valori
e valutazioni
teorie ed esperienze

Società Italiana di Estimo e Valutazione

Green Premiums in Residential Markets: A Spatial-Hedonic Framework across Urban Contexts

Giovanni Luzzatto[1], Marina Bertolini[1,2], Luca Doretti[1,3], Duccio Gamannossi degl'Innocenti[1,4], Giuliano Marella[3], Rubina Canesi[1,3,*]

[1] Centre for Energy Economics and Technology Giorgio Levi Cases, University of Padova, Padova, Italy; giovanni.luzzatto@studenti.unipd.it; marina.bertolini@unipd.it; rubina.canesi@unipd.it
[2] Department of Statistical Sciences, University of Padova, Padova, Italy
[3] Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering (ICEA), University of Padova, Padova, Italy; luca.doretti@unipd.it; giuliano.marella@unipd.it
[4] Department of Economics and Management Marco Fanno (DSEA), University of Padova, Padova, Italy; duccio.gamannossi@unipd.it
* corresponding author

Keywords

energy efficiency; green premium; residential assets; spatial econometrics; hedonic price model

Abstract

The Energy Efficiency (EE) capitalization into residential property values has emerged as a central topic in Real Estate appraisal, investment valuation and housing policy studies. However, the estimated magnitude of the associated price premium varies considerably across market contexts and empirical studies, reflecting sensitivity to data sources, econometric specifications, and control sets. This study investigates whether and how EE capitalization differs across urban contexts operating within a homogeneous regulatory framework, focusing on the seven provincial capitals of the Veneto region. Drawing on 2,242 residential listings collected in January 2026, city-specific green premiums are estimated through hedonic price models incorporating micro-location fixed effects. Spatial diagnostics identify the most appropriate econometric specification for each local market. A pooled interaction-based framework is then adopted to assess whether cross-city heterogeneity in estimated premiums is associated with municipal socio-economic, climatic and housing-market characteristics. Given the limited cross-sectional dimension, permutation-based inference procedures ensure robust statistical testing. High-efficiency dwellings (A-B) command statistically significant and economically meaningful premiums in all analysed markets, ranging from approximately 16% in Verona to over 30% in Rovigo. In contrast, medium-efficiency classes (C-D-E) display weaker and less consistent patterns, suggesting a nonlinear pricing effect of EE. While second-stage results remain exploratory due to the limited cross-sectional dimension, no robust association between green premiums and municipal characteristics is detected, although stronger environmental orientation appears associated with higher premiums for A-B classes. The proposed framework proves analytically rigorous and scalable, supporting both valuation practice and energy-renovation policy design.

1. Introduction

In residential Real Estate (RE) markets, value formation increasingly reflects not only traditional structural and locational attributes, but also performance-based characteristics linked to operating efficiency and long-term sustainability. Among these, energy performance has assumed a growing

relevance: rising energy prices, tighter climate regulation, and the integration of decarbonization objectives into building policies have progressively redefined Energy Efficiency (EE) as an economically meaningful component of housing quality (Tajani et al., 2024).

In Europe, this shift has been reinforced through successive revisions of the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD I: Directive 2002/91/EC; EPBD II: Directive 2010/31/EU; EPBD III: Directive 2018/844/EU; EPBD IV: Directive 2024/1275/EU). These measures introduced standardized assessment methods, defined minimum performance standards, and progressively aligned building regulations with long-term decarbonization objectives. Within this framework, Energy Performance Certificates (EPCs) have transformed EE from a largely implicit feature into a standardized and publicly disclosed attribute. By making performance measurable and comparable, certification systems allow market participants to incorporate expected differences in energy expenditure, building quality, and future adaptation needs into price negotiations. Energy performance, therefore, becomes part of the informational structure of the market and may be reflected in transaction values. However, the extent to which EPCs successfully translate disclosed energy performance into economically rational market behaviour remains uncertain. A significant gap persists between information disclosure and information processing: non-specialist market participants, comprising the majority of residential buyers and sellers, may lack the technical or financial literacy required to monetize energy class differentials, often treating certification labels as qualitative signals or nominal building characteristics rather than as quantitative predictors of lifecycle operating costs embedded in discounted cash flows.

A substantial empirical literature documents the existence of a "green premium", namely higher prices associated with more energy-efficient dwellings. However, the magnitude of this premium varies considerably across countries, regions, and cities. Even within similar institutional contexts, estimated effects differ markedly across markets and empirical specifications. This heterogeneity raises a central question for RE appraisal and urban market analysis: under which conditions does energy performance translate into price differentials, and why does its capitalization vary across local contexts? Importantly, this spatial heterogeneity in observed valuation effects extends beyond an empirical puzzle: it directly compounds the interpretative challenge facing market participants. In the absence of stable and predictable premium structures across contexts, even informed actors encounter systematic difficulties in translating energy performance differentials into economically consistent valuation adjustments, thereby further limiting the operational applicability of EPC information in price formation.

Italy provides a particularly suitable setting to investigate cross-city variation in the market valuation of energy performance. The national EPC (Attestato di Prestazione Energetica — APE), standardized under national guidelines in 2015, ensures homogeneous classification across the country, ranking dwellings from A4 (most efficient) to G (least efficient) based on non-renewable primary energy consumption (kWh/m²·year). Mandatory disclosure of APE ratings guarantees institutional comparability across local markets, while an ageing housing stock and recent renovation incentives enhance the economic relevance of energy performance for both households and investors. The relevance of this issue is further reinforced by evidence on the Italian public housing legacy, where typological analysis can support the identification of cost-effective retrofit strategies and highlights the importance of linking energy-performance assessment with actionable renovation priorities (Canesi et al., 2025).

Within this framework, the present study investigates whether and how the capitalization of EE varies across urban contexts operating under the same regional and regulatory setting. Focusing on the seven provincial capitals of the Veneto region, the paper pursues two objectives: to estimate city-specific green premiums using hedonic price models that explicitly account for spatial dependence when relevant and to examine whether green premiums are systematically associated with municipal socio-economic, demographic, climatic and housing-market characteristics.

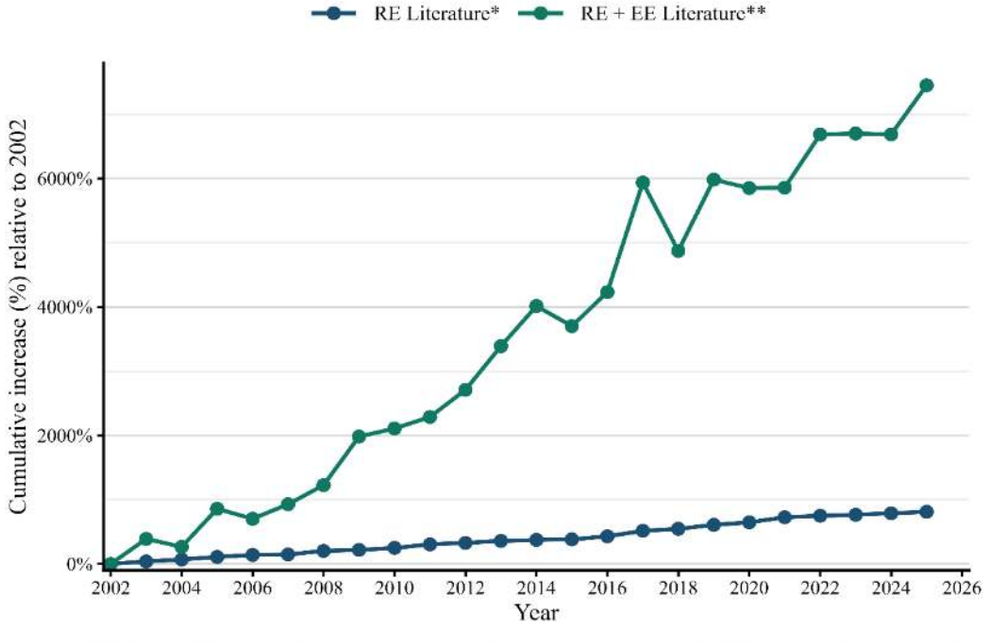
Following the Introduction Section, the remainder of the paper is organized as follows. Section 2 reviews the empirical literature on EE capitalization, with particular attention to the Italian context and the sources of cross-city heterogeneity. Section 3 describes the case study, presenting the seven provincial capitals of the Veneto region and the property-level dataset used in the analysis. Section 4 outlines the methodological framework, while Section 5 reports the empirical results. Section 6 discusses the main findings and their implications for valuation practice and urban energy policy. Finally, Section

7 concludes by summarizing the key contributions of the study and highlighting directions for future research.

2. Literature review

Over the last two decades, the relationship between housing prices and EE has evolved from a marginal topic into a structurally consolidated research field within RE economics. Bibliometric evidence from Scopus indicates that, while the broader literature on housing prices and RE markets has expanded steadily since the early 2000s, contributions focusing specifically on energy-related aspects within RE have grown at a markedly faster pace. In 2002, such studies accounted for less than 1% of total publications in the field, whereas in recent years their share has stabilized around 5-7% of annual output.

Cumulative dynamics further highlight this divergence: relative to 2002, the year marking the adoption of EPBD I, the general RE literature increased by roughly eightfold, whereas contributions specifically addressing energy performance within RE markets expanded by more than seventyfold over the same period (Fig. 1). This trajectory reflects a more than proportional growth relative to the overall expansion of RE research, signalling a clear thematic deepening and consolidation of EE as a distinct and still-expanding research stream within housing-market analysis. The timing of this expansion closely mirrors regulatory and policy developments. Academic attention intensified following the introduction of mandatory EPC systems in EPBD I and further accelerated during subsequent revisions. More recent policy initiatives, including the European Green Deal and the recast EPBD framework, have reinforced the strategic role of building performance in climate policy. The sustained rise of publication shares in recent years, reflecting the relative growth of EE-related contributions within the broader RE valuation literature, suggests that energy performance assessment has transitioned from an emerging research niche into an institutionalized and mature component of mainstream housing market analysis. This consolidation has also broadened the real estate appraisal tools, including approaches aimed at valuing energy savings in green buildings through integrated technical-information platforms, which can support more detailed assessments of building performance and retrofit benefits (Musolino et al., 2023).



** Scopus query: TITLE-ABS-KEY (price OR "property value" OR "market value") AND TITLE-ABS-KEY (house OR housing OR residential OR building OR buildings OR "real estate") AND PUBYEAR > 2001 AND PUBYEAR < 2026.*
*** Scopus query: TITLE-ABS-KEY (price OR "property value" OR "market value") AND TITLE-ABS-KEY ("energy efficiency" OR "energy performance" OR EPC OR "energy label" OR "energy rating" OR "energy class") AND TITLE-ABS-KEY (house OR housing OR residential OR building OR buildings OR "real estate") AND PUBYEAR > 2001 AND PUBYEAR < 2026.*

Figure 1. Growth of research in housing price studies (2002–2025).

From a territorial perspective, Europe represents the core empirical laboratory for investigating the value of EE in RE markets (Fig. 2), a concentration directly attributable to the continent's early adoption and stringent enforcement of mandatory EPC disclosure regimes under successive EPBD revisions. The progressive tightening of energy performance standards, coupled with harmonized certification frameworks and ambitious decarbonization targets, has generated both regulatory pressure and rich empirical data, positioning European markets, particularly Germany, the Netherlands, the United Kingdom, Italy, and the Nordic countries, as natural settings for investigating energy-related price differentials. A second major cluster of research is in America, particularly in the United States, where empirical analyses frequently rely on voluntary certification schemes such as LEED and Energy Star and exploit rich transaction-level datasets. In recent years, Asia, and especially China, has emerged as an increasingly relevant context, with studies focusing on large and rapidly urbanizing metropolitan markets characterized by strong economic growth and industrial transformation.

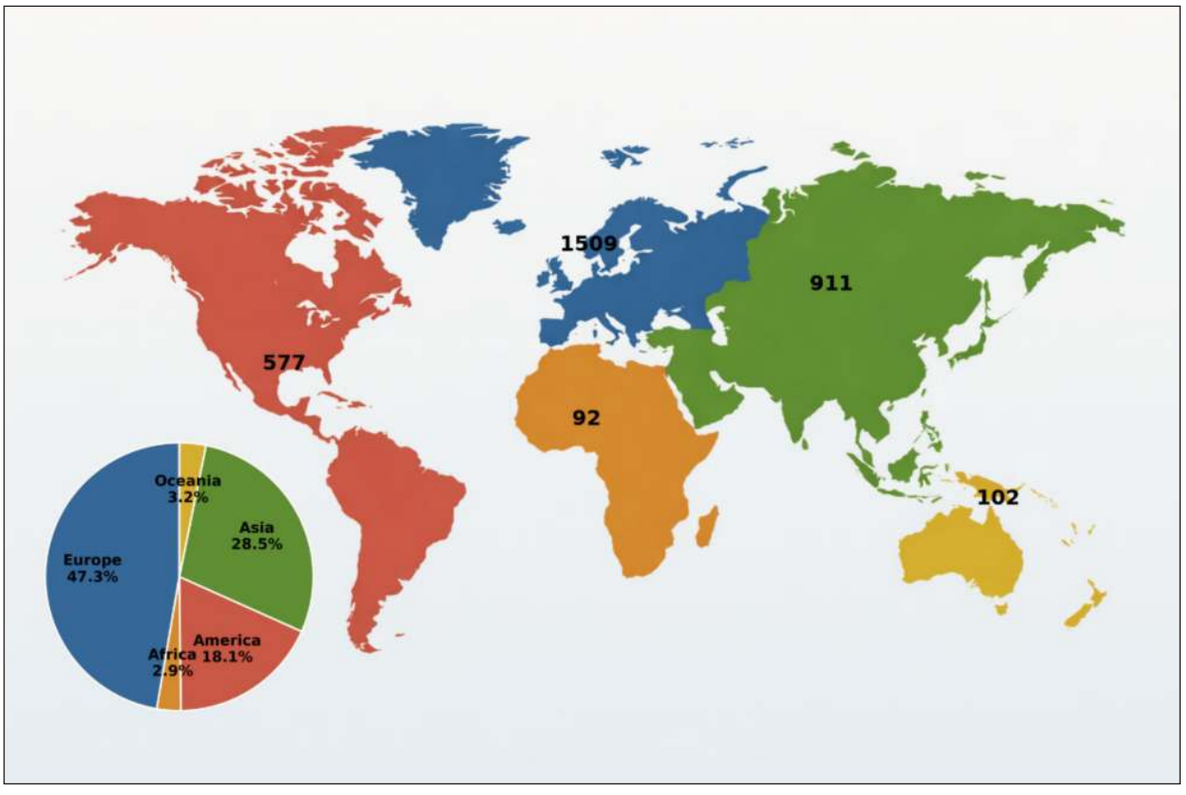


Figure 2. Geographical distribution of EE studies in residential RE markets, by continent.

Despite this geographical diversification, the literature remains largely segmented along national lines. Most contributions adopt single-country or single-city frameworks, and genuinely comparative cross-country designs remain relatively limited. This concentration of empirical work within spatially bounded settings reflects genuine methodological considerations rather than mere data availability constraints. Beyond direct EPC capitalization, the appraisal literature on environmental building improvements also shows that retrofit and green-building interventions generate both private and public benefits, whose economic competitiveness depends on technical performance, local climate and the type of built environment considered. Evidence from green-roof applications, for instance, highlights the relevance of economic evaluation in assessing both industrial-scale environmental improvements and retrofit solutions under different climatic conditions (Berto et al., 2018; 2020). Extending analysis beyond individual urban contexts introduces substantial complexity due to the multiplicity of meso-economic factors (Holland, 1976), city-level characteristics encompassing economic conditions, institutional frameworks, market structures, and socio-cultural attributes, that moderate the relationship

between energy performance and price formation (Canesi & Marella, 2023; Anelli & Ranieri, 2022). These urban contextual variables exhibit considerable cross-sectional variation and may interact with energy attributes in context-specific ways, requiring careful specification strategies to avoid confounding and ensure comparability of estimates across heterogeneous environments.

Across contexts, most contributions identify statistically significant price differentials associated with higher energy performance. These premiums are generally interpreted as reflecting the capitalization of expected operating-cost savings, improved indoor comfort, perceived construction quality, and anticipatory adaptation to future regulatory constraints. However, estimated magnitudes vary considerably. Such heterogeneity has been attributed to differences in regulatory enforcement, macroeconomic conditions, local demand structures, housing-stock composition, and modelling strategies, including the treatment of spatial dependence and market segmentation (Copiello & Donati, 2021).

Methodologically, most studies rely on hedonic price models enriched with structural, locational, and environmental controls. In the Italian appraisal literature, the relevance of spatial effects in hedonic assessments of building energy efficiency has also been explicitly emphasized, showing that the treatment of spatial dependence is not a merely technical issue but a key condition for obtaining reliable estimates of energy-related price effects (Bottero et al., 2018). Some contributions incorporate socio-economic and demographic indicators to improve overall price modelling (Dell'Anna, 2025), but these variables are often introduced as background controls rather than as determinants shaping the magnitude of green premiums. Only a limited number of studies explicitly examine territorial drivers of cross-market heterogeneity, as reported in Table 1.

Table 1. Urban contextual indicators in housing price and green premium literature

Category	Indicator	Unit of Measure	Studies	Measured Effect on Price* and Green Premium**
Economic Indicators				
Economic capacity	Regional GDP; Income per capita; Purchasing power per capita	Chinese yuan; Quartiles of average individual net income; € per capita	Giarda & Panarello, 2025; Taruttis & Weber, 2022; Zhang et al., 2023	Positive (+)*; Positive (+)*; Positive (+)*; Negative (-)**
Labour market	Employment rate; Unemployment rate	% of working-age population; % of labour force	Dell'Anna, 2025; Taruttis & Weber, 2022	Positive (+)*; Positive (+)**
Industrial structure	Industrial structure; Predominance of industry and commerce	% of sectoral composition; % of industrial and commercial buildings	Taruttis & Weber, 2022; Zhang et al., 2023	No significant effect*; No significant effect*
Inequality	Gini Index	Gini coefficient	Dell'Anna, 2025	Positive (+)*
Demographic Indicators				
Population	Total population	Inhabitants	Taruttis & Weber, 2022	No significant effect*
Population	Population density	Inhabitants/km²	Giarda & Panarello, 2025; Taruttis & Weber, 2022; Zhang et al., 2023	Positive (+)*
Migration	Share of foreign population	% of total population	Taruttis & Weber, 2022; Dell'Anna, 2025	Negative (-)**; Negative (-)*

Follow Table 1. Urban contextual indicators in housing price and green premium literature

Category	Indicator	Unit of Measure	Studies	Measured Effect on Price* and Green Premium**
Socio-cultural Indicators				
Environmental awareness	Toyota Prius registration share	% of total registered vehicles	Kahn & Kok, 2014	Positive (+)**
Education	Share of population with higher education	% of total population	Dell'Anna, 2025	Positive (+)*
Housing Market Indicators				
Market structure	Green home density	% of housing stock	Kahn & Kok, 2014	No significant effect**
EPC disclosure	EPC required for sale; EPC required for rent	% of total EPC	Giarda & Panarello, 2025	Positive (+)*; Positive (+)*
Housing stock composition	Share of second homes	% of housing stock	Giarda & Panarello, 2025	Positive (+)*
Housing stock composition	Share of one- or two-family homes	% of housing stock	Taruttis & Weber, 2022	Positive (+)**
Energy Market Indicators				
Energy price	Electricity price	Cents/kWh	Kahn & Kok, 2014	No significant effect**
Climatic Conditions				
Heating/cooling demand	Cooling degree days	°C·days/year	Kahn & Kok, 2014	Positive (+)**
Extreme events	Heatwaves	Log number of events per year	Giarda & Panarello, 2025	Negative (-)*
Climate zone	Climate zone	Dummy for colder climate zones (reference: warmer zones)	Giarda & Panarello, 2025 Loberto et al., 2024	Negative (-)*; Positive (+)**

Note:
(*) denotes the measured effect on housing price, while a double asterisk
(**) denotes the measured effect on the green premium. Signs in parentheses indicate the direction of the effect (+ positive, – negative).

Table 1 consolidates 21 urban contextual indicators investigated across six studies, revealing both methodological convergence and persistent gaps in the literature on territorial determinants of housing prices and green premiums. Population density and economic capacity, expressed through regional GDP, income per capita, or purchasing power, emerge as the most frequently examined contextual factor (three studies each). Economic prosperity variables generally show positive associations with housing prices, suggesting stronger capitalization mechanisms in economically dynamic areas, where purchasing power and demand pressures are higher. Similarly, employment rate is associated with positive effects on price levels. Demographic indicators produce more heterogeneous results. Population density tends to be positively related to housing prices, reflecting typical urban agglomeration effects, whereas a higher share of foreign residents is associated with negative effects, both on prices and, where analysed, on green premiums. Conversely, higher educational attainment and income inequality (Gini index) show positive relationships with price levels, indicating that socio-economically advantaged urban contexts tend to sustain higher RE values. Indicators describing industrial structure generally appear not statistically significant,

suggesting a limited direct influence of sectoral composition on housing price formation. By contrast, some housing-market characteristics, such as EPC disclosure requirements and the share of second homes, are associated with positive effects, highlighting the relevance of institutional frameworks and housing stock composition. The share of one- or two-family homes is instead associated with positive green premiums, likely because detached and semi-detached dwellings offer greater potential for energy retrofitting and energy-performance differentiation, making efficiency improvements more visible and more easily capitalized in market prices. Climatic conditions display clearer directional patterns. Evidence suggests negative impacts on housing prices in colder climate zones or in areas exposed to extreme climatic events, such as heatwaves. At the same time, a positive association between warmer climates and green premiums emerges through cooling degree days, likely reflecting the greater relevance of cooling-related energy consumption in warmer regions, where the widespread use of air conditioning increases the economic value of energy-efficient buildings.

Focusing on Italy, empirical evidence robustly confirms the value of EE in RE markets but remains fragmented in territorial scope. Many studies concentrate on single-city settings (Bisello et al., 2020; Bottero et al., 2017; Copiello & Coletto, 2023; Dell'Anna, 2025; Fregonara et al., 2015, 2017), while comparative analyses typically cover a limited number of urban markets (Micelli et al., 2023; Morano et al., 2018; Ruggeri et al., 2023). Related Italian evidence also shows the usefulness of combining market-based valuation with multi-attribute approaches when assessing how urban improvements are capitalized into housing values. Some studies integrate hedonic pricing and multi-attribute analysis to evaluate the impact of urban quality improvements on residential values (Rosato et al., 2017), while value-added approaches have also been proposed to support sustainable urban policy in densification contexts (Canesi, 2022). Broader territorial perspectives remain relatively rare and include a regional analysis based on microzones (Giarda & Panarello, 2025) and a nationwide investigation reporting premiums up to 25% for class A dwellings relative to class G, with substantial variation across climatic zones (Loberto et al., 2024). Multi-city evidence consistently reports both capitalization and dispersion in estimated effects across markets and empirical designs. Comparative contributions typically estimate separate hedonic models by city, allowing local price formation to differ across markets (Micelli et al., 2023, 2024; Ruggeri et al., 2023). Yet, even within the same city, estimated premiums differ markedly depending on data sources, control sets, and modelling choices. Bolzano provides a clear example: two studies analysing the same market, but relying on different specifications and modelling approaches, report markedly different results. Bisello et al. (2020) find a relatively moderate differentiated effect, with a premium of about 6.3% for class A relative to class G. By contrast, Morano et al. (2018) report substantially larger premiums for top energy classes, reaching up to 45%. A similar dispersion emerges for Padova and Torino. A multi-city analysis covering Milano, Torino, Firenze, Padova, Mestre, and Bergamo estimates class A premiums ranging between 20% and 35%, with stronger effects in medium-sized cities than in Milano and Torino (Micelli et al., 2024). By contrast, other approaches report markedly higher premiums for Padova, up to 62% for class A (Copiello & Donati, 2021), while evidence from Torino points to a linear incremental effect, around 4.2% per EPC improvement (Dell'Anna, 2025). These analytical challenges are further compounded in the Italian context by severe municipal-level data scarcity: unlike northern European countries with comprehensive urban statistical systems, most Italian socio-economic indicators are published by the Italian National Institute of Statistics (ISTAT) only at regional or national scale, with provincial disaggregation limited and city-level data largely unavailable, constraining empirical investigation of the contextual moderators identified in Table 1. Within these constraints, our empirical strategy prioritizes contextual variables that exhibit documented relevance in Table 1, remain accessible at provincial or finer geographical scale, and address identified literature gaps thereby enabling structured cross-city comparison.

Overall, the literature confirms the value of EE in RE markets and shows that its magnitude is highly context- and design-dependent. Although cross-city heterogeneity is frequently documented through separate estimations, few studies systematically relate differences in estimated premiums to a coherent set of municipal socio-economic and housing-market characteristics within a shared institutional framework shaped by the EPBD. Against this background, the present study proposes

a framework that combines city-specific spatial hedonic modelling with a pooled interaction-based analysis to jointly address two research questions: estimating how green premiums vary across seven provincial capitals within the Veneto region and examining to what extent such variation can be interpreted in light of observable municipal characteristics.

3. Case study: territorial context and empirical design

The analysis focuses on the seven provincial capitals of the Veneto Region (Belluno-BL, Padova-PD, Rovigo-RO, Treviso-TV, Venezia-VE, Verona-VR and Vicenza-VI), using the municipality as the territorial unit of analysis. This choice ensures full coherence between the RE data, which are city-based, and the socio-economic and environmental variables used to interpret cross-city heterogeneity. All seven cities operate within the same national and regional regulatory framework governing EPCs, so the institutional setting is held constant across markets. Against this common background, cities differ substantially in population size, income levels, housing stock composition, climatic conditions and market intensity — variability that constitutes the empirical foundation for a comparative assessment of the green premium.

3.1 City-level indicators selection and sample description

Municipal indicators included in the last-stage analysis, as further described in Section 4, derive from a systematic review of the international literature on green premium in RE markets and were collected from ISTAT, drawing on the Statistical Atlas of the Territory[1] and the Territorial Database for Development Policies[2]. Previous empirical contributions identify income levels, demographic structure, housing stock characteristics, market dynamics, climatic conditions, and environmental orientation as potential contextual determinants of green premiums. However, since the availability of comparable municipal-level indicators in the Italian statistical system is more limited than in other countries, the final set of indicators was defined according to criteria of theoretical relevance, official availability, inter-municipal comparability, and coherence with the spatial scale of the analysis. The objective is not to provide an exhaustive representation of all possible contextual determinants, but rather to construct a parsimonious and theoretically grounded set of variables capable of capturing structural differences among the selected urban housing markets. Table 2 reports the city-level descriptive statistics. Substantial heterogeneity emerges across the seven municipalities. Population density ranges from highly compact environments such as Padova to lower-density contexts such as Belluno, reflecting different urban form and spatial organization. The housing stock is predominantly mature, with a high share of pre-1980 buildings in all cities, particularly in Venezia, Treviso, and Verona. Market activity, proxied by the real estate Market Intensity Index (IMI) suggests different levels of transaction dynamism across cities: higher values are observed in Padova, Treviso, and Vicenza, indicating more dynamic housing markets, whereas Belluno displays lower values, consistent with a more stable and less intensive transaction market. Climatic conditions, measured through heating degree days, indicate a colder environment in the mountainous city of Belluno compared with the other municipalities, potentially affecting energy demand. Socio-economic conditions also vary, as reflected in differences in income per capita, while environmental behaviour, proxied by separate waste collection rate, commonly interpreted as an observable indicator of environmental awareness and pro-environmental attitudes (García-Valiñas et al., 2023), displays substantial dispersion, suggesting heterogeneous levels of environmental awareness. Together, these patterns highlight the presence of meaningful cross-city variation in structural, climatic and socio-economic conditions, thereby providing a plausible basis for investigating whether differences in estimated green premiums are systematically associated with municipal characteristics.

[1] https://aster.istat.it/
[2] https://www.istat.it/statistiche-per-temi/focus/informazioni-territoriali-e-cartografiche/rappresentazioni-cartografiche-interattive/mappa-dei-rischi-dei-comuni-italiani/indicatori/

Table 2. City-level socio-economic indicators

Indicator	BL	PD	RO	TV	VE	VR	VI
Population density (inh/km²)	241.5	2,230.6	460.5	1,536.6	598.2	1,283.6	1,369.9
Pre-1980 buildings (%)	74.2	79.5	76.0	83.2	87.8	81.1	77.5
Occupied dwellings (%)	74.0	84.0	84.0	87.0	84.0	87.0	83.0
IMI	2.00	3.07	2.51	2.90	2.58	2.45	2.87
Heating degree days	3,043	2,383	2,466	2,378	2,345	2,468	2,371
Waste separation rate (%)	86.0	64.0	83.0	87.0	63.0	53.0	73.0
Income per capita (€)	26,418	28,588	24,649	29,162	24,718	26,270	26,004

3.2 Property-level listings data

Property-level information relies on 5,910 residential listings available online as of 7 January 2026[3]. The dataset includes asking prices, structural dwelling attributes, energy performance classifications, construction periods, structured data fields including information on amenities, and a textual property description. Because transaction-level microdata are not publicly accessible in Italy, listing prices are widely used as empirical proxies in the Italian housing literature (Barreca et al., 2022; Bisello et al., 2020; Copiello & Coletto, 2023; Dell'Anna, 2025; Fregonara et al., 2017; Micelli et al., 2023). Although listing prices typically deviate from final transaction prices due to negotiation, empirical evidence for the north-eastern Italian residential market suggests that average negotiation margins are limited, at around 5% (Banca d'Italia, 2026), and the discount is assumed to be relatively stable across dwelling types and market segments. Since the objective of the analysis is not the exact monetary quantification of the premium in absolute terms, but rather the interpretation of the percentage variation in price associated with EE levels, in a log-linear hedonic framework a stable negotiation margin operates as a constant multiplicative scaling factor whose effect on estimated percentage premiums is neutralized, making listing prices a suitable basis for estimating and comparing green premiums across cities. A potential systematic variation in negotiation discounts across property types cannot be directly tested and represents a residual source of uncertainty in the estimates.

To improve temporal comparability and reduce potential biases associated with outdated or inactive listings, the analytical sample was restricted to properties published within the preceding six months. Listings lacking valid geographic coordinates were excluded due to the central role of spatial location in the analysis. Additional cleaning procedures removed observations with missing price information, non-standard transaction types (auctions, bare ownership arrangements, timeshares, or multi-unit sales), and extreme price outliers (below €50,000 or above €3,000,000). A dedicated data construction pipeline was implemented to integrate structured variables with information extracted from textual descriptions: natural language processing techniques were used to recover missing attributes such as energy class, building condition, and construction period, and to generate additional indicators capturing technological amenities and qualitative property features. Each property was assigned to its corresponding OMI (Osservatorio del Mercato Immobiliare) Zone, which is used as a spatial fixed effect in the empirical models to control for intra-urban heterogeneity in location-specific price levels, thereby absorbing unobserved neighbourhood characteristics and reducing spatial omitted variable bias. Energy performance information was originally reported according to the Italian APE classification, ranging from A4 to G. To improve comparability across cities and mitigate sparsity issues arising from small cell sizes

[3] The dataset was constructed through web scraping of listings published on wikicasa.it, a major Italian online real estate platform where real estate agencies advertise residential properties.

in some energy categories, EPC ratings are aggregated into three groups: high efficiency (A4-A3-A2-A1-B), medium efficiency (C-D-E), and low efficiency (F-G). This aggregation balances informational detail with statistical robustness, ensuring sufficient observations within each category for reliable estimation. After cleaning, duplicate removal, and exclusion of observations with missing key variables, the final analytical sample consists of 2,242 listings distributed as follows: Belluno (36), Padova (693), Rovigo (159), Treviso (328), Venezia (392), Verona (326), and Vicenza (308).

Descriptive patterns highlight substantial cross-city variation in property characteristics. Mean price per square meter ranges from approximately €1,250 in Rovigo to more than €3,800 in Venezia, reflecting marked differences in market positioning and local demand conditions. Within cities, spatial distribution maps (Fig. 3) reveal clustering patterns consistent with OMI zoning, suggesting that listings concentrate within spatially defined submarkets.

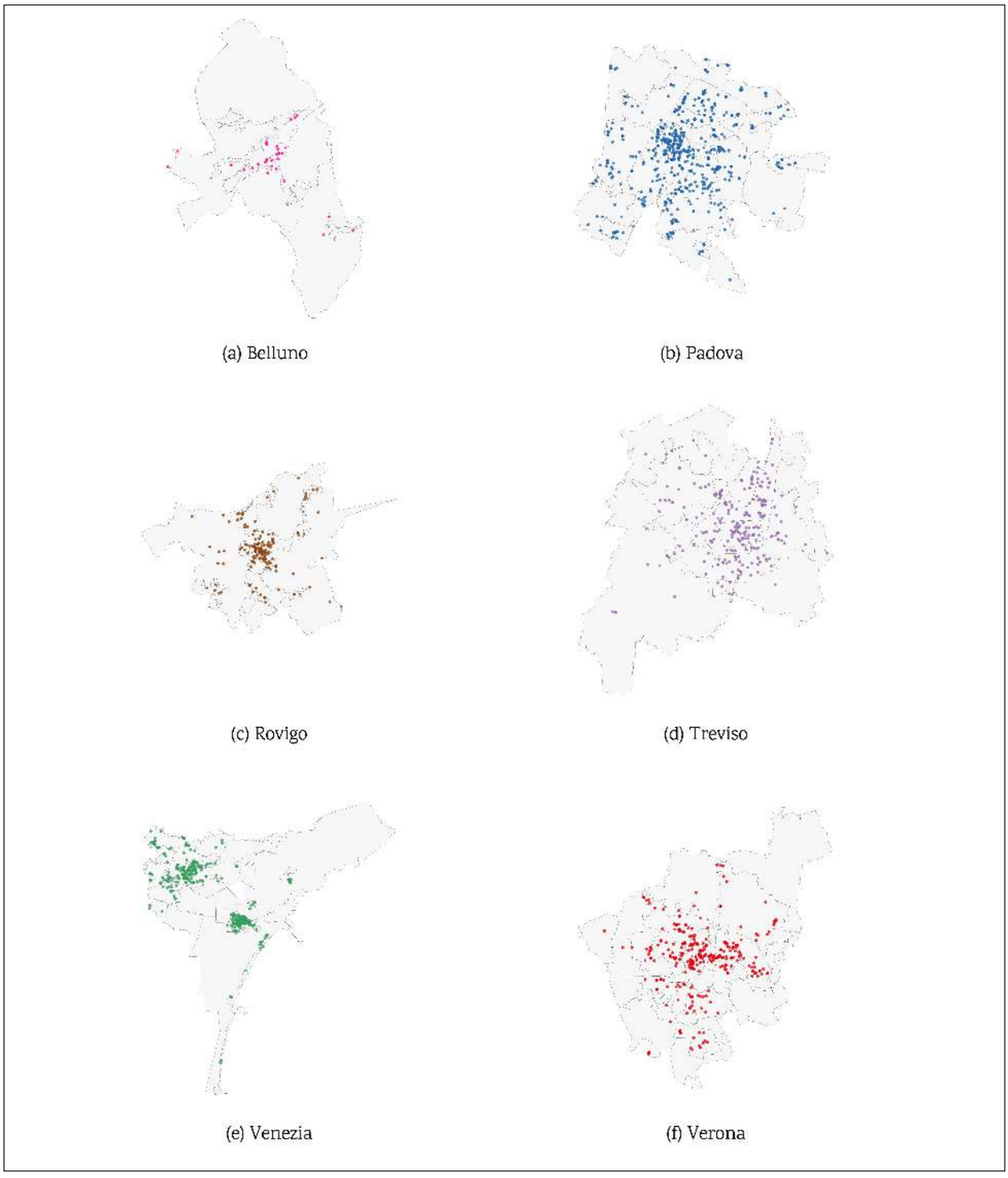




Figure 3. Spatial distribution of residential listings across the seven cities.

Housing typologies vary across urban contexts: apartments dominate in denser environments, whereas detached houses and multi-family villas are relatively more prevalent in lower-density markets, particularly in Rovigo. Energy performance classes show pronounced cross-city variation (Fig. 4), with higher-efficiency dwellings more frequent in Treviso and Padova and lower-efficiency classes more common in Venezia and Rovigo. Additional heterogeneity emerges in construction periods, building conditions and amenity endowments. Table A1 in the Appendix summarizes the key sample statistics by city, allowing a more granular assessment of structural heterogeneity across the seven markets. For example, Venezia exhibits a markedly high share of pre-1945 buildings, consistent with its historic urban fabric, whereas Treviso and Vicenza show a higher incidence of recent constructions (2021–2026), signalling more dynamic development activity. Since construction period is closely linked to building technology and regulatory standards, these differences contribute to explaining cross-city variation in both energy performance and price formation mechanisms. Building conditions also vary considerably: the proportion of newly built or recently renovated dwellings is substantially higher in Treviso and Vicenza than in Belluno and Rovigo, indicating differentiated renovation intensity across markets. Within a hedonic framework, this documented dispersion strengthens the control structure of the models and mitigates the risk of omitted-variable bias in the estimation of EE premiums.

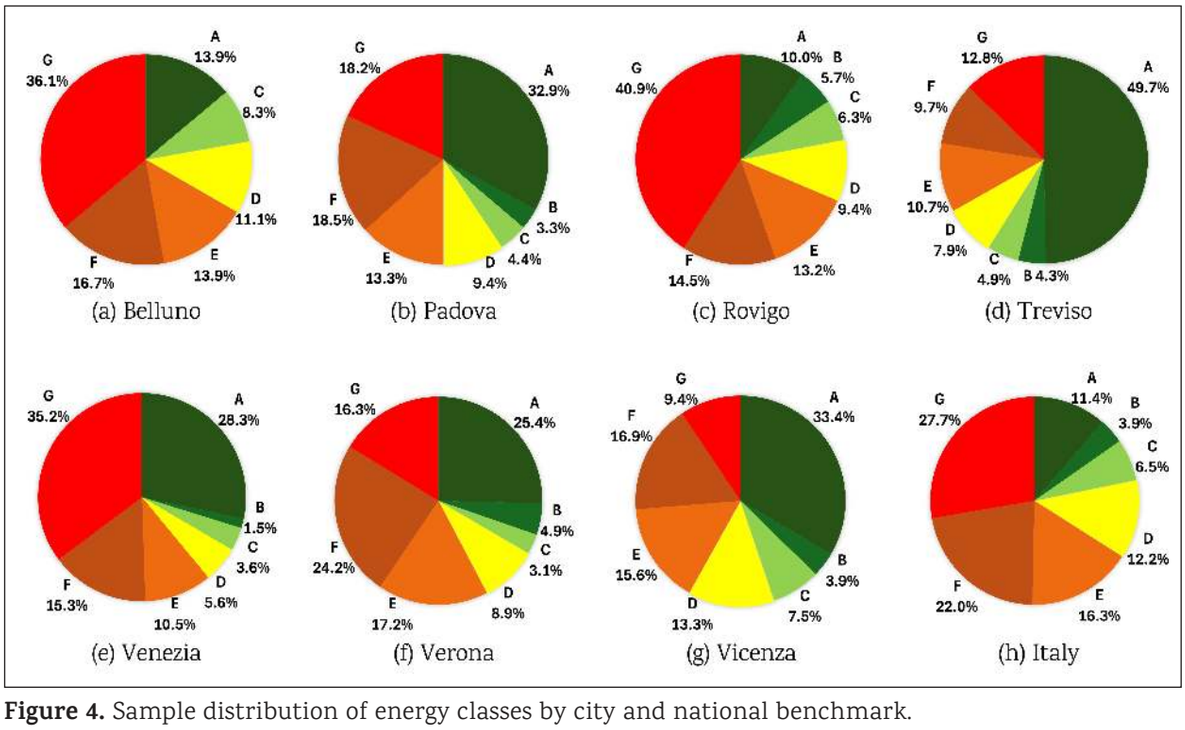


Figure 4. Sample distribution of energy classes by city and national benchmark.

4. Methodological framework

The methodological design is structured in three phases, as a sequential analytical framework aimed at estimating, comparing and interpreting the territorial component of EE price premium (Fig. 5). In a first step, city-specific hedonic price models are estimated separately for each local housing market. This approach avoids imposing coefficient homogeneity across cities and allows the identification of market-specific green premiums while controlling for structural housing attributes and micro-location fixed effects. In a second step, spatial diagnostic procedures are systematically implemented to test for residual spatial autocorrelation and to identify the most appropriate econometric specification for each city. Addressing spatial dependence is essential to ensure unbiased and efficient estimates, particularly in urban housing markets characterized by spatial clustering and localized externalities. In a third stage, a pooled interaction-based framework is proposed to assess whether cross-city heterogeneity in green premiums can be systematically associated with observable municipal characteristics. This framework is methodologically robust and directly extensible to broader urban samples, but in the present application is only implemented as an exploratory exercise, given the limited cross-sectional dimension.

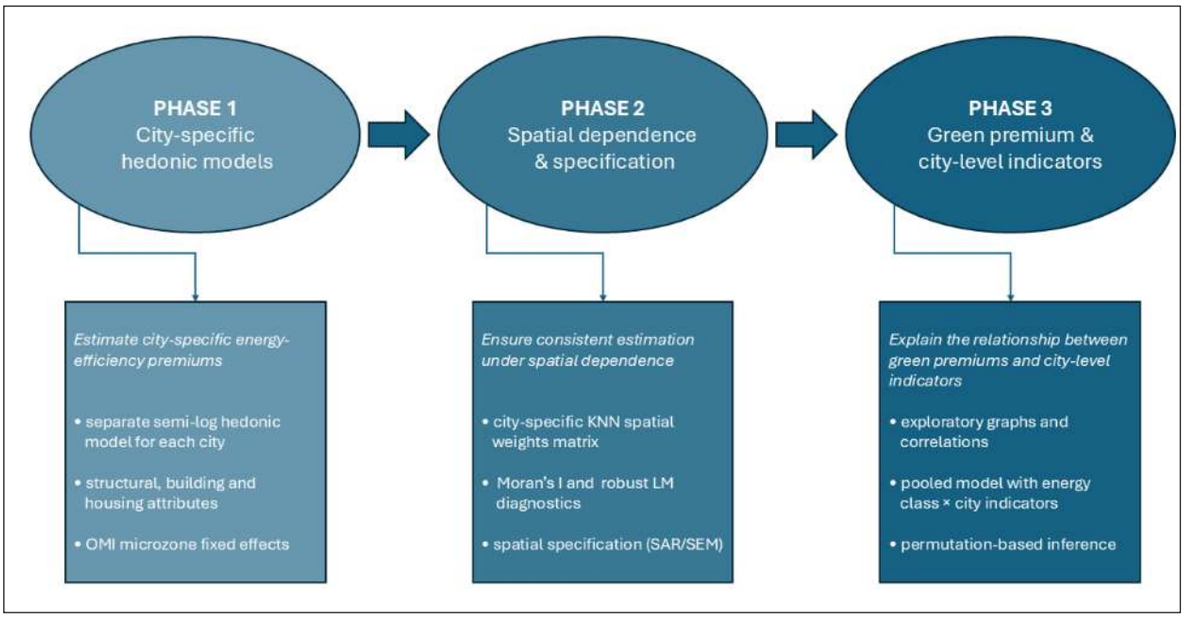


Figure 5. Methodological framework phases.

4.1 Phase 1: city-specific hedonic price estimation

Phase 1 relies on the hedonic pricing framework, a standard approach in RE economics for modelling housing as a bundle of attributes whose implicit prices can be inferred from observed market valuations. Following Lancaster's characteristics theory of consumer demand (Lancaster, 1966) and Rosen's equilibrium formulation (Rosen, 1974), dwelling prices are interpreted as equilibrium outcomes reflecting the marginal contribution of structural, locational, and qualitative features, including energy performance. Formally, the hedonic relationship can be expressed as (Eq.1):

$$p_i = f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}) \tag{1}$$

where p_i denotes the total price or the price per square meter of dwelling i and x_{i1}, x_{i2},..., x_{ip} represent observable characteristics. In this study, the dependent variable is the logarithm of listing price per

square meter, used to ensure comparability across dwellings of different size and across urban markets characterized by different housing stock compositions, while reducing scale-related distortions that may arise when modelling total prices. The semi-logarithmic formulation also accommodates the right-skewed distribution of housing prices and facilitates the interpretation of coefficients in proportional terms. For each city *c*, we estimate (Eq.2):

$$\ln(p_{ic}) = \boldsymbol{X}'_{ic}\boldsymbol{\beta}_c + FE_{\mathrm{OMI}(ic)} + \theta_{AB,c}\, AB_{ic} + \theta_{CDE,c}\, CDE_{ic} + \varepsilon_{ic} \tag{2}$$

where $\boldsymbol{X}_{ic}$ includes structural housing attributes, building characteristics, and amenities of dwelling *i*; $FE_{OMI(ic)}$ are fixed effects for OMI microzones capturing intra-urban location; AB_{ic} and CDE_{ic} are indicators for high-efficiency (A–B) and medium-efficiency (C–D–E) dwellings, with low-efficiency classes (F–G) as the reference category; and ε_{ic} is an idiosyncratic error term assumed to have zero mean and constant variance, and to be independently distributed across observations within each city. Under this specification, $\theta_{\mathrm{AB},c}$ and $\theta_{CDE,c}$ represent the city-specific premiums associated with higher energy performance relative to low-efficiency properties. Coefficients are interpreted as semi-elasticities, with exact percentage effects computed as $(e^{\theta}\text{-}1)\times 100$. Separate regressions are estimated for each city to allow local structural parameters and capitalization patterns to differ freely across markets. Model selection is guided by the Akaike Information Criterion (AIC), which trades off between goodness of fit and model parsimony, reducing the risk of overfitting or omitted-variable bias due to underspecified models.

4.2 Phase 2: spatial dependence and model specification

Standard regression models assume independence across observations, yet housing markets are spatially structured: prices may co-vary across nearby properties because of spatial spillovers, localized market interactions, or omitted spatially correlated factors, potentially leading to biased or inefficient estimates (Anselin, 1988). Spatial relationships are formalized through a city-specific spatial neighbourhood matrix $\boldsymbol{W}_c$, whose definition is inherently partly arbitrary in literature and typically reflects modelling choices rather than a uniquely identified spatial process. Alternative specifications of $\boldsymbol{W}_c$, such as varying the number of nearest neighbours considered or adopting different distance-based thresholds, may affect both the magnitude and significance of spatial diagnostic tests and, consequently the resulting spatial model. In this study, connectivity is defined by using a k-nearest neighbors (KNN) structure. For each city, we select the smallest number of neighbours required to ensure a fully connected spatial graph. This approach captures residual spatial dependence among nearby dwellings after controlling for intra-urban heterogeneity through OMI fixed effects, allowing the spatial weights matrix to identify localized spatial correlation not already absorbed by micro-location controls.

After estimating the baseline OLS model, residual spatial autocorrelation is assessed using Moran's I statistic (Eq.3):

$$I = \frac{n}{S_0}\frac{\boldsymbol{e}'\boldsymbol{W}\boldsymbol{e}}{\boldsymbol{e}'\boldsymbol{e}} \tag{3}$$

where $\boldsymbol{e}$ denotes the residual vector of the model and S_0 the sum of spatial weights. Robustness checks are also performed by varying the number of nearest neighbours and distance-band specifications. If Moran's I indicates statistically significant residual spatial dependence, Lagrange Multiplier (LM) diagnostics are employed as a second step. Beyond guiding the choice between alternative spatial specifications, LM tests provide an additional confirmation of spatial dependence by testing specific forms of misspecification in the OLS residuals (LeSage, 2009). Specifically, the LM–Lag test evaluates the presence of endogenous interaction among neighbouring observations, while the LM–Error test assesses spatial correlation in the error term. When both statistics are significant, robust LM versions are used to discriminate between the two alternatives.

If dependence operates through a spatial lag of the dependent variable, the appropriate specification is the Spatial Autoregressive (SAR) model (Eq.4):

$$\boldsymbol{y} = \rho \boldsymbol{W}\boldsymbol{y} + \boldsymbol{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \tag{4}$$

where $\boldsymbol{y}$ is the $n \times 1$ vector of the dependent variable; $\boldsymbol{W}$ is the $n \times n$ spatial weights matrix defining the neighbourhood structure; p is the spatial autoregressive parameter capturing spillover effects across neighbouring units; $\boldsymbol{X}$ is the $n \times k$ matrix of covariates; $\boldsymbol{\beta}$ is the associated $k \times 1$ parameter vector; and $\boldsymbol{\varepsilon}$ is a $n \times 1$ vector of idiosyncratic disturbances assumed to be independently and identically distributed. If, instead, spatial dependence is driven by unobserved spatially correlated factors, the appropriate specification is the Spatial Error Model (SEM) (Eq.5):

$$\begin{aligned} \boldsymbol{y} &= \boldsymbol{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{u}, \\ \boldsymbol{u} &= \lambda \boldsymbol{W}\boldsymbol{u} + \boldsymbol{\varepsilon} \end{aligned} \tag{5}$$

where $\boldsymbol{u}$ is an $n \times 1$ vector of disturbances that, unlike the standard linear model, follows a spatial autoregressive process; λ is the spatial autoregressive coefficient in the error term, measuring the strength of spatial autocorrelation among unobserved components; $\boldsymbol{W}$ is the $n \times n$ spatial weights matrix defining the neighbourhood structure through which error dependence propagates; and $\boldsymbol{\varepsilon}$ is an $n \times 1$ vector of errors, whose elements are assumed to be independently and identically distributed with zero mean and constant variance. If no statistically significant residual spatial dependence is detected, the baseline OLS specification is retained. When Moran's I and LM diagnostics indicate the presence of spatial dependence, the appropriate spatial structure, SAR or SEM, is specified according to the outcome of the LM and robust LM tests. Finally, once the correct spatial specification has been identified, variable selection is then guided by the AIC.

4.3 Phase 3: pooled fixed-effects framework and contextual moderation

Separate city-specific models provide spatially consistent estimates of EE premium within each local market. However, by construction, municipal indicators cannot be included as regressors, since they are constant within cities. Consequently, although Phases 1 and 2 identify local capitalization patterns, they do not formally test whether cross-city variation in green premiums is systematically associated with observable urban characteristics. To address this question, a framework combining graphical inspection, pairwise correlation analysis, and a pooled interaction-based model within a common hedonic specification is proposed. This framework is methodologically robust and, if applied to a sufficiently large cross-section of cities, would enable reliable inference on the contextual determinants of green premium heterogeneity. In the present application, however, the reduced number of higher-level units limits statistical power and constrains the cross-sectional variability available for estimation. The research question can therefore be addressed only in a preliminary way, and any findings in this phase should be interpreted as exploratory patterns rather than inferential results. The analysis proceeds as follows. As a first step, we examine the relationship between estimated city-level premiums and municipal indicators through graphical inspection and pairwise correlation analysis. We next introduce interactions between energy-class indicators and city dummies to reproduce city-specific premiums within a common specification (Eq.6):

$$\ln(P_{ic}) = \boldsymbol{X}'_{ic}\boldsymbol{\beta} + FE_{\mathrm{OMI}(ic)} + FE_c + \sum_{c=1}^{C} \pi_{AB,c}(AB_{ic} \cdot D_c) + \sum_{c=1}^{C} \pi_{CDE,c}(CDE_{ic} \cdot D_c) + \varepsilon_{ic} \tag{6}$$

where FE_c absorbs average price differences across cities and Dc denotes city dummies. The coefficients $\pi_{AB,c}$ and $\pi_{CDE,c}$ replicate city-specific premiums within a common specification that preserves identical structural controls and micro-location fixed effects. The close alignment between these pooled estimates and the separate city regressions confirms that the common framework preserves local capitalization patterns without altering their magnitude.

We then introduce cross-level interactions between energy classes and city-level characteristics (Eq.7):

$$\ln(P_{ic}) = \boldsymbol{X'_{ic}\beta} + FE_{\mathrm{OMI}(ic)} + FE_{\mathrm{c}} + \alpha_{AB} AB_{ic} + \alpha_{CDE} CDE_{ic} + AB_{ic}(\boldsymbol{Z'_c \delta_{AB}}) + CDE_{ic}(\boldsymbol{Z'_c \delta_{CDE}}) + \varepsilon_{ic} \quad (7)$$

where $\mathbf{Z_c}$ denotes the vector of municipal indicators and δ_{AB} and δ_{CDE} capture whether and how energy premiums vary systematically with urban characteristics. Permutation-based inference is proposed as it provides reliable significance assessment when the number of contextual indicators is large relative to the number of cities, a setting where conventional asymptotic approximations tend to overstate precision of the estimates. In the present application, with only six cities, contextual moderation is assessed by estimating separate pooled models, each including one municipal indicator at a time to avoid over-parameterization and reduce collinearity.

5. Results

This section presents the empirical findings from the three phases of the analysis. We first discuss spatial diagnostics and model selection, then examine city-specific estimates of energy premiums, and finally analyse the pooled interaction models linking green premiums to municipal characteristics. The empirical results provide consistent evidence of statistically significant and economically meaningful premiums associated with higher energy classes across all analysed cities[4]. However, the intensity of the premium varies considerably across urban contexts, suggesting that capitalization is not uniform even under a common regulatory framework. Intermediate energy classes display weaker and less stable effects, often lacking statistical significance. This pattern indicates a nonlinear capitalization structure in which the market responds more decisively to top performance standards, while incremental improvements are not proportionally rewarded. Such evidence is consistent with threshold-based valuation behaviour, whereby buyers attribute a value recognition to superior classes rather than responding linearly to marginal efficiency gains.

5.1 Spatial diagnostics and model selection

Residual spatial dependence is not homogeneous across cities. Moran's I applied to OLS residuals is statistically significant in Padova, Treviso, Venezia, and Vicenza, indicating that spatial autocorrelation persists even after controlling for detailed dwelling attributes and OMI micro-location fixed effects. LM diagnostics provide further evidence and clarify the nature of spatial dependence. In Padova, Treviso, and Venezia, robust LM–Error statistics remain significant while robust LM–Lag statistics do not (Tab. 3). This supports the selection of Spatial Error Models. The estimated spatial error coefficients (λ) are positive and statistically significant (Table A2 in the Appendix), indicating that unobserved price determinants exhibit spatial clustering and that spatial dependence appears to operate primarily through omitted, geographically correlated factors rather than through direct interaction among observed prices. In Vicenza, by contrast, the robust LM–Lag statistic is significant while robust LM–Error is not, leading to the selection of a SAR specification. The estimated spatial autoregressive parameter (ρ= 0,239) confirms endogenous interaction among nearby listings, consistent with localized spillovers and comparable-based pricing dynamics.

For Rovigo and Verona, neither Moran's I nor robust LM diagnostics indicate systematic residual spatial dependence, so standard OLS specifications are retained. Robustness checks increasing K beyond the minimum required for full connectivity confirm the stability of the diagnostic procedure: Moran's I values decrease slightly with larger neighbourhoods, as expected under broader

[4] Due to the extremely limited number of observations and insufficient within-city variability in key explanatory variables, Belluno generated unstable estimates and perfect multicollinearity in the hedonic specification. It is therefore excluded from the econometric analysis. Results are reported for Padova, Rovigo, Treviso, Venezia, Verona, and Vicenza.

spatial averaging, but p-values remain strongly significant; LM diagnostics continue to support the same model selection, indicating that the chosen spatial specifications are not sensitive to the particular neighbourhood definition adopted.

Table 3. LM diagnostics (significance levels: * p < 0.10; ** p < 0.05; *** p < 0.01)

	PD	RO	TV	VE	VR	VI
K	12	6	10	12	8	8
LM Error	10.29***	0.07	21.97***	10.42***	3.61*	8.34***
LM Lag	5.46***	0.53	2.58*	4.07***	1.05*	10.44****
Robust LM Error	4.88***	0.11	20.77***	7.08***	2.72*	1.18***
Robust LM Lag	0.06***	0.57	1.38	0.73	0.17*	3.28***
Selected Model	SEM	OLS	SEM	SEM	OLS	SAR

5.2 City-specific hedonic results

Looking at Table A2 in the Appendix, several structural determinants display consistent patterns across markets. Dwelling size is negatively associated with price per square meter in all cities, reflecting standard scale effects. The number of bathrooms generally exhibits positive and significant effects, although magnitudes vary across markets. Building condition is among the strongest determinants: dwellings requiring renovation display substantial discounts, ranging approximately from −14% to −26% relative to standard conditions. Renovated and newly built dwellings command positive premiums, consistent with capitalization of improved comfort, reduced maintenance costs and higher technical standards. Construction period effects reveal both historical (pre-1945) and recent buildings achieving higher prices relative to the post-war baseline category. The magnitude of these effects varies across cities, reflecting differences in urban morphology, historic cores and renovation dynamics. Turning to energy performance, capitalization is clearly present across all analysed markets. High-efficiency dwellings (A–B) exhibit statistically significant premiums in every city: estimated semi-elasticities correspond to percentage premiums ranging from approximately 16% in Verona to over 30% in Rovigo, with intermediate values around 18–22% in Padova, Treviso, Venezia, and Vicenza (Tab. 4). This consistency across heterogeneous local markets confirms that top energy classes are systematically valued above low-efficiency dwellings. Medium-efficiency dwellings (C–D–E) display weaker and less uniform effects, with generally positive coefficients whose statistical significance varies across cities. This pattern suggests a nonlinear capitalization structure: the market responds more strongly to top energy classes, while intermediate improvements generate smaller and less robust price differentials.

Table 4. Estimated energy premium (%)

Energy class	PD	RO	TV	VE	VR	VI
A-B	18.8	31.5	21.5	19.4	16.1	21.0
C-D-E	8.0	8.7	10.0	2.0	9.0	12.9

5.3 Relationship between green premiums and municipal indicators

Correlations indicate a positive association between the A–B premium and waste separation rate (0.76), together with moderate positive patterns with heating degree days and the IMI Index, and weak negative ones for income per capita and the share of pre-1980 buildings. Figure 6 illustrates

the relationships between the A–B premium and two selected indicators, highlighting a visible upward pattern with the waste separation rate. This relationship may reflect broader environmental orientation at the municipal level, potentially associated with greater awareness of sustainability and higher willingness to pay for energy-efficient dwellings. Conversely, the negative association with the prevalence of pre-1980 buildings may signal that, in markets dominated by older housing stock, price formation is driven more strongly by other attributes such as central location, historical value, architectural character or scarcity, than by energy performance. In such contexts, technological constraints and lower renovation intensity may also limit the supply and visibility of high-efficiency units, attenuating the observed capitalization effect.

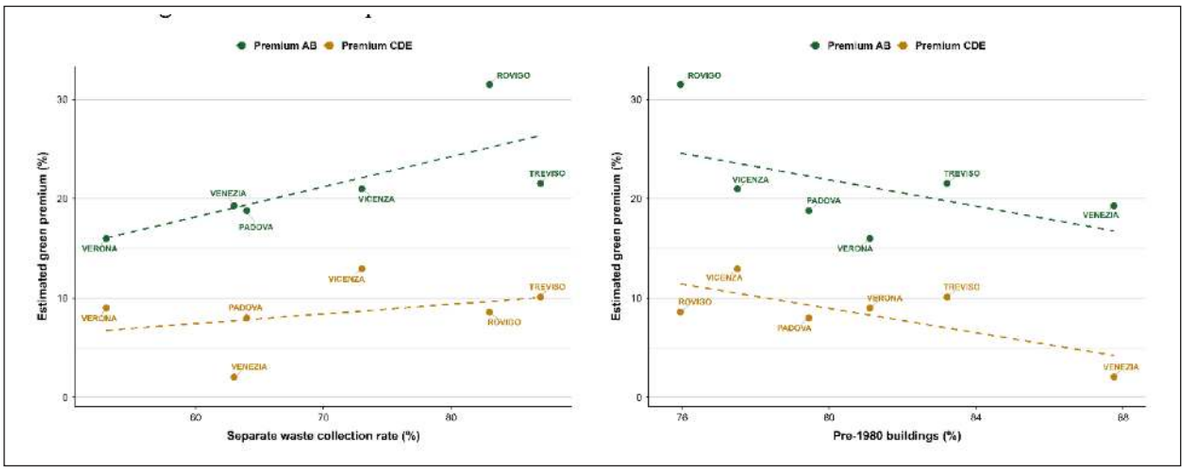


Figure 6. Bivariate relationships between estimated green premiums and selected municipal indicators.

The pooled hedonic model allowing energy-class indicators to vary across cities through interactions with city dummies estimates price premiums broadly consistent with those obtained from the separate city regressions, confirming that this specification reproduces the main capitalization patterns identified at the city level and provides a reliable basis for introducing contextual interactions. Pooled models including one municipal indicator at a time do not outline systematic relationships between green premiums and municipal characteristics. Among the indicators examined, the waste separation rate is the only one for which the model returns a positive and relatively stable coefficient for the interaction with A-B class, consistent with the pattern emerging from the correlation analysis. This convergence between the two approaches suggests a potential relationship between environmental orientation at the municipal level and stronger capitalization of top energy classes that warrants further investigation in larger cross-sectional settings, where the proposed framework would also allow a rigorous inferential assessment of the remaining municipal characteristics examined here only in exploratory terms.

6. Discussion

Results provide clear evidence that energy performance is systematically capitalized within local housing markets operating under a common regulatory framework, confirming that EPC information is embedded in price formation and recognized by market participants. The consistency of statistically significant premiums across all six analysed cities — despite substantial differences in market size, price levels, and socio-economic composition — reinforces the robustness of this finding and suggests that energy performance disclosure operates as a credible and salient market signal. Rather than following a smooth gradient across all rating levels, capitalization appears to exhibit threshold characteristics. The market response is more clearly associated with top performance standards, suggesting that EE operates as a quality signal when it reaches a visibly superior level. This pattern is consistent with the interpretation of EPC classes not merely as incremental technical differences, but as categorical indicators of building quality that may

influence buyer perception, future regulatory expectations, and long-term operating cost considerations. The lower statistical significance and reduced magnitude of coefficients for intermediate energy classes (C-D-E) across multiple cities further reinforce this interpretation: market participants appear to distinguish primarily between "standard" performance (middle classes) and "superior" performance (high classes), treating intermediate improvements as insufficiently differentiated to command measurable price premiums. This threshold-based valuation structure has direct implications for renovation investment decisions: interventions targeting marginal class improvements may fail to recover costs through market value appreciation, whereas comprehensive retrofits reaching top performance standards are more likely to generate economically recognizable premiums.

Spatial dynamics further reveal that price formation mechanisms differ across cities. In some markets, residual dependence is driven by spatially correlated unobserved factors, while in others endogenous interaction among nearby listings is more relevant, reflecting competitive pricing dynamics, information spillovers, or strategic listing behaviour in spatially clustered market segments. This heterogeneity underscores the importance of city-specific spatial diagnostics and cautions against imposing a uniform spatial structure across markets. The dominance of SEM specifications in three of six cities indicates that unobserved spatial heterogeneity — rather than strategic price interdependence — constitutes the primary source of residual spatial correlation in most analysed contexts. This finding has methodological implications: failure to account for spatially structured unobservables through appropriate error specifications would bias standard errors and potentially distort inference on energy class coefficients, particularly in cities where spatial dependence is pronounced.

Compared with some upper-bound estimates reported in the Italian literature, the premiums identified here are more moderate, ranging approximately from 16% to 30% for class A-B aggregates across cities. This difference is plausibly related to the richer set of structural controls included in the specification. By controlling for construction period, building condition, typology and amenities, we reduce the risk that energy class captures broader quality differentials correlated with newer construction, better maintenance or higher-end property features. The resulting coefficients can therefore be interpreted as more conservative and cleaner estimates of the marginal effect of energy performance on housing prices, providing more reliable guidance for valuation practice and policy evaluation even if estimated premiums appear smaller than those reported in studies with less comprehensive control structures.

Regarding cross-city heterogeneity, conclusions must be more cautious. As discussed in Section 4.3, the second research question is addressed here in a preliminary and exploratory way, not due to limitations in the analytical approach — which is methodologically robust — but as a direct consequence of the limited cross-sectional dimension in the present application. Within these constraints, cross-city differences in premium magnitude are not explained by the available municipal indicators, a result that should be read as a structural consequence of limited statistical power rather than as evidence of the absence of effects. The only partial exception is the exploratory pattern emerging for environmental orientation, which invites reflection on the cultural and institutional dimensions of value formation. It is plausible that markets characterized by greater environmental awareness exhibit higher willingness to pay for superior energy performance, independently of purely economic fundamentals such as energy prices or income levels. This interpretation aligns with preference heterogeneity documented in behavioural economics literature: consumers with pro-environmental attitudes may derive utility not only from direct cost savings but also from symbolic and identity-related benefits of owning green properties, thereby expanding the valuation basis beyond narrow financial rationality. This is consistent with evidence from California (Kahn & Kok, 2014), where zip-code-level green party voting shares were positively associated with Energy Star certification premiums. If confirmed through the application of the proposed framework to a larger set of cities, this pattern would carry relevant policy implications: cities with higher environmental orientation may be precisely those where market recognition of EE is strongest, creating a reinforcing dynamic between renovation incentives and price response, whereas cities with lower environmental awareness may require stronger regulatory or fiscal intervention to generate comparable market signals. This asymmetry suggests that uniform

national subsidy rates or regulatory mandates may produce heterogeneous market outcomes, and that understanding these contextual contingencies is essential for efficient allocation of public resources and calibration of place-based energy transition policies.

From a valuation perspective, the findings highlight three key implications. First, the contributory value of EE should not be assumed to be universally transferable across urban contexts: applying premium estimates derived from one city to another may introduce systematic valuation bias, and appraisers should therefore adopt context-sensitive adjustments rather than relying on national or regional averages. Second, the observed nonlinear capitalization pattern suggests that market recognition may operate through performance thresholds rather than proportional adjustments: renovation investments targeting incremental class improvements (e.g., E to D) may fail to generate measurable market premiums, whereas comprehensive retrofits achieving top standards (A-B) are more likely to produce economically significant value appreciation. This insight is critical for cost-benefit analysis of building interventions. Third, policy instruments aimed at promoting energy retrofitting may achieve greater effectiveness if oriented toward achieving high performance standards that trigger clear market recognition, rather than incentivizing marginal improvements that remain below the perceptual threshold for buyers and do not translate into recoverable value premiums.

7. Conclusion

This paper develops an appraisal-oriented framework for analysing EE capitalization across local housing markets that share a common regulatory setting. Applying this framework to six provincial capitals in the Italian Veneto region, city-specific hedonic models with micro-location fixed effects and tailored spatial specifications yield robust green premiums for high-efficiency dwellings in all analysed markets, with a nonlinear structure in which top energy classes command the strongest and most consistent effects, while intermediate classes generate weaker and less reliable price differentials, typically exhibiting smaller coefficient magnitudes, lower t-statistics, and reduced statistical precision, suggesting that market recognition operates through performance thresholds rather than continuous gradients.

Two practical implications follow for valuation and modelling. First, spatial dependence is market-specific rather than uniform: spatial error processes prevail in some cities, while endogenous interaction characterizes others, making city-tailored spatial diagnostics essential. Imposing uniform spatial specifications across markets risks biased estimates and invalid inference. Second, rich structural controls materially affect premium magnitudes: the net contribution of energy performance can only be isolated cleanly when the model adequately accounts for construction period, building condition, typology and amenities. The relatively moderate premiums documented here, compared with those reported in some Italian studies, reflect this conservative specification strategy and offer a more reliable basis for contributory value assessment than estimates from more parsimonious models that risk conflating energy certification with correlated quality dimensions. Within the exploratory scope of the second research question, no systematic relationships between green premiums and observable municipal characteristics emerge from the present application, a result attributable to the limited cross-sectional dimension rather than to weaknesses in the analytical approach. An exploratory pattern linking municipal recycling rates, proxying environmental orientation, and higher premiums invites further investigation: if confirmed in larger samples, it would imply that market recognition is mediated by place-specific environmental awareness, with direct policy implications regarding spatially differentiated intervention intensity.

Beyond the methodological contribution, however, the results carry a reflection that practitioners and policymakers would do well to take seriously. The nonlinear capitalization structure documented here — strong and consistent at the top of the EPC scale, weaker and uncertain across intermediate classes — raises a fundamental question about the economics of energy renovation: whether the price premiums achievable in the market are sufficient to justify the costs of upgrading, and crucially, whether this calculus changes depending on how ambitious

the upgrade is. The evidence suggests it does. An owner investing in a deep renovation that brings a dwelling into the top efficiency classes can reasonably expect a robust and consistent market recognition. An owner stopping at an intermediate class faces a much more uncertain return in terms of price premium, and may find that the financial case for renovation rests almost entirely on future energy savings rather than on an immediate and reliable gain in market value. This asymmetry may explain the persistent gap between technically feasible and implemented renovations: rational investors may pursue ambitious deep retrofits that cross the market recognition threshold or defer intervention altogether, treating marginal upgrades as financially unjustifiable. From a policy perspective, performance-tiered incentives offering higher support for deep retrofits reaching top classes would align public investment with market recognition structures and maximize both public and private returns, whereas flat-rate subsidies independent of outcomes may inadvertently incentivize shallow interventions with weak market returns. This distinction between shallow and deep upgrades, and between the market signals they generate, is not a technical nuance but a practical reality that should inform how renovation incentives are structured, how investment viability is assessed, and how appraisers account for energy performance in their valuations.

The limitations of the present application naturally delineate the main directions for future research. The reliance on listing rather than transaction prices introduces a possible bias in the estimates as the potential heterogeneity of negotiation margins across property types or energy classes cannot be directly assessed with the current data. The aggregation of EPC classes into three groups, while motivated by sample size constraints, prevents a finer assessment of capitalization patterns within each category. Finally, the cross-sectional design precludes analysis of temporal dynamics — panel data would enable investigation of how premiums evolve in response to regulatory changes, shifting energy prices, and policy interventions. Expanding the sample both within and across cities would unlock two complementary analytical gains: larger within-city samples would provide sufficient observations per individual energy class — including finer distinctions within the A range — enabling estimation without aggregation and potentially revealing whether market recognition operates through discrete jumps between single classes rather than broad performance tiers; a larger set of urban contexts would instead provide the cross-sectional variability needed to rigorously assess whether and how observable municipal characteristics systematically drive heterogeneity in green premiums across cities. Extending this framework to larger and more different urban samples remains a research priority, as more robust estimates of EE capitalization are a prerequisite for designing incentives that are financially grounded and effective where they are needed most.

Acknowledgements

The article is the result of a research activity carried out with funding from the Centre for Energy Economics and Technology Giorgio Levi Cases of the University of Padova, within the framework of the EVeREST (Energy efficiency Value in REsidential STock) project.

Contribution of the authors

The work should be attributed equally to the authors.

Bibliography

Anelli D. & Ranieri R. (2022). Resilience of complex urban systems: A multicriteria methodology for the construction of an assessment index. In: Calabrò F., Della Spina L. & Piñeira Mantiñán M.J. (Eds.) *New Metropolitan Perspectives* (pp. 690-701). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06825-6_65

Anselin L. (1988). *Spatial econometrics: Methods and models*. Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-015-7799-1

Banca d'Italia. (2026). *Sondaggio congiunturale sul mercato delle abitazioni in Italia*.

https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/sondaggio-abitazioni/2025-sondaggio-abitazioni/04/statistiche_SAB_20260226.pdf

Barreca A., Curto R., Malavasi G. & Rolando D. (2022). Energy retrofitting for the modern heritage enhancement in weak real estate markets: The Olivetti housing stock in Ivrea. *Sustainability, 14*(6), Article 3507. https://doi.org/ 10.3390/su14063507

Berto R., Stival C.A. & Rosato P. (2018). Enhancing the environmental performance of industrial settlements: An economic evaluation of extensive green roof competitiveness. *Building and Environment, 127*, 58–68. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.032

Berto R., Stival C.A. & Rosato P. (2020). The valuation of public and private benefits of green roof retrofit in different climate conditions. In Mondini G., Oppio A., Stanghellini S., Bottero M. & Abastante F. (Eds.), *Values and functions for future cities* (pp. 145–166). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23786-8_8

Bisello A., Antoniucci V. & Marella G. (2020). Measuring the price premium of energy efficiency: A two-step analysis in the Italian housing market. *Energy and Buildings, 208*, Article 109670. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109670

Bottero M., Bravi M., Mondini G. & Talarico A. (2017). Buildings energy performance and real estate market value: An application of the spatial autoregressive (SAR) model. In Stanghellini S., Morano P., Bottero M. & Oppio A. (Eds.), *Appraisal: From theory to practice* (pp. 221–230). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49676-4_16

Bottero M., Bravi M., Dell'Anna F. & Mondini G. (2018). Valuing buildings energy efficiency through hedonic prices method: Are spatial effects relevant? *Valori e Valutazioni, 21*, 27–39.

Canesi R. (2022). Urban policy sustainability through a value-added densification tool: The case of the South Boston area. *Sustainability, 14*(14), Article 8762. https://doi.org/10.3390/su14148762

Canesi R. & Marella G. (2023). Towards European transitions: Indicators for the development of marginal urban regions. *Land, 12*(1), Article 27. https://doi.org/10.3390/land12010027

Canesi R., D'Alpaos C., Marella G., Romagnolo D. & Turrini U. (2025). Unlocking energy efficiency in the Italian public housing legacy: A typological blueprint for cost-effective retrofitting. In: Gervasi, O., et al. *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2025 Workshops. ICCSA 2025. Lecture Notes in Computer Science, vol 15893.* Springer International Publishing. *https://doi.org/10.1007/978-3-031-97645-2_4*

Copiello S. & Coletto S. (2023). The price premium in green buildings: A spatial autoregressive model and a multi-criteria optimization approach. *Buildings, 13*(2), Article 276. https://doi.org/ 10.3390/buildings13020276

Copiello S. & Donati E. (2021). Is investing in energy efficiency worth it? Evidence for substantial price premiums but limited profitability in the housing sector. *Energy and Buildings, 251*, Article 111371. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111371

Dell'Anna F. (2025). Machine learning framework for evaluating energy performance certificate (EPC) effectiveness in real estate: A case study of Turin's private residential market. *Energy Policy, 198*, Article 114407. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114407

Fregonara E., Rolando D. & Semeraro P. (2017). Energy performance certificates in the Turin real estate market. *Journal of European Real Estate Research, 10*(2), 149–169. https://doi.org/10.1108/JERER-05-2016-0022

Fregonara E., Rolando D., Semeraro P. & Vella M. (2015). The impact of energy performance certificate level on house listing prices: First evidence from Italian real estate. *Aestimum, 65*, 143–163. https://doi.org/10.13128/AESTIMUM-15459

García-Valiñas M., Arbués F. & Balado-Naves R. (2023). Assessing environmental profiles: An analysis of water consumption and waste recycling habits. *Journal of Environmental Management, 348*, Article 119247. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119247

Giarda E. & Panarello D. (2025). The energy efficiency price premium of residential buildings in three Italian regions. *Energy Research & Social Science, 121*, Article 103932. https://doi.org/ 10.1016/j.erss.2025.103932

Holland S. (1976). Strategy for regional development. In *The regional problem*. Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-1-349-15637-5_7

Kahn M.E. & Kok N. (2014). The capitalization of green labels in the California housing market. *Regional Science and Urban Economics, 47*, 25–34. https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2013.07.001

Lancaster K.J. (1966). A new approach to consumer theory. *Journal of Political Economy, 74*(2), 132–157. https://doi.org/10.1086/259131

LeSage J.P. & Pace R.K. (2009). *Introduction to spatial econometrics*. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781420064254

Loberto M., Mistretta A. & Spuri M. (2024). The capitalization of energy labels into house prices: Evidence from Italy. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/ssrn.4849415

Micelli E., Giliberto G., Righetto E. & Tafuri G. (2023). The economic value of sustainability: Real estate market and energy performance of homes—Il valore economico della sostenibilità: Mercato immobiliare e prestazioni energetiche delle abitazioni. *Valori e Valutazioni, 34*, 3–16. https://doi.org/10.48264/VVSIEV-20233402

Micelli E., Giliberto G., Righetto E. & Tafuri G. (2024). Urban disparities in energy performance premium prices: Towards an unjust transition? *Land, 13*(2), Article 224. https://doi.org/10.3390/land13020224

Morano P., Tajani F., Di Liddo F. & Guarnaccia C. (2018). The value of the energy retrofit in the Italian housing market: Two case studies compared. *WSEAS Transactions on Business and Economics, 15*, 249–258.

Musolino M., Massimo D.E., Marino C., De Paola P., Errigo R., Malerba A. & Del Giudice F.P. (2023). Appraisal of energy saving in green buildings, supported by BIM new platforms. *Valori e Valutazioni, 34*, 89–115. https://doi.org/10.48264/VVSIEV-20233407

Rosato P., Breil M., Giupponi C. & Berto R. (2017). Assessing the impact of urban improvement on housing values: A hedonic pricing and multi-attribute analysis model for the historic centre of Venice. *Buildings, 7*(4), Article 112. https://doi.org/10.3390/buildings7040112

Rosen S. (1974). Hedonic prices and implicit markets: Product differentiation in pure competition. *Journal of Political Economy, 82*(1), 34–55. https://doi.org/10.1086/260169

Ruggeri A.G., Gabrielli L., Scarpa M. & Marella G. (2023). What is the impact of the energy class on market value assessments of residential buildings? An analysis throughout northern Italy based on extensive data mining and artificial intelligence. *Buildings, 13*(12), Article 2994. https://doi.org/10.3390/buildings13122994

Tajani F., Sica F., Clemente C. & Arbizzani E. (2024). ESG in real estate valuations: A portfolio selection model for energy retrofit programs. *Valori e Valutazioni, 36*, 27–41. https://doi.org/10.48264/VVSIEV-20243603

Taruttis L. & Weber C. (2022). Estimating the impact of energy efficiency on housing prices in Germany: Does regional disparity matter? *Energy Economics, 105*, Article 105750. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105750

Zhang B., Zhang Y., Li J., Song Y. & Wang Z. (2023). Does the energy efficiency of buildings bring price premiums? Evidence from urban micro-level energy data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 181*, Article 113315. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113315

Appendix

Table A1. Distribution of categorical housing characteristics by city (%)

Variable	Level	BL	PD	RO	TV	VE	VR	VI
Energy class	A	13.9	32.9	10.0	49.7	28.3	25.4	33.4
	B	0.0	3.3	5.7	4.3	1.5	4.9	3.9
	C	8.3	4.4	6.3	4.9	3.6	3.1	7.5
	D	11.1	9.4	9.4	7.9	5.6	8.9	13.3
	E	13.9	13.3	13.2	10.7	10.5	17.2	15.6
	F	16.7	18.5	14.5	9.7	15.3	24.2	16.9
	G	36.1	18.2	40.9	12.8	35.2	16.3	9.4
Property type	Apartment	69.4	53.8	42.1	59.2	65.5	62.6	59.7
	Penthouse	13.9	15.9	8.2	23.8	15.6	17.2	20.1
	Detached	16.7	24.0	36.5	14.9	13.8	16.2	15.6
	Multi-family	0.0	6.3	13.2	2.1	5.1	4.0	4.6
Construction period	Pre-1945	13.9	8.8	1.9	5.8	37.8	18.7	7.8
	1946-1970	30.6	32.9	45.3	28.1	24.5	37.7	22.1
	1971-1990	33.3	15.4	21.4	8.5	6.6	12.9	18.2
	1991-2020	11.1	15.0	22.0	12.2	7.9	12.0	21.4
	2021-2026	11.1	27.9	9.4	45.4	23.2	18.7	30.5
Condition	Good	55.5	46.3	63.5	31.7	37.0	44.2	43.2
	To renovate	16.7	8.8	15.7	9.1	8.4	8.3	7.5
	Renovated	16.7	21.1	12.6	16.5	30.9	27.6	23.7
	New	11.1	23.8	8.2	42.7	23.7	19.9	25.6
Elevator	Yes	41.7	41.0	18.2	49.4	29.6	49.1	48.1
Balcony	Yes	52.8	55.4	62.3	38.1	36.0	60.1	41.2
Terrace	Yes	63.9	56.6	49.1	67.4	55.9	32.5	61.7
Prestigious building	Yes	88.9	9.7	2.5	13.7	70.9	17.2	8.8
Garage	Yes	16.7	61.8	39.6	38.4	39.0	36.5	43.8
Parking	Yes	50.0	41.0	37.1	34.8	18.9	22.7	40.3
Private garden	Yes	16.7	31.2	53.5	22.9	22.4	27.0	22.7
Shared garden	Yes	22.2	25.7	15.7	17.1	26.5	18.7	28.6
Furnished	Yes	36.1	20.2	33.3	20.1	37.8	35.0	21.4
Air conditioning	Yes	2.8	64.1	57.2	53.4	65.1	60.4	58.1
Optical fiber	Yes	5.6	75.0	20.1	18.0	28.1	17.5	52.9
Panoramic view	Yes	5.6	74.2	20.1	18.0	20.9	10.1	50.0
Alarm	Yes	5.6	12.4	9.4	19.8	6.9	11.0	11.7
Security door	Yes	2.8	45.0	8.8	11.0	16.8	18.4	45.5
Laundry room	Yes	2.8	17.0	5.0	5.5	6.4	6.1	21.4
Cellar	Yes	61.1	16.5	23.9	15.5	7.9	40.2	26.3

Appendix

Table A2. Estimated coefficients for city-specific models (significance levels: * p < 0.10; ** p < 0.05; *** p < 0.01)

Parameter	PD (SEM)	RO (OLS)	TV (SEM)	VE (SEM)	VR (OLS)	VI (SAR)
Intercept	8.269***	6.978***	7.466***	8.219***	8.394***	5.670***
Size	-0.002***	-0.002***	-0.001***	-0.003***	-0.001***	-0.002***
Rooms	-0.025***			0.037***	-0.056***	
Bathrooms	0.035*	0.217***	0.100***	0.105***	0.161***	0.128***
Energy class						
A-B	0.172***	0.274***	0.195***	0.177***	0.149***	0.191***
C-D-E	0.077***	0.083***	0.095***	0.020***	0.086***	0.121***
Property type						
Penthouse	0.054**		0.106***	0.028***		0.088***
Detached	0.030*		0.020***	0.030***		0.165***
Multi-family	-0.058***		-0.160***	-0.151***		0.079***
Construction period						
Pre-1945	0.243***	0.162***	0.352***	0.287***		0.288***
1971-1990	0.034**	0.106***	0.100***	-0.114***		0.029***
1991-2020	0.197***	0.346***	0.207***	0.324***		0.214***
2021-2026	0.221***	0.442**	0.203***	0.290***		0.207***
Condition						
To renovate	-0.257***	-0.222***	-0.254***	-0.181***	-0.146***	-0.179***
Renovated	0.050*	0.103***	0.131***	0.082***	0.048***	0.113***
New	0.072	0.019***	0.233***	0.002***	0.170***	0.179***
Other amenities						
Terrace				0.071***	0.044***	
Prestigious building			0.064***		0.145***	0.103**
Garage			-0.042***	-0.072***		
Parking		-0.101***				
Shared garden	-0.043***		0.058***			
Private garden	0.056***		0.109***			
Furnished	0.070***					
Air conditioning				0.081***	0.094***	
Panoramic view	-0.085***			-0.122***		-0.049***
Alarm		0.225***				0.078***
Security door	0.042***				-0.059	
Laundry room			-0.111***			
Cellar		-0.920***	-0.167***	0.084***		0.050***
Spatial parameters						
ρ (SAR)						0.239***
λ (SEM)	0.269***		0.505***	0.465***		

valori e valutazioni
teorie ed esperienze

Società Italiana di Estimo e Valutazione

Green Premium nei Mercati Residenziali: Un Approccio Edonico-Spaziale tra Contesti Urbani

Giovanni Luzzatto[1], Marina Bertolini[1,2], Luca Doretti[1,3], Duccio Gamannossi degl'Innocenti[1,4], Giuliano Marella[3], Rubina Canesi[1,3,*]

[1] Centro studi di Economia e Tecnica dell'Energia Giorgio Levi Cases, Università di Padova, Padova, Italia; giovanni.luzzatto@studenti.unipd.it; marina.bertolini@unipd.it; rubina.canesi@unipd.it
[2] Dipartimento di Scienze Statistiche, Università di Padova, Padova, Italia
[3] Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (ICEA), Università di Padova, Padova, Italia; luca.doretti@unipd.it; giuliano.marella@unipd.it
[4] Dipartimento di Scienze Economiche e Aziendali Marco Fanno (DSEA), Università di Padova, Padova, Italia; duccio.gamannossi@unipd.it
* autore corrispondente

Parole chiave

efficienza energetica; green premium; immobili residenziali; econometria spaziale; modello dei prezzi edonici

Abstract

La capitalizzazione dell'Efficienza Energetica (EE) nei valori degli immobili residenziali è un tema centrale negli studi di estimo, valutazione degli investimenti e politiche abitative. Tuttavia, l'entità stimata del premio di prezzo associato varia sensibilmente tra mercati e studi empirici, in funzione delle fonti dei dati, delle specificazioni econometriche e delle variabili di controllo. Questo studio analizza se e come la capitalizzazione dell'EE differisca tra contesti urbani inseriti in un quadro regolatorio omogeneo, concentrandosi sui capoluoghi di provincia del Veneto. Sulla base di 2.242 annunci immobiliari residenziali raccolti nel gennaio 2026, i green premium sono stimati mediante modelli edonici con effetti fissi di micro-localizzazione. Le diagnostiche spaziali individuano per ciascun mercato la specificazione econometrica più appropriata. Successivamente, un modello pooled valuta se l'eterogeneità tra città nei premi sia associata a caratteristiche socio-economiche, climatiche e del mercato abitativo. Data la limitata dimensione trasversale del campione, procedure inferenziali basate su permutazioni assicurano un'inferenza robusta. Gli immobili altamente efficienti (A-B) presentano premi statisticamente significativi, compresi tra circa il 16% a Verona e il 30% a Rovigo. Le classi intermedie (C-D-E) mostrano invece profili più deboli e incoerenti, suggerendo una relazione non lineare tra EE e prezzo. Nonostante i risultati della seconda fase siano esplorativi, vista la limitata dimensione trasversale del dataset, non emerge alcuna associazione robusta tra green premium e caratteristiche comunali, sebbene un marcato orientamento ambientale sembri associarsi a premi maggiori per le classi A-B. Il framework proposto risulta rigoroso e scalabile, offrendo supporto alla pratica valutativa e alle politiche di riqualificazione energetica.

1. Introduzione

Nei mercati immobiliari residenziali, la formazione del prezzo riflette in misura crescente non solo gli attributi strutturali e localizzativi tradizionali, ma anche caratteristiche prestazionali legate all'efficienza operativa e alla sostenibilità di lungo periodo. Tra queste, la prestazione energetica ha assunto

un ruolo sempre più rilevante: l'aumento dei prezzi dell'energia, l'inasprimento della regolamentazione climatica e l'integrazione degli obiettivi di decarbonizzazione nelle politiche edilizie hanno progressivamente ridefinito l'Efficienza Energetica (EE) come una componente economicamente significativa della qualità delle abitazioni (Tajani et al., 2024).

In Europa, tale cambiamento è stato rafforzato dalle successive revisioni della direttiva sulla prestazione energetica degli edifici (EPBD I: Direttiva 2002/91/CE; EPBD II: Direttiva 2010/31/UE; EPBD III: Direttiva 2018/844/UE; EPBD IV: Direttiva 2024/1275/UE). Queste misure hanno introdotto metodi di valutazione standardizzati, definito requisiti minimi di prestazione e progressivamente allineato la regolamentazione edilizia agli obiettivi di decarbonizzazione di lungo periodo. All'interno di questo quadro, gli Attestati di Prestazione Energetica (Energy Performance Certificates, EPC) hanno trasformato l'EE da caratteristica in larga misura implicita ad attributo standardizzato e pubblicamente dichiarato. Rendendo la prestazione energetica misurabile e comparabile, i sistemi di certificazione consentono agli operatori di mercato di incorporare nelle negoziazioni di prezzo le differenze attese in termini di spesa energetica, qualità edilizia e future esigenze di adeguamento. La prestazione energetica diventa quindi parte della struttura informativa del mercato e può riflettersi nei valori di transazione. Tuttavia, resta incerto in quale misura gli EPC riescano effettivamente a tradurre la prestazione energetica dichiarata in comportamenti di mercato economicamente razionali. Persiste infatti un divario significativo tra la disponibilità dell'informazione e la sua effettiva elaborazione: gli operatori di mercato non specialisti, che comprendono la maggioranza dei compratori e dei venditori residenziali, possono non disporre delle competenze tecniche o finanziarie necessarie per monetizzare i differenziali tra classi energetiche. Di conseguenza, le certificazioni energetiche vengono spesso interpretate come segnali qualitativi o attributi nominali dell'edificio, piuttosto che come misure quantitative dei costi operativi attesi lungo il ciclo di vita, da incorporare nei flussi di cassa attualizzati.

Un'ampia letteratura empirica documenta l'esistenza di un "green premium", ossia di prezzi più elevati associati ad abitazioni più efficienti dal punto di vista energetico. Tuttavia, l'entità di tale premio varia considerevolmente tra Paesi, regioni e città. Anche all'interno di contesti istituzionali simili, gli effetti stimati differiscono in modo significativo tra mercati e specificazioni empiriche. Questa eterogeneità solleva una questione centrale per la valutazione immobiliare e per l'analisi dei mercati urbani: in quali condizioni la prestazione energetica si traduce in differenziali di prezzo, e perché la sua capitalizzazione varia tra contesti locali? È importante sottolineare che tale eterogeneità territoriale negli effetti osservati non rappresenta soltanto una questione empirica, ma accresce direttamente la difficoltà interpretativa a cui sono esposti gli operatori di mercato. In assenza di strutture di premio stabili e prevedibili nei diversi contesti, anche gli operatori informati possono incontrare difficoltà nel tradurre le differenze di prestazione energetica in aggiustamenti valutativi economicamente coerenti. Ciò limita ulteriormente l'applicabilità operativa delle informazioni contenute negli EPC nei processi di formazione dei prezzi.

L'Italia offre un contesto particolarmente adatto per indagare la variazione tra città nella valutazione di mercato della prestazione energetica. L'EPC nazionale, denominato Attestato di Prestazione Energetica (APE) e standardizzato dalle linee guida nazionali del 2015, garantisce una classificazione omogenea sull'intero territorio, ordinando le abitazioni da A4 (più efficienti) a G (meno efficienti) sulla base del consumo di energia primaria non rinnovabile (kWh/m²·anno). L'obbligo di dichiarazione della classe APE assicura comparabilità istituzionale tra i mercati locali, mentre l'obsolescenza del patrimonio abitativo e i recenti incentivi alla riqualificazione accrescono la rilevanza economica della prestazione energetica sia per le famiglie sia per gli investitori. La rilevanza di questo tema è ulteriormente rafforzata dalle evidenze relative al patrimonio edilizio residenziale pubblico italiano, in cui l'analisi tipologica può supportare l'individuazione di strategie di retrofit economicamente efficaci e mette in luce l'importanza di collegare la valutazione della prestazione energetica a priorità di riqualificazione concretamente attuabili (Canesi et al., 2025).

All'interno di questo quadro, il presente lavoro studia se e in che modo la capitalizzazione dell'EE vari tra contesti urbani che operano all'interno dello stesso assetto regionale e regolatorio. Concentrandosi sui sette capoluoghi di provincia della regione Veneto, l'articolo persegue due obiettivi: stimare i green premium specifici per città mediante modelli edonici dei prezzi che tengano esplicitamente conto della dipendenza spaziale, ove rilevante, ed esaminare se tali premi siano sistematicamente as-

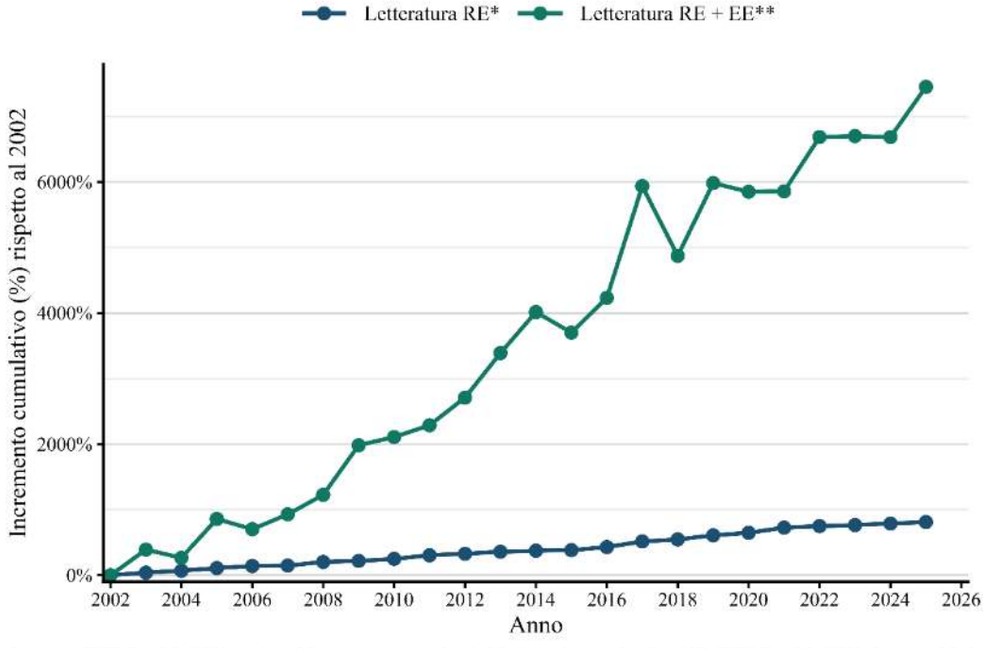
sociati a caratteristiche socio-economiche, demografiche, climatiche e del mercato abitativo a livello comunale.

Dopo questa sezione introduttiva, il resto dell'articolo è organizzato come segue. La Sezione 2 passa in rassegna la letteratura empirica sulla capitalizzazione dell'EE, con particolare attenzione al contesto italiano e alle fonti di eterogeneità tra città. La Sezione 3 descrive il caso di studio, presentando i sette capoluoghi di provincia della regione Veneto e il dataset immobiliare utilizzato nell'analisi. La Sezione 4 illustra l'approccio metodologico, mentre la Sezione 5 riporta i risultati empirici. La Sezione 6 discute i principali risultati e le loro implicazioni per la pratica valutativa e per le politiche energetiche urbane. Infine, la Sezione 7 conclude sintetizzando i principali contributi dello studio e indicando possibili direzioni per la ricerca futura.

2. Analisi della letteratura

Nel corso degli ultimi due decenni, la relazione tra prezzi delle abitazioni ed Efficienza Energetica (EE) si è progressivamente trasformata da tema marginale a filone di ricerca consolidato nell'ambito dell'economia immobiliare. Le evidenze bibliometriche tratte da Scopus indicano che, mentre la letteratura più ampia sui prezzi delle abitazioni e sui mercati immobiliari è cresciuta costantemente a partire dai primi anni Duemila, i contributi focalizzati specificamente sugli aspetti energetici nel settore immobiliare sono aumentati a un ritmo sensibilmente più rapido. Nel 2002 tali studi rappresentavano meno dell'1% delle pubblicazioni complessive del settore, mentre negli ultimi anni la loro quota si è stabilizzata intorno al 5–7% della produzione annuale.

Le dinamiche cumulative evidenziano ulteriormente questa divergenza: rispetto al 2002, anno di adozione dell'EPBD I, la letteratura immobiliare è aumentata di circa otto volte, mentre i contributi dedicati alla prestazione energetica nel settore immobiliare sono cresciuti di oltre settanta volte nello stesso periodo (Fig. 1). Tale traiettoria riflette una crescita più che proporzionale rispetto all'espansione complessiva della ricerca immobiliare e segnala il consolidamento dell'EE come filone di ricerca autonomo, riconoscibile e tuttora in espansione nell'analisi dei mercati abitativi.



Ricerca Scopus: TITLE-ABS-KEY (price OR "property value" OR "market value") AND TITLE-ABS-KEY (house OR housing OR residential OR building OR buildings OR "real estate") AND PUBYEAR > 2001 AND PUBYEAR < 2026.

***Ricerca Scopus: TITLE-ABS-KEY (price OR "property value" OR "market value") AND TITLE-ABS-KEY ("energy efficiency" OR "energy performance" OR EPC OR "energy label" OR "energy rating" OR "energy class") AND TITLE-ABS-KEY (house OR housing OR residential OR building OR buildings OR "real estate") AND PUBYEAR > 2001 AND PUBYEAR < 2026.*

Figura 1. Evoluzione della ricerca sui prezzi delle abitazioni (2002–2025).

La tempistica di questa espansione rispecchia da vicino gli sviluppi normativi e di policy. L'attenzione accademica si è intensificata a seguito dell'introduzione dei sistemi obbligatori di attestazione della prestazione energetica nell'ambito dell'EPBD I e ha subito un'ulteriore accelerazione in corrispondenza delle successive revisioni della direttiva. Le iniziative di policy più recenti, tra cui il Green Deal europeo e l'aggiornamento dell'EPBD, hanno rafforzato il ruolo strategico della prestazione energetica degli edifici nelle politiche climatiche. Il costante aumento della quota di pubblicazioni dedicate al tema negli ultimi anni suggerisce che la valutazione della prestazione energetica sia passata dall'essere una nicchia di ricerca emergente a una componente ormai istituzionalizzata e matura dell'analisi del mercato residenziale. Questo consolidamento ha inoltre contribuito ad ampliare gli strumenti della valutazione immobiliare, includendo approcci finalizzati alla stima del valore dei risparmi energetici negli edifici green attraverso piattaforme tecnico-informative integrate. Tali strumenti consentono di supportare valutazioni più dettagliate delle prestazioni degli edifici e dei benefici derivanti dagli interventi di riqualificazione energetica (Musolino et al., 2023).

Da una prospettiva territoriale, l'Europa rappresenta il principale laboratorio empirico per lo studio del valore dell'EE nei mercati immobiliari (Fig. 2).

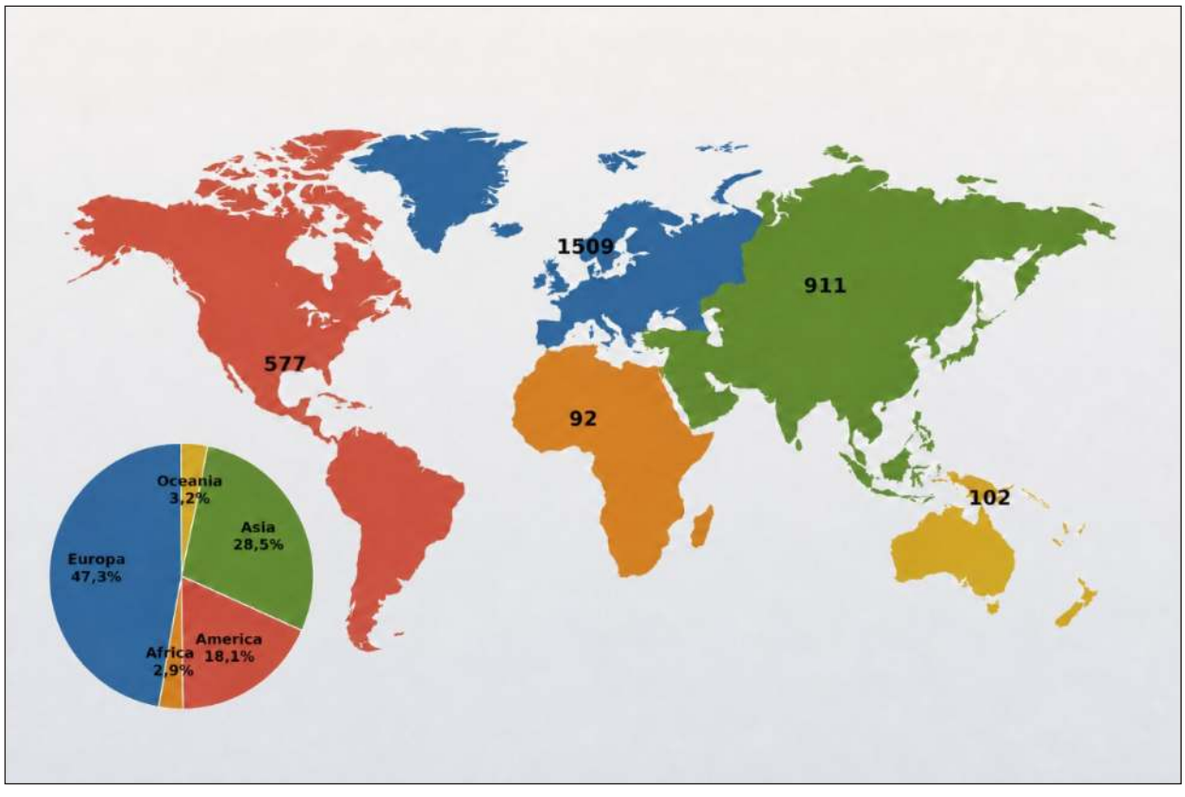


Figura 2. Distribuzione geografica degli studi sull'EE nei mercati immobiliari residenziali per continente.

Tale concentrazione è direttamente riconducibile all'adozione precoce e alla rigorosa applicazione dei sistemi di attestazione della prestazione energetica introdotti dalle successive revisioni dell'EPBD. Il progressivo irrigidimento degli standard di prestazione energetica, insieme a quadri di certificazione armonizzati e ad ambiziosi obiettivi di decarbonizzazione, ha generato sia pressione regolatoria sia disponibilità di dati, collocando i mercati europei — in particolare Germania, Paesi Bassi, Regno Unito, Italia e Paesi nordici — come contesti privilegiati per lo studio dei premi di prezzo legati alla prestazione energetica. Un secondo importante cluster di ricerca si concentra in America, in particolare negli Stati Uniti, dove le analisi empiriche si basano frequentemente su schemi di certificazione volontaria, quali LEED ed Energy Star, e sfruttano ampi dataset a livello di singole transazioni. Negli ultimi anni anche l'Asia, e in particolare la Cina, è emersa come contesto di crescente rilevanza, con contributi focalizzati su mercati metropolitani ampi e in rapida urbanizzazione, caratterizzati da forte crescita economica e intensa trasformazione industriale.

Nonostante questa diversificazione geografica, la letteratura rimane ampiamente segmentata lungo confini nazionali. La maggior parte dei contributi adotta approcci riferiti a un singolo Paese o a una singola città, mentre i disegni di ricerca comparativi tra Paesi restano relativamente limitati. Questa concentrazione degli studi empirici entro contesti spazialmente circoscritti riflette soprattutto considerazioni metodologiche, più che meri vincoli di disponibilità dei dati. Oltre alla capitalizzazione diretta degli attestati di prestazione energetica, la letteratura estimativa sugli interventi di miglioramento ambientale degli edifici mostra che le strategie di riqualificazione e di edilizia green generano benefici sia privati sia pubblici, la cui competitività economica dipende dalle prestazioni tecniche, dal clima locale e dalla tipologia di ambiente urbano considerato. Le evidenze relative alle applicazioni dei tetti verdi, ad esempio, mettono in luce la rilevanza della valutazione economica nell'analisi sia degli interventi di miglioramento ambientale su scala industriale sia delle soluzioni di retrofit in diverse condizioni climatiche (Berto et al., 2018; 2020). Estendere l'analisi oltre i singoli contesti urbani introduce una complessità sostanziale, dovuta alla molteplicità dei fattori mesoeconomici (Holland, 1976), ossia caratteristiche a livello urbano che comprendono condizioni economiche, assetti istituzionali, strutture di mercato e aspetti socio-culturali, capaci di influenzare la relazione tra prestazione energetica e formazione dei prezzi (Canesi & Marella, 2023; Anelli & Ranieri, 2022). Tali variabili di contesto presentano una notevole variazione trasversale e possono interagire con gli attributi energetici in modi specifici a seconda del contesto. Ciò richiede strategie di specificazione accurate, al fine di evitare effetti confondenti e garantire la comparabilità delle stime tra ambienti eterogenei.

Nei diversi contesti, la maggior parte dei contributi identifica differenziali di prezzo statisticamente significativi associati a prestazioni energetiche più elevate. Tali premi sono generalmente interpretati come il riflesso della capitalizzazione dei risparmi energetici attesi sui costi operativi, del miglioramento del comfort interno, della qualità costruttiva percepita e dell'adattamento anticipato a futuri vincoli normativi. Tuttavia, le grandezze stimate variano considerevolmente. Questa eterogeneità è stata attribuita a differenze nel regime regolatorio, nelle condizioni macroeconomiche, nelle strutture della domanda locale, nella composizione del patrimonio abitativo e nelle strategie di modellizzazione, incluso il trattamento della dipendenza spaziale e della segmentazione del mercato (Copiello & Donati, 2021).

Dal punto di vista metodologico, la maggior parte degli studi si basa su modelli edonici dei prezzi arricchiti da variabili di controllo strutturali, localizzative e ambientali. Nella letteratura estimativa italiana è stata inoltre esplicitamente evidenziata la rilevanza degli effetti spaziali nelle analisi edoniche dell'efficienza energetica degli edifici, mostrando come il trattamento della dipendenza spaziale non rappresenti una questione meramente tecnica, ma una condizione fondamentale per ottenere stime affidabili degli effetti sui prezzi legati alla componente energetica (Bottero et al., 2018). Alcuni studi incorporano indicatori socio-economici e demografici per migliorare la modellazione complessiva dei prezzi (Dell'Anna, 2025), ma queste variabili sono spesso considerate come controlli di secondo piano, piuttosto che come determinanti capaci di modellare l'entità del green premium. Solo un numero limitato di studi esamina esplicitamente i driver territoriali dei mercati, come riportato nella Tabella 1.

Tabella 1. Indicatori del contesto urbano nella letteratura sui prezzi delle abitazioni e sul green premium

Categoria	Indicatore	Unità di Misura	Studi	Effetto Misurato su Prezzo* e Green Premium**
Indicatori Economici				
Capacità economica	PIL regionale; Reddito pro capite; Potere d'acquisto pro capite	Yuan cinese; Quartili del reddito individuale netto medio; € pro capite	Giarda & Panarello, 2025; Taruttis & Weber, 2022; Zhang et al., 2023	Positivo (+)*; Positivo (+)*; Positivo (+)*; Negativo (-)**
Mercato del lavoro	Tasso di occupazione; Tasso di disoccupazione	% della popolazione in età lavorativa; % della forza lavoro	Dell'Anna, 2025; Taruttis & Weber, 2022	Positivo (+)*; Positivo (+)**

Segue Tabella 1. Indicatori del contesto urbano nella letteratura sui prezzi delle abitazioni e sul green premium

Categoria	Indicatore	Unità di Misura	Studi	Effetto Misurato su Prezzo* e
Struttura industriale	Struttura industriale; Predominanza di industria e commercio	% della composizione settoriale; % degli edifici industriali e commerciali	Taruttis & Weber, 2022; Zhang et al., 2023	Effetto non significativo*; Effetto non significativo*
Disuguaglianza	Indice di Gini	Coefficiente di Gini	Dell'Anna, 2025	Positivo (+)*
Indicatori Demografici				
Popolazione	Popolazione totale	Abitanti	Taruttis & Weber, 2022	Effetto non significativo*
Popolazione	Densità di popolazione	Abitanti/ km²	Giarda & Panarello, 2025; Taruttis & Weber, 2022; Zhang et al., 2023	Positivo (+)*
Migrazione	Quota di popolazione straniera	% della popolazione totale	Taruttis & Weber, 2022; Dell'Anna, 2025	Negativo (-)**; Negativo (-)*
Indicatori Socio-culturali				
Consapevolezza ambientale	Quota di immatricolazioni di Toyota Prius	% dei veicoli totali immatricolati	Kahn & Kok, 2014	Positivo (+)**
Educazione	Quota di popolazione con istruzione superiore	% della popolazione totale	Dell'Anna, 2025	Positivo (+)*
Indicatori del Mercato Abitativo				
Struttura di mercato	Densità di abitazioni Green	% del patrimonio abitativo	Kahn & Kok, 2014	Effetto non significativo**
Divulgazione EPC	EPC richiesti per la vendita; EPC richiesti per l'affitto	% degli EPC totali	Giarda & Panarello, 2025	Positivo (+)*; Positivo (+)*
Composizione del patrimonio abitativo	Quota di seconde case	% del patrimonio abitativo	Giarda & Panarello, 2025	Positivo (+)*
Composizione del patrimonio abitativo	Quota di abitazioni unifamiliari o bifamiliari	% del patrimonio abitativo	Taruttis & Weber, 2022	Positivo (+)**
Indicatori del Mercato Energetico				
Prezzo dell'energia	Prezzo dell'elettricità	Centesimi/kWh	Kahn & Kok, 2014	Effetto non significativo**
Condizioni Climatiche				
Domanda di riscaldamento/ raffrescamento	Gradi giorno raffrescamento	°C·giorno/anno	Kahn & Kok, 2014	Positivo (+)**
Eventi estremi	Ondate di calore	Logaritmo del numero di eventi per anno	Giarda & Panarello, 2025	Negativo (-)*
Zona climatica	Zona climatica	Dummy per zone climatiche fredde (riferimento: zone più calde)	Giarda & Panarello, 2025 Loberto et al., 2024	Negativo (-)*; Positivo (+)**

Note:
(*) indica l'effetto misurato sul prezzo delle abitazioni, mentre un doppio asterisco.
(**) indica l'effetto misurato sul green premium. I segni tra parentesi indicano la direzione dell'effetto (+ positivo, – negativo).

La Tabella 1 sintetizza 21 indicatori urbani di contesto analizzati in sei studi, mettendo in evidenza sia convergenze metodologiche sia persistenti lacune nella letteratura sui determinanti territoriali dei prezzi delle abitazioni e dei green premium. La densità di popolazione e la capacità economica, espressa attraverso il PIL regionale, il reddito pro capite o il potere d'acquisto, emergono come i fattori contestuali più frequentemente esaminati (tre studi ciascuno). Le variabili di prosperità economica mostrano generalmente associazioni positive con i prezzi delle abitazioni, suggerendo meccanismi di capitalizzazione più forti nelle aree economicamente dinamiche, dove il potere d'acquisto e la pressione della domanda sono più elevati. Analogamente, il tasso di occupazione è associato a effetti positivi sui livelli di prezzo. Gli indicatori demografici producono invece risultati più eterogenei. La densità di popolazione tende a essere positivamente correlata ai prezzi delle abitazioni, riflettendo i tipici effetti di agglomerazione urbana, mentre una maggiore quota di residenti stranieri è associata a effetti negativi sia sui prezzi sia, ove analizzati, sui green premium. Al contrario, livelli più elevati di istruzione e di disuguaglianza del reddito, misurata tramite l'indice di Gini, mostrano relazioni positive con i prezzi, indicando che i contesti urbani avvantaggiati dal punto di vista socio-economico tendono a sostenere valori immobiliari più elevati. Gli indicatori che descrivono la struttura industriale risultano generalmente non statisticamente significativi, suggerendo una limitata influenza diretta della composizione settoriale sulla formazione dei prezzi delle abitazioni. Per contro, alcune caratteristiche del mercato abitativo, come gli obblighi di divulgazione degli EPC e la quota di seconde case, sono associate a effetti positivi, evidenziando la rilevanza dei framework istituzionali e della composizione dello stock abitativo. La quota di abitazioni unifamiliari o bifamiliari è invece associata a green premium positivi, verosimilmente perché le abitazioni indipendenti e semi-indipendenti offrono un maggiore potenziale di riqualificazione e di ottimizzazione della prestazione energetica, rendendo i miglioramenti di efficienza più visibili e più facilmente capitalizzabili nei prezzi di mercato. Le condizioni climatiche mostrano pattern direzionali più chiari. Le evidenze suggeriscono impatti negativi sui prezzi delle abitazioni nelle zone climatiche più fredde o in aree esposte a eventi climatici estremi, come le ondate di calore. Allo stesso tempo, emerge un'associazione positiva tra climi più caldi e green premium attraverso i gradi giorno di raffrescamento, probabilmente in virtù della maggiore rilevanza del consumo energetico legato al raffrescamento nelle regioni più calde, dove l'uso consistente dell'aria condizionata accresce il valore economico degli edifici energeticamente efficienti.

Con riferimento all'Italia, le evidenze empiriche confermano in modo robusto la valorizzazione dell'EE nei mercati immobiliari, ma rimangono frammentate sotto il profilo territoriale. Molti studi si concentrano su singole città (Bisello et al., 2020; Bottero et al., 2017; Copiello & Coletto, 2023; Dell'Anna, 2025; Fregonara et al., 2015, 2017), mentre le analisi comparative coprono solitamente un numero limitato di mercati urbani (Micelli et al., 2023; Morano et al., 2018; Ruggeri et al., 2023). Ulteriori evidenze italiane mostrano anche l'utilità di combinare la valutazione basata sul mercato con approcci multi-attributo nell'analisi del modo in cui gli interventi di miglioramento urbano vengono capitalizzati nei valori abitativi. Alcuni studi integrano il metodo dei prezzi edonici e l'analisi multi-attributo per valutare l'impatto dei miglioramenti della qualità urbana sui valori residenziali (Rosato et al., 2017), mentre approcci basati sul valore aggiunto sono stati proposti anche a supporto delle politiche urbane sostenibili in contesti di densificazione (Canesi, 2022). Prospettive territoriali più ampie restano relativamente rare e includono un'analisi regionale basata su microzone (Giarda & Panarello, 2025) e un'indagine nazionale che riporta premi fino al 25% per gli immobili in classe A rispetto alla classe G, con una variazione sostanziale tra zone climatiche (Loberto et al., 2024). I risultati su più città riportano in modo coerente sia la capitalizzazione sia la dispersione degli effetti stimati tra mercati e disegni empirici. I contributi comparativi stimano generalmente modelli edonici separati per città, consentendo processi di formazione dei prezzi differenziati tra mercati (Micelli et al., 2023, 2024; Ruggeri et al., 2023). Tuttavia, anche all'interno della stessa città, i premi stimati differiscono in modo marcato in funzione delle fonti dei dati, delle variabili di controllo e delle scelte di modellizzazione. Bolzano offre un esempio chiaro: due studi che analizzano lo stesso mercato, ma si basano su specificazioni e approcci modellistici differenti, riportano risultati sensibilmente diversi. Bisello et al. (2020) individuano un differenziale di prezzo relativamente moderato, con un premio di circa il 6,3% per la classe A rispetto alla classe G. Al contrario, Morano et al. (2018)

riportano premi sostanzialmente più elevati per le classi energetiche più efficienti, fino al 45%. Una dispersione analoga emerge per Padova e Torino. Un'analisi su più città relativa a Milano, Torino, Firenze, Padova, Mestre e Bergamo stima premi compresi tra il 20% e il 35% per la classe A, con effetti più marcati nelle città di medie dimensioni rispetto a Milano e Torino (Micelli et al., 2024). Per contro, altri approcci riportano premi sensibilmente più elevati per Padova, fino al 62% per la classe A (Copiello & Donati, 2021), mentre per Torino si evidenzia un incremento lineare, pari a circa il 4,2% per ciascun passaggio di classe (Dell'Anna, 2025). Queste sfide analitiche risultano ulteriormente accentuate nel contesto italiano dalla scarsità di dati a livello comunale: diversamente da quanto avviene in alcuni Paesi dell'Europa settentrionale, dotati di sistemi statistici urbani più completi, la maggior parte degli indicatori socio-economici italiani è pubblicata dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT) solo su scala regionale o nazionale, con una limitata disaggregazione provinciale e una disponibilità di dati a livello cittadino ancora parziale. Ciò limita l'indagine empirica dei moderatori contestuali identificati nella Tabella 1. Entro questi vincoli, la nostra strategia empirica attribuisce priorità alle variabili di contesto che presentano una rilevanza documentata riportata nella Tabella 1, sono disponibili a scala provinciale o a un livello geografico più fine e contribuiscono a colmare le lacune individuate, consentendo un confronto strutturato tra città.

Nel complesso, la letteratura conferma il valore dell'EE nei mercati immobiliari e mostra che la sua entità dipende fortemente dal contesto e dal disegno dell'indagine adottato. Sebbene l'eterogeneità tra città sia frequentemente documentata attraverso stime separate, pochi studi collegano in modo sistematico le differenze nei premi stimati a un insieme coerente di caratteristiche comunali socio-economiche e del mercato abitativo entro un contesto istituzionale condiviso, modellato dall'EPBD. Alla luce di questo quadro, il presente studio propone un approccio che combina la modellazione edonica spaziale specifica per città con un'analisi pooled, al fine di affrontare congiuntamente due domande di ricerca: stimare come i green premium varino tra i sette capoluoghi di provincia della regione Veneto ed esaminare in quale misura tale variazione possa essere interpretata alla luce delle caratteristiche comunali osservabili.

3. Caso di studio: contesto territoriale e disegno empirico

L'analisi si concentra sui sette capoluoghi di provincia della regione Veneto (Belluno-BL, Padova-PD, Rovigo-RO, Treviso-TV, Venezia-VE, Verona-VR e Vicenza-VI), adottando il comune come unità territoriale di riferimento. Questa scelta assicura piena coerenza tra i dati immobiliari, riferiti alle singole città, e le variabili socio-economiche e ambientali impiegate per interpretare l'eterogeneità tra contesti urbani. Tutte e sette le città sono soggette al medesimo quadro regolatorio nazionale e regionale in materia di attestazione della prestazione energetica, cosicché l'assetto istituzionale risulta costante tra i mercati analizzati. A fronte di questo quadro comune, le città differiscono sensibilmente per dimensione demografica, livelli di reddito, composizione del patrimonio abitativo, condizioni climatiche e intensità del mercato immobiliare — variabilità che costituisce il fondamento empirico per una valutazione comparativa del green premium.

3.1 Selezione degli indicatori comunali e descrizione del campione

Gli indicatori comunali inclusi nell'ultima fase dell'analisi, descritta più approfonditamente nella Sezione 4, derivano da una revisione sistematica della letteratura internazionale sul green premium nei mercati immobiliari e sono stati raccolti dall'ISTAT, attraverso l'Atlante Statistico del Territorio[1] e la Banca Dati Territoriale per le Politiche di Sviluppo[2]. I precedenti contributi empirici identificano i livelli di reddito, la composizione demografica, le caratteristiche del patrimonio abitativo, le dinamiche di mercato, le condizioni climatiche e l'orientamento ambientale come poten-

[1] https://aster.istat.it/
[2] https://www.istat.it/statistiche-per-temi/focus/informazioni-territoriali-e-cartografiche/rappresentazioni-cartografiche-interattive/mappa-dei-rischi-dei-comuni-italiani/indicatori/

ziali determinanti contestuali del green premium. Tuttavia, poiché nel sistema statistico italiano la disponibilità di indicatori comparabili a livello comunale è più limitata rispetto ad altri Paesi, l'insieme finale di variabili è stato definito sulla base dei criteri di rilevanza teorica, disponibilità da fonti ufficiali, comparabilità intercomunale e coerenza con la scala spaziale dell'analisi. L'obiettivo non è fornire una rappresentazione esaustiva di tutti i possibili determinanti di contesto, ma costruire un insieme parsimonioso e teoricamente fondato di variabili in grado di cogliere le principali differenze strutturali tra i mercati abitativi selezionati. La Tabella 2 riporta le statistiche descrittive a livello cittadino. Dai sette comuni emerge una sostanziale eterogeneità.

Tabella 2. Indicatori socio-economici delle città

Indicatore	BL	PD	RO	TV	VE	VR	VI
Densità abitativa (ab/km²)	241,5	2.230,6	460,5	1.536,6	598,2	1.283,6	1.369,9
Edifici pre-1980 (%)	74,2	79,5	76,0	83,2	87,8	81,1	77,5
Abitazioni occupate (%)	74,0	84,0	84,0	87,0	84,0	87,0	83,0
IMI	2,00	3,07	2,51	2,90	2,58	2,45	2,87
Gradi giorno	3.043	2.383	2.466	2.378	2.345	2.468	2.371
Tasso raccolta differenziata (%)	86,0	64,0	83,0	87,0	63,0	53,0	73,0
Reddito pro capite (€)	26.418	28.588	24.649	29.162	24.718	26.270	26.004

La densità di popolazione varia da contesti molto densi, come Padova, a realtà meno densamente popolate, come Belluno, riflettendo differenti forme urbane e modalità di organizzazione del territorio. Il patrimonio abitativo risulta prevalentemente datato, con un'elevata quota di edifici costruiti prima del 1980 in tutte le città, in particolare a Venezia, Treviso e Verona. L'attività del mercato, rappresentata dall'Indice di Intensità del Mercato Immobiliare (IMI), suggerisce diversi livelli di dinamismo nelle transazioni tra le città: valori più elevati si osservano a Padova, Treviso e Vicenza, indicando mercati immobiliari più dinamici, mentre Belluno presenta valori inferiori, coerenti con un mercato delle compravendite più stabile e meno intenso. Le condizioni climatiche, misurate attraverso i gradi giorno di riscaldamento, indicano un ambiente più freddo nel comune montano di Belluno rispetto alle altre città, con possibili effetti sulla domanda energetica. Anche le condizioni socio-economiche variano, come riflesso dalle differenze nel reddito pro capite. Il comportamento ambientale, rappresentato dal tasso di raccolta differenziata e comunemente interpretato come indicatore osservabile di consapevolezza ambientale e di atteggiamenti favorevoli alla tutela dell'ambiente (García-Valiñas et al., 2023), mostra una dispersione rilevante, suggerendo livelli eterogenei di sensibilità ambientale. Nel complesso, questi pattern evidenziano una significativa variazione tra città nelle condizioni strutturali, climatiche e socio-economiche, fornendo una base plausibile per indagare se le differenze nei green premium stimati siano sistematicamente associate alle caratteristiche territoriali.

3.2 Dati sugli annunci immobiliari

Le informazioni relative ai singoli immobili si basano su 5.910 annunci residenziali disponibili online al 7 gennaio 2026[3]. Il dataset include i prezzi richiesti, le caratteristiche strutturali delle abitazioni, le classificazioni di prestazione energetica, i periodi di costruzione, campi strutturati contenenti informazioni sulle dotazioni e le descrizioni testuali degli immobili. Poiché in Italia i microdati a livello di transazione non sono pubblicamente accessibili, i prezzi di offerta sono ampiamente utilizzati come proxy empirica nella letteratura italiana sui mercati abitativi (Barreca et al.,

[3] Il dataset è stato costruito attraverso web scraping degli annunci pubblicati su wikicasa.it, uno dei maggiori portali italiani di annunci immobiliari, dove le agenzie inserzionano le proprietà residenziali.

2022; Bisello et al., 2020; Copiello & Coletto, 2023; Dell'Anna, 2025; Fregonara et al., 2017; Micelli et al., 2023). Sebbene i prezzi di offerta si discostino tipicamente dai prezzi finali di transazione a causa della negoziazione, le evidenze empiriche relative al mercato residenziale dell'Italia nord-orientale suggeriscono margini medi di negoziazione limitati, intorno al 5% (Banca d'Italia, 2026), e si assume che lo sconto sia relativamente stabile tra tipologie abitative e segmenti di mercato. Poiché l'obiettivo dell'analisi non è la quantificazione monetaria esatta del premio in termini assoluti, bensì l'interpretazione della variazione percentuale del prezzo associata ai livelli di EE, in un approccio edonico log-lineare un margine di negoziazione stabile opera come fattore moltiplicativo costante il cui effetto sui premi percentuali stimati viene quindi neutralizzato, rendendo i prezzi di offerta una base adeguata per stimare e confrontare i green premium tra città. La possibile variazione sistematica degli sconti di negoziazione tra tipologie immobiliari non può tuttavia essere testata direttamente e rappresenta una fonte residua di incertezza nelle stime.

Al fine di migliorare la comparabilità temporale e ridurre potenziali distorsioni associate ad annunci obsoleti o inattivi, il campione analitico è stato limitato agli immobili pubblicati nei sei mesi precedenti. Gli annunci privi di coordinate geografiche valide sono stati esclusi, dato il ruolo centrale della localizzazione spaziale nell'analisi. Ulteriori operazioni di pulizia hanno rimosso le osservazioni con informazioni mancanti sul prezzo, le tipologie di transazione non standard (aste, nude proprietà, multiproprietà o vendite di più unità) e gli outlier estremi di prezzo (inferiori a €50.000 o superiori a €3.000.000). È stato inoltre implementato un processo dedicato di costruzione dei dati per integrare le variabili strutturate con le informazioni estratte dalle descrizioni testuali: sono state utilizzate tecniche di *natural language processing* per recuperare attributi mancanti, quali classe energetica, stato di conservazione e periodo di costruzione, e per creare indicatori aggiuntivi relativi a dotazioni tecnologiche e caratteristiche qualitative delle abitazioni. A ciascun immobile è stata assegnata la corrispondente zona OMI, definita dall'Osservatorio del Mercato Immobiliare, utilizzata come effetto fisso spaziale nei modelli empirici per controllare l'eterogeneità intraurbana nei livelli di prezzo specifici di ciascuna città, assorbendo le caratteristiche di quartiere non osservate e riducendo la distorsione da variabili spaziali omesse. Le informazioni sulla prestazione energetica erano originariamente riportate secondo la classificazione italiana APE, articolata da A4 a G. Per migliorare la comparabilità tra città e attenuare problemi di sparsità derivanti da numerosità campionarie ridotte in alcune categorie, le classi sono state aggregate in tre gruppi: alta efficienza (A4-A3-A2-A1-B), media efficienza (C-D-E) e bassa efficienza (F-G). Questa aggregazione bilancia dettaglio informativo e robustezza statistica, assicurando un numero sufficiente di osservazioni in ciascuna categoria per una stima affidabile. Dopo la pulizia dei dati, la rimozione dei duplicati e l'esclusione delle osservazioni con variabili chiave mancanti, il campione analitico finale è costituito da 2.242 annunci, distribuiti come segue: Belluno (36), Padova (693), Rovigo (159), Treviso (328), Venezia (392), Verona (326) e Vicenza (308).

Le statistiche descrittive evidenziano una sostanziale variazione tra città nelle caratteristiche degli immobili. Il prezzo medio al metro quadrato varia da circa €1.250 a Rovigo a oltre €3.800 a Venezia, riflettendo marcate differenze nel posizionamento di mercato e nella domanda locale. All'interno delle città, le mappe relative alla distribuzione spaziale degli annunci (Fig. 3) rivelano pattern di clustering coerenti con la zonizzazione OMI, suggerendo che gli annunci si concentrino entro sottomercati territorialmente definiti.

Le tipologie abitative variano tra i contesti urbani: gli appartamenti prevalgono negli ambienti più densamente popolati, mentre le case indipendenti e le ville plurifamiliari risultano relativamente più diffuse nei mercati a minore densità, in particolare a Rovigo. Le classi energetiche mostrano una marcata variazione tra città (Fig. 4), con abitazioni ad alta efficienza più frequenti a Treviso e Padova e classi energetiche meno efficienti più comuni a Venezia e Rovigo. Ulteriore diversità emerge nei periodi di costruzione, nello stato di conservazione degli immobili e nelle dotazioni accessorie. La Tabella A1 in Appendice sintetizza le principali statistiche campionarie per città, permettendo una valutazione più granulare dell'eterogeneità strutturale tra i sette mercati. Ad esempio, Venezia presenta una quota piuttosto elevata di edifici antecedenti al 1945, coerente con il suo tessuto urbano storico, mentre Treviso e Vicenza mostrano una maggiore incidenza di costruzioni recenti (2021-2026), segnalando un'attività di sviluppo più dinamica. Poiché il periodo di costruzione è stret-

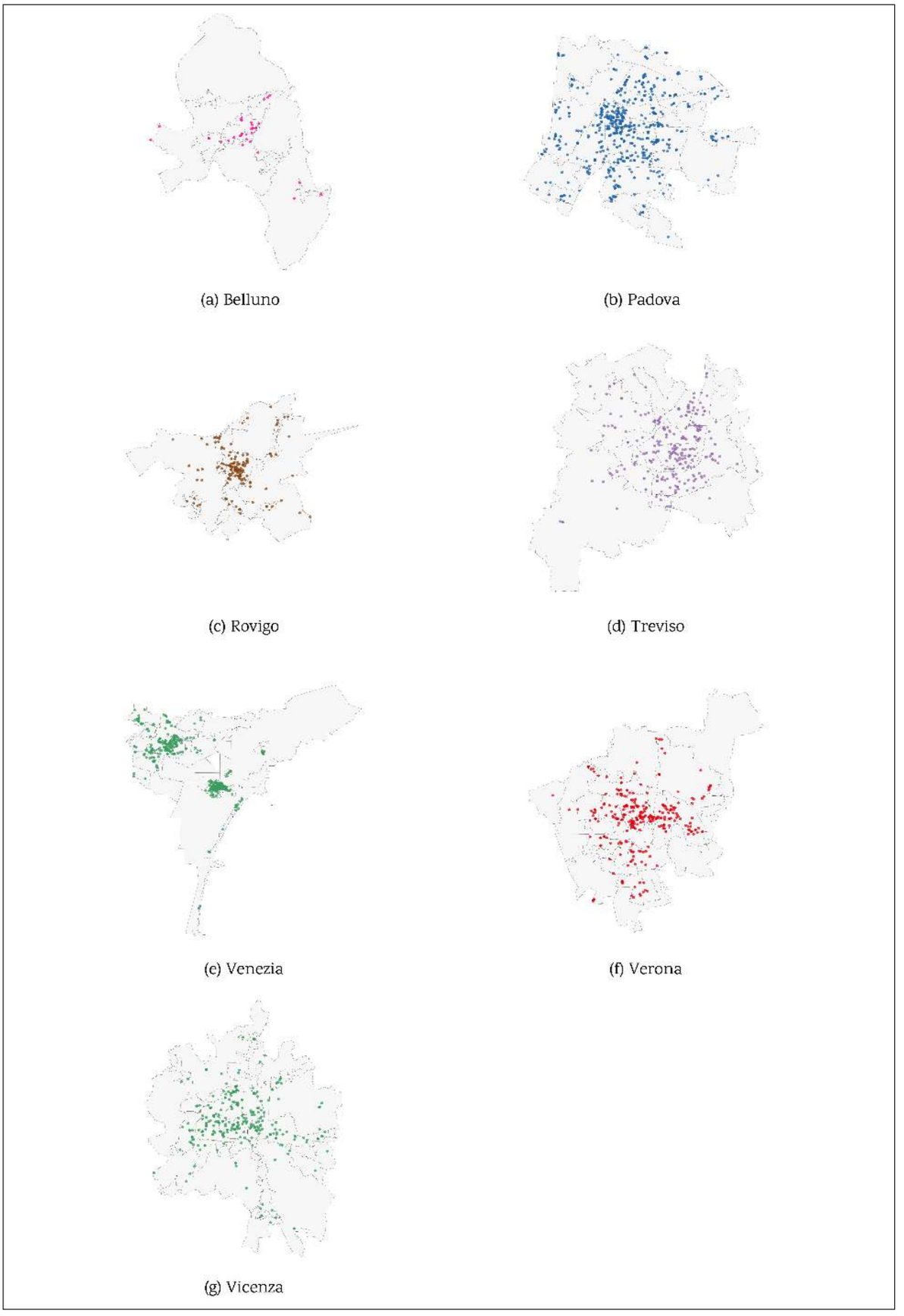


Figura 3. Distribuzione spaziale degli annunci di vendita residenziali nelle sette città.

tamente legato alla tecnologia edilizia e agli standard regolatori, tali differenze contribuiscono a spiegare la variazione tra città sia nella prestazione energetica sia nei meccanismi di formazione dei prezzi. Anche lo stato di conservazione degli edifici varia in modo considerevole: la proporzione di abitazioni di nuova costruzione o recentemente ristrutturate è sostanzialmente più elevata a Treviso e Vicenza rispetto a Belluno e Rovigo, indicando una diversa intensità di riqualificazione tra mercati. All'interno di un framework edonico, questa dispersione sottolinea l'importanza di controllare per lo stato di conservazione degli edifici e per l'eterogeneità di mercato, riducendo così il rischio di distorsioni da variabili omesse nella stima dei premi associati all'EE.

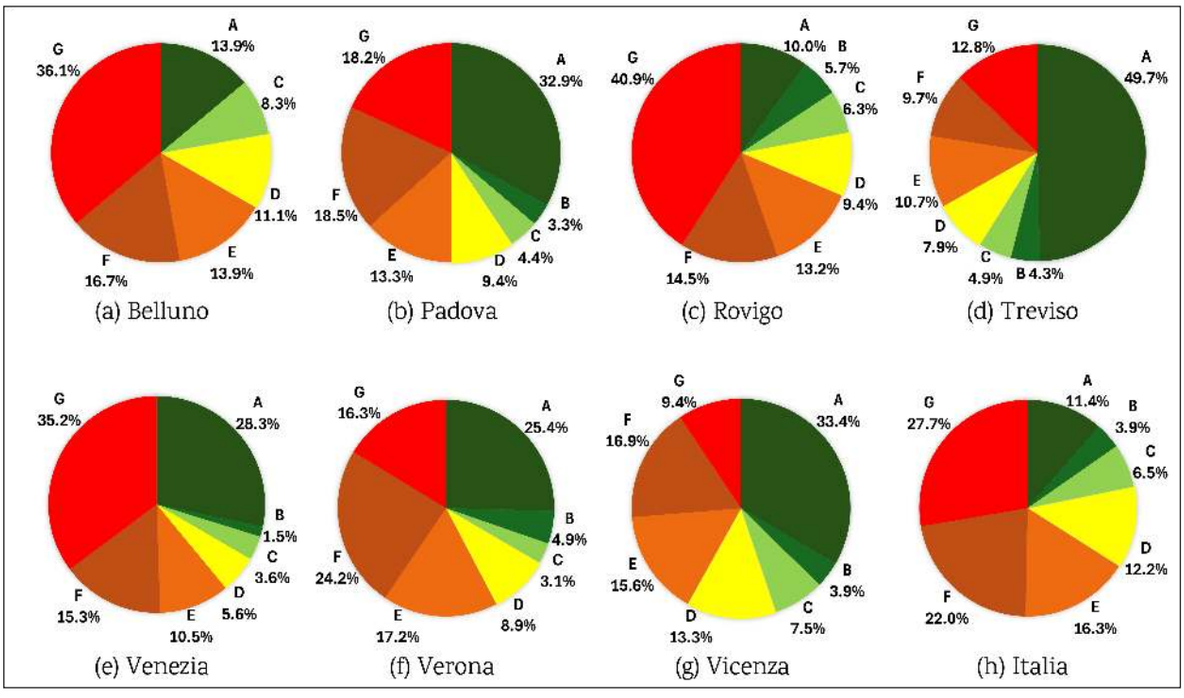


Figura 4. Distribuzione campionaria delle classi energetiche e riferimento nazionale.

4. Framework metodologico

Il disegno metodologico è articolato in tre fasi e adotta un approccio analitico sequenziale finalizzato a stimare il premio di prezzo associato all'Efficienza Energetica (EE) nei mercati locali, confrontarne la variazione territoriale e interpretare i fattori che determinano tali differenze (Fig. 5). In una prima fase, vengono stimati separatamente modelli edonici dei prezzi specifici per ciascun mercato abitativo. Questo approccio evita di imporre l'omogeneità dei coefficienti tra città e consente di identificare i green premium specifici per mercato, controllando al contempo per gli attributi strutturali delle abitazioni e per gli effetti fissi di micro-localizzazione. In una seconda fase, vengono implementate procedure di diagnostica spaziale per testare la presenza di autocorrelazione spaziale residua e identificare la specificazione econometrica più appropriata per ciascuna città. Considerare esplicitamente la dipendenza spaziale è essenziale per garantire stime non distorte ed efficienti, in particolare nei mercati abitativi urbani, caratterizzati da clustering spaziale ed esternalità localizzate. In una terza fase, viene proposta una modellazione pooled basata su interazioni, finalizzata a valutare se l'eterogeneità tra città nei green premium possa essere sistematicamente associata a caratteristiche comunali osservabili. Tale approccio è metodologicamente robusto e direttamente estendibile a campioni urbani più ampi; tuttavia, nella presente applicazione viene interpretato esclusivamente come esercizio esplorativo, data la limitata dimensione trasversale del campione.

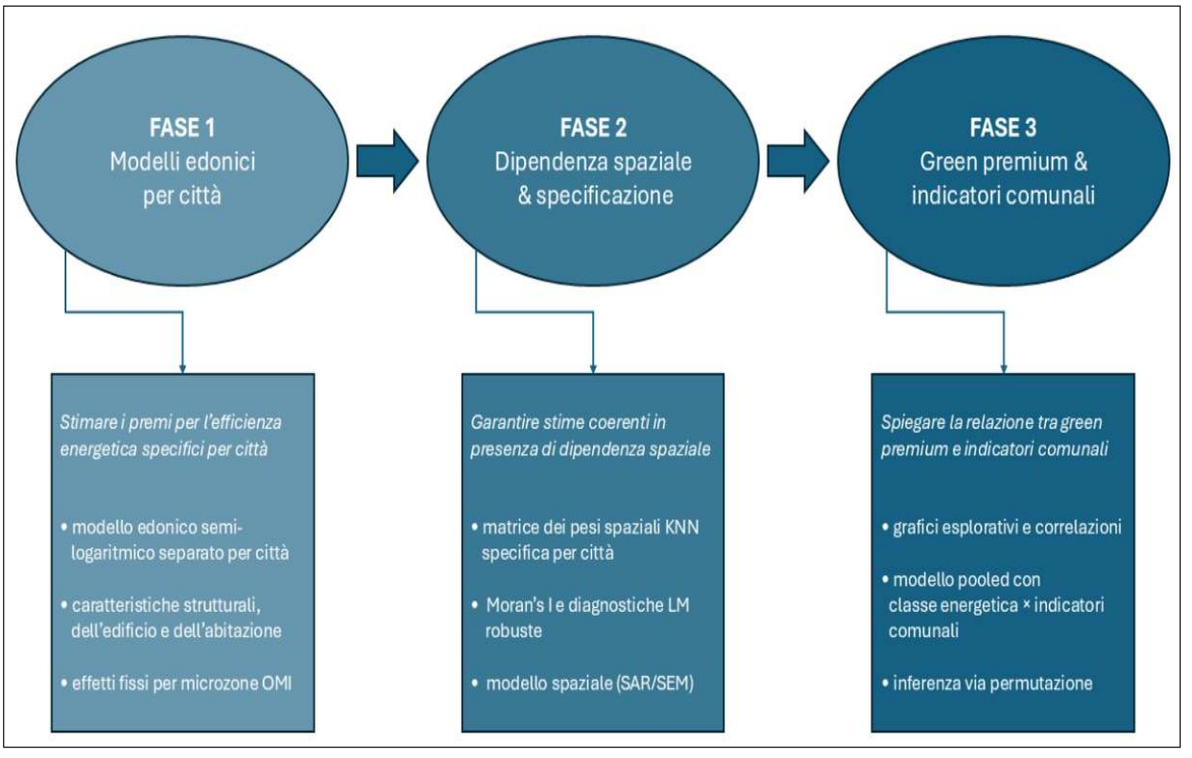


Figura 5. Fasi del disegno dell'indagine.

4.1 Fase 1: stima edonica dei prezzi specifica per città

La Fase 1 si basa sulla regressione edonica dei prezzi, un approccio standard nell'economia immobiliare per modellare un'abitazione come un insieme di attributi i cui prezzi impliciti possono essere ricavati dalle valutazioni di mercato osservate. Seguendo la teoria delle caratteristiche della domanda del consumatore di Lancaster (Lancaster, 1966) e la formulazione dell'equilibrio di Rosen (Rosen, 1974), i prezzi delle abitazioni sono interpretati come esiti di equilibrio di mercato che riflettono il contributo marginale delle caratteristiche strutturali, localizzative e qualitative, inclusa la prestazione energetica. Formalmente, la relazione edonica può essere espressa come (Eq.1):

$$p_i = f\left(x_{i1}, x_{i2}, \ldots, x_{ip}\right) \tag{1}$$

dove p_i indica il prezzo totale o il prezzo al metro quadrato dell'immobile i e x_{i1}, x_{i2},..., x_{ip} rappresentano le caratteristiche osservabili. In questo studio, la variabile dipendente è il logaritmo del prezzo di offerta al metro quadrato, al fine di migliorare la comparabilità tra abitazioni di dimensioni diverse e tra mercati urbani caratterizzati da differenti composizioni del patrimonio abitativo, riducendo al contempo le distorsioni di scala che possono emergere modellando i prezzi totali. La specificazione semi-logaritmica permette anche di tenere in considerazione la distribuzione asimmetrica a destra dei prezzi delle abitazioni e facilita un'interpretazione proporzionale dei coefficienti. Per ciascuna città c, stimiamo (Eq.2):

$$\ln(p_{ic}) = \boldsymbol{X}'_{ic}\boldsymbol{\beta}_c + FE_{\mathrm{OMI}(ic)} + \theta_{AB,c}\, AB_{ic} + \theta_{CDE,c}\, CDE_{ic} + \varepsilon_{ic} \tag{2}$$

dove $\boldsymbol{X}_{ic}$ include gli attributi strutturali dell'immobile, le caratteristiche dell'edificio e le dotazioni dell'abitazione i; $FE_{OMI(ic)}$ rappresenta gli effetti fissi per le microzone OMI, che catturano la localizzazione intra-urbana; AB_{ic} e CDE_{ic} sono indicatori rispettivamente per le abitazioni ad alta (A–B) e media (C–D–E) efficienza energetica, con le classi a bassa efficienza (F–G) assunte come riferimento;

ε_{ic} è un termine di errore idiosincratico, assunto con media nulla, varianza costante e distribuito indipendentemente tra le osservazioni all'interno di ciascuna città. In questa specificazione, $\theta_{AB,c}$ e $\theta_{CDE,c}$ rappresentano i premi specifici per città associati a livelli più elevati di efficienza energetica rispetto agli immobili a bassa efficienza. I coefficienti sono interpretati come semi-elasticità, con effetti percentuali calcolati come $(e^{\theta}\text{-}1)\times 100$. Le regressioni sono stimate separatamente per ciascuna città, in modo da consentire ai parametri strutturali locali e ai meccanismi di capitalizzazione di variare liberamente tra i mercati. La selezione del modello è guidata dal Criterio di Informazione di Akaike (AIC), che bilancia bontà di adattamento e parsimonia, riducendo il rischio di sovradattamento o di distorsione da variabili omesse dovuta a modelli sottospecificati.

4.2 Fase 2: dipendenza spaziale e specificazione del modello

I modelli di regressione classici assumono l'indipendenza tra le osservazioni. Tuttavia, i mercati immobiliari sono spazialmente strutturati: i prezzi possono covariare tra proprietà vicine a causa di spillover spaziali, interazioni di mercato localizzate o variabili omesse spazialmente correlate, con il rischio di produrre stime distorte o inefficienti (Anselin, 1988). Le relazioni spaziali sono formalizzate attraverso una matrice di vicinato spaziale $\boldsymbol{W_c}$, specifica per città. La definizione di tale matrice è parzialmente arbitraria nella letteratura e riflette solitamente scelte di modellizzazione piuttosto che un processo spaziale univocamente identificato. Specificazioni alternative di $\boldsymbol{W_c}$, come la variazione del numero di vicini più prossimi considerati o l'adozione di diverse soglie basate sulla distanza, possono influenzare sia la grandezza sia la significatività dei test diagnostici spaziali e, di conseguenza, il modello spaziale selezionato. In questo studio, la connettività è definita utilizzando una struttura basata sui vicini più prossimi (*k-nearest neighbors* — KNN). Per ciascuna città, viene selezionato il numero minimo di vicini necessario a garantire un grafo spaziale pienamente connesso. Questo approccio consente di catturare la dipendenza spaziale residua tra abitazioni vicine dopo aver controllato per l'eterogeneità intra-urbana mediante gli effetti fissi per zona OMI. In tal modo, la matrice dei pesi spaziali identifica la correlazione spaziale residua non assorbita dagli effetti fissi di micro-localizzazione.

Dopo aver stimato il modello OLS di base, l'autocorrelazione spaziale dei residui è valutata utilizzando la statistica I di Moran (Eq.3):

$$I = \frac{n}{S_0}\frac{\boldsymbol{e}'\boldsymbol{W}\boldsymbol{e}}{\boldsymbol{e}'\boldsymbol{e}} \tag{3}$$

dove $\boldsymbol{e}$ indica il vettore dei residui del modello e S_0 la somma dei pesi spaziali. Vengono inoltre condotti controlli di robustezza variando il numero di vicini più prossimi e le specificazioni basate su fasce di distanza. Se la statistica I di Moran indica una dipendenza spaziale residua statisticamente significativa, vengono impiegati i test diagnostici dei Moltiplicatori di Lagrange (LM) come secondo passaggio. Oltre a guidare la scelta tra specificazioni spaziali alternative, i test LM forniscono un'ulteriore conferma della dipendenza spaziale, testando forme di errata specificazione nei residui OLS (LeSage, 2009). In particolare, il test LM–Lag valuta la presenza di interazione endogena tra osservazioni vicine, mentre il test LM–Error valuta la correlazione spaziale nel termine di errore. Quando entrambe le statistiche risultano significative, vengono utilizzate le versioni robuste dei test LM per discriminare tra le due alternative.

Se la dipendenza spaziale opera attraverso un ritardo spaziale della variabile dipendente, la specificazione appropriata è il modello Autoregressivo Spaziale (SAR) (Eq.4):

$$\boldsymbol{y} = \rho\boldsymbol{W}\boldsymbol{y} + \boldsymbol{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \tag{4}$$

dove $\boldsymbol{y}$ è il vettore $n \times 1$ della variabile dipendente; $\boldsymbol{W}$ è la matrice $n \times n$ dei pesi spaziali che definisce la struttura di vicinato; p è il parametro autoregressivo spaziale che cattura gli effetti di spillover tra unità vicine; $\boldsymbol{X}$ è la matrice $n \times k$ delle covariate; $\boldsymbol{\beta}$ è il vettore $k \times 1$ dei parametri associati; $\boldsymbol{\varepsilon}$ è il vettore $n \times 1$ dei disturbi idiosincratici, assunti indipendenti e identicamente distribuiti. Se, invece,

la dipendenza spaziale è determinata da fattori non osservati spazialmente correlati, la specificazione appropriata è il Modello ad Errore Spaziale (SEM) (Eq.5):

$$\begin{aligned} \boldsymbol{y} &= \boldsymbol{X\beta} + \boldsymbol{u}, \\ \boldsymbol{u} &= \lambda \boldsymbol{W u} + \boldsymbol{\varepsilon} \end{aligned} \tag{5}$$

dove $\boldsymbol{u}$ è il vettore $n \times 1$ di errori che, diversamente dal modello lineare classico, segue un processo autoregressivo spaziale; λ è il parametro autoregressivo spaziale del termine d'errore, che misura l'intensità dell'autocorrelazione spaziale tra componenti non osservate; $\boldsymbol{W}$ è la matrice $n \times n$ dei pesi spaziali che definisce la struttura di vicinato attraverso cui si propaga la dipendenza degli errori; $\boldsymbol{\varepsilon}$ è il vettore $n \times 1$ degli errori, i cui elementi sono assunti indipendenti e identicamente distribuiti con media zero e varianza costante. Se non viene rilevata alcuna dipendenza spaziale residua statisticamente significativa, viene mantenuta la specificazione OLS di base. Quando, invece, la statistica I di Moran e i test LM indicano la presenza di dipendenza spaziale, viene selezionata la struttura spaziale più appropriata, SAR o SEM, sulla base dell'esito dei test LM e LM robusti. Infine, una volta identificata la corretta specificazione spaziale, la selezione delle variabili è guidata dall'AIC.

4.3 Fase 3: approccio pooled a effetti fissi e moderazione contestuale

I modelli separati specifici per città forniscono stime spazialmente coerenti del premio associato all'EE all'interno di ciascun mercato locale. Tuttavia, per costruzione, gli indicatori comunali non possono essere inclusi come regressori, poiché sono costanti all'interno delle città. Di conseguenza, sebbene le Fasi 1 e 2 identifichino pattern locali di capitalizzazione, esse non testano formalmente se la variazione tra città dei green premium sia sistematicamente associata a caratteristiche urbane osservate. Per affrontare questo aspetto, viene proposto un approccio che combina ispezione grafica, analisi bivariata della correlazione e un modello pooled basato su interazioni all'interno di una specificazione edonica comune. Tale approccio è metodologicamente robusto e, se applicato a un campione trasversale di città sufficientemente ampio, consentirebbe un'inferenza affidabile sulle determinanti contestuali dell'eterogeneità del green premium. Nella presente applicazione, tuttavia, il ridotto numero di unità di livello superiore limita la potenza statistica e vincola la variabilità trasversale disponibile per la stima. La domanda di ricerca può quindi essere affrontata solo in modo preliminare, e qualsiasi risultato di questa fase deve essere interpretato come pattern esplorativo piuttosto che come evidenza inferenziale. L'analisi procede come segue. In primo luogo, viene esaminata la relazione tra i premi stimati a livello di città e gli indicatori comunali attraverso ispezione grafica e analisi della correlazione bivariata. Successivamente, vengono introdotte interazioni tra gli indicatori di classe energetica e le variabili dummy di città, al fine di riprodurre i premi specifici a livello comunale all'interno di una specificazione comune (Eq.6):

$$\ln(P_{ic}) = \boldsymbol{X}'_{ic}\boldsymbol{\beta} + FE_{\mathrm{OMI}(ic)} + FE_c + \sum_{c=1}^{C} \pi_{AB,c}(AB_{ic} \cdot D_c) + \sum_{c=1}^{C} \pi_{CDE,c}(CDE_{ic} \cdot D_c) + \varepsilon_{ic} \tag{6}$$

dove FE_c assorbe le differenze medie di prezzo tra città e Dc indica le dummy di città. I coefficienti $\pi_{AB,c}$ e $\pi_{CDE,c}$ replicano i premi specifici per città all'interno di una specificazione comune che preserva i controlli strutturali e gli effetti fissi di micro-localizzazione. La stretta corrispondenza tra queste stime e le regressioni separate per città conferma che il framework comune preserva i pattern locali di capitalizzazione senza alterarne la magnitudine. Vengono quindi introdotte interazioni tra classi energetiche e gli indicatori comunali (Eq.7):

$$\ln(P_{ic}) = \boldsymbol{X}'_{\boldsymbol{ic}}\boldsymbol{\beta} + FE_{\mathrm{OMI}(ic)} + FE_{\mathrm{c}} + \alpha_{AB}AB_{ic} + \alpha_{CDE}CDE_{ic} + AB_{ic}(\boldsymbol{Z}'_c\boldsymbol{\delta}_{AB}) + CDE_{ic}(\boldsymbol{Z}'_c\boldsymbol{\delta}_{CDE}) + \varepsilon_{ic} \tag{7}$$

dove $\mathbf{Z_c}$ indica il vettore degli indicatori urbani, mentre δ_{AB} e δ_{CDE} catturano se e in che modo i premi energetici variano sistematicamente con le caratteristiche cittadine. Viene proposta un'inferenza basata su permutazioni, poiché essa fornisce una valutazione più affidabile della significatività quando il numero di indicatori urbani è elevato rispetto al numero di unità di livello superiore, un contesto in cui le approssimazioni asintotiche convenzionali tendono a sovrastimare la precisione delle stime. Nella presente applicazione, con solo sei città, la moderazione contestuale è valutata stimando modelli pooled separati, ciascuno dei quali include un solo indicatore comunale alla volta, al fine di evitare sovra-parametrizzazione e ridurre la collinearità.

5. Risultati

Questa sezione presenta i risultati empirici delle tre fasi dell'analisi. In primo luogo, vengono discusse le diagnostiche spaziali e la selezione dei modelli; successivamente si esaminano le stime specifiche per città dei premi energetici; infine, si analizzano i modelli pooled con interazioni, finalizzati a collegare i green premium alle caratteristiche comunali. I risultati empirici forniscono evidenze coerenti di premi statisticamente significativi ed economicamente rilevanti associati alle classi di EE più elevate in tutte le città analizzate[4]. Tuttavia, l'intensità del premio varia considerevolmente tra i diversi contesti urbani, suggerendo che la capitalizzazione della prestazione energetica non sia uniforme neppure in presenza di un quadro regolatorio comune. Le classi energetiche intermedie mostrano effetti più deboli e meno stabili, spesso privi di significatività statistica. Questo pattern indica una struttura di capitalizzazione non lineare, nella quale il mercato reagisce in modo più marcato agli standard prestazionali più elevati, mentre i miglioramenti incrementali non vengono premiati in misura proporzionale. Tale evidenza è coerente con comportamenti valutativi basati su soglie, per cui gli acquirenti attribuiscono un riconoscimento di valore alle classi superiori, piuttosto che rispondere linearmente a guadagni marginali di efficienza.

5.1 Diagnostiche spaziali e selezione del modello

La dipendenza spaziale nei residui non risulta omogenea tra le città. L'indice di Moran applicato ai residui OLS è statisticamente significativo a Padova, Treviso, Venezia e Vicenza, indicando che l'autocorrelazione spaziale persiste anche dopo aver controllato per gli attributi dettagliati delle abitazioni e per gli effetti fissi di micro-localizzazione OMI. Le diagnostiche LM forniscono ulteriori evidenze e chiariscono la natura della dipendenza spaziale. A Padova, Treviso e Venezia, le statistiche robuste LM-Error rimangono significative, mentre le statistiche robuste LM-Lag non lo sono (Tab. 3). Ciò supporta la selezione di modelli a errore spaziale. I coefficienti stimati dell'errore spaziale (λ) sono positivi e statisticamente significativi (Tab. A2 in Appendice), indicando che i determinanti di prezzo non osservati presentano clustering spaziale. In questi mercati, la dipendenza spaziale sembra quindi operare principalmente attraverso fattori omessi geograficamente correlati, piuttosto che mediante interazione diretta tra i prezzi osservati. A Vicenza, al contrario, la statistica robusta LM-Lag è significativa, mentre la statistica robusta LM-Error non lo è, portando alla selezione di una specificazione autoregressiva spaziale. Il parametro autoregressivo spaziale stimato (ρ= 0,239) conferma l'esistenza di un'interazione endogena tra annunci localmente prossimi, coerente con spillover localizzati e dinamiche di formazione dei prezzi basate su comparabili.

Per Rovigo e Verona, né l'indice di Moran né le diagnostiche robuste LM indicano una dipendenza spaziale residua sistematica; pertanto, vengono mantenute le specificazioni OLS standard. I controlli di robustezza, condotti aumentando il valore di K oltre il minimo richiesto per garantire la piena connettività, confermano la stabilità della procedura diagnostica. I valori dell'indice di Moran diminuiscono leggermente con strutture di vicinato più ampie, come atteso in presenza di

[4] A causa del numero estremamente ridotto di osservazioni e dell'insufficiente variabilità intra-cittadina nelle variabili esplicative principali, Belluno ha generato stime instabili e perfetta multicollinearità nel modello edonico. La città viene pertanto esclusa dall'analisi econometrica. Sono riportati i risultati per Padova, Rovigo, Treviso, Venezia, Verona e Vicenza.

una struttura spaziale più estesa, ma i p-value rimangono fortemente significativi. Le diagnostiche LM continuano inoltre a supportare la medesima selezione dei modelli, indicando che le specificazioni spaziali scelte non sono sensibili alla particolare definizione di vicinato adottata.

Tabella 3. Diagnostiche LM (livelli di significatività: * p < 0,10; ** p < 0,05; *** p < 0,01)

	PD	RO	TV	VE	VR	VI
K	12	6	10	12	8	8
LM Error	10,29***	0,07	21,97***	10,42***	3,61*	8,34***
LM Lag	5,46***	0,53	2,58*	4,07***	1,05*	10,44****
LM Error robusto	4,88***	0,11	20,77***	7,08***	2,72*	1,18***
LM Lag robusto	0,06***	0,57	1,38	0,73	0,17*	3,28***
Modello	SEM	OLS	SEM	SEM	OLS	SAR

5.2 Risultati edonici specifici per città

Osservando la Tabella A2 in Appendice, diversi determinanti strutturali mostrano pattern coerenti tra i mercati. La superficie dell'abitazione è negativamente associata al prezzo al metro quadrato in tutte le città, riflettendo i consueti effetti di scala. Il numero di bagni presenta generalmente un effetto positivo e significativo, sebbene le magnitudini varino tra i mercati. Lo stato di conservazione dell'edificio rappresenta uno dei determinanti di prezzo più rilevanti. Le abitazioni che necessitano di ristrutturazione mostrano sconti sostanziali, compresi approssimativamente tra −14% e −26% rispetto alle condizioni standard. Gli immobili ristrutturati e di nuova costruzione ottengono invece premi positivi, coerenti con la capitalizzazione di un maggiore comfort, di minori costi di manutenzione e di standard tecnici più elevati. Gli effetti del periodo di costruzione evidenziano che sia gli edifici storici, antecedenti al 1945, sia quelli recenti si caratterizzano per prezzi più elevati rispetto alla categoria di riferimento, costituita dagli immobili del secondo dopoguerra. La grandezza di tali effetti varia tra le città, riflettendo differenze nella morfologia urbana, nella rilevanza dei centri storici e nelle dinamiche di riqualificazione. Passando alla prestazione energetica, la capitalizzazione risulta chiaramente presente in tutti i mercati analizzati. Le abitazioni ad alta efficienza energetica (A-B) mostrano premi statisticamente significativi in ogni città: le semi-elasticità stimate corrispondono a premi percentuali compresi tra circa il 16% a Verona e oltre il 30% a Rovigo, con valori intermedi intorno al 18–22% a Padova, Treviso, Venezia e Vicenza (Tab. 4). Questa coerenza tra mercati locali eterogenei conferma che le classi energetiche più elevate sono sistematicamente valutate al di sopra delle abitazioni a bassa efficienza. Le abitazioni a efficienza intermedia (C-D-E) mostrano effetti più deboli e meno uniformi, con coefficienti generalmente positivi ma con una significatività statistica variabile tra le città. Questo pattern suggerisce una struttura di capitalizzazione non lineare: il mercato reagisce più intensamente alle classi energetiche superiori, mentre i miglioramenti intermedi generano differenziali di prezzo più contenuti e meno robusti.

Tabella 4. Premio energetico stimato (%)

Classe energetica	PD	RO	TV	VE	VR	VI
A-B	18,8	31,5	21,5	19,4	16,1	21,0
C-D-E	8,0	8,7	10,0	2,0	9,0	12,9

5.3 Relazione tra green premium e indicatori comunali

Le correlazioni indicano un'associazione positiva tra il premio A-B e il tasso di raccolta differenziata (0,76), insieme a pattern moderatamente positivi con i gradi giorno di riscaldamento e l'in-

dice IMI, e a relazioni debolmente negative con il reddito pro capite e la quota di edifici antecedenti al 1980. La Figura 6 illustra le relazioni bivariate tra il premio A-B e due indicatori selezionati, evidenziando un andamento crescente rispetto al tasso di raccolta differenziata. Tale relazione può riflettere un più ampio orientamento ambientale a livello comunale, potenzialmente associato a una maggiore consapevolezza della sostenibilità e a una più elevata disponibilità a pagare per abitazioni efficienti dal punto di vista energetico. Al contrario, l'associazione negativa con la prevalenza di edifici antecedenti al 1980 può indicare che, nei mercati dominati da un patrimonio abitativo più datato, la formazione dei prezzi sia guidata prevalentemente da altri attributi, quali la localizzazione centrale, il valore storico, il carattere architettonico o la scarsità dell'offerta, piuttosto che dalla prestazione energetica. In tali contesti, anche i vincoli tecnologici e una minore intensità dei processi di riqualificazione possono limitare l'offerta e la visibilità delle unità ad alta efficienza, attenuando l'effetto di capitalizzazione osservato.

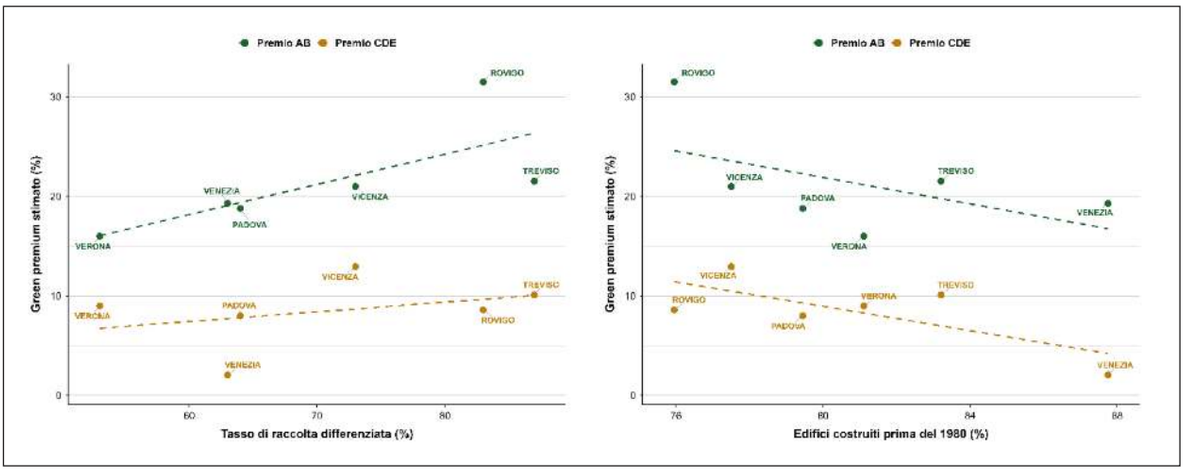


Figura 6. Relazioni bivariate tra i green premium stimati e alcuni indicatori municipali selezionati.

Il modello edonico pooled, che consente agli indicatori di classe energetica di variare tra città mediante interazioni con le relative dummy, stima premi di prezzo ampiamente coerenti con quelli ottenuti dalle regressioni separate per città. Ciò conferma che tale specificazione riproduce i principali pattern di capitalizzazione identificati a livello urbano e fornisce una base affidabile per l'introduzione di interazioni con gli indicatori comunali. I modelli pooled che includono un indicatore comunale alla volta non delineano relazioni sistematiche tra i green premium e le caratteristiche urbane. Tra gli indicatori esaminati, il tasso di raccolta differenziata è l'unico per il quale il modello restituisce un coefficiente positivo e relativamente stabile nell'interazione con la classe A-B, coerentemente con il pattern emerso dall'analisi di correlazione. La convergenza tra i due approcci suggerisce una possibile relazione tra orientamento ambientale a livello comunale e maggiore capitalizzazione delle classi energetiche superiori. Tale relazione merita ulteriori approfondimenti in contesti trasversali più ampi, nei quali l'approccio proposto consentirebbe anche una rigorosa valutazione inferenziale delle restanti caratteristiche comunali, qui esaminate esclusivamente in termini esplorativi.

6. Discussione

I risultati forniscono una chiara evidenza del fatto che la prestazione energetica è sistematicamente capitalizzata nei mercati abitativi locali che operano all'interno di un quadro regolatorio comune. Ciò conferma che le informazioni contenute negli EPC vengono incorporate nei processi di formazione dei prezzi e riconosciute dagli operatori di mercato. La presenza di premi statisticamente significativi in tutte e sei le città incluse nelle stime econometriche — nonostante differenze sostanziali in termini di dimensione del mercato, livelli di prezzo e struttura socio-economica — raf-

forza la robustezza di questo risultato e suggerisce che la divulgazione della prestazione energetica operi come segnale di mercato credibile e saliente. Piuttosto che seguire un gradiente regolare lungo tutti i livelli di certificazione, la capitalizzazione sembra presentare caratteristiche di soglia. La risposta del mercato risulta associata in modo più chiaro agli standard prestazionali più elevati, suggerendo che l'EE operi come segnale di qualità quando raggiunge un livello visibilmente superiore. Questo pattern è coerente con l'interpretazione delle classi EPC non soltanto come differenze tecniche incrementali, ma come indicatori categoriali della qualità edilizia, in grado di influenzare la percezione degli acquirenti, le aspettative regolatorie future e le considerazioni relative ai costi operativi di lungo periodo. La minore significatività statistica e la ridotta magnitudine dei coefficienti relativi alle classi energetiche intermedie (C-D-E) in più città rafforzano ulteriormente questa interpretazione: gli operatori di mercato sembrano distinguere principalmente tra prestazione "standard", rappresentata dalle classi intermedie, e prestazione "superiore", rappresentata dalle classi elevate, trattando i miglioramenti intermedi come insufficientemente differenziati per generare premi di prezzo consistenti. Questa struttura valutativa a soglie presenta implicazioni dirette per le decisioni di investimento nella riqualificazione: interventi finalizzati a miglioramenti marginali di classe possono non riuscire a recuperare i costi attraverso l'apprezzamento del valore di mercato, mentre ristrutturazioni sostanziali capaci di raggiungere standard prestazionali elevati risultano in grado di generare premi più riconoscibili.

Le dinamiche spaziali rivelano inoltre che i meccanismi di formazione dei prezzi differiscono tra città. In alcuni mercati, la dipendenza residua è guidata da fattori non osservati spazialmente correlati, mentre in altri risulta più rilevante l'interazione endogena tra annunci localmente vicini, riflettendo dinamiche di pricing competitivo, spillover informativi o comportamenti strategici di offerta in segmenti di mercato spazialmente clusterizzati. Questa eterogeneità sottolinea l'importanza di diagnostiche spaziali specifiche per città e invita alla cautela nell'imporre una specificazione spaziale uniforme tra mercati all'interno dei modelli statistici. La prevalenza della specificazione SEM in tre delle sei città indica che la variabilità spaziale non osservata — piuttosto che l'interdipendenza strategica nei prezzi — costituisce la principale fonte di correlazione spaziale residua nella maggior parte dei comuni analizzati. Questo risultato presenta implicazioni metodologiche rilevanti: il mancato controllo degli elementi non osservati spazialmente strutturati mediante appropriate specificazioni del termine di errore potrebbe produrre errori standard distorti e alterare l'inferenza sui coefficienti delle classi energetiche, in particolare nelle città in cui la dipendenza spaziale è marcata.

Rispetto ad alcune stime piuttosto alte riportate nella letteratura italiana, i premi identificati in questo studio risultano più moderati, variando approssimativamente tra il 16% e il 30% per le classi A-B aggregate. Questa differenza è verosimilmente connessa al più ricco insieme di variabili di controllo incluse nella specificazione. Controlli dettagliati per il periodo di costruzione, le condizioni dell'edificio, la tipologia di immobile e le dotazioni riducono il rischio che la classe energetica catturi differenziali di qualità più ampi, correlati a costruzioni più recenti, immobili meglio mantenuti o caratteristiche tipiche della fascia più alta del mercato. I coefficienti risultanti possono pertanto essere interpretati come stime più conservative e più pulite dell'effetto marginale della prestazione energetica sui prezzi delle abitazioni, fornendo indicazioni più affidabili per la pratica valutativa e per la valutazione delle policy, anche se i premi stimati risultano inferiori rispetto a quelli riportati in studi con strutture di controllo meno complete.

Per quanto riguarda l'eterogeneità tra città, le conclusioni devono essere più caute. Come discusso nella Sezione 4.3, la seconda domanda di ricerca è affrontata qui solo in modo preliminare ed esplorativo, non a causa di limitazioni dell'approccio analitico — che è metodologicamente robusto — ma come diretta conseguenza della limitata dimensione trasversale della presente applicazione. Entro tali vincoli, le differenze tra città nella magnitudine del premio non risultano spiegate in modo sistematico dagli indicatori comunali disponibili. Questo risultato dovrebbe essere interpretato come conseguenza strutturale della limitata potenza statistica, piuttosto che come evidenza dell'assenza di effetti. L'unica parziale eccezione è rappresentata dal pattern esplorativo che emerge per l'orientamento ambientale, il quale invita a riflettere sulle dimensioni culturali e istituzionali della formazione del valore. È plausibile che i mercati caratterizzati da una maggiore consapevolezza

ambientale mostrino una più elevata disponibilità a pagare per una prestazione energetica superiore, indipendentemente da fondamentali puramente economici quali i prezzi dell'energia o i livelli di reddito. Questa interpretazione è coerente con l'eterogeneità delle preferenze documentata nella letteratura di economia comportamentale: i consumatori con atteggiamenti pro-ambientali possono trarre utilità non soltanto dai risparmi diretti sui costi, ma anche dai benefici simbolici e identitari associati al possesso di immobili green, ampliando così la base valutativa oltre una razionalità finanziaria stretta. Ciò è coerente con le evidenze relative alla California (Kahn & Kok, 2014), dove le quote di voto per il partito green a livello di codice postale sono risultate associate positivamente ai premi relativi alla certificazione Energy Star. Se confermato attraverso l'applicazione dell'approccio proposto a un insieme più ampio di città, questo pattern avrebbe implicazioni di policy rilevanti: le città con un maggiore orientamento ambientale potrebbero essere proprio quelle in cui il riconoscimento di mercato dell'EE è più forte, generando una dinamica di rinforzo tra incentivi alla riqualificazione e risposta dei prezzi. Al contrario, le città con minore consapevolezza ambientale potrebbero richiedere interventi regolatori o fiscali più incisivi per generare segnali di mercato comparabili. Questa asimmetria suggerisce che livelli uniformi di sussidio nazionale o mandati regolatori standardizzati possano produrre esiti di mercato eterogenei. Comprendere tali contingenze contestuali è quindi essenziale per un'allocazione efficiente delle risorse pubbliche e per la calibrazione di politiche territoriali di transizione energetica.

Dal punto di vista della valutazione immobiliare, i risultati evidenziano tre implicazioni principali. In primo luogo, il valore contributivo dell'EE non dovrebbe essere considerato universalmente trasferibile tra contesti urbani: applicare stime di premio ottenute in una città ad altri mercati può introdurre distorsioni valutative sistematiche. I valutatori dovrebbero pertanto adottare aggiustamenti sensibili al contesto, anziché fare affidamento su medie nazionali o regionali. In secondo luogo, il pattern di capitalizzazione non lineare osservato suggerisce che il riconoscimento di mercato possa operare attraverso soglie prestazionali piuttosto che mediante aggiustamenti proporzionali. Gli investimenti di riqualificazione finalizzati a miglioramenti incrementali di classe (ad esempio da E a D) possono non generare premi di mercato misurabili, mentre ristrutturazioni complessive in grado di raggiungere standard elevati (A-B), risultano più probabilmente associate a un apprezzamento di valore economicamente significativo. Tale evidenza è cruciale per l'analisi costi-benefici degli interventi sugli edifici. In terzo luogo, gli strumenti di policy volti a promuovere la riqualificazione energetica possono raggiungere una maggiore efficienza se orientati al conseguimento di standard prestazionali elevati, in grado di attivare un chiaro riconoscimento di mercato. Al contrario, incentivi rivolti a miglioramenti marginali che rimangono al di sotto della soglia percettiva degli acquirenti rischiano di non tradursi in premi di valore recuperabili.

7. Conclusione

Questo articolo sviluppa un framework orientato alla valutazione per analizzare la capitalizzazione dell'EE nei mercati abitativi locali che condividono un medesimo assetto regolatorio. Applicando tale approccio a sei capoluoghi di provincia della regione Veneto, i modelli edonici specifici per città, con effetti fissi di micro-localizzazione e specificazioni spaziali, evidenziano green premium robusti per le abitazioni ad alta efficienza in tutti i mercati analizzati. I risultati mostrano una struttura di capitalizzazione non lineare, nella quale le classi energetiche superiori presentano gli effetti più forti e coerenti, mentre le classi intermedie generano differenziali di prezzo più deboli e meno affidabili, tipicamente caratterizzati da coefficienti più contenuti, statistiche t inferiori e minore precisione statistica. Ciò suggerisce che il riconoscimento dell'efficienza nei mercati avvenga attraverso soglie prestazionali, piuttosto che secondo un gradiente continuo.

Da tali evidenze derivano due implicazioni pratiche per la valutazione e la modellazione. In primo luogo, la dipendenza spaziale è specifica del mercato e non uniforme: i processi a errore spaziale prevalgono in alcune città, mentre l'interazione endogena caratterizza altre, rendendo essenziali diagnostiche spaziali calibrate a livello urbano. Imporre specificazioni spaziali uniformi tra mercati rischia pertanto di produrre stime distorte e inferenze non valide. In secondo luogo, variabili di controllo dettagliate incidono in modo sostanziale sulla magnitudine dei premi: il contributo

netto della prestazione energetica può essere isolato in modo più accurato soltanto quando il modello controlla adeguatamente per periodo di costruzione, stato di conservazione dell'edificio, tipologia immobiliare e dotazioni. I premi moderati documentati in questo studio, inferiori rispetto ad alcuni studi italiani su singole città, riflettono questa strategia di specificazione conservativa e forniscono una base più affidabile per la stima del valore contributivo rispetto a stime derivate da modelli più parsimoniosi, che rischiano di confondere la certificazione energetica con dimensioni qualitative correlate. Nell'ambito esplorativo della seconda domanda di ricerca, dalla presente applicazione non emergono relazioni sistematiche tra green premium e caratteristiche comunali osservabili, un risultato attribuibile alla limitata dimensione trasversale piuttosto che a debolezze dell'approccio analitico. Un pattern esplorativo che associa i tassi comunali di raccolta differenziata, assunti come proxy dell'orientamento ambientale, a premi più elevati invita tuttavia a ulteriori approfondimenti. Se confermato in campioni più ampi, tale risultato implicherebbe che il riconoscimento di mercato della prestazione energetica è mediato dalla consapevolezza ambientale specifica del territorio, con implicazioni dirette di policy riguardo all'intensità territorialmente differenziata degli interventi.

Oltre al contributo metodologico, i risultati sollevano una riflessione che professionisti e decisori pubblici dovrebbero considerare con attenzione. La struttura di capitalizzazione non lineare documentata in questo studio — forte e coerente nella parte alta della scala EPC, più debole e incerta nelle classi intermedie — pone una questione fondamentale sull'economia della riqualificazione energetica: se i premi di prezzo ottenibili sul mercato siano sufficienti a giustificare i costi di riqualificazione e, soprattutto, se tale calcolo cambi a seconda del tipo di intervento. Le evidenze suggeriscono che ciò accada. Un proprietario che investe in una riqualificazione profonda, capace di portare un immobile nelle classi di efficienza più elevate, può ragionevolmente aspettarsi un riconoscimento forte e consistente dal mercato. Un proprietario che invece si ferma a una classe intermedia si espone a un ritorno molto più incerto in termini di premio di prezzo e può riscontrare che la convenienza finanziaria dell'intervento dipende quasi interamente dai futuri risparmi energetici, piuttosto che da un guadagno affidabile e immediato in termini di valore di mercato. Questa asimmetria può contribuire a spiegare il divario persistente tra riqualificazioni tecnicamente realizzabili e interventi effettivamente implementati: investitori razionali possono scegliere di perseguire interventi profondi e ambiziosi, capaci di superare la soglia di riconoscimento del mercato, oppure rinviare del tutto l'intervento, considerando i miglioramenti marginali come finanziariamente non giustificabili. Da una prospettiva di policy, incentivi articolati per livelli prestazionali, con un sostegno più elevato per ristrutturazioni profonde che consentano il raggiungimento delle classi più efficienti, allineerebbero l'investimento pubblico alle strutture di riconoscimento del mercato e massimizzerebbero i rendimenti sia pubblici sia privati. Al contrario, sussidi a tasso uniforme indipendenti dagli esiti potrebbero involontariamente incentivare interventi superficiali, caratterizzati da deboli ritorni di mercato. Questa distinzione tra miglioramenti superficiali e profondi, e tra i diversi segnali di mercato che essi generano, non rappresenta una sfumatura tecnica, ma una realtà pratica che dovrebbe orientare la strutturazione degli incentivi alla riqualificazione, la valutazione della sostenibilità degli investimenti e il modo in cui i valutatori incorporano la prestazione energetica nelle proprie stime.

Le limitazioni della presente applicazione delineano naturalmente le principali direzioni per la ricerca futura. Il ricorso ai prezzi di offerta anziché ai prezzi di transazione introduce una possibile distorsione nelle stime, poiché la potenziale eterogeneità dei margini di negoziazione tra tipologie immobiliari o classi energetiche non può essere valutata direttamente con i dati attuali. L'aggregazione delle classi EPC in tre gruppi, pur motivata da vincoli di numerosità campionaria, impedisce una valutazione più fine dei pattern di capitalizzazione all'interno di ciascuna categoria. Infine, il disegno trasversale preclude l'analisi delle dinamiche temporali: l'utilizzo di dati panel consentirebbe di indagare l'evoluzione dei premi di prezzo in risposta a cambiamenti regolatori, variazioni dei prezzi dell'energia e interventi di policy. L'ampliamento del campione sia all'interno delle città sia tra città consentirebbe due guadagni analitici complementari. Campioni intra-urbani più ampi fornirebbero un numero sufficiente di osservazioni per ciascuna classe energetica — incluse distinzioni più fini all'interno della classe A — permettendo stime senza aggregazione e potenzialmente rive-

lando se il riconoscimento di mercato operi attraverso salti discreti tra singole classi, piuttosto che attraverso ampie fasce di prestazione. Un insieme più ampio di contesti urbani fornirebbe invece la variabilità trasversale necessaria per valutare rigorosamente se e in che modo le caratteristiche comunali osservabili guidino sistematicamente l'eterogeneità dei green premium tra città. Estendere questo approccio a campioni urbani più ampi e diversificati rimane quindi una priorità di ricerca, poiché stime più robuste della capitalizzazione dell'EE costituiscono un prerequisito per disegnare incentivi finanziariamente fondati ed efficaci nei contesti in cui sono maggiormente necessari.

Ringraziamenti

L'articolo è il risultato dell'attività di ricerca condotta con i fondi del Centro studi di Economia e Tecnica dell'Energia Giorgio Levi Cases dell'Università di Padova, all'interno del progetto EVeREST (Energy efficiency Value in REsidential STock).

Contributo degli autori

Il lavoro va attribuito in parti uguali agli autori.

Bibliografia

Anelli D. & Ranieri R. (2022). Resilience of complex urban systems: A multicriteria methodology for the construction of an assessment index. In: Calabrò F., Della Spina L. & Piñeira Mantiñán M.J. (Eds.) *New Metropolitan Perspectives* (pp. 690-701). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06825-6_65

Anselin L. (1988). *Spatial econometrics: Methods and models*. Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-015-7799-1

Banca d'Italia. (2026). *Sondaggio congiunturale sul mercato delle abitazioni in Italia*. https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/sondaggio-abitazioni/2025-sondaggio-abitazioni/04/statistiche_SAB_20260226.pdf

Barreca A., Curto R., Malavasi G. & Rolando D. (2022). Energy retrofitting for the modern heritage enhancement in weak real estate markets: The Olivetti housing stock in Ivrea. *Sustainability, 14*(6), Article 3507. https://doi.org/ 10.3390/su14063507

Berto R., Stival C.A. & Rosato P. (2018). Enhancing the environmental performance of industrial settlements: An economic evaluation of extensive green roof competitiveness. *Building and Environment, 127*, 58–68. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.032

Berto R., Stival C.A. & Rosato P. (2020). The valuation of public and private benefits of green roof retrofit in different climate conditions. In Mondini G., Oppio A., Stanghellini S., Bottero M. & Abastante F. (Eds.), *Values and functions for future cities* (pp. 145–166). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23786-8_8

Bisello A., Antoniucci V. & Marella G. (2020). Measuring the price premium of energy efficiency: A two-step analysis in the Italian housing market. *Energy and Buildings, 208*, Article 109670. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109670

Bottero M., Bravi M., Mondini G. & Talarico A. (2017). Buildings energy performance and real estate market value: An application of the spatial autoregressive (SAR) model. In Stanghellini S., Morano P., Bottero M. & Oppio A. (Eds.), *Appraisal: From theory to practice* (pp. 221–230). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49676-4_16

Bottero M., Bravi M., Dell'Anna F. & Mondini G. (2018). Valuing buildings energy efficiency through hedonic prices method: Are spatial effects relevant? *Valori e Valutazioni, 21*, 27–39.

Canesi R. (2022). Urban policy sustainability through a value-added densification tool: The case of the South Boston area. *Sustainability, 14*(14), Article 8762. https://doi.org/10.3390/su14148762

Canesi R. & Marella G. (2023). Towards European transitions: Indicators for the development of marginal urban regions. *Land, 12*(1), Article 27. https://doi.org/10.3390/land12010027

Canesi R., D'Alpaos C., Marella G., Romagnolo D. & Turrini U. (2025). Unlocking energy efficiency in

the Italian public housing legacy: A typological blueprint for cost-effective retrofitting. In: Gervasi, O., et al. *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2025 Workshops. ICCSA 2025. Lecture Notes in Computer Science, vol 15893*. Springer International Publishing. *https://doi.org/10.1007/978-3-031-97645-2_4*

Copiello S. & Coletto S. (2023). The price premium in green buildings: A spatial autoregressive model and a multi-criteria optimization approach. *Buildings, 13*(2), Article 276. https://doi.org/10.3390/buildings13020276

Copiello S. & Donati E. (2021). Is investing in energy efficiency worth it? Evidence for substantial price premiums but limited profitability in the housing sector. *Energy and Buildings, 251*, Article 111371. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111371

Dell'Anna F. (2025). Machine learning framework for evaluating energy performance certificate (EPC) effectiveness in real estate: A case study of Turin's private residential market. *Energy Policy, 198*, Article 114407. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114407

Fregonara E., Rolando D. & Semeraro P. (2017). Energy performance certificates in the Turin real estate market. *Journal of European Real Estate Research, 10*(2), 149–169. https://doi.org/10.1108/JERER-05-2016-0022

Fregonara E., Rolando D., Semeraro P. & Vella M. (2015). The impact of energy performance certificate level on house listing prices: First evidence from Italian real estate. *Aestimum, 65*, 143–163. https://doi.org/10.13128/AESTIMUM-15459

García-Valiñas M., Arbués F. & Balado-Naves R. (2023). Assessing environmental profiles: An analysis of water consumption and waste recycling habits. *Journal of Environmental Management, 348*, Article 119247. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119247

Giarda E. & Panarello D. (2025). The energy efficiency price premium of residential buildings in three Italian regions. *Energy Research & Social Science, 121*, Article 103932. https://doi.org/10.1016/j.erss.2025.103932

Holland S. (1976). Strategy for regional development. In *The regional problem*. Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-1-349-15637-5_7

Kahn M.E. & Kok N. (2014). The capitalization of green labels in the California housing market. *Regional Science and Urban Economics, 47*, 25–34. https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2013.07.001

Lancaster K.J. (1966). A new approach to consumer theory. *Journal of Political Economy, 74*(2), 132–157. https://doi.org/10.1086/259131

LeSage J.P. & Pace R.K. (2009). *Introduction to spatial econometrics*. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781420064254

Loberto M., Mistretta A. & Spuri M. (2024). The capitalization of energy labels into house prices: Evidence from Italy. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/ssrn.4849415

Micelli E., Giliberto G., Righetto E. & Tafuri G. (2023). The economic value of sustainability: Real estate market and energy performance of homes—Il valore economico della sostenibilità: Mercato immobiliare e prestazioni energetiche delle abitazioni. *Valori e Valutazioni, 34*, 3–16. https://doi.org/10.48264/VVSIEV-20233402

Micelli E., Giliberto G., Righetto E. & Tafuri G. (2024). Urban disparities in energy performance premium prices: Towards an unjust transition? *Land, 13*(2), Article 224. https://doi.org/10.3390/land13020224

Morano P., Tajani F., Di Liddo F. & Guarnaccia C. (2018). The value of the energy retrofit in the Italian housing market: Two case studies compared. *WSEAS Transactions on Business and Economics, 15*, 249–258.

Musolino M., Massimo D.E., Marino C., De Paola P., Errigo R., Malerba A. & Del Giudice F.P. (2023). Appraisal of energy saving in green buildings, supported by BIM new platforms. *Valori e Valutazioni, 34*, 89–115. https://doi.org/10.48264/VVSIEV-20233407

Rosato P., Breil M., Giupponi C. & Berto R. (2017). Assessing the impact of urban improvement on housing values: A hedonic pricing and multi-attribute analysis model for the historic centre of Venice. *Buildings, 7*(4), Article 112. https://doi.org/10.3390/buildings7040112

Rosen S. (1974). Hedonic prices and implicit markets: Product differentiation in pure competition. *Journal of Political Economy, 82*(1), 34–55. https://doi.org/10.1086/260169

Ruggeri A.G., Gabrielli L., Scarpa M. & Marella G. (2023). What is the impact of the energy class on market value assessments of residential buildings? An analysis throughout northern Italy based on extensive data mining and artificial intelligence. *Buildings, 13*(12), Article 2994. https://doi.org/10.3390/buildings13122994

Tajani F., Sica F., Clemente C. & Arbizzani E. (2024). ESG in real estate valuations: A portfolio selection model for energy retrofit programs. *Valori e Valutazioni, 36*, 27–41. https://doi.org/10.48264/VVSIEV-20243603

Taruttis L. & Weber C. (2022). Estimating the impact of energy efficiency on housing prices in Germany: Does regional disparity matter? *Energy Economics, 105*, Article 105750. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105750

Zhang B., Zhang Y., Li J., Song Y. & Wang Z. (2023). Does the energy efficiency of buildings bring price premiums? Evidence from urban micro-level energy data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 181*, Article 113315. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113315

Appendice

Tabella A1. Distribuzione delle caratteristiche categoriali delle abitazioni per città (%)

Variabile	Livello	BL	PD	RO	TV	VE	VR	VI
Classe energetica	A	13,9	32,9	10,0	49,7	28,3	25,4	33,4
	B	0,0	3,3	5,7	4,3	1,5	4,9	3,9
	C	8,3	4,4	6,3	4,9	3,6	3,1	7,5
	D	11,1	9,4	9,4	7,9	5,6	8,9	13,3
	E	13,9	13,3	13,2	10,7	10,5	17,2	15,6
	F	16,7	18,5	14,5	9,7	15,3	24,2	16,9
	G	36,1	18,2	40,9	12,8	35,2	16,3	9,4
Tipo di immobile	Appartamento	69,4	53,8	42,1	59,2	65,5	62,6	59,7
	Attico	13,9	15,9	8,2	23,8	15,6	17,2	20,1
	Casa singola	16,7	24,0	36,5	14,9	13,8	16,2	15,6
	Multifamiliare	0,0	6,3	13,2	2,1	5,1	4,0	4,6
Anno di costruzione	Pre-1945	13,9	8,8	1,9	5,8	37,8	18,7	7,8
	1946-1970	30,6	32,9	45,3	28,1	24,5	37,7	22,1
	1971-1990	33,3	15,4	21,4	8,5	6,6	12,9	18,2
	1991-2020	11,1	15,0	22,0	12,2	7,9	12,0	21,4
	2021-2026	11,1	27,9	9,4	45,4	23,2	18,7	30,5
Condizione	Buono	55,5	46,3	63,5	31,7	37,0	44,2	43,2
	Da rinnovare	16,7	8,8	15,7	9,1	8,4	8,3	7,5
	Ristrutturato	16,7	21,1	12,6	16,5	30,9	27,6	23,7
	Nuovo	11,1	23,8	8,2	42,7	23,7	19,9	25,6
Ascensore	Sì	41,7	41,0	18,2	49,4	29,6	49,1	48,1
Balcone	Sì	52,8	55,4	62,3	38,1	36,0	60,1	41,2
Terrazza	Sì	63,9	56,6	49,1	67,4	55,9	32,5	61,7
Edificio prestigioso	Sì	88,9	9,7	2,5	13,7	70,9	17,2	8,8
Garage	Sì	16,7	61,8	39,6	38,4	39,0	36,5	43,8
Parcheggio	Sì	50,0	41,0	37,1	34,8	18,9	22,7	40,3
Giardino privato	Sì	16,7	31,2	53,5	22,9	22,4	27,0	22,7
Giardino condiviso	Sì	22,2	25,7	15,7	17,1	26,5	18,7	28,6
Arredato	Sì	36,1	20,2	33,3	20,1	37,8	35,0	21,4
Aria condizionata	Sì	2,8	64,1	57,2	53,4	65,1	60,4	58,1
Fibra ottica	Sì	5,6	75,0	20,1	18,0	28,1	17,5	52,9
Vista panoramica	Sì	5,6	74,2	20,1	18,0	20,9	10,1	50,0
Allarme	Sì	5,6	12,4	9,4	19,8	6,9	11,0	11,7
Porta blindata	Sì	2,8	45,0	8,8	11,0	16,8	18,4	45,5
Lavanderia	Sì	2,8	17,0	5,0	5,5	6,4	6,1	21,4
Cantina	Sì	61,1	16,5	23,9	15,5	7,9	40,2	26,3

Appendice

Tabella A2. Coefficienti stimati nei modelli specifici per città (livelli di significatività: * p < 0,10; ** p < 0,05; *** p < 0,01)

Parametro	PD (SEM)	RO (OLS)	TV (SEM)	VE (SEM)	VR (OLS)	VI (SAR)
Intercetta	8,269***	6,978***	7,466***	8,219***	8,394***	5,670***
Superficie	-0,002***	-0,002***	-0,001***	-0,003***	-0,001***	-0,002***
Stanze	-0,025***			0,037***	-0,056***	
Bagni	0,035*	0,217***	0,100***	0,105***	0,161***	0,128***
Classe energetica						
A-B	0,172***	0,274***	0,195***	0,177***	0,149***	0,191***
C-D-E	0,077***	0,083***	0,095***	0,020***	0,086***	0,121***
Tipo di immobile						
Attico	0,054**		0,106***	0,028***		0,088***
Casa singola	0,030*		0,020***	0,030***		0,165***
Multifamiliare	-0,058***		-0,160***	-0,151***		0,079***
Periododi costruzione						
Pre-1945	0,243***	0,162***	0,352***	0,287***		0,288***
1971-1990	0,034**	0,106***	0,100***	-0,114***		0,029***
1991-2020	0,197***	0,346***	0,207***	0,324***		0,214***
2021-2026	0,221***	0,442**	0,203***	0,290***		0,207***
Condizione						
Da rinnovare	-0,257***	-0,222***	-0,254***	-0,181***	-0,146***	-0,179***
Ristrutturato	0,050*	0,103***	0,131***	0,082***	0,048***	0,113***
Nuovo	0,072	0,019***	0,233***	0,002***	0,170***	0,179***
Altre dotazioni						
Terrazza				0,071***	0,044***	
Edificio prestigioso			0,064***		0,145***	0,103**
Garage			-0,042***	-0,072***		
Parcheggio		-0,101***				
Giardino condiviso	-0,043***		0,058***			
Giardino privato	0,056***		0,109***			
Arredato	0,070***					
Aria condizionata				0,081***	0,094***	
Vista panoramica	-0,085***			-0,122***		-0,049***
Allarme		0,225***				0,078***
Porta blindata	0,042***				-0,059	
Lavanderia			-0,111***			
Cantina		-0,920***	-0,167***	0,084***		0,050***
Parametri spaziali						
ρ (SAR)						0,239***
λ (SEM)	0,269***		0,505***	0,465***		