh _e] | [kWh _e] |
| mag | 47.960 | 44.873 | 70.585 | 65.961 |
| giu | 74.074 | 68.540 | 96.300 | 89.249 |
| lug | 79.873 | 73.562 | 102.879 | 94.995 |
| ago | 77.087 | 71.392 | 100.066 | 92.802 |
| set | 55.481 | 51.801 | 77.513 | 72.336 |
| ott | 45.415 | 42.332 | 68.098 | 63.483 |
| Totali | 379.890 | 352.501 | 515.442 | 478.826 |
| Risparmi | | -7,2% | | -7,1% |

Tab. 66
Confronto tra i consumi elettrici mensili allo stato di fatto e allo stato di progetto.

I consumi elettrici allo stato di progetto mostrano un risparmio del 7,2% per il gruppo frigo (chiller+torre evaporativa) e del 7,1% per l'intero sistema di raffrescamento (comprensivo anche dei ventilatori delle UTA, delle pompe del circuito ad acqua refrigerata e del circuito di condensazione).

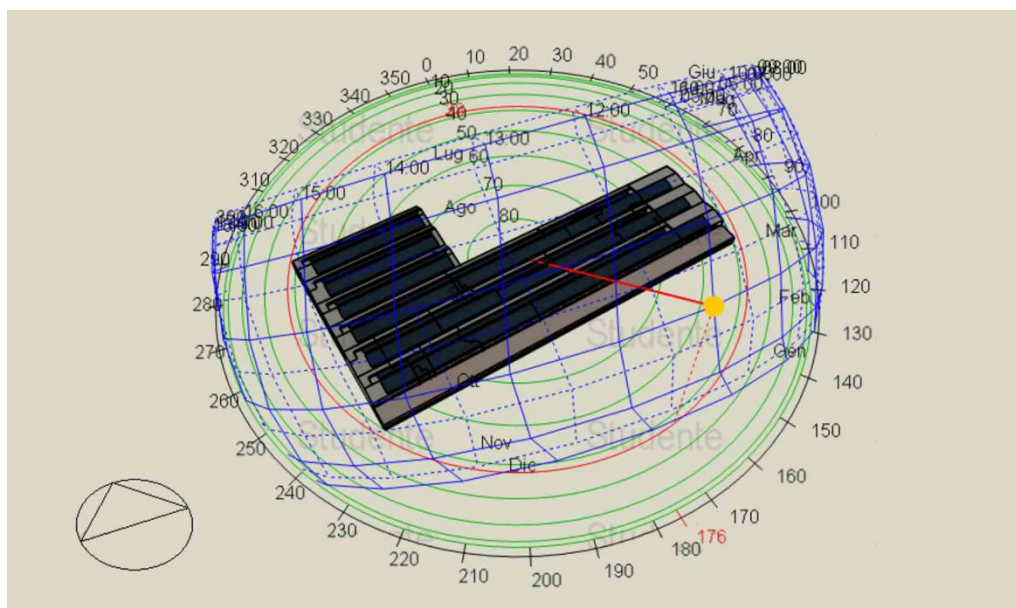
Fig. 164
 Grafico del confronto
 tra i consumi elettrici
 mensili allo stato di
 fatto e allo stato di
 progetto.



Simulazione dell'intervento di autoproduzione energetica elettrica: installazione di un impianto fotovoltaico

È stato dimensionato un impianto di autoproduzione da fonte energetica solare per la produzione di elettricità per il soddisfacimento dei fabbisogni aziendali, approfittando dell'inclinazione e dell'orientamento favorevole della copertura a falde: nello specifico, la superficie disponibile esposta alla captazione della radiazione solare ha un'inclinazione di 11°, ed un orientamento di -10° azimuth (Fig.165).

Fig. 165
 Vista dell'edificio
 all'interno del
 diagramma solare.



Si riportano le dimensioni delle superfici utili captanti e le caratteristiche tecniche dei pannelli individuate attraverso appositi datasheet di prodotti effettivamente presenti sul mercato (Tab.67, Fig.166)

| Porzioni di copertura dello stabilimento interessate | Superficie di allocazione dell'impianto | Numero di gruppi di collettori [-] | Caratteristiche dell'impianto | Quantità [-] | Totale area captante [mq] |
|--|---|------------------------------------|--------------------------------|--------------|---------------------------|
| Porzione con sviluppo maggiore | Impianto installato sulla falda della copertura | 3 | Moduli in serie | 174 | 12.432 |
| | | | Stringhe di serie in parallelo | 9 | |
| | Impianto installato sulla falda del lucernario | 3 | Moduli in serie | 152 | |
| | | | Stringhe di serie in parallelo | 4 | |
| Porzione con sviluppo minore | Impianto installato sulla falda della copertura | 3 | Moduli in serie | 56 | |
| | | | Stringhe di serie in parallelo | 9 | |
| | Impianto installato sulla falda del lucernario | 3 | Moduli in serie | 56 | |
| | | | Stringhe di serie in parallelo | 4 | |

Tab. 67
Dimensioni delle superfici captanti disponibili in copertura.

| Generatore Fotovoltaico - Un-diiodo | |
|--|-----------------------|
| Modello di Prestazione | |
| Generale | |
| Nome | Pannello PV |
| Tipo di celle | 1-Silicio Cristallino |
| Celle in serie | 88 |
| Area attiva (mq) | 1.43 |
| Prodotto efficace trasmittanza - assorbanza | 0,9000 |
| Banda proibita del semiconduttore (eV) | 1,12 |
| Resistenza shunt (deviatore di corrente) (ohm) | 1000000,00 |
| Temperatura di riferimento (°C) | 25,00 |
| Isolamento di riferimento (W/m2) | 1000,00 |
| Irraggiamento di riferimento (W/mq-K) | 30,00 |
| Capacità termica totale (J/m2-K) | 50000,00 |
| Rated electric power output per module (W) | 295,00 |
| Programma di disponibilità | On 24/7 |
| Corrente | |
| Corrente di corto circuito (A) | 6,00 |
| Corrente del modulo alla potenza max (A) | 5,60 |
| Coefficiente di temperatura della corrente di corto circuito (A/K) | 0,00330 |
| Tensione | |
| Tensione a vuoto (V) | 63,7 |
| Tensione del modulo alla potenza max (V) | 52,7 |
| Coefficiente di temperatura della tensione a vuoto (V/K) | -0,150 |
| Temperatura Operativa Nominale Cella (NOCT) | |
| Temperatura ambiente NOCT (°C) | 20,00 |
| Temperatura della cella NOCT (°C) | 45,00 |
| Irraggiamento NOCT (W/m2) | 800 |

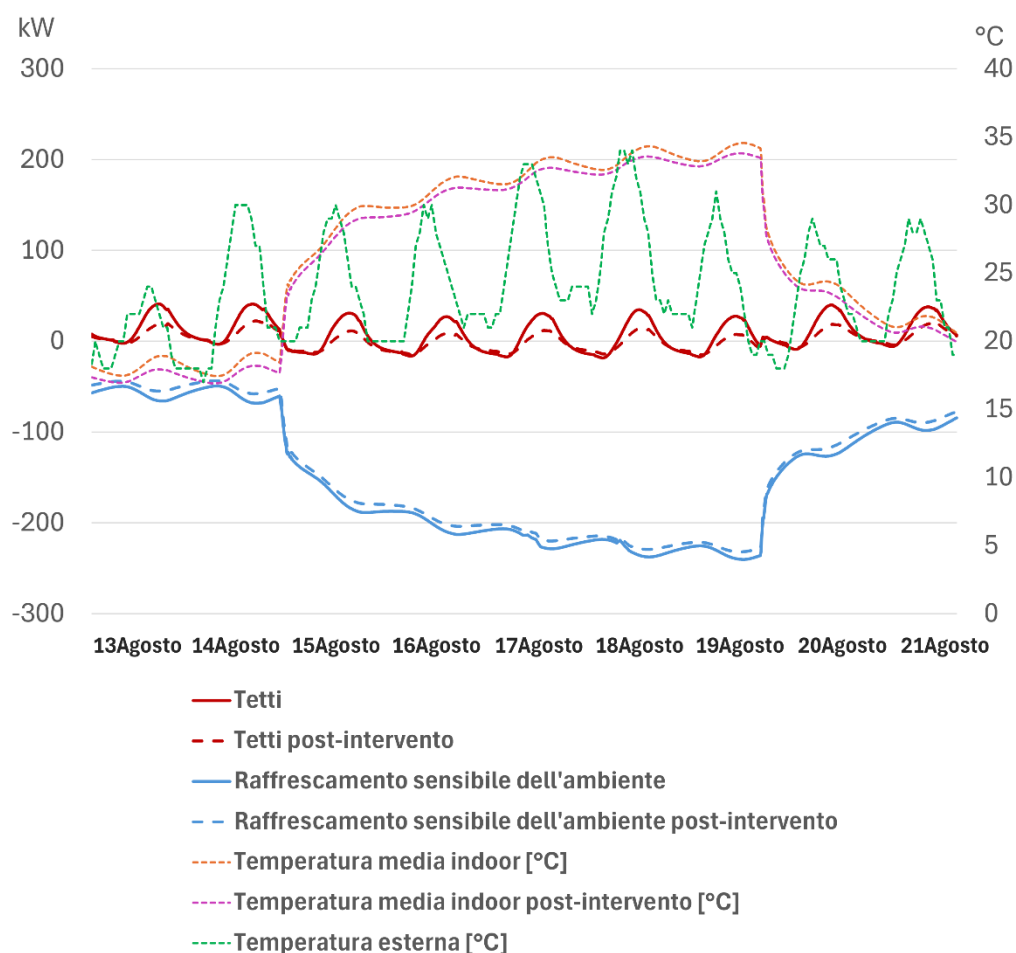
Aiuto
Info Dati
Prestazioni Un-diiodo
Il componente Prestazioni Singolo-Diodo è utilizzato per descrivere le caratteristiche prestazionali dei moduli fotovoltaici (FV) da modellare tramite un circuito equivalente singolo-diodo. Questo modello è anche conosciuto come modello TRNSYS per il fotovoltaico a 4 o 5 parametri.

Fig. 166
Caratteristiche tecniche dei pannelli fotovoltaici.

Come si diceva in precedenza, l'installazione dei pannelli contribuisce anche al miglioramento passivo delle caratteristiche di trasmissione del calore attraverso il solaio di copertura, in quanto la loro integrazione sul manto esistente effettua

un'operazione di ombreggiamento e protezione dalla radiazione solare incidente, la quale induce guadagni di calore nell'ambiente interno per conduzione attraverso la stratigrafia. Si riporta il grafico in cui si può apprezzare la diminuzione degli apporti di calore a carico del tetto in fase di progetto, e la relativa diminuzione anche del fabbisogno di raffrescamento dovuto al solo intervento di installazione dell'impianto fotovoltaico (Fig.167):

Fig. 167
 Confronto tra lo stato di fatto e lo stato di progetto in merito ai guadagni interni di calore a carico della copertura, il fabbisogno orario di raffrescamento e le temperature dell'ambiente.



Si sono analizzati i risultati della simulazione della copertura dei fabbisogni energetici attraverso l'autoproduzione elettrica fotovoltaica e si riportano di seguito i grafici relativi all'andamento orario della settimana estiva di riferimento (Fig.168) e i dati aggregati a livello mensile, confrontandoli anche con i consumi elettrici globali dello stabilimento effettivamente monitorati dall'Azienda (Tab.68, Fig.169).

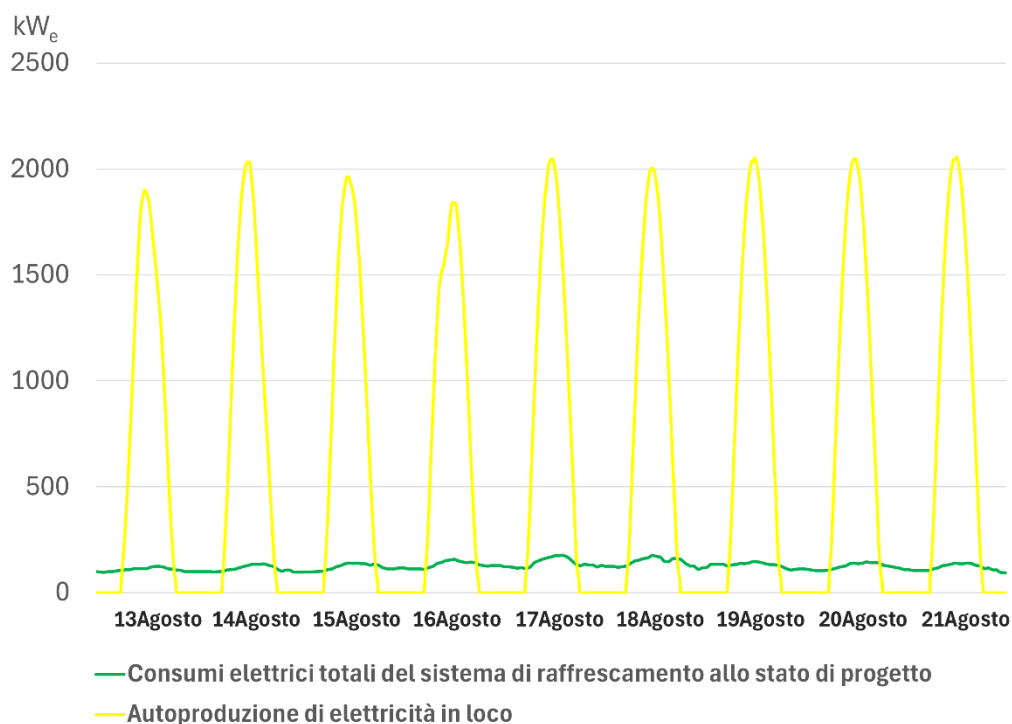


Fig. 168
Andamento orario dei consumi elettrici allo stato di progetto e dell'autoproduzione attraverso il fotovoltaico.

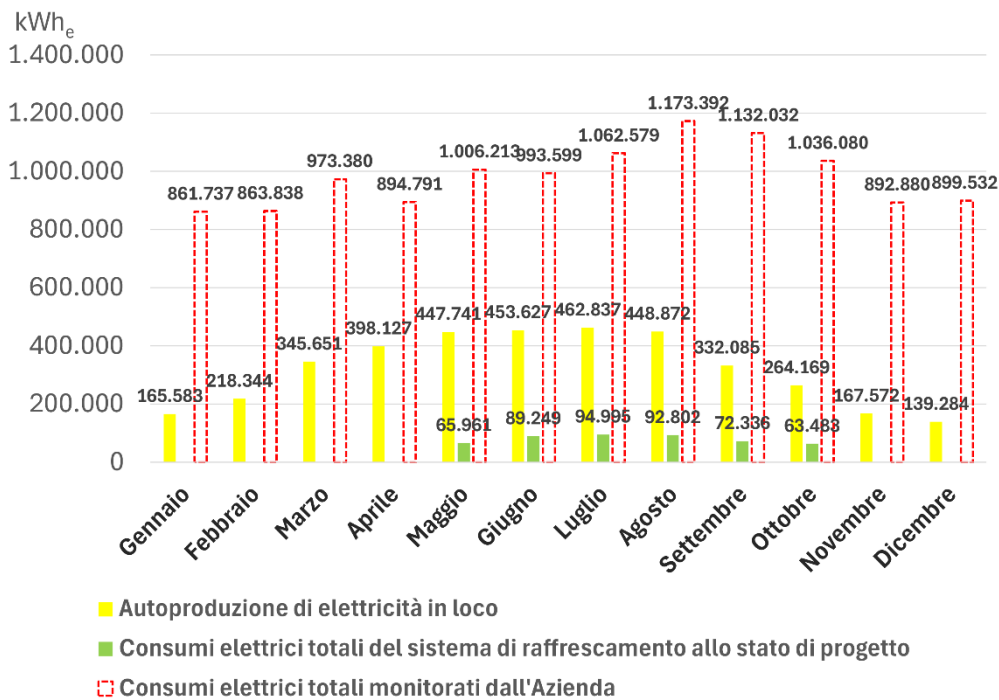
Dai risultati della simulazione si evince che il sistema fotovoltaico installabile in copertura garantisce abbondantemente la copertura diurna dei consumi elettrici per l'intero sistema di raffrescamento, quando il fabbisogno e la produzione sono contemporanei. Durante il periodo notturno di assenza di produzione la copertura sarebbe garantita nel caso in cui siano predisposti sistemi di accumulo.

| Confronto tra i consumi elettrici mensili allo stato di fatto e allo stato di progetto | | | | |
|--|-----------------------------|--|--|--|
| | Autoproduzione fotovoltaica | Consumi elettrici totali monitorati dall'Azienda | Consumi elettrici totali del sistema di raffrescamento di progetto | Quota di autoproduzione destinata al raffrescamento ambiente |
| | [kWh _e] | [kWh _e] | [kWh _e] | [kWh _e] |
| gen | 165.583 | 861.737 | 0 | 0% |
| feb | 218.344 | 863.838 | 0 | 0% |
| mar | 345.651 | 973.380 | 0 | 0% |
| apr | 398.127 | 894.791 | 0 | 0% |
| mag | 447.741 | 1.006.213 | 65.961 | 15% |
| giu | 453.627 | 993.599 | 89.249 | 20% |
| lug | 462.837 | 1.062.579 | 94.995 | 21% |
| ago | 448.872 | 1.173.392 | 92.802 | 21% |
| set | 332.085 | 1.132.032 | 72.336 | 22% |
| ott | 264.169 | 1.036.080 | 63.483 | 24% |
| nov | 167.572 | 892.880 | 0 | 0% |
| dic | 139.284 | 899.532 | 0 | 0% |
| Totali | 3.843.892 | 11.790.053 | 478.826 | 12% |

Tab. 68
Confronto tra i consumi elettrici mensili totali allo stato di fatto monitorati dall'azienda, i consumi elettrici mensili del sistema di raffrescamento allo stato di progetto e l'autoproduzione da fotovoltaico.

A livello di aggregazione mensile si può verificare che l'ipotesi di progetto di fotovoltaico in copertura sarebbe in grado di coprire totalmente il fabbisogno di elettricità per il sistema di raffrescamento, ma non è sufficiente per soddisfare l'intera domanda della fabbrica.

Fig. 169
Grafico del confronto tra l'autoproduzione elettrica mensile allo stato di progetto e i fabbisogni elettrici.



Infine si riportano i risultati di decarbonizzazione⁶ relativi agli interventi combinati di efficientamento energetico, ovvero la sostituzione del sistema di ventilazione con il più efficiente sistema Displacement Ventilation, e di autoproduzione energetica, con riferimento all'installazione del parco fotovoltaico in copertura. Nel software per la simulazione sono stati inseriti i dati forniti da ISPRA relativi a (Fig.170):

- Il Fattore di Source Energy, che corrisponde all'efficienza da considerare per il mix di generazione fuori sede per l'energia elettrica, che tiene conto delle perdite di distribuzione e trasmissione. Si è considerato il valore di rendimento del parco termoelettrico per l'anno 2022, riportato sul foglio di calcolo dell'ISPRA "Fattori di emissione per la produzione ed il consumo di energia elettrica in Italia" che contiene la serie storica dei fattori di emissione nazionali (1990-2022) per la produzione ed il consumo di elettricità (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, 2024), pari a 2,3033.
- I fattori di emissione del mix di generazione dell'energia elettrica fuori sede contenuti nel foglio di calcolo dell'ISPRA "Fattori di emissione dalla combustione", che riportano i valori medi per il 2022 utilizzati per l'inventario nazionale delle emissioni in atmosfera (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, 2024)

⁶ Si ricorda che l'Azienda acquista energia elettrica certificata Garanzia di Origine da fonte idroelettrica, pertanto nella fattispecie non è direttamente responsabile di emissioni di gas climalteranti. L'esercizio svolto ha valore metodologico e trova giustificazione in un bilancio di decarbonizzazione più ampio che considera i vantaggi dell'autoproduzione in loco quale strategia per ridurre il carico di prelievo dalla rete di fornitura nazionale, costituita da un mix di fonti di approvvigionamento tra cui anche il settore termoelettrico da fonti fossili.

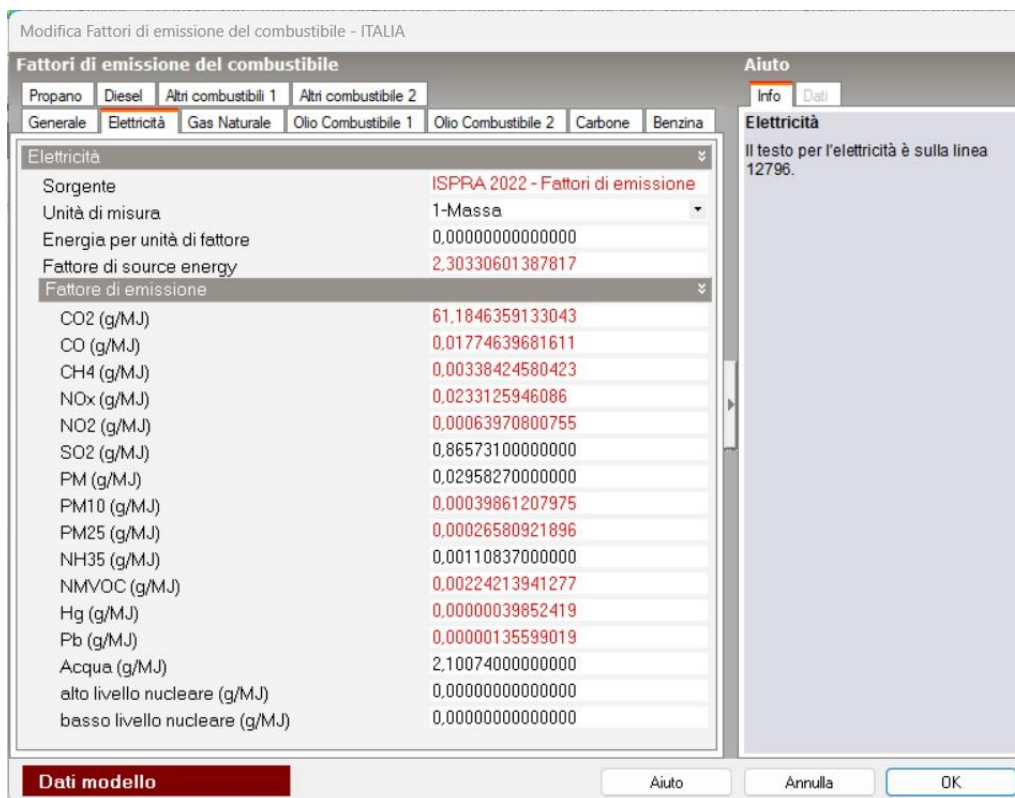
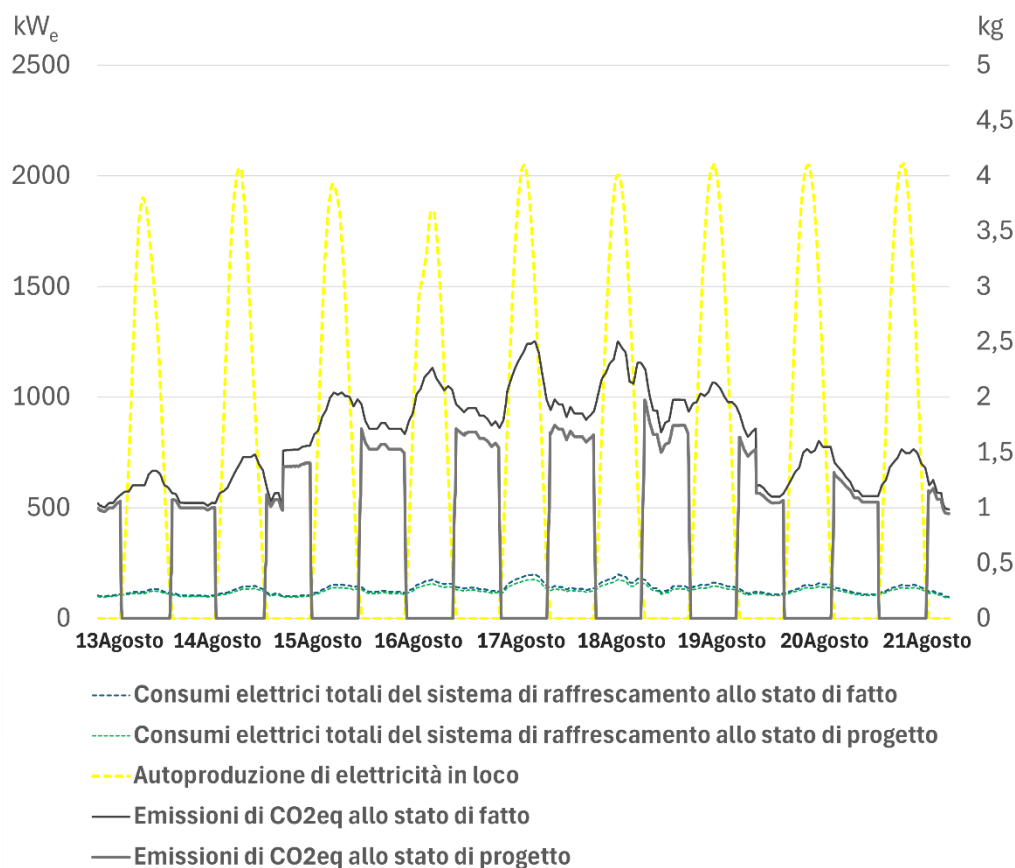


Fig. 170
Dati ISPRA inseriti nel software per la valutazione delle emissioni climalteranti.

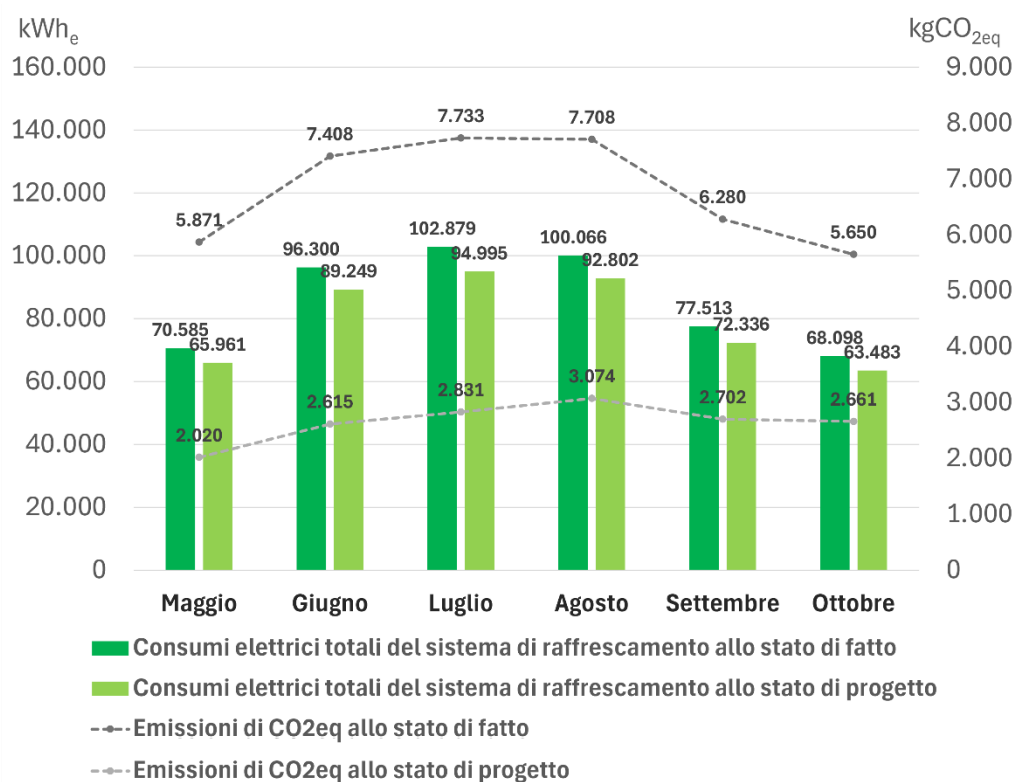
Si mostrano i risultati sull'arco della settimana di riferimento (Fig.171) e a livello di aggregazione mensile (Tab.69, Fig.172):



Come si evince dal grafico, allo stato di progetto le emissioni si azzerano nei periodi in cui la richiesta di potenza elettrica è coperta dalla produzione fotovoltaica, mentre nei periodi di mancata autoproduzione elettrica le emissioni si mostrano comunque inferiori a quelle dello stato di fatto grazie al minore fabbisogno dovuto all'intervento di efficientamento energetico.

Considerando l'aggregazione mensile e il risultato complessivo su base annua è possibile rendersi conto che la combinazione degli interventi proposti consente di ridurre di ben oltre la metà le emissioni di gas climalteranti dovute ai consumi elettrici per il raffrescamento degli ambienti, come prevedibile già dall'analisi del grafico riferito all'andamento orario della settimana. Tale importante risultato è dovuto soprattutto all'intervento di installazione del sistema fotovoltaico, poiché l'autoconsumo interessa nelle ore diurne tutto il fabbisogno elettrico per il raffrescamento ambiente, riducendo notevolmente il prelievo di energia dalla rete.

Fig. 172
Confronto tra le emissioni di CO_{2eq} e i fabbisogni elettrici mensili allo stato di fatto e allo stato di progetto.



Tab. 69
Confronto dei risultati dello stato di progetto in termini di riduzione dei consumi elettrici mensili e di emissioni climalteranti.

| Confronto tra i consumi elettrici mensili allo stato di fatto e allo stato di progetto | | | | | | |
|--|---|---|--|---|--|---|
| | Consumi per il raffrescamento allo stato di fatto | Consumi per il raffrescam. allo stato di progetto | Delta dei consumi tra lo stato di fatto e lo stato di progetto | Consumi elettrici del sistema di raffr. allo stato di fatto | Consumi elettrici del sistema di raffr. allo stato di progetto | Delta emissivo tra lo stato di fatto e lo stato di progetto |
| | [kWh _e] | [kWh _e] | % | [kgCO _{2eq}] | [kgCO _{2eq}] | % |
| gen | 0 | 0 | 0,0% | 0 | 0 | 0,0% |
| feb | 0 | 0 | 0,0% | 0 | 0 | 0,0% |
| mar | 0 | 0 | 0,0% | 0 | 0 | 0,0% |
| apr | 0 | 0 | 0,0% | 0 | 0 | 0,0% |
| mag | 70.585 | 65.961 | -6,6% | 5.871 | 2.020 | -65,6% |
| giu | 96.300 | 89.249 | -7,3% | 7.408 | 2.615 | -64,7% |
| lug | 102.879 | 94.995 | -7,7% | 7.733 | 2.831 | -63,4% |
| ago | 100.066 | 92.802 | -7,3% | 7.708 | 3.074 | -60,1% |
| set | 77.513 | 72.336 | -6,7% | 6.280 | 2.702 | -57,0% |
| ott | 68.098 | 63.483 | -6,8% | 5.650 | 2.661 | -52,9% |
| nov | 0 | 0 | 0,0% | 0 | 0 | 0,0% |
| dic | 0 | 0 | 0,0% | 0 | 0 | 0,0% |
| Totali | 515.442 | 478.826 | -7,1% | 40.650 | 15.905 | -60,9% |

4.3.2. Attuali limiti all'implementazione di un Digital Twin di un sito industriale e possibili sviluppi della ricerca

A conclusione della sperimentazione effettuata si riportano le difficoltà e i limiti riscontrati nella realizzazione del modello digitale, in relazione alle aspettative di raggiungimento di un effettivo Digital Twin dello stabilimento, capace di comportarsi in modo coerente e coordinato con il manufatto reale. Si ricorda che la sperimentazione si è concentrata sul perimetro di analisi del servizio di climatizzazione nello spazio destinato al confezionamento a valle delle linee di produzione, che ospita lavoratori addetti e risente dei guadagni gratuiti del calore emesso dai forni, non essendoci separazioni architettoniche tra l'area della produzione e del confezionamento. Il maggiore limite è legato alla mancanza di disponibilità di dati dedicati allo studio del problema specifico, come quelli sulla quota delle frigoriferie prodotte dalla centrale frigorifera destinata al raffreddamento ambiente rispetto a quella richiesta dalle fasi di raffreddamento sulle linee di processo, poiché a livello industriale spesso non è facile separare l'ambito dell'edificio da quello legato alla produzione. Il modello realizzato in questa tesi, non connesso real time ma comunque provvisto di un ricco corredo di informazioni reali e dati storici effettivamente misurati, non è perfettamente calibrato poiché si sono rese necessarie delle stime a partire dalle misure reali dei consumi provenienti dal pur capillare sistema di monitoraggio implementato in Azienda regolarmente conforme alle disposizioni di legge. La ricerca dovrebbe continuare ad indagare per cercare di superare i limiti di queste situazioni reali ai fini di realizzare un digital twin performativo di un sito industriale capace di effettuare circoscrizioni specifiche su ambiti di analisi per cui i dati non sono discretizzati in partenza dal sistema di monitoraggio, coinvolgendo diverse competenze in un lavoro multidisciplinare e interdisciplinare. Alcuni studi stanno già sviluppando applicazioni di intelligenza artificiale ad integrazione del lavoro degli algoritmi basati sulle leggi della fisica presenti nei software di simulazione energetica dinamica, al fine di colmare le lacune di informazioni e dati e consentire di realizzare modelli digitali comunque calibrati e capaci di svolgere simulazioni coerenti con l'edificio fisico (Fig.173).

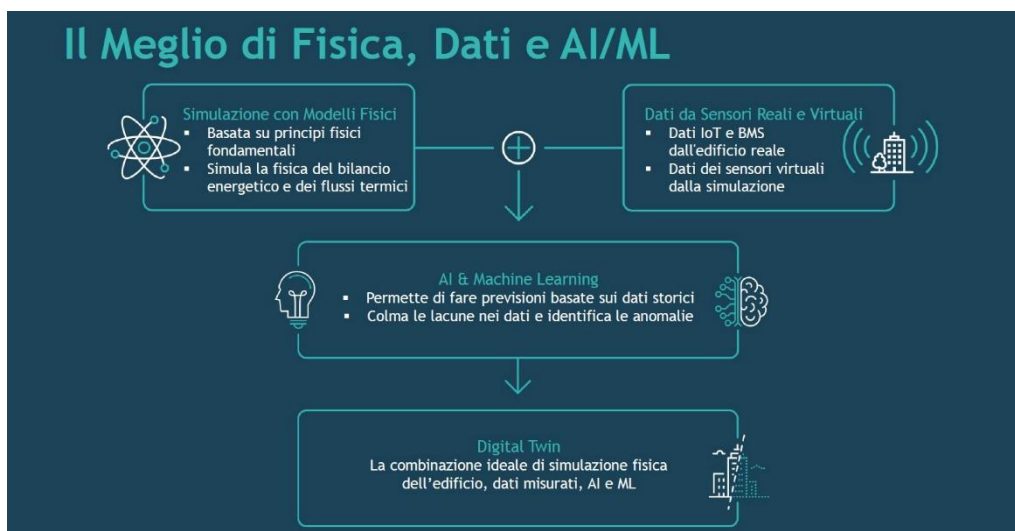


Fig. 173
Concept di funzionamento dei software sperimentali di integrazione degli algoritmi basati sulle leggi della fisica con applicazioni di intelligenza artificiale per ottimizzare la simulazione energetica dinamica dei Digital Twin.
Fonte: IES, 2024

Tali applicazioni sono efficaci in ambito civile nei casi di mancanza di dati sui consumi e andrebbero approfondite in ambito industriale per quanto riguarda, ad esempio, la distinzione, negli spazi che ospitano la produzione, tra la potenza frigorifera richiesta per il raffrescamento ambienti destinato agli occupanti rispetto a quella richiesta dai processi, nei casi in cui il sistema di generazione e distribuzione è il medesimo a servire entrambi le utenze. La realizzazione di Digital Twin performativi calibrati e affidabili costituisce un'importante opportunità nella rotta verso la decarbonizzazione del patrimonio immobiliare, all'interno di un quadro di transizione digitale che costituisce un efficace motore trainante per il raggiungimento di tale obiettivo.

CONCLUSIONI

La presente tesi ha voluto esplorare il rapporto di reciprocità esistente tra la transizione verso l'economia circolare e la transizione energetica nel percorso verso la decarbonizzazione, con specifico riferimento all'ambito industriale. È stato realizzato un duplice lavoro nell'ambito del quale si è sviluppata un'attività di ricerca teorica, che ha permesso di contestualizzare le tematiche e individuare strumenti e metodi utili allo svolgimento di un'attività di sperimentazione in collaborazione con l'Azienda alla quale il dottorato è affiliato, che ha riguardato analisi sulle performances allo stato di fatto di un caso studio e la verifica di miglioramenti attraverso l'utilizzo di sistemi digitali simulativi.

La transizione energetica e l'economia circolare sono strettamente legate per ridurre l'impatto ambientale, come le emissioni di gas serra derivanti dall'estrazione di materie prime, dalla produzione e dallo smaltimento dei rifiuti. Ridurre i consumi energetici in ogni fase del ciclo di vita dei prodotti e utilizzare energia pulita è essenziale per mitigare i cambiamenti climatici. La rinnovabilità delle risorse è un concetto chiave sia nell'economia circolare che nella transizione energetica e i flussi di materia e di energia seguono logiche simili nel passaggio da modelli economici lineari a modelli a ciclo chiuso, come il riutilizzo di materie prime secondarie e il riuso di cascami energetici. L'approccio sistemico alla gestione e condivisione delle risorse, il riutilizzo e il riciclo per ottimizzarne l'impiego e ridurre gli sprechi sono concetti comuni a entrambe le transizioni. La simbiosi industriale, che promuove la cooperazione e la condivisione di risorse materiali ed energetiche, ne è un esempio.

Attraverso la ricerca in letteratura si è compreso come l'efficacia dei percorsi di decarbonizzazione dell'industria risiede nell'integrazione di diverse strategie, tra le cui azioni ve ne sono alcune che migliorano contestualmente le performance energetiche e di circolarità, le quali vertono sull'autoproduzione energetica da fonti rinnovabili, l'efficientamento energetico, l'implementazione di strumenti digitali.

Sono state individuate pratiche virtuose e promosse dalle policies, che riguardano i casi di condivisione di infrastrutture e servizi, di riutilizzo di sostanze di scarto a scopi energetici, di utilizzo di fonti rinnovabili per l'autoproduzione e la condivisione dell'energia approvvigionata. Ne sono un esempio le strategie di:

- Generazione combinata di elettricità ed energia termica da bioenergie, quali la cogenerazione e trigenerazione da biogas, biometano, o da biomasse solide, ricavati dalla lavorazione degli scarti agroindustriali
- Recupero di calore dai fluidi degli impianti termici aziendali, dai fumi dei camini, dai gruppi frigo, dai fluidi utilizzati nei processi di produzione
- Decentralizzazione della generazione e distribuzione dell'energia e di condivisione delle infrastrutture di approvvigionamento come le reti di teleriscaldamento nell'ambito termico o la condivisione di energia elettrica

autoprodotta come le Comunità Energetiche Rinnovabili, l'Autoconsumo a Distanza e i distretti industriali a energia positiva.

È stata inoltre effettuata una ricerca in letteratura al fine di riscontrare indicazioni rispetto alle emissioni di CO_{2eq} evitate per ogni strategia di efficientamento e approvvigionamento energetico, ed è stata elaborata una flowchart che individua le relazioni di reciprocità tra le azioni e gli interventi delle diverse strategie di decarbonizzazione.

La ricerca ha indagato sui metodi principali di misurazione e sugli indicatori di circolarità e di performance energetiche, che in seguito sono stati utilizzati per qualificare lo stato dell'arte di un caso studio aziendale. In particolare, si è fatto riferimento a:

- La metodologia della Diagnosi Energetica secondo il D.Lgs. n.102/2014, che costituisce una scansione capillare delle prestazioni energetiche dei siti industriali, dei loro sistemi di controllo e obbliga a valutare interventi in ottica di miglioramento continuo e richiede di quantificare specifici Key Performance Indicators.
- La metodologia della Specifica Tecnica UNI 11820 pubblicata nel 2022 per la misurazione del livello di circolarità delle organizzazioni, tra i cui temi trattati individua anche gli indicatori in ambito energetico

È stato possibile constatare che gli stessi dati chiave raccolti per redigere la diagnosi energetica sono stati utilizzati per la valutazione del livello di circolarità, a conferma del rapporto di corrispondenza che intercorre tra le due transizioni.

Le conclusioni verso cui verte questa prima fase di ricerca teorica e pratica sullo stato dell'arte delle strategie di decarbonizzazione, dei metodi di misurazione e delle performance attuali dell'Azienda caso studio, si concentrano sull'evidenziare l'importanza di avere disponibilità di dati monitorati, e quindi di sistemi digitali capaci di rilevarli e trasmetterli, e sulla selezione degli indicatori principali relativi alle azioni integrate. Pertanto, come output è stata elaborata una tabella per accompagnare il percorso di decarbonizzazione delle Aziende, che ordina la valutazione degli indicatori selezionati al fine di confrontare l'andamento dello stato dell'arte con la pianificazione di stati di miglioramento futuri. Tale tabella fornisce indicazioni su quali dati reperire e dove trovarli al fine di esplicitare:

- l'indicatore della quota di energia autoprodotta rispetto al fabbisogno energetico, espresso come rapporto tra kWh_{autoprodotti}/kWh_{fabbisogno} reperibile attraverso la metodologia della diagnosi energetica
- l'indicatore dell'efficienza energetica, espresso in tep/ton, reperibile attraverso la metodologia della diagnosi energetica
- la descrizione dei sistemi digitali per il monitoraggio e il controllo degli asset di fabbrica

- l'indicatore del livello di circolarità, espresso come percentuale rispetto al totale raggiungibile dall'Azienda, quantificabile attraverso la metodologia della UNI/TS 11820:2022

Attraverso la tabella è possibile notare che qualsiasi variazione dei primi due indicatori sulle performance energetiche comporta anche la variazione dell'ultimo indicatore, quello sul livello di circolarità. L'indicatore sui sistemi digitali, di tipo qualitativo, consente di tenere traccia dell'evoluzione dell'azienda nella transizione digitale.

In seguito, si è approfondito lo stato dell'arte rispetto alla transizione digitale, considerando i vantaggi dell'interconnessione verso cui tende la quarta era industriale e confrontando le dotazioni tecnologiche del caso studio, con focus sul sistema di monitoraggio real time dei consumi energetici e il processo di raccolta dati finalizzato alla redazione delle Diagnosi Energetiche. Si suggerisce come intervento up-grade per il futuro di dotarsi di una piattaforma Digital Twin BIM-based in cui connettere ed integrare tutti i sistemi digitali di controllo degli asset di fabbrica già presenti, finalizzata all'automazione delle operazioni di raccolta dati e redazione di diagnosi energetiche e audit di certificazione 50001 e a migliorare il coordinamento dei vari stakeholder. Le informazioni derivanti dal modello BIM, oltre ad agevolare le operazioni di facility management sono utili anche nel caso di pianificazione di interventi energetici migliorativi, potendo comunicare con i software di simulazione energetica dinamica, consentendo in questo modo di sfruttare al massimo le potenzialità del digitale per proiettare scenari futuri più puntuali e prendere decisioni più accurate. Si suggerisce che il prossimo sviluppo della ricerca dovrebbe interessarsi della maggiore interazione e integrazione tra le piattaforme di Facility Management BIM-based e le piattaforme Common Data Environment che sono il terreno su cui operano i progettisti, consentendo ad architetti e ingegneri di acquisire i dati del modello as-is della fabbrica aggiornato per effettuare simulazioni energetiche, intervenendo nella fase operational del ciclo di vita del sito produttivo.

Infine, si è affrontato un lavoro di sperimentazione degli strumenti digitali basato sulla realizzazione di un modello virtuale il cui comportamento energetico fosse il più coerente possibile a quello dello stabilimento reale di riferimento, e finalizzato alla simulazione energetica dinamica per la pianificazione di interventi migliorativi. Lo scopo è stato quello di verificare i risultati in termini di miglioramento del comfort indoor degli spazi e delle performance energetiche e di circolarità degli interventi proposti e di descrivere una metodologia per l'elaborazione del modello base di un futuro Digital Twin simulativo di un sito produttivo, con focus sulla zona della fabbrica destinata alla produzione e al confezionamento. In particolare, si è preso in considerazione l'ambito del raffrescamento ambiente, volendo seguire il successo già trapiantato dall'Azienda in termini di efficientamento della centrale frigorifera, e ottimizzando ulteriormente l'utilizzo di energia attraverso l'efficientamento del sistema di climatizzazione. Si è considerato di ipotizzare un doppio intervento integrato di efficientamento energetico e autoproduzione locale da fonti rinnovabili, in coerenza con i risultati discussi nella prima parte della tesi.

Si descrivono pertanto le conclusioni relative sia alla metodologia elaborata per la realizzazione del modello digitale, sia ai risultati raggiunti in termini di miglioramento delle performance energetiche e di circolarità.

Gli step della metodologia elaborata sono di seguito ordinati:

- Analisi del funzionamento reale dell'edificio basato sui dati effettivamente monitorati e raccolti attraverso audit svolti in sede di redazione della diagnosi energetica con l'Azienda.

Tale fase di analisi è stata a sua volta strutturata attraverso le fasi:

- Ricognizione dello schema di funzionamento del sistema di climatizzazione ambiente
- Analisi preliminare dell'attività di produzione di energia frigorifera nello stabilimento
- Analisi preliminare delle fonti di richiesta di energia frigorifera nello stabilimento
- Analisi e quantificazioni dettagliate dei fabbisogni estivi
- Stima del fabbisogno di raffrescamento ambiente in funzione della temperatura esterna
- Stima del fabbisogno di raffrescamento ambiente in funzione degli internal gains
- Realizzazione del modello in ambiente virtuale, che comprende:
 - Individuazione dei dati da reperire e delle sorgenti informative
 - Descrizione dei criteri di modellazione per la definizione delle zone termiche che costituiscono le unità di analisi per la successiva simulazione energetica
 - Descrizione delle caratteristiche dell'edificio reale inserite nei settaggi del modello virtuale
- Simulazione energetica dinamica per la verifica della calibrazione del modello, confrontando i risultati sul piano di:
 - richieste orarie di potenza
 - fabbisogni energetici a livello di aggregazione mensile
- Simulazione di interventi migliorativi con verifica dei risultati in termini di:
 - Condizioni termoigrometriche dell'ambiente
 - Efficientamento energetico
 - Riduzione delle emissioni climalteranti

Per l'effettiva realizzazione di un Digital Twin sarebbe necessario il collegamento real time del modello virtuale con i dati monitorati in fabbrica affinché esso sia costantemente nutrito di informazioni aggiornate e costituisca effettivamente un gemello in un contesto cyberfisico. Tale collegamento non è stato possibile effettuarlo in questa sede e potrebbe essere oggetto di studio per la ricerca futura. Inoltre, sono stati sperimentati i limiti pratici della realizzazione di un modello effettivamente calibrato per quanto concerne specificatamente il perimetro di studio dell'ambiente produttivo della fabbrica. È stato preso in considerazione il tema della climatizzazione

di una porzione di spazio, quella della zona del confezionamento, all'interno dell'openspace del capannone produttivo che rientra in una categoria di ambiente difficilmente moderabile, per dimensioni e per il fatto di contenere sorgenti di calore eccezionali date dai processi produttivi che rendono difficile il raggiungimento di condizioni termoigrometriche e psicometriche di comfort. Inoltre, come spesso accade, la climatizzazione nello spazio della produzione attinge dal medesimo circuito di distribuzione dell'energia frigorifera destinata alle fasi del processo produttivo, attraverso deviazioni del fluido vettore verso le Unità di Trattamento dell'Aria dedicate, azionate stagionalmente da apposite valvole. In questo modo si rende difficile il conteggio orario separato di quanta energia, prodotta dalla centrale frigorifera, è richiesta per il raffrescamento ambiente rispetto a quella richiesta per i processi produttivi. Pertanto, si è dovuto procedere con stime ed elaborazioni basate sui dati reali effettivamente monitorati che inevitabilmente non hanno dato come output finale la perfetta sovrapposibilità con i dati derivanti dalla simulazione. In questo modo si apre uno spiraglio per gli sviluppi futuri della ricerca, che utilizzando applicazioni di intelligenza artificiale capaci di combinare le caratteristiche potenzialità di correlazione con gli algoritmi delle leggi della fisica, possa colmare le lacune di dati come in questo caso e rendere più accurati i modelli Digital Twin simulativi.

Per quanto riguarda la valutazione dei risultati degli interventi integrati di efficientamento e autoproduzione, in termini di miglioramento delle performance energetiche e di circolarità del caso studio analizzato, si è fatto uso della tabella di valutazione delle soluzioni integrate di decarbonizzazione precedentemente elaborata. Attraverso tale tabella è possibile verificare come gli interventi di miglioramento energetico influiscono anche sul miglioramento delle performance di circolarità, e la contestuale utilità degli strumenti digitali con i quali è stato possibile pianificare le azioni e calcolare i risultati. Inoltre, vengono richiamati i risultati della ricerca rivolti ai vantaggi di un'ulteriore spinta verso la transizione digitale costituita dall'introduzione in fabbrica delle piattaforme Digital Twin BIM-based, per il miglioramento della raccolta dati monitorati dai sistemi presenti e della loro gestione da parte degli stakeholder finalizzata al supporto efficace delle decisioni da prendere in Azienda. Viene riportata di seguito la tabella con la valutazione del miglioramento di tali performance basata sui risultati dell'esercizio svolto, che si ricorda aver riguardato l'efficientamento energetico del sistema di climatizzazione nello spazio della fabbrica deputato al confezionamento e l'installazione di un impianto fotovoltaico in copertura (Tab.70).

Al confronto con lo stato dell'arte già valutato nei primi capitoli della tesi, i risultati della simulazione effettuata attraverso strumenti digitali dimostrano benefici sul piano dell'autoproduzione da fonti rinnovabili e dell'efficienza energetica, e contestualmente sul livello di circolarità del sito produttivo, a conferma delle interdipendenze delle due transizioni per la decarbonizzazione.

Tab. 70
Schema di riferimento per la valutazione delle Strategie integrate di decarbonizzazione: ricognizione dello stato dell'arte dello Stabilimento A attraverso la compilazione con i dati rendicontati nelle Diagnosi Energetiche del 2019 e del 2023 e scenario migliorativo futuro basato sui risultati della simulazione digitale.

| <u>OBIETTIVI:</u> | | <u>FASE 1</u> | <u>FASE 2</u> | |
|---|---------------------|--|--|--|
| VALUTAZIONE DELLE PRINCIPALI SOLUZIONI INTEGRATE DI DECARBONIZZAZIONE | | RISULTATI GIÀ OTTENUTI DALL'AZIENDA | | SCENARIO FUTURO |
| | | 2019 | 2023 | 2030 |
| AUTOPRODUZIONE ENERGETICA | <u>Indicatore:</u> | $[\text{kWh}_{\text{autoprodotto}}/\text{kWh}_{\text{consumati}}]$ | $[\text{kWh}_{\text{autoprodotto}}/\text{kWh}_{\text{consumati}}]$ | $[\text{kWh}_{\text{autop. simulati}}/\text{kWh}_{\text{consumati}}]$ |
| | <u>Metodologia:</u> | Raccolta dati d'archivio energia autoprodotta e svolgimento del calcolo | Raccolta dati d'archivio energia autoprodotta e svolgimento del calcolo | Progetto di un impianto fotovoltaico attraverso software di simulazione |
| | <u>Fonti dati:</u> | Diagnosi Energetica 2019 | Diagnosi Energetica 2023 | Dati reali su cui calibrare il modello digitale e file climatici di scenari futuri |
| | <u>Risultati:</u> | 0 | 0 | 33% |
| EFFICIENZA ENERGETICA | <u>Indicatore:</u> | [tep/ton] | [tep/ton] | $[\text{tep}_{\text{consumi simulati}}/\text{ton}_{2022}]$ |
| | <u>Metodologia:</u> | Raccolta dati d'archivio sui consumi di energia e svolgimento del calcolo | Raccolta dati d'archivio sui consumi di energia e svolgimento del calcolo | Progetto di efficientamento del sistema di climatizzazione nell'area del confezionamento attraverso software di simulazione |
| | <u>Fonti dati:</u> | Diagnosi Energetica 2019 | Diagnosi Energetica 2023 | Dati reali su cui calibrare il modello digitale e file climatici di scenari futuri |
| | <u>Risultati:</u> | 0,1251 tep/ton | 0,1075 tep/ton -14,1% rispetto al 2019 *di cui 0,0026 tep/ton legati al raffrescamento ambiente | 0,1073 tep/ton -0,2% rispetto al 2023 *di cui 0,0024 tep/ton legati al raffrescamento ambiente -7,7% rispetto al 2023 |
| SOLUZIONI DIGITALI | <u>Indicatore:</u> | Descrizione qualitativa | Descrizione qualitativa | Descrizione qualitativa |
| | <u>Metodologia:</u> | Raccolta dati d'archivio sui sistemi digitali per il controllo e il monitoraggio dell'energia | Raccolta dati d'archivio sui sistemi digitali per il controllo e il monitoraggio dell'energia | Ricerca sui Digital Twin BIM-based |
| | <u>Fonti dati:</u> | Documentazione a supporto della Diagnosi Energetica 2019 | Documentazione a supporto della Diagnosi Energetica 2023 | Articoli/webinar/consulenti |
| | <u>Risultati:</u> | Sistema di monitoraggio dei consumi digitalizzato | Sistema di monitoraggio dei consumi digitalizzato (successivo ad un intervento di revamping) | Vantaggi dei Digital Twin BIM-based: Unico ambiente per il Facility Management integrato con i sistemi esistenti in fabbrica e Automazione della filiera per la redazione di Diagnosi En. |
| ECONOMIA CIRCOLARE | <u>Indicatore:</u> | % di circolarità | % di circolarità | % di circolarità |
| | <u>Metodologia:</u> | Misurazione secondo la UNI/TS 11820:22 | Misurazione secondo la UNI/TS 11820:22 | Misurazione secondo la UNI/TS 11820:22 |
| | <u>Fonti dati:</u> | Diagnosi Energetica 2019 | Diagnosi Energetica 2023 | Dati risultati dalle simulazioni effettuate |
| | <u>Risultati:</u> | 20,7 % | 22,2% +7,4% rispetto al 2019 | 28,8 % +29,4% rispetto al 2023 |

BIBLIOGRAFIA

- Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile. (2023). *Rapporto ASviS 2023*.
<https://asvis.it/goal-12-consumo-e-produzione-responsabili/>
- Atta, N., Paganin, G., & Talamo, C. (2024). Briefing for Circularity. Translating EU policies into operational guidelines for the building project. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1402(1), 012021.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1402/1/012021>
- Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente. (2022, December 27). *Delibera ARERA 727/2022/R/eel per l'Approvazione del Testo Integrato Autoconsumo Diffuso*. <https://www.arera.it/atti-e-provvedimenti/dettaglio/22/727-22>
- Ayres, R. U. (1989). Industrial Metabolism. In *Technology and Environment* (pp. 23–49). National Academy Press. <https://doi.org/10.17226/1407>
- Babkin, A., Shkarupeta, E., Tashenova, L., Malevskaia-Malevich, E., & Shchegoleva, T. (2023). Framework for assessing the sustainability of ESG performance in industrial cluster ecosystems in a circular economy. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 9(2), 100071.
<https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100071>
- Balugani, E., Rimini, B., Lolli, F., Sellitto, M., Gamberini, R., & Butturi, M. (2019). Renewable energy in eco-industrial parks and urban-industrial symbiosis: A literature review and a conceptual synthesis. *Applied Energy*, 255.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113825>
- Barroco, F., Cappellaro, F., & Palumbo, C. (2020, November 3). *Le Comunità energetiche in italia—Una guida per orientare i cittadini nel nuovo mercato dell'energia*. ENEA. <https://doi.org/10.12910/DOC2020-012>
- Bazzocchi, F., Borgarello, M., Gobbi, M. E., Nsangwe Businge, C., Realini, A., Zagano, C., & Maggiore, S. (2018). *L'efficienza energetica nell'industria: Potenzialità di risparmio energetico e impatto sulle performance e sulla competitività delle imprese* (18001189). Ricerca sul Sistema Energetico - RSE. <https://www.rse-web.it/rapporti/18001189/>
- Bazzocchi, F., Moscarelli, S., Bellini, G., Borgarello, M., Zagano, C., Maggiore, S., Meroni, F. M., & Bernante, R. (2023). *Le opportunità della decarbonizzazione nel settore manifatturiero e agroalimentare* (23011949). Ricerca sul Sistema Energetico - RSE. <https://www.rse-web.it/rapporti/le-opportunita-della-decarbonizzazione-nel-settore-manifatturiero-e-agroalimentare/>
- Bonci, A., Pirani, M., & Longhi, S. (2018). A Database-Centric Framework for the Modeling, Simulation, and Control of Cyber-Physical Systems in the Factory of the Future. *Journal of Intelligent Systems*, 27(4), 659–679.
<https://doi.org/10.1515/jisys-2016-0281>
- Boulding, K. E. (1966). The Economics of the Coming Spaceship Earth. *Environmental Quality in a Growing Economy*, 3–14.

- Broyart, B., & Trystram, G. (2002). Modelling heat and mass transfer during the continuous baking of biscuits. *Journal of Food Engineering*, 51(1), 47–57. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00036-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00036-X)
- Camera dei deputati. (2022, April 11). *Dossier Contenimento dei costi dell'energia e rilancio delle politiche industriali D.L. 17/2022 – A.C. 3495-AR*. <https://documenti.camera.it/leg18/dossier/testi/D22017ar.htm>
- Chertow, M. R. (1998). The Eco-industrial Park Model Reconsidered. *Journal of Industrial Ecology*, 2(3), 8–10. <https://doi.org/10.1162/jiec.1998.2.3.8>
- Chertow, M. R. (2000). Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy. *Annual Review of Environment and Resources*, 25(Volume 25, 2000), 313–337. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>
- Commission Delegated Regulation (EU) 2023/2772 of 31 July 2023 Supplementing Directive 2013/34/EU of the European Parliament and of the Council as Regards Sustainability Reporting Standards (2023). http://data.europa.eu/eli/reg_del/2023/2772/oj/eng
- Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - A new Circular Economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe (2020). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0098&qid=1732453620270>
- Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - Closing the Loop. An EU Action Plan for the Circular Economy (2015). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>
- Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal (2019). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>
- Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Central Bank, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - Action Plan: Financing Sustainable Growth (2018). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0097>
- Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - REPowerEU Plan (COM(2022) 230 Final) (2022). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A230%3AFIN&qid=1653033742483>
- Cutaia, L., & Morabito, R. (2012). Ruolo della Simbiosi industriale per la green economy. *Edizioni ENEA, Energia, Ambiente, Innovazione-Speciale Verso la Green Economy*(1), 44–49.
- Dawkins, O., Dennett, A., & Hudson-Smith, A. (2018, January 12). *Living with a Digital Twin: Operational management and engagement using IoT and Mixed*

- Realities at UCL's Here East Campus on the Queen Elizabeth Olympic Park.*
GISRUK 2018, Leicester, UK.
- DesignBuilder Team. (2025). *Air Temperature Distribution—Three Node Displacement Ventilation.*
<https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/AirTemperatureDistributionThreeNodeDisplacementVentilation.htm>
- Di Perna, C. (2024, November 21). *Verso il regime dinamico: Metodi e prospettive.* 6° Congresso Nazionale ANIT - 21 e 22 novembre 2024, Verona.
<https://www.anit.it/atti-del-6-congresso-nazionale-anit-21-e-22-novembre-2024/>
- Directive (UE) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council, of 13 settembre 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955 (recast) (Text with EEA relevance), EP, CONSIL, 231 OJ L (2023).
<http://data.europa.eu/eli/dir/2023/1791/oj/ita>
- Directive (EU) 2014/95 of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 Amending Directive 2013/34/EU as Regards Disclosure of Non-Financial and Diversity Information by Certain Large Undertakings and Groups Text with EEA Relevance, CONSIL, EP, 330 OJ L (2014).
<http://data.europa.eu/eli/dir/2014/95/oj/eng>
- Ellen MacArthur Foundation. (2013, January 1). *Towards the circular economy Vol. 1: An economic and business rationale for an accelerated transition.*
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>
- ENEA. (2023, July 31). *Fattori di Conversione dell'Energia.* ENEA - Dipartimento Unità per l'efficienza energetica.
<https://www.efficienzaenergetica.enea.it/glossario-efficienza-energetica/lettera-c/conversione-fattori-di.html>
- ENEA. (2024, September 9). *Diagnosi energetiche: Pubblicata la lista degli interventi ai sensi dell'Art. 4 comma 7 DM 256 del 10 luglio 2024.*
<https://www.enea.it/it/servizi/comunicazioni/diagnosi-energetiche-pubblicata-la-lista-degli-interventi-ai-sensi-dellart-4-comma-7-dm-256-del-10-luglio-2024.html?highlight=WyJjbGltYXRpenphemlvbmUiXQ==>
- European Commission. (2021, July 14). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions—'Fit for 55': Delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality (COM(2021) 550 final).*
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550>
- European Parliament and the Council. (2019, November 27). *Regulation (EU) 2019/2088 of the European Parliament and of the Council of 27 November 2019 on sustainability-related disclosures in the financial services sector (Text with EEA relevance).* <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/2088/oj>
- European Parliament and the Council of the European Union. (2018, December 11). *Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council, of*

- 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast) (Text with EEA relevance).
- European Parliament and the Council of the European Union. (2023, October 18). *Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council, of 18 October 2023, amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj>
- European Parliament and the Council of the European Union. (2024a, April 24). *Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council, of 24 April 2024, on the energy performance of buildings, (recast), (Text with EEA relevance)*. <http://data.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj/ita>
- European Parliament and the Council of the European Union. (2024b, June 13). *Directive (EU) 2024/1760 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 on corporate sustainability due diligence and amending Directive (EU) 2019/1937 and Regulation (EU) 2023/2859 (Text with EEA relevance)*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1760/oj>
- European Parliamentary Research Service. (2016, January 6). *Closing the loop: New circular economy package | Think Tank | Parlamento Europeo*. [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/it/document/EPRS_BRI\(2016\)573899](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/it/document/EPRS_BRI(2016)573899)
- Eurostat. (2024, October). *Material flow accounts statistics—Material footprints*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Material_flow_accounts_statistics_-_material_footprints
- Filippi, M., & Corgnati, S. P. (2002). *Displacement ventilation: Funzionamento e progetto*. Convegni AICARR di Padova, Bari e Catania. <https://doi.org/hdl.handle.net/11583/1411373>
- Frosch, R. A., & Gallopoulos, N. E. (1989). Strategies for Manufacturing. *Scientific American*, 261(3), 144. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0989-144>
- Gestore dei Servizi Energetici. (2024, December). *Decreto FER 2: Regole operative, contratti e linee guida*. <https://www.gse.it/servizi-per-te/fonti-rinnovabili/fer2/documenti>
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Gobbi, M. E., Maggiore, S., Realini, A., & Zagano, C. (2021). *L'industria efficiente. Le opportunità delle imprese nella transizione energetica*. Editrice Alkes. https://www.rse-web.it/prodotti_editoriali/rse-m-efficienza-industria/
- IES. (2024a, March 20). *The Practicalities of Creating Performance Digital Twins*. IES. <https://www.iesve.com/discoveries/view/42731/new-guide-performance-digital-twins>

- IES. (2024b, October). *Energy Modelling for Retrofit—A Best Practice Approach to Decarbonising Existing Buildings*. IES.
<https://www.iesve.com/discoveries/view/48617/net-zero-retrofit-guide>
- INAIL. (2018). *La Valutazione del Microclima*. Inail.it.
<https://www.inail.it/portale/it/inail-comunica/pubblicazioni/catalogo-generale/catalogo-generale-dettaglio.2018.07.-la-valutazione-del-microclima.html>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023 — IPCC*. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>
- ISPRA. (2023, December 31). *Indicatori ambientali. Ecoindustrie*.
<https://indicatoriambientali.isprambiente.it/it/economia-e-ambiente/ecoindustrie>
- ISPRA. (2024, June 30). *Indicatori Ambientali. Flussi di Materia e Produttività delle Risorse*. <https://indicatoriambientali.isprambiente.it/it/economia-e-ambiente/flussi-di-materia-e-produttivita-delle-risorse>
- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. (2024). *Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2022. National Inventory—Report 2024* (ISPRA Rapporti, Vol. 398/24). ISPRA.
<https://emissioni.sina.isprambiente.it/inventario-nazionale/>
- Joint Research Centre. (2021a, January). *Indicatore Level(s) 1.2—Potenziale di riscaldamento globale (GWP) del ciclo di vita*.
<https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/product-groups/412/documents>
- Joint Research Centre. (2021b, January). *Level(s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings*.
<https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/product-groups/412/documents>
- Joint Research Centre. (2021c, May). *Indicatore Level(s) 1.1—Prestazioni energetiche nella fase di utilizzo*. <https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/product-groups/412/documents>
- Le-bail, A., Dessev, T., Jury, V., Zuniga, R., Park, T., & Pitroff, M. (2010). Energy demand for selected bread making processes: Conventional versus part baked frozen technologies. *Journal of Food Engineering*, 96(4), 510–519.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.08.039>
- Liu, C., Zhang, P., & Xu, X. (2023). Literature review of digital twin technologies for civil infrastructure. *Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience*, 2(3), 100050. <https://doi.org/10.1016/j.iintel.2023.100050>
- Mainar-Toledo, M. D., Castan, M. A., Millán, G., Rodin, V., Kollmann, A., Peccianti, F., Annunziata, E., Rizzi, F., Frey, M., Iannone, F., Zaldua, M., & Kuittinen, H. (2022). Accelerating sustainable and economic development via industrial energy cooperation and shared services – A case study for three European countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153, 111737.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111737>

- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. New York : North Point Press.
http://archive.org/details/cradletocradlere0000mcdo_m3r3
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens III, W. W. (1972). *The Limits to Growth*. Universe Books.
- Merlino, A., Gambino, G., Meda, D., & Quadrio, G. (2019, October 21). Strategie di valutazione del microclima negli ambienti produttivi e assimilabili. *Convegno Nazionale dBA2019*. Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro, Bologna.
<https://www.cesnir.com/microclima-ambienti-produttivi-assimilabili/>
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica. (2022, June). *Strategia Nazionale per l'Economia Circolare*. <https://www.mase.gov.it/pagina/riforma-1-1-strategia-nazionale-l-economia-circolare>
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica. (2024, June). *Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima*. <https://www.mase.gov.it/comunicati/clima-energia-litalia-ha-inviato-il-pniec-bruxelles>
- Ministero dello Sviluppo Economico. (2017, March 30). *Circolare n.4/E del 30/03/2017*.
<https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/web/guest/normativa-e-prassi/circolari/archivio-circolari/circolari-2017/marzo-2017>
- Paton, J., Khatir, Z., Thompson, H., Kapur, N., & Toropov, V. (2013). Thermal energy management in the bread baking industry using a system modelling approach. *Applied Thermal Engineering*, 53(2), 340–347.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.03.036>
- Pavan, A., & Capozzoli, A. (2024, October 18). *Smart Building: La digitalizzazione per il Net Zero*. Green Building Council Italia. <https://gbcitalia.org/2024/10/18/il-prossimo-26-novembre-gbc-italia-presenta-il-position-paper-smart-building-la-digitalizzazione-per-il-net-zero/>
- Pearce, D. W., & Turner, R. K. (1990). *Economics of natural resources and the environment*. Baltimore, MD : Johns Hopkins University Press.
<https://doi.org/10.2307/1242904>
- Presidente della Repubblica. (2021, November 8). *Decreto Legislativo 8 novembre 2021, n. 199*. Gazzetta Ufficiale Della Repubblica Italiana.
<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2021/11/30/21G00214/sg>
- Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on Establishing a Framework of Measures for Strengthening Europe's Net-Zero Technology Products Manufacturing Ecosystem (Net Zero Industry Act) (COM/2023/161 Final) (2023). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52023PC0161>
- Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council of 18 June 2020 on the Establishment of a Framework to Facilitate Sustainable Investment, and Amending Regulation (EU) 2019/2088 (Text with EEA Relevance), 198 OJ L (2020). <http://data.europa.eu/eli/reg/2020/852/oj/eng>
- Regulation (EU) 2023/857 of the European Parliament and of the Council of 19 April 2023 Amending Regulation (EU) 2018/842 on Binding Annual Greenhouse

- Gas Emission Reductions by Member States from 2021 to 2030 Contributing to Climate Action to Meet Commitments under the Paris Agreement, and Regulation (EU) 2018/1999 (Text with EEA Relevance), 111 OJ L (2023). <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/857/oj/eng>
- Russo Ermolli, S. (2019). *La digitalizzazione dei flussi informativi per la fase operativa: Il caso della Apple Developer Academy / Digital flows of information for the operational phase: the Facility Management of Apple Developer Academy*. <https://doi.org/10.13128/techne-7535>
- Stahel, W., & Clift, R. (2016). Stocks and Flows in the Performance Economy. In *Taking Stock of Industrial Ecology* (pp. 137–158). https://doi.org/10.1007/978-3-319-20571-7_7
- Stahel, W. R. (1986). Product life as a variable: The notion of utilization. *Science and Public Policy*, 13(4), 185–193. <https://doi.org/10.1093/spp/13.4.185>
- Stahel, W. R., & Reday-Mulvey, G. (1977). *The Potential for Substituting Manpower for Energy: Final Report 30 July 1977 for the Commission of the European Communities*. Battelle, Geneva Research Centre.
- Stojanovic, V., Trapp, M., Richter, R., Hagedorn, B., & Döllner, J. (2018, June 13). *Towards The Generation of Digital Twins for Facility Management Based on 3D Point Clouds*. ARCOM 2018: 34th Annual Conference, Belfast, UK.
- Tecno-ventil. (2025). *DD - Diffusore a dislocamento*. Tecno-ventil air governance. <https://tecnoventil.it/it/diffusori/151-dd-diffusore-a-dislocamento.html>
- The European House Ambrosetti. (2024, January 31). *Soluzioni energetiche integrate per le imprese italiane*. The European House Ambrosetti. <https://www.ambrosetti.eu/scenario-energia/soluzioni-energetiche-competitivita-imprese/>
- UNEP - UN Environment Programme. (2011). *Decoupling: Natural resource use and environmental impacts from economic growth*. International Resource Panel. <https://www.unep.org/resources/report/decoupling-natural-resource-use-and-environmental-impacts-economic-growth>
- Vernadsky, V. I. (1998). *The Biosphere*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1750-3>

INDICE DELLE FIGURE

| | |
|---|----|
| Fig. 1 Framework tematico all'interno del quale si colloca la tesi | 4 |
| Fig. 2 Struttura dei capitoli e dei contenuti del corpo della tesi | 6 |
| Fig. 3 Flowchart dei cicli di gestione dei beni per la conservazione del valore. Fonte: Stahel and Clift, 2016 | 12 |
| Fig. 4 Flowchart del sistema di produzione e consumo rigenerativo dei nutrienti biologici e tecnici nell'economia circolare. Fonte: Ellen MacArthur Foundation, 2013 ... | 15 |
| Fig. 5 Il modello di economia circolare: meno materie prime, meno rifiuti e meno emissioni. Fonte: Servizio di ricerca del Parlamento Europeo | 18 |
| Fig. 6 Emissioni di gas serra in Europa divise per settore, escluso il settore uso del suolo, cambiamenti di uso del suolo e silvicoltura (LULUCF). Fonte: Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA) | 18 |
| Fig. 7 Disaccoppiare l'uso delle risorse naturali e gli impatti ambientali dalla crescita economica. Fonte: Nazioni Unite, 2011 | 19 |
| Fig. 8a La conoscenza del concetto di sostenibilità: percentuali indicative dei diversi livelli di conoscenza. Fonte: Ipsos, 2024 | 20 |
| Fig. 9 Le azioni e provvedimenti ritenuti fondamentali per la gestione del problema del cambiamento climatico. Fonte: Ipsos, 2024 | 21 |
| Fig. 10 Tipologia di fruizione di beni negli ultimi tre anni. Fonte: Ipsos, 2024 | 22 |
| Fig. 11 Strategie del Green Deal alla base della transizione dell'economia dell'Unione Europea verso un futuro sostenibile. Fonte: Commissione Europea, 2019 | 24 |
| Fig. 12 Cronologia dell'evoluzione delle policies europee in ambito di finanza sostenibile. | 32 |
| Fig. 13 Schema sintetico del Report di Sostenibilità redatto dall'Azienda secondo lo standard Global Reporting Initiative. Fonte: Azienda caso studio, 2024 | 32 |
| Fig. 14 Esempio di Environmental Product Declaration (EPD): la definizione dei confini del sistema valutato e la dichiarazione delle unità di misura. Fonte: Azienda caso studio, 2020 | 39 |
| Fig. 15 Esempio di Environmental Product Declaration (EPD): la descrizione della filiera e la dichiarazione delle fonti di reperimento dei dati. Fonte: Azienda caso studio, 2020 | 42 |
| Fig. 16 Confronto tra gli andamenti del Consumo di materiale interno, il Prodotto Interno Lordo e la Produttività delle risorse dal 1995 al 2023. Fonte: Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile (ASViS), 2023 | 43 |
| Fig. 17 Consumo di materiale interno per unità di PIL: andamento dell'indicatore dal 2010 al 2021. Fonte: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), 2024 | 43 |
| Fig. 18 Tasso di circolarità della materia: confronto dell'indicatore tra il 2010 e il 2021. Fonte: Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile (ASViS), 2023: | 44 |
| Fig. 19 Confronto tra gli andamenti del tasso di circolarità di alcune risorse, il dato aggregato a livello nazionale e la media europea dal 2004 al 2022. Fonte: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), 2024 | 44 |
| Fig. 20 Tasso di riciclaggio dei rifiuti urbani: confronto dell'indicatore tra il 2010 e il 2021. Fonte: Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile (ASViS), 2023: | 45 |
| Fig. 21 Tasso di raccolta differenziata dei rifiuti urbani: confronto dell'indicatore tra il 2010 e il 2021. Fonte: Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile (ASViS), 2023: | 45 |

| | |
|--|----|
| Fig. 22 Consumo di materiale interno pro-capite: andamento dell'indicatore dal 2010 al 2021. Fonte: Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile (ASVIS), 2023 | 46 |
| Fig. 23 Produzione di rifiuti urbani pro-capite: andamento dell'indicatore dal 2010 al 2021. Fonte: Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile (ASVIS), 2023 | 46 |
| Fig. 24 Mappa con il confronto dell'Indicatore composito del Consumo e Produzione responsabili (Goal 12) tra i vari Paesi dell'Unione Europea nel 2021. Fonte: Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile (ASVIS), 2023 | 47 |
| Fig. 25 Confronti tra gli andamenti dell'occupazione nella produzione di beni e servizi ambientali e il dato dell'occupazione totale, e tra il valore aggiunto dei beni e servizi ambientali rispetto al PIL, dal 2016 al 2022. Fonte: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), 2024 | 49 |
| Fig. 26 Schema di sintesi del Pacchetto Fit for 55%. Fonte: Commissione Europea | 51 |
| Fig. 27 Schema del ciclo di vita degli edifici con individuazione delle fasi caratterizzate dal carico di embodied carbon e dalle emissioni relative all'utilizzo. Fonte: UNI EN 15978:2011 | 52 |
| Fig. 28 Individuazione delle categorie di emissioni considerate, divise per Scope 1, 2, 3 e per tipo di attività nella filiera di riferimento. Fonte: Azienda caso studio, 2021 | 54 |
| Fig. 29 Comitati tecnici UNI e ISO per la redazione di standard di misurazione della circolarità. Fonte: Ente Normativo Italiano UNI, 2023 | 57 |
| Fig. 30 Principi di ispirazione e principi operativi dell'approccio metodologico della UNI/TS 11820. Fonte: Ente Normativo Italiano UNI, 2022 | 62 |
| Fig. 31 Fasi del valore del prodotto, tipo di indicatori e livelli di analisi nella metodologia della UNI/TS 11820. Fonte: Ente Normativo Italiano UNI, 2022 | 63 |
| Fig. 32 Flusso di acquisizione dei dati per il calcolo degli indicatori della UNI/TS 11820. Fonte: Ente Normativo Italiano UNI, 2022 | 64 |
| Fig. 33 | 66 |
| Fig. 34 Esempio di grafico radar per la visualizzazione dei risultati del livello di circolarità distribuito per i vari ambiti tematici. Fonte: Ente Normativo Italiano UNI, 2022 | 67 |
| Fig. 35 Calcolo e rappresentazione con grafico a radar del livello di circolarità delle risorse energetiche e idriche per lo Stabilimento A. | 75 |
| Fig. 36 Calcolo e rappresentazione con grafico a radar del livello di circolarità delle risorse energetiche e idriche per lo Stabilimento C. | 76 |
| Fig. 37 Calcolo e rappresentazione con grafico a radar del livello di circolarità delle risorse energetiche e idriche per lo Stabilimento B. | 76 |
| Fig. 38 Calcolo e rappresentazione con grafico a radar del livello di circolarità delle risorse energetiche e idriche per lo Stabilimento E. | 77 |
| Fig. 39 Calcolo e rappresentazione con grafico a radar del livello di circolarità delle risorse energetiche e idriche per lo Stabilimento D. | 77 |
| Fig. 40 Calcolo e rappresentazione con grafico a radar del livello di circolarità delle risorse energetiche e idriche per lo Stabilimento F. | 78 |
| Fig. 41 Calcolo e rappresentazione con grafico a radar del livello di circolarità delle risorse energetiche e idriche a livello meso. | 78 |
| Fig. 42 Andamento delle emissioni climalteranti globali divise per settore dal 1990 al 2019. Fonte: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023 | 81 |
| Fig. 43 Incremento di emissioni climalteranti globali divise per sottosectore nel periodo tra il 2010 al 2019. Fonte: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023 .. | 82 |
| Fig. 44 Consumi di energia finale divisi per settore in Europa e in Italia nel 2022. Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Eurostat, 2024..... | 82 |
| Fig. 45 Emissioni di gas a effetto serra per settore in Europa e in Italia nel 2022. Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Eurostat, 2024..... | 83 |

| | |
|---|-----|
| Fig. 46 Trend delle emissioni di gas a effetto serra per settore in Italia. Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Eurostat, 2023..... | 83 |
| Fig. 47 Confronto tra i consumi energetici finali nell'industria manifatturiera in Italia divisi per settore nel 1990 e nel 2021. Fonte: The European House - Ambrosetti su dati Eurostat, 2024..... | 84 |
| Fig. 48 Emissioni di gas a effetto serra (a sinistra) e consumi di energia finale (a destra) in Italia e in Europa nel 2021, ripartiti tra industria energivora e non energivora. Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti su dati Eurostat, 2023..... | 84 |
| Fig. 49 Consumi di energia finale distinti per fonte di approvvigionamento nell'industria energivora italiana nel 2021. Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti su dati Eurostat e Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2023..... | 85 |
| Fig. 50 Incidenza del gas naturale nei consumi di energia finale per settore energivoro in Italia nel 2021. Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti su dati Eurostat e Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2023..... | 85 |
| Fig. 51 Consumi di energia finale per settore energivoro in Italia (percentuali sul totale dei consumi dell'industria energivora) nel 2021. Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti su dati Eurostat e Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2023..... | 86 |
| Fig. 53 Evoluzione dell'Agenda strategica europea. Fonte: Commissione Europea..... | 87 |
| Fig. 52 Target revisionati al rialzo nel tempo per gli obiettivi di decarbonizzazione. Fonte: Commissione Europea..... | 88 |
| Fig. 54 Emissioni di gas climalteranti dell'intero settore industriale manifatturiero in Italia dal 1990 fino al target atteso al 2030 dal Fit for 55 Package. Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Eurostat, Commissione Europea e ISPRA, 2024..... | 89 |
| Fig. 55 Storico e scenario al 2030 delle emissioni in Italia degli ambiti ESR e ETS. Fonte: Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2024..... | 91 |
| Fig. 56 Schema della roadmap di azioni e target previsti nella Energy Performance of Buildings Directive (EPDB) IV. Fonte: Parlamento Europeo, 2024..... | 92 |
| Fig. 57 Andamento dei consumi finali lordi di energia da fonti rinnovabili nel settore termico. Fonte: Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2024..... | 94 |
| Fig. 58 Andamento della percentuale di penetrazione di energia da fonti rinnovabili. Fonte: Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2024..... | 94 |
| Fig. 59 Andamento dell'utilizzo delle diverse fonti di energia rinnovabile nel settore termico. Fonte: Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2024..... | 95 |
| Fig. 60 Traiettorie dei consumi di energia primaria e finale (Mtep) nel periodo 2010-2030. Fonte: Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2024..... | 95 |
| Fig. 61 Approccio Life Cycle Assessment del Framework Level(s). Fonte: Joint Research Centre, 2021..... | 98 |
| Fig. 62 Settori di appartenenza delle imprese manifatturiere italiane rispondenti alla survey. Fonte: The European House – Ambrosetti (TEHA), 2023..... | 100 |
| Fig. 64 Interventi di miglioramento energetico ha effettuati delle aziende negli ultimi 3 anni. Fonte: The European House – Ambrosetti (TEHA), 2023..... | 101 |
| Fig. 63 Livello di consapevolezza circa le strategie di decarbonizzazione e le soluzioni energetiche necessarie ad abilitarle. Fonte: The European House – Ambrosetti (TEHA), 2023..... | 101 |
| Fig. 65 Strumenti attraverso le Aziende possono contribuire alla transizione energetica. Fonte: The European House – Ambrosetti (TEHA), 2023..... | 102 |
| Fig. 66 Il contributo delle diverse soluzioni per la decarbonizzazione dell'industria manifatturiera e del settore terziario nello scenario di fattibilità business as usual. Fonte: The European House – Ambrosetti (TEHA), 2023..... | 103 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 67 Il contributo delle diverse soluzioni per la decarbonizzazione dell'industria manifatturiera e del settore terziario nello scenario di fattibilità moderato. Fonte: The European House – Ambrosetti (TEHA), 2023..... | 103 |
| Fig. 68 Il contributo delle diverse soluzioni per la decarbonizzazione dell'industria manifatturiera e del settore terziario nello scenario di fattibilità accelerato. Fonte: The European House – Ambrosetti (TEHA), 2023..... | 104 |
| Fig. 69 Numero di addetti e attività svolta delle imprese agroalimentari rispondenti alla survey. Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2023..... | 105 |
| Fig. 70 Le azioni intraprese o potenzialmente implementabili dalle Aziende per la transizione energetica. Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2023..... | 105 |
| Fig. 71 I costi sostenuti dalla filiera che impattano di più sul prezzo del prodotto finito. Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2023..... | 106 |
| Fig. 72 Le principali fonti energetiche utilizzate dalle imprese del campione in analisi. Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2023..... | 106 |
| Fig. 73 Fonti di energia rinnovabile utilizzate dalle Aziende. Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2023..... | 107 |
| Fig. 74 Voce maggiormente energivora nelle Aziende agroalimentari intervistate. Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2023..... | 107 |
| Fig. 75 Gli investimenti in innovazione tecnologica o efficientamento dei processi produttivi negli ultimi 5 anni. Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2023..... | 108 |
| Fig. 76 Le potenzialità di elettrificazione delle Aziende intervistate. Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2023..... | 108 |
| Fig. 77 Numero di stabilimenti agroalimentari italiani per codice Ateco 2007 rispondenti alla survey. Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2018..... | 109 |
| Fig. 78 Valori medi dei tep risparmiati per ogni singolo intervento realizzato per i casi studio analizzati. Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2018..... | 110 |
| Fig. 79 Utilizzo di pratiche di economia circolare per riciclare gli scarti o i rifiuti. Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2023..... | 112 |
| Fig. 80 Le tecnologie 4.0 per la gestione dei processi produttivi e amministrativo/gestionali. Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2023..... | 113 |
| Fig. 81 . Suddivisione delle imprese manifatturiere italiane oggetto dell'analisi per categoria ATECO. Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2021..... | 114 |
| Fig. 82 Ripartizione delle aziende manifatturiere italiane rispondenti alla survey per classi di fatturato e numero di dipendenti. Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2021..... | 115 |
| Fig. 83 Risparmi medi registrati dalle imprese del campione suddivisi per tecnologia implementata e per tipologia di consumo termico ed elettrico. Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2021..... | 116 |
| Fig. 84 Mappa con individuazione delle strategie, delle azioni e degli interventi di decarbonizzazione che le Aziende del settore manifatturiero agroalimentare possono implementare, provvista di indicazione dei vantaggi in termini di risparmi di energia ed emissioni climalteranti..... | 117 |
| Fig. 85 Confronto tra le logiche del sistema elettrico tradizionale e del sistema verso cui verte la transizione..... | 121 |
| Fig. 86 Configurazione dell'Autoconsumo Collettivo nello stesso edificio. Fonte: Isnova, 2022..... | 122 |
| Fig. 87 Configurazione di una Comunità di Energia Rinnovabile..... | 123 |
| Fig. 88 Schema di funzionamento dell'utilizzo di batterie combinato all'autoproduzione energetica..... | 124 |
| Fig. 89 Andamento della produzione di biometano in Italia, investimenti europei dedicati e target al 2030. Fonte: Italgas, 2024..... | 125 |

| | |
|---|-----|
| Fig. 90 La rete del futuro: miglioramento e riconversione della rete combinati con la digitalizzazione per consentire la distribuzione/iniezione di gas verdi, ridurre i costi e aumentare l'efficienza e l'affidabilità. Fonte: Italgas, 2024 | 126 |
| Fig. 91 Cronologia della normativa in materia di controllo delle performance energetiche delle Imprese. Fonte: ENEA, 2024 | 131 |
| Fig. 92 Iter per l'adempimento degli obblighi delle Aziende energivore iscritte agli elenchi CSEA. Fonte: ENEA, 2024 | 132 |
| Fig. 93 Confini del sistema per la quantificazione dell'energia in ingresso al sito da valutare nella Diagnosi Energetica. Fonte: ENEA, 2021..... | 134 |
| Fig. 94 Clusterizzazione attraverso fasce di campionamento per imprese industriali. Fonte: ENEA, 2021 | 135 |
| Fig. 95 Schema della struttura energetica aziendale, dei livelli di analisi dei consumi e degli indici di prestazione da valutare. Fonte: ENEA, 2021..... | 137 |
| Fig. 96 Schema dei possibili confini del sistema futuri di valutazione delle prestazioni dei siti produttivi nelle Diagnosi Energetiche..... | 142 |
| Fig. 97 Clusterizzazione degli Stabilimenti bakery comunicata ad ENEA. Fonte: Azienda caso studio, 2023 | 144 |
| Fig. 98 Key Performance Indicators del consumo di gas delle linee di produzione degli stabilimenti bakery e confronto con le Best Available Techniques. Fonte: Azienda caso studio, 2023 | 146 |
| Fig. 100 Benchmark interno all'Azienda relativo ai Key Performance Indicators del consumo elettrico complessivo degli stabilimenti bakery. Fonte: Azienda caso studio, 2023..... | 148 |
| Fig. 99 Benchmark interno all'Azienda relativo ai Key Performance Indicators del consumo di gas complessivo degli stabilimenti bakery. Fonte: Azienda caso studio, 2023 | 148 |
| Fig. 101 Confronto del KPI dei consumi elettrici mensili della baseline del 2021 e dell'anno 2022 dello Stabilimento A. Fonte: Azienda caso studio, 2023..... | 149 |
| Fig. 102 Confronto del KPI dei consumi di gas mensili della baseline del 2021 e dell'anno 2022 dello Stabilimento A. Fonte: Azienda caso studio, 2023..... | 149 |
| Fig. 104 Confronto tra i volumi produttivi del 2018 rendicontati nelle Diagnosi Energetiche 2019 e i volumi produttivi del 2022 rendicontati nel 2023 relativi agli Stabilimenti del settore bakery. Fonte: Azienda caso studio, 2023 | 153 |
| Fig. 103 Numero di addetti divisi per stabilimento nel settore bakery nell'anno 2022. Fonte: Azienda caso studio, 2023..... | 153 |
| Fig. 105 Confronto tra il modello energetico dei consumi elettrici del 2018 rendicontato nella Diagnosi Energetica 2019 e del 2022 rendicontato nel 2023 relativi allo Stabilimento A. Fonte: Azienda caso studio, 2023 | 154 |
| Fig. 107 Confronto tra l'incidenza percentuale delle Centrali frigo rispetto ai consumi elettrici totali nel 2018 rendicontata nelle Diagnosi Energetiche 2019 e nel 2022 rendicontata nel 2023 relativamente agli Stabilimenti del settore bakery. Fonte: Azienda caso studio, 2023 | 156 |
| Fig. 106 Confronto tra i Key Performance Indicators elettrici delle Centrali frigo del 2018 rendicontati nelle Diagnosi Energetiche 2019 e del 2022 rendicontati nel 2023 relativi agli Stabilimenti del settore bakery. Fonte: Azienda caso studio, 2023 | 156 |
| Fig. 108 Percentuale dei siti su cui adottare il piano di misurazioni e/o monitoraggio. Fonte: ENEA, 2021 | 162 |
| Fig. 109 Schema dell'architettura del sistema di monitoraggio digitalizzato dell'energia di cui è dotata l'Azienda. Fonte: Azienda caso studio, 2023..... | 165 |
| Fig. 110 Workflow di raccolta dati e la redazione delle Diagnosi Energetiche. | 168 |
| Fig. 111 Cronologia delle rivoluzioni industriali e individuazione dei principali driver. Fonte: Università Politecnica delle Marche, 2022..... | 169 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 112 Confronto tra i progressi tecnologici e digitali della terza e della quarta rivoluzione industriale | 170 |
| Fig. 113 Schema dello scenario di controllo distribuito e decentrato di tutti i processi interni alla fabbrica, dell'intera filiera e della gestione dei prodotti. Fonte: Università Politecnica delle Marche, 2022 | 172 |
| Fig. 114 Schema per una piattaforma collaborativa di integrazione dei sistemi di gestione presenti in fabbrica e del modello BIM di stabilimento per l'ottimizzazione del facility management e degli audit energetici, con l'evidenza delle informazioni rilevanti e degli stakeholder coinvolti. | 174 |
| Fig. 115 Viste dell'aspetto geometrico del modello BIM di uno stabilimento..... | 177 |
| Fig. 116 Schema delle potenzialità di integrazione e federazione dei dati eterogenei presenti nei diversi sistemi della fabbrica e delle operazioni abilitate di una piattaforma BIM-based | 178 |
| Fig. 117 Dati e modelli in grado di essere gestiti dalla piattaforma. Fonte: Capgemini, 2022 | 179 |
| Fig. 118 Possibilità di riferire i dati di monitoraggio all'oggetto visualizzato. Fonte: Capgemini, 2022 | 179 |
| Fig. 119 Elaborazione di dati e visualizzazione su dashboard. Fonte: Capgemini, 2022 | 180 |
| Fig. 120 Integrazione diretta con software di gestione già presenti in fabbric.. Fonte: Capgemini, 2022 | 180 |
| Fig. 121 Possibilità di interazione con il modello 3D per misurare spazi e per la preparazione virtuale di nuovi interventi. Fonte: Capgemini, 2022 | 181 |
| Fig. 122 Architettura tecnica della piattaforma integrata per il Facility Management. Fonte: Capgemini, 2022 | 182 |
| Fig. 123 I 4 step principali della metodologia di realizzazione di un Digital Twin. Fonte: IES, 2024..... | 188 |
| Fig. 124 Metodologia di calibrazione del modello. Fonte: CIBSE TM63:2020 | 190 |
| Fig. 125 Flusso di lavoro seguito per l'analisi e la comprensione del funzionamento reale dell'edificio relativamente all'ambito del raffrescamento. | 195 |
| Fig. 126 Schema di funzionamento del servizio generale di raffrescamento in stabilimento | 196 |
| Fig. 127 Andamento del fattore di carico orario di produzione frigorifera relativamente alla settimana dal 26 Giugno al 2 Luglio 2022. | 199 |
| Fig. 128 Confronto tra l'andamento della potenza frigorifera oraria prodotta, l'andamento della produzione e della temperatura esterna nella settimana dal 25 Giugno al 3 Luglio 2022..... | 201 |
| Fig. 129 Confronto tra l'andamento della potenza frigorifera oraria prodotta, l'andamento della produzione e della temperatura esterna nella settimana dal 20 Luglio al 28 Luglio 2022. | 202 |
| Fig. 130 Confronto tra l'andamento della potenza frigorifera oraria prodotta, l'andamento della produzione e della temperatura esterna nella settimana dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022. | 203 |
| Fig. 131 Grafico della stima della potenza frigorifera oraria richiesta per il raffrescamento ambiente a confronto con l'andamento della temperatura esterna... 206 | |
| Fig. 132 Grafico dell'andamento mensile del fabbisogno di raffrescamento a confronto con le temperature medie esterne. | 207 |
| Fig. 133 Grafico del bilancio termico calcolato per la linea del forno 1. | 216 |
| Fig. 134 Grafico del bilancio termico calcolato per la linea del forno 5. | 217 |
| Fig. 135 Grafico del bilancio termico calcolato per la linea del forno 2. | 218 |
| Fig. 136 Grafico dei valori mensili del bilancio termico totale calcolato. | 219 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 137 Vista del modello realizzato e illustrazione della divisione nelle zone termiche considerate all'interno del grande open space del reparto di produzione e confezionamento. | 224 |
| Fig. 139 Profilo orario di occupazione considerato per i giorni lavorativi..... | 226 |
| Fig. 138 Programmazione dell'occupazione settimanale della zona considerata..... | 226 |
| Fig. 140 Programmazione settimanale dell'attività delle linee produttive nella Zona 1. | 227 |
| Fig. 141 Profilo orario di attività dei forni della zona 1 considerato per i giorni lavorativi. | 227 |
| Fig. 142 Programmazione settimanale dell'attività delle linee produttive nella Zona 2. | 228 |
| Fig. 143 Profilo orario di attività dei forni della zona 2 considerato per i giorni lavorativi. | 228 |
| Fig. 144 Layout del sistema frigorifero a servizio delle zone termiche impostato modello. | 229 |
| Fig. 145 Focus sul sistema della zona termica e delle Unità di Trattamento dell'Aria a servizio: schematizzazione grafica..... | 230 |
| Fig. 146 Settaggi delle condizioni termoigrometriche assegnati alla zona considerata. | 230 |
| Fig. 147 Settaggi delle Unità di Trattamento dell'Aria. | 231 |
| Fig. 148 Impostazioni della temperatura di set point per il circuito ad aria. | 231 |
| Fig. 149 Focus sul sistema di produzione e distribuzione del freddo: schematizzazione grafica..... | 232 |
| Fig. 150 Settaggi del gruppo frigorifero selezionato a servizio del sistema di raffrescamento. | 232 |
| Fig. 151 Andamento del fabbisogno di raffrescamento ambiente stimato con i calcoli svolti manualmente a confronto con l'andamento del fabbisogno risultato con la simulazione per il periodo dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022. | 234 |
| Figura 152 Andamento delle frigorie mensili stimate per il raffrescamento ambiente attraverso i calcoli manuali a confronto con i risultati della simulazione. | 234 |
| Fig. 153 Andamento degli assorbimenti elettrici del Gruppo frigo destinati al raffrescamento risultati dalle stime svolte manualmente a confronto con l'andamento dei consumi elettrici risultati con la simulazione, nel periodo dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022. | 235 |
| Fig. 154 Andamento degli assorbimenti elettrici mensili per il raffrescamento ambiente stimati attraverso i calcoli manuali a confronto con i risultati della simulazione. | 235 |
| Fig. 155 Analisi dei guadagni e delle perdite di calore nella zona di Confezionamento 1 nel periodo dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022. | 238 |
| Fig. 156 Confronto tra le temperature indoor della Zona 1 allo stato di fatto e della Zona 1a allo stato di progetto nel periodo dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022. | 241 |
| Fig. 158 Confronto tra le temperature indoor della Zona 1 allo stato di fatto e della Zona 1c allo stato di progetto nel periodo dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022. | 242 |
| Fig. 157 Confronto tra le temperature indoor della Zona 1 allo stato di fatto e della Zona 1b allo stato di progetto nel periodo dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022. | 242 |
| Fig. 159 Confronto tra le temperature indoor della Zona 1 allo stato di fatto e della Zona 1residua allo stato di progetto nel periodo dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022. ... | 243 |
| Fig. 160 Schema per il dimensionamento dei diffusori a dislocamento a partire dalle portate desiderate ed in funzione della distanza di draft risk. Fonte: Tecno-Ventil, 2025 | 244 |
| Fig. 161 Visualizzazione del flusso di immissione dell'aria attraverso i diffusori a dislocamento e dei parametri da considerare nel dimensionamento. Fonte: Tecno-Ventil, 2025 | 244 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 162 Confronto tra i consumi orari elettrici allo stato di fatto e allo stato di progetto nel periodo dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022..... | 246 |
| Fig. 163 Confronto tra i consumi di energia elettrica complessivi allo stato di fatto e allo stato di progetto nel periodo dal 13 Agosto al 21 Agosto 2022. | 247 |
| Fig. 164 Grafico del confronto tra i consumi elettrici mensili allo stato di fatto e allo stato di progetto..... | 248 |
| Fig. 165 Vista dell'edificio all'interno del diagramma solare. | 248 |
| Fig. 166 Caratteristiche tecniche dei pannelli fotovoltaici..... | 249 |
| Fig. 167 Confronto tra lo stato di fatto e lo stato di progetto in merito ai guadagni interni di calore a carico della copertura, il fabbisogno orario di raffrescamento e le temperature dell'ambiente..... | 250 |
| Fig. 168 Andamento orario dei consumi elettrici allo stato di progetto e dell'autoproduzione attraverso il fotovoltaico. | 251 |
| Fig. 169 Grafico del confronto tra l'autoproduzione elettrica mensile allo stato di progetto e i fabbisogni elettrici. | 252 |
| Fig. 170 Dati ISPRA inseriti nel software per la valutazione delle emissioni climalteranti. | 253 |
| Fig. 171 Confronto tra le emissioni di CO _{2eq} allo stato di fatto e allo stato di progetto. | 253 |
| Fig. 172 Confronto tra le emissioni di CO _{2eq} e i fabbisogni elettrici mensili allo stato di fatto e allo stato di progetto. | 254 |
| Fig. 173 Concept di funzionamento dei software sperimentali di integrazione degli algoritmi basati sulle leggi della fisica con applicazioni di intelligenza artificiale per ottimizzare la simulazione energetica dinamica dei Digital Twin. Fonte: IES, 2024 | 255 |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|--|----|
| Tab. 1 Le misure contenute nel New Circular Economy Action Plan. Fonte: Commissione Europea, 2020..... | 25 |
| Tab. 2 Le misure contenute nella Strategia Nazionale per l'Economia Circolare.. Fonte: Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2022 | 25 |
| Tab. 3 I contenuti degli European Sustainability Reporting Standards (ESRS). Fonte: Commissione Europea, 2023..... | 30 |
| Tab. 4 Elenco dei principali Rating Systems per gli edifici, dell'Organizzazione di riferimento, dell'area geografica e dell'anno di pubblicazione. | 34 |
| Tab. 5 Schema di valutazione comune a tutti i protocolli di rating degli edifici..... | 35 |
| Tab. 6 Schema delle aree tematiche e degli indicatori del framework europeo Level(s). Fonte: Joint Research Centre (JRC), 2021 | 36 |
| Tab. 7 Esempi di indicatori ambientali sintetici di misurazione. | 37 |
| Tab. 8 Esempio di Environmental Product Declaration (EPD): la quantificazione degli input e degli output delle varie fasi del ciclo di vita. Fonte: Azienda caso studio, 2020. | 42 |
| Tab. 9 Esempio di Environmental Product Declaration (EPD): la quantificazione degli impatti ambientali complessivi. Fonte: Azienda caso studio, 2020 | 42 |
| Tab. 10 Classificazione internazionale delle attività relative al settore dei beni e servizi ambientali (Ecoindustrie). Fonte: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), 2024 | 48 |
| Tab. 11 Quantificazione delle categorie di emissioni considerate, divise per Scope 1, 2, 3 e per tipo di attività nella filiera di riferimento. Fonte: Il Gruppo Aziendale, 2021 | 54 |
| Tab. 12 Schema di calcolo per la valutazione relativa ad organizzazioni di produzione. Fonte: Ente Normativo Italiano UNI, 2022..... | 66 |
| Tab. 13 Schema di asserzione di conformità del livello di circolarità calcolato secondo la metodologia della UNI/TS 11820. Fonte: Ente Normativo Italiano UNI, 2022..... | 67 |
| Tab. 14 Dettaglio delle caratteristiche degli indicatori relativi alle risorse energetiche e idriche. Fonte: Ente Normativo Italiano UNI, 2022 | 70 |
| Tab. 15 Raccolta dati a livello micro e macro per l'indicatore 11 relativo all'energia elettrica autoprodotta..... | 71 |
| Tab. 16 Raccolta dati a livello micro e macro per l'indicatore 13 relativo all'energia elettrica acquistata da fonti rinnovabili. | 72 |
| Tab. 17 Raccolta dati a livello micro e macro per l'indicatore 12 relativo all'energia termica autoprodotta. | 72 |
| Tab. 18 Raccolta dati a livello micro e macro per l'indicatore 15 relativo all'acqua proveniente da recupero e/o riciclo. | 73 |
| Tab. 19 Raccolta dati a livello micro e macro per l'indicatore 14 relativo all'energia termica acquistata da fonti rinnovabili. | 73 |
| Tab. 20 Calcolo degli indicatori sulle risorse energetiche e idriche per lo Stabilimento A. | 73 |
| Tab. 21 Calcolo degli indicatori sulle risorse energetiche e idriche per lo Stabilimento C. | 74 |
| Tab. 22 Calcolo degli indicatori sulle risorse energetiche e idriche per lo Stabilimento B. | 74 |
| Tab. 23 Calcolo degli indicatori sulle risorse energetiche e idriche per lo Stabilimento D. | 74 |
| Tab. 24 Calcolo degli indicatori sulle risorse energetiche e idriche per lo Stabilimento E. | 74 |

| | |
|---|-----|
| Tab. 25 Calcolo degli indicatori sulle risorse energetiche e idriche per lo Stabilimento F. | 74 |
| Tab. 26 Calcolo degli indicatori sulle risorse energetiche e idriche a livello meso..... | 75 |
| Tab. 27 Tecnologie strategiche individuate nel Net Zero Industry Act divise per settore energetico coinvolto. Fonte: Parlamento Europeo, 2023 | 88 |
| Tab. 28 Obiettivi del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima a confronto con gli obiettivi imposti all'Italia dall'Europa. Fonte: Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2024..... | 90 |
| Tab. 29 Macro-obiettivi e Indicatori del Framework Level(s). Fonte: Joint Research Centre, 2021..... | 97 |
| Tab. 30 Sottosettori alimentari e cluster di intervento. Fonte: Ricerca sul Sistema Energetico (RSE), 2018 | 111 |
| Tab. 31 Principali interventi di decarbonizzazione implementabili dalle imprese. Fonte: Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia (FIRE), 2024 | 120 |
| Tab. 32 Elenco dei vettori energetici e dei relativi fattori di conversione in tep. Fonte: ENEA, 2021..... | 135 |
| Tab. 33 Anno di certificazione ISO 50001 del Sistema di Gestione dell'Energia per i diversi stabilimenti del settore Bakery. Fonte: Azienda caso studio, 2019 | 143 |
| Tab. 34 Consumi di gas mensili e dell'anno 2022 divisi per linee di produzione nello Stabilimento A. Fonte: Azienda caso studio, 2023..... | 146 |
| Tab. 35 Volumi prodotti mensili e dell'anno 2022 divisi per linee di produzione nello Stabilimento A. Fonte: Azienda caso studio, 2023..... | 147 |
| Tab. 36 Key Performance Indicators del consumo di gas mensile e dell'anno 2022 divisi per linee di produzione nello Stabilimento A e confronto con le Best Available Techniques. Fonte: Azienda caso studio, 2023 | 147 |
| Tab. 37 Key Performance Indicators del consumo di gas del totale delle linee di produzione nello Stabilimento A nell'anno 2022 e confronto con le Best Available Techniques. Fonte: Azienda caso studio, 2023 | 148 |
| Tab. 38 Ricognizione delle fonti di approvvigionamento energetico per l'anno 2022 e dei progetti futuri nei totali degli Stabilimenti del settore bakery. Fonte: Azienda caso studio, 2023..... | 150 |
| Tab. 39 Ricognizione di alcuni interventi realizzati nell'ambito elettrico a seguito delle Diagnosi Energetiche presentate nel 2019 e quantificazione dei risparmi annui conseguiti negli Stabilimenti del settore bakery. Fonte: Azienda caso studio, 2023..... | 151 |
| Tab. 40 Ricognizione di alcuni interventi realizzati nell'ambito termico a seguito delle Diagnosi Energetiche presentate nel 2019 e quantificazione dei risparmi annui conseguiti negli Stabilimenti del settore bakery. Fonte: Azienda caso studio, 2023..... | 152 |
| Tab. 41 Confronto tra le performance energetiche dello Stabilimento A del 2018 rendicontate nelle Diagnosi Energetiche 2019 e del 2022 rendicontate nel 2023. Fonte: Azienda caso studio, 2023..... | 154 |
| Tab. 42 Schema di riferimento per la valutazione delle Strategie integrate di decarbonizzazione: il framework generale..... | 157 |
| Tab. 43 Schema di riferimento per la valutazione delle Strategie integrate di decarbonizzazione: ricognizione dello stato dell'arte dello Stabilimento A attraverso la compilazione con i dati rendicontati nelle Diagnosi Energetiche del 2019 e del 2023. | 160 |
| Tab. 44 Assorbimenti mensili di energia elettrica dei tre gruppi frigoriferi presenti nella centrale termica e individuazione del gruppo attivo nel periodo estivo di raffrescamento del luogo di produzione..... | 198 |
| Tab. 45 Fattori di carico orario della potenza frigorifera erogata dal Gruppo frigo in attività rispetto alla potenzialità, nell'arco della giornata del 28 Giugno 2022, ricavato a partire dai dati reali monitorati della potenza elettrica assorbita. | 199 |

| | |
|--|-----|
| Tab. 46 Media mensile del fattore di carico del gruppo frigo in attività nel periodo di raffrescamento dell'ambiente produttivo. | 200 |
| Tab. 47 Stima dell'andamento orario del fabbisogno teorico di raffrescamento in funzione della temperatura dell'aria esterna e le portate delle Unità di Trattamento dell'Aria presenti nell'ambiente produttivo, per il 18 Agosto 2022. | 206 |
| Tab. 48 Valori del fabbisogno di energia frigorifera stimato per il raffrescamento ambiente aggregati a livello mensile. | 207 |
| Tab. 49 Andamento orario dei consumi di metano divisi per linee di produzione relativo al 18 Agosto 2022. | 211 |
| Tab. 50 Andamento orario delle tonnellate prodotte secondo i turni programmati per il 18 Agosto 2022, divisi per linee di produzione. | 211 |
| Tab. 51 Calcolo del calore latente disperso dai camini a partire dai risultati dei saggi effettuati. | 212 |
| Tab. 52 Calcolo del calore sensibile disperso dai camini a partire dai risultati dei saggi effettuati. | 212 |
| Tab. 53 Quantificazione del calore totale disperso dai camini nelle ore di svolgimento dei saggi. | 213 |
| Tab. 54 Distribuzione oraria delle dispersioni di calore dai camini divisi per linee di produzione, calcolati per il 18 Agosto 2022. | 214 |
| Tab. 55 Bilancio termico calcolato per la linea del forno 1. | 216 |
| Tab. 56 Bilancio termico calcolato per la linea del forno 5. | 217 |
| Tab. 57 Bilancio termico calcolato per la linea del forno 2. | 218 |
| Tab. 58 Valori mensili del bilancio termico totale calcolato. | 219 |
| Tab. 59 Elenco delle caratteristiche di dotazioni tecnologiche e utilizzo degli spazi assegnate ad ogni zona termica individuata. | 225 |
| Tab. 60 Confronto tra i fabbisogni di raffrescamento mensile stimati manualmente e i risultati della simulazione. | 234 |
| Tab. 61 Confronto tra i consumi elettrici mensili per il raffrescamento ambiente stimati e i risultati della simulazione. | 235 |
| Tab. 62 Confronto tra il volume d'aria da raffrescare allo stato di fatto e allo stato di progetto e la riduzione della portata d'immissione in ambiente. | 241 |
| Tab. 63 Stima del numero di diffusori da introdurre nelle diverse zone termiche considerate dell'area di Confezionamento 1. | 245 |
| Tab. 64 Quantificazione dei risparmi di portata d'aria allo stato di progetto in tutte le zone per il confezionamento della fabbrica. | 245 |
| Tab. 65 Stima del numero di diffusori da introdurre nelle zone termiche considerate in tutte le aree destinate al Confezionamento in fabbrica. | 246 |
| Tab. 66 Confronto tra i consumi elettrici mensili allo stato di fatto e allo stato di progetto. | 247 |
| Tab. 67 Dimensioni delle superfici captanti disponibili in copertura. | 249 |
| Tab. 68 Confronto tra i consumi elettrici mensili totali allo stato di fatto monitorati dall'azienda, i consumi elettrici mensili del sistema di raffrescamento allo stato di progetto e l'autoproduzione da fotovoltaico. | 251 |
| Tab. 69 Confronto dei risultati dello stato di progetto in termini di riduzione dei consumi elettrici mensili e di emissioni climalteranti. | 254 |
| Tab. 70 Schema di riferimento per la valutazione delle Strategie integrate di decarbonizzazione: ricognizione dello stato dell'arte dello Stabilimento A attraverso la compilazione con i dati rendicontati nelle Diagnosi Energetiche del 2019 e del 2023 e scenario migliorativo futuro basato sui risultati della simulazione digitale. | 261 |