

Ricerca di Sistema elettrico



Analisi delle tecnologie disponibili in almeno tre settori con assessment tecnico-economico delle soluzioni più rappresentative

F. De Carlo, L. Leoni, Tucci M.

Analisi delle tecnologie disponibili in almeno tre settori con assessment tecnico-economico delle soluzioni più rappresentative

F. De Carlo, L. Leoni, M. Tucci

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica -ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Sistema Elettrico

Linea di attività 3.4: Analisi delle tecnologie disponibili in almeno tre settori con assessment tecnico-economico delle soluzioni più rappresentative

Responsabile del Progetto: Miriam Benedetti, ENEA

Responsabile del Work Package: Fabrizio Martini, ENEA

Responsabile Linea di Attività: ENEA

Mese inizio previsto: 13

Mese inizio effettivo: 13

Mese fine previsto: 36

Mese fine effettivo: 36

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione: Si ringrazia per la collaborazione alle attività svolte

Indice

1	Risultati attesi	8
2	Risultati ottenuti.....	8
3	Prodotti attesi	9
4	Prodotti sviluppati	9
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	9
6	Sintesi delle attività svolte	9
7	Dettaglio delle attività svolte.....	10
7.1	Informazioni preliminari.....	10
7.1.1	Informazioni preliminari plastica	10
7.1.2	Informazioni preliminari immobiliare	11
7.1.3	Informazioni preliminari alberghi	12
7.1.4	Informazioni preliminari aeroporti	13
7.2	Liste delle soluzioni “energy-saving” riportate in letteratura.....	13
7.2.1	Soluzioni “energy-saving” per il settore plastica	16
7.2.2	Soluzioni “energy-saving” per il settore immobiliare.....	23
7.2.3	Soluzioni “energy-saving” per il settore alberghiero	30
7.2.4	Soluzioni “energy-saving” per il settore aeroporti.....	32
7.3	Interventi “energy-saving” riportati sulle diagnosi energetiche.....	35
7.3.1	Interventi “energy-saving” del settore plastica	35
7.3.2	Interventi “energy-saving” del settore immobiliare	43
7.3.3	Interventi “energy-saving” del settore alberghiero	53
7.3.4	Interventi “energy-saving” del settore aeroporti	58
7.4	Utilizzo del Digital Twin	63
7.4.1	Digital Twin nel settore plastica.....	67
7.4.2	Digital Twin nel settore immobiliare	72
7.4.3	Digital Twin nel settore aeroporti.....	76
7.5	Analisi economico-energetica di interventi significativi	79
7.5.1	Elettificazione di una pressa nel settore plastica.....	79
7.5.2	Installazione di una pompa geotermica polivalente nel settore immobiliare	82
7.5.3	Installazione di una centrale di trigenerazione nel settore aeroporti	84
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte.....	85
9	Pubblicazioni scientifiche.....	86
10	Eventi di disseminazione	86

Indice delle figure

Figura 1 – Flowchart di ricerca adottato per l’individuazione di soluzioni “energy-saving” nel settore plastica.	15
Figura 2 – Flowchart di ricerca adottato per l’individuazione di soluzioni “energy-saving” nel settore immobiliare.	15
Figura 3 – Flowchart di ricerca adottato per l’individuazione di soluzioni “energy-saving” nel settore aeroporti.	16
Figura 4 – Numero di interventi effettuati e pianificati per fase di processo riportati sulle diagnosi energetiche del settore plastica.	43
Figura 5 – Numero di interventi effettuati e pianificati per area di intervento riportati sulle diagnosi energetiche del settore immobiliare.	53
Figura 6 – Numero di interventi effettuati e pianificati per area di intervento riportati sulle diagnosi energetiche del settore alberghiero.	58
Figura 7 – Numero di interventi effettuati e pianificati per area di intervento riportati sulle diagnosi energetiche del settore aeroporti.	63
Figura 8 – Flowchart di ricerca adottato per l’individuazione di impieghi del Digital Twin nel settore plastica.	65
Figura 9 – Flowchart di ricerca adottato per l’individuazione di impieghi del Digital Twin nel settore immobiliare.	65
Figura 10 – Flowchart di ricerca adottato per l’individuazione di impieghi del Digital Twin nel settore alberghiero.	66
Figura 11 – Flowchart di ricerca adottato per l’individuazione di impieghi del Digital Twin nel settore aeroporti.	66
Figura 12 – Distribuzione delle tipologie di Digital Twin impiegate nel settore plastica.	71
Figura 13 – Distribuzione delle strutture di Digital Twin impiegate nel settore plastica.	71
Figura 14 – Distribuzione dello scopo di utilizzo dei Digital Twin impiegati nel settore plastica.	71
Figura 15 – Benefici riportati dai documenti analizzati, ottenibili mediante l’uso del Digital Twin nel settore plastica.	72
Figura 16 – Distribuzione delle tipologie di Digital Twin impiegate nel settore immobiliare. ...	75
Figura 17 – Distribuzione delle strutture di Digital Twin impiegate nel settore immobiliare. ...	75
Figura 18 – Distribuzione dello scopo di utilizzo dei Digital Twin impiegati nel settore immobiliare.	75
Figura 19 – Benefici riportati dai documenti analizzati, ottenibili mediante l’uso del Digital Twin nel settore immobiliare.	76
Figura 20 – Distribuzione delle tipologie di Digital Twin impiegate nel settore aeroporti.	78
Figura 21 – Distribuzione delle strutture di Digital Twin impiegate nel settore aeroporti.	78

Figura 22 – Distribuzione dello scopo di utilizzo dei Digital Twin impiegati nel settore aeroporti.	79
Figura 23 – Benefici riportati dai documenti analizzati, ottenibili mediante l’uso del Digital Twin nel settore aeroporti.	79
Figura 24 – Consumi energetici totali di una pressa idraulica ed una pressa elettrica per una produzione annua pari a 10 tonnellate.	80
Figura 25 – Consumi energetici totali di una pressa idraulica ed una pressa elettrica per una produzione annua pari a 51 tonnellate.	80
Figura 26 – Consumi energetici totali di una pressa idraulica ed una pressa elettrica per una produzione annua pari a 151 tonnellate.	81
Figura 27 – Consumi energetici totali di una pressa idraulica ed una pressa elettrica per una produzione annua pari a 1000 tonnellate.	81
Figura 28 – Costi totali di una pressa idraulica ed una pressa elettrica per una produzione annua pari a 10 tonnellate.	81
Figura 29 – Costi totali di una pressa idraulica ed una pressa elettrica per una produzione annua pari a 51 tonnellate.	82
Figura 30 – Costi totali di una pressa idraulica ed una pressa elettrica per una produzione annua pari a 151 tonnellate.	82
Figura 31 – Costi totali di una pressa idraulica ed una pressa elettrica per una produzione annua pari a 1000 tonnellate.	82
Figura 32 – Consumi energetici normalizzati prima e dopo l’intervento nel settore immobiliare.	83
Figura 33 – Costi normalizzati prima e dopo l’intervento nel settore immobiliare.	84
Figura 34 – Consumi energetici e costi normalizzati prima e dopo l’intervento nel settore aeroporti.	85

Indice delle tabelle

Tabella 1 – Distribuzione nelle regioni italiane dei siti produttivi della plastica analizzati.	11
Tabella 2 – Distribuzione nelle regioni italiane dei siti immobiliari (uffici e banche) analizzati.	12
Tabella 3 – Distribuzione nelle regioni italiane dei siti alberghieri analizzati.	12
Tabella 4 – Distribuzione nelle regioni italiane degli aeroporti analizzati.	13
Tabella 5 – Parole chiave per area tematica della stringa di ricerca utilizzata per il settore plastica.	14
Tabella 6 – Parole chiave per area tematica della prima stringa di ricerca utilizzata per il settore immobiliare-alberghiero.	14
Tabella 7 – Parole chiave per area tematica della stringa di ricerca utilizzata per il settore aeroporti.	14

Tabella 8 – Parole chiave per area tematica della seconda stringa di ricerca utilizzata per il settore immobiliare.	14
Tabella 9 – Soluzioni di risparmio energetico relative alla movimentazione materie nel settore plastica.	16
Tabella 10 – Soluzioni di risparmio energetico relative all’essiccazione nel settore plastica.	17
Tabella 11 – Soluzioni di risparmio energetico relative alla miscelazione nel settore plastica.	17
Tabella 12– Soluzioni di risparmio energetico relative al preriscaldamento nel settore plastica.	17
Tabella 13 – Soluzioni di risparmio energetico relative alla triturazione nel settore plastica....	17
Tabella 14 – Soluzioni di risparmio energetico relative all’estrusione nel settore plastica.	18
Tabella 15 – Soluzioni di risparmio energetico relative allo stampaggio nel settore plastica....	18
Tabella 16 – Soluzioni di risparmio energetico relative al soffiaggio e stiro-soffiaggio nel settore plastica.	19
Tabella 17 – Soluzioni di risparmio energetico relative alla termoformatura nel settore plastica.	19
Tabella 18 – Soluzioni di risparmio energetico relative alla filmatura nel settore plastica.....	19
Tabella 19 – Soluzioni di risparmio energetico relative alla trafilatura nel settore plastica.	19
Tabella 20 – Soluzioni di risparmio energetico relative alla giunzione (post-lavorazione) nel settore plastica.	19
Tabella 21 – Soluzioni di risparmio energetico relative agli impianti ausiliari nel settore plastica.	20
Tabella 22 – Soluzioni di risparmio energetico relative a riscaldamento, raffreddamento, recupero calore e cogenerazione nel settore plastica.	20
Tabella 23 – Soluzioni di risparmio energetico relative alle fonti rinnovabili nel settore plastica.	20
Tabella 24 – Soluzioni di risparmio energetico relative alle fonti rinnovabili nel settore plastica.	20
Tabella 25 – Soluzioni di risparmio energetico relative ai servizi generali nel settore plastica.	21
Tabella 26 – Riferimenti bibliografici considerati per l’individuazione di soluzioni di risparmio energetico nel settore plastica.....	23
Tabella 27 – Soluzioni di risparmio energetico relative a illuminazione e impianti elettrici nel settore immobiliare.	24
Tabella 28 – Soluzioni di risparmio energetico relative a riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria nel settore immobiliare.....	25
Tabella 29 – Soluzioni di risparmio energetico relative all’involucro edilizio nel settore immobiliare.	26
Tabella 30 – Soluzioni di risparmio energetico relative alla generazione di calore nel settore immobiliare.	26
Tabella 31 – Soluzioni di risparmio energetico relative ai sistemi gestionali e monitoraggio nel settore immobiliare.	27

Tabella 32 – Soluzioni di risparmio energetico relative agli impianti ausiliari nel settore immobiliare.	27
Tabella 33 – Soluzioni di risparmio energetico relative alle fonti rinnovabili nel settore immobiliare.	27
Tabella 34 – Riferimenti bibliografici considerati per l’individuazione di soluzioni di risparmio energetico nel settore immobiliare.....	30
Tabella 35 – Soluzioni di risparmio energetico relative a illuminazione e impianti elettrici nel settore alberghiero.	30
Tabella 36 – Soluzioni di risparmio energetico relative alla climatizzazione nel settore alberghiero.	31
Tabella 37 – Soluzioni di risparmio energetico relative alle cucine nel settore alberghiero.....	31
Tabella 38 – Soluzioni di risparmio energetico relative all’involucro edilizio nel settore alberghiero.	31
Tabella 39 – Soluzioni di risparmio energetico relative ai sistemi di monitoraggio nel settore alberghiero.	31
Tabella 40 – Soluzioni di risparmio energetico relative agli impianti ausiliari nel settore alberghiero.	31
Tabella 41 – Soluzioni di risparmio energetico relative alle fonti rinnovabili nel settore alberghiero.	31
Tabella 42 – Riferimenti bibliografici considerati per l’individuazione di soluzioni di risparmio energetico nel settore alberghiero.	32
Tabella 43 – Soluzioni di risparmio energetico relative a illuminazione e impianti elettrici nel settore aeroporti.	32
Tabella 44 – Soluzioni di risparmio energetico relative alla climatizzazione nel settore aeroporti.	32
Tabella 45 – Soluzioni di risparmio energetico relative alla movimentazione di persone e bagagli nel settore aeroporti.....	33
Tabella 46 – Soluzioni di risparmio energetico relative alla generazione di calore nel settore aeroporti.	33
Tabella 47 – Soluzioni di risparmio energetico relative agli elementi strutturali nel settore aeroporti.	33
Tabella 48 – Soluzioni di risparmio energetico relative a sistemi gestionali e di monitoraggio nel settore aeroporti.	33
Tabella 49 – Soluzioni di risparmio energetico relative agli impianti ausiliari nel settore aeroporti.	33
Tabella 50 – Soluzioni di risparmio energetico relative alle fonti rinnovabili nel settore aeroporti.	34
Tabella 51 – Riferimenti bibliografici considerati per l’individuazione di soluzioni di risparmio energetico nel settore aeroporti.	35
Tabella 52 – Interventi “energy-saving” individuati tramite le diagnosi nel settore plastica. ...	37

Tabella 53 – Interventi “energy-saving” individuati tramite le diagnosi nel settore immobiliare.	45
Tabella 54 – Interventi “energy-saving” individuati tramite le diagnosi nel settore alberghiero.	54
Tabella 55 – Interventi “energy-saving” individuati tramite le diagnosi nel settore aeroporti. .	63
Tabella 56 – Parole chiave per area tematica della stringa di ricerca sull’impiego dei Digital Twin per il settore plastica.	64
Tabella 57 – Parole chiave per area tematica della stringa di ricerca sull’impiego dei Digital Twin per il settore immobiliare.	64
Tabella 58 – Parole chiave per area tematica della stringa di ricerca sull’impiego dei Digital Twin per il settore alberghiero.	64
Tabella 59 – Parole chiave per area tematica della stringa di ricerca sull’impiego dei Digital Twin per il settore aeroporti.	64
Tabella 60 – Riferimenti bibliografici considerati per l’utilizzo del Digital Twin nel settore plastica.	70
Tabella 61 – Riferimenti bibliografici considerati per l’utilizzo del Digital Twin nel settore immobiliare.	74
Tabella 62 – Riferimenti bibliografici considerati per l’utilizzo del Digital Twin nel settore aeroporti.	78
Tabella 63 – Consumi energetici di una pressa idraulica ed una pressa elettrica espressi in kWh/t sulla base della produzione media annua.	80
Tabella 64 – Consumi energetici normalizzati relativi all’intervento del settore immobiliare: Consumi energetici prima dell’intervento (CEPI), Consumi energetici dopo l’intervento (CEDI), differenza assoluta di consumi energetici (DEC).	83
Tabella 65 – Costi normalizzati relativi all’intervento del settore immobiliare: Costi prima dell’intervento (CPI), Costi dopo l’intervento (CDI), differenza assoluta di costi (DC).	84
Tabella 66 – Consumi energetici e costi normalizzati relativi all’intervento del settore aeroporti.	85

1 Risultati attesi

I risultati della presente LA possono essere divisi in cinque macro-punti così come riportato nella seguente lista:

1. Lista dei settori economici considerati con descrizione del campione di aziende analizzato, associazioni di categoria consultate, incontri svolti e sopralluoghi effettuati.
2. Liste delle soluzioni di risparmio energetico riportate in letteratura impiegabili in tre settori economici di rilievo sul territorio italiano. Le soluzioni di risparmio energetico devono essere divise per area di applicazione (e.g., fase di processo e macchinario). Le soluzioni devono riportare commenti di esperti inerenti ai loro benefici e limitazioni.
3. Lista delle soluzioni di risparmio energetico riportate nelle diagnosi per ciascun settore considerato. Anche queste liste devono essere divise per area di applicazione e saranno integrate con quelle emergenti da letteratura. Individuazione delle soluzioni di risparmio energetico maggiormente implementate e proposte nel territorio italiano per ciascun settore considerato ai loro benefici e limitazioni.
4. Popolarità, ruolo e benefici del Digital Twin riportati in letteratura per ciascun settore considerato.
5. Valutazione economica ed energetica mediante opportuni indicatori di risparmio di almeno un caso studio di rilievo per ciascun settore considerato.

2 Risultati ottenuti

Si riporta di seguito la lista dei risultati ottenuti inerenti alla presente LA:

1. I settori economici considerati sono stati i seguenti: plastica, immobiliare (uffici e banche), alberghi e aeroporti. Pertanto, è stato considerato un settore in più rispetto ai tre previsti inizialmente. I settori sono stati scelti vista la rilevanza che rivestono all'interno del territorio italiano. Ognuno dei punti sotto-riportato rappresenta un risultato della presente LA. In particolar modo, ciascun risultato è ottenuto per i quattro settori sotto analisi.
2. Per ciascun settore considerato è stata analizzata la letteratura disponibile in merito alle soluzioni di risparmio energetico. Questo ha portato alla definizione di una prima lista di soluzioni impiegabili in ciascun settore. Il principale beneficio di questa lista è fornire agli utenti una panoramica degli interventi effettuabili per ridurre i consumi energetici e perseguire una maggior sostenibilità.
3. Per ciascun settore considerato sono state analizzate le diagnosi con lo scopo di individuare interventi di efficientamento implementati e proposti dalle aziende che hanno sviluppato le diagnosi. Questo ha permesso di espandere la lista precedentemente realizzata, oltre a fornire agli interessati la possibilità di individuare gli interventi maggiormente comuni sul territorio italiano. Il principale beneficio per gli utilizzatori è avere a disposizione una lista comprensiva non solo di ciò che viene riportato in letteratura, ma anche di ciò che viene effettuato in pratica. Questo può essere un utile riferimento per capire le azioni che stanno intraprendendo le aziende dello stesso settore per ridurre i consumi energetici.
4. Per ciascun settore è stata condotta un'analisi della letteratura inerente all'utilizzo del Digital Twin. Questo ha portato alla definizione della funzione (o ruolo) in cui viene

maggiormente impiegato il Digital Twin in un certo settore, oltre all'individuazione dei principali benefici. Pertanto, gli utilizzatori possono individuare quali sono le principali finalità di impiego del Digital Twin secondo la letteratura disponibile, oltre a individuare i vantaggi derivanti da esso, tra cui si annovera una potenziale riduzione dei consumi energetici.

5. Sono stati analizzati da un punto di vista economico ed energetico un intervento significativo per settore. In particolar modo, è stata analizzata l'elettificazione di una pressa per il settore di produzione della plastica. Invece, sono stati analizzati l'installazione di una pompa geotermica e di una centrale di trigenerazione nel settore immobiliare e aeroportuale rispettivamente. Gli utilizzatori possono individuare i vantaggi economici ed energetici di interventi tipici e utilizzarli come indicatori a supporto delle decisioni di efficientamento energetico.

3 Prodotti attesi

Non erano presenti prodotti hardware/software attesi per la presente LA da capitolato.

4 Prodotti sviluppati

Non sono stati sviluppati prodotti hardware/software nella presente LA così come riportato nel capitolato.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Da capitolato, era previsto di considerare BAT e BREF come punto di partenza per l'individuazione di soluzioni energy-saving. Tuttavia, per i settori considerati, non vi sono BAT e BREF di riferimento. Pertanto, in accordo con ENEA e le associazioni di categoria è stato deciso di iniziare ad analizzare direttamente le soluzioni riportate nella letteratura scientifica. Questo aspetto non altera il risultato finale e non ne limita la generalità e l'utilizzo.

All'interno del capitolato, si riportava lo studio di tre settori economici di rilievo sul territorio italiano. Tuttavia, è stato deciso di approfondire un ulteriore settore economico, portando il conteggio a quattro settori.

6 Sintesi delle attività svolte

Le attività svolte hanno riguardato 4 principali aree:

1. Analisi delle soluzioni energy-saving adottabili nei settori analizzati. L'attività ha portato alla definizione di liste che integrano letteratura e diagnosi energetiche.
2. Analisi degli interventi riportati diagnosi energetiche dei settori analizzati. L'attività ha portato alla definizione degli interventi più comuni per ciascun settore.
3. Analisi dell'uso del Digital Twin nei settori analizzati. L'attività ha portato a definire i settori in cui è più comune, oltre a riportare tipologia di Digital Twin, scopi di utilizzo e benefici.

4. Analisi economica ed energetica di casi studio rilevanti per ciascun settore. L'attività ha portato alla definizione dei risparmi economici ed energetici per gli interventi di rilievo.

I risultati 3 e 4 sono allineati con quelli previsti. I risultati 1 e 2 sono parzialmente allineati a quelli previsti in quanto privi dei commenti di esperti di settore.

7 Dettaglio delle attività svolte

Innanzitutto, verranno descritti i campioni di aziende analizzati per ciascun settore, le associazioni di categoria coinvolte e gli incontri effettuati con le associazioni di categoria. Questi aspetti, denominati "informazioni preliminari" rappresentano il primo output riportato nel capitolo.

Le attività svolte fanno riferimento a 4 aree principali. Ogni area è stata trattata per ciascun settore. Pertanto, si riportano di seguito le attività svolte e i risultati principali suddivisi per area e settore.

7.1 Informazioni preliminari

In questa sezione viene riportata una breve descrizione sulle associazioni coinvolte, gli incontri effettuati ed il campione di aziende analizzato per ciascun settore. Non verranno riportati incontri di disseminazione, che verranno descritti nella Sezione 10.

7.1.1 Informazioni preliminari plastica

L'associazione di categoria coinvolta in merito alle aziende del settore plastica è la "Federazione Gomma Plastica". Con i rappresentanti di associazione e i ricercatori ENEA, sono stati effettuati due incontri in data 13 marzo e 20 dicembre 2023.

Sono state considerate le diagnosi di 422 siti produttivi, facenti riferimento ai seguenti codici ATECO: 22.21.00, 22.22.00, 22.23.01, 22.23.02, 22.23.09, 22.29.01, 22.29.02, 22.29.09. I siti sono stati caratterizzati per tipologia di produzione e fasi produttive incluse. La distribuzione dei siti sul territorio italiano è riportata in Tabella 1.

Regione	Numero di siti produttivi
Lombardia	131
Veneto	58
Emilia-Romagna	41
Piemonte	30
Toscana	28
Campania	25
Friuli-Venezia Giulia	22
Marche	21
Sicilia	16

Regione	Numero di siti produttivi
Abruzzo	12
Puglia	10
Umbria	7
Liguria	6
Trentino-Alto Adige	5
Lazio	5
Basilicata	3
Sardegna	2

Tabella 1 – Distribuzione nelle regioni italiane dei siti produttivi della plastica analizzati.

7.1.2 Informazioni preliminari immobiliare

Il settore immobiliare comprende banche e uffici. Per questi ultimi, l'associazione di categoria coinvolta è "Assoimmobiliare". Con i rappresentanti di associazione e i ricercatori ENEA, sono stati effettuati tre incontri in data 27 giugno, 27 luglio e 1 settembre 2023:

Sono state considerate le diagnosi di 242 siti, facenti riferimento a svariati codici ATECO (e.g., 64.20.00). I siti sono stati caratterizzati per tipologia di produzione e fasi produttive incluse. La distribuzione dei siti sul territorio italiano è riportata in Tabella 2.

Regione	Numero di siti
Lombardia	65
Emilia-Romagna	33
Veneto	24
Sicilia	17
Lazio	15
Puglia	15
Friuli-Venezia Giulia	12
Trentino-Alto Adige	12
Toscana	11
Campania	10
Piemonte	10
Umbria	6

Regione	Numero di siti
Marche	5
Liguria	4
Sardegna	2
Calabria	1

Tabella 2 - Distribuzione nelle regioni italiane dei siti immobiliari (uffici e banche) analizzati.

7.1.3 Informazioni preliminari alberghi

L'associazione di categoria coinvolta in merito alle aziende del settore alberghiero è la "Federalberghi". Non sono stati effettuati incontri eccetto che quelli di disseminazione.

Sono state considerate le diagnosi di 93 siti, facenti riferimento ai seguenti codici ATECO: 55.10.00 e 55.20.10. La distribuzione dei siti sul territorio italiano è riportata in Tabella 3.

Regione	Numero di siti
Lombardia	24
Lazio	13
Veneto	11
Sardegna	9
Toscana	7
Sicilia	6
Emilia-Romagna	4
Puglia	4
Piemonte	3
Trentino-Alto Adige	3
Piemonte	2
Liguria	2
Valle d'Aosta	2
Abruzzo	1
Basilicata	1
Calabria	1

Tabella 3 - Distribuzione nelle regioni italiane dei siti alberghieri analizzati.

7.1.4 Informazioni preliminari aeroporti

L'associazione di categoria coinvolta in merito alle aziende del settore aeroportuale è "ENAC". Non sono stati effettuati incontri eccetto che quelli di disseminazione.

Sono state considerate le diagnosi di 60 aeroporti, facenti riferimento al codice ATECO 52.23.00. La distribuzione dei siti sul territorio italiano è riportata in Tabella 4.

Regione	Numero di siti
Lombardia	12
Veneto	8
Lazio	7
Calabria	4
Emilia-Romagna	4
Puglia	4
Toscana	4
Campania	3
Piemonte	3
Sardegna	3
Sicilia	3
Abruzzo	2
Friuli	1
Liguria	1
Trentino	1

Tabella 4 - Distribuzione nelle regioni italiane degli aeroporti analizzati.

7.2 Liste delle soluzioni "energy-saving" riportate in letteratura

Questa attività è stata condotta mediante ricerche su Scopus per individuare soluzioni di risparmio energetico per ciascun settore. Le ricerche hanno utilizzato combinazioni di parole chiave con operatori logici e sono state applicate restrizioni per migliorare la pertinenza dei risultati (e.g., solo documenti in inglese, esclusione di libri e atti di convegno, focus su pubblicazioni recenti).

Per il settore plastica, è stato utilizzato anche il database Web of Science e un'area tematica aggiuntiva relativa alle tecnologie specifiche del settore. Nel settore immobiliare, inizialmente inclusi anche edifici residenziali, sono state definite due stringhe di ricerca distinte.

Le stringhe di ricerca per i settori plastica, alberghiero-immobiliare e aeroporti sono riportate nelle Tabelle 5-7, mentre la seconda stringa per il settore uffici è in Tabella 8. Le Figure 1-3

illustrano i filtri applicati e il numero di articoli esclusi. Nel settore alberghiero, solo due articoli pertinenti sono stati individuati.

Area Tematica 1: risparmio energetico	Area Tematica 2: settore	Area Tematica 3: tecnologia
"energ* sav**"	"plastic* polymer**"	"technolog**"
"energ* reduc**"	"plastic* product**"	"technique**"
"energ* sustain**"	"rubber* product**"	"machin**"
"enviornmental impact**"	"plastic* material**"	
"energ* improv**"		
"energ* efficienc**"		

Tabella 5 – Parole chiave per area tematica della stringa di ricerca utilizzata per il settore plastica.

Area Tematica 1: risparmio energetico	Area Tematica 2: settore
"energy saving"	"residential building**"
	"bank"
	"hotel"
	"real estate"

Tabella 6 – Parole chiave per area tematica della prima stringa di ricerca utilizzata per il settore immobiliare-alberghiero.

Area Tematica 1: risparmio energetico	Area Tematica 2: settore	Area Tematica 3: tecnologia
"energy efficiency"	"airport"	"technolog**"
"energy manag**"		"optim**"
"energy optimi?ation"		"revamp**"
"energy conserv**"		"repow**"

Tabella 7 – Parole chiave per area tematica della stringa di ricerca utilizzata per il settore aeroporti.

Area Tematica 1: risparmio energetico	Area Tematica 2: settore
"energy saving"	"office building"

Tabella 8 – Parole chiave per area tematica della seconda stringa di ricerca utilizzata per il settore immobiliare.

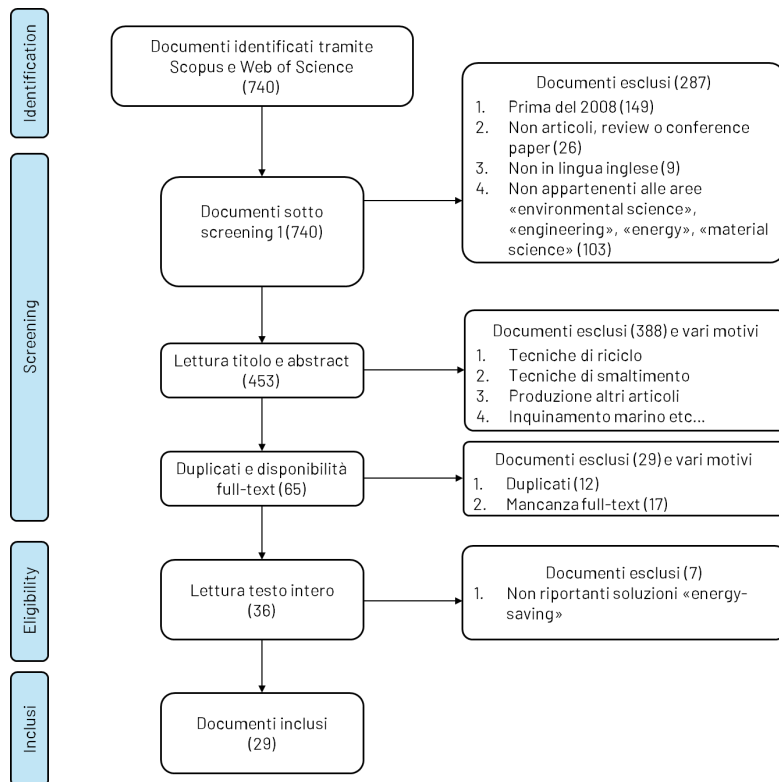


Figura 1 - Flowchart di ricerca adottato per l'individuazione di soluzioni "energy-saving" nel settore plastica.

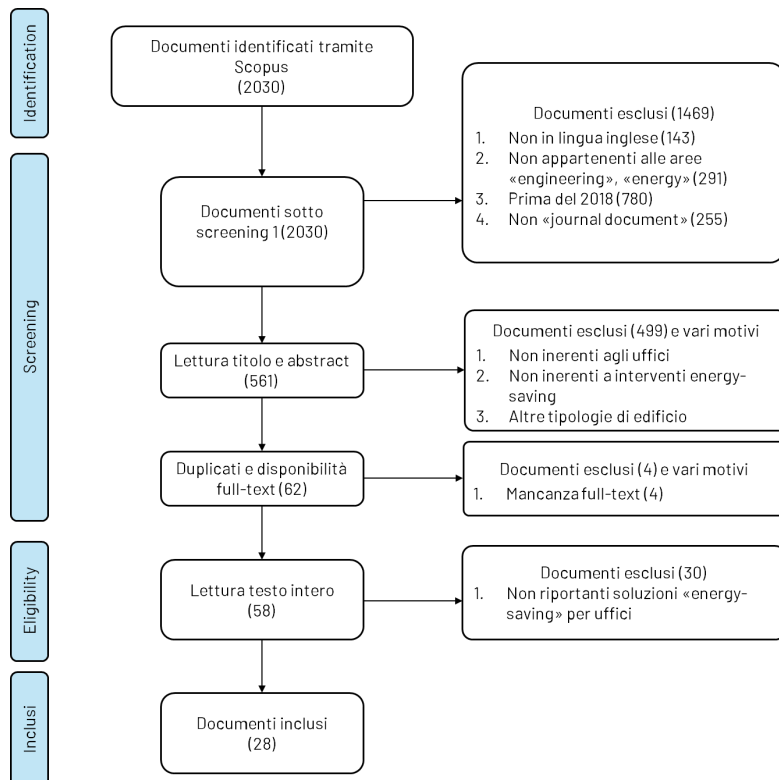


Figura 2 - Flowchart di ricerca adottato per l'individuazione di soluzioni "energy-saving" nel settore immobiliare.

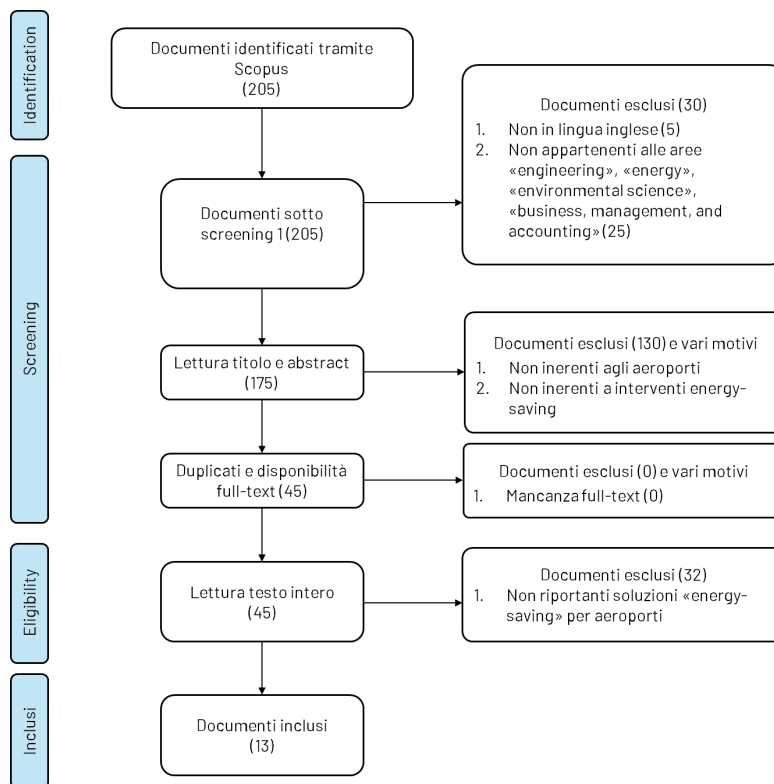


Figura 3 - Flowchart di ricerca adottato per l'individuazione di soluzioni "energy-saving" nel settore aeroporti.

7.2.1 Soluzioni "energy-saving" per il settore plastica

La ricerca di letteratura inerente al settore plastica ha individuato 29 documenti pertinenti, con 54 soluzioni di efficientamento energetico classificate per area di intervento (e.g., fase di processo, impianti ausiliari). Le soluzioni dettagliate sono riportate nelle Tabelle 9-25, mentre i riferimenti bibliografici sono elencati in Tabella 26.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Sistema di trasporto pneumatico	Installazione di un sistema di trasporto pneumatico per il convogliamento delle materie prime alle macchine di processo	[1]

Tabella 9 - Soluzioni di risparmio energetico relative alla movimentazione materie nel settore plastica.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Essiccatori	Installazione di essiccatori a ruote rotanti	[2]
Essiccatori	Installazione di essiccatori a bassa pressione	[2]
Essiccatori	Installazione di essiccatori ad infrarossi	[2]
Essiccatori	Installazione di essiccatori a tecnologia zeolitica	[3]
Essiccatori	Installazione di essiccatori a riscaldamento solare termico	[4]

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Posizionamento essiccatori	Posizionare il riscaldamento dell'aria di essiccazione vicino alla camera di essiccazione, in modo da perdere meno calore possibile durante il trasporto	[3]

Tabella 10 – Soluzioni di risparmio energetico relative all'essiccazione nel settore plastica.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Miscelatore	Installazione di miscelatori con rotori controrotanti	[5]

Tabella 11 – Soluzioni di risparmio energetico relative alla miscelazione nel settore plastica.

Tipologia	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Stampaggio rotazionale	Forno	Utilizzo di pinne distributrici per il forno	[6]
Stiro-soffiaggio	Forno	Installazione di un forno con tecnologia a microonde	[7]
Stiro-soffiaggio	Luci alogene	Installazione di un sistema di intelligenza artificiale (e.g., rete neurale) per l'ottimizzazione del settaggio delle luci di riscaldamento	[8]

Tabella 12- Soluzioni di risparmio energetico relative al preriscaldamento nel settore plastica.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Trituratore	Installazione di un tritatore a doppio ingresso	[9]
Trituratore	Sostituzione del tritatore a cesoia con un tritatore a cesoia a singolo stadio ad alta velocità	[9]

Tabella 13 – Soluzioni di risparmio energetico relative alla tritatura nel settore plastica.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Estrusore	Coibentazione della testa di estrusione per ridurre la dispersione di calore	[2]
Estrusore	Installazione di un sistema di riscaldamento ad induzione	[10]
Vite estrusore	Installazione di viti scanalate per materiale plastico fuso (grooved plasticated extrusion)	[11]

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Pressa ad iniezione	Coibentazione del cilindro della pressa ad iniezione	[2]
Pressa ad iniezione	Ridurre la temperatura di esercizio di 10-20 °C rispetto alla temperatura di transizione vetrosa del polimero	[12]
Pressa ad iniezione	Installazione di un sistema integrato di controllo tra pressa e stampi	[13]

Tabella 14 – Soluzioni di risparmio energetico relative all'estrusione nel settore plastica.

Tipologia	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Iniezione	Pressa ad iniezione	Sostituzione delle presse idrauliche con presse elettriche	[2], [14]
Iniezione	Pressa ad iniezione	Installazione di un sistema di raffreddamento ad impulsi	[2]
Iniezione	Pressa ad iniezione	Installazione di recupero di energia per le presse idrauliche	[15]
Iniezione	Pressa ad iniezione	Installazione di sistemi di raffreddamento con configurazioni in serie	[14]
Iniezione	Pressa ad iniezione	Installazione di stampi a cavità fluttuante	[16]
Iniezione	Pressa ad iniezione	Installazione di un sistema di raffreddamento/riscaldamento integrato	[17]
Iniezione	Pressa ad iniezione	Installazione di un sistema di iniezione a camera calda	[18]
Rotazionale	Roto-stampatrice	Installazione di uno stampo creato per elettroformatura con riscaldamento diretto ad olio	[19]
Rotazionale	Roto-stampatrice	Installazione di un sistema di riscaldamento a contatto elettrico nello stampo	[20]

Tabella 15 – Soluzioni di risparmio energetico relative allo stampaggio nel settore plastica.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Soffiatrice	Installazione di un sistema di raffreddamento a impulsi	[21]
Ugelli	Installazione di ugelli ad alta efficienza o "energy-saving"	[22]

Tabella 16 - Soluzioni di risparmio energetico relative al soffiaggio e stiro-soffiaggio nel settore plastica.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Termoformatrice	Installazione di un sistema di riscaldamento con tecnologia a infrarossi	[23]
Termoformatrice	Installazione di un sistema di riscaldamento con lampade alogene	[24]
Termoformatrice	Installazione di un sistema di riscaldamento retro-riflettente	[24]
Termoformatrice	Utilizzare quarzo e ceramica per i sistemi di riscaldamento	[2]

Tabella 17 - Soluzioni di risparmio energetico relative alla termoformatura nel settore plastica.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Ugelli	Installazione di ugelli ad alta efficienza o "energy-saving"	[22]

Tabella 18 - Soluzioni di risparmio energetico relative alla filmatura nel settore plastica.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Estrusore	Installazione di un sistema di raffreddamento ad aria	[25]
Matrice estrusore	Utilizzare simulazioni software per ottimizzare la matrice di estrusione dell'estrusore in modo da evitare scarti di produzione e perdite energetiche	[2]

Tabella 19 - Soluzioni di risparmio energetico relative alla trafilatura nel settore plastica.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Saldatrice	Installazione di saldatrici ad ultrasuoni	[26]
Saldatrice	Installazione di saldatrici ad ultrasuoni con servomotore	[27]

Tabella 20 - Soluzioni di risparmio energetico relative alla giunzione (post-lavorazione) nel settore plastica.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Sistemi ad aria compress, compressori e pompe	Interventi di ricerca e riparazione delle fughe (leak management)	[2]
Sistemi ad aria compress, compressori e pompe	Riduzione della pressione di esercizio	[2]
Sistemi ad aria compress, compressori e pompe	Installazione di inverter su compressori, pompe o ventole	[2]
Sistemi ad aria compress, compressori e pompe	Installazione di pompe e compressori ad alta efficienza	[2]
Motori	Installare motori elettrici ad alta efficienza (IE2, IE3, IE4)	[2]
Motori	Installare motori a velocità variabile con inverter	[28]
Motori	Sostituzione motori CC con motori AC	[29]

Tabella 21 – Soluzioni di risparmio energetico relative agli impianti ausiliari nel settore plastica.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Raffreddamento	Coibentazione delle tubazioni	[2]
Torri di evaporazione	Installazione di torri di evaporazione ad alta efficienza	[2]
Recupero calore	Installazione di un impianto per il recupero di calore dai fumi della caldaia	[2]
Recupero calore	Installazione di un impianto per il recupero di calore dalla climatizzazione	[2]

Tabella 22 – Soluzioni di risparmio energetico relative a riscaldamento, raffreddamento, recupero calore e cogenerazione nel settore plastica.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Geotermica	Utilizzo dell'energia geotermica per raffreddare l'acqua di processo	[21]

Tabella 23 – Soluzioni di risparmio energetico relative alle fonti rinnovabili nel settore plastica.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Geotermica	Installazione di un impianto che utilizza l'energia geotermica per raffreddare l'acqua di processo	[21]

Tabella 24 – Soluzioni di risparmio energetico relative alle fonti rinnovabili nel settore plastica.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Illuminazione	Sostituzione dell'attuale impianto di illuminazione con un impianto costituito da corpi illuminanti a LED	[2]
Illuminazione	Installazione di sensori di presenza per le lampade led	[2]

Tabella 25 – Soluzioni di risparmio energetico relative ai servizi generali nel settore plastica.

Riferimento Fonte completa

[1]	S. Chinguwa, W. R. Nyemba, K. Boora, and C. Mbohwa, 'Feasibility study of the materials handling and development of a sustainable conveying system in plastics recycling and manufacture', <i>Procedia Manufacturing</i> , vol. 33, pp. 383-390, 2019.
[2]	'Energy Best Practices Guide - Plastics Industry', Focus on Energy, 2024. [Online]. Available: https://assets.focusonenergy.com/production/inline-files/2024/2024-Plastics-Final.pdf
[3]	D. Godec, M. Rujnić-Sokele, and M. Šercer, 'Processing parameters influencing energy efficient injection moulding of plastics and rubbers.', <i>Polimeri</i> , vol. 33, 2012, Accessed: Sep. 05, 2024. [Online]. Available: https://core.ac.uk/download/pdf/34008486.pdf
[4]	D. H. Kokate et al., 'Energy conservation through solar energy assisted dryer for plastic processing industry', <i>Energy Procedia</i> , vol. 54, pp. 376-388, 2014.
[5]	T. Moribe, 'Advanced intermeshing mixers for energy saving and reduction of environmental impact', <i>Mitsubishi Heavy Ind. Tech. Rev.</i> , vol. 49, no. 4, pp. 1-43, 2012.
[6]	L. Qin, Y.-M. Ding, G.-C. Zhu, H.-C. Yu, and W.-M. Yang, 'Heat Flow Analysis and Efficiency Optimization of Rotational Molding Equipment for Large Plastic Products', <i>International Polymer Processing</i> , vol. 30, no. 2, pp. 194-201, May 2015, doi: 10.3139/217.2926.
[7]	D. U. Erbulut, S. H. Masood, H. Senko, and K. Davies, 'Preheating of a poly(ethylene terephthalate) preform for stretch blow molding using microwaves', <i>J of Applied Polymer Sci</i> , vol. 112, no. 3, pp. 1670-1679, May 2009, doi: 10.1002/app.29576.
[8]	Z. Yang, W. Naeem, G. Menary, J. Deng, and K. Li, 'Advanced modelling and optimization of infrared oven in injection stretch blow-moulding for energy saving', <i>IFAC Proceedings Volumes</i> , vol. 47, no. 3, pp. 766-771, 2014.
[9]	S. Luo, X. Yang, X. Tao, Y. Luo, and J. Fu, 'Research on the optimization of a novel municipal solid waste shredder', <i>Journal of Renewable and Sustainable Energy</i> , vol. 5, no. 1, 2013, Accessed: Sep. 05, 2024. [Online]. Available: https://pubs.aip.org/aip/jrse/article/5/1/013111/819235
[10]	C. Abeykoon, A. McMillan, and B. K. Nguyen, 'Energy efficiency in extrusion-related polymer processing: A review of state of the art and potential efficiency improvements', <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> , vol. 147, p. 111219, 2021.

Riferimento Fonte completa

- [11] O. Estrada, J. C. Ortiz, A. Hernández, I. López, F. Chejne, and M. del Pilar Noriega, 'Experimental study of energy performance of grooved feed and grooved plasticating single screw extrusion processes in terms of SEC, theoretical maximum energy efficiency and relative energy efficiency', *Energy*, vol. 194, p. 116879, 2020.
- [12] M. Fiorotto and G. Lucchetta, 'Influence of process parameters on the weld lines formation in rapid heat cycle molding', in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics, 2011, pp. 797-802. Accessed: Sep. 05, 2024. [Online]. Available: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/1353/1/797/818192>
- [13] S. Kruppa, R. Schiffers, M. Würtele, and G. P. Holzinger, 'Integrated process monitoring and process control of injection molding machines and molds', *Proceedings of the SPE/ANTEC 2013*, vol. 1, pp. 1674-1679, 2013.
- [14] G. Lucchetta, D. Masato, and M. Sorgato, 'Optimization of mold thermal control for minimum energy consumption in injection molding of polypropylene parts', *Journal of Cleaner Production*, vol. 182, pp. 217-226, 2018.
- [15] M. Lenzen, 'Antriebsmodul zur Rekuperation bei hydraulischen Linearaktoren an Kunststoffspritzgießmaschinen', PhD Thesis, Duisburg, Essen, Universität Duisburg-Essen, Diss., 2013, 2013. Accessed: Sep. 05, 2024. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/33797657.pdf>
- [16] W. Guilong, Z. Guoqun, L. Huiping, and G. Yanjin, 'Analysis of thermal cycling efficiency and optimal design of heating/cooling systems for rapid heat cycle injection molding process', *Materials & Design*, vol. 31, no. 7, pp. 3426-3441, 2010.
- [17] G. Wang, G. Zhao, and X. Wang, 'Development and evaluation of a new rapid mold heating and cooling method for rapid heat cycle molding', *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 78, pp. 99-111, 2014.
- [18] Y. Huang and G. Yang, 'The applied research of green production technologies based on the production in plastic molding factories', *Energy Procedia*, vol. 14, pp. 247-254, 2012.
- [19] M. D. Monzón, P. Bordón, A. N. Benítez, M. Kearns, P. M. Hernández, and M. D. Marrero, 'Global efficiency of innovative rotational mold directly heated by thermal fluid', *Polymer Engineering & Sci*, vol. 52, no. 9, pp. 1998-2005, Sep. 2012, doi: 10.1002/pen.23139.
- [20] M. McCourt, M. Kearns, P. Martin, and J. Butterfield, 'A Comparison between Conventional and Robotic Rotational Moulding Machines', in *34th International Manufacturing Conference*, 2017, pp. 107-114. Accessed: Sep. 05, 2024. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/J-Butterfield/publication/354787300_A_Comparison_between_Conventional_and_Robotic_Rotational_Moulding_Machines/links/614ca76ba3df59440ba89ef3/A-Comparison-between-Conventional-and-Robotic-Rotational-Moulding-Machines.pdf

Riferimento Fonte completa

- [21] H. Vasudevan, R. Khavkar, and N. Sayed, 'Productivity Improvement in Blow Molding Process Through Energy Savings', in Proceedings of International Conference on Intelligent Manufacturing and Automation, H. Vasudevan, V. K. N. Kottur, and A. A. Raina, Eds., in Lecture Notes in Mechanical Engineering. , Singapore: Springer Singapore, 2020, pp. 167-176. doi: 10.1007/978-981-15-4485-9_18.
- [22] D. Lovrec and V. Tič, 'Energy saving cooling-unit for plastic moulding machine', *Strojniški vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, vol. 57, no. 2, pp. 83-90, 2011.
- [23] M. Längauer, G. Zitzenbacher, C. Burgstaller, and C. Hochenauer, 'Enhanced Infrared Heating of Thermoplastic Composite Sheets for Thermoforming Processes', *International Polymer Processing*, vol. 36, no. 1, pp. 35-43, Mar. 2021, doi: 10.1515/ipp-2020-3923.
- [24] F. M. Schmidt, Y. Le Maout, and S. Monteix, 'Modelling of infrared heating of thermoplastic sheet used in thermoforming process', *Journal of materials processing technology*, vol. 143, pp. 225-231, 2003.
- [25] T. W. Womer, W. S. Smith, and R. P. Wheeler, 'Comparison of two different cooling methods for extrusion processes', *SPE ANTEC technical papers*, pp. 796-801, 2006.
- [26] T. G. Unnikrishnan and P. Kavan, 'A review study in ultrasonic-welding of similar and dissimilar thermoplastic polymers and its composites', *Materials Today: Proceedings*, vol. 56, pp. 3294-3300, 2022.
- [27] M. Marcus, S. Anantharaman, and B. Aldaz, 'Advantages of a Servo-Driven Ultrasonic Welder', in Proceedings of the 71st Annual Technical Conference of the Society of Plastics Engineers (ANTEC 2013), Cincinnati, OH, USA, 2013, pp. 22-24. Accessed: Sep. 06, 2024. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Miranda-Marcus/publication/321035099_Advantages_of_a_Servo-Driven_Ultrasonic_Welder/links/5a09b279a6fdcc8b54781638/Advantages-of-a-Servo-Driven-Ultrasonic-Welder.pdf
- [28] H. Zhang, L. Ren, Y. Gao, and B. Jin, 'A comprehensive study of energy conservation in electric-hydraulic injection-molding equipment', *Energies*, vol. 10, no. 11, p. 1768, 2017.
- [29] S. Barlow, 'Reducing electrical energy costs for extrusion processes', *SPE ANTEC technical papers*, pp. 1157-62, 2009.

Tabella 26 - Riferimenti bibliografici considerati per l'individuazione di soluzioni di risparmio energetico nel settore plastica.

7.2.2 Soluzioni "energy-saving" per il settore immobiliare

La ricerca di letteratura inerente al settore immobiliare ha individuato 28 documenti pertinenti, con 36 soluzioni di efficientamento energetico classificate per area di intervento (e.g., involucro edilizio, impianti di servizio). Le soluzioni dettagliate sono riportate nelle Tabelle 27-33, mentre i riferimenti bibliografici sono elencati in Tabella 34.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Corpi illuminanti	Installazione di un sistema di illuminazione più efficiente a LED (relamping LED)	[30]
Sensori di presenza	Installazione di sensori di presenza	[31]
Corpi illuminanti	Rimozione di fonti luminose in eccesso dove possibile (delamping)	[30]
Corpi illuminanti e sensori di presenza	Installazione di un sistema di illuminazione più efficiente a LED (relamping LED) e installazione di sensori di presenza	[30], [31]
Sistema gestione e controllo luci	Installazione di sistemi di controllo predittivi per l'illuminazione	[32]
Gestione e controllo	Miglioramento della gestione dei trasformatori nella ripartizione dei carichi e dei periodi di funzionamento per la massimizzazione dell'efficienza	[32]
Power Quality	Installazione di un Controllo di potenza attivo (Active Power Control) per garantire il risparmio energetico desiderato	[33]

Tabella 27 – Soluzioni di risparmio energetico relative a illuminazione e impianti elettrici nel settore immobiliare.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Impianti termici	Regolazione set-point e definizione di zone termiche (o thermal comfort control) mediante tecniche di previsione	[34]-[38]
Gruppo frigorifero	Installazione di un gruppo frigorifero con sistema di controllo intelligente	[31]
Gruppo frigorifero	Installazione di un gruppo frigorifero con sistema di raffreddamento adiabatico	[31]
Gruppo frigorifero	Installazione di un sistema esterno a pompa di calore integrata con liquido essiccante e raffreddamento evaporativo assistito	[39]
Trattamento aria	Installazione di un sistema esterno dedicato di trattamento aria con sistema parallelo (Dedicated Outdoor Air System, DOAS)	[39]
Trattamento aria	Installazione di raffreddamento radiante e di un sistema esterno dedicato di trattamento aria con sistema parallelo (Dedicated Outdoor Air System, DOAS)	[40]
Trattamento aria	Installazione di raffreddamento radiante, di un sistema esterno dedicato di trattamento aria con sistema parallelo (Dedicated Outdoor Air System, DOAS) e di una ruota di recupero energetico (energy recovery wheel, ERW)	[40]
Trattamento aria	Installazione di un sistema di controllo e schedulazione per le unità aria esterne (Outdoor Air Units, OAU)	[2]
Raffreddamento acqua	Installazione di un sistema di raffreddamento dell'acqua basato sulla differenza di temperatura (chilled water temperature difference)	[41]

Tabella 28 – Soluzioni di risparmio energetico relative a riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria nel settore immobiliare.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Infissi	Sostituzione degli infissi con infissi più efficienti	[42]
Infissi	Installazione di finestre capaci di convertire l'energia della radiazione solare in corrente elettrica	[43]
Infissi	Installazione di finestre laminate	[44]
Infissi	Installazione di finestre isolate (ventilazione ibrida)	[44]
Infissi	Installazione di finestre intelligenti basate sul comfort termico	[44]
Infissi	Installazione di finestre elettrocromatiche (opache per bloccare la radiazione)	[45]
Sistemi di ombreggiamento	Installazione sistemi di ombreggiamento fissi o dinamici	[46],[47]
Sistemi di ombreggiamento	Installazione di sistemi di ombreggiamento con impianti fotovoltaici	[47]
Facciata e pareti	Installazione di una facciata ventilata (e.g., a doppia pelle o curtain wall)	[48],[49]
Facciata e pareti	Installazione di sistemi di isolamento regolabili (switchable insulation system)	[47]
Facciata e pareti	Installazione di sistemi di isolamento interno (isolamento termico delle pareti)	[42]
Tetto	Installazione di un sistema cool roof dinamico	[47]

Tabella 29 - Soluzioni di risparmio energetico relative all'involucro edilizio nel settore immobiliare.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Recuperatore di calore	Installazione di un recuperatore di calore derivante dalla combinazione di uno scambiatore di calore sensibile (sensible heat exchanger, SHX) e di uno scambiatore di calore latente a membrana a fibre cave (hollow fiber membrane-based latent heat exchanger, M-LHX)	[50]

Tabella 30 - Soluzioni di risparmio energetico relative alla generazione di calore nel settore immobiliare.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Gestionale	Installazione di un Building Energy Management System o definizione di un sistema di misura per l'energy management	[51]

Tabella 31 - Soluzioni di risparmio energetico relative ai sistemi gestionali e monitoraggio nel settore immobiliare.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Ventilatori	Ottimizzazione di utilizzo e controllo dei ventilatori	[52]
Motori	Installazione di motori ad alta efficienza o installazione di inverter per l'Unità di Trattamento Aria (UTA)	[53]

Tabella 32 - Soluzioni di risparmio energetico relative agli impianti ausiliari nel settore immobiliare.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Pompa geotermica	Installazione di una pompa di calore geotermica	[54]
Direct Ground Cooling	Installazione di un sistema direct ground cooling	[55]
Fotovoltaico	Installazione di un impianto fotovoltaico	[31],[56]
Solare termico	Installazione di un impianto solare termico	[57]

Tabella 33 - Soluzioni di risparmio energetico relative alle fonti rinnovabili nel settore immobiliare.

Riferimento Fonte completa

- [30] M. F. M. Ab Halim, M. F. Yaakub, M. H. Harun, K. A. M. Annuar, F. H. M. Basar, and M. N. Omar, 'An analysis of energy saving through delamping method', *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 9, no. 3, pp. 1569–1575, 2019.
- [31] M. Asif, W. Ahmed, and A. Alazazmeh, 'Energy performance assessment of a post-retrofit office building using measurement and verification protocol: A case study from KSA', *Energy Reports*, vol. 9, pp. 1366–1379, 2023.
- [32] M. Ghita, R. A. Cajo Diaz, I. R. Birs, D. Copot, and C. M. Ionescu, 'Ergonomic and economic office light level control', *Energies*, vol. 15, no. 3, p. 734, 2022.
- [33] S. Roy and M. Krames, 'Active Power Control of Retrofit LED Tube Lamps for Achieving Entitled Energy Savings in View of the EU Ban on Mercury', *Sustainability*, vol. 14, no. 16, p. 10062, 2022.
- [34] H. Sun et al., 'Energy consumption optimization of building air conditioning system via combining the parallel temporal convolutional neural network and adaptive opposition-learning chimp algorithm', *Energy*, vol. 259, p. 125029, 2022.
- [35] T.-J. G. Chen et al., 'Effects of weather forecasting on indoor comfort and energy savings in office buildings', *Building and Environment*, vol. 221, p. 109280, 2022.
- [36] K. O. Amoabeng, R. Opoku, S. Boahen, and G. Y. Obeng, 'Analysis of indoor set-point temperature of split-type ACs on thermal comfort and energy savings for office buildings in hot-humid climates', *Energy and Built Environment*, vol. 4, no. 3, pp. 368–376, 2023.
- [37] W. Li, C. Koo, T. Hong, J. Oh, S. H. Cha, and S. Wang, 'A novel operation approach for the energy efficiency improvement of the HVAC system in office spaces through real-time big data analytics', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 127, p. 109885, 2020.
- [38] J. C. Jacob, D. Pandit, and J. Sen, 'Energy-saving potential in Indian open-plan offices using Micro-Zonal Occupant Centric Control (MZOCC)', *Energy and Buildings*, vol. 282, p. 112799, 2023.
- [39] S. Liu, S.-T. No, and J.-W. Jeong, 'Energy performance comparison between liquid-desiccant-assisted air conditioning system and dedicated outdoor air system in different climatic regions', *Energies*, vol. 12, no. 9, p. 1798, 2019.
- [40] Y. Khan, M. Bhandari, and J. Mathur, 'Energy-saving potential of a radiant cooling system in different climate zones of India', *Science and Technology for the Built Environment*, vol. 24, no. 4, pp. 356–370, Apr. 2018, doi: 10.1080/23744731.2017.1348140.
- [41] Z. Chen, Y. Chen, and C. Yang, 'Impacts of large chilled water temperature difference on thermal comfort, equipment sizes, and energy saving potential', *Journal of Building Engineering*, vol. 49, p. 104069, 2022.

Riferimento Fonte completa

- [42] G. Galbiati, F. Medici, F. Graf, and G. Marino, 'Methodology for energy retrofitting of Modern Architecture. The case study of the Olivetti office building in the UNESCO site of Ivrea', *Journal of Building Engineering*, vol. 44, p. 103378, 2021.
- [43] A. Mesloub, A. Ghosh, G. A. Albaqawy, E. Noaime, and B. M. Alsolami, 'Energy and daylighting evaluation of integrated semitransparent photovoltaic windows with internal light shelves in open-office buildings', *Advances in Civil Engineering*, vol. 2020, pp. 1-21, 2020.
- [44] E. H. Suzuki, F. C. Lofrano, F. A. Kurokawa, R. T. Prado, and B. C. Leite, 'Decision-making process for thermal comfort and energy efficiency optimization coupling smart-window and natural ventilation in the warm and hot climates', *Energy and Buildings*, vol. 266, p. 112110, 2022.
- [45] I. M. Budaiwi and M. Abdul Fasi, 'Assessing the Energy-Saving Potential and Visual Comfort of Electrochromic Smart Windows in Office Buildings: A Case Study in Dhahran, Saudi Arabia', *Sustainability*, vol. 15, no. 12, p. 9632, 2023.
- [46] S. G. Koç and S. M. Kalfa, 'The effects of shading devices on office building energy performance in Mediterranean climate regions', *Journal of Building Engineering*, vol. 44, p. 102653, 2021.
- [47] A. H. Dehwah and M. Krarti, 'Energy performance of integrated adaptive envelope technologies for commercial buildings', *Journal of Building Engineering*, vol. 63, p. 105535, 2023.
- [48] G. Aruta, F. Ascione, N. Bianco, T. Iovane, and G. M. Mauro, 'A responsive double-skin façade for the retrofit of existing buildings: Analysis on an office building in a Mediterranean climate', *Energy and Buildings*, vol. 284, p. 112850, 2023.
- [49] X. Kong, Y. Ren, J. Ren, S. Duan, and C. Guo, 'Energy-saving performance of respiration-type double-layer glass curtain wall system in different climate zones of China: Experiment and simulation', *Energy and Buildings*, vol. 252, p. 111464, 2021.
- [50] H.-J. Cho, S.-Y. Cheon, and J.-W. Jeong, 'Energy saving potential of latent heat exchanger-integrated dual core energy recovery ventilator', *Applied Thermal Engineering*, p. 120989, 2023.
- [51] J. Mastelic, L. Emery, D. Previdoli, L. Papilloud, F. Cimmino, and S. Genoud, 'Energy management in a public building: A case study co-designing the building energy management system', in *2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, IEEE, 2017, pp. 1517-1523. Accessed: Dec. 14, 2023. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8280062/>
- [52] Z. Tian, B. Si, Y. Wu, X. Zhou, and X. Shi, 'Multi-objective optimization model predictive dispatch precooling and ceiling fans in office buildings under different summer weather conditions', *Build. Simul.*, vol. 12, no. 6, pp. 999-1012, Dec. 2019, doi: 10.1007/s12273-019-0543-3.

Riferimento Fonte completa

- [53] D. Zhang et al., 'The precision motor losses-based real-time optimal control method for air-conditioning system considering energy saving and thermal comfort', *Applied Thermal Engineering*, vol. 233, p. 121199, 2023.
- [54] A. Buscemi, P. Catrini, A. Piacentino, F. Cardona, and D. M. Kumar, 'Energy-saving potential of ground source multiple chillers in simple and hybrid configurations for Mediterranean climates', *Energy Conversion and Management*, vol. 263, p. 115721, 2022.
- [55] T. Arghand, S. Javed, A. Trüschel, and J. Dalenbäck, 'Energy renovation strategies for office buildings using direct ground cooling systems', *Science and Technology for the Built Environment*, vol. 27, no. 7, pp. 874-891, Aug. 2021, doi: 10.1080/23744731.2021.1890520.
- [56] S. I. Noubissie Tientcheu, S. P. Chowdhury, and T. O. Olwal, 'Intelligent energy management strategy for automated office buildings', *Energies*, vol. 12, no. 22, p. 4326, 2019.
- [57] C. Shen, K. Zheng, C. Ruan, G. Lv, and M. Eftekhari, 'Operation strategy and energy-saving of the solar lighting/heating system through spectral splitting', *Energy and Built Environment*, vol. 4, no. 3, pp. 270-280, 2023.

Tabella 34 – Riferimenti bibliografici considerati per l'individuazione di soluzioni di risparmio energetico nel settore immobiliare.

7.2.3 Soluzioni "energy-saving" per il settore alberghiero

La ricerca di letteratura inerente al settore alberghiero ha individuato 2 soli documenti pertinenti, con 15 soluzioni di efficientamento energetico classificate per area di intervento (e.g., involucro edilizio, impianti di servizio). Le soluzioni dettagliate sono riportate nelle Tabelle 35-41, mentre i riferimenti bibliografici sono elencati in Tabella 42. Si sottolinea comunque come per il settore alberghiero si possa fare riferimento a molte soluzioni riportate per il settore immobiliare.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Corpi illuminanti	Installazione di un sistema di illuminazione più efficiente (relamping)	[58]
Corpi illuminanti	Installazione di un sistema di illuminazione più efficiente a LED (relamping LED)	[58]
Corpi illuminanti	Installazione di un sistema avanzato di controllo dell'illuminazione	[58]
Sensori di presenza	Installazione di sensori di presenza	[58]

Tabella 35 – Soluzioni di risparmio energetico relative a illuminazione e impianti elettrici nel settore alberghiero.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Climatizzazione	Installazione di un sistema intelligente (e.g., intelligenza artificiale) per il condizionamento	[58]
Climatizzazione	Installazione di un sistema di condizionamento efficiente e multi-connesso	[58]
Climatizzazione	Installazione di un sistema start & stop per le torri di raffreddamento	[58]

Tabella 36 – Soluzioni di risparmio energetico relative alla climatizzazione nel settore alberghiero.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Cucine	Installazione di cucine più efficienti	[58]

Tabella 37 – Soluzioni di risparmio energetico relative alle cucine nel settore alberghiero.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Infissi	Installazione di pellicole a controllo solare	[58]
Infissi	Sostituzione degli infissi con infissi più efficienti	[58]
Sistemi di ombreggiamento	Installazione di sistemi di ombreggiamento	[59]

Tabella 38 – Soluzioni di risparmio energetico relative all'involucro edilizio nel settore alberghiero.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Sistema di monitoraggio	Installazione sistema di monitoraggio per energia termica e/o elettrica	[58]

Tabella 39 – Soluzioni di risparmio energetico relative ai sistemi di monitoraggio nel settore alberghiero.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Pompe	Installazione di pompe più efficienti per la centrale termica	[58]
Pompe	Installazione di pompe per la circolazione dell'acqua a flusso variabile	[58]

Tabella 40 – Soluzioni di risparmio energetico relative agli impianti ausiliari nel settore alberghiero.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Impianto solare termico	Installazione di un impianto solare termico per l'acqua calda sanitaria	[58]

Tabella 41 – Soluzioni di risparmio energetico relative alle fonti rinnovabili nel settore alberghiero.

Riferimento Fonte completa

- [58] Y. Wang, L. Dong, and H. Li, 'Economic Evaluation of Energy-Saving Retrofit of Existing Hotels', *Energies*, vol. 15, no. 3, p. 757, 2022.
- [59] W. K. Alhuwayil, M. A. Mujeebu, and A. M. M. Algarny, 'Impact of external shading strategy on energy performance of multi-story hotel building in hot-humid climate', *Energy*, vol. 169, pp. 1166-1174, 2019.

Tabella 42 – Riferimenti bibliografici considerati per l'individuazione di soluzioni di risparmio energetico nel settore alberghiero.

7.2.4 Soluzioni "energy-saving" per il settore aeroporti

La ricerca di letteratura inerente al settore aeroporti ha individuato 13 documenti pertinenti, con 22 soluzioni di efficientamento energetico classificate per area di intervento (e.g., illuminazione, climatizzazione). Le soluzioni dettagliate sono riportate nelle Tabelle 43-50, mentre i riferimenti bibliografici sono elencati in Tabella 51.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Corpi illuminanti	Installazione di apparecchi a LED dimmerabili al posto di quelli esistenti	[60]
Corpi illuminanti	Relamping con LED	[60]
Sensori di presenza	Installazione di sensori di presenza/movimento/illuminazione per una corretta gestione dei flussi luminosi	[61]
Sistema di gestione corpi illuminanti	Installazione di sistemi di gestione dell'illuminazione automatizzati	[62]
AVL	Aggiornamento del sistema AVL (Aiuti Visuali Luminosi) del sito con l'installazione di apparecchi a LED	[60]
Power Quality	Ottimizzazione della regolazione della tensione	[63]

Tabella 43 – Soluzioni di risparmio energetico relative a illuminazione e impianti elettrici nel settore aeroporti.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Gruppo frigo	Integrazione e ottimizzazione del controllo del sistema di acqua refrigerata	[64]
Gruppo frigo	Installazione sistema di utilizzo delle acque sotterranee per il raffreddamento	[63]
Gruppo frigo	Installazione sistema di utilizzo ottimale di chiller e dei sistemi di acqua refrigerata in base al carico di raffreddamento	[63]

Tabella 44 – Soluzioni di risparmio energetico relative alla climatizzazione nel settore aeroporti.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Movimentazione bagagli	Installazione di sistemi di movimentazione efficienti per carico e scarico di bagagli	[63]
Movimentazione passeggeri	Installazione sistemi di movimentazione efficienti per imbarco e sbarco dei passeggeri	[63]
Sensori	Installazione controlli sensoriali su sistemi di movimentazione persone (tapis roulant, scale mobili)	[65]

Tabella 45 – Soluzioni di risparmio energetico relative alla movimentazione di persone e bagagli nel settore aeroporti.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Recuperatore di calore	Installazione sistemi di recupero del calore con doppia batteria accoppiata al raffreddamento evaporativo indiretto	[67]

Tabella 46 – Soluzioni di risparmio energetico relative alla generazione di calore nel settore aeroporti.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Pista	Installazione sistema di pavimentazione riscaldata antigelo per pista aeroportuale utilizzando energia solare	[68]
Pista	Installazione sistema di pavimentazione idronica per lo scioglimento della neve	[69]

Tabella 47 – Soluzioni di risparmio energetico relative agli elementi strutturali nel settore aeroporti.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Sistema gestionale	Installazione sistema gestione energetica basata sull'architettura negli aeroporti sostenibili	[66]
Sistema monitoraggio	Installazione sistema di monitoraggio del consumo energetico	[63]

Tabella 48 – Soluzioni di risparmio energetico relative a sistemi gestionali e di monitoraggio nel settore aeroporti.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Ventilazione	Installazione di sistemi di ventilazione efficienti	[63]

Tabella 49 – Soluzioni di risparmio energetico relative agli impianti ausiliari nel settore aeroporti.

Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento
Fotovoltaico	Installazione di un sistema fotovoltaico	[63], [67], [70]
Eolico	Installazione di aerogeneratori eolici	[61]
Geotermia	Installazione pompa di calore geotermica	[71]
Solare e biomassa	Utilizzo di altre fonti di energia rinnovabile come biomassa e energia solare	[72]

Tabella 50 – Soluzioni di risparmio energetico relative alle fonti rinnovabili nel settore aeroporti.

Riferimento Fonte completa

[60]	L. C. Lipan, 'Contributing to energy efficiency of lighting systems in an international airport', in 2017 52nd International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Aug. 2017, pp. 1–7. doi: 10.1109/UPEC.2017.8231995.
[61]	K. A. Dotche, A. Akim Salami, K. M. Kodjo, F. Sekyere, and K.-S. Bedja, 'Artificial Neural Network Approach for the Integration of Renewable Energy in Telecommunication Systems', in 2019 IEEE PES/IAS PowerAfrica, Aug. 2019, pp. 279–284. doi: 10.1109/PowerAfrica.2019.8928774.
[62]	B. Yan et al., 'Strategical district cooling system operation in hub airport terminals, a research focusing on COVID-19 pandemic impact', Energy, vol. 255, p. 124478, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.energy.2022.124478.
[63]	G. Baxter, P. Srisaeng, and G. Wild, 'An Assessment of Airport Sustainability, Part 2–Energy Management at Copenhagen Airport', Resources, vol. 7, no. 2, Art. no. 2, Jun. 2018, doi: 10.3390/resources7020032.
[64]	Y. Sun, S. Wang, B. Cui, and M. S. C. Yim, 'Energy performance enhancement of Hong Kong International Airport through chilled water system integration and control optimization', Applied Thermal Engineering, vol. 60, no. 1, pp. 303–315, Oct. 2013, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2013.06.025.
[65]	Y. Huiqun and X. Chunmei, 'Design and Implementation of the Key Technologies for Baggage Handling Control System', in 2010 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, Mar. 2010, pp. 958–961. doi: 10.1109/ICMTMA.2010.197.
[66]	M. P. Uysal and M. Z. Sogut, 'An integrated research for architecture-based energy management in sustainable airports', Energy, vol. 140, pp. 1387–1397, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.05.199.
[67]	M. C. Falvo, F. Santi, R. Acri, and E. Manzan, 'Sustainable airports and NZEB: The real case of Rome International Airport', in 2015 IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), Jun. 2015, pp. 1492–1497. doi: 10.1109/EEEIC.2015.7165392.

Riferimento Fonte completa

- [68] J. Daniels and E. Heymsfield, 'Development of Anti-Icing Airfield Heated Pavement System using Solar Energy', *Transportation Research Record*, vol. 2673, no. 11, pp. 141-149, Nov. 2019, doi: 10.1177/0361198119852067.
- [69] H. Xu, H. Shi, Y. Tan, Q. Ye, and X. Liu, 'Modeling and assessment of operation economic benefits for hydronic snow melting pavement system', *Applied Energy*, vol. 326, p. 119977, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.apenergy.2022.119977.
- [70] P. Radgen and E. Blaustein, 'Compressed air systems in the European Union', Stuttgart: LOG_X, 2001.
- [71] M. H. Banda, K. Nyeinga, and D. Okello, 'Performance evaluation of 830 kWp grid-connected photovoltaic power plant at Kamuzu International Airport-Malawi', *Energy for Sustainable Development*, vol. 51, pp. 50-55, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.esd.2019.05.005.
- [72] J. Zhen, J. Lu, G. Huang, and H. Zhang, 'Groundwater source heat pump application in the heating system of Tibet Plateau airport', *Energy and Buildings*, vol. 136, pp. 33-42, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.12.008.

Tabella 51 – Riferimenti bibliografici considerati per l'individuazione di soluzioni di risparmio energetico nel settore aeroporti.

7.3 Interventi "energy-saving" riportati sulle diagnosi energetiche

Le attività inerenti a questa fase hanno riguardato lo studio delle diagnosi energetiche presentate dalle aziende dei settori considerati. Per ciascuna diagnosi sono stati analizzate le informazioni sugli interventi di efficientamento energetico realizzati nei 4 anni precedenti alla diagnosi (i.e., interventi effettuati) e gli interventi di efficientamento energetico previsti per i 4 anni successivi alla diagnosi (i.e., interventi pianificati). Questa attività ha portato alla definizione degli interventi più comuni, oltre ad ampliare le liste ottenute mediante l'analisi della letteratura. Gli interventi "energy-saving" individuati mediante le diagnosi energetiche sono stati classificati in base alla fase di processo o parte impiantistica-strutturale coinvolta da ciascun intervento.

7.3.1 Interventi "energy-saving" del settore plastica

Per il settore plastica, le diagnosi hanno portato all'individuazione di 65 interventi "energy-saving", di cui 17 già individuati mediante l'analisi della letteratura. La Tabella 52 riporta la sintesi degli interventi effettuati e pianificati riportati sulle diagnosi energetiche, mentre la Figura 4 evidenzia le fasi più popolari in termini di interventi effettuati e pianificati.

Fase	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Movimentazione	Pompaggio granuli	Installazione di un sistema di pompaggio a vuoto e sistema di caduta per il materiale in granuli		1	0
Movimentazione	Muletti	Sostituzione di muletti a gasolio con muletti elettrici		1	1
Movimentazione	Muletti	Installazione di carica batterie per i muletti elettrici ad alta efficienza		2	23
Essiccazione	Essiccatori	Installazione di essiccatori con deumidificazione controllata		1	0
Essiccazione	Essiccatori	Installazione di essiccatori elettrici a resina		0	2
Essiccazione	Essiccatori	Installazione di essiccatori ad aria rigenerata		0	1
Essiccazione	Essiccatori	Installazione di essiccatori a vapore		0	1
Triturazione	Trituratore	Sostituzione di taglierine con granulatori		2	0
Estrusione	Estrusore	Coibentazione della testa di estrusione per ridurre la dispersione di calore	[2]	1	8

Fase	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Estrusione	Estrusore	Sostituzione delle resistenze elettriche tradizionali con resistenze ceramiche o al quarzo		2	1
Estrusione	Estrusore	Installazione di estrusori ad alta efficienza		2	4
Estrusione	Estrusore	Installazione di un sistema di riscaldamento ad induzione	[10]	0	2
Estrusione	Estrusore	Accensione programmata degli estrusori		0	1
Estrusione	Estrusore	Installazione di un sistema di riscaldamento ad infrarossi		1	0
Estrusione	Vite	Installazione di viti e bussole più efficienti		1	1
Estrusione	Pressa iniezione	ad Coibentazione del cilindro della pressa ad iniezione	[2]	2	12
Estrusione	Pressa iniezione	ad Installazione di un sistema di riscaldamento ad infrarossi		0	1
Estrusione	Pressa iniezione	ad Sostituzione delle resistenze elettriche tradizionali con resistenze ceramiche		0	1

Fase	Oggetto soluzione	della	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Estrusione	Pressa iniezione	ad	Installazione di un sistema di riscaldamento ad induzione		0	3
Stampaggio	Pressa iniezione	ad	Sostituzione delle presse idrauliche con presse elettriche	[2],[14]	37	32
Stampaggio	Pressa iniezione	ad	Installazione di stampi pluri-impronta		0	1
Soffiaggio	Soffiatrice		Installazione di soffiatrici ad alta efficienza		0	1
Soffiaggio	Soffiatrice		Sostituzione soffiatrici idrauliche con soffiatrici elettriche		0	2
Termoformatura	Termoformatrice		Installazione di barriere di contenimento per il calore		1	2
Giunzione	Lame		Sostituzione delle vecchie lame in alluminio con lame in alluminio moderne ad alta conducibilità	[2]	0	1
Impianti ausiliari	Sistemi ad aria compressa, compressori e pompe	aria e	Interventi di ricerca e riparazione delle fughe (leak management)		5	163
Impianti ausiliari	Sistemi ad aria compressa, compressori e pompe	aria e	Riduzione della pressione di esercizio	[2]	2	28

Fase	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Impianti ausiliari	Sistemi ad aria compressa, compressori e pompe	aria e Installazione di un accumulatore efficiente per aria compressa		0	1
Impianti ausiliari	Sistemi ad aria compressa, compressori e pompe	aria e Installazione di inverter su compressori, pompe o ventole	[2]	50	68
Impianti ausiliari	Sistemi ad aria compressa, compressori e pompe	aria e Installazione di pompe e compressori ad alta efficienza	[2]	4	4
Impianti ausiliari	Motori	Installare motori elettrici ad alta efficienza (IE2, IE3, IE4)	[2]	6	68
Impianti ausiliari	Motori	Installare motori a velocità variabile con inverter	[28]	11	29
Impianti ausiliari	Motori	Sostituzione motori CC con motori AC	[29]	5	15
Impianti ausiliari	Trasformatori impianto elettrico	e Installazione di trasformatori ad alta efficienza		2	13
Impianti ausiliari	Trasformatori impianto elettrico	e Adozione sistema power quality		0	52
Impianti ausiliari	Trasformatori impianto elettrico	e Intervento di rifasamento		6	55
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Riscaldamento	Sostituzione della caldaia con una più efficiente		1	5

Fase	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Raffreddamento	Installazione di un sistema di raffreddamento free cooling		6	20
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Raffreddamento	Installazione di gruppi frigo ad alta efficienza		32	34
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Raffreddamento	Installazione di un sistema di raffreddamento dry cooling		5	3
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Raffreddamento	Sostituzione chiller aria/acqua con chiller acqua/acqua		1	2
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Raffreddamento	Sostituzione chiller a vite con chiller centrifughi		1	0
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Raffreddamento	Coibentazione delle tubazioni	[2]	0	2
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Produzione vapore, cogenerazione e trigenerazione	Installazione di un generatore di vapore ad alto rendimento		0	3
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Produzione vapore, cogenerazione e trigenerazione	Installazione di un impianto di cogenerazione		1	12
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Produzione vapore, cogenerazione e trigenerazione	Installazione di un impianto di trigenerazione		11	42
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Torri di evaporazione	Installazione di torri di evaporazione ad alta efficienza	[2]	1	1

Fase	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Recupero calore	Installazione di un impianto per il recupero di calore dai compressori		5	42
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Recupero calore	Installazione di un impianto per il recupero di calore dalla linea di estrusione		0	2
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Recupero calore	Installazione di un impianto per il recupero di calore dai gruppi frigoriferi		0	1
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Recupero calore	Installazione di un impianto per il recupero di calore dai fumi di combustione del cogeneratore		0	1
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Recupero calore	Installazione di un impianto per il recupero di calore dalla turbina di scarico		0	1
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Recupero calore	Installazione di un impianto per il recupero di calore dopo il combustore		0	2
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Recupero calore	Installazione di un impianto per il recupero di calore dai fumi della caldaia	[2]	0	2
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Recupero calore	Installazione di un impianto per il recupero di calore dalla climatizzazione	[2]	0	2

Fase	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Fonti rinnovabili	Fotovoltaico	Installazione di un impianto fotovoltaico sulla copertura dello stabilimento		18	179
Fonti rinnovabili	Fotovoltaico	Installazione di un accumulatore di energia per l'energia autoprodotta		0	1
Impianti servizio	di Illuminazione	Sostituzione dell'attuale impianto di illuminazione con un impianto costituito da corpi illuminanti a LED	[2]	97	252
Impianti servizio	di Illuminazione	Installazione di sensori di presenza per le lampade led	[2]	1	13
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Climatizzazione e riscaldamento	Sostituzione caldaia a gasolio con caldaia a GPL		4	1
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Climatizzazione e riscaldamento	Installazione caldaia a condensazione		1	4
Riscaldamento, raffreddamento, generazione calore	Climatizzazione e riscaldamento	Sostituzione caldaia a gas con pompe di calore		4	7
Monitoraggio e controllo	Gestione monitoraggio e	Implementazione di un sistema di gestione dell'energia ISO 50001:2018		400	88

Fase	Oggetto della soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Monitoraggio e controllo	Gestione e installazione di misuratori in numero e caratteristiche idonei al monitoraggio, costruire una base di dati utile per lo studio di azioni di miglioramento dei consumi energetici		54	121
Impianti servizio	di Infissi Coibentazione degli infissi		0	2

Tabella 52 - Interventi "energy-saving" individuati tramite le diagnosi nel settore plastica.

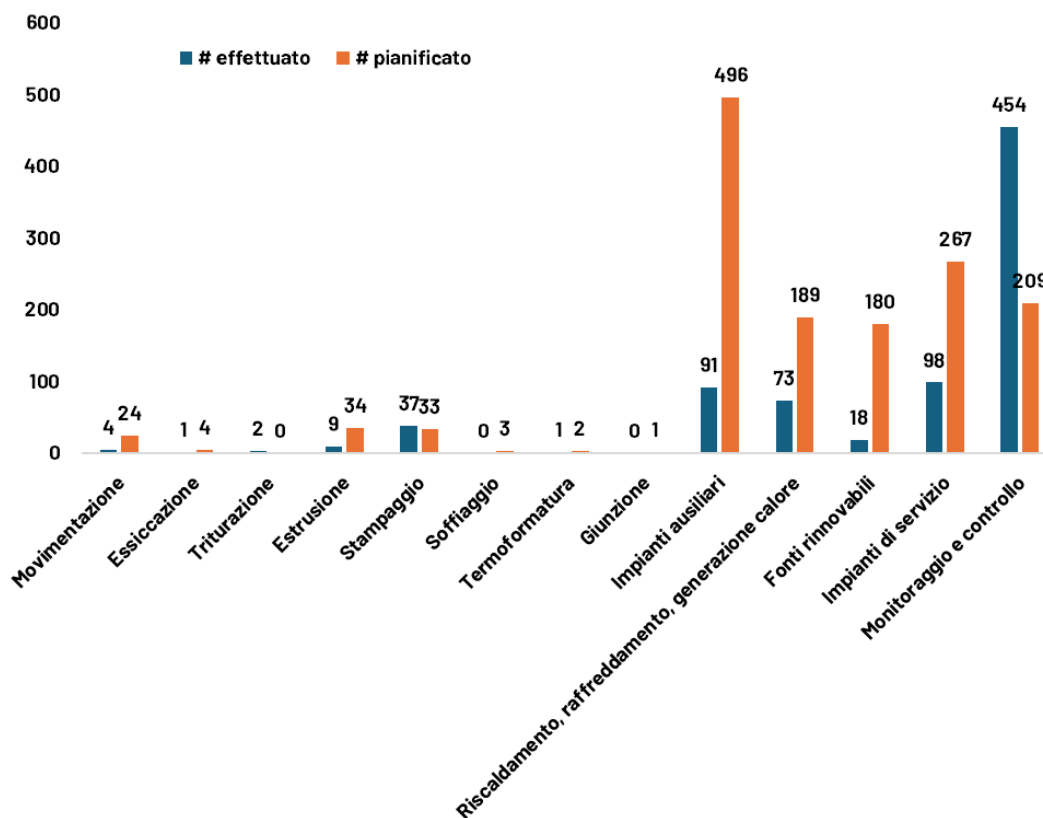


Figura 4 - Numero di interventi effettuati e pianificati per fase di processo riportati sulle diagnosi energetiche del settore plastica.

7.3.2 Interventi "energy-saving" del settore immobiliare

Per il settore immobiliare, le diagnosi hanno portato all'individuazione di 88 interventi "energy-saving", di cui 12 già individuati mediante l'analisi della letteratura. La Tabella 53 riporta la sintesi degli interventi effettuati e pianificati riportati sulle diagnosi energetiche, mentre la Figura 5 evidenzia le fasi più popolari in termini di interventi effettuati e pianificati.

Area	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Illuminazione e impianti elettrici	Corpi illuminanti	Installazione di un sistema di illuminazione più efficiente		2	16
Illuminazione e impianti elettrici	Corpi illuminanti	Installazione di un sistema di illuminazione più efficiente a LED (relamping LED)	[30]	60	194
Illuminazione e impianti elettrici	Sensori di presenza	Installazione di sensori di presenza	[31]	0	43
Illuminazione e impianti elettrici	Corpi illuminanti	Retrofit dell'impianto di illuminazione		7	39
Illuminazione e impianti elettrici	Corpi illuminanti e sensori di presenza	Installazione di un sistema di illuminazione più efficiente a LED (relamping LED) e installazione di sensori di presenza	[30], [31]	3	9
Illuminazione e impianti elettrici	Corpi illuminanti	Revisione dei requisiti di comfort, salute e benessere		0	4
Illuminazione e impianti elettrici	Sistema gestione e controllo luci	Installazione di un sistema avanzato di gestione e controllo dell'illuminazione		0	5
Illuminazione e impianti elettrici	Trasformatori	Installazione di trasformatori più efficienti		0	6
Illuminazione e impianti elettrici	Trasformatori	Miglioramento della gestione dei trasformatori		0	6
Illuminazione e impianti elettrici	Trasformatori	Installazione autotrasformatore per controllo di armonica		0	4
Illuminazione e impianti elettrici	Power quality, controllo e gestione	Installazione power quality per energia elettrica (tensione stabile, frequenza costante, assenza di sovratensioni)		0	14

Area	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Illuminazione e impianti elettrici	Power quality, controllo e gestione	Installazione di un gruppo di continuità (uninterruptible power supply, UPS) più efficiente		10	15
Illuminazione e impianti elettrici	Power quality, controllo e gestione	Verifica baseload		0	1
Illuminazione e impianti elettrici	Power quality, controllo e gestione	Efficientamento del sistema di alimentazione elettrica del Centro Elaborazione Dati (CED)		2	4
Illuminazione e impianti elettrici	Power quality, controllo e gestione	Riduzione potenza di picco notturna		0	1
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Impianti termici	Regolazione set-point e definizione di zone termiche (o thermal comfort control) mediante tecniche di previsione	[34]-[38]	0	26
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Impianti termici	Installazione di una caldaia più efficiente		4	10
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Impianti termici	Ottimizzazione del funzionamento della caldaia		0	8
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Impianti termici	Installazione timer di accensione per il boiler		0	1
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Impianti termici	Regolazione della temperatura relativa alla sala Centro Elaborazione Dati (CED)		0	11

Area	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Impianti termici	Adeguamento sistema di termoregolazione		0	1
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Impianti termici	Installazione di un sistema di termoregolazione più efficiente		0	1
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Impianti termici	Installazione di termostati più efficienti		1	1
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Impianti termici	Installazione di una caldaia alimentabile in parte con solare termico e in parte tramite la rete elettrica		1	0
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Impianti termici	Installazione valvole termostatiche		0	1
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Gruppo frigorifero	Installazione di un gruppo frigorifero più efficiente		11	28
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Gruppo frigorifero	Installazione di un sistema di raffreddamento free cooling		3	3
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Trattamento aria	Ottimizzazione dei profili di funzionamento dell'impianto di raffrescamento		1	9

Area	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Gruppo frigorifero	Spegnimento chiller quando non richiesti		0	2
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Impianti termici	Regolazione degli impianti con controllo in potenza e compensazione tramite la temperatura esterna		0	2
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Impianti termici	Conversione impianto termico da gasolio a gas		0	1
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Impianti termici	Installazione di gruppi polivalenti più efficienti		1	1
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Impianti termici	Rinnovamento impianto termico mediante l'installazione di pompe di calore		8	28
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Trattamento aria	Installazione di sistemi di telegestione per gli impianti HVAC		0	2
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Impianti termici	Installazione di un sistema di allacciamento alla rete di teleriscaldamento		1	6
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Impianti termici	Installazione di una centrale termica più efficiente		2	2

Area	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Serbatoio inerziale	Installazione di serbatoi inerziali per il circuito caldo		1	0
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Radiatori elettrici	Sostituzione radiatori elettrici con scaldasalviette di minor potenza assorbita		0	1
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Fancoil	Installazione di fancoil più efficienti		4	7
Riscaldamento, ventilazione, condizionamento e trattamento aria	Torri evaporative	Utilizzo acqua di falda per le torri evaporative		0	1
Impianti servizio	di Ascensori/montacarichi	Installazione di ascensori/montacarichi più efficienti		1	0
Impianti servizio	di Ascensori/montacarichi	Installazione di un recuperatore energetico inerziale sugli ascensori/montacarichi		2	2
Impianti servizio	di Cucina	Sostituzione dei fornelli a gas della cucina con piastre ad induzione ad alta efficienza energetica		1	0
Impianti servizio	di Trattamento/utilizzo acqua e bagni	Installazione o efficientamento circuito osmosi		1	0
Impianti servizio	di Trattamento/utilizzo acqua e bagni	Utilizzo acqua di falda per l'irrigazione		0	1

Area	 Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Impianti servizio	di Trattamento/utilizzo acqua e bagni	Installazione addolcitore per l'acqua di reintegro delle torri di raffreddamento		1	1
Impianti servizio	di Trattamento/utilizzo acqua e bagni	Installazione di rubinetti temporizzati		0	4
Involucro edilizio	Infissi	Installazione di pellicole a controllo solare		7	12
Involucro edilizio	Infissi	Sostituzione degli infissi con infissi più efficienti	[42]	3	5
Involucro edilizio	Sistemi ombreggiamento	di Installazione sistemi di ombreggiamento fissi o dinamici	[46],[47]	1	5
Involucro edilizio	Facciata e pareti	Installazione di una facciata ventilata (e.g., a doppia pelle o curtain wall)	[48],[49]	0	1
Involucro edilizio	Facciata e pareti	Installazione di sistemi di isolamento interno (isolamento termico delle pareti)	[47]	1	13
Involucro edilizio	Edificio generico	Riqualficazione edificio e impianti		6	4
Generazione calore	di Generatori recuperatori di calore	e Sostituzione dei generatori con impianto Variant Refrigerant Flow (VRV)		3	3
Generazione calore	di Generatori recuperatori di calore	e Installazione di un generatore di calore più efficiente		2	10
Generazione calore	di Generatori recuperatori di calore	e Installazione di un generatore a condensazione		0	4
Generazione calore	di Generatori recuperatori di calore	e Installazione di un recuperatore di calore rotativo		0	1

Area	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Generazione calore	di Generatori recuperatori di calore	e Installazione di recuperatori di calore		1	1
Generazione calore	di Cogenerazione trigenerazione	e Realizzazione di un impianto di cogenerazione o efficientamento dell'impianto esistente		2	5
Generazione calore	di Cogenerazione trigenerazione	e Installazione di un impianto di trigenerazione o efficientamento dell'impianto esistente		0	1
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Gestionale/generale	Installazione di un Building Energy Management System o definizione di un sistema di misura per l'energy management	[51]	45	81
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Gestionale/generale	Installazione di un Building Management System		0	1
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Gestionale/generale	Installazione di un Building Automation and Control System (BACS)		1	0
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Gestionale/generale	Definizione e misurazione di indicatori di prestazione energetica (EnPIs)		0	14
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Gestionale/generale	Efficientamento delle postazioni computer		0	7
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Gestionale/generale	Ottimizzazione della programmazione degli impianti di climatizzazione		2	2
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Gestionale/generale	Ottimizzazione della climatizzazione delle infrastrutture informatiche		0	3

Area	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Gestionale/generale	Regolazione on/off degli impianti elettrici e termici		1	9
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Gestionale/generale	Installazione di un sistema di supervisione più efficiente		0	4
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Gestionale/generale	Accreditamento ISO 50001		0	22
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Gestionale/generale	Formazione e sensibilizzazione del personale		0	55
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Gestionale/generale	Installazione di sistemi di automazione per gli impianti termici ed energetici		6	6
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Sistema di monitoraggio	Ampliamento sistema di monitoraggio		0	5
Impianti ausiliari	Pompe	Installazione di pompe più efficienti per le acque nere		2	0
Impianti ausiliari	Pompe	Ottimizzazione pompe di distribuzione		0	8
Impianti ausiliari	Pompe	Installazione di pompe a giri variabili		0	4
Impianti ausiliari	Pompe	Inverter su pompe sistema di condizionamento		0	7
Impianti ausiliari	Ventilatori	Inverter su ventilatore torre raffreddamento		0	1
Impianti ausiliari	Ventilatori	Installazione di ventilatori più efficienti o di inverter per i ventilatori delle torri evaporative		2	6

Area	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Impianti ausiliari	Motori	Installazione di motori ad alta efficienza o installazione di inverter per l'Unità di Trattamento Aria (UTA)	[53]	12	42
Impianti ausiliari	Motori elettrici	Manutenzione dei motori per ripristinare le condizioni di funzionamento iniziale		0	9
Impianti ausiliari	Motori elettrici	Installazione di motori ad alta efficienza		0	11
Fonti rinnovabili	Veicoli	Sostituzione flotta aziendale con flotta più efficiente		0	1
Fonti rinnovabili	Veicoli	Installazione colonnine per la ricarica di vetture elettriche		0	1
Fonti rinnovabili	Veicoli	Passaggio canone noleggio auto da Diesel o Benzina a Ibride/Benzina		0	1
Fonti rinnovabili	Impianto fotovoltaico e solare	Installazione di un impianto fotovoltaico	[31],[56]	3	31
Fonti rinnovabili	Impianto fotovoltaico e solare	Revamping impianto fotovoltaico		0	8
Fonti rinnovabili	Impianto fotovoltaico e solare	Installazione di un impianto solare termico	[57]	0	2

Tabella 53 - Interventi "energy-saving" individuati tramite le diagnosi nel settore immobiliare.

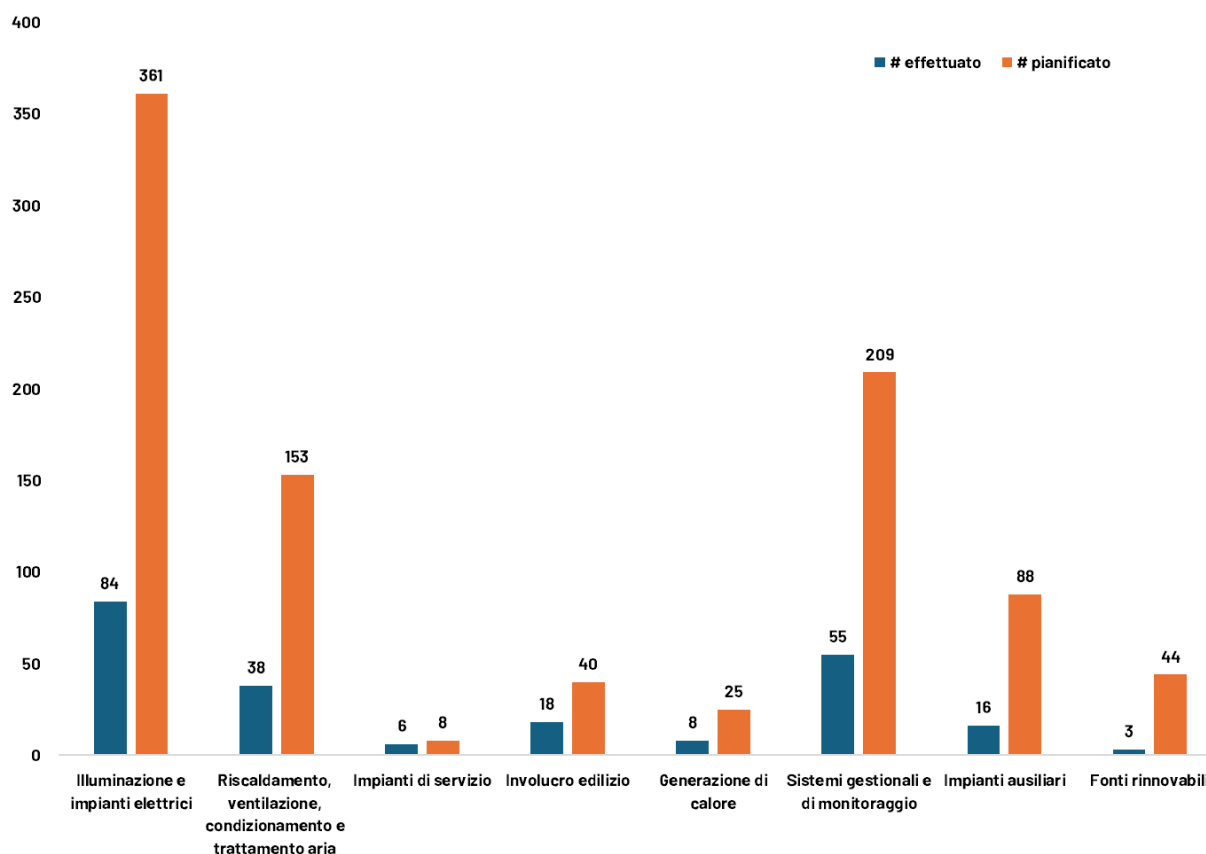


Figura 5 – Numero di interventi effettuati e pianificati per area di intervento riportati sulle diagnosi energetiche del settore immobiliare.

7.3.3 Interventi “energy-saving” del settore alberghiero

Per il settore alberghiero, le diagnosi hanno portato all’individuazione di 48 interventi “energy-saving”, di cui 8 già individuati mediante l’analisi della letteratura. La Tabella 54 riporta la sintesi degli interventi effettuati e pianificati riportati sulle diagnosi energetiche, mentre la Figura 6 evidenzia le fasi più popolari in termini di interventi effettuati e pianificati.

Area	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Illuminazione e impianti elettrici	Corpi illuminanti	Installazione di un sistema di illuminazione più efficiente	[58]	6	10
Illuminazione e impianti elettrici	Corpi illuminanti	Installazione di un sistema di illuminazione più efficiente a LED	[58]	19	32
Illuminazione e impianti elettrici	Sensori di presenza	Installazione di sensori di presenza	[58]	0	3
Illuminazione e impianti elettrici	Sistema di controllo	Installazione di un sistema avanzato di controllo dell’illuminazione		0	2

Area	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Illuminazione e impianti elettrici	Power Quality	Installazione power quality per energia elettrica (tensione stabile, frequenza costante, assenza di sovratensioni)		1	9
Illuminazione e impianti elettrici	Power Quality	Migliorare la gestione dei trasformatori di media		0	6
Riscaldamento, raffreddamento e trattamento aria	Climatizzazione	Installazione di un sistema di controllo smart room (sensoristica)		0	3
Riscaldamento, raffreddamento e trattamento aria	Gruppo frigo	Installazione di un gruppo frigo più efficiente		3	5
Riscaldamento, raffreddamento e trattamento aria	Trattamento aria	Installazione di elettrofiltri efficienti per l'Unità di Trattamento Aria (UTA)		0	2
Riscaldamento, raffreddamento e trattamento aria	Climatizzazione	Installazione di un depuratore più efficiente		0	1
Riscaldamento, raffreddamento e trattamento aria	Climatizzazione	Installazione di un sistema di controllo dinamico della condensazione		0	1
Riscaldamento, raffreddamento e trattamento aria	Acqua calda sanitaria	Installazione di un impianto avanzato per la regolazione della temperatura dell'Acqua Calda Sanitaria (ACS) - desurriscaldatore		1	2
Riscaldamento, raffreddamento e trattamento aria	Climatizzazione	Installazione di una caldaia più efficiente		1	8

Area	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Riscaldamento, raffreddamento e trattamento aria	Recupero calore	Installazione di un sistema per recuperare calore dall'acqua di rinnovo		0	1
Riscaldamento, raffreddamento e trattamento aria	Climatizzazione	Installazione di un sistema di regolazione della temperatura di setpoint		0	1
Riscaldamento, raffreddamento e trattamento aria	Climatizzazione	Installazione di un sistema di riscaldamento a lama d'aria per l'ingresso principale		0	3
Climatizzazione e trattamento aria	Climatizzazione	Installazione di un sistema di teleriscaldamento		0	1
Servizi generali	Piscine	Riduzione temperatura piscine		0	2
Servizi generali	Piscine	Spegnimento pompe filtro piscine fuori orario		0	1
Servizi generali	Piscine	Installazione copertura isotermica delle piscine		0	1
Servizi generali	Camere	Riqualificazione interna delle camere		1	0
Servizi generali	Cucine	Sostituzione fuochi delle cucine con nuove piastre ad induzione ad alta efficienza		4	0
Servizi generali	Cucine	Installazione di estrattori a portata variabile con sensori di fumo e calore		0	1
Involucro edilizio	Infissi	Installazione pellicole a controllo solare	[58]	0	2
Involucro edilizio	Infissi	Sostituzione degli infissi con infissi più efficienti	[58]	3	2

Area	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Involucro edilizio	Infissi	Installazione sistema di schermatura automatizzata di tende esterne		0	3
Involucro edilizio	Infissi	Sostituzione dei corpi vetrati con corpi vetrati più efficienti		1	2
Generazione calore	di Generatore di calore	Installazione di generatori di calore ad alta efficienza		0	1
Generazione calore	di Cogenerazione	Installazione di un impianto di cogenerazione		0	15
Generazione calore	di Cogenerazione	Regolazione efficiente dell'utilizzo dei cogeneratori		0	1
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Sistema di monitoraggio	Estensione del sistema di monitoraggio con software di controllo		0	4
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Sistema di monitoraggio	Installazione sistema di monitoraggio per energia termica e/o elettrica	[58]	4	17
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Sistema di gestione	Installazione Building Management System (BMS)		0	13
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Sistema di monitoraggio	Implementazione sistema gestione energia ISO 50001 con sistema di monitoraggio		1	9
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Sistema di monitoraggio	Installazione sistema di monitoraggio del gas naturale		0	1
Impianti ausiliari	Pompe	Installazione di pompe più efficienti per la centrale termica	[58]	2	7

Area	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Impianti ausiliari	Motori	Installazione di inverter per l'Unità di Trattamento Aria (UTA)		1	18
Impianti ausiliari	Motori	Installazione di motori ad alta efficienza per le UTA		1	13
Impianti ausiliari	Torri di raffreddamento	Installazione di inverter per le torri di raffreddamento		0	1
Impianti ausiliari	Pompe	Installazione di inverter sui gruppi di pompaggio primari		0	11
Impianti ausiliari	Estrattori	Installazione di estrattori con inverter per le cappe della cucina		0	1
Impianti ausiliari	Motori	Installazione di motori ad alta efficienza per le celle frigo		0	1
Impianti ausiliari	Pompe	Installazione di inverter per le pompe di sollevamento idrico		0	1
Fonti rinnovabili	Solare termico	Installazione di un impianto solare termico per l'Acqua Calda Sanitaria (ACS)	[58]	1	3
Fonti rinnovabili	Solare fotovoltaico	Installazione di un impianto solare fotovoltaico o ampliamento dell'impianto esistente		1	28
Fonti rinnovabili	Geotermia	Installazione di una pompa di calore geotermica		0	1
Fonti rinnovabili	Veicoli	Sostituzione dei veicoli esistenti con veicoli elettrici		0	1

Tabella 54 - Interventi "energy-saving" individuati tramite le diagnosi nel settore alberghiero.

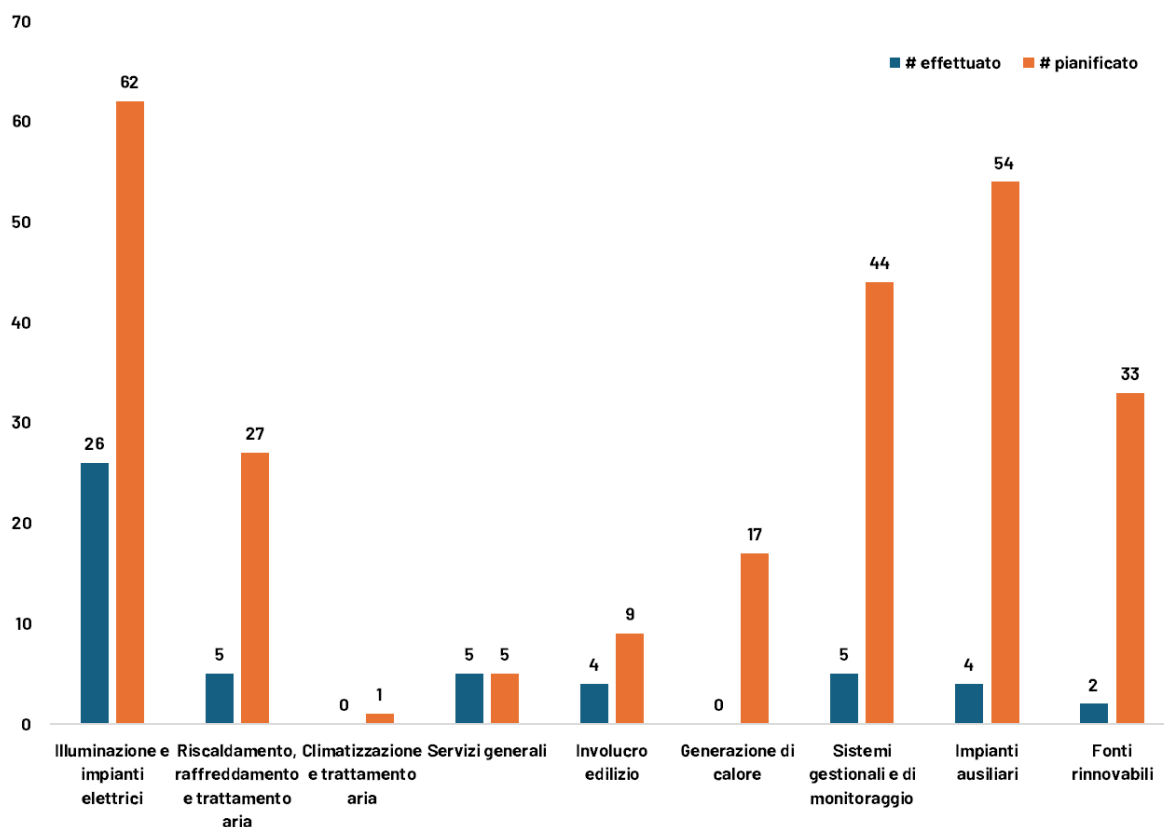


Figura 6 – Numero di interventi effettuati e pianificati per area di intervento riportati sulle diagnosi energetiche del settore alberghiero.

7.3.4 Interventi “energy-saving” del settore aeroporti

Per il settore aeroporti, le diagnosi hanno portato all’individuazione di 57 interventi “energy-saving”, di cui 6 già individuati mediante l’analisi della letteratura. La Tabella 55 riporta la sintesi degli interventi effettuati e pianificati riportati sulle diagnosi energetiche, mentre la Figura 7 evidenzia le fasi più popolari in termini di interventi effettuati e pianificati.

Area	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Illuminazione e impianti elettrici	Corpi illuminanti	Installazione di apparecchi a LED dimmerabili al posto di quelli esistenti	[60]	0	21
Illuminazione e impianti elettrici	Sensori presenza	di Installazione di sensori di presenza/movimento/illuminazione per una corretta gestione dei flussi luminosi	[61]	0	21
Illuminazione e impianti elettrici	Corpi illuminanti	Aggiornamento del sistema AVL (Aiuti Visuali Luminosi) del sito con l’installazione di apparecchi a LED	[60]	0	26
Illuminazione e impianti elettrici	Corpi illuminanti	Relamping con LED	[60]	7	29

Area	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
illuminazione e impianti elettrici	Power Quality	Sostituzione dei UPS esistenti con nuovi UPS dimensionati correttamente		0	11
illuminazione e impianti elettrici	Power Quality	Installazione di dispositivi di stabilizzazione della tensione e riduzione del contenuto armonico posizionati a monte dei quadri principali a bassa tensione		0	2
illuminazione e impianti elettrici	Power Quality	Rifasamento centralizzato del sistema elettrico del sito		0	5
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Impianti termici	Installazione caldaia con pompa di calore		1	0
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Impianti termici	Conversione da diesel a elettricità dei sistemi GPU		0	1
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Impianti termici	Installazione di caldaia a condensazione		0	2
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Impianti termici	Installazione sistema di termoregolazione terminale delle stanze		0	3
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Trattamento aria	Installazione sistema di controllo della qualità dell'aria per i volumi di ingresso dell'aria esterna		0	2
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Trattamento aria	Ricalibrazione dei tassi massimi di flusso di aria esterna		1	0
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Trattamento aria	Introduzione di un sistema idronico per il condizionamento dell'aria invernale ed estivo		1	0
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Trattamento aria	Installazione di nuova UTA alimentata da due gruppi frigo		0	1
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Trattamento aria	Implementazione di un sistema predittivo di gestione UTA del terminal		0	1

Area	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Trattamento aria	Regolazione dell'aria primaria		0	1
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Trattamento aria	Sostituzione UTA con UTA più efficienti		0	1
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Climatizzazione	Installazione sistema di controllo della climatizzazione		0	2
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Climatizzazione	Installazione di valvole a due vie per disattivazione bobina fancoil non in uso operativo		0	3
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Gruppo frigo	Sostituzione delle unità di refrigerazione CFA		1	0
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Gruppo frigo	Supervisione dei sistemi termici di refrigerazione		0	1
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Gruppo frigo	Implementazione di un sistema di free cooling		0	3
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Gruppo frigo	Sostituzione dei chiller esistenti con chiller ad alta efficienza dalla stessa capacità		0	4
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Climatizzazione	Installazione di un sistema idronico a 4 tubi per riscaldamento/condizionamento dell'aria alimentata da una pompa di calore aria/acqua accanto ai chiller esistenti		0	2
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Climatizzazione	Installazione di un sistema idronico a 2 tubi per il condizionamento dell'aria alimentata da una pompa di calore aria/acqua reversibile		0	5
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Pompa di calore	Installazione di una pompa di calore ad alta efficienza		0	6
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Acqua calda sanitaria	Riqualfica tubazione dell'acqua surriscaldata nell'area tecnica		1	0

Area	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Riscaldamento, raffreddamento, trattamento aria	Gruppo frigo	Installazione di chiller centrifugo		0	1
Movimentazione	Sistemi di movimentazione e controllo	Aggiornamento della flotta di veicoli		0	1
Movimentazione	Sensori	Installazione sistema di rilevamento parallelo da sensori Lidar e telecamera dei veicoli per il traino automatico dei bagagli sulle rampe dell'aeroporto		0	1
Elementi strutturali	Infissi	Sostituzione dei corpi in vetro con corpi più isolanti		1	0
Elementi strutturali	Tetto	Ammodernamento tetto		1	0
Elementi strutturali	Tetto	Installazione di pannelli isolanti sul tetto		0	2
Elementi strutturali	Infissi	Sostituzione delle attuali cornici delle finestre con nuove cornici con interruzione termica, doppio vetro e rivestimento a bassa emissività		0	4
Elementi strutturali	Involucro edificio	Costruzione di isolamento termico		0	3
Generazione di calore	Generatore di calore	Sostituzione del generatore di calore con uno più efficiente		1	0
Generazione di calore	Cogenerazione e trigenerazione	Collegamento alla rete di teleriscaldamento/cogenerazione		0	1
Generazione di calore	Recupero di calore	Installazione di unità di recupero calore rotativi giroscopici per alimentazione CTA		0	1
Generazione di calore	Trigenerazione	Installazione di impianto trigenerativo		2	10
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Sistemi gestionali	Installazione sistemi di gestione ottimale delle reti di sistemi termorefrigeranti e delle sottostazioni elettriche		0	1

Area	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Sistemi gestionali	Installazione di sistemi di supervisione e gestione per i sistemi di condizionamento dell'aria		0	1
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Sistema di monitoraggio	Installazione sistema di monitoraggio energetico	[63]	1	4
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Sistema di monitoraggio	Estensione della rete di telecontrollo		0	1
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Sistema di monitoraggio	Implementazione di un piano di misurazione termica sugli UTA		0	1
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Sistema di monitoraggio	Implementazione di un piano di misurazione elettrica		0	1
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Sistema di monitoraggio	Installazione sensori di temperatura e occupazione		0	1
Sistemi gestionali e di monitoraggio	Sistema di monitoraggio	Espansione del sistema di monitoraggio energetico		1	1
Impianti ausiliari	Compressori	Installazione di un compressore centrifugo per chiller acqua-acqua, raffreddato con acqua di torre		0	1
Impianti ausiliari	Pompe	Sostituzione delle pompe esistenti con pompe ad alta efficienza		0	2
Impianti ausiliari	Pompe	Sostituzione delle pompe esistenti con pompe ad azionamento variabile		0	4
Impianti ausiliari	Motori	Installazione di motori ad alta efficienza		0	2
Impianti ausiliari	Motori	Sostituzione dei motori elettrici con nuovi motori ad alta efficienza dotati di inverter o installazione di inverter		0	4
Impianti ausiliari	Ventilatori	Installazione di azionamenti a frequenza variabile sui ventilatori		2	4

Area	Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	# effettuato	# pianificato
Fonti rinnovabili	Fotovoltaico	Installazione di sistema fotovoltaico	[63], [67], [70]	0	34
Fonti rinnovabili	Veicoli	Installazione di stazioni di ricarica per auto elettriche		1	1
Fonti rinnovabili	Solare termico	Installazione di impianto solare termico		1	1

Tabella 55 – Interventi “energy-saving” individuati tramite le diagnosi nel settore aeroporti.

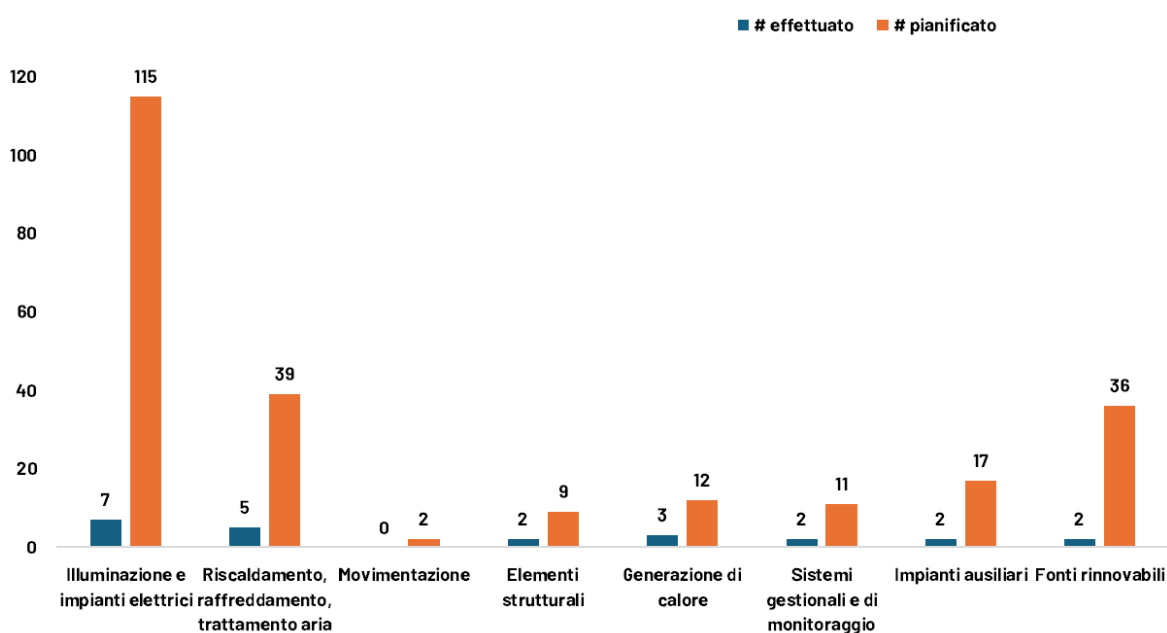


Figura 7 – Numero di interventi effettuati e pianificati per area di intervento riportati sulle diagnosi energetiche del settore aeroporti.

7.4 Utilizzo del Digital Twin

Questa attività è stata condotta mediante ricerche su Scopus per individuare applicazioni e benefici del Digital Twin nei diversi settori. Le ricerche hanno utilizzato combinazioni di parole chiave collegate tramite operatori logici, includendo almeno due aree tematiche: Digital Twin e il settore di riferimento. Sono stati applicati filtri per restringere i risultati ai documenti più pertinenti (e.g., solo in inglese, settore "engineering", ultimi 10 anni). Dopo un primo screening basato su titoli e abstract, i documenti selezionati sono stati ulteriormente revisionati tramite cross-referencing.

I Digital Twin trattati sono anche classificati in base alla tipologia, distinguendo tra: “digital model”, “digital shadow” e “digital twin”. Per i primi lo scambio di dati tra oggetti digitale e fisico è solo manuale. Per i secondi, il flusso di dati dall’oggetto fisico a quello digitale è automatico, ma non viceversa. Per i terzi i flussi di dati tra oggetti fisico e digitale in entrambe le direzioni è automatico. I Digital Twin verranno anche classificati sulla base della struttura che può essere data-based, model-based o ibridi. I primi sono puramente basati sui dati, mentre i

secondi si basano sulla definizione di un modello matematico o simulativo del sistema fisico. Infine, i terzi combinano i primi due.

Le stringhe utilizzate per il settore plastica, immobiliare, alberghiero e aeroporti sono riportati in Tabella 56-59. Invece, in Figura 8-11 viene riportato il flowchart che sintetizza l'attività di ricerca dei documenti per ogni settore.

Area Tematica 1: Digital Twin	Area Tematica 2: settore
"digita twin*"	"*plastic*"

Tabella 56 – Parole chiave per area tematica della stringa di ricerca sull'impiego dei Digital Twin per il settore plastica.

Area Tematica 1: Digital Twin	Area Tematica 2: settore
"digital twin*"	"bank*"
	"office*"

Tabella 57 – Parole chiave per area tematica della stringa di ricerca sull'impiego dei Digital Twin per il settore immobiliare.

Area Tematica 1: Digital Twin	Area Tematica 2: settore
"digital twin*"	"hotel*"
	"hostel*"
	"motel*"

Tabella 58 – Parole chiave per area tematica della stringa di ricerca sull'impiego dei Digital Twin per il settore alberghiero.

Area Tematica 1: Digital Twin	Area Tematica 2: settore
"digital twin*"	"airport*"
	"airfield*"
	"airdrome*"
	"heliport*"

Tabella 59 – Parole chiave per area tematica della stringa di ricerca sull'impiego dei Digital Twin per il settore aeroporti.

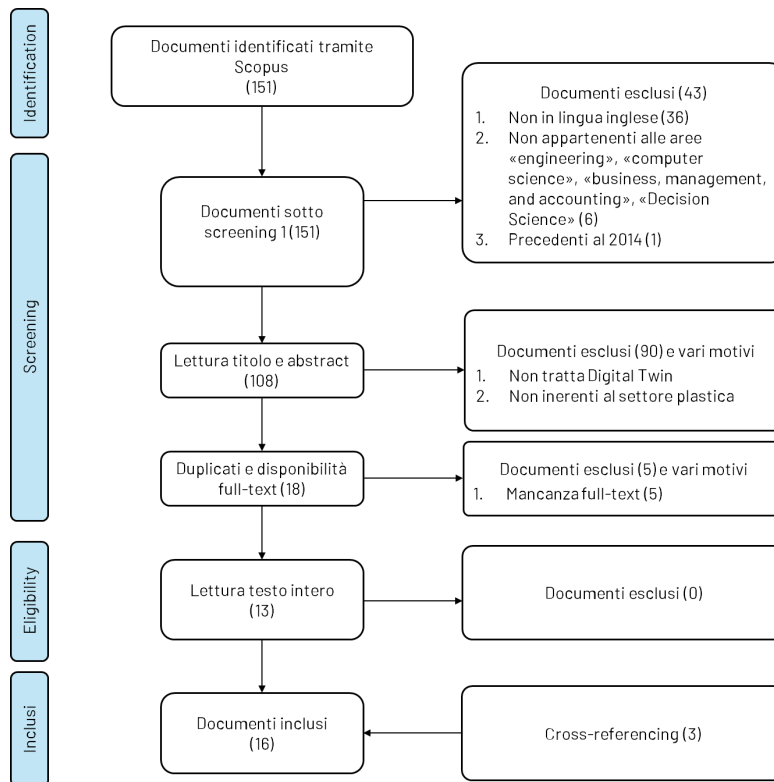


Figura 8 - Flowchart di ricerca adottato per l'individuazione di impieghi del Digital Twin nel settore plastica.

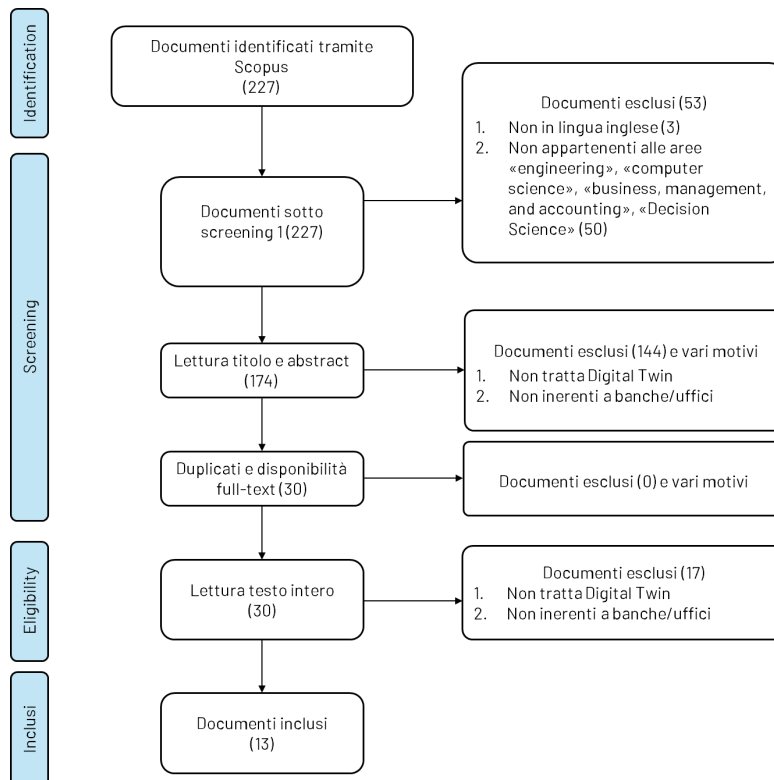


Figura 9 - Flowchart di ricerca adottato per l'individuazione di impieghi del Digital Twin nel settore immobiliare.

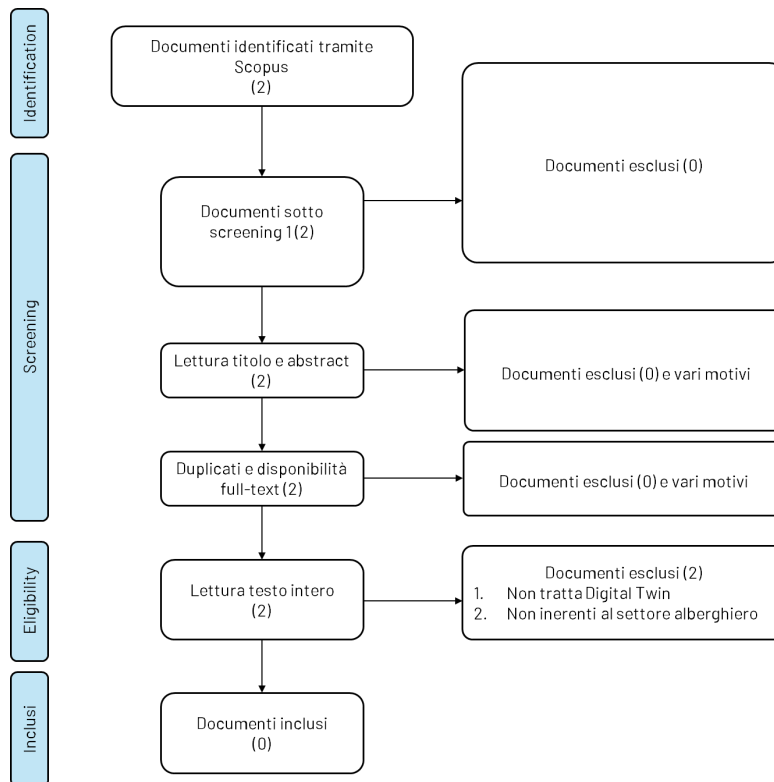


Figura 10 - Flowchart di ricerca adottato per l'individuazione di impieghi del Digital Twin nel settore alberghiero.

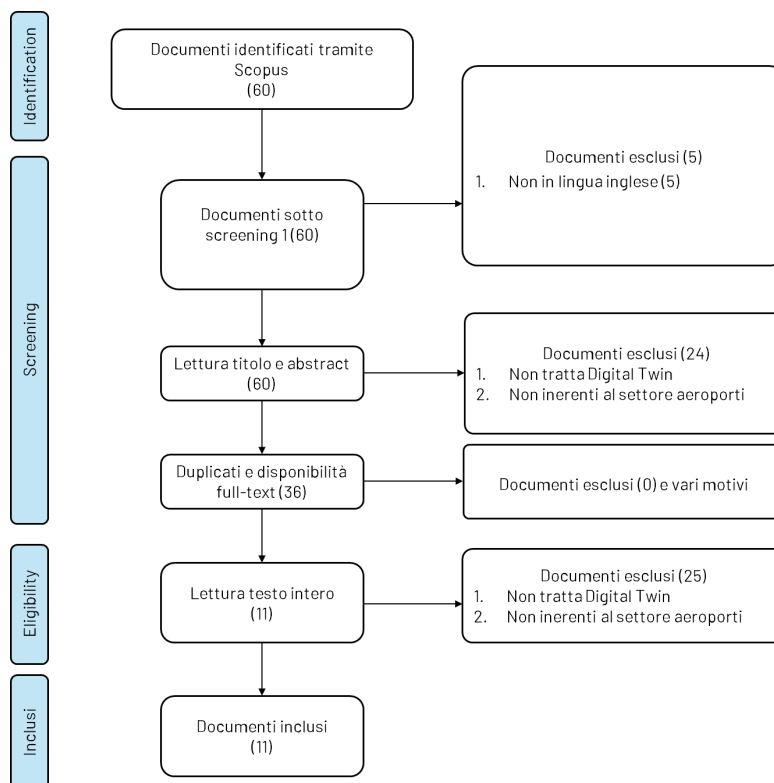


Figura 11 - Flowchart di ricerca adottato per l'individuazione di impieghi del Digital Twin nel settore aeroporti.

Dai risultati emerge che la plastica è il settore maggiormente trattato in letteratura per quanto riguarda l'utilizzo di Digital Twin. Seguono il settore immobiliare e aeroporti, mentre non è trattato il settore alberghiero.

7.4.1 Digital Twin nel settore plastica

L'analisi di letteratura inerente all'utilizzo dei Digital Twin nel settore plastica ha portato all'individuazione di 16 documenti riassunti in Tabella 60. In Figura 12, 13, e 14 vengono sintetizzate altre informazioni rinvenute. Si può notare come tra gli scopi di utilizzo ci sia "Controllo Qualità". Avere un controllo della qualità migliore è utile per ridurre gli scarti e di conseguenza ridurre i consumi energetici. Invece, "Simulazione - previsione" e "Monitoraggio in tempo reale" permettono di risparmiare tempo e ottimizzare i processi. Pertanto, si hanno dei benefici anche in termini di riduzione di consumi energetici. I benefici sopra elencati vengono riportati dai documenti analizzati e sono sintetizzati in Figura 15.

Riferimento	Fonte completa	Tipologia Digital Twin	Scopo	Processo
[73]	Khdoudi, Abdelmoula, Tawfik Masrour, Ibtissam El Hassani, and Choumicha El Mazgualdi. 2024. "A Deep-Reinforcement-Learning-Based Digital Twin for Manufacturing Process Optimization." <i>Systems</i> 12 (2): 38. https://doi.org/10.3390/systems12020038 .	Digital Twin	Controllo Qualità	Stampaggio ad iniezione
[74]	Sarishvili, Alex, Daniel Just, Kevin Moser, Andreas Wirsén, Jan Diemert, and Mats Jirstrand. 2021. "Plastic Extrusion Process Optimization by Digital Twins." <i>Chemie Ingenieur Technik</i> 93 (12): 1949-54. https://doi.org/10.1002/cite.202100093	Digital Twin	Controllo Qualità - Simulazione - previsione	Estrusione
[75]	Bovo, Enrico, Marco Sorgato, and Giovanni Lucchetta. 2023. "Digital Twins for the Rapid Startup of Manufacturing Processes: A Case Study in PVC Tube Extrusion." <i>The International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i> 127 (11-12): 5517-29. https://doi.org/10.1007/s00170-023-11906-z .	Digital Twin	Controllo Qualità - Simulazione - previsione	Estrusione
[76]	Choi, Juyoung, Hyungdo Kim, Taemin Noh, Young-Jin Kang, and Yoojeong Noh. 2023. "Digital Twin Data-Driven Multi-Disciplinary and Multi-Objective Optimization Framework for Automatic Design of Negative Stiffness Honeycomb." <i>Journal of Precision Engineering and Manufacturing</i> 24 (8): 1453-72.	Digital Twin	Simulazione - previsione Monitoraggio in tempo reale	Progettazione

Riferimento	Fonte completa	Tipologia Digital Twin	Scopo	Processo
[77]	Li, Nanya, Guido Link, John Jelonnek, and S.K. Ong. 2023. "Digital Twins towards Microwave-Assisted 3D Printing of Continuous Carbon Fiber Reinforced Composites." <i>Procedia CIRP</i> 119: 158–63. https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.03.088 .	Digital Twin	Monitoraggio in tempo reale	Stampa 3D
[78]	Stieber, Simon, Alwin Hoffmann, Alexander Schiendorfer, Wolfgang Reif, Matthias Beyrle, Jan Faber, Michaela Richter, and Markus Sause. 2020. "Towards Real-Time Process Monitoring and Machine Learning for Manufacturing Composite Structures." In <i>2020 25th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)</i> , 1455–58. Vienna, Austria: IEEE. https://doi.org/10.1109/ETFA46521.2020.9212097 .	Digital Shadow	Controllo Qualità Simulazione - Monitoraggio in tempo reale	Stampaggio ad iniezione
[79]	Yıldırım, Nihan, Deniz Tunçalp, Gizem Gökçer İstanbullu, Yiğit Konuşkan, Mehmet İnan, Oğuz Yasin, Büryan Apaçoğlu-Turan, Erhan Turan, Ömer Faruk Özer, and Vügar Kerimoğlu. 2021. "Digitalization of Manufacturing Processes with Startup Collaboration: Arçelik Developing a Digital Twin with Simularge." In <i>Digitalization Cases Vol. 2</i> , edited by Nils Urbach, Maximilian Röglinger, Karlheinz Kautz, Rose Alinda Alias, Carol Saunders, and Martin Wiener, 61–83. Management for Professionals. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80003-1_4 .	Digital Twin	Controllo Qualità Monitoraggio in tempo reale	Termoformatura
[80]	Rodrigues, Jhonny De Sá, Paulo Teixeira Gonçalves, Luis Pina, and Fernando Gomes De Almeida. 2022. "Modelling the Heating Process in the Transient and Steady State of an In Situ Tape-Laying Machine Head." <i>Journal of Manufacturing and Materials Processing</i> 6 (1): 8. https://doi.org/10.3390/jmmp6010008	Digital Shadow	Controllo Qualità	Deposizione automatica

Riferimento	Fonte completa	Tipologia Digital Twin	Scopo	Processo
[81]	<p>Lacueva-Perez, Francisco Jose, Setia Hermawati, Pedro Amoraga, Ricardo Salillas-Martinez, Rafael Del Hoyo-Alonso, and Glyn Lawson. 2022.</p> <p>"SHION (Smart tHermoplastic InjectiON): An Interactive Digital Twin Supporting Real-Time Shopfloor Operations." <i>IEEE Internet Computing</i> 26(3): 23-32.</p> <p>https://doi.org/10.1109/MIC.2020.3047349.</p>	Digital Twin	Controllo Qualità	Stampaggio ad iniezione
[82]	<p>Hürkamp, André, Sebastian Gellrich, Antal Dé, Christoph Herrmann, Klaus Dröder, and Sebastian Thiede. 2021.</p> <p>"Machine Learning and Simulation-Based Surrogate Modeling for Improved Process Chain Operation." <i>The International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i> 117 (7-8): 2297-2307.</p> <p>https://doi.org/10.1007/s00170-021-07084-5.</p>	Digital Twin	Simulazione previsione	- Stampaggio ad iniezione e termoformatura
[83]	<p>Hürkamp, André, Ralf Lorenz, Tim Ossowski, Bernd-Arno Behrens, and Klaus Dröder. 2021.</p> <p>"Simulation-Based Digital Twin for the Manufacturing of Thermoplastic Composites." <i>Procedia CIRP</i> 100: 1-6.</p> <p>https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.05.001.</p>	Digital Twin	Simulazione previsione	- Stampaggio ad iniezione e termoformatura
[84]	<p>Hürkamp, André, Sebastian Gellrich, Tim Ossowski, Jan Beuscher, Sebastian Thiede, Christoph Herrmann, and Klaus Dröder. 2020.</p> <p>"Combining Simulation and Machine Learning as Digital Twin for the Manufacturing of Overmolded Thermoplastic Composites." <i>Journal of Manufacturing and Materials Processing</i> 4 (3): 92.</p> <p>https://doi.org/10.3390/jmmp4030092.</p>	Digital Twin	Controllo Qualità	Stampaggio ad iniezione e termoformatura

Riferimento	Fonte completa	Tipologia Digital Twin	Scopo	Processo
[85]	Liau, Y, H Lee, and K Ryu. 2018. "Digital Twin Concept for Smart Injection Molding." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 324 (March): 012077. https://doi.org/10.1088/1757-899X/324/1/012077 .	Digital Shadow	Simulazione previsione	- Stampaggio ad iniezione
[86]	Modoni, Gianfranco E., Benedetta Stampone, and Gianluca Trotta. 2022. "Application of the Digital Twin for in Process Monitoring of the Micro Injection Moulding Process Quality." Computers in Industry 135 (February): 103568. https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103568	Digital Twin	Monitoraggio tempo reale	in Stampaggio ad iniezione
[87]	Wang, Zhiyong, Wei Feng, Junlin Ye, Jinbiao Yang, and Chun Liu. 2021. "A Study on Intelligent Manufacturing Industrial Internet for Injection Molding Industry Based on Digital Twin." Edited by Dan Selisteanu. Complexity 2021 (January): 1-16. https://doi.org/10.1155/2021/8838914 .	Digital Twin	Monitoraggio tempo reale	in Stampaggio ad iniezione
[88]	Bibow, Pascal, Manuela Dalibor, Christian Hopmann, Ben Mainz, Bernhard Rumpe, David Schmalzing, Mauritius Schmitz, and Andreas Wortmann. 2020. "Model-Driven Development of a Digital Twin for Injection Molding." In Advanced Information Systems Engineering, edited by Schahram Dustdar, Eric Yu, Camille Salinesi, Dominique Rieu, and Vik Pant, 12127:85-100. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49435-3_6	Digital Twin	Monitoraggio tempo reale	in Stampaggio ad iniezione

Tabella 60 – Riferimenti bibliografici considerati per l'utilizzo del Digital Twin nel settore plastica.

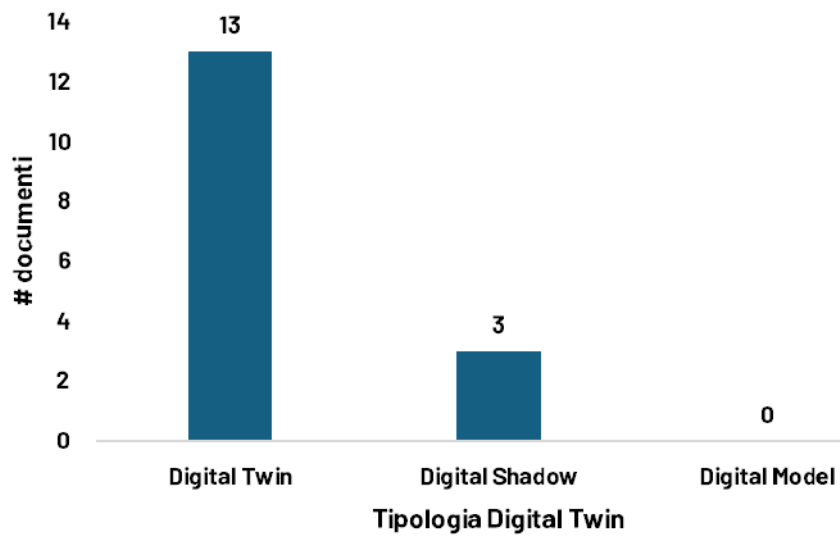


Figura 12 - Distribuzione delle tipologie di Digital Twin impiegate nel settore plastica.

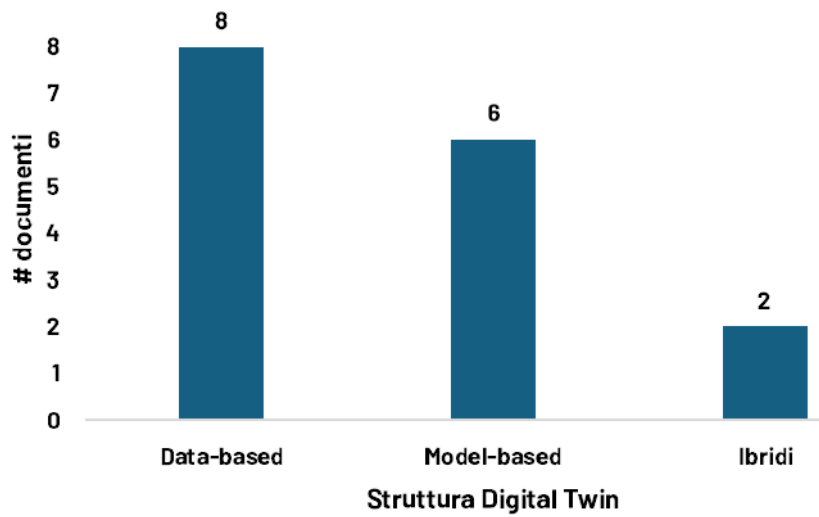


Figura 13 - Distribuzione delle strutture di Digital Twin impiegate nel settore plastica.

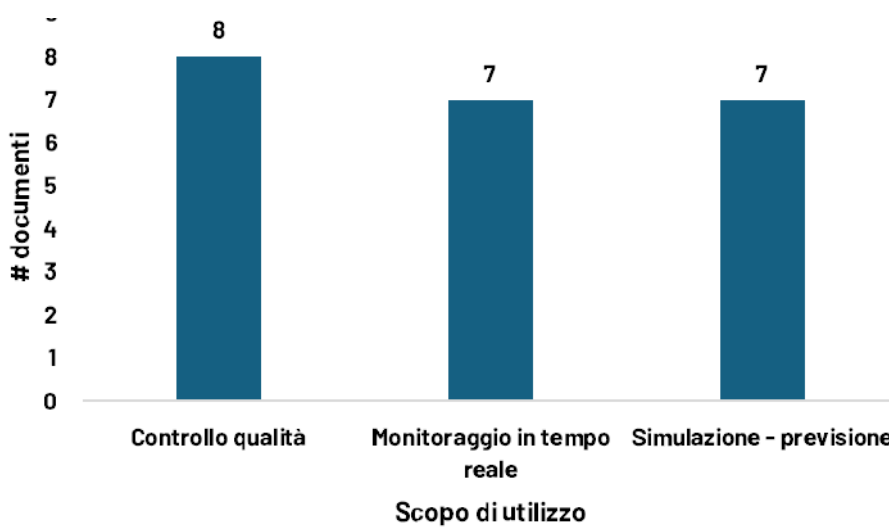


Figura 14 - Distribuzione dello scopo di utilizzo dei Digital Twin impiegate nel settore plastica.

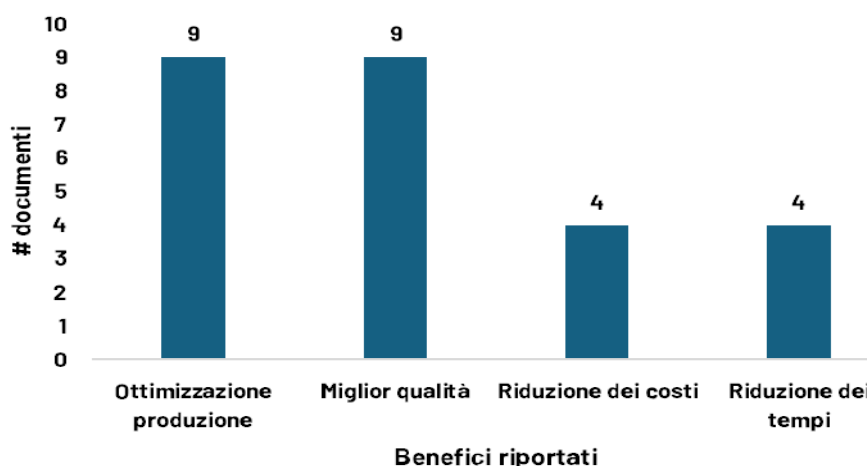


Figura 15 – Benefici riportati dai documenti analizzati, ottenibili mediante l’uso del Digital Twin nel settore plastica.

7.4.2 Digital Twin nel settore immobiliare

L’analisi di letteratura inerente all’utilizzo dei Digital Twin nel settore immobiliare ha portato all’individuazione di 13 documenti riassunti in Tabella 61. In Figura 16, 17, e 18 vengono sintetizzate altre informazioni rinvenute. Si può notare come tra gli scopi di utilizzo ci sia anche “Ottimizzazione dei processi” e “Monitoraggio e controllo dell’energia”. Tra i benefici, pertanto, si ha un miglior utilizzo dell’energia così come riportato da alcuni documenti analizzati. I benefici riportati dai documenti sono riassunti in Figura 19.

Riferimento	Fonte completa	Tipologia Digital Twin	Scopo
[86]	Chursin, A.A., V.A. Ermakov, M.N. Kalimoldayev, e A.M. Kalimoldayev. «The Main Approaches to Using Digital Twins in Banking». In <i>Advances in Science, Technology and Innovation, Part F2356:179–83</i> , 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-49711-7_31 .	Digital Twin	Ottimizzazione dei processi
[87]	Almatared, M., H. Liu, O. Abudayyeh, O. Hakim, e M. Sulaiman. «Digital-Twin-Based Fire Safety Management Framework for Smart Buildings». <i>Buildings</i> 14, fasc. 1 (2024). https://doi.org/10.3390/buildings14010004	Digital Twin	Gestione della sicurezza antincendio
[88]	Clausen, A., K. Arendt, A. Johansen, F.C. Sangogboye, M.B. Kjærgaard, C.T. Veje, e B.N. Jørgensen. «A digital twin framework for improving energy efficiency and occupant comfort in public and commercial buildings». <i>Energy Informatics</i> 4 (2021). https://doi.org/10.1186/s42162-021-00153-9 .	Digital Twin	Monitoraggio e controllo dell’energia

Riferimento	Fonte completa	Tipologia Digital Twin	Scopo
[89]	Ding, Y., Y. Zhang, e X. Huang. «Intelligent emergency digital twin system for monitoring building fire evacuation». <i>Journal of Building Engineering</i> 77(2023). https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107416 .	Digital Shadow	Gestione della sicurezza antincendio
[90]	Hosamo, H.H., H.K. Nielsen, D. Kraniotis, P.R. Svennevig, e K. Svidt. «Digital Twin framework for automated fault source detection and prediction for comfort performance evaluation of existing non-residential Norwegian buildings». <i>Energy and Buildings</i> 281 (2023). https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112732 .	Digital Twin	Ottimizzazione dei processi
[91]	Hu, X., e R.H. Assaad. «A BIM-enabled digital twin framework for real-time indoor environment monitoring and visualization by integrating autonomous robotics, LiDAR-based 3D mobile mapping, IoT sensing, and indoor positioning technologies». <i>Journal of Building Engineering</i> 86 (2024). https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108901 .	Digital Shadow	Ottimizzazione dei processi
[92]	Kannari, L., K. Piira, H. Bistrom, e T. Vainio. «Energy-data-related digital twin for office building and data centre complex», 2022. https://doi.org/10.1109/DCIS55711.2022.9970040 .	Digital Twin	Monitoraggio e controllo dell'energia
[93]	Lee, K.S., J.-J. Lee, C. Aucremanne, I. Shah, e A. Ghahramani. «Towards democratization of digital twins: Design principles for transformation into a human-building interface». <i>Building and Environment</i> 244 (2023). https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110771 .	Digital Model	Ottimizzazione dei processi

Riferimento	Fonte completa	Tipologia Digital Twin	Scopo
[94]	Li, C., P. Lu, W. Zhu, H. Zhu, e X. Zhang. «Intelligent Monitoring Platform and Application for Building Energy Using Information Based on Digital Twin». <i>Energies</i> 16, fasc. 19 (2023). https://doi.org/10.3390/en16196839	Digital Twin	Monitoraggio e controllo dell'energia
[95]	Marocco, M., e I. Garofolo. «A Digital Twin-Based System for Smart Management of Office Spaces». In <i>Advances in Science, Technology and Innovation</i> , 103-13, 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11232-4_9 .	Digital Twin	Ottimizzazione dei processi
[96]	Maryasin, O.Y. «Optimal Energy Consumption Control in a Multi-Zone Building Based on a Hybrid Digital Twin», 118-23, 2023. https://doi.org/10.1109/SmartIndustryCon57312.2023.10110760 .	Digital Shadow	Monitoraggio e controllo dell'energia
[97]	Pruvost, H., F. Forns-Samso, O. Gnepper, e O. Enge-Rosenblatt. «Integrating Energy System Monitoring and Maintenance Services into a BIM-Based Digital Twin», 2023. https://doi.org/10.1109/IECON51785.2023.10311659 .	Digital Twin	Monitoraggio e controllo dell'energia
[98]	Saini, K.K., P. Sharma, H.D. Mathur, e H. Siguerdidjane. «Digital Twin of a Commercial Building Microgrid: Economic & Environmental Sustainability Analysis», 2022. https://doi.org/10.1109/PIICON56320.2022.10045142 .	Digital Twin	Monitoraggio e controllo dell'energia

Tabella 61 - Riferimenti bibliografici considerati per l'utilizzo del Digital Twin nel settore immobiliare.

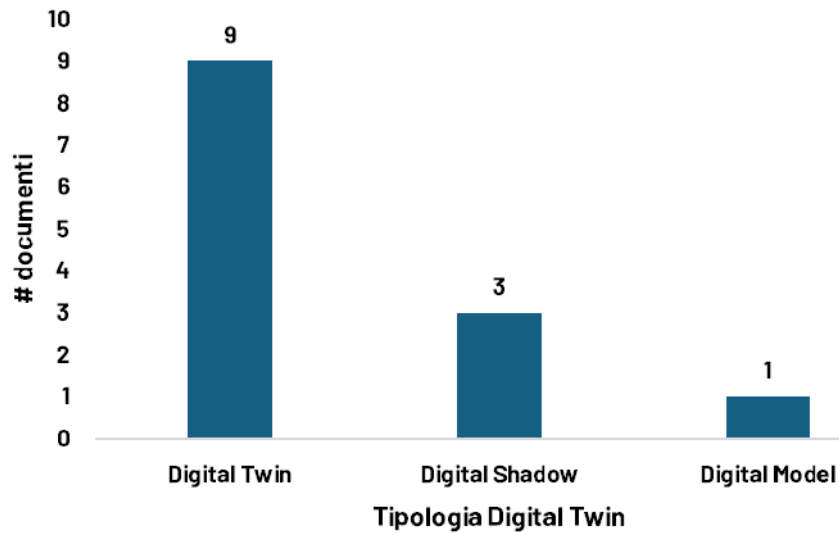


Figura 16 – Distribuzione delle tipologie di Digital Twin impiegate nel settore immobiliare.

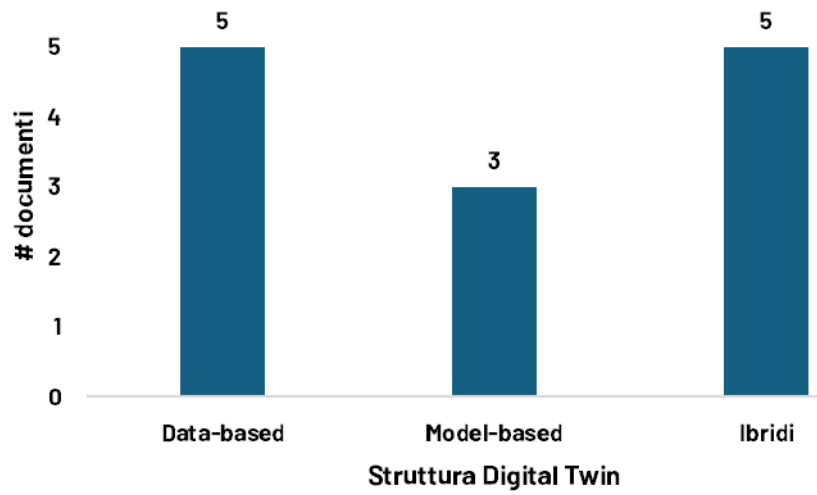


Figura 17 – Distribuzione delle strutture di Digital Twin impiegate nel settore immobiliare.

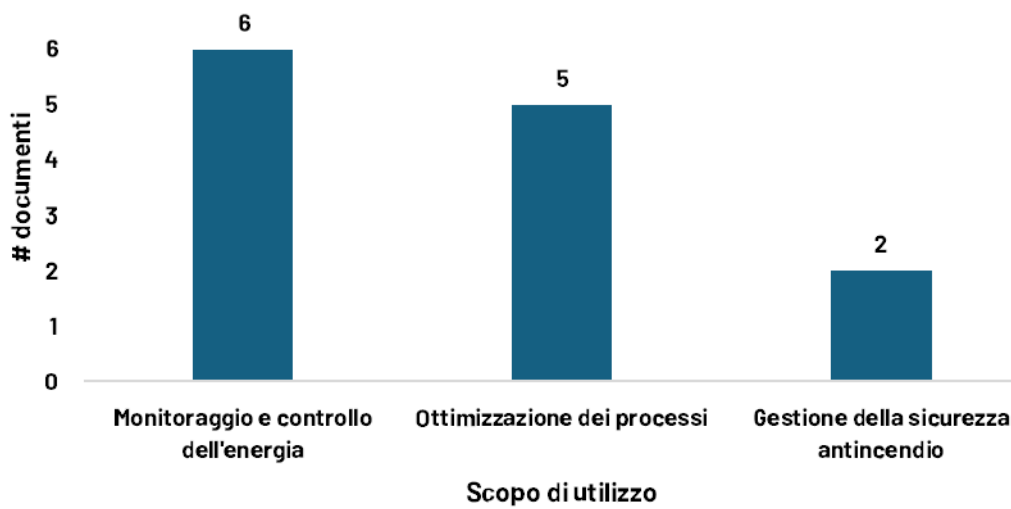


Figura 18 – Distribuzione dello scopo di utilizzo dei Digital Twin impiegati nel settore immobiliare.

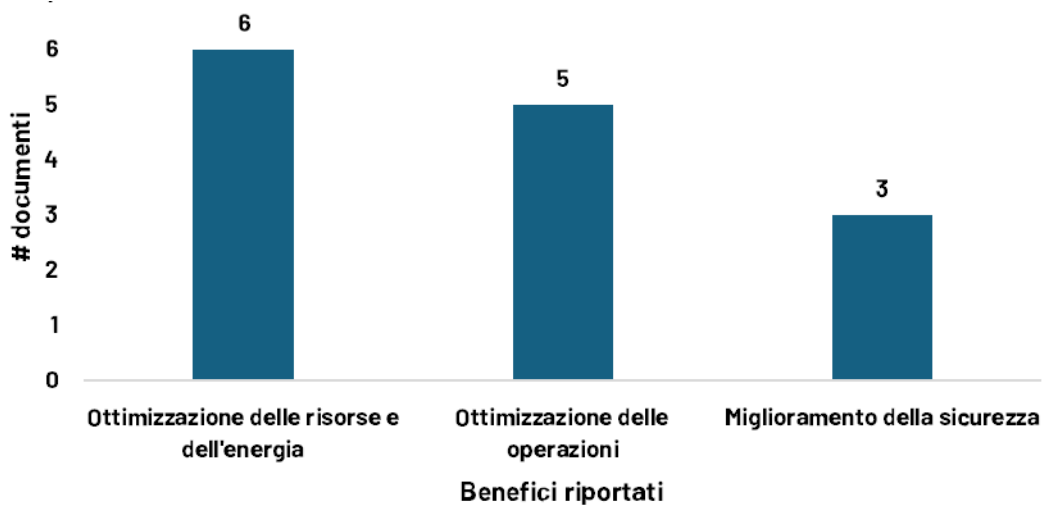


Figura 19 – Benefici riportati dai documenti analizzati, ottenibili mediante l'uso del Digital Twin nel settore immobiliare.

7.4.3 Digital Twin nel settore aeroporti

L'analisi di letteratura inerente all'utilizzo dei Digital Twin nel settore aeroporti ha portato all'individuazione di 11 documenti riassunti in Tabella 62. In Figura 20, 21, e 22 vengono sintetizzate altre informazioni rinvenute. Si può notare come tra gli scopi di utilizzo ci sia anche "Monitoraggio e controllo delle operazioni", che può portare ad avere operazioni ottimizzate e un'ottimizzazione del consumo di risorse ed energia come mostrato in Figura 23.

Riferimento	Fonte completa	Tipologia Digital Twin	Scopo
[99]	Agapaki, E. «Airport Digital Twins for Resilient Disaster Management Response», 13621 LNCS:467-86, 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24866-5_34 .	Digital Twin	Gestione della sicurezza aeroportuale
[100]	Chen, K., T.N.M. Nadirsha, N. Lilith, S. Alam, e Å. Svensson. «Tangible digital twin with shared visualization for collaborative air traffic management operations». Transportation Research Part C: Emerging Technologies 161 (2024). https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104546 .	Digital Twin	Monitoraggio e controllo delle operazioni aeroportuali
[101]	Conde, J., A. Munoz-Arcenales, M. Romero, J. Rojo, J. Salvachúa, G. Huecas, e Á. Alonso. «Applying digital twins for the management of information in turnaround event operations in commercial airports». Advanced Engineering Informatics 54 (2022). https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101723 .	Digital Twin	Monitoraggio e controllo delle operazioni aeroportuali

Riferimento	Fonte completa	Tipologia Digital Twin	Scopo
[102]	Conrad, C., Q. Delezenne, A. Mukherjee, A.A. Mhowwala, M. Ahmed, J. Zhao, Y. Xu, e A. Tsourdos. «Developing a Digital Twin for Testing Multi-Agent Systems in Advanced Air Mobility: A Case Study of Cranfield University and Airport», 2023. https://doi.org/10.1109/DASC58513.2023.10311333 .	Digital Model	Monitoraggio e controllo delle operazioni aeroportuali
[103]	Diange, S., e N. Haiyun. «Research on the Construction of Civil Airport Safety Management System Based on Digital Twin Technology», 2022-October:203-8, 2022. https://doi.org/10.1109/ICSESS54813.2022.9930186 .	Digital Twin	Gestione della sicurezza aeroportuale
[104]	Ferrari, S., M. Grundstrom, e T. Laitinen. «Optimising the Energy System for Electrified Airport Operations Using Digital Twin», 2023. https://doi.org/10.1109/ESARS-ITEC57127.2023.10114880 .	Digital Shadow	Monitoraggio e controllo delle operazioni aeroportuali
[106]	Guivarch, D., E. Mermoz, Y. Marino, e M. Sartor. «Creation of helicopter dynamic systems digital twin using multibody simulations». CIRP Annals 68, fasc. 1 (2019): 133-36. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.041 .	Digital Twin	Manutenzione
[107]	Lai, G., X. Zhang, C. Lu, e J. Wang. «The architecture and key technologies of the digital twin system of helicopter based on cloud-edge-end integration», 1069-72, 2022. https://doi.org/10.1109/ICMSP55950.2022.9859240 .	Digital Twin	Manutenzione
[108]	Liu, J., H. Yang, H. Niu, M. Guan, W. Chen, Q. Wang, D. Zheng, e P. He. «Digital Twin Civil Aviation Research Airport for Aircraft Security and Environment Protection», 408-12, 2022. https://doi.org/10.1109/ICCASIT55263.2022.9986522 .	Digital Twin	Gestione della sicurezza aeroportuale

Riferimento	Fonte completa	Tipologia Digital Twin	Scopo
[109]	Saifutdinov, F., I. Jackson, J. Tolujevs, e T. Zmanovska. «Digital Twin as a Decision Support Tool for Airport Traffic Control», 2020. https://doi.org/10.1109/ITMS51158.2020.9259294 .	Digital Twin	Monitoraggio e controllo delle operazioni aeroportuali
[110]	Zhang, H., M. Liu, C. Liu, Q. Luo, e Z. Chen. «Scheduling Strategy for Specialized Vehicles Based on Digital Twin in Airport», 13423 LNCS:42-54, 2023. https://doi.org/10.1007/978-3-031-25201-3_4 .	Digital Twin	Monitoraggio e controllo delle operazioni aeroportuali

Tabella 62 - Riferimenti bibliografici considerati per l'utilizzo del Digital Twin nel settore aeroporti.

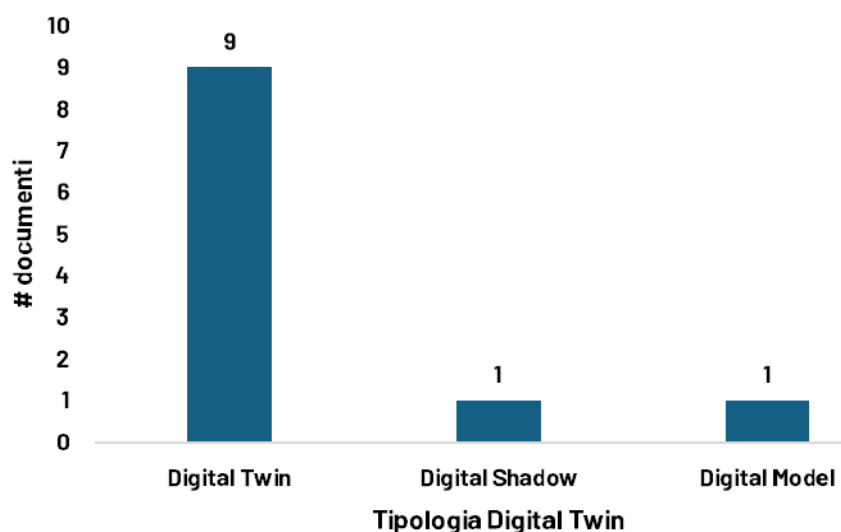


Figura 20 - Distribuzione delle tipologie di Digital Twin impiegate nel settore aeroporti.

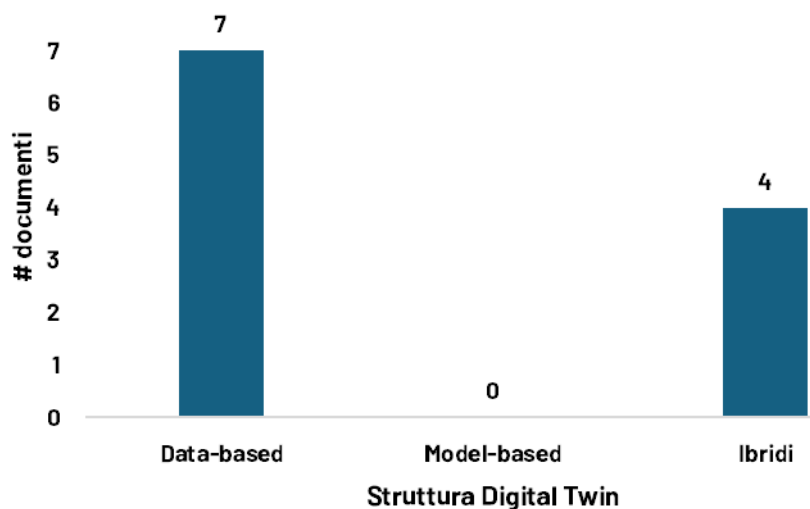


Figura 21 - Distribuzione delle strutture di Digital Twin impiegate nel settore aeroporti.

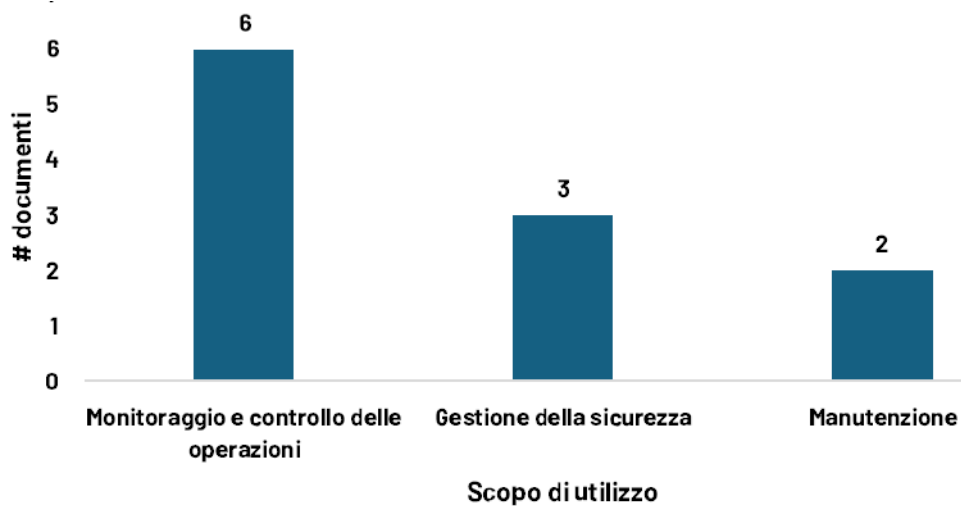


Figura 22 - Distribuzione dello scopo di utilizzo dei Digital Twin impiegati nel settore aeroporti.

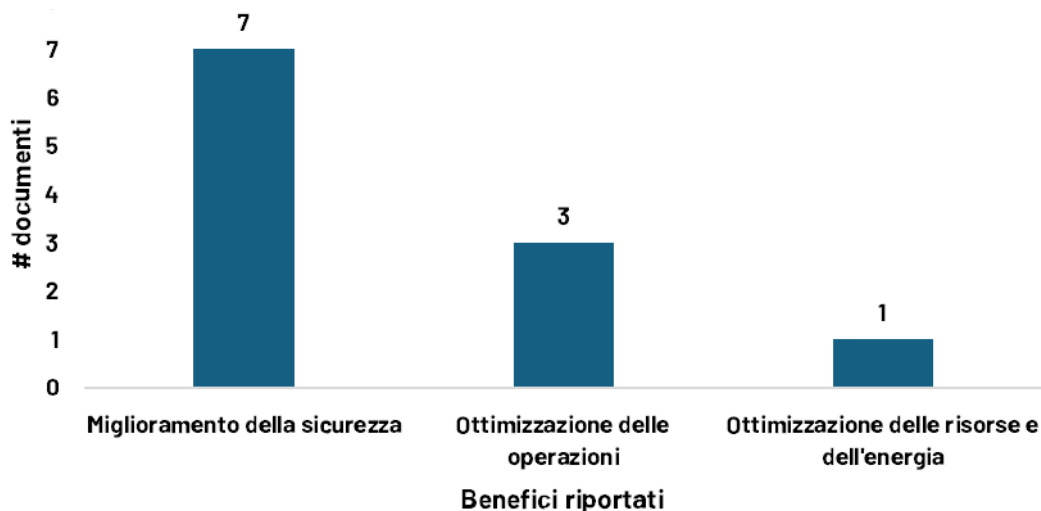


Figura 23 - Benefici riportati dai documenti analizzati, ottenibili mediante l'uso del Digital Twin nel settore aeroporti.

7.5 Analisi economico-energetica di interventi significativi

Per svolgere questa fase, sono stati scelti interventi rilevanti per ciascun settore. La scelta degli interventi è avvenuta mediante consultazione con le associazioni di categoria anche sulla base dei dati e delle informazioni disponibili a supporto dell'analisi. Dopo aver scelto gli interventi rilevanti, sono stati raccolti dati sui consumi energetici prima e dopo l'intervento. Analizzando i consumi energetici, è stato valutato il risparmio derivante dall'intervento stesso. Infine, valorizzando dal punto di vista economico i consumi energetici è stata effettuata anche un'analisi economica. Questa ha portato ad individuare la riduzione dei costi in seguito all'attuazione dell'intervento.

7.5.1 Elettificazione di una pressa nel settore plastica

Per quanto riguarda il settore plastica, l'intervento considerato è la sostituzione di una pressa idraulica con una elettrica. Questo è risultato essere uno degli interventi più comuni. In Tabella 63 sono riportati i consumi energetici di pressa idraulica ed elettrica in base alla produzione media annua espressa in tonnellate. Invece, nelle Figure 24-27 sono riportati i risultati di confronto dell'analisi energetica. Infine, nelle figure 28-31 sono riportati i risultati di confronto dell'analisi economica, considerando un prezzo unitario dell'energia elettrica pari a 0.129 €/kWh.

Produzione media annua [t]	Consumo Pressa Idraulica [kWh/t]	Consumo Pressa Elettrica [kWh/t]
10-50	2164 ± 860	1239 ± 472
51-150	1289 ± 470	827 ± 324
151-1000	755 ± 371	331 ± 116

Tabella 63 - Consumi energetici di una pressa idraulica ed una pressa elettrica espressi in kWh/t sulla base della produzione media annua.

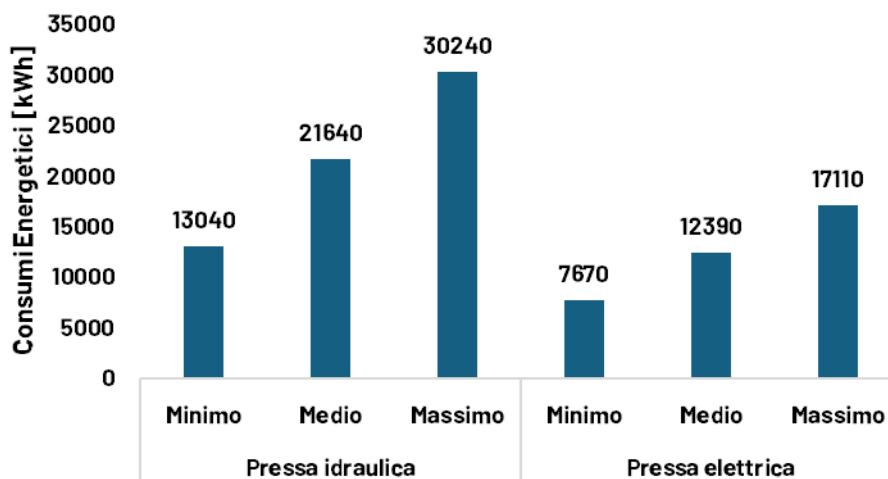


Figura 24 - Consumi energetici totali di una pressa idraulica ed una pressa elettrica per una produzione annua pari a 10 tonnellate.

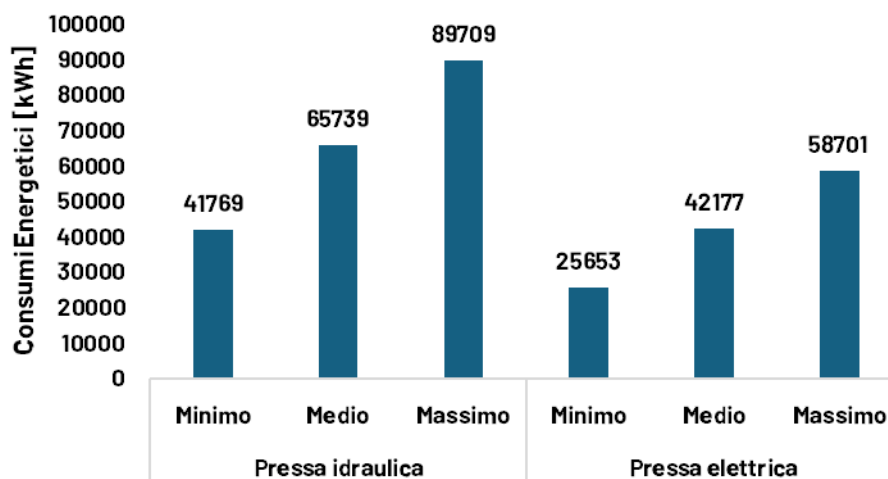


Figura 25 - Consumi energetici totali di una pressa idraulica ed una pressa elettrica per una produzione annua pari a 51 tonnellate.

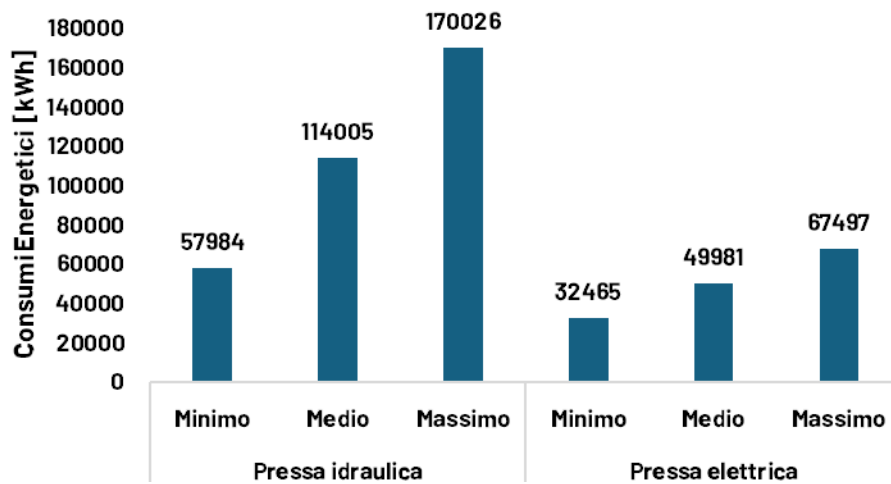


Figura 26 - Consumi energetici totali di una pressa idraulica ed una pressa elettrica per una produzione annua pari a 151 tonnellate.

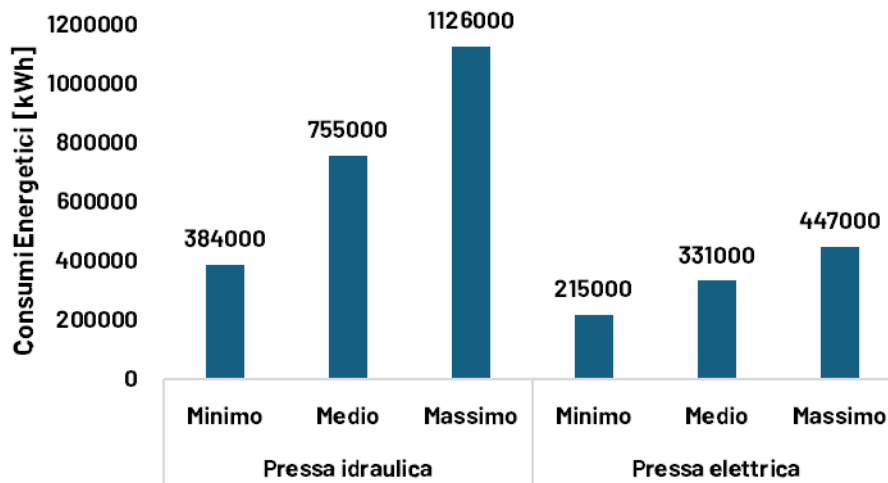


Figura 27 - Consumi energetici totali di una pressa idraulica ed una pressa elettrica per una produzione annua pari a 1000 tonnellate.

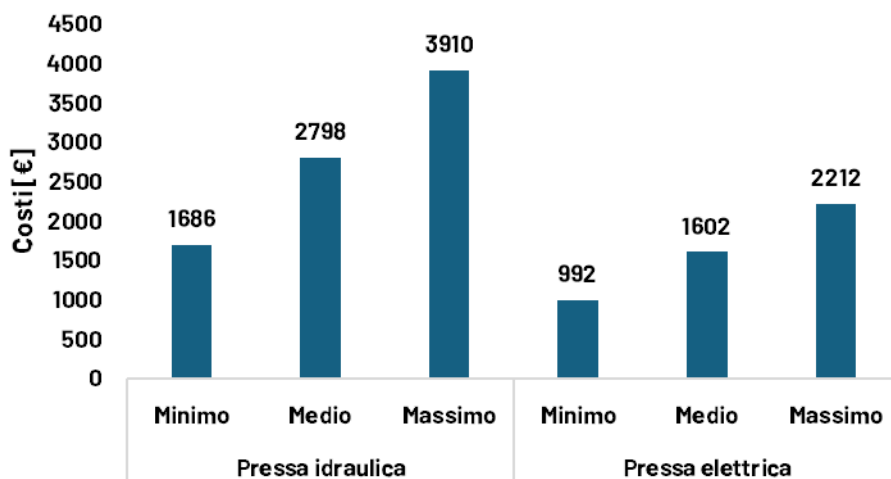


Figura 28 - Costi totali di una pressa idraulica ed una pressa elettrica per una produzione annua pari a 10 tonnellate.

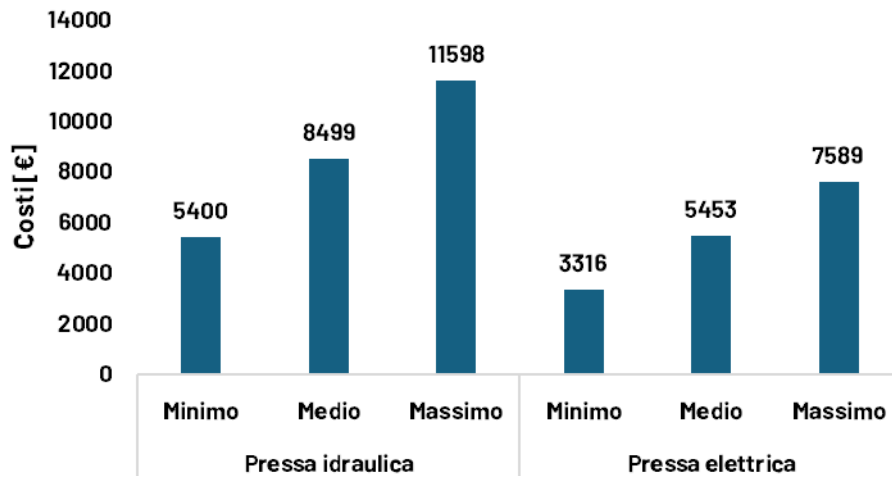


Figura 29 - Costi totali di una pressa idraulica ed una pressa elettrica per una produzione annua pari a 51 tonnellate.

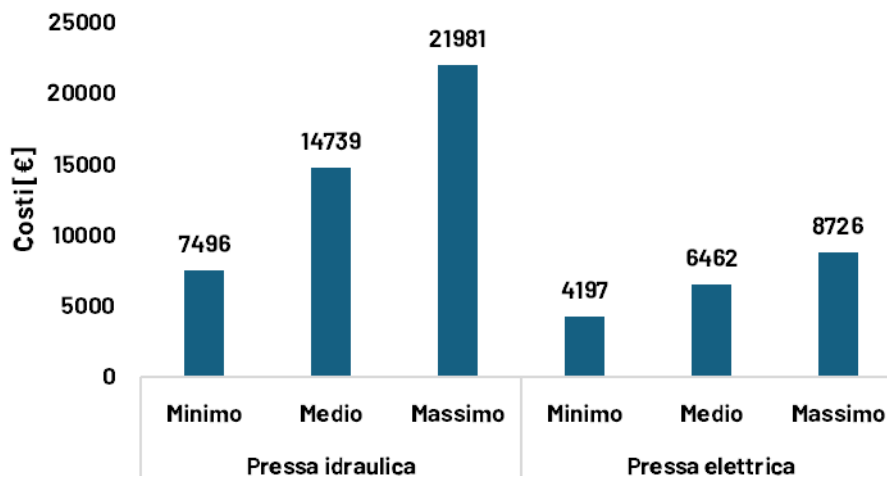


Figura 30 - Costi totali di una pressa idraulica ed una pressa elettrica per una produzione annua pari a 151 tonnellate.

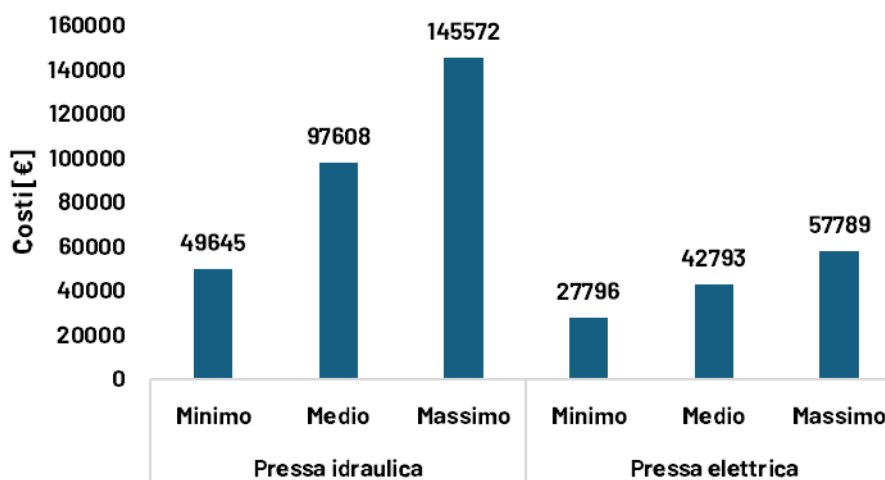


Figura 31 - Costi totali di una pressa idraulica ed una pressa elettrica per una produzione annua pari a 1000 tonnellate.

7.5.2 Installazione di una pompa geotermica polivalente nel settore immobiliare

Per quanto riguarda il settore immobiliare, è stata considerata l'installazione di una pompa geotermica polivalente in sostituzione delle centrali termiche a gas. Si tratta di un intervento rilevante in quanto sfrutta una fonte di energia rinnovabile, oltre ad essere un intervento di nuova generazione. Sia l'analisi energetica che economica hanno evidenziato dei risparmi e

quindi dei benefici per coloro che hanno attuato l'intervento. I risultati dell'analisi energetica sono riportati in Tabella 64 e Figura 32. Invece, quelli dell'analisi economica sono riportati in Tabella 65 e Figura 33. Si nota come i dati riportati siano normalizzati per motivi di privacy.

Mese	CEPI	CEDI	DEC	Variazione %
Gennaio	0.547	0.204	-0.343	-62.7%
Febbraio	0.455	0.156	-0.299	-65.7%
Marzo	0.360	0.151	-0.208	-57.9%
Aprile	0.274	0.160	-0.114	-41.6%
Maggio	0.077	0.180	0.104	135.5%
Giugno	0.341	0.191	-0.150	-43.9%
Luglio	0.308	0.207	-0.101	-32.9%
Agosto	0.324	0.196	-0.128	-39.4%
Settembre	0.265	0.157	-0.109	-40.9%
Ottobre	0.348	0.130	-0.218	-62.7%
Novembre	0.476	0.149	-0.327	-68.7%
Dicembre	1.000	0.182	-0.818	-81.8%

Tabella 64 - Consumi energetici normalizzati relativi all'intervento del settore immobiliare: Consumi energetici prima dell'intervento (CEPI), Consumi energetici dopo l'intervento (CEDI), differenza assoluta di consumi energetici (DEC).

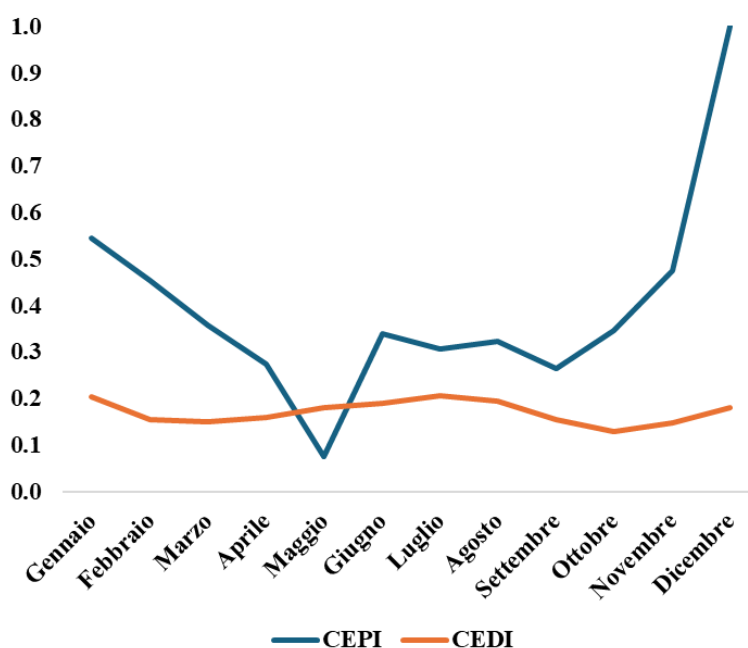


Figura 32 - Consumi energetici normalizzati prima e dopo l'intervento nel settore immobiliare.

Mese	CPI	CDI	DEC	Variazione %
Gennaio	0.461	0.509	0.047	10%
Febbraio	0.385	0.389	0.004	1%
Marzo	0.318	0.377	0.060	19%
Aprile	0.352	0.399	0.047	13%
Maggio	0.175	0.450	0.274	156%
Giugno	0.835	0.476	-0.359	-43%
Luglio	0.753	0.515	-0.238	-32%
Agosto	0.796	0.489	-0.307	-39%
Settembre	0.650	0.391	-0.259	-40%
Ottobre	0.681	0.323	-0.358	-53%
Novembre	0.552	0.371	-0.181	-33%
Dicembre	1.000	0.454	-0.546	-55%

Tabella 65 – Costi normalizzati relativi all'intervento del settore immobiliare: Costi prima dell'intervento (CPI), Costi dopo l'intervento (CDI), differenza assoluta di costi (DC).



Figura 33 – Costi normalizzati prima e dopo l'intervento nel settore immobiliare.

7.5.3 Installazione di una centrale di trigenerazione nel settore aeroporti

Per quanto riguarda il settore aeroporti, è stata considerata l'installazione di una centrale di trigenerazione. L'analisi ha evidenziato dei risparmi energetici ed economici. I consumi energetici normalizzati prima e dopo l'intervento sono riportati in Tabella 66 e Figura 34. In quanto sia prima che dopo l'intervento viene fatto riferimento allo stesso vettore energetico,

l'andamento dei costi è analogo a quello dei consumi energetici: i costi sono solo scalati del costo unitario dell'energia. La normalizzazione, pertanto, rende gli stessi risultati sia per i consumi energetici sia per i costi.

Mese	CEPI/CPI	CEDI/CDI	DEC	Variazione %
Gennaio	1.000	0.720	-0.280	-28%
Febbraio	0.880	0.633	-0.246	-28%
Marzo	0.881	0.635	-0.247	-28%
Aprile	0.778	0.614	-0.163	-21%
Maggio	0.808	0.638	-0.170	-21%
Giugno	0.854	0.675	-0.179	-21%
Luglio	0.827	0.711	-0.116	-14%
Agosto	0.838	0.721	-0.117	-14%
Settembre	0.764	0.657	-0.107	-14%
Ottobre	0.879	0.694	-0.185	-21%
Novembre	0.851	0.672	-0.179	-21%
Dicembre	0.906	0.715	-0.190	-21%

Tabella 66 - Consumi energetici e costi normalizzati relativi all'intervento del settore aeroporti.

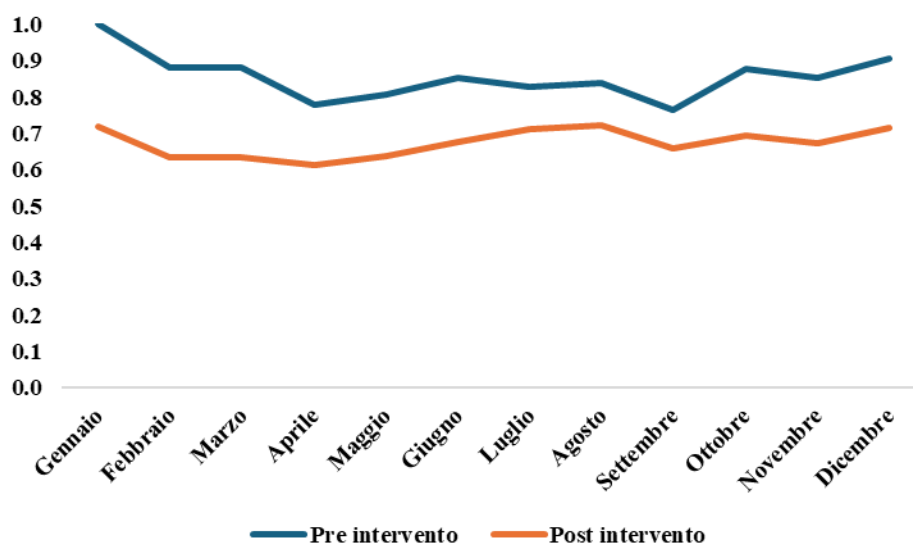


Figura 34 - Consumi energetici e costi normalizzati prima e dopo l'intervento nel settore aeroporti.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Non sono state sfruttate consulenze per lo svolgimento della presente LA.

9 Pubblicazioni scientifiche

Durante la presente LA sono state realizzate le seguenti pubblicazioni di carattere tecnico e scientifico:

- Leoni, L., Ferraro, S., Martini, F., Ferrante, C., Salvio, M., Cantini, A., De Carlo, F., Rinaldi, R., 2024, giugno. Evaluating the Energy and Economic Impacts of a Geothermal Heat Pump Installation in Italy. In 2024 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2024 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe) (pp. 1-6). IEEE. In questa pubblicazione il Dr. Leonardo Leoni risulta primo autore.
- Ferrante, C., Martini, C., Martini, F., Salvio, M., Mohamed, S., Arnesano, F., De Carlo, F., Leoni, L., 2024, novembre. Uffici - Quaderni dell'efficienza energetica, ISBN digitale 978-88-8286-480-4, <https://www.energiaenergetica.enea.it/pubblicazioni/uffici-quaderni-dell-efficienza-energetica.html>. In questa pubblicazione il Prof. Filippo De Carlo e il Dr. Leonardo Leoni risultano autori.
- Martini, F., Pistacchio, S., Salvio, M., Attaccalite, L., Berardi, G., Carrabba, A., Paladino, D., Pandolfi, C., Proietti, P., Ruggieri, A., 2024, ottobre. Aeroporti - Quaderni dell'efficienza energetica, ISBN digitale 978-88-8286-472-9, <https://www.energiaenergetica.enea.it/pubblicazioni/aeroporti-quaderni-dell-efficienza-energetica.html>. In questa pubblicazione il Prof. Filippo De Carlo e il Dr. Leonardo Leoni risultano collaboratori
- De Santis, A., Ferrante, C., Martini, C., Martini, F., Salvio, M., 2024, giugno. Alberghi - Quaderni dell'efficienza energetica, ISBN digitale 978-88-8286-469-9, <https://www.energiaenergetica.enea.it/pubblicazioni/alberghi-quaderni-dell-efficienza-energetica.html>. In questa pubblicazione il Prof. Filippo De Carlo e il Dr. Leonardo Leoni risultano collaboratori
- De Santis, A., Martini, C., Martini, F., Salvio, M., De Carlo, F., Leoni, L. 2025. Plastica - Quaderni dell'efficienza energetica, ISBN digitale 978-88-8286-491-0. Al momento della scrittura del presente report, il quaderno non è ancora pubblicato sul portale online di ENEA. In questa pubblicazione il Prof. Filippo De Carlo e il Dr. Leonardo Leoni risultano autori.

10 Eventi di disseminazione

I risultati delle attività della presente LA sono stati presentati ai seguenti eventi di disseminazione:

- 24th EEEIC International Conference on Environment and Electrical Engineering, Roma, 17-20 giugno 2024, <https://www.eeeia.org/eeeic-conference/>. Conferenza di carattere internazionale durante la quale è stato presentato il lavoro intitolato: "Evaluating the Energy and Economic Impacts of a Geothermal Heat Pump Installation in Italy"
- Convegno intitolato "I nuovi indicatori nei piani di tutela ambientale - il quaderno energetico degli Aeroporti", organizzato da ENEA in collaborazione con ENAC il 29

ottobre 2024, presso la Camera dei Deputati, Roma. Al convegno è stato presentato il quaderno dell'efficienza energetica relativo agli aeroporti.

- Convegno intitolato "Efficienza energetica e valore: nuovi orizzonti per un real estate sostenibile", organizzato da ENEA in collaborazione con Assoimmobiliare il 12 novembre 2024, presso l'Auditorium Chiomenti, via Giuseppe Verdi 4, Milano. Al convegno sono stati presentati i risultati inerenti all'analisi economica ed energetica del caso studio del settore immobiliare.
- Convegno intitolato "Efficienza energetica dei prodotti e processi industriali", organizzato da ENEA il 26 novembre 2024, presso il Centro Congressi Frentani, via dei Frentani 4, Roma. Al convegno sono stati presentati i risultati principali inerenti alla presente LA.
- Forum degli Energy Manager delle società di gestione degli aeroporti italiani, presso la sede ENAC di Roma, via Gaeta 3 il 5 dicembre 2024. Al forum sono state presentate le linee guida del settore aeroporti che sono basate anche sull'analisi di letteratura e delle diagnosi energetiche svolte durante la presente LA.