

Ricerca di Sistema elettrico



Metodi di analisi econometriche spaziali applicati alle
dinamiche di efficienza energetica d'impresa

V. Costantini, M. D'Angeli, M. Mancini, E. Paglialunga

 **ROMA
TRE**
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI

 **Dipartimento
di Economia**

Metodi di analisi econometriche spaziali applicati alle dinamiche di efficienza energetica d'impresa

V. Costantini, M. D'Angeli, M. Mancini, E. Paglialunga

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: Decarbonizzazione

Progetto: Tema di ricerca 1.6 - Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali

Linea di attività: LA 3.6

Responsabile del Progetto: Miriam Benedetti, ENEA

Responsabile del Work Package: Fabrizio Martini, ENEA

Responsabile Linea di Attività: ENEA

Mese inizio previsto: gennaio 2023

Mese inizio effettivo: gennaio 2023

Mese fine previsto: dicembre 2024

Mese fine effettivo: dicembre 2024

Indice

1	Risultati attesi	5
2	Risultati ottenuti.....	5
2.1	Livelli di Analisi.....	5
2.1.1	Livello di intervento	5
2.1.2	Livello aziendale	6
2.2	Attività svolte	7
2.2.1	Sviluppo Database	7
2.2.2	Analisi descrittiva.....	7
2.2.3	Analisi econometrica della performance energetica.....	8
2.2.4	Script per R-studio.....	10
3	Prodotti attesi	10
4	Prodotti sviluppati	10
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	10
6	Sintesi delle attività svolte	10
7	Dettaglio delle attività svolte.....	11
7.1	Validazione e preparazione dei dati	11
7.2	Analisi descrittiva del campione	13
7.3	La performance energetica (PE).....	19
7.4	Analisi econometrica applicata a livello intervento	19
7.4.1	Regressori	19
7.4.2	Modelli econometrici	24
7.4.3	Risultati analisi econometrica effettuata a livello intervento	24
7.5	Analisi econometrica effettuata a livello impresa	27
7.5.1	Join spaziale.....	27
7.5.2	Descrizione delle variabili	27
7.5.3	Matrici dei pesi	28
7.5.4	Autocorrelazione spaziale.....	28
7.5.5	Risultati analisi econometrica effettuata a livello impresa.....	32
7.5.6	Risultati analisi econometrica spaziale effettuata a livello impresa-campione Nord Italia.....	36
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte.....	47
9	Pubblicazioni scientifiche.....	47
10	Eventi di disseminazione	48

Indice delle figure

Figura 1: Ripartizione dei risparmi energetici (% , calcolati sui risparmi in tonnellate equivalenti di petrolio).....	15
Figura 2: Livelli di costo-efficacia (euro/tep) associati alle MEE.....	15
Figura 3: Tempo di ritorno (anni) degli interventi individuati.....	16
Figura 4: Distribuzione territoriale imprese.....	16
Figura 5: Distribuzione provinciale risparmi energetici.....	17
Figura 6: Distribuzione provinciale risparmi energetici.....	17
Figura 7: Distribuzione provinciale investimenti associati agli interventi individuati.....	18
Figura 8: Distribuzione regionale investimenti associati agli interventi individuati.....	18
Figura 9: distribuzione regionale rapporto risparmio-investimento.....	19

Indice delle tabelle

Tabella 1: Sintesi dei modelli econometrici stimati.....	10
Tabella 2: Sintesi delle informazioni presenti nel database.....	12
Tabella 3: Validazione dei dati.....	12
Tabella 4: Creazione del database aggregato.....	13
Tabella 5: Sintesi interventi individuati.....	14
Tabella 6: Sintesi interventi individuati legati all'autoproduzione energetica.....	15
Tabella 7: Variabili considerate.....	21
Tabella 8: Variabile certificati bianchi.....	22
Tabella 9: Variance Inflation Factor delle variabili inserite nei modelli.....	23
Tabella 10: Risultati analisi econometrica effettuata a livello intervento.....	27
Tabella 11: Risultati test di Moran I applicati all'intero campione.....	29
Tabella 12: Risultati dei test Moran I per le liste pesi lw, lw_SLL e lw_provinciale- Nord.....	30
Tabella 13: Risultati dei test Moran I per le liste pesi lw_10, lw_20, lw_50, lw_65- Nord.....	31
Tabella 14: Risultati dei test Moran I per le liste pesi lw, lw_SLL e lw_provinciale.....	32
Tabella 15: Risultati dei test Moran per le liste pesi lw_10, lw_20, lw_50, lw_65- Centro.....	32
Tabella 16: Risultati analisi econometrica effettuata per l'intero campione.....	34
Tabella 17: Sintesi risultati analisi econometrica effettuata per il campione Nord Italia.....	36
Tabella 18: Risultati regressione econometrica spaziale SAR Nord Italia.....	39
Tabella 19: Sintesi degli effetti diretti ed indiretti modello SAR.....	40
Tabella 20: Risultati regressione econometrica spaziale SEM-Nord Italia.....	42

Tabella 21: Risultati regressione econometrica spaziale SLX Nord Italia.....	44
Tabella 22: Risultati regressione econometrica spaziale SAC-Nord Italia.	46
Tabella 23: Sintesi effetti diretti ed indiretti modello SAC.	47

1 Risultati attesi

- Analisi del ruolo delle caratteristiche aziendali e tecniche associate alle misure di efficientamento energetico (MEE) nel determinare la performance energetica (PE) delle imprese operanti nel settore delle produzioni di plastica e gomma (codici ATECO 22.21.00, 22.22.00 e 22.29.09).
- Descrizione degli interventi individuati nel settore e valutazione della loro distribuzione territoriale.
- Identificazione dei principali driver e barriere economiche all'implementazione delle misure di efficientamento energetico (MEE), come il costo-efficacia degli interventi e il tempo di ritorno dell'investimento, che influenzano le decisioni delle imprese nell'adottare soluzioni tecnologiche più efficienti.
- Valutazione dell'importanza strategica degli incentivi economici, in particolare dei Certificati Bianchi, nel modellare la performance energetica del settore delle produzioni in materie plastiche e di gomma, mitigando l'impatto delle barriere finanziarie.
- Approfondimento del ruolo svolto dalla localizzazione geografica delle imprese nella determinazione della performance energetica del settore. Tale approfondimento vede anche l'utilizzo di modelli di regressione econometrica spaziale capaci rivelare spillover geografici e interazioni tra imprese vicine.
- Esplorazione degli effetti diretti e indiretti delle condizioni economiche e strutturali delle imprese sul potenziale di efficientamento.

2 Risultati ottenuti

I risultati previsti dal capitolato di progetto e sono stati tutti conseguiti. Per fare questo ci si è agendo su diversi livelli. Che hanno quindi visto la definizione di diverse attività e strumenti.

2.1 Livelli di Analisi

2.1.1 Livello di intervento

- **Barriere economiche:** L'analisi conferma la rilevanza delle barriere economiche, con fattori chiave come il costo-efficacia, il tempo di ritorno degli investimenti che incidono sull'adozione di misure di efficientamento energetico (MEE). Il tempo di ritorno si configura come una barriera significativa, in linea con quanto emerso in letteratura (Abadie, 2012). Mentre livelli maggiori di investimento conducono a performance energetiche migliori.
- **Monitoraggio energetico:** La presenza di meccanismi di monitoraggio energetico migliora la qualità delle stime di risparmio, ma è associata a un rapporto risparmi/consumi più basso, riflettendo un maggiore realismo nelle stime diagnostiche.
- **Caratteristiche aziendali:** Le caratteristiche delle imprese influenzano direttamente l'adozione delle MEE. L'indebitamento aziendale ha un doppio ruolo: favorisce l'adozione di MEE in contesti generali, ma può limitare le scelte a causa della necessità di gestire oneri finanziari elevati. Al contrario, la rotazione del capitale investito riduce la propensione a investire in interventi a lungo termine, favorendo soluzioni con ritorni rapidi.
- **Tipologie di intervento:** Le aree di intervento come cogenerazione/trigenerazione, centrale termica/recupero termico e aria compressa hanno un impatto positivo significativo sulle performance energetiche. L'area di categorizzazione generale, che include modifiche ai comportamenti di consumo, mostra un potenziale di miglioramento ampiamente implementabile.

- **Certificati bianchi:** Sebbene i Certificati Bianchi abbiano un impatto positivo, il loro effetto è modesto. L'assenza di informazioni complete sugli incentivi ne limita l'interpretazione. Quando le caratteristiche aziendali sono incluse nei modelli con effetti fissi, il ruolo degli incentivi si riduce significativamente.
- **Effetti delle politiche:** L'analisi sottolinea il potenziale delle politiche regionali e nazionali nel modellare le dinamiche locali. Tuttavia, la mancanza di dati dettagliati sui bandi regionali e sugli incentivi limita una valutazione più completa.
- **Macroaree regionali ed effetti fissi significativi:** La macroarea geografica di appartenenza influisce significativamente sulle performance energetiche. Le imprese del Nord-Ovest registrano prestazioni energetiche relativamente migliori rispetto ad altre macroaree, evidenziando dinamiche territoriali specifiche. Le caratteristiche dei siti produttivi e le condizioni economiche e politiche locali influenzano significativamente le performance energetiche, come evidenziato dagli effetti fissi e dalle discrepanze regionali delle performance energetiche osservate.

2.1.2 Livello aziendale

- L'analisi econometrica conferma la rilevanza delle caratteristiche economiche delle misure di efficientamento energetico (MEE), come gli investimenti e il costo-efficacia. Gli investimenti risultano positivi e significativi, contribuendo al miglioramento delle performance energetiche. Al contrario, il costo-efficacia delle MEE esercita un impatto negativo, sebbene marginale, evidenziando come interventi meno efficienti economicamente tendano a ridurre i risparmi energetici. A livello aziendale, il tempo di ritorno perde rilevanza rispetto all'analisi condotta a livello di intervento.
- Le caratteristiche aziendali si confermano anch'esse cruciali nel modellare le performance energetiche. L'indebitamento aziendale favorisce l'adozione delle MEE, particolarmente nei settori con margini di profitto più ristretti, suggerendo che le imprese ricorrono al debito per mantenere la competitività e ottimizzare i costi operativi. Tuttavia, la rotazione del capitale investito riduce la propensione a intraprendere interventi caratterizzati da lunghi tempi di ritorno, privilegiando invece investimenti a breve termine.
- L'analisi spaziale evidenzia un impatto limitato delle interazioni tra imprese vicine sulle performance energetiche. Gli effetti diretti degli investimenti e della cogenerazione/trigenerazione sono significativi e positivi, ma gli effetti indiretti (spillover) risultano marginali o non significativi. Tale risultato sottolinea come gli interventi in efficienza energetica rispondono principalmente a esigenze specifiche delle singole imprese e non generano imitazione o benefici condivisi tra aziende geograficamente vicine.

I risultati dei modelli econometrici di regressione spaziale, applicati ad un sottocampione di 172 imprese appartenenti ai codici ATECO 22.21.00, 22.22.00, e 22.29.09, localizzate nel Nord Italia evidenziano:

- il ruolo cruciale degli effetti diretti degli investimenti e della cogenerazione/trigenerazione, confermando che tali interventi migliorano significativamente le performance energetiche.
- Il modello SLX (Spatial Lag of X) individua effetti diretti degli investimenti e della cogenerazione positivi e significativi, mentre gli effetti indiretti non risultano significativi. Questo risultato riflette la natura specifica degli interventi di efficientamento, che rispondono principalmente a esigenze interne delle imprese. Inoltre, la rotazione del

capitale investito e il costo-efficacia delle MEE mostrano effetti negativi diretti (significativi). L'indebitamento ha un effetto diretto positivo significativo, con un impatto indiretto positivo sulle performance delle imprese vicine, suggerendo possibili pressioni competitive o condizioni di credito favorevoli comuni.

- Il modello SAR (Spatial Autoregressive Model) conferma il ruolo degli investimenti e della cogenerazione/trigenerazione (effetti diretti positivi e significativi), mentre non si osservano effetti di autocorrelazione spaziale tra le performance energetiche delle imprese, escludendo la possibilità che il potenziale di efficientamento di un'azienda influenzi direttamente quello delle imprese vicine.
- Il modello SEM (Spatial Error Model) identifica la presenza di fattori non osservati correlati spazialmente, che influenzano le performance energetiche, sebbene non migliorino significativamente la qualità del modello rispetto a quelli non spaziali.
- Infine, il modello SAC (Spatial Autoregressive Combined) conferma effetti diretti di investimenti e cogenerazione positivi e significativi, mentre gli effetti indiretti sono marginali o prossimi a zero, indicando una limitata influenza tra imprese vicine.
- Le specificità dei siti produttivi sono rilevanti nel determinare la performance energetiche degli stessi.

2.2 Attività svolte

2.2.1 Sviluppo Database

Sono stati sviluppati due database integrati basati sulle diagnosi energetiche pervenute nel 2019, relative ai codici ATECO 22.21.00, 22.22.00 e 22.29.09. Il primo database collega gli interventi individuati ai consumi energetici aziendali e alle loro caratteristiche economico-finanziarie, integrando informazioni come ricavi, livello di indebitamento e rotazione del capitale. Si sottolinea come questa fase sia stata essenziale per ottenere una versione finale, pulita e validata, dei dati relativi agli interventi di efficienza energetica individuati nel settore plastica. Tali dati offrono la possibilità di analizzare come le variabili economiche e finanziarie che influenzano le traiettorie di efficientamento energetico delle imprese e di contestualizzare gli interventi individuati in base alle condizioni socioeconomiche dell'industria. Ai fini dell'analisi econometrica, è stata realizzata anche una versione aggregata del database, che aggrega le informazioni relative agli interventi di efficienza energetica ed i consumi energetici per ciascuna impresa (Codice fiscale). Questa aggregazione ha permesso di esplorare le interazioni tra le imprese coinvolte e le eventuali influenze reciproche sulle loro performance energetiche. La versione aggregata presenta anche un'accurata georeferenziazione delle aziende coinvolte definita in base alla latitudine e longitudine in cui si collocano le rispettive sedi legali. Conseguentemente, abbiamo realizzato una versione georeferenziata o spaziale del database, utilizzando lo strumento "sf" (simple features) in R-studio, che consente di gestire e analizzare dati spaziali in modo efficiente. L'uso di un database spaziale facilita l'applicazione di tecniche avanzate per l'analisi della distribuzione geografica, delle interazioni territoriali e della correlazione tra fattori legati a specifiche aree territoriali.

2.2.2 Analisi descrittiva

È stata eseguita un'analisi descrittiva approfondita (sezione 7.2) volta a esplorare il potenziale di efficientamento energetico delle diagnosi ricevute nel 2019. Questa fase ha compreso una valutazione sistematica delle MEE identificate, con particolare attenzione alla classificazione degli interventi, ai potenziali risparmi energetici e agli investimenti necessari per la loro realizzazione. Inoltre, l'analisi ha messo in evidenza le tipologie di interventi più adottati e le variazioni di investimento tra le diverse aree geografiche, consentendo l'identificazione di aree

con maggiori potenziali di risparmio. Le caratteristiche economiche delle imprese, quali il livello di indebitamento e la capacità di autofinanziamento, sono state esaminate per contestualizzare le diagnosi e le dinamiche che influenzano l'adozione delle MEE nel settore. A ciò si aggiunge un'analisi territoriale approfondita della distribuzione dei risparmi potenziali, degli investimenti e delle imprese coinvolte, che ha permesso di definire il contesto geografico dei fenomeni investigati. Questa analisi territoriale ha richiesto una serie di fasi preliminari, tra cui la scelta di un sistema di coordinate adeguato, la creazione di una griglia spaziale di riferimento e la lavorazione delle coordinate delle imprese (vedi sezione 9.7.5). Le caratteristiche economiche delle imprese, quali il livello di indebitamento e la capacità di autofinanziamento, sono state esaminate per contestualizzare le diagnosi e le dinamiche che influenzano l'adozione delle MEE nel settore.

2.2.3 Analisi econometrica della performance energetica

Sono stati sviluppati numerosi modelli econometrici per analizzare l'influenza delle variabili aziendali e delle caratteristiche delle MEE sulle performance energetiche delle imprese. I modelli sviluppati sono stati definiti a seguito di una serie di verifiche inerenti alla solidità dei risultati, le quali hanno incluso l'esplorazione di differenti specificazioni modellistiche (si veda sezione). Conseguentemente, questo processo ha comportato l'inserimento e la rimozione di alcune variabili e la valutazione del ruolo di interazioni tra esse.

In merito all'analisi econometrica applicata al database che presenta come unita gli interventi individuati, è stato stimato un modello di regressione lineare (OLS) ed una sua versione che include aggiuntivamente gli effetti fissi per sito produttivo (OLS con effetti fissi). Tali analisi hanno permesso di verificare l'influenza differenziata degli interventi individuati sul potenziale di efficientamento, congiuntamente al ruolo delle caratteristiche aziendali e degli strumenti di incentivazione (Certificati Bianchi). Inoltre, il modello Logit è stato utilizzato per analizzare le probabilità che le imprese ottengano performance superiori alla media settoriale, mostrando le variazioni del potenziale di efficientamento del settore a seconda delle caratteristiche aziendali e delle MEE stesse.

Per il livello aggregato del database, sono stati realizzati modelli OLS, applicati prima all'intero campione e poi a un sub-campione di imprese localizzate nella parte settentrionale della penisola, con l'obiettivo di confermare i risultati precedenti e di verificare la presenza di autocorrelazione spaziale nei residui dei modelli stessi. Questo approccio consente di individuare la presenza di eventuali correlazioni legate alla dimensione spaziale, ovvero alla vicinanza tra le imprese, e dunque di valutare la plausibilità delle interazioni spaziali ipotizzate, fornendo una base per l'eventuale introduzione di modelli di regressione spaziale. Il sub-campione di imprese è stato selezionato in base alla frequenza degli interventi e alla concentrazione geografica delle aziende nell'area settentrionale della penisola. L'analisi su questo gruppo ha evidenziato la presenza di autocorrelazione spaziale, giustificando l'utilizzo di modelli econometrici spaziali avanzati, quali SLX, SAR, SAC e SEM (sezioni 9.7.4 e 9.7.5), per analizzare le relazioni di reciprocità esistenti tra le caratteristiche aziendali, le specificità delle misure di efficientamento energetico, le performance energetiche e i fattori non esplicitamente modellati. Come sottolineato dalla letteratura, questi modelli consentono di catturare le dinamiche di agglomerazione e di spillover geografici, i quali influenzano significativamente le performance energetiche del settore. I modelli econometrici sviluppati sono stati stimati utilizzando il metodo della massima verosimiglianza e sono presentati sinteticamente nella Tabella 1.

Modello	Versione del Database	Ipotesi Testate	Variabile Dipendente
OLS	Livello Intervento	Verificare l'influenza di variabili aziendali e delle caratteristiche delle MEE sui risparmi energetici potenziali.	log(Performance energetica)
OLS con effetti fissi	Livello Intervento	Verificare l'influenza di variabili aziendali e delle caratteristiche delle MEE sui risparmi energetici potenziali. Esplorare se le caratteristiche condivise tra i siti produttivi della stessa azienda influenzano la performance energetica.	log(Performance energetica)

Modello	Versione del Database	Ipotesi Testate	Variabile Dipendente
Logit	Livello Intervento	Verificare l'influenza di variabili aziendali e delle caratteristiche delle MEE nel determinare performance maggiori della media di quelle del settore.	Performance energetica (dummy)
OLS	Livello Impresa	Verificare l'influenza di variabili aziendali e delle caratteristiche economiche delle MEE aggregate sulle performance energetiche delle imprese.	log(Performance energetica)
OLS Stepwise	Livello Impresa	Selezionare le variabili più rilevanti per migliorare la bontà del modello rispetto all'OLS standard.	log(Performance energetica)
OLS¹	Livello Impresa (Nord)	Verificare l'influenza di variabili aziendali e delle caratteristiche economiche delle MEE aggregate sulle performance energetiche delle imprese localizzate nel Nord Italia.	log(Performance energetica)
OLS Stepwise	Livello Impresa (Nord)	Selezionare le variabili più rilevanti nel sottocampione del Nord per migliorare la predizione delle performance energetiche.	log(Performance energetica)
SAR (Spatial Autoregressive)	Livello Impresa	Testare se le performance energetiche di un'impresa sono influenzate dalle performance delle imprese vicine.	log(Performance energetica)
SEM (Spatial Error Model)	Livello Impresa (Nord)	Identificare se esistono relazioni spaziali nei residui, suggerendo la presenza di fattori non osservati che influenzano le performance energetiche delle imprese.	log(Performance energetica)

SAC (Spatial Autoregressive Combined)	Livello Impresa	Testare sia l'interazione spaziale diretta delle performance energetiche (fenomeni di influenza reciproca tra le performance delle imprese), sia l'autocorrelazione spaziale dei residui tra le imprese (interazioni tra fattori non osservati).	log(Performance energetica)
SLX (Spatial Lag of X)	Livello Impresa (Nord)	Esplorare gli effetti diretti e indiretti delle variabili aziendali e delle caratteristiche delle MEE sulle performance energetiche e verificare se esistono effetti spillover tra le imprese vicine.	log(Performance energetica)

Tabella 1: Sintesi dei modelli econometrici stimati.

2.2.4 Script per R-studio.

Tra i prodotti sviluppati figurano una serie di codici per l'ambiente R-Studio (Appendice 1), modificabili e riutilizzabili, concepiti per supportare l'aggregazione dei dati, l'analisi descrittiva e grafica, nonché l'esplorazione dei database creati. Sono dunque riportate tutte le operazioni descritte nella sezione 9.7, incluse quelle relative all'analisi econometrica, garantendo la replicabilità dell'analisi.

3 Prodotti attesi

Da capitolato oltre al presente report non erano presenti ulteriori prodotti da sviluppare

4 Prodotti sviluppati

Da capitolato oltre al presente report non erano presenti ulteriori prodotti da sviluppare

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Nessuno scostamento tecnico o economico rispetto al preventivo e nessuna criticità riscontrata.

6 Sintesi delle attività svolte

Lo studio analizza 684 diagnosi energetiche dai codici ATECO 22.21.00, 22.22.00 e 22.29.09, integrate con dati economico-finanziari AIDA. Sono stati creati due database: uno a livello di intervento e uno aggregato a livello aziendale. L'analisi utilizza modelli OLS, Logit e regressioni spaziali per esaminare l'impatto delle MEE e delle caratteristiche aziendali sulle performance energetiche. I risultati evidenziano gli effetti positivi degli investimenti e delle tecnologie di cogenerazione, mentre barriere economiche, come costo-efficacia e tempo di ritorno, limitano l'adozione delle MEE. Le caratteristiche aziendali influenzano le performance: l'indebitamento, ad esempio, presenta effetti indiretti sulle imprese vicine, evidenziando interazioni territoriali complesse. La ricerca sottolinea l'importanza di incentivi mirati per

superare barriere economiche e dell'approfondimento delle condizioni economiche locali per la comprensione delle traiettorie di efficientamento.

7 Dettaglio delle attività svolte

7.1 Validazione e preparazione dei dati

La ricerca analizza una banca dati di 684 diagnosi energetiche trasmesse all'ENEA nel 2019 da oltre 600 siti produttivi ATECO 22.21.00, 22.22.00 e 22.29.09. Il database include interventi di efficientamento energetico individuati, evidenziando spazi di conservazione energetica non ancora realizzati. Le diagnosi forniscono dati dettagliati sugli interventi di efficienza energetica, inclusi tipologia, descrizione, indicatori economici e risparmi energetici potenziali, organizzati per area di categorizzazione. Sul fronte aziendale, il database riporta informazioni come denominazione, codice identificativo, localizzazione geografica dei siti, presenza di sistemi di monitoraggio energetico e certificazione ISO 50001. Inoltre, ai fini di questo lavoro, sono stati inclusi i livelli di consumo energetico dei siti produttivi considerati. La Tabella 2 riporta le diverse informazioni che il database cattura mentre la Tabella 3 riporta le fasi di validazione eseguite.

Informazioni relative all'impresa

Ragione Sociale

Codice identificativo

P. IVA

Regione e provincia

Meccanismo di monitoraggio energetico

ISO 50001

Intensità energetica

Dimensione

Livello di consumo energetico

Aree funzionali ed i relativi consumi energetici

Informazioni relative gli interventi di efficientamento energetico

Nome dell'intervento

Tipologia dell'intervento

Descrizione dell'intervento

Livello di investimento

Periodo di ritorno dell'investimento

Costo-efficacia

Area di categorizzazione

Risparmio energetico realizzabile

Valore attuale netto

Tabella 2: Sintesi delle informazioni presenti nel database.

FASI DELLA VALIDAZIONE DEI DATI

1. Gli interventi di efficienza energetica con risparmi energetici totali mancanti sono stati rimossi in quanto non rilevanti ai fini dell'analisi.
2. Gli interventi derivanti da diagnosi non pertinenti al periodo d'obbligo sono stati rimossi.
3. I valori dei risparmi energetici e degli investimenti che risultavano particolarmente distanti dalla loro media (entrambe le code della distribuzione) sono stati verificati.
4. Laddove necessario, sono state apportate correzioni ai valori dei risparmi energetici applicando le dovute conversioni.
5. Laddove mancavano i livelli di investimento e di costo-efficacia, questi sono stati controllati e, se necessario, inclusi, sulla base del contenuto delle diagnosi.
6. I periodi di ammortamento sono stati inclusi laddove mancavano, se le relative informazioni risultavano presenti nelle diagnosi.
7. Verifica delle aziende multi-sito e della numerosità dei siti da cui provengono le diagnosi.
8. Controllo e correzione dei consumi energetici delle imprese multi-sito.

Tabella 3: Validazione dei dati

Per analizzare l'impatto degli attributi aziendali sulla performance energetica, le informazioni disponibili sono state arricchite con i dati AIDA¹ (Analisi Informata delle Imprese Italiane) attraverso l'utilizzo del codice fiscale come chiave di integrazione. Questo ha permesso di ottenere dati sulla produttività per 422 siti produttivi, riducendo il totale delle osservazioni a 1452 interventi identificati. L'arricchimento dei dati, combinato con l'inserimento delle informazioni relative all'idoneità degli interventi ai certificati bianchi, ha consentito la creazione del primo database. Parallelamente, un secondo database è stato sviluppato con l'obiettivo di facilitare l'integrazione dei dati ENEA con fonti esterne, spostando il focus dell'analisi dal livello di intervento a quello aziendale. Per ognuna delle 371 aziende sono state

¹ Le variabili estratte da AIDA includono i ricavi (2018, euro), il numero di dipendenti (2018), il rapporto di indebitamento (2018, percentuale), la rotazione del capitale investito (2018, numero) e i ricavi pro-capite (2018, euro).

aggregate² le informazioni inerenti agli interventi³ ed i consumi energetici⁴. La banca dati include la localizzazione geografica delle aziende (comune della sede legale) e mantiene i dati AIDA. Sono state inoltre realizzate variabili binarie per ogni categoria di intervento, permettendo di analizzare l'impatto di specifiche tipologie di MEE sulla performance energetica delle imprese (Tabella 4).

Passaggi chiave per l'aggregazione del database a livello d'impresa.

Somma dei consumi energetici: Per le imprese con più siti produttivi associati a un unico codice fiscale, i consumi energetici sono stati aggregati sommando i valori dei diversi siti.

Somma degli investimenti e dei risparmi energetici: Le variabili relative agli investimenti necessari e ai risparmi energetici realizzabili sono state aggregate a livello d'impresa (utilizzando il codice fiscale).

Media del tempo di ritorno: L'aggregazione del tempo di ritorno associato alle Misure di Efficienza Energetica (MEE) è stata effettuata calcolando la media dei tempi di ritorno per la totalità degli interventi individuati nei siti dell'impresa.

Sono state create variabili dicotomiche per ciascuna categoria di intervento presente.

Gli indicatori economico-finanziari delle imprese sono stati riportati direttamente nel database, senza aggregazione, come estratti dal database AIDA.

Integrazione di dati sui sistemi locali del lavoro.

Tabella 4: Creazione del database aggregato

Un elemento significativo è rappresentato dall'aggiunta delle informazioni sui Sistemi Locali del Lavoro, consentendo l'approfondimento dell'influenza di fattori economici locali.

7.2 Analisi descrittiva del campione

Nel 2019, l'intero settore della lavorazione delle materie plastiche in Italia contava quasi 10.000 imprese e oltre 175.000 dipendenti. Il nostro campione mostra un ricavo pro-capite di 370.664€ un fatturato superiore agli 11 milioni di euro, con un tasso di rotazione del capitale investito di 1,14 volte all'anno, segnalando una moderata gestione efficiente delle risorse. Il Ros medio ci suggerisce inoltre limitati margini di struttura con una limitata capacità di ricorrere all'autofinanziamento. In termini di consumi energetici, l'elettricità è stata la principale fonte utilizzata, seguita da energia termica e gas.

²L'aggregazione dei dati è stata effettuata utilizzando il Codice Fiscale come criterio univoco di riferimento.

³ Le informazioni relative agli interventi individuati, quali investimento e risparmi energetici, sono state aggregate sommando i valori per ciascun sito produttivo e successivamente a livello aziendale. Per quanto riguarda il tempo di ritorno, questo è stato calcolato come media dei tempi di ritorno associati agli interventi identificati all'interno di ogni azienda.

⁴ Sono stati aggregati i consumi energetici dei siti produttivi associati all'azienda considerata, sulla base dei dati di consumo provenienti dalle diagnosi.

Area intervento	Interventi	Interventi %	Risparmio energetico (risparmio di energia finale Tep)	Risparmio energetico %	Costo efficacia medio	Investimento (€)
Altro	6.0	0.23	127.7	0.18	4,468.71	557,059.00
Aria compressa	248.0	9.51	8,414.8	11.96	5,345.02	22,365,921.38
Aspirazione	16.0	0.61	116.2	0.17	6,476.49	610,861.00
Centrale Termica/Recuperi termici	37.0	1.42	4,068.2	5.78	8,095,459.00	
Climatizzazione	46.0	1.76	1,247.0	1.77	4,043.66	5,751,737.00
Freddo di processo	44.0	1.69	2,695.4	3.83	8,215.31	5,643,930.00
Generale	166.0	6.37	16,086.0	22.86	4,861.37	22,510,741.31
Illuminazione	298.0	11.43	16,533.7	23.50	6,276.83	35,104,974.62
Impianti elettrici	127.0	4.87	3,229.0	4.59	6,673.73	10,723,177.41
Involucro edilizio	7.0	0.27	177.2	0.25	10,634.08	946,274.00
Linee produttive	117.0	4.49	8,150.3	11.58	6,693.79	21,466,966.53
Trasporti	30.0	1.15	100.9	0.14	5,959.97	490,400.00

Tabella 5: Sintesi interventi individuati.

I risparmi energetici potenziali sono significativi: 70.231,97 tep di risparmi primari potenziali (legati ad autoproduzione di energia come cogenerazione e rinnovabili) e 13.003,85 tep di risparmi finali derivanti da altre MEE.

	Interventi	Interventi %	Risparmio energetico (risparmio di energia primaria Tep)	Costo efficacia medio	Investimento (€)
Cogenerazione/ Trigenerazione	68.0	2.61	3,465.3	6,162.90	12,219,494.44

Produzioni da fonti rinnovabili

171.0

6.56

10,215.2

6,973.03

25,159,500.59

Tabella 6: Sintesi interventi individuati legati all'autoproduzione energetica.

La Tabella 5 evidenzia la prevalenza degli interventi nei sistemi di illuminazione (11,4% del totale), seguiti da aria compressa (9,5%) e generale/gestionale (6,4%). Questi ultimi, che includono modifiche organizzative e la certificazione ISO 50001, contribuiscono ad una conservazione energetica di 16.086,0 tep. Cogenerazione offre il maggiore potenziale di risparmio (3.465,3 tep) a fronte di alti costi iniziali (12,2 milioni di euro) e lunghi tempi di ritorno. La produzione da fonti rinnovabili vede investimenti di 25,2 milioni di euro associati a risparmi potenziali di 10.215,2 tep.

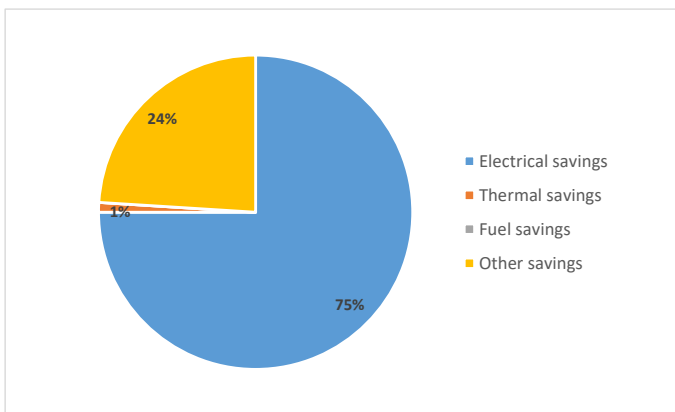


Figura 1: Ripartizione dei risparmi energetici (% , calcolati sui risparmi in tonnellate equivalenti di petrolio)

Inoltre, si evidenzia come la maggior parte degli interventi presenta livelli di costo-efficacia compresi tra 5.001 e 15.000 €, suggerendo una performance economica positiva per molti di essi. Tuttavia, i risparmi ottenibili si concentrano su investimenti con tempi di ritorno medi-lunghi (fino a 5 anni), mentre il 26,84% dei risparmi può essere ottenuto tramite investimenti a ritorno breve (entro 3 anni).

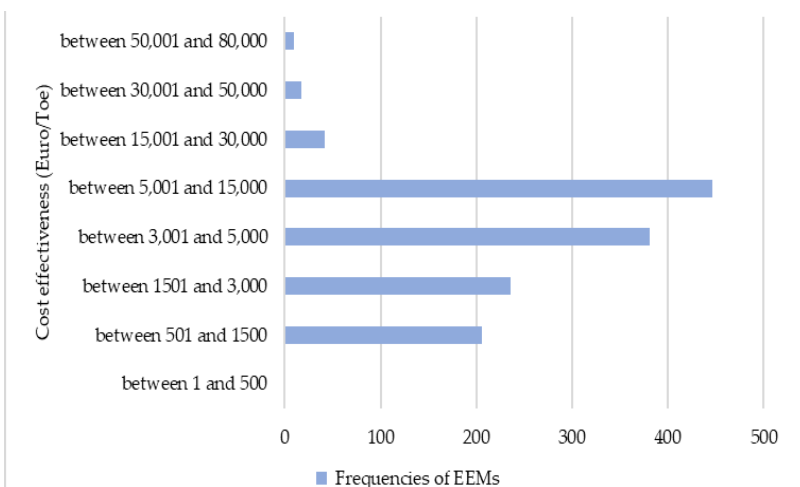


Figura 2: Livelli di costo-efficacia (euro/tep) associati alle MEE.

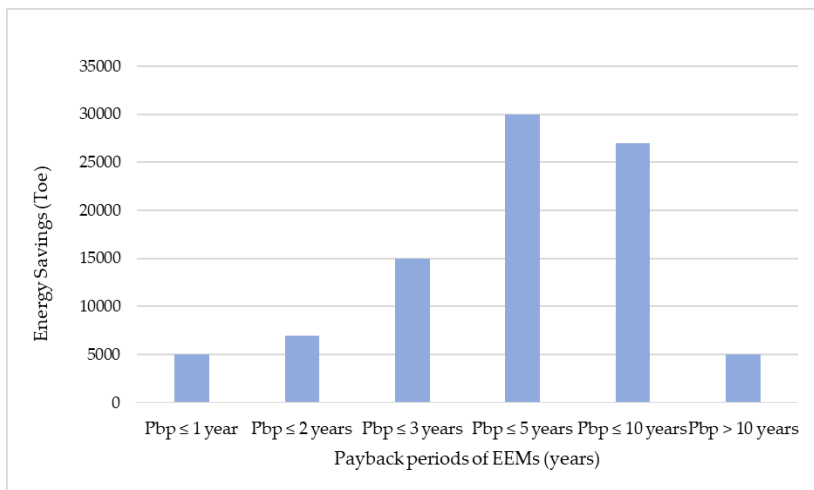


Figura 3: Tempo di ritorno (anni) degli interventi individuati.

L'analisi territoriale evidenzia una marcata concentrazione di imprese nel Nord Italia (Figura 4).

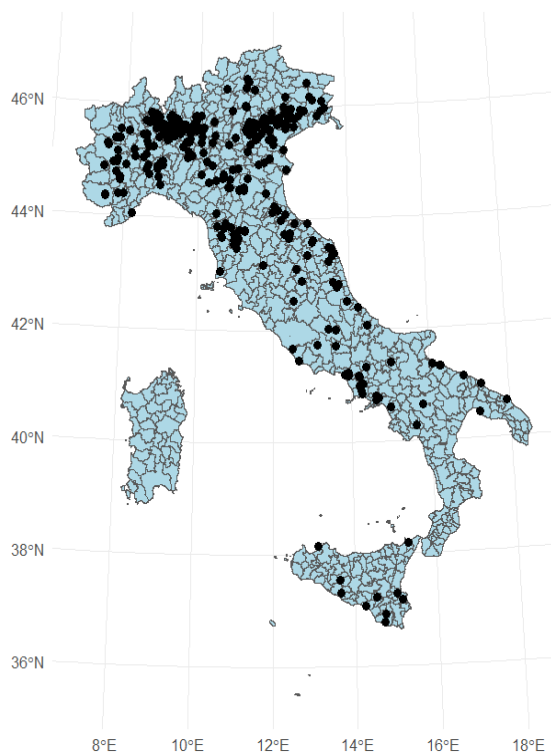


Figura 4: Distribuzione territoriale imprese.

Tale distribuzione si riflette nella ripartizione provinciale e regionale dei risparmi energetici potenziali, in particolare, regioni come Lombardia e Piemonte emergono con un potenziale molto elevato (>6000 tep), mentre in regioni come Friuli-Venezia Giulia e Sicilia notiamo la concentrazione di elevati livelli d'investimento (Figure 5 e 6). Al contrario, regioni come Basilicata e Abruzzo registrano valori più contenuti, in linea con la minore numerosità degli interventi individuati.

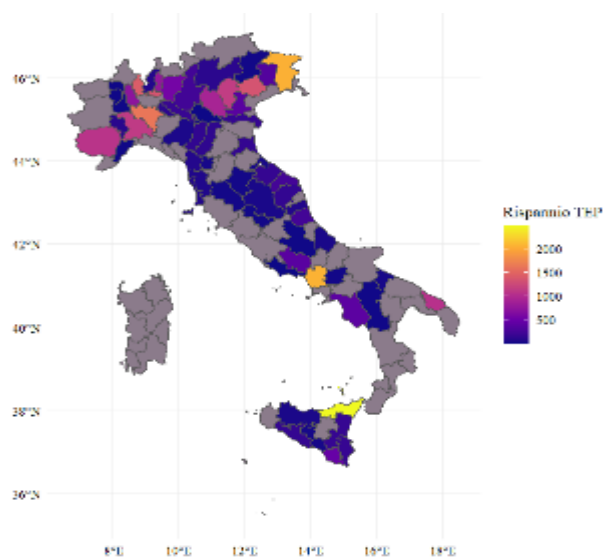


Figura 6: Distribuzione provinciale risparmi energetici.

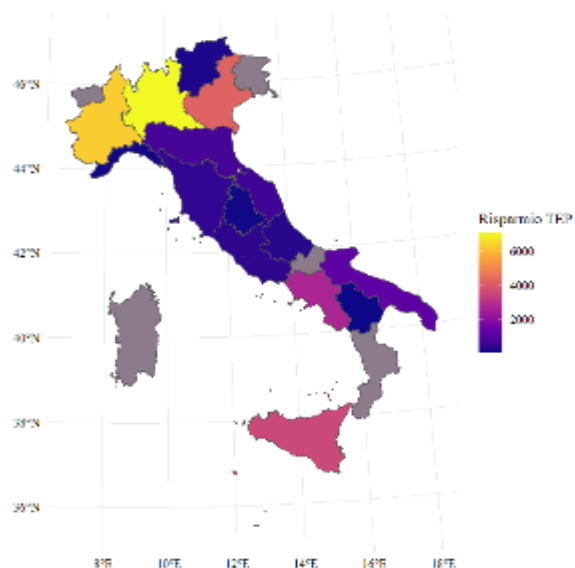


Figura 5: Distribuzione provinciale risparmi energetici.

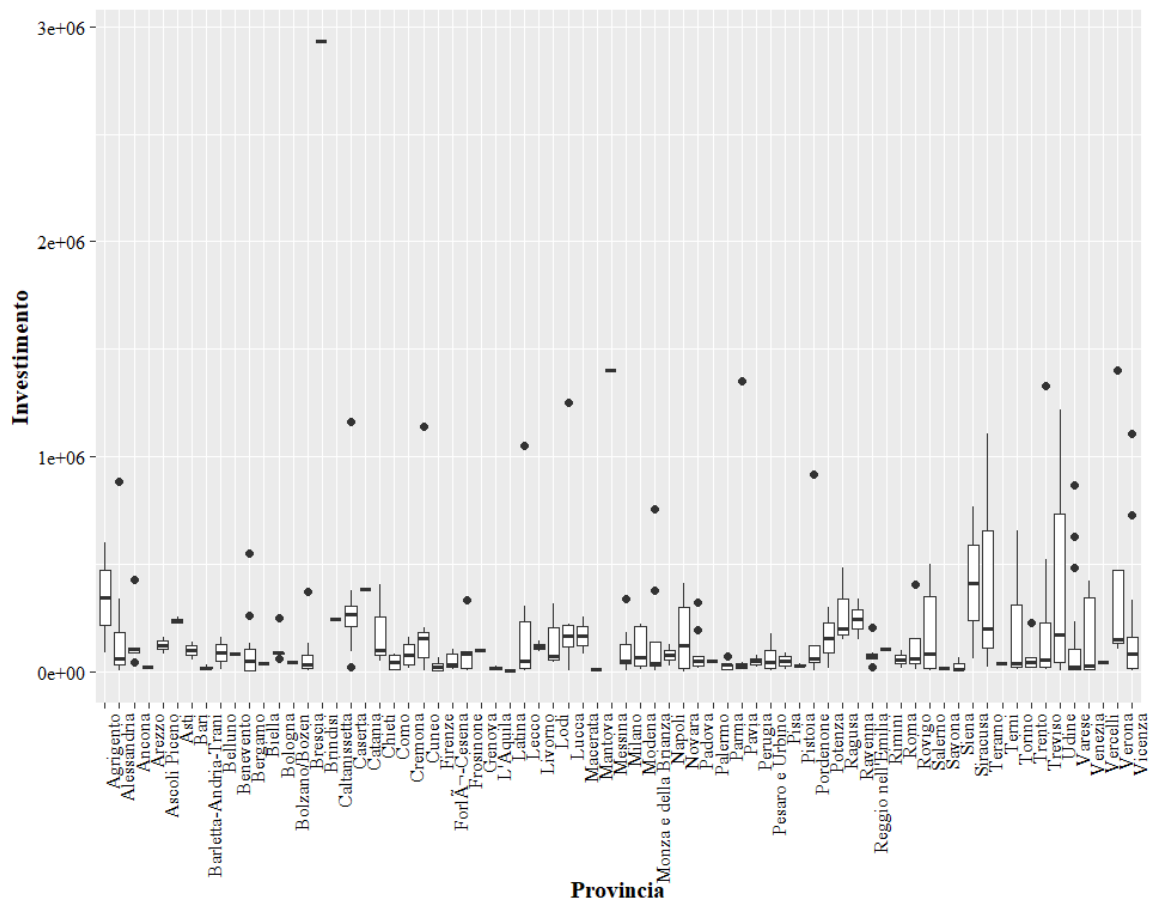


Figura 7: Distribuzione provinciale investimenti associati agli interventi individuati.

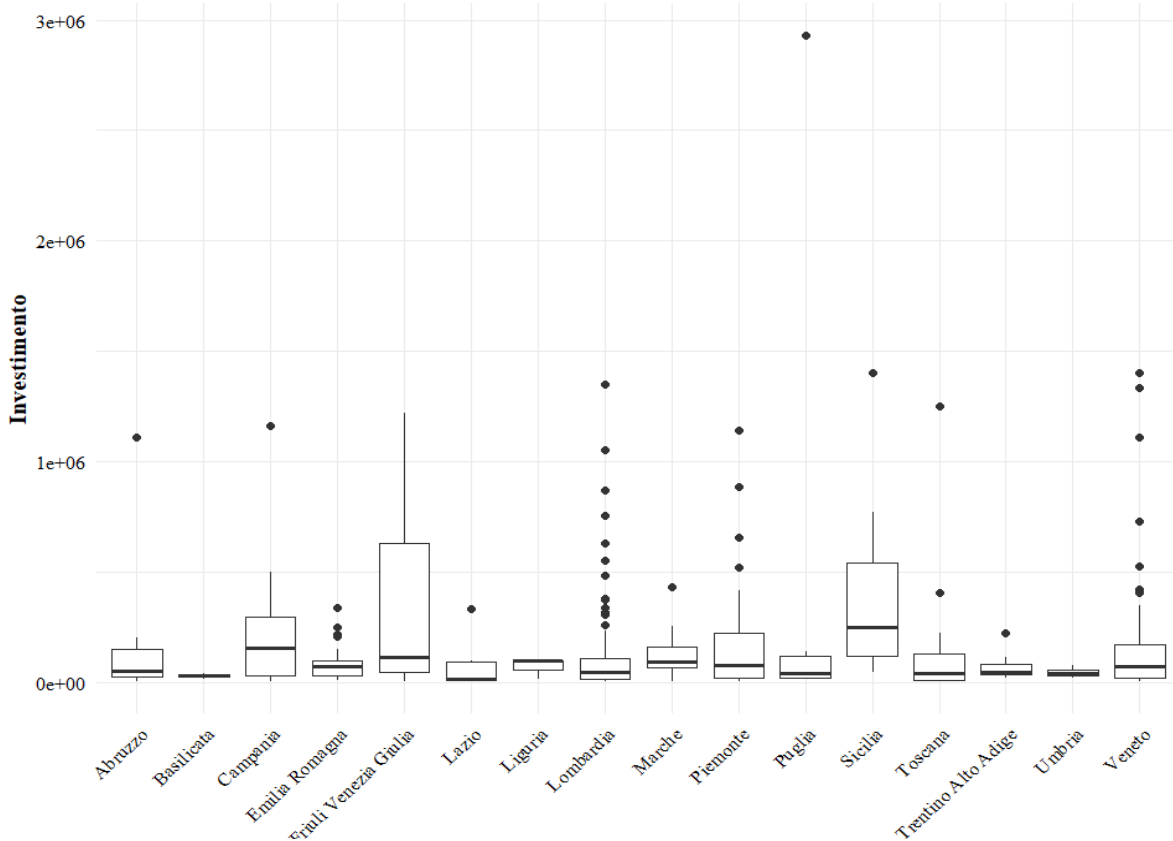


Figura 8: Distribuzione regionale investimenti associati agli interventi individuati.

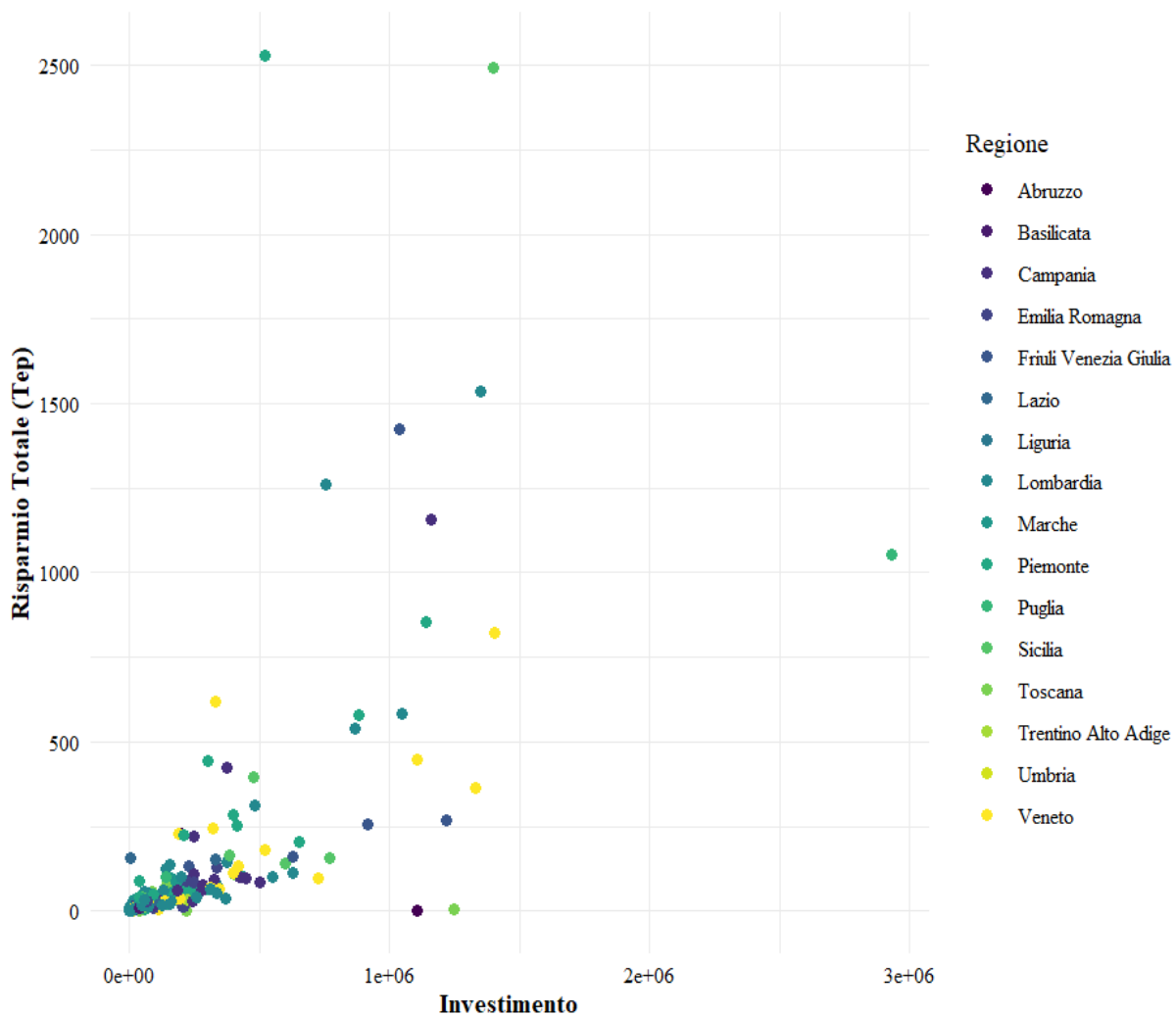


Figura 9: distribuzione regionale rapporto risparmio-investimento

7.3 La performance energetica (PE)

Il fenomeno indagato (Y) rappresenta il rapporto tra i risparmi energetici potenziali derivanti dagli interventi identificati e il consumo energetico totale del sito produttivo, entrambi misurati in tonnellate equivalenti di petrolio (tep). Questo approccio consente di valutare congiuntamente diverse tipologie di risparmio energetico (elettrico, termico e altro) e fornisce una misura della performance energetica potenziale del settore in caso di implementazione completa degli interventi. La distribuzione della performance mostra una concentrazione di osservazioni con valori inferiori a 0,25, suggerendo una prevalente bassa performance energetica nel settore.

7.4 Analisi econometrica applicata a livello intervento

7.4.1 Regressori

Le variabili esplicative includono sia elementi legati alle MEE (investimenti, area di intervento etc.) sia elementi aziendali (Tabella 7), concernono inoltre le macroaree geografiche in cui sono localizzate le imprese e indicatori tecnici come la certificazione ISO50001 e il monitoraggio.

Nome variabile ($X_1, X_2...X_k$)	Descrizione variabili	Logit	Pooled OLS	Pooled OLS (FE)
Investimento	Livello di investimento (euro) associato all'intervento (MEE).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
VAN	Valore attuale netto dell'investimento (euro).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tempo di ritorno	Tempo di ritorno dell'investimento (anni).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Monitoraggio	Variabile dicotomica = 1 se la MEE considerata proviene da un sito sottoposto a monitoraggio	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
ISO 50001	Variabile dicotomica = 1 se la MEE proviene da un sito con un sistema di gestione dell'energia.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Effetti fissi	N-1 dummy per ciascun sito produttivo con lo stesso ID appartenente alla stessa azienda.			<input checked="" type="checkbox"/>
Nord-est	Variabile dicotomica = 1 se l'intervento proviene da un sito nel nord-est dell'Italia.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Nord-ovest	Variabile dicotomica = 1 se l'intervento proviene da un sito nel nord-ovest dell'Italia.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sud	Variabile dicotomica = 1 se l'intervento proviene da un sito nel sud dell'Italia.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ricavi	Fatturato delle aziende nel 2018 (euro).			
Dipendenti	Numero di dipendenti dell'azienda nel 2018.			

Nome variabile ($X_1, X_2 \dots X_k$)	Descrizione variabili	Logit	Pooled OLS	Pooled OLS (FE)
Variabili binarie⁵ aree intervento	Variabile binaria associata all'area di intervento, che assume valore 1 se l'intervento identificato rientra nella specifica area considerata (0 altrimenti).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Rapporto di indebitamento	Rapporto di indebitamento, indicante il debito totale come percentuale delle attività totali nel 2018.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Rotaz. cap. investito	Indica il numero di volte in cui il capitale investito è stato recuperato attraverso le vendite nel 2018.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ricavi pro-capite	Fatturato dell'azienda per dipendente nel 2018 (euro).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Tabella 7: Variabili considerate.

Una variabile chiave è quella relativa ai Certificati Bianchi, costruita seguendo le linee guida del GSE.

Aree Intervento	Variabile certificate bianchi
Altro	1 in caso di introduzione di LED se i risparmi energetici sono > 5 tep, 0 altrimenti.
Aria compressa	1 in caso di interventi sull'aria compressa/sostituzione del compressore, 0 altrimenti.
Aspirazione	0 per tutti gli interventi
Centrale termica/recuperi termici	1 in caso di recupero di calore registrato e per interventi sugli impianti frigoriferi di processo, 0 altrimenti.

⁵ Nei modelli vengono inserite n-1 aree, lasciando l'ennesima come area di confronto. In questo livello d'analisi l'area esclusa consiste nell'illuminazione.

Aree Intervento	Variabile certificate bianchi
Climatizzazione	1 se l'intervento riguarda un sistema di recupero di calore e/o refrigerazione, 0 altrimenti.
Cogenerazione/Trigenerazione	1 se l'audit rivela un PES maggiore del 10% e/o se la capacità dell'impianto è < 50 kWe o < 1 MWe, 0 altrimenti.
Freddo di processo	1 in caso di sostituzione/introduzione di un sistema refrigerante, 0 altrimenti.
Generale	1 in caso di introduzione di un sistema di gestione e monitoraggio, 0 altrimenti.
Impianti elettrici	1 in caso di interventi di power quality, 0 altrimenti.
Involucro edilizio	Na ⁶
Linee produttive	1 solo in caso di sostituzione di una pressa, esclusa la pressa idraulica, 0 altrimenti.
Motori/Inverters	1 nel caso di sostituzione di motore/inverter se i risparmi sono > 5 tep, 0 altrimenti.
Produzione da fonti rinnovabili	1 in caso l'intervento preveda l'installazione di un nuovo impianto, 0 altrimenti.
Trasporti	0 per tutti gli interventi poiché non sono idonei per i certificati bianchi.

Tabella 8: Variabile certificati bianchi.

I controlli di multicollinearità, tramite heatmap di correlazione e calcolo del VIF, evidenziano correlazioni deboli e valori VIF inferiori a 5, confermando l'assenza di multicollinearità significativa e garantendo la solidità del modello.

⁶ NA in quanto nessun intervento in questa area intervento può essere associato a un certificato bianco. Sono applicabili altri meccanismi di incentivazione dell'efficienza energetica, in particolare le detrazioni fiscali.

Variable	VIF Value
Aria compressa	1,546676
Aspirazione	1,057816
Centrale termica/Recuperi termici	1,120358
Certificati bianchi	1,786532
Climatizzazione	1,147141
Cogenerazione/trigenerazione	1,618516
Costo_efficacia	1,640335
Freddo di processo	1,177195
Generale (monitoraggio, organizzazione, formazione, ISO 50001)	1,560359
Impianti Elettrici	1,27507
ISO50001	1,080088
Linee produttive	1,39579
log(Investmento)	2,761791
Monitoring	1,104204
Motori/Inverter	1,358787
Nord est	1,624993
Nord ovest	1,696642
Produzione da fonti rinnovabili	2,182506
Rapporto di indebitamento	1,100855
Ricapi_procap	1,167972
Rotaz. cap. investito	1,150582
Sud	1,324908
Tempo di ritorno	2,061264
Trasporti	1,109678

Tabella 9: Variance Inflation Factor delle variabili inserite nei modelli

7.4.2 Modelli econometrici

Lo studio stima diversi modelli econometrici⁷ per analizzare i fattori che influenzano la PE del settore. In particolare, sono stati impiegati un modello OLS (eq. 1), OLS con effetti fissi a livello di sito produttivo⁸, ed infine una regressione logit (eq. 3). Per attenuare l'influenza di valori estremi, la variabile di risposta nel modello OLS è stata trasformata applicando il logaritmo, risultando nel seguente modello:

$$\text{Log}(Y_{i,f}) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad \text{Equazione 1}$$

$$\text{Log}(Y_{i,f}) = \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k + \gamma_f + \varepsilon \quad \text{Equazione 2}$$

La regressione logit è formulata come segue:

$$P(Y_i = 1|X_i) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \dots + \beta_k X_k}}{(1 + e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \dots + \beta_k X_k})} \quad \text{Equazione 3}$$

dove $P(y_i=1|X_i)$ è la probabilità che, dato l'insieme delle variabili esplicative (X_1, \dots, X_k), l'intervento i si traduca in una prestazione di risparmio energetico (y) superiore alla media:

$$\text{Performance}_{i,f} \left(x = \frac{\text{Totale Risparmi energetici (tep)}_i}{\text{Totale Consumi energetici (tep)}_i} \right) = \begin{cases} 1; & x > \text{media}(x) \\ 0; & x \leq \text{media}(x) \end{cases} \quad \text{Equazione 4}$$

Tutti i modelli sono stati stimati con il metodo della massima verosimiglianza (ML).

7.4.3 Risultati analisi econometrica effettuata a livello intervento

L'analisi empirica evidenzia risultati significativi riguardo ai fattori che influenzano la performance energetica del settore della plastica. I modelli econometrici, applicati ai dati degli audit energetici, mostrano che un incremento degli investimenti ha un effetto positivo e significativo sulle performance energetiche. Nel modello OLS senza effetti fissi, un aumento dell'1% negli investimenti si traduce in un miglioramento della performance pari allo 0,63%, che sale allo 0,87% quando si includono effetti fissi. Nella regressione logistica, un aumento degli investimenti porta a una variazione percentuale attesa nella probabilità di migliorare le performance energetiche del 187,77%. Il tempo di ritorno rappresenta una barriera importante: ogni unità di incremento riduce la performance dello 0,08% (OLS senza effetti fissi) o dello 0,10% (con effetti fissi). Nella regressione logistica, un aumento del tempo di ritorno incrementa del 10,62% il rapporto di probabilità di non superare la performance media. Il monitoraggio delle attività produttive riduce le performance (-0,44% nell'OLS), probabilmente a causa di valutazioni più accurate e realistiche dei potenziali risparmi. Tuttavia, non implica un impatto negativo sull'efficienza generale. Le variabili geografiche mostrano una significativa influenza: nel modello OLS con effetti fissi, le imprese del Nord-Ovest registrano una riduzione della performance del 9,8%, seguite dal Sud (-7,7%) e dal Nord-Est (-4,83%),

⁷ Tutti i passaggi dell'analisi econometrica sono stati realizzati mediante software R-studio.

⁸ Permettono di controllare per caratteristiche specifiche comuni a siti produttivi appartenenti alla stessa azienda.

⁹ Dove le X indicano i predittori, β i coefficienti associati e ε è il termine di errore residuo. Inoltre, γ denota gli effetti fissi, un insieme di variabili non osservate che sono costanti nel tempo per ogni unità osservata, ma che variano tra le diverse imprese f .

¹⁰ In cui i indica l' i -esimo intervento e f la f -esima impresa.

rispetto al Centro Italia. Tra i parametri economici, il rapporto di indebitamento* ha un impatto positivo sulle performance nei modelli OLS, suggerendo che l'indebitamento spinge le imprese a ottimizzare i costi attraverso l'efficienza energetica. Tuttavia, la **rotazione del capitale** ha un effetto negativo, indicando che le imprese con cicli di capitale rapidi tendono a evitare investimenti di lungo termine, come molte misure di efficienza energetica. Infine, le aree di intervento come Cogenerazione/Trigenerazione, Centrale termica/Recupero calore e Aria compressa mostrano un impatto positivo e significativo sulle performance, confermando la loro importanza strategica nell'efficientamento energetico.

	POOLED OLS	POOLED OLS- Effetti fissi	REGRESSIONE LOGIT
In (Investimento)	0.626*** (0.025)	0.870*** (0.018)	1.057*** (0.118)
Certificati Bianchi	0.161** (0.077)	0.053 (0.048)	0.224 (0.307)
Tempo di ritorno	-0.081*** (0.012)	-0.103*** (0.009)	-0.101** (0.046)
Costo efficacia	-0.00003*** (0.00000)	-0.00004*** (0.00000)	-0.0001*** (0.00004)
Monitoraggio	-0.437*** (0.069)		-1.070*** (0.247)
ISO 50001	0.098 (0.169)		0.147 (0.685)
Nord-est	0.036 (0.092)	-4.829** (2.239)	0.331 (0.329)
Nord-ovest	0.159** (0.075)	-9.790*** (1.342)	0.125 (0.271)
Sud	-0.143 (0.131)	-7.698*** (2.640)	0.554 (0.407)
Rapporto di indebitamento	0.008*** (0.002)	-0.086** (0.034)	-0.003 (0.009)
Rotaz. Cap. investito	-0.027 (0.082)	-4.782*** (1.494)	-0.146 (0.287)
Climatizzazione	0.350* (0.179)	0.264** (0.111)	0.757 (0.752)
Aria Compressa	0.559*** (0.096)	0.558*** (0.059)	0.417 (0.660)

	POOLED OLS	POOLED OLS- Effetti fissi	REGRESSIONE LOGIT
Cogenerazione/Trigenerazione	1.568*** (0.179)	1.057*** (0.118)	3.653*** (0.818)
Centrale termica/Recuperi termici	1.108*** (0.203)	1.456*** (0.127)	2.957*** (0.650)
Motori elettrici/Inverters	-0.130 (0.114)	0.073 (0.071)	1.039* (0.569)
Impianti Elettrici	0.460*** (0.165)	0.084 (0.104)	1.778*** (0.527)
Generale	0.747*** (0.111)	0.630*** (0.069)	1.294** (0.554)
Produzione da fonti rinnovabili	0.675*** (0.132)	0.033 (0.087)	2.167*** (0.502)
Freddo di processo	0.337* (0.178)	0.252** (0.110)	1.492** (0.582)
Linee produttive	0.486*** (0.121)	0.326*** (0.076)	2.000*** (0.512)
Aspirazione	-0.284 (0.267)	-0.064 (0.173)	-11.192 (577.260)
Trasporti	-0.241 (0.204)	-0.187 (0.119)	2.544** (1.030)
COSTANT	-10.129*** (0.309)		-12.283*** (1.272)
Osservazioni	1,320	1,320	1,320
R2	0.627	0.992	
Adjusted R2	0.620	0.988	
Akaike Inf. Crit			52.000
Residual Std. Error		1.070 (df = 1294)	0.541 (df = 891)
F-Statistic		87.110*** (df=25;1294)	248.279*** (df=429;891)
Studentized Breusch-Pagan test	BP = 42.532, (df = 24, p-value = 0.01124)		

	POOLED OLS	POOLED OLS- Effetti fissi	REGRESSIONE LOGIT
Average VIF value	1.460	1.398	1.390

Tabella 10: Risultati analisi econometrica effettuata a livello intervento

7.5 Analisi econometrica effettuata a livello impresa

7.5.1 Join spaziale

Per garantire un'analisi spaziale accurata, è stato adottato il sistema di coordinate EPSG:6875 ('RDN2008 / Italy zone N-E'), specifico per l'Italia, per assicurare la corretta rappresentazione e allineamento dei dati geografici. Successivamente, è stata creata una griglia di riferimento con celle di 20x20 km, sovrapposta all'area dei Sistemi Locali del Lavoro (SLL)¹¹, per strutturare uniformemente il territorio. Questa griglia ha permesso di associare ogni impresa a una specifica cella e di calcolare metriche spaziali. Inoltre, le coordinate geografiche delle sedi legali delle imprese coinvolte sono state convertite in oggetti geografici tramite la libreria *sf* in R, garantendo la compatibilità con il sistema di coordinate SLL. L'operazione di *join* spaziale, realizzata con la funzione *st_join*, ha associato ogni impresa alla griglia territoriale e agli SLL di appartenenza, integrando informazioni territoriali per esplorare il potenziale di efficientamento energetico del settore.

7.5.2 Descrizione delle variabili

Contrariamente al database a livello di intervento, nella versione aggregata non sono incluse informazioni su monitoraggio energetico e certificazione ISO5001, poiché relative ai singoli siti produttivi. L'analisi spaziale giustifica l'esclusione delle variabili macroregionali, La variabile certificati bianchi è stata anch'essa esclusa dalla metodologia in quanto l'analisi a livello d'impresa richiederebbe una maggiore ed approfondita comprensione dell'effettivo accesso all'incentivo per una definizione delle dinamiche che ne modellano la performance energetica a livello aziendale. Le variabili aziendali estratte da AIDA¹² non hanno subito trasformazioni. Sono state definite variabili dicotomiche che segnalano la presenza di almeno un intervento in ciascuna area di riferimento per ogni impresa, pur comportando una perdita di dettaglio sulla numerosità degli interventi¹³.

¹¹ I sistemi locali del lavoro (SLL) rappresentano aree geografiche definite dall'ISTAT sulla base dei flussi di pendolarismo, ovvero degli spostamenti quotidiani degli occupati tra il luogo di residenza e quello di lavoro. Vengono individuati analizzando i movimenti dei lavoratori attraverso dati dei censimenti e altre rilevazioni statistiche. Un'area è definita SLL quando mostra una forte integrazione tra residenze e posti di lavoro, precisamente quando la maggior parte dei lavoratori risiede e lavora all'interno della stessa area o in zone adiacenti.

¹² Ricavi, Dipendenti, Indebitamento, Ricavi pro-capite e Rotazione capitale investito.

¹³ Diversamente dall'approccio a livello di singolo intervento, nell'analisi aggregata è stata rimossa la variabile dicotomica relativa all'area "Altro", poiché solo 7 imprese su 371 riportano MEE in questa categoria. Al suo posto, è stata inclusa la variabile relativa all'illuminazione.

7.5.3 Matrici dei pesi

La matrice dei pesi spaziali (**W**) definisce le relazioni di prossimità geografica tra le unità osservate, la sua costruzione risulta strumentale per verificare la presenza di autocorrelazione spaziale tra le unità¹⁴. Nell'ambito di questo studio, sono state realizzate:

- **Matrice di distanza inversa**¹⁵ $W_{ij} = \begin{cases} 1/d_{ij} & \text{se } i \text{ e } j \text{ sono vicini} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$

Dove d è la distanza geodetica tra le sedi legali delle imprese i e j, calcolata in base alle coordinate geografiche.

- **Matrice di adiacenza provinciale**¹⁶ $W_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se } i \text{ e } j \text{ sono nella stessa provincia} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$
- **Matrice di adiacenza regionale**¹⁷ $W_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se } i \text{ e } j \text{ sono nella stessa regione} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$
- **Matrici di soglia di distanza**¹⁸ $W_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se } d_{ij} < \text{valore soglia} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$
- **Matrice SLL**¹⁹ $W_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se } i \text{ e } j \text{ appartengono allo stesso SLL} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$

7.5.4 Autocorrelazione spaziale

I test di autocorrelazione spaziale di Moran I²⁰, condotti sui residui della regressione OLS stimata per l'intero campione, non evidenziano autocorrelazione significativa tra le imprese.

Lista Pesì	Moran I statistic	p-value
lw	-0.00275	0.5027
lw_SLL	0.68803	0.2457
lw_provinciale	-0.02185	0.7444
lw_regionale	0.010157	0.1701
lw_10	-0.06075	0.8937

¹⁴ L'autocorrelazione spaziale è una misura della dipendenza tra i valori di una variabile in punti geografici vicini. Si verifica quando i valori osservati in una posizione sono correlati con i valori in posizioni vicine, in modo positivo (simili) o negativo (diversi). Essa riflette la struttura spaziale di un fenomeno.

¹⁵ Assegna un peso maggiore ai vicini più prossimi e un peso minore ai vicini più lontani

¹⁶ In questa matrice, viene assegnato un peso di 1 se due imprese si trovano all'interno della stessa provincia.

¹⁷ Viene assegnato un peso di 1 se le imprese si trovano all'interno della stessa regione e 0 altrimenti.

¹⁸ Queste matrici impostano una soglia di distanza oltre la quale l'interazione spaziale viene considerata nulla. Le soglie testate sono rispettivamente di 10km, 20km, 50 km e 60km.

¹⁹ Viene assegnato un peso di 1 se le imprese appartengono allo stesso Sistema Locale del Lavoro.

²⁰ Il test di Moran I è un indice statistico utilizzato per rilevare la presenza di autocorrelazione spaziale.

Lista Pesì	Moran I statistic	p-value
lw_20	-0.03927	0.8464
lw_50	-0.01786	0.7491
lw_100	-0.00626	0.5916

Tabella 11: Risultati test di Moran I applicati all'intero campione.

Tuttavia, la distribuzione territoriale non omogenea ha motivato l'analisi di sotto-campioni regionali per verificare la presenza di relazioni spaziali rilevanti. Per ciascun sotto-campione, sono state costruite le matrici \mathbf{W}^{21} , stimata la regressione OLS ed applicati i test di Moran I. Nel Nord Italia²², alcuni sottogruppi di imprese hanno evidenziato una debole autocorrelazione spaziale (Tabelle). Tali evidenze, insieme ai risultati dell'analisi territoriale, hanno portato alla selezione di un campione di 172 imprese localizzate in Lombardia, Emilia-Romagna, Friuli-Venezia Giulia, Trentino-Alto Adige e Liguria.

Campione	Distanze inverse	Matrice adiacenza SLL	Matrice adiacenza PROVINCE
Emilia-Romagna e Veneto. (92 imprese)	Moran I = 0.0045, p-value = 0.1996	Moran I = -0.0358, p-value = 0.5773	Moran I = -0.0091, p-value = 0.4846
Friuli-Venezia Giulia e Veneto. (74 imprese)	Moran I = -0.0299, p-value = 0.8199	Moran I = -0.1410, p-value = 0.8557	Moran I = -0.0848, p-value = 0.9025
Emilia-Romagna e Lombardia. (148 imprese)	Moran I = 0.0310, p-value = 0.004812	Moran I = 0.0650, p-value = 0.1129	Moran I = 0.0489, p-value = 0.08155
Emilia-Romagna, Friuli-Venezia Giulia e Veneto. (105 imprese)	Moran I = 0.0043, p-value = 0.1951	Moran I = -0.0447, p-value = 0.6228	Moran I = -0.0136, p-value = 0.527
Emilia-Romagna, Friuli-Venezia Giulia, Lombardia e Veneto. (222 imprese)	Moran I = 0.0071, p-value = 0.1463	Moran I = 0.0055, p-value = 0.4232	Moran I = 0.0133, p-value = 0.2957

²¹ Le matrici sono utilizzate per pesare le relazioni esistenti tra le imprese.

²² I risultati sono generalmente non significativi per i campioni relativi al Centro Italia.

Campione	Distanze inverse	Matrice adiacenza SLL	Matrice adiacenza PROVINCE
Emilia-Romagna, Lombardia e Trentino-Alto Adige. (125 imprese)	Moran I = 0.0245, p-value = 0.01571	Moran I = 0.0653, p-value = 0.1176	Moran I = 0.0318, p-value = 0.1748
Emilia-Romagna, Lombardia, Friuli-Venezia Giulia e Trentino-Alto Adige.169 (imprese)	Moran I = 0.0219, p-value = 0.01998	Moran I = 0.0478, p-value = 0.1805	Moran I = 0.0279, p-value = 0.1963
Emilia-Romagna, Friuli-Venezia Giulia, Liguria, Lombardia Trentino-Alto Adige. (172 imprese)	Moran I = 0.0223, p-value = 0.01693	Moran I = 0.0470, p-value = 0.1841	Moran I = 0.0273, p-value = 0.2073

Tabella 12: Risultati dei test Moran I per le liste pesi lw, lw_SLL e lw_provinciale- Nord.

Campione	Distanze inverse, raggio 50 km	Distanze inverse, raggio 20 km	Distanze inverse, raggio 10 km	Distanze inverse, raggio 65 km
Emilia-Romagna e Veneto. (92 imprese)	Moran I = 0.0152, p-value = 0.2776	Moran I = -0.0420, p-value = 0.6312	Moran I = -0.0094, p-value = 0.4656	Moran I = 0.0174, p-value = 0.2288
Friuli-Venezia Giulia e Veneto. (74 imprese)	Moran I = -0.0505, p-value = 0.7952	Moran I = -0.1406, p-value = 0.9238	Moran I = -0.0839, p-value = 0.6735	Moran I = -0.0471, p-value = 0.803
Emilia-Romagna e Lombardia. (148 imprese)	Moran I = 0.0688, p-value = 0.0055 ²³	Moran I = 0.0372, p-value = 0.1954	Moran I = 0.0189, p-value = 0.3393	Moran I = 0.0676, p-value = 0.0024
Emilia-Romagna, Friuli-Venezia Giulia e Veneto. (105 imprese)	Moran I = 0.0155, p-value = 0.2721	Moran I = -0.0368, p-value = 0.6224	Moran I = -0.0057, p-value = 0.4602	Moran I = 0.0150, p-value = 0.2445

²³ Il p-value associato a ciascun risultato indica la significatività statistica del test. In particolare, un p-value inferiore a 0.05 segnala che l'autocorrelazione spaziale rilevata è statisticamente significativa.

Campione	Distanze inverse, raggio 50 km	Distanze inverse, raggio 20 km	Distanze inverse, raggio 10 km	Distanze inverse, raggio 65 km
Emilia-Romagna, Friuli-Venezia Giulia, Lombardia e Veneto. (222 imprese)	Moran I = 0.0258, p-value = 0.0934	Moran I = -0.0102, p-value = 0.5469	Moran I = -0.002, p-value = 0.4773	Moran I = 0.0221, p-value = 0.08757
Emilia-Romagna, Lombardia e Trentino-Alto Adige (125 imprese)	Moran I = 0.0601, p-value = 0.01797	Moran I = 0.0311, p-value = 0.2352	Moran I = 0.0214, p-value = 0.331	Moran I = 0.0561, p-value = 0.01047
Emilia-Romagna, Lombardia, Friuli-Venezia Giulia e Trentino-Alto Adige (169 imprese)	Moran I = 0.0521, p-value = 0.02635	Moran I = 0.0268, p-value = 0.2654	Moran I = 0.0191, p-value = 0.3459	Moran I = 0.0497, p-value = 0.01552
Emilia-Romagna, Friuli-Venezia Giulia, Liguria, Lombardia Trentino-Alto Adige. (172 imprese)	Moran I = 0.0518, p-value = 0.02723	Moran I = 0.0259, p-value = 0.2709	Moran I = 0.0180, p-value = 0.3517	Moran I = 0.0521, p-value = 0.01342

Tabella 13: Risultati dei test Moran I per le liste pesi lw_10, lw_20, lw_50, lw_65-Nord.

CENTRO ITALIA

Campione	Distanze inverse	Matrice adiacenza SLL	Matrice adiacenza PROVINCE
Lazio, Toscana, Umbria. (32 imprese)	Moran I = -0.0364, p-value = 0.5238	Moran I = -0.1305, p-value = 0.6298	Moran I = 0.0333, p-value = 0.3472
Lazio, Marche, Umbria. (26 imprese)	Moran I = -0.11598, p-value = 0.8822	Moran I = -0.00085, p-value = 0.3648	Moran I = -0.06291, p-value = 0.5442
Abruzzo, Lazio, Marche, Toscana, Umbria. (54 imprese)	Moran I = -0.0758, p-value = 0.9319	Moran I = -0.1976, p-value = 0.8358	Moran I = -0.1623, p-value = 0.8606

Campione	Distanze inverse	Matrice adiacenza	Matrice adiacenza
		SLL	PROVINCE
Abruzzo,Lazio, Toscana, Umbria. (38 imprese)	Moran I = -0.0703, p-value = 0.8197	Moran I = -0.3534, p-value = 0.9138	Moran I = -0.1366, p-value = 0.7336

Tabella 14: Risultati dei test Moran I per le liste pesi lw, lw_SLL e lw_provinciale

CENTRO ITALIA

Campione	Distanze inverse, raggio 50 km	Distanze inverse, raggio 20 km	Distanze inverse, raggio 10 km	Distanze inverse , raggio 65 km
Lazio, Toscana,Umbria. (32 imprese)	Moran I = -0.0506, p-value = 0.5325	Moran I = 0.0728, p-value = 0.2182	Moran I = -0.0143, p-value = 0.3801	Moran I = -0.0535 , p-value = 0.5599
Lazio, Marche, Umbria. (26 imprese)	Moran I = -0.06667, p-value = 0.5523	Moran I = - 0.22649, p-value = 0.7245	Moran I = - 0.22100, p-value = 0.6597	Moran I = - 0.11678, p-value = 0.7198
Abruzzo, Lazio, Marche, Toscana, Umbria. (54 imprese)	Moran I = -0.1701, p-value = 0.9403	Moran I = -0.1681, p-value = 0.848	Moran I = - 0.2490, p-value = 0.8267	Moran I = -0.1432, p-value = 0.9437
Abruzzo,Lazio, Toscana, Umbria. (38 imprese)	Moran I = -0.1075, p-value = 0.7248	Moran I = -0.1594, p-value = 0.7218	Moran I = -0.1568, p-value = 0.5731	Moran I = -0.1104, p-value = 0.7795

Tabella 15: Risultati dei test Moran per le liste pesi lw_10, lw_20, lw_50, lw_65- Centro.

7.5.5 Risultati analisi econometrica effettuata a livello impresa

La regressione lineare applicata sia all'intero campione che al campione Nord ha mostrato una capacità esplicativa inferiore rispetto all'analisi a livello di intervento, a causa dell'aggregazione dei dati che ha ridotto il dettaglio delle caratteristiche tecniche delle misure. Le variabili economiche, come l'investimento e il costo-efficacia, sono risultate statisticamente significative. La regressione per il sotto-campione Nord ha evidenziato anche la significatività del livello di indebitamento, suggerendo che variazioni nel leverage aziendale possano incentivare l'adozione di misure di efficientamento.

Variabili (Intercept)	POOLED OLS	STEP AIC OLS
	-0.1074*	-0.09733**
	(0.04155)	(0.03412)
log(Investimento)	0.0166 ***	0.01408***
	(0.003761)	(0.03004)
Tempo di ritorno	0.001171	
	(0.001991)	
Rotaz. Cap. investito	-0.008013	
	(0.01047)	
Costo efficacia	-0.000001761***	-0.00000521 *** (0.000000438)
	(0.0000004643)	
Rapporto di indebitamento	0.0005372	
	(0.0003469)	
Ricavi pro-capite	-0.00000001068	
	(0.00000001993)	
Aria compressa	-0.009306	-0.01612*
	(0.008870)	(0.00792)
Aspirazione	-0.003089	
	(0.02159)	
Centrale termica/Recuperi termici	-0.009187	
	(0.01487)	
Climatizzazione	-0.008849	
	(0.01337)	
Cogenerazione/Trigenerazione	0.05795 ***	0.06299***
	(0.01307)	(0.01212)
Freddo di processo	-0.01803	
	(0.01340)	
Generale	-0.009577	
	(0.009440)	
Impianti Elettrici	-0.004954 (0.009724)	

Variabili	POOLED OLS	STEP AIC OLS
Illuminazione	-0.01251 (0.008224)	-0.01296 (0.00792)
Linee produttive	-0.01278 (0.009896)	
Motori Elettrici/Inverters	-0.008426 (0.01006)	
Produzioni da fonti rinnovabili	-0.01376 (0.009716)	
Trasporti	0.01819 (0.01662)	
MULTISITO	0.006410 (0.008044)	
Osservazioni	371	371
R2	0.2927	0.2675
Adjusted R2	0.2523	0.2576
Akaike Inf. Crit	-859.1087	-876.1398
Bayesian Inf. Crit	-767.4724	-848.7264
Residual Std. Error	0.07376 on 350 degrees of freedom	0.0735 on 365 degrees of freedom
F-Statistic	7.241 on 20 and 350 DF, p-value: < 2.2e-16	26.66 on 5 and 365 DF, p-value: < 2.2e-16
Studentized Breusch-Pagan test	BP = 24.23, df = 20, p-value = 0.2325	BP = 15.539, df = 5, p-value = 0.008291

Nota: *, **, *** rappresentano rispettivamente il livello di significatività statistica di 0,05, 0,01 e 0,001, mentre un punto (.) rappresenta un livello di significatività di 0,1. Questi indicatori forniscono un rapido spunto visivo per valutare la solidità statistica dei risultati.

Tabella 16: Risultati analisi econometrica effettuata per l'intero campione.

Variabili	POOLED OLS	STEP AIC OLS
(Intercept)	-0.06885 (0.03569)	
log(Investimento)	0.01165*** (0.003172)	0.01178*** (0.2710)
Tempo di ritorno	-0.00180 (0.001736)	
Rotaz. Cap. investito	-0.00960 (0.008697)	-0.01179 (0.00765)
Costo efficacia	-0.0000006902 (0.00000005)	-0.000000763 (.) (0.000000438)
Rapporto di indebitamento	0.0008975 (0.0006077)	0.001219* (0.000562)
Ricavi pro-capite	-0.00000000932 (0.00000002)	
Illuminazione	0.001638 (0.006684)	
Aria compressa	-0.008981 (0.007200)	-
Aspirazione	-0.0003642 (0.01791)	
Centrale termica/Recuperi termici	-0.01506 (0.01144)	-0.01450 (0.01029)
Climatizzazione	-0.005549 (0.009885)	
Cogenerazione/Trigenerazione	0.05676 *** (0.01175)	0.05713*** (0.01039)
Freddo di processo	-0.01098 (0.01191)	
Generale	-0.006130 (0.007434)	
Impianti Elettrici	0.001441 (0.007657)	
Linee produttive	-0.009322 (0.008121)	-0.01257(.) (0.007302)
Motori Elettrici/Inverters	-0.004436 (0.007675)	

Variabili	POOLED OLS	STEP AIC OLS
Produzioni da fonti rinnovabili	0.005319 (0.007844)	
Trasporti	0.01193 (0.01262)	
MULTISITO	0.0008196 (0.006747)	
Osservazioni	172	172
R2	0.4568	0.5034
Adjusted R2	0.3849	0.4875
Akaike Inf. Crit	-596.6215	-692.9924
Bayesian Inf. Crit	-527.3766	-588.1202
Residual Std. Error	0.04011 on 151 df	0.03964 on 187 df
F-Statistic	6.35 on 20 and 151 df, p-value: 3.807e-12	31.6 on 6 and 187 df, p-value: < 2.2e-16
Studentized Breusch-Pagan test	BP = 36.259, df = 20, p-value = 0.01434	BP = 35.151, df = 6, p-value = 4.029e-06
Average VIF value	1.388362	1.171994

Tabella 17: Sintesi risultati analisi econometrica effettuata per il campione Nord Italia.

Nota: *, **, *** rappresentano rispettivamente il livello di significatività statistica di 0,05, 0,01 e 0,001, mentre un punto (.) rappresenta un livello di significatività di 0,1. Questi indicatori forniscono un rapido spunto visivo per valutare la solidità statistica dei risultati.

7.5.6 Risultati analisi econometrica spaziale effettuata a livello impresa-campione Nord Italia

I modelli di regressione econometrica spaziale presentati, stimati per il campione nord e utilizzando la matrice delle distanze inverse (W), includono SLX, SAR, SAC e SEM. Questi consentono di analizzare sia gli effetti diretti²⁴ delle variabili sulle performance energetiche (PE) sia eventuali effetti indiretti legati alle interazioni spaziali tra unità geograficamente vicine. Tutti i modelli hanno confermato il ruolo cruciale degli investimenti e del costo-efficacia nel migliorare la PE, oltre alla rilevanza delle tecnologie di cogenerazione rispetto ad altre misure di efficientamento energetico. In particolare, i risultati del modello SAR (spatial

²⁴ Quando gli effetti indiretti risultano non significativi, significa che le decisioni o le caratteristiche di una specifica unità (ad esempio, un'impresa) non influenzano in modo sostanziale le unità ad essa geograficamente vicine.

autoregressive) evidenziano che le esigenze di efficientamento di una impresa non influenzano significativamente quelle delle vicine indicando eterogeneità del potenziale di efficientamento (Roh non significativo). Il modello SEM²⁵ (Spatial error Model) ha identificato suggerisce che fattori non osservati, che spiegano la PE, presentano dinamiche di interazione legate alla posizione geografica delle imprese (Lambda significativo).²⁶ Le risultanze del modello SLX (Spatial lag of X) hanno confermato la rilevanza degli effetti diretti delle variabili investimento, cogenerazione e costo-efficacia. Tuttavia, gli effetti indiretti sono risultati non significativi. Inoltre, si evince una relazione negativa tra la rotazione del capitale investito e le PE, indicando che le imprese con cicli di capitale più rapidi tendono a privilegiare investimenti a breve termine. L' aumento del leverage aziendale mostra effetti diretti ed indiretti significativi, ovvero un suo aumento incide anche sulle PE delle imprese vicine²⁷. Aggiuntivamente, gli effetti indiretti dei ricavi pro-capite appaiono marginalmente significativi: le imprese con ricavi più elevati possono influenzare, sempre sotto un'ottica di competizione, le priorità d'investimento delle vicine sebbene non in modo incisivo. Infine, il modello SAC ha confermato le precedenti risultanze.

Variabili	Coefficienti
(Intercept)	-0.07176 (0.03498)*
log(Investimento)	0.01163 (0.00297)***
Tempo di ritorno	-0.00176 (0.00163)
Rotaz. Cap. investito	-0.00970 (0.00815)
Costo efficacia	-0.000000689 (0.000000502)
Rapporto di indebitamento	0.000896 (0.000569)

²⁵ il coefficiente Lambda, che cattura l'autocorrelazione spaziale nei residui, è altamente significativo, suggerendo la presenza di fattori non osservati che influenzano le performance aziendali e che sono correlati in modo spaziale.

²⁶ Tuttavia, il miglioramento rispetto all'OLS è stato marginale, rendendo la complessità aggiuntiva del modello non giustificata

²⁷ Il meccanismo di trasmissione di questo effetto non concerne la reciproca spinta all'adozione di MEE, ma piuttosto per via di una spinta competitiva o condizioni di credito favorevoli. Ovvero Se le aziende avessero aumentato il loro debito per implementare un maggior numero di misure di efficientamento energetico, stimolando le imprese circostanti a fare lo stesso, ci saremmo aspettati di osservare una relazione positiva e significativa tra le performance energetiche delle aziende vicine nel modello SAR, rappresentata dal coefficiente Rho. Tuttavia, tale relazione non è emersa. Pertanto, riteniamo il meccanismo di trasmissione risiede nei ritmi competitivi del settore, infatti la realizzazione di quei livelli di indebitamento potrebbe incentivare le imprese circostanti a migliorare i propri costi operativi ricorrendo alle MEE.

Variabili	Coefficienti
Ricavi pro-capite	-0.00000000892 (0.00000001907)
Aria compressa	-0.00884 (0.00676)
Aspirazione	-0.00006418 (0.01678)
Centrale termica/Recuperi termici	-0.01509 (0.01071)
Climatizzazione	-0.00587 (0.00926)
Cogenerazione/Trigenerazione	0.05797 (0.01100)***
Freddo di processo	-0.01184 (0.01119)
Generale	-0.00617 (0.00697)
Impianti Elettrici	0.00148 (0.00717)
Illuminazione	0.00178 (0.00626)
Linee produttive	-0.00934 (0.00764)
Motori Elettrici/Inverters	-0.00469 (0.00720)
Produzioni da fonti rinnovabili	0.00538 (0.00735)
Trasporti	0.01180 (0.01183)
MULTISITO	0.00099 (0.00639)
Rho	0.08193
z-value (Rho)	0.29677, p-value: 0.76664
Wald statistic	0.088071, p-value: 0.76664

Variabili	Coefficienti
Log likelihood	320.3546 for lag model
LR test value	0.0014115 (sigma: 0.03757)
LM test (residual autocorrelation)	3.3621, p-value: 0.066713
Akaike Inf. Crit	-594.71
Bayesian Inf. Crit.	-522.3169

Tabella 18: Risultati regressione econometrica spaziale SAR Nord Italia.

Nota: *, **, *** rappresentano rispettivamente il livello di significatività statistica di 0,05, 0,01 e 0,001, mentre un punto (.) rappresenta un livello di significatività di 0,1. Questi indicatori forniscono un rapido spunto visivo per valutare la solidità statistica dei risultati.

Variabile	Effetto diretto	Effetto indiretto	Totale
log(Investimento)	0.01163506	0.001036301	0.01267136
Tempo di ritorno	-0.001758447	-0.0001566197	-0.001915067
Rotaz. Cap. Investito	-0.009703507	-0.0008642629	-0.01056777
Costo efficacia	-0.0000006894	-0.0000000614	-0.0000007508
Rapporto di indebitamento	0.0008960145	0.00007980538	0.0009758199
Ricavi pro-capite	-0.000000008926	-	-
Aria compressa	-0.008839981	0.000000000795	0.000000009721
Aspirazione	-0.00006419453	-0.000005717618	-0.00006991214
Centrale termica/Recuperi termici	-0.01509641	-0.001344593	-0.01644100
Climatizzazione	-0.005865982	-0.0005224658	-0.006388448
Cogenerazione/Trigenerazione	0.05697799	0.005074862	0.06205285

Variabile	Effetto diretto	Effetto indiretto	Totale
Freddo di processo	-0.01183798	-0.001054374	-0.01289236
Generale	-0.006174129	-0.0005499115	-0.006724040
Impianti Elettrici	0.001476008	0.0001314637	0.001607471
Illuminazione	0.001776416	0.0001582201	0.001934636
Linee produttive	-0.009345530	-0.0008323789	-0.01017791
Motori Elettrici/Inverters	-0.004686669	-0.0004174278	-0.005104097
Produzioni da fonti rinnovabili	0.005381174	0.0004792854	0.005860459
Trasporti	0.01179917	0.001050917	0.01285008
MULTISITO	0.000993803	0.00008851511	0.001082318

Tabella 19: Sintesi degli effetti diretti ed indiretti modello SAR.

Variabili	Coefficienti
(Intercept)	-0.06642 (0.03311)
log(Investimento)	0.01103 (0.00290)***
Tempo di ritorno	-0.00119 (0.00160)
Rotaz. Cap. investito	-0.01042 (0.00799)
Costo efficacia	-0.000000744 (0.000000495)
Rapporto di indebitamento	0.000812 (0.000559)
Ricavi pro-capite	-0.000000005 (0.000000019)
Ariacompressa	-0.00897 (0.00661)
Variabili	Coefficienti

Aspirazione	0.00350 (0.01649)
Centrale termica/Recuperi termici	-0.01599 (0.01061)
Climatizzazione	-0.00849 (0.00917)
Cogenerazione/Trigenerazione	0.05950 (0.01081)***
Freddo di processo	-0.01939 (0.01109)
Generale	-0.00749 (0.00689)
Impianti Elettrici	0.00221 (0.00704)
Illuminazione	0.00243 (0.00635)
Linee produttive	-0.00674 (0.00757)
Motori Elettrici/Inverters	-0.00594 (0.00703)
Produzioni da fonti rinnovabili	0.00644 (0.00714)
Trasporti	0.00791 (0.01186)
MULTISITO	-0.00041 (0.00623)
Lambda	0.57056
LR test value	2.5853, p-value: 0.2745491
z-value Lambda	2.5222, p-value: 0.01166
Wald statistic	6.3614, p-value: 0.01166
Log likelihood	321.6034 for error model

Variabili	Coefficienti
ML residual variance (sigma squared)	0.0013787 (sigma: 0.03713)
Akaike Inf. Crit	-596.62
Bayesian Inf. Crit	-524.8144

Tabella 20: Risultati regressione econometrica spaziale SEM-Nord Italia.

Nota: *, **, *** rappresentano rispettivamente il livello di significatività statistica di 0,05, 0,01 e 0,001, mentre un punto (.) rappresenta un livello di significatività di 0,1. Questi indicatori forniscono un rapido spunto visivo per valutare la solidità statistica dei risultati.

Variabili	Coefficienti
Intercept	0.175600 ** (0.490600)
log(Investimento)	0.009782** (0.003153)
Tempo di ritorno	-0.000826 (0.001704)
Rotaz. Cap. Investito	-0.019970* (0.009096)
Costo efficacia	-0.000001** (0.000001)
Rapporto di indebitamento	0.001191. (0.000619)
Ricavi pro-capite	-0.000000 (0.000000)
Aria compressa	-0.003382 (0.007234)
Aspirazione	-0.009532 (0.018300)
Centrale termica/Recuperi termici	-0.018790 (0.011440)
Climatizzazione	-0.004014 (0.009988)

Variabili	Coefficienti
Cogenerazione/Trigenerazione	0.059940 *** (0.011520)
Freddo di processo	-0.015920 (0.012080)
Generale	-0.004929 (0.007276)
Impianti Elettrici	0.002232 (0.007512)
Illuminazione	0.002804 (0.006563)
Linee produttive	-0.010780 (0.007906)
Motori Elettrici/Inverters	-0.003836 (0.007835)
Produzioni da fonti rinnovabili	0.008079 (0.007729)
Trasporti	-0.006314 (0.013060)
MULTISITO	-0.000094 (0.006684)
lag.log (Investimento)	-0.006721 (0.043420)
lag.Tempo di ritorno	-0.050380 * (0.022660)
lag.Rotaz. cap investito	-0.117000 (0.086000)
lag.Costo efficacia	-0.000007 (0.000008)
lag.Rapporto di indebitamento	0.018330* (0.008851)
lag.Ricavi pro-capite	0.000000 . (0.000000)
lag.Aria compressa	0.114600 (0.096360)

Variabili	Coefficienti
lag.Aspirazione	-0.582000. (0.333200)
lag.Centrale termica/Recuperi termici	0.059730 (0.122800)
lag.Climatizzazione	0.100800 (0.100400)
lag.Cogenerazione/Trigenerazione	0.008597 (0.143900)
lag.Freddo di processo	0.179600 (0.135400)
lag.Generale	0.114800 (0.110400)
lag.Motori Elettrici/Inverters	- 0.013720 (0.103900)
lag.Produzioni da fonti rinnovabili	0.123900 (0.092390)
lag.Trasporti	-0.095300 (0.168800)
lag.MULTISITO	0.002847 (0.063460)
Residual standard error	0.03664 on 131 df
R ²	0.60680
Adjusted R ²	0.4868
F-statistic	5.055 on 40 and 131 df, p-value: 9.66e-13
Akaike Inf. Crit	-612.211
Bayesian Inf. Crit.	-480.0167

Tabella 21: Risultati regressione econometrica spaziale SLX Nord Italia.

Nota: *, **, *** rappresentano rispettivamente il livello di significatività statistica di 0,05, 0,01 e 0,001, mentre un punto (.) rappresenta un livello di significatività di 0,1. Questi indicatori forniscono un rapido spunto visivo per valutare la solidità statistica dei risultati.

Variabili	Coefficienti
(Intercept)	-0.05544 (0.03540)

log(Investimento)	0.01088 (0.00286)***
Tempo di ritorno	-0.00120 (0.00158)
Rotaz. Cap. Investito	-0.00960 (0.00790)
Costo efficacia	-0.000000759 (0.000000489)
Rapporto di indebitamento	0.000803 (0.000551)
Ricavi pro-capite	-0.00000000577 (0.00000001884)
Aria compressa	-0.00953 (0.00652)
Aspirazione	0.00322 (0.01625)
Centrale termica/Recuperi termici	-0.01562 (0.01048)
Climatizzazione	-0.00734 (0.00910)
Cogenerazione/Trigenerazione	0.05775 (0.01077)***
Freddo di processo	-0.01731 (0.01116)
Generale	-0.00736 (0.00681)
Impianti Elettrici	0.00219 (0.00693)
Illuminazione	0.00204 (0.00632)
Linee produttive	-0.00522 (0.00755)
Variabili	Coefficienti

Motori Elettrici/Inverters	-0.00492 (0.00699)
Produzioni da fonti rinnovabili	0.00605 (0.00702)
Trasporti	0.00643 (0.01177)
MULTISITO	-0.00218 (0.00627)
Roh	-0.41994
Lambda	0.76459
z-value Roh	-1.3642, p-value: 0.17252
z-value Lambda	4.6358, p-value: 3.5557e-06
LR test	4.4642, p-value: 0.1073
LM test (residual autocorrelation)	322.5428 for sac model
Log likelihood	0.0013452 (sigma: 0.036678)
Akaike Inf. Crit	597.09

Tabella 22: Risultati regressione econometrica spaziale SAC-Nord Italia.

Nota: *, **, *** rappresentano rispettivamente il livello di significatività statistica di 0,05, 0,01 e 0,001, mentre un punto (.) rappresenta un livello di significatività di 0,1. Questi indicatori forniscono un rapido spunto visivo per valutare la solidità statistica dei risultati.

Variabili	Effetto diretto	Effetto indiretto	Effetto totale
log(Investimento)	0.01091841	-0.003257031	0.007661381
Tempo di ritorno	-0.001205308	0.000359551	-0.000845757
Rotaz. Cap. Investito	-0.009639409	0.002875496	-0.006763913
Costo efficacia	-0.000000762	0.0000002274	-0.0000005349
Variabili	Effetto diretto	Effetto indiretto	Effetto totale

Rapporto di indebitamento	0.0008058623	-0.0002403938	0.0005654685
Ricavi pro-capite	-0.00000000579	0.00000000173	-0.00000000407
Aria compressa	-0.009563534	0.002852862	-0.006710672
Aspirazione	0.003233947	-0.0009647068	0.002269240
Centrale termica/Recuperi termici	-0.01567192	0.004675033	-0.01099689
Climatizzazione	-0.007364353	0.002196833	-0.005167520
Cogenerazione/Trigenerazione	0.05796024	-0.0172899	0.04067034
Freddo di processo	-0.01737745	0.005183801	-0.01219364
Generale	-0.007389945	0.002204467	-0.005185478
Impianti Elettrici	0.002200316	-0.0006563681	0.001543948
Illuminazione	0.002051331	-0.0006119251	0.001439406
Linee produttive	-0.005236113	0.001561965	-0.003674148
Motori Elettrici/Inverters	-0.004939261	0.001473413	-0.003465848
Produzioni da fonti rinnovabili	0.006075346	-0.001812314	0.004263032
Trasporti	0.006452476	-0.001924814	0.004527662
MULTISITO	-0.002190325	0.0006533877	-0.001536937

Tabella 23: Sintesi effetti diretti ed indiretti modello SAC.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Nessuna consulenza utilizzata all'interno della LA.

9 Pubblicazioni scientifiche

Costantini, V., D'Angeli, M., Mancini, M., Martini, C., Paglialunga, E. (2024). An econometric analysis of the energy-saving performance of the Italian plastic manufacturing sector. *Energies*, 17(4), 811. <https://doi.org/10.3390/en17040811>

10 Eventi di disseminazione

- Presentazione alla Conferenza CONCORDi 2023 (Siviglia, 24-26 ottobre 2023): Contributo focalizzato sugli impatti delle misure di efficientamento energetico nel contesto delle politiche di sostenibilità e autonomia tecnologica dell'Unione Europea.
- Partecipazione alla IAERE Summer School 2023 (European University Institute di Firenze, 2-5 ottobre 2023)
- Esposizione alla 12^a Conferenza Annuale IAERE (Pescara, 22-23 febbraio 2024).
- Esposizione alla Conferenza ENEA del 26 novembre 2024 presso Centro Frentani per presentazione dei risultati del WP3 "Efficienza energetica nei settori produttivi con focus sulle PMI" del Tema di ricerca 1.6 "Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali".