



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

A.A. 2024/2025

Sessione di Laurea Marzo 2025

Sicurezza stradale e valori immobiliari: evidenze dalla città di Torino

Relatore:

Prof. Lorien Sabatino

Candidato:

Carlo Gramaglia

Indice

1	Capitolo Primo – Introduzione e revisione della letteratura	2
1.1	Introduzione	2
1.2	Contesto e obiettivi dello studio	4
1.3	Revisione della letteratura	9
1.4	Evidenze aggregate	23
2	Capitolo Secondo – Descrizione dei dataset	40
2.1	Descrizione del dataset OMI	40
2.2	Descrizione del dataset Incidenti	50
3	Capitolo Terzo - Analisi dei dati	53
4	Conclusioni	65
5	Appendici	66
5.1	Appendice A: Il modello dei prezzi edonici	66
5.2	Appendice B: Campi del database OMI completo	71
5.3	Appendice C: Grafici dettagliati	74

1 Capitolo Primo – Introduzione e revisione della letteratura

1.1 Introduzione

Il valore degli immobili non è solo una cifra su un contratto: è un indicatore chiave della crescita economica di un territorio. Quando i prezzi degli immobili aumentano in una determinata area, ciò riflette un miglioramento del territorio, frutto di investimenti mirati allo sviluppo. L'aumento dell'attrattività della zona rende il mercato più dinamico, favorendo una crescita dei prezzi immobiliari. Questo concetto diventa ancora più rilevante in un contesto urbano dove la qualità della vita ha una forte influenza sul mercato immobiliare.

In effetti, ridurre il numero di incidenti stradali non significa solo rendere le strade più sicure, ma può anche trasformare radicalmente il volto delle città. Quartieri con meno incidenti diventerebbero più attrattivi per residenti e investitori, favorendo la riqualificazione urbana e il miglioramento della qualità della vita. Un ambiente più sicuro, infatti, ha un impatto diretto sulla percezione del valore di un'area e sulla disponibilità di investire in essa.

La presente tesi si propone di ricercare una relazione tra la sicurezza urbana, rappresentata dal numero di incidenti stradali, e i valori immobiliari nel comune di Torino. In particolare, l'obiettivo principale è individuare rapporti causali tra la frequenza degli incidenti stradali e le quotazioni immobiliari, utilizzando i dati forniti dall'Agenzia delle Entrate relativi alle Zone OMI (Osservatorio del Mercato Immobiliare).

L'idea di indagare questo legame nasce dalla crescente consapevolezza che fattori sociali possano influenzare non solo la qualità della vita dei cittadini, ma anche il valore economico delle proprietà immobiliari, riflettendo la maggiore disponibilità a pagare per una caratteristica sociale come la sicurezza dei cittadini. Ridurre il numero di incidenti stradali non rappresenta

infatti solo un vantaggio in termini di sicurezza pubblica, ma potrebbe anche contribuire alla rivalutazione delle aree urbane.

Grazie ai dati dettagliati messi a disposizione dall'Agenzia delle Entrate, che suddividono il comune di Torino in zone OMI, è possibile analizzare le variazioni dei valori al metro quadro nel corso del periodo di tempo preso in considerazione, precisamente dal 2016 al 2023.

Per quanto riguarda gli incidenti stradali avvenuti nello stesso periodo, i dati relativi sono dati amministrativi del Comune di Torino: analizzare questi dati ha permesso di fare un'analisi accurata dell'andamento della sicurezza stradale in città.

L'analisi svolta esamina, in primo luogo, tramite regressioni lineari, la relazione tra le variabili di interesse, come il numero di incidenti stradali e il numero di feriti, e il logaritmo del prezzo degli immobili di interesse. In secondo luogo, si utilizzano regressioni a variabili strumentali per approfondire l'analisi e ottenere risultati più significativi.

Quindi il documento è suddiviso in tre capitoli principali. Nel primo capitolo è introdotto l'argomento della tesi insieme ad una panoramica sullo stato dell'arte nella letteratura scientifica, mettendo in evidenza l'importanza del lavoro svolto attraverso un confronto con studi precedenti. Nel secondo capitolo è descritta nel dettaglio l'acquisizione, la strutturazione e l'analisi dei dati forniti dall'Agenzia delle Entrate, relativi ai valori immobiliari, e dei dati sugli incidenti stradali nel comune di Torino nel periodo 2016-2023. Nel terzo capitolo, attraverso l'uso del programma statistico Stata, è condotta un'analisi per indagare la presenza di una correlazione tra i valori immobiliari e il numero di incidenti stradali.

Questo lavoro mira a offrire un contributo significativo alla comprensione del rapporto tra sicurezza urbana e mercato immobiliare, fornendo strumenti utili per future analisi e per lo sviluppo di politiche mirate al miglioramento della qualità della vita nelle aree urbane.

1.2 Contesto e obiettivi dello studio

In una società sempre più attenta a tematiche ambientali, sociali, o comunque a temi legati al benessere dei suoi cittadini, questo studio vuole indagare uno di questi aspetti, vedere se esiste una correlazione statistica dove riducendo il numero di incidenti stradali si ha un miglioramento della qualità della vita per i cittadini, dove questo miglioramento è riflesso in un aumento dei prezzi delle abitazioni circostanti. Questo perché i cittadini sono disposti a pagare di più per una maggiore qualità della vita.

Numerosi studi hanno trattato numerose questioni simili, cercando di capire quali caratteristiche sono più ricercate dai cittadini di tutto il mondo. La comunità scientifica ha indagato questioni importanti come: qualità dell'aria, qualità delle falde acquifere, la sicurezza dei cittadini, il rumore stradale, tutti elementi che hanno o possono avere un impatto sugli abitanti di determinate aree geografiche.

Tematiche analoghe sono state oggetto di studio da parte della comunità scientifica sin dai primi anni settanta. Di seguito viene approfondito l'argomento, preceduto da un'analisi dal punto di vista economico e sociale.

Studi dimostrano che fattori ambientali, come l'inquinamento e la sicurezza, influenzano la qualità della vita e si riflettono nei prezzi immobiliari, evidenziando il valore attribuito dalla comunità al territorio. Tuttavia, determinare il costo di specifiche caratteristiche di un'area abitata risulta complesso, a differenza dei beni di consumo.

Se le persone vogliono acquistare un bene di consumo, come un'auto, il beneficio derivante dall'uso dell'auto sarà almeno pari o superiore all'importo che sono disposte a pagare per essa, che si manifesta nel prezzo di mercato. In questo caso, l'individuo esprime la sua disponibilità a pagare per i benefici derivati dall'auto attraverso il suo prezzo di mercato. Supponiamo che, dopo alcuni anni, il proprietario decida di vendere l'auto. La venderà solo se riceverà una compensazione almeno pari a un prezzo di riserva che rifletta il valore che si attribuisce all'auto. Qui, l'individuo sta esprimendo la sua

disponibilità ad accettare una compensazione per rinunciare all'utilità dell'auto. Pertanto, il prezzo di mercato funge da misura del valore economico dell'auto per quell'individuo.

Tuttavia, molti aspetti importanti della vita, come la qualità dell'ambiente o il senso di sicurezza in un quartiere, non hanno mercati diretti dove i valori sono facilmente stabiliti tramite i prezzi. Ad esempio, le persone apprezzano l'aria pulita, ma non esiste un mercato dove la qualità dell'aria possa essere scambiata direttamente. Allo stesso modo, il senso di sicurezza in un quartiere influisce sul valore delle proprietà, ma non esiste un mercato esplicito in cui si possa acquistare la "sicurezza".

In questi casi, ci affidiamo a tecniche di valutazione di mercato o non di mercato per stimare questi valori. Queste tecniche, simili al concetto di disponibilità a pagare per un'auto, valutano quanto gli individui sono disposti a pagare per miglioramenti (ad esempio, aria più pulita o strade più sicure) o quanto dovrebbero essere compensati per tollerare perdite (ad esempio, aumento dell'inquinamento o tassi di criminalità più alti). Questi metodi indiretti aiutano ad assegnare un valore economico a variabili non di mercato, consentendo ai decisori politici e agli stakeholder di prendere decisioni informate sugli investimenti in beni e servizi pubblici.

Esistono diverse tecniche per valutare queste tipologie di beni, che possono essere suddivise in metodi di preferenza rivelata e dichiarata. Nei metodi di preferenza rivelata, gli individui rivelano indirettamente la loro disponibilità a pagare per un miglioramento sociale o ambientale tramite i prezzi di mercato o mercati surrogati. Nei metodi di preferenza dichiarata, invece, agli individui è chiesto direttamente quanto sarebbero disposti a pagare. Le tecniche possono essere classificate in base al metodo di valutazione: basato sul mercato, sul mercato surrogato o non di mercato. Ecco una breve descrizione di alcuni metodi:

- Metodi basati sul mercato: Questi metodi si basano su interazioni dirette nel mercato. Ad esempio, il suolo è un bene naturale che è integrato

nella terra, quindi non ha un mercato separato. Tuttavia, se vogliamo conoscere il valore del suolo fertile, possiamo usare il metodo della funzione di produzione, trattando il suolo come input nella funzione di produzione e misurando l'impatto della sua degradazione tramite la perdita di output. Un altro esempio sono le "spese difensive", ovvero le spese che gli individui sono disposti a sostenere per difendersi dagli effetti negativi sulla salute, che possono servire come indicatori per il valore ambientale.

- Mercati surrogati: Quando non esistono prezzi di mercato diretti per un bene o servizio ambientale, si può trovare un bene o servizio correlato venduto nel mercato. Ad esempio, per conoscere il valore che una persona attribuisce a un parco naturale, si può osservare quanto tempo e denaro spende per visitarlo (metodo del costo di viaggio). Per l'aria pulita, si può analizzare quanto una persona è disposta a pagare per vivere in un quartiere pulito (metodo del prezzo edonico). Questi metodi permettono di separare il valore ambientale dal prezzo di mercato osservato.
- Metodi non basati sul mercato: Quando non è possibile usare metodi basati sul mercato o sui mercati surrogati, come nel caso in cui si voglia valutare il valore di esistenza di un bene ambientale, si usano metodi alternativi. Un esempio è il metodo di valutazione contingente, in cui agli intervistati è chiesto direttamente quanto sarebbero disposti a pagare per miglioramenti ambientali o quanto accetterebbero come compensazione per un deterioramento. Sebbene il metodo di valutazione contingente possa catturare i valori economici totali (uso e non uso), ha anche delle limitazioni, come i bias nelle preferenze e nella progettazione dei questionari.

Il Metodo dei Prezzi Edonici (Hedonic Price Method, HPM) è un metodo di valutazione basato sulle preferenze rivelate. Questo metodo di valutazio-

ne ambientale utilizza mercati surrogati per attribuire un valore alla qualità ambientale. Il mercato immobiliare è il mercato surrogato più comunemente utilizzato. L'inquinamento atmosferico, idrico e acustico hanno un impatto diretto sul valore delle proprietà. Confrontando proprietà con caratteristiche altrimenti simili o esaminando il prezzo di una proprietà nel tempo mentre cambiano le condizioni ambientali, e correggendo tutti i fattori non ambientali, le informazioni sul mercato immobiliare possono essere utilizzate per stimare la disponibilità a pagare delle persone per la qualità ambientale.

Considerando tutti gli altri fattori che influenzano il prezzo di una casa, una casa nella località A avrà un prezzo più alto rispetto a una casa nella località B. La differenza di prezzo, dP , rappresenta la disponibilità marginale a pagare (in termini di prezzi delle case più alti) per la differenza nella qualità dell'aria. Queste differenze di prezzo possono essere stimate utilizzando metodi di regressione. Differenze di prezzo simili sono state rilevate nel mercato immobiliare per: il rumore del traffico stradale, l'inquinamento atmosferico, il rumore degli aeroplani e la vicinanza a siti di discarica.

Un esempio rilevante di come la disponibilità marginale a pagare si rifletta nel mercato immobiliare riguarda la qualità delle falde acquifere, soprattutto in una città con scarsità d'acqua. In aree densamente popolate vicino a mari o oceani, la sovraestrazione di acqua dolce dal sottosuolo può causare l'infiltrazione di acqua salata nel terreno, compromettendo sia la qualità dell'acqua sotterranea sia la fertilità del suolo. Questo fenomeno, noto come intrusione salina, ha un impatto significativo sui valori immobiliari, poiché i compratori tendono a pagare di più per case situate in aree con falde acquifere in buono stato, percepite come più sicure e sostenibili nel lungo termine. L'applicazione del metodo dei prezzi edonici consente di stimare il valore economico delle falde acquifere, analizzando la disponibilità a pagare per la qualità e la sicurezza delle risorse idriche sotterranee.

Nel mondo scientifico sono stati fatti innumerevoli studi utilizzando il metodo dei prezzi edonici, in Appendice A è presente un excursus dettagliato

sull'argomento. Questo per dare un'idea completa al lettore di che cosa si sta parlando, soprattutto perché successivamente sono presi in esame degli studi che utilizzano questo modello, ma non solo, per arrivare a delle conclusioni importanti.

Il mercato immobiliare è stato ampiamente utilizzato come mercato surrogato per analizzare le preferenze degli individui rispetto a specifiche amenità, quali la qualità dell'aria, la qualità delle falde acquifere, il livello di inquinamento acustico e molte altre. Numerosi studi hanno dimostrato come il prezzo degli immobili rifletta il valore che le persone attribuiscono a queste caratteristiche, rendendo questo tipo di approccio uno strumento consolidato per la ricerca economica e urbana. Poiché il nostro studio si propone di indagare una tematica simile, esponiamo di seguito alcuni contributi appartenenti allo stato dell'arte attuale. Questo ci permette di evidenziare come tale filone di ricerca, sviluppato da oltre settant'anni, sia tuttora di grande rilevanza e rappresenti un ambito di studio meritevole di attenzione, tempo e impegno.

1.3 Revisione della letteratura

La ricerca scientifica considera numerosi aspetti, tra quelli maggiormente trattati spiccano sicuramente la sicurezza dei cittadini e la qualità dell'aria che essi respirano.

La criminalità ha un'influenza significativa sulla percezione del degrado delle aree urbane. I danni criminali a proprietà pubbliche e private rappresentano un buon indicatore di degrado urbano, mentre la paura di furti e scassi alimenta insicurezza e ansia dei residenti. Le politiche di prevenzione e controllo della criminalità sono una priorità nell'agenda politica dei paesi sviluppati, e questi problemi sono particolarmente critici in quelle metropoli che ospitano milioni di residenti. Sebbene nessun luogo sia esente dalla criminalità, la paura e i costi diretti associati ai crimini contro la proprietà possono avere conseguenze particolarmente gravi nelle aree urbane, scoraggiando la rigenerazione locale e innescando un circolo vizioso che porta al declino dello status del quartiere. Le aree con alti tassi di criminalità e disoccupazione acquistano una cattiva reputazione, portando alla fuga di persone, negozi e datori di lavoro.

L'osservazione suggerisce che tassi di criminalità locale persistentemente elevati scoraggiano nuovi residenti e spingono quelli che possono farlo a trasferirsi in quartieri con tassi di criminalità più bassi. Questo desiderio di vivere in aree più sicure si riflette sui prezzi delle proprietà o dei terreni tra le residenze situate in località ad alta o bassa criminalità.

Tradizionalmente, la ricerca empirica che indaga la relazione tra criminalità e performance economica si è concentrata sul terrorismo e sulla corruzione, poiché si riteneva comunemente che questi tipi di crimine fossero le principali cause di tale relazione. Successivamente sono stati considerati molti altri crimini per spiegare l'effetto sulla performance economica di un territorio. Nel 2010 Dedotto e Otranto nell'articolo intitolato "Does crime affect economic growth?" [9] hanno applicato un approccio statistico, precisamente utilizzarono il metodo della regressione a coefficienti variabili nel tempo (ti-

me varying coefficients regression) al caso italiano e hanno osservato che la criminalità ha un impatto negativo sulla crescita del PIL e che il suo effetto è maggiore durante le recessioni rispetto alle espansioni economiche. Questo significa che, quando aumenta la criminalità, la crescita economica tende a rallentare o diminuire. Inoltre, l'impatto è maggiore durante le recessioni rispetto alle espansioni economiche: in periodi di recessione, la criminalità ha un effetto più forte e dannoso sulla crescita economica rispetto ai periodi di espansione economica, forse perché le difficoltà economiche possono aumentare le tensioni sociali e la criminalità, creando un circolo vizioso che peggiora ulteriormente la situazione economica. Successivamente sono stati anche identificati i crimini che hanno un impatto maggiore sulla performance economica. Nel 2016 Oliviero A. Carboni e Claudio Detotto proseguirono l'analisi nell'articolo "The economic consequences of crime in Italy"[3], in cui sono identificati quale tipologia di crimini ha un maggiore impatto: tra questi i crimini violenti come omicidi o rapine hanno un impatto significativo sulla performance economica, mentre frodi o reati amministrativi più comuni hanno un impatto poco significativo.

La sicurezza in un quartiere residenziale è un fattore cruciale per determinare il valore di mercato di un immobile. Un ambiente sicuro non solo migliora la qualità della vita per i residenti, ma contribuisce anche ad accrescere l'attrattività del quartiere per i potenziali acquirenti, aumentando così la domanda di abitazioni.

Tuttavia, è essenziale distinguere tra due concetti spesso confusi ma nettamente separabili: la sicurezza percepita e la sicurezza effettiva. La sicurezza percepita si riferisce alla sensazione soggettiva di protezione che una persona prova in un determinato luogo, mentre la sicurezza effettiva rappresenta una valutazione oggettiva e scientifica del rischio di pericolo in un'area. La sicurezza percepita è influenzata da numerosi fattori psicologici, sociali e culturali, come la storia personale di esperienze negative, la presenza di infrastrutture urbane come luci pubbliche, parchi e zone commerciali, la per-

cezione di "benessere" del vicinato e la testimonianza dei media. Anche la percezione di una zona come "sicura" può dipendere dalla percezione collettiva delle persone che la abitano, influenzata, per esempio, dalla presenza di gruppi sociali di maggior protezione o da eventi passati, anche se non necessariamente correlati a crimini gravi.

La sicurezza percepita può essere decisamente distorta rispetto alla realtà, eppure continua a giocare un ruolo determinante nella decisione di acquisto di un immobile. D'altro canto, la sicurezza effettiva è una misura oggettiva, che si può calcolare attraverso l'analisi di dati statistici e modelli complessi che prendono in considerazione una serie di variabili, come il tasso di criminalità (furti, rapine, atti vandalici, ecc.), la presenza di forze dell'ordine, l'accesso a tecnologie di sorveglianza e il design del quartiere stesso. A differenza della sicurezza percepita, che può variare a seconda delle esperienze e delle opinioni individuali, la sicurezza effettiva si basa su parametri misurabili e confrontabili. Un quartiere con un basso tasso di criminalità, per esempio, potrebbe essere considerato "oggettivamente" sicuro, anche se alcuni residenti potrebbero non sentirsi così, a causa di esperienze passate o di pregiudizi legati ad altri fattori esterni. È importante sottolineare che, nonostante la sicurezza effettiva possa sembrare il parametro più affidabile per valutare la sicurezza di un quartiere, la sicurezza percepita ha un impatto altrettanto forte, se non maggiore, sul valore del mercato immobiliare. La percezione di sicurezza è infatti legata direttamente alla domanda di immobili: le persone tendono a cercare case in quartieri che considerano sicuri, anche quando le statistiche ufficiali non giustificerebbero tale sensazione. In molti casi, la percezione di sicurezza risulta essere un fattore decisivo nella scelta di una zona in cui vivere, e pertanto le dinamiche del mercato immobiliare sono fortemente influenzate da questa. Gli sviluppatori immobiliari, gli investitori e gli urbanisti devono prendere in considerazione entrambi gli aspetti della sicurezza per poter valutare correttamente il potenziale di mercato di una zona. La sicurezza percepita può infatti spingere i prezzi verso l'alto,

anche in assenza di una bassa criminalità, mentre la sicurezza effettiva, pur essendo un indicatore fondamentale di "verità" rispetto alla protezione in un quartiere, potrebbe non riflettere appieno la domanda di abitazioni. Al fine di quantificare in modo oggettivo la sicurezza effettiva di un quartiere, sono stati sviluppati modelli complessi che combinano variabili quantitative e qualitative per stimare il livello di rischio.

Tali modelli possono includere fattori come la densità della popolazione, la presenza di luoghi ad alto rischio come locali notturni o impianti industriali, la qualità dell'illuminazione pubblica, la tipologia di infrastrutture di sorveglianza (come telecamere di sicurezza) e la disponibilità di pattuglie di polizia. Oltre a questi, le caratteristiche demografiche e socio-economiche dei residenti, la mobilità e l'accessibilità dei trasporti pubblici, così come le politiche di sicurezza urbana adottate dalle amministrazioni locali, sono tutte variabili che, se analizzate in modo integrato, possono fornire una valutazione precisa della sicurezza effettiva di un'area. In conclusione, mentre la sicurezza effettiva rappresenta una misurazione oggettiva e razionale dei rischi legati a un quartiere, la sicurezza percepita gioca un ruolo altrettanto fondamentale nella dinamica del valore immobiliare. Distinguere e comprendere queste due dimensioni è essenziale, poiché entrambi i fattori influenzano in maniera determinante la decisione di acquisto, la scelta del luogo di residenza e, in ultima analisi, il valore di un immobile.

E' provato che se la sicurezza percepita di una determinata zona è bassa questo implica non solo che il valore degli immobili di quella determinata zona è inferiore ad altre zone più sicure, ma questo comporta anche il fatto che vengano fatti meno investimenti e si innesca una reazione a catena che porta il quartiere in un circolo vizioso in cui nessuno vuole investire. Oltretutto, per risolvere questa situazione scomoda serve un ingente investimento e un progetto ben definito per riqualificare l'intero quartiere, mirando a risolvere le cause della poca sicurezza percepita.

L'articolo "Housing prices and crime perception" [2] scritto da Paolo Bu-

nanno, Daniel Montolio, and Josep Maria Raya-Vilchez nel 2013, mostra che la sicurezza percepita in un determinato quartiere ha un impatto estremamente significativo sul valore delle proprietà immobiliari. Nell'articolo è indagato il costo ombra derivante dalla percezione del crimine, il caso studio è la città di Barcellona nel biennio compreso dal 2004 al 2006. Dal mercato immobiliare sono stati ottenuti i dati relativi alla compravendita degli immobili suddivisi per quartiere. Mentre per la percezione del crimine si è scelto di prendere le informazioni ottenute dai sondaggi fatti alle vittime di reati.

L'effetto della percezione della criminalità sui prezzi degli immobili nella città di Barcellona è stimato utilizzando un approccio in due fasi. In primo luogo, tramite un modello dei prezzi edonici, si stima il valore edonico della posizione degli immobili. In secondo luogo, si verifica se la percezione della criminalità influisce sulla valutazione locazionale ottenuta. Questo approccio in due fasi viene applicato in modo sequenziale, inizialmente alle regressioni OLS e successivamente alle regressioni quantili, utilizzando lo stesso insieme di percentili condizionali in entrambe le fasi.

Lo studio arriva alle conclusioni che un migliore senso di sicurezza percepito dai cittadini porta a un netto aumento dei prezzi degli immobili, in particolare un miglioramento di una deviazione standard nella percezione della sicurezza del quartiere si traduce in un aumento dello 0,57% nella valutazione complessiva del distretto.

La sicurezza della comunità si riferisce al livello in cui le persone vivono senza la paura costante del crimine, come il rischio di subire un furto in casa, una rapina o un'aggressione. Questo concetto è diventato sempre più importante e oggi rappresenta un elemento fondamentale nella decisione di acquistare una casa. Vivere in un ambiente sicuro non è solo una questione di tranquillità personale, ma anche un fattore determinante per il valore economico di un immobile. I problemi legati alla sicurezza della comunità possono avere conseguenze significative sul valore delle proprietà. In primo luogo, mettono a rischio la sicurezza fisica degli abitanti e dei loro beni,

creando un clima di insicurezza che scoraggia le persone dal vivere in quella zona. In secondo luogo, tali problemi possono degradare il contesto abitativo e lavorativo. Le persone, infatti, sono meno propense a scegliere di affittare una casa o avviare un'attività commerciale in un'area percepita come pericolosa. Questo effetto negativo si estende anche al tessuto economico locale, influenzando la vitalità delle attività economiche. Inoltre, la percezione di insicurezza ostacola lo sviluppo urbanistico dell'area interessata. Nuovi progetti residenziali o infrastrutturali, che potrebbero migliorare la qualità della vita o incentivare gli investimenti, sono meno probabili in quartieri caratterizzati da problemi di sicurezza. Questa mancanza di sviluppo può alimentare un circolo vizioso, dove l'assenza di nuove opportunità economiche e sociali peggiora ulteriormente le condizioni dell'area.

Per gli investitori immobiliari, questi aspetti rappresentano un elemento cruciale da considerare. Essere consapevoli delle potenziali problematiche legate alla sicurezza della comunità è essenziale per valutare correttamente i rischi e le opportunità legate a un investimento. Un'analisi approfondita della sicurezza di una zona può aiutare a evitare perdite economiche e a identificare aree con maggiore potenziale di crescita e valorizzazione.

Modellare una misura accurata del livello di sicurezza di una zona è un compito complesso, che richiede innanzitutto una raccolta di dati affidabile e completa, seguita dalla costruzione di un modello matematico capace di valutare con precisione il livello di sicurezza in una specifica area. Mentre per capire il livello di sicurezza percepita dai cittadini di una determinata zona si può direttamente interrogare loro stessi, ora per capire il livello di sicurezza reale si devono usare dei dati ufficiali raccolti quindi da enti statali, non si può più chiedere direttamente alle vittime di reati. In più, il modello da sviluppare non può essere relativo: deve tenere in considerazione dei parametri ben precisi e non soggettivi come un rateo di sicurezza percepito dall'intervistato. Nel mondo scientifico alcuni hanno provato a rispondere a questa domanda, cercando di creare un modello matematico che possa indi-

care quali sono le zone abitative più colpite dal crimine e che di conseguenza, rispecchiando questo fatto, hanno un valore di mercato minore.

A tal fine nell'articolo scritto da Zijun Yao, Yanjie Fu, Bin Liu e Hui Xiong, intitolato "The impact of community safety on house ranking" [18], è sviluppato un metodo di classificazione degli immobili tenendo conto del fattore della sicurezza, integrando la sicurezza della comunità nella valutazione delle abitazioni. La variabile che identifica il livello di sicurezza dei cittadini è costruita partendo dal crimine delle effrazioni nelle abitazioni. Questo perché è il crimine che più di tutti viene diligentemente registrato dalle autorità competenti, inoltre, è possibile facilmente attribuire la gravità del crimine commesso registrando il valore dei beni rubati.

Il testo descrive la raccolta e l'analisi di dati su 3000 case e 1131 crimini di furto con scasso a Denver. Le case selezionate sono case unifamiliari isolate, distribuite in un'area residenziale nel nord di Denver. I valori delle case sono stati valutati nel 2015 e suddivisi in 10 livelli di rilevanza per la classificazione. I crimini di furto con scasso sono stati registrati tra il 2009 e il 2014. Inoltre, sono stati raccolti dati sui quartieri, tra cui demografia, punti di interesse e valutazioni delle scuole pubbliche, per arricchire il profilo delle case. Applicando il modello creato utilizzando questi dati si vede che effettivamente il modello è valido ed efficace.

Il modello in questione è un algoritmo che classifica le abitazioni basandosi in primo luogo sulla sicurezza delle abitazioni (HSA, House Safety-Aware), questo prevede il valore di una casa utilizzando un vettore di caratteristiche di sicurezza della comunità e un vettore delle caratteristiche del profilo della casa. L'obiettivo è addestrare una funzione che stimi il valore della casa, che dipende da un vettore di pesi e da un termine di errore, il quale segue una distribuzione gaussiana.

La funzione obiettivo proposta considera sia l'accuratezza della previsione del valore della casa sia la coerenza del ranking delle case. L'accuratezza della previsione del valore è modellata usando una distribuzione normale, mentre

la coerenza del ranking è modellata utilizzando probabilità di coppie di case, assicurando che le case siano classificate correttamente.

In sintesi, il modello mira a prevedere correttamente sia il valore che il ranking delle case, considerando accuratamente entrambe le dimensioni (valore e posizione nel ranking) in modo congiunto.

In questo articolo non viene utilizzato il metodo dei prezzi edonici, bensì appunto gli autori costruiscono un modello statistico-matematico capace di rispondere alle domande che si sono posti, per questo l'analisi effettuata dagli autori è estremamente complessa perché utilizzano un metodo innovativo.

Gli autori arrivano alle conclusioni che il metodo esposto è un metodo efficace per valutare e classificare una serie di abitazioni, si stimano le zone migliori in termini di sicurezza basandosi sui valori di mercato delle abitazioni. Questo rende l'idea di come possa essere difficile scostarsi dai metodi tradizionali, come il metodo dei prezzi edonici, e cercare di creare un metodo nuovo che possa approfondire il tema in considerazione.

Nell'ambito della valutazione dell'impatto dell'inquinamento atmosferico, il modello dei prezzi edonici è stato ampiamente utilizzato per stimare come le caratteristiche ambientali, tra cui la qualità dell'aria, influenzino il valore economico delle proprietà immobiliari. Attraverso l'analisi delle concentrazioni di particolato sospeso (total suspended particulate, TSP) e di altri inquinanti atmosferici, numerosi studi hanno evidenziato una correlazione negativa tra la qualità dell'aria e il valore delle abitazioni, contribuendo a definire l'impatto economico dell'inquinamento. Queste ricerche non solo forniscono evidenze sui costi associati all'inquinamento, ma offrono anche strumenti utili per le autorità pubbliche nella definizione di politiche ambientali volte a migliorare la qualità della vita nelle aree urbane.

Le caratteristiche ambientali, come la qualità dell'aria, rappresentano risorse di valore monetario, poiché influenzano direttamente il benessere delle persone attraverso il flusso di beni e servizi che generano costi e benefici. L'inquinamento atmosferico, ad esempio, comporta costi sociali dovuti al

deterioramento della salute umana e agli impatti negativi su specie viventi e beni materiali. Tali conseguenze dannose sono strettamente legate alla progettazione di politiche ambientali efficaci. In un contesto economico, la qualità dell'aria è considerata un bene pubblico che incorpora sia esternalità positive che negative. Tuttavia, il fatto che i servizi ambientali legati alla qualità dell'aria non abbiano un prezzo di mercato rappresenta un fallimento del mercato, impedendo un'allocazione efficiente delle risorse. Questo impedisce di internalizzare i costi e i benefici associati all'uso di queste risorse. In termini economici, si traduce in una mancata riflessione del valore sociale dell'aria pulita nei processi decisionali dei singoli individui o delle imprese. La mancanza di informazioni complete, le incertezze e gli impatti transfrontalieri complicano ulteriormente il processo decisionale dei policymaker.

Senza un prezzo, i servizi ambientali come l'aria pulita sono trattati come beni pubblici, il che significa che sono disponibili per tutti indipendentemente dal contributo individuale. Questo genera esternalità negative: ad esempio, chi inquina non paga il costo sociale derivante dal deterioramento della qualità dell'aria, come i danni alla salute umana, agli ecosistemi e ai beni materiali.

Inoltre, questa situazione porta a un uso inefficiente delle risorse ambientali, con conseguenze come l'eccessivo inquinamento e la sotto-produzione di politiche di protezione ambientale. Per correggere questo fallimento del mercato, spesso sono implementati interventi governativi, come tasse sulle emissioni o sistemi di scambio delle quote di inquinamento, per avvicinare il costo privato al costo sociale.

Negli ultimi anni, tuttavia, gli sviluppi nella stima dei valori economici della natura stanno fornendo nuove linee guida per i decisori politici. Oggi, risorse che una volta venivano considerate di poco valore, come il paesaggio e la qualità dell'aria o in generale il problema dell'inquinamento atmosferico, sono riconosciute come fonti significative di valore economico, e possono essere quantificate attraverso metodi economici come l'analisi costi-benefici.

Pensiamo solamente ai costi sempre crescenti che ogni anno l'umanità affronta a causa del cambiamento climatico, come: costi diretti, costi sanitari, crisi umanitarie e molti altri.

In questo contesto, la stima del valore economico dei beni ambientali si basa sull'assunzione che il benessere delle persone dipenda non solo dai beni e servizi di mercato, ma anche da quelli non di mercato, come la qualità dell'aria.

Nell'articolo intitolato "Does air quality matter? Evidence from the housing market", redatto da KY Chay e M Greenstone[5], è evidenziato come l'inquinamento atmosferico rappresenti una variabile cruciale nel determinare il valore delle proprietà immobiliari. Lo studio analizza la celebre legge federale denominata Clean Air Act, promulgata sotto l'amministrazione Nixon nel 1963, che, nel corso degli anni, è stata oggetto di numerosi ampliamenti e miglioramenti significativi per adattarsi alle nuove sfide ambientali e rafforzare la tutela della qualità dell'aria. La legge è considerata uno dei più grandi successi in ambito ambientale negli Stati Uniti, un esempio per altre nazioni e un simbolo del consenso bipartisan sul progresso ambientale.

Grazie all'attuazione del Clean Air Act, si sono ottenuti miglioramenti significativi e misurabili nella qualità dell'aria. Dal 1990, i dati dell'EPA (U.S. Environmental Protection Agency) mostrano una riduzione del 40% dell'inquinamento da particolato fine e una diminuzione del 22% delle concentrazioni di ozono, uno dei principali componenti dello smog.

Per l'analisi di questo studio è stato utilizzato il metodo dei prezzi edonici poiché non esiste un mercato esplicito per l'aria pulita. Come detto precedentemente, questo approccio è comunemente utilizzato per stimare il valore economico di beni non commercializzabili, come l'aria pulita, per gli individui. Il metodo si basa sull'idea che l'utilità derivante dal consumo di un bene differenziato, come una casa, sia determinata dalle caratteristiche intrinseche del bene stesso. Ad esempio, la teoria edonica suggerisce che un fattore negativo, come l'inquinamento atmosferico, abbia una correlazione

negativa con i prezzi delle abitazioni, a parità di tutte le altre caratteristiche.

Lo studio si basa oltre che sui valori immobiliari delle contee prese in esame sulle concentrazioni di particolato sospeso in quelle stesse contee nel corso degli anni 1970-1980. I dati sui valori delle abitazioni e delle caratteristiche delle varie contee sono stati ottenuti rivolgendosi ai County and City Data Books. Questi contengono dati almeno dai primi anni degli anni '70, inoltre sono completi, affidabili e contengono una grande quantità di informazioni per ogni contea degli Stati Uniti. L' EPA ha messo a disposizione i dati sul particolato sospeso, questi provengono dal database del Air Quality Subsystem, il quale registra informazioni sul particolato sospeso dagli anni '70 in poi. Questi dati contengono informazioni annuali sulla posizione e sulle rilevazioni di ogni monitor dei TSP in funzione negli Stati Uniti dal 1967. Grazie a questi dati si calcola la concentrazione media geometrica annuale dei TSP per ciascuna contea utilizzando i dati dei singoli monitor. Questi dispositivi che rilevano l'inquinamento atmosferico rilevano numerosi dati, però si è scelto di considerare il particolato sospeso come indicazione sulla qualità dell'aria per due principali motivi: in primo luogo, i TSP rappresentano la forma più visibile di inquinamento atmosferico e hanno gli effetti più dannosi sulla salute tra tutti gli inquinanti regolamentati dalle modifiche al Clean Air Act; in secondo luogo, la rete di monitoraggio dell'EPA per gli altri inquinanti atmosferici era nelle sue fasi iniziali nei primi anni '70, di conseguenza si è optato per considerare il particolato atmosferico come la variabile più giusta per rappresentare l'inquinamento dell'aria. Quindi questi dati sono stati utilizzati per un motivo ben preciso, ovvero identificare se una zona avesse dei livelli di particolato sospeso inferiori ai livelli critici normati nel Clean Air Act. In caso di zone con concentrazione di particolato sospeso al di sopra dei valori soglia queste zone sono etichettate come "non a norma" (nonattainment), mentre le altre sono categorizzate come zone "a norma" (attainment).

Lo studio dimostra che quando lo status di "nonattainment" è utilizzato

come variabile strumentale per le concentrazioni di TSPs, si rileva che l'elasticità dei valori immobiliari rispetto alle concentrazioni di particolato varia tra -0,20 e -0,35. Gli autori trovano che un aumento del particolato nell'aria è associato a una diminuzione dei valori immobiliari. L'elasticità qui misura quanto varia il prezzo degli immobili (in percentuale) per una variazione percentuale nelle concentrazioni di particolato. Un valore di elasticità compreso tra -0,20 e -0,35 indica che un aumento del 1% nelle concentrazioni di particolato porta a una diminuzione tra lo 0,20% e lo 0,35% nei valori delle case. Questi valori di elasticità riflettono quanto, in media, le persone siano disposte a pagare (marginalmente) per una riduzione dell'inquinamento atmosferico, cioè per avere un'aria più pulita. È un'indicazione della disponibilità a pagare per un beneficio ambientale.

Numerosi studi, oltre a questo, condividono queste conclusioni come ad esempio lo studio del 2001, intitolato "Impacts of Air Pollution on Property Values: an Economic Valuation for Bogotá, Colombia" [4], scritto da Fernando Carriazo-Osorio.

Lo studio analizza gli effetti dell'inquinamento atmosferico sui valori delle abitazioni, provando a determinare la disponibilità marginale a pagare per un'aria più pulita da parte dei proprietari di abitazioni a Bogotá. Inoltre, i miglioramenti nella qualità ambientale di Bogotá sono valutati attraverso i valori immobiliari della città. In questo modo, sono esaminati gli impatti dell'inquinamento atmosferico sui valori immobiliari.

Utilizzando un Sistema Informativo Geografico, è stato selezionato un sotto-campione casuale di 1006 osservazioni, corrispondenti a proprietà distribuite nelle 19 località del Distretto Capitale di Bogotá. Il livello di particolato sospeso è usato come variabile per stimare gli impatti dell'inquinamento atmosferico sui valori delle proprietà.

Il metodo adottato si basa su un modello dei prezzi edonici, che collega il prezzo di un bene commerciabile alle caratteristiche e comodità che questo offre. Di conseguenza, eventuali variazioni nei livelli di inquinamento atmo-

sferico possono indurre le famiglie a modificare il proprio comportamento economico, offrendo un prezzo più alto per abitazioni situate in aree con un ambiente significativamente migliorato.

Da questa caratterizzazione è stata individuata la mancanza di alcune caratteristiche ambientali, come le aree verdi. Solo il 35,6% dei quartieri ha una densità di aree verdi superiore alla media. Tra le caratteristiche legate alla posizione, le strade sembrano essere percepite come esternalità positive. In altre parole, come suggeriscono le stime, i consumatori di abitazioni sembrano attribuire un peso maggiore all'accessibilità e minore alla congestione, al rumore o ad altre esternalità negative associate alla presenza di strade in un quartiere. Caratteristiche come la presenza di corpi idrici (fiumi o zone umide) o aree verdi più ampie sembrano non essere significative nel modello stimato. Tuttavia, una maggiore disponibilità di informazioni permetterebbe una migliore definizione di queste variabili, migliorando così la capacità predittiva del modello stimato.

Dalla funzione edonica stimata, la variabile relativa all'inquinamento atmosferico risulta molto significativa nel modello che spiega i valori delle proprietà. Questa variabile rappresenta un'esternalità negativa, suggerendo che un aumento dell'1% nei livelli di emissione di TSP produce una riduzione dello 0,1263% nel valore delle proprietà. Ciò indicherebbe che una politica di riduzione dell'inquinamento atmosferico comporta benefici monetari significativi sia per i consumatori di abitazioni che per le autorità locali. Infine, le autorità ambientali locali possono utilizzare questo tipo di valutazione come guida per implementare politiche ambientali efficienti in termini di costi. L'accuratezza e la capacità predittiva di questo modello dipendono in larga misura dalla quantità di informazioni disponibili nei database.

Questo conclude il capitolo sulla revisione della letteratura: sono stati portati esempi di articoli che sono molto citati nella letteratura scientifica per evidenziare come il mercato immobiliare raccolga dati molto interessanti che possono essere usati per verificare se questi valori riflettono una maggiore

o minore disponibilità a pagare da parte dei consumatori per determinate caratteristiche che impattano nella vita dei cittadini.

1.4 Evidenze aggregate

In Italia l'ISTAT, Istituto nazionale di statistica, dichiara che c'è stato un miglioramento della percezione della sicurezza per i cittadini italiani negli ultimi anni [10]. L'Indagine sulla "Sicurezza dei cittadini" è stata condotta nel biennio 2022-2023 su un campione di 29.317 persone di età pari o superiore ai 14 anni, attraverso interviste sia telefoniche sia in presenza. Lo studio offre un'analisi dettagliata della percezione della sicurezza nei contesti quotidiani, come l'ambiente domestico e gli spazi pubblici. Inoltre, raccoglie dati sulla paura della criminalità, sull'ansia di subire reati, sull'impatto di tali timori sulla vita quotidiana, sulle strategie adottate dai cittadini per proteggersi e sul livello di soddisfazione rispetto all'operato delle forze dell'ordine nella gestione del territorio.

PRINCIPALI INDICATORI DI INSICUREZZA Anni 1997-1998, 2002, 2008-2009, 2015-2016, 2022-2023 per 100 famiglie (totale 26milioni 303mila) o 100 persone di 14 anni e più (totale 51milioni 747mila)

INDICATORI	1997-1998	2002	2008-2009	2015-2016	2022-2023
Persone molto/abbastanza preoccupate di subire scippo o borseggio	-	44,2	48,1	41,9	45,0
Persone molto/abbastanza preoccupate di subire rapina o aggressione	-	43,0	47,6	40,5	41,0
Persone molto/abbastanza preoccupate di subire furto in abitazione	-	60,7	59,3	60,2	44,0
Persone molto/abbastanza preoccupate di subire furto di automobile	-	46,2	43,6	37,0	38,6
Persone molto/abbastanza preoccupate di subire una violenza sessuale	-	36,3	42,7	28,7	35,8
Persone che vedono spesso almeno un elemento di degrado (a)	21,7	21,0	20,1	17,2	6,4
Persone che dichiarano di vivere in una zona molto o abbastanza a rischio di criminalità	23,2	21,0	22,0	33,9	20,3
Persone che si sentono poco/per niente sicuri per strada da soli al buio nella loro zona	28,8	27,6	28,9	27,6	12,0
Persone che si sentono poco/per niente sicuri in casa da soli al buio	11,8	12,2	12,6	14,8	5,1
Persone che hanno avuto paura di stare per subire un reato negli ultimi tre mesi	-	-	5,5	6,4	2,9
Persone che ritengono che le forze dell'ordine siano poco o per nulla efficaci nel controllare la criminalità nella loro zona	42,2	36,2	38,4	46,4	23,1
Famiglie che adottano almeno una strategia di difesa (b)	65,5	62,8	62,7	55,7	40,4
Famiglie che adottano almeno un sistema di sicurezza (c)	58,5	68,1	70,8	72,1	71,8
Persone che si tengono lontano da certe strade o luoghi per motivi di sicurezza	39,7	38,1	35,3	28,0	19,8
Persone che portano con sé qualcosa per difendersi	-	8,9	8,7	7,7	4,0

(a) Persone che si drogano, che spacciano droga, prostitute in cerca di clienti, atti di vandalismo contro il bene pubblico, vagabondi
(b) Lasciare luci accese quando esce, chiedere ai vicini di controllare, essere collegati alla vigilanza privata, avere cani da guardia, armi (da caccia e/o no), assicurazione contro i furti
(c) Porta/e blindata/e, bloccaggio alle finestre, inferriate, portierato condominiale /custode, dispositivo di allarme, cassaforte, luci esterne con accensione automatica

Figura 1: Indicatori di insicurezza (fonte: indagine sulla sicurezza [10])

Alla domanda “quanto si sente al sicuro camminando da solo per strada al buio nella sua zona” il 12% delle persone afferma di sentirsi poco o per niente sicuro, inoltre, il 2% degli intervistati si sente completamente insicuro. Di contro il 57,6% si sente abbastanza sicuro, e il 18,4% molto sicuro. La percentuale di persone che si dichiarano “molto o abbastanza sicure quan-

do camminano al buio” ha raggiunto il 76% nel 2022-2023, registrando un incremento di 15,4 punti percentuali rispetto ai dati del 2015-2016. Questo valore segna un netto miglioramento rispetto alle precedenti edizioni dell’indagine, con il minimo storico del 59,6% rilevato nel 2008-2009. Rispetto alla Rilevazione precedente resta stabile la quota di chi dichiara di non uscire mai di sera, né da solo né accompagnato, 11,9% nel 2022-2023 e 11,8% nel 2015-2016. Il quadro positivo che emerge dai risultati dell’Indagine è confermato dai comportamenti adottati per proteggersi, tutti in diminuzione di circa 10 punti percentuali: nel 2022-2023 il 12,6% della popolazione ha dichiarato di evitare, sempre o a volte, di uscire la sera per timore, questi sono il 23% nel 2015-2016; il 19,8% delle persone, di sera, cerca di evitare situazioni, strade o luoghi, ritenute a rischio mentre questa percentuale era il 28,0% nel 2015-2016; il 29,4% dichiara di mettere la sicura alle portiere della propria auto, 39,6% nel 2015-2016. Inoltre, si è quasi dimezzata, dal 7,7% del 2015-2016 al 4% del 2022-2023, la quota di persone che porta qualcosa con sé per difendersi o per chiedere aiuto in caso di pericolo. Anche il senso di insicurezza percepito quando si è soli nella propria abitazione è diminuito: la quota di persone che ha dichiarato di sentirsi poco o per niente sicura in casa da sola al buio è passata dal 14,8% al 5,1%, con una diminuzione di 9,7 punti percentuali. Malgrado i molteplici segnali positivi permane comunque una quota importante di cittadini circa il 24% per la quale la criminalità incide molto o abbastanza sulle proprie abitudini di vita, dato comunque dimezzato rispetto al 48,5% del 2008-2009 e al 38,2% del 2015-2016.

Nella figura 1 sono racchiusi i principali fattori che determinano una percepita insicurezza nei cittadini . La percezione di insicurezza dipende anche da fattori personali come genere, età e livello di istruzione. Le donne si sentono significativamente più insicure rispetto agli uomini in tutte le situazioni analizzate, in particolare quando escono sole di sera o evitano di uscire per paura della criminalità. L’insicurezza aumenta con l’età, soprattutto tra gli over 75, anche se pochi anziani dichiarano di non uscire per timore della cri-

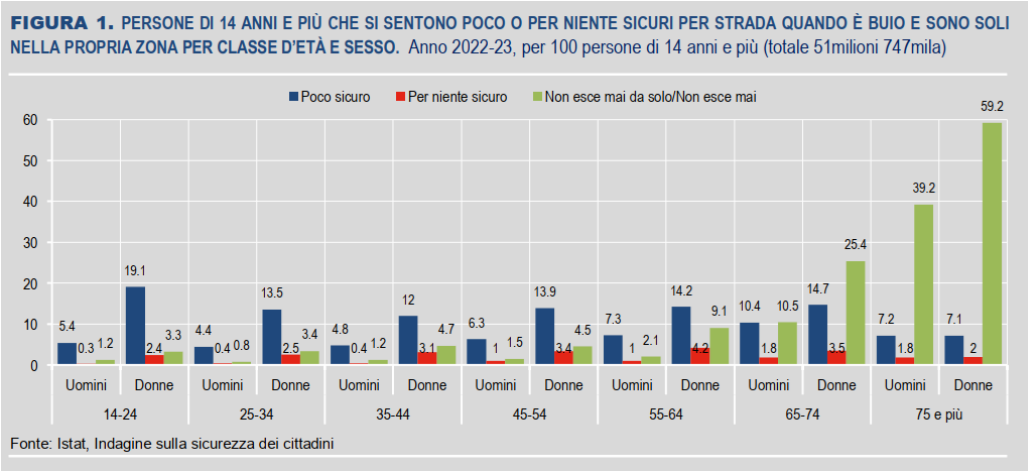


Figura 2: Persone che si sentono poco sicuri per strada quanto è buio e sono soli, per classe d'età e sesso (fonte: indagine sulla sicurezza [10])

minalità. L'analisi per età e genere mostra che le giovani donne tra 14 e 24 anni percepiscono un maggiore senso di insicurezza, figura 2, che si riduce nelle età successive, mentre per gli uomini l'insicurezza cresce progressivamente con l'età. Le precauzioni prese per evitare situazioni pericolose sono più comuni tra le donne, ma le differenze di genere si sono ridotte rispetto al passato. La sicurezza percepita nella propria abitazione segue un trend simile, con livelli di insicurezza più alti tra le donne, specialmente anziane. I giovani sono meno influenzati dalla paura della criminalità, mentre i più anziani e chi ha un livello di istruzione basso riportano livelli più alti di insicurezza. Chi ha subito reati, come rapine o scippi, mostra una percezione di sicurezza significativamente più bassa rispetto a chi non è stato vittima di crimini. Nella figura 3 si può vedere come nelle aree metropolitane e nelle periferie, in particolare, registrano un senso di insicurezza più elevato, con una maggiore propensione degli abitanti a prendere precauzioni per la propria sicurezza. In alcune regioni del Sud e delle Isole, la sensazione di insicurezza è diminuita negli ultimi anni, ma il timore di subire crimini rimane forte, con preoccupazioni maggiori per furti, scippi, aggressioni e violenze sessua-

li. La percezione della sicurezza è anche influenzata dall'esperienza diretta di crimini, con le vittime di reati più preoccupate di subire nuovamente un reato.

Sempre dai dati raccolti dall'indagine del ISTAT il 20,3% delle persone sopra i 14 anni considera la propria zona a rischio criminalità, un dato in calo rispetto al 33,9% dell'indagine del 2015-2016. Solo l'11,8% percepisce un aumento della criminalità rispetto all'anno precedente, contro il 23,2% nella precedente indagine, mentre l'8% ritiene che sia diminuita.

In generale, sebbene la sensazione di insicurezza sia in calo, i timori per la criminalità sono ancora diffusi, con percentuali significative di cittadini che temono di essere vittime di furti, aggressioni o violenze.

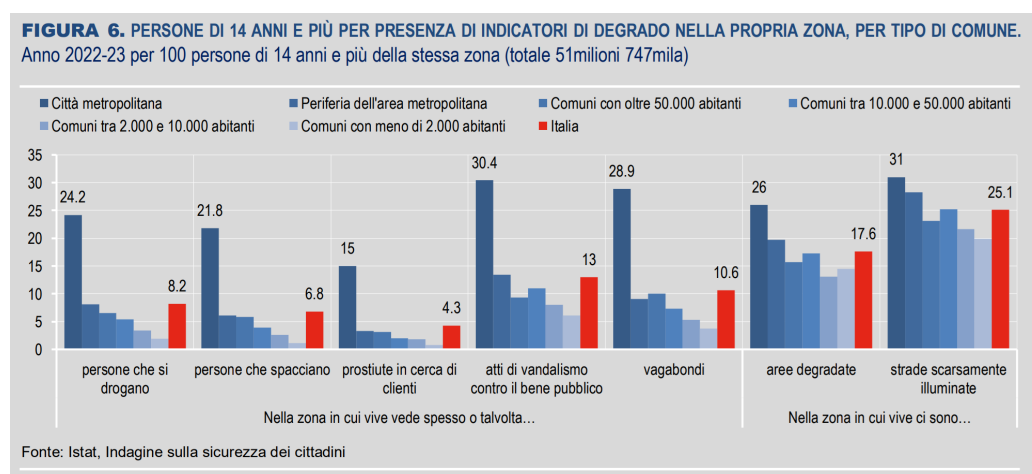


Figura 3: Indicatori di degrado urbano (fonte: indagine sulla sicurezza [10])

Questo fa sì che oltre al costo diretto del crime di per sé, ci sia anche un costo nascosto della sicurezza percepita. Questo perché è conclamato il fatto che la percezione di poca sicurezza in un quartiere faccia diminuire il valore delle proprietà dello stesso.

Questa indagine ISTAT esposta precedentemente sottolinea come la percezione del crimine da parte dei cittadini di una nazione popolosa come l'Italia sia ancora una problematica che ha un impatto significativo nelle vite dei

cittadini. Quindi indagare il problema e cercare delle soluzioni è molto importante e questo tema ha impatto anche sulla crescita economica di un territorio. Precedentemente nel paragrafo riguardante la revisione della letteratura si sono evidenziati alcuni articoli che provano l'importanza del tema. I successivi paragrafi sono stati inseriti con l'obiettivo di rendere esplicito il processo logico che ha condotto alle conclusioni degli articoli precedentemente citati. Questo per rendere evidente il percorso logico seguito, chiarendo come le variabili considerate e l'analisi dei dati abbiano portato ai risultati finali. Questo approccio consente di offrire una maggiore trasparenza nell'argomentazione e di rafforzare la validità delle conclusioni raggiunte.

Lo studio, precedentemente citato, "Housing prices and crime perception" prova senza ombra di dubbio che la sicurezza percepita in un determinato quartiere ha un impatto estremamente significativo sul valore delle proprietà immobiliari. Come già detto prima, si cercò di capire il costo ombra derivante dalla percezione del crimine, utilizzando come campione la città di Barcellona nel biennio compreso dal 2004 al 2006. Dal mercato immobiliare sono ottenuti i dati relativi alla compravendita degli immobili suddivisi per quartiere. Il database include informazioni ottenute da circa 1500 abitazioni vendute in Barcellona dalle agenzie immobiliari durante il periodo di tempo precedentemente citato. Per ciascuna abitazione ci sono informazioni dettagliate sulle caratteristiche fisiche dell'abitazione, mentre grazie all'indirizzo postale della transazione si riesce a risalire alla posizione esatta dell'abitazione, all'interno di un determinato quartiere. Le caratteristiche fisiche proprie delle abitazioni sono per lo più: prezzo al metro quadrato, superficie commerciale, numero di camere, presenza o meno di un ascensore, tipo di cucina se condivisa o privata, il piano a cui si trova l'abitazione e l'anno di costruzione dell'edificio.

Mentre per la percezione del crimine si è scelto di prendere le informazioni ottenute dai sondaggi fatti alle vittime di reati invece di utilizzare statistiche ufficiali per i crimini; questi sono stati redatti dal consiglio comunale del-

la città di Barcellona. Le informazioni ottenute dalle vittime di reati alla persona o alla proprietà tendono a colmare il problema che hanno i verbali delle forze dell'ordine, questi sono manchevoli molte volte di un'approfondita analisi dell'accaduto, mentre tendono a essere brevi e concisi. Inoltre, i resoconti delle vittime raccontano anche tutti quei crimini che non sono stati denunciati e quindi non sono presenti negli archivi ufficiali delle forze dell'ordine.

Da queste informazioni sono state ottenute delle variabili che mirano a riflettere la percezione di un livello di sicurezza o di insicurezza da parte delle vittime. La prima variabile misura il livello di sicurezza nel proprio quartiere. Alle persone che hanno partecipato al sondaggio è stato chiesto di dare un voto da 0 a 10 in base a quanto si sentivano sicuri nel quartiere in cui vivono, valori bassi indicano una bassa sicurezza percepita dall'intervistato mentre un valore alto indica una maggiore sicurezza percepita all'interno del proprio quartiere. La seconda variabile è la percezione della criminalità ed è costruita come il rapporto tra la sicurezza media percepita nella città nel suo complesso e il livello di sicurezza percepito come meno (o più) sicuro rispetto al resto della città. Pertanto, valori maggiori (minori) di 1 indicano che il quartiere è percepito come meno (più) sicuro rispetto al resto della città. La differenza tra il livello di sicurezza nel quartiere e quello nel resto della città è determinata dalle diverse esperienze che possono essersi verificate nei due territori. Tali esperienze sono influenzate dalla percezione dello spazio e delle persone. Il quartiere è conosciuto, e i residenti riconoscono luoghi e persone, rendendo possibile un'appropriazione collettiva. Tuttavia, il resto della città è percepito come un territorio sconosciuto, dove l'appropriazione dello spazio e, in particolare, delle relazioni umane può incontrare maggiori difficoltà. In linea di principio, assoceremmo alti livelli di criminalità a livello di quartiere con bassi valori di sicurezza e valori di percezione della criminalità superiori a 1.

I risultati dello studio dimostrano con coerenza che la percezione del cri-

mine esercita un impatto negativo sui prezzi delle abitazioni, considerando in particolare il valore edonico legato alla posizione delle proprietà. In altre parole, quando i residenti percepiscono una maggiore presenza di criminalità in un'area, il valore degli immobili in quella zona tende a diminuire, riflettendo una minore attrattiva del luogo. Al contrario, una maggiore percezione di sicurezza all'interno di un distretto è associata a un incremento del valore degli immobili, poiché influisce positivamente sulla percezione generale della località e ne accresce l'attrattività.

Questi risultati si mantengono validi anche quando si considerano caratteristiche specifiche del territorio. Tra queste rientrano, ad esempio, il tasso di immigrazione e il livello di spesa pubblica locale. Inoltre, le analisi sulle variabili connesse all'immigrazione, che risultano statisticamente significative, suggeriscono l'esistenza di un "effetto richiamo," secondo cui la presenza di immigrati contribuisce ad aumentare i prezzi delle abitazioni, probabilmente per via della domanda aggiuntiva che essi generano.

E' da considerare che questi risultati sono validi per il territorio di Barcellona, o comunque più in generale per il territorio preso in esame dallo studio, guardando quei determinati dati, in quel determinato arco temporale. Estendere questi ragionamenti ad altri territori senza un'approfondita analisi dei dati e del territorio è sbagliato, se non addirittura controproducente. Per questo le conclusioni a cui arrivano tutti gli studiosi e i ricercatori nei propri articoli di ricerca sono supportati da una profonda analisi econometrica dei dati.

Quindi lo studio arriva alle conclusioni dette precedentemente. Le stime prodotte suggeriscono inoltre che il crimine ha implicazioni che vanno oltre i suoi costi diretti. In particolare, un miglioramento di una deviazione standard nella percezione della sicurezza del quartiere si traduce in un aumento dello 0,57% nella valutazione complessiva del distretto. Questo dato evidenzia il peso significativo della percezione soggettiva del crimine, non solo sul valore immobiliare, ma anche sul benessere personale e collettivo.

Trovare una misura oggettiva per la sicurezza di una determinata zona non è compito facile, gli autori dell'articolo intitolato "The impact of community safety on house ranking" [18] sono riusciti nell'impresa di creare un modello in grado di classificare una serie di abitazioni, trovando in questo modo le abitazioni che si trovano in zone più sicure. E' sicuramente un metodo innovativo per inferire il livello di sicurezza della comunità, analizzando le evidenze di crimini comunitari provenienti da dati storici ricchi di informazioni spazio-temporali.

Per capire al meglio gli impatti della sicurezza della comunità sul valore degli immobili, i dati considerati in questo studio sono i dati storici sui crimini, in particolare le effrazioni nelle abitazioni, o più comunemente i furti in casa. Questi dati rappresentano una risorsa estremamente preziosa per l'obiettivo preposto, per molteplici motivi: questa tipologia di crimine costituisce una minaccia diretta per le abitazioni, per le persone che abitano queste abitazioni e per il quartiere stesso. Inoltre, i furti nelle abitazioni sono comunemente diffusi in tutte le aree, forniscono un numero discreto di casi storici che possono essere usati per estrapolare preziosi dati e infine si può avere una misura della gravità del furto stimando il valore dei beni rubati. Grazie a queste informazioni si possono estrapolare dei dati utili alla modellizzazione del problema, sono state identificate due categorie di evidenze discriminanti sui crimini. La prima si basa sulla gravità del crimine, indagando le perdite materiali causate da diversi tipi di furti in abitazione. La seconda categoria si basa sulla correlazione temporale e si concentra sul susseguirsi di crimini in un determinato periodo. Questa correlazione temporale dei crimini riflette un fenomeno importante: più crimini sono fatti nella stessa zona in un arco di tempo ristretto maggiore è il livello di criminalità effettivo. Sulla base di queste serie si possono estrarre evidenze per rilevare correlazioni temporali, evidenze di dimensione della serie di crimini, durata della serie e gravità della serie.

Grazie a questi dati più che stimare un indice o comunque l'effetto che la

criminalità ha sul valore delle case, si è scelto di creare un modello di classificazione per analizzare gli impatti sulla sicurezza della comunità. Poiché gli investitori, gli utenti finali, ma in generale tutti gli attori che partecipano al mercato immobiliare sono generalmente più interessati a confrontare le abitazioni piuttosto che conoscere il loro valore esatto, classificare le case dal punto di vista della sicurezza della comunità può aiutarli a distinguere quelle a basso valore dalle altre di alto valore.

Pertanto, è stato identificato un classificatore orientato alla sicurezza delle abitazioni (HSA, House Safety-Aware), che combina tutte le caratteristiche estratte sulla sicurezza della comunità per classificare le abitazioni in base al loro valore. Inoltre, sono state integrate caratteristiche distintive del profilo delle case, come il reddito del quartiere, il rating delle scuole nelle vicinanze e l'anno di costruzione dell'abitazione, per migliorare la comparabilità delle case nelle classificazioni pair-wise, con l'obiettivo di aumentare la precisione della classificazione basata sulle caratteristiche di sicurezza.

Quanto sopra vuole fornire un'idea di massima delle basi su cui si fonda il modello creato per cercare di chiarire il problema iniziale, molti altri modelli creati in passato utilizzano il metodo dei prezzi edonici per trarre delle conclusioni statisticamente significative, qui, invece, gli autori hanno scelto di creare un modello proprio per rispondere al quesito iniziale. Differentemente dal modello dei prezzi edonici questo modello è estremamente complesso e articolato, poiché richiede l'integrazione di molteplici variabili spaziali, temporali e socio-economiche per poter definire una misura oggettiva del livello di sicurezza di un quartiere. Pertanto, questo studio è introdotto principalmente a scopo descrittivo, con l'obiettivo di evidenziare la complessità e le sfide intrinseche nell'identificazione di una misura oggettiva della sicurezza. Ciò sottolinea quanto sia arduo il compito di sviluppare un modello in grado di rappresentare in modo accurato la realtà di un determinato contesto urbano.

Gli autori cercano di creare un modello che possa essere usato per qualsiasi

area o quartiere, quindi i passi successivi descrivono brevemente il modello matematico costruito. Per definire il problema utilizzano ovviamente delle informazioni relative alle abitazioni che si vuole esaminare. Si ha un insieme I di abitazioni $H = \{h_1, h_2, \dots, h_I\}$ dove ogni casa ha la sua posizione, posizione rilevata grazie alle coordinate di latitudine e longitudine, e il loro corrispondente valore $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_I\}$ dove y_i indica il valore del prezzo al metro quadro della casa h_i . Oltre a questi dati si ha bisogno anche delle caratteristiche come il reddito medio degli abitanti del quartiere, la qualità del servizio offerto dalle scuole nelle vicinanze e l'anno di costruzione della casa.

Infine, sono analizzati i dati storici completi sui furti in abitazione nell'area, dove ogni episodio è descritto da una terna (loc, add, t) , che rappresenta la posizione geografica, l'indirizzo specifico e il timestamp dell'evento. L'obiettivo è classificare un insieme di abitazioni di test in ordine crescente rispetto al loro valore, sfruttando le informazioni storiche sui furti. Per affrontare questo compito, si è scelto un framework in due fasi: nella prima, estrazione ed aggregazione delle evidenze dei crimini nella comunità per apprendere la sicurezza della comunità delle diverse case dai dati storici sui crimini, nella seconda fase si classificano le case incorporando gli impatti della sicurezza della comunità.

Successivamente si crea il metodo per analizzare i furti in abitazione utilizzando due caratteristiche dei dati raccolti: la gravità del crimine e la correlazione temporale. E' presentato un esempio in cui sono raccolti crimini storici attorno a una casa per formare una sequenza di crimini, che è poi utilizzata per valutare la sicurezza della comunità. L'analisi delle evidenze si basa sulla valutazione delle case vittimizzate dai furti (dove una casa più valutata può comportare una maggiore perdita) e sulla correlazione temporale, cioè come l'orario e i giorni della settimana influenzano la probabilità di furto. In particolare, è introdotto un concetto di "entropia temporale" per misurare la fiducia dei ladri in determinati intervalli di tempo, considerando

gli orari in cui le persone sono più propense a non essere a casa. Il sistema proposto utilizza queste evidenze per classificare e prevedere la gravità dei furti.

Un livello di entropia temporale maggiore suggerisce un intervallo di tempo più sicuro per i possibili ladri, perché la probabilità che i residenti della casa non siano presenti nell'abitazione è elevata. D'altro canto un'entropia temporale più bassa indica un intervallo di tempo meno sicuro, durante il quale è meno probabile che gli occupanti siano fuori casa. Pertanto, si deduce la gravità di un furto in base all'entropia dell'intervallo di tempo in cui si è verificato. Se un furto si è verificato durante un intervallo di tempo ad alta entropia, è molto probabile che possa causare maggiori danni, poiché i ladri possono prendersi più tempo per cercare oggetti di valore e hanno meno probabilità di essere scoperti.

Cercando di trovare una correlazione temporale tra i furti si osserva che talvolta esistono delle serie temporali. Per abitazioni che hanno un basso valore si osserva che molti furti tendono a concentrarsi temporalmente, mentre nelle case di valore normale si nota che i crimini sembrano essere svolti in maniera molto più indipendente perché non ci sono periodi di tempo in cui si concentrano numerosi crimini. In criminologia questo fenomeno prende il nome di "near-repeat" cioè ripetizioni ravvicinate, solitamente i furti che si verificano nella stessa area in un intervallo di tempo breve sono molto probabilmente commessi dagli stessi criminali. Questa preferenza dei ladri a tornare nella stessa zona più volte in un lasso breve di tempo è un fattore estremamente indicativo sulla sicurezza della zona stessa. Quindi una maggiore correlazione temporale dei crimini porta a una peggiore sicurezza della comunità locale. In aggiunta a ciò anche le caratteristiche proprie della serie di crimini è un importante fattore da considerare: la dimensione della serie di crimini, cioè il numero di crimini in una serie, oppure la lunghezza della serie misura la durata nel periodo in cui tutti questi crimini si verificano. Se una serie dura a lungo ciò significa che la zona è promettente per i ladri.

Tutte queste specifiche sono aggregate nel modello. Le evidenze legate alla gravità del crimine sono estratte dalla sequenza di crimini di una casa, mentre quelle relative alla correlazione temporale derivano dalle serie di ripetizioni ravvicinate. Per ogni casa, si crea un vettore di caratteristiche di sicurezza della comunità, che è calcolato sommando le evidenze per ciascun tipo di crimine o serie. Infine, è introdotto il modello chiamato House Safety-Aware (HSA), che utilizza queste caratteristiche per classificare le case in base al livello di sicurezza della comunità.

Il modello proposto vuole prevedere il valore di una casa utilizzando un vettore di caratteristiche di sicurezza della comunità e un vettore delle caratteristiche del profilo della casa. L'obiettivo è addestrare una funzione che stimi il valore della casa, che dipende da un vettore di pesi e da un termine di errore, il quale segue una distribuzione gaussiana.

La funzione obiettivo proposta considera sia l'accuratezza della previsione del valore della casa sia la coerenza del ranking delle case. L'accuratezza della previsione del valore è modellata usando una distribuzione normale, mentre la coerenza del ranking è modellata utilizzando probabilità di coppie di case, assicurando che le case siano classificate correttamente.

In sintesi, il modello mira a prevedere correttamente sia il valore che il ranking delle case, considerando accuratamente entrambe le dimensioni (valore e posizione nel ranking) in modo congiunto.

Il profilo della casa è integrato nella coerenza del ranking per migliorare la previsione del valore delle abitazioni. Se due abitazioni hanno molte differenze nel loro profilo, come grandezza, anno di costruzione, la sicurezza della comunità potrebbe non influire tanto quanto queste differenze proprie delle abitazioni. Per risolvere questo inconveniente gli autori pesano diversamente le coppie di case in base alle loro caratteristiche. Questo per tenere conto quando si prende una coppia di case e la si vuole confrontare per poi inserirle nel ranking; le coppie di case simili avranno un impatto maggiore sulla probabilità di ranking, mentre le coppie molto diverse influenzano poco

il ranking.

La probabilità finale dei dati osservati combina la previsione del valore delle case con quella del loro ranking, considerando anche la somiglianza tra le case.

In sintesi, il modello bilancia accuratamente l'influenza del profilo della casa e della sicurezza della comunità nel ranking delle case, migliorando la previsione complessiva.

Tutto questo per dare un'idea di come possa essere difficile scostarsi dai metodi tradizionali, come il modello dei prezzi edonici, e cercare di creare un metodo nuovo che possa migliorare approfondendo il tema.

Mentre gli articoli che indagano la qualità dell'aria utilizzano molto più spesso analisi statistiche tramite modelli consolidati. Un esempio è l'articolo prima citato "Does air quality matter? Evidence from the housing market", è evidenziato come l'inquinamento atmosferico rappresenti una variabile cruciale nel determinare il valore delle proprietà immobiliari.

Gli autori sfruttano la struttura del Clean Air Act per fornire nuove prove sulla capitalizzazione dell'inquinamento atmosferico da TSP nei valori immobiliari. Prima del 1970 quasi nessuno considerava il fatto di dover regolamentare l'inquinamento atmosferico. Di fatti il Clean Air Act è stato uno dei provvedimenti che hanno aperto la strada alla sensibilizzazione sul tema. Il congresso americano promulgando questo emendamento ha stabilito delle regole federali che dovevano essere rispettate da ogni stato della federazione. La legislazione richiede all'EPA di assegnare annualmente a ciascuna contea lo status di non-conformità (nonattainment) o conformità (attainment) per ciascun inquinante, sulla base del superamento o meno dello standard rilevante. Lo standard federale per i TSP (particolato sospeso totale) è violato se uno dei due limiti è superato: la concentrazione media geometrica annuale supera i $75 \text{ mg}/\text{m}^3$ oppure la seconda concentrazione giornaliera più alta supera i $260 \text{ mg}/\text{m}^3$.

Le modifiche al Clean Air Act richiedono ai 50 stati di sviluppare e applli-

care programmi locali di riduzione dell'inquinamento atmosferico che garantiscano che ogni loro contea raggiunga gli standard. Nelle contee in non conformità, gli stati sono obbligati a sviluppare regolamentazioni specifiche per ogni impianto che rappresenti una fonte importante di inquinamento. Tuttavia, per migliorare la qualità dell'aria e rendere una zona "nonattainment" una zona conforme ai limiti imposti sono necessari numerosi investimenti. Nel 1977 per migliorare l'emendamento fatto precedentemente la legislazione ha reso le regolamentazioni specifiche per gli impianti sia legge federale che statale, conferendo all'EPA l'autorità legale per imporre sanzioni agli stati che non applicano le normative in modo rigoroso e agli impianti che non le rispettano. Grazie a questo miglioramento della legge si vide concretamente che il particolato sospeso diminuì molto di più nelle zone che venivano riconosciute come non a norma, rispetto alle zone in cui i livelli di particolato sospeso erano sotto valori critici.

La stima coerente della curva dei prezzi edonici è estremamente difficile, poiché potrebbero esserci fattori non osservati che covariano sia con l'inquinamento atmosferico sia con i prezzi delle abitazioni. Ad esempio, le aree con livelli più elevati di TSP tendono a essere più urbanizzate e a presentare redditi pro capite più alti, densità di popolazione maggiori e tassi di criminalità più elevati. Di conseguenza, le stime trasversali del gradiente tra prezzo delle abitazioni e qualità dell'aria potrebbero essere gravemente distorte a causa di variabili omesse.

Il problema della specificazione errata ha ricevuto scarsa attenzione da parte dei ricercatori empirici, nonostante fosse stato riconosciuto dallo stesso Rosen. Tuttavia, il Clean Air Act potrebbe rappresentare una soluzione quasi sperimentale per analizzare la relazione tra i prezzi delle abitazioni e i livelli di TSP.

Come sopra evidenziato lo studio si basa su due principali dataset, i valori degli immobili presenti nelle contee osservate e i dati relativi alla concentrazione di particolato sospeso presente nell'aria di queste stesse zone. Lo studio

si concentra sul periodo di tempo 1970-1980. I dati sull'inquinamento atmosferico sono stati utilizzati per un motivo ben preciso, ovvero identificare se una zona avesse dei livelli di particolato sospeso inferiori o superiori ai livelli critici normati nel Clean Air Act. In caso di zone con concentrazione di particolato sospeso al di sopra dei valori soglia queste zone sono etichettate come "non a norma" (nonattainment), mentre le altre sono categorizzate come zone "a norma" (attainment).

La variabile di risultato principale è il logaritmo del valore mediano delle unità abitative occupate dai proprietari nella contea. Le variabili di controllo includono caratteristiche demografiche e socioeconomiche, caratteristiche del quartiere, variabili fiscali/tributarie e caratteristiche delle abitazioni.

Inoltre dai dati analizzati si vide che nel periodo 1969-1990 la qualità dell'aria delle aree sotto osservazione migliorò drasticamente. La maggior parte della riduzione complessiva del particolato sospeso si è verificata in due periodi distinti. Mentre i cali degli anni '70 corrispondono con l'implementazione delle CAAA (Clean Air Act Amendments) del 1970, i miglioramenti successivi si sono verificati durante la recessione del 1981-82. Quando le fabbriche ad alta emissione situate nella Rust Belt hanno chiuso permanentemente a causa della recessione, la qualità dell'aria in queste aree è migliorata in modo sostanziale.

Le contee con misurazioni continue dei monitor dal 1967 al 1975 sono suddivise in base al loro stato regolatorio nel 1972, il primo anno in cui le CAAAs sono entrate in vigore.

Prima delle CAAAs, le concentrazioni di TSPs sono circa $35 \mu g/m^3$ più alte nelle contee non conformi. I modelli temporali delle serie storiche pre-regolazione dei due gruppi sono praticamente identici. Dal 1971 al 1975, tuttavia, il gruppo di contee non conformi nel 1972 ha registrato una notevole riduzione di $22 \mu g/m^3$ nei TSPs, mentre le contee conformi hanno visto una riduzione di soli $6 \mu g/m^3$, in linea con il loro trend pre-1972. Questo implica che l'intero calo nazionale dei TSPs dal 1971 al 1975 è attribuibile

alle normative.

E' dimostrato che lo stato di non conformità di metà anni '70 è anch'esso associato a riduzioni nelle concentrazioni di TSPs. Qui, le contee sono divise tra quelle non conformi nel 1975 o nel 1976 (o in entrambi gli anni) e quelle conformi in entrambi gli anni. Le concentrazioni di TSPs sono rappresentate per le 414 contee con monitoraggio annuale continuo dal 1970 al 1980.

Le concentrazioni medie di TSPs diminuiscono di circa $17 \mu g/m^3$ in entrambi i gruppi di contee tra il 1970 e il 1974. Mentre le contee non conformi del 1975–76 sono più propense a essere state non conformi anche nel 1972, ciò suggerisce che, almeno in relazione ai trend preesistenti, le contee conformi possono costituire un controfattuale valido per quelle non conformi. Tra il 1974 e il 1980, le concentrazioni medie di TSPs diminuiscono di $6,3 \mu g/m^3$ nelle contee non conformi e aumentano di $4,1 \mu g/m^3$ nelle contee conformi. Di conseguenza, lo stato di non conformità di metà decennio è associato a un miglioramento relativo di circa $10 \mu g/m^3$ nei TSPs.

Le contee non conformi hanno registrato riduzioni più significative dei TSP, in particolare per concentrazioni iniziali moderate ($65\text{--}85 \text{ mg}/m^3$). Tuttavia, le riduzioni sono minori in contee con livelli di TSP molto elevati ($> 90 \text{ mg}/m^3$), indicando una risposta regolatoria maggiore in aree meno inquinate. Mentre per i prezzi delle abitazioni lo status di non conformità è associato a un aumento dei prezzi tra 0,02 e 0,04 punti logaritmici, suggerendo che la riduzione dell'inquinamento ha migliorato il valore immobiliare.

In sintesi, il non essere conformi nel 1975 ha influenzato positivamente sia la qualità dell'aria che i prezzi delle abitazioni, confermando l'efficacia delle normative del Clean Air Act e mostrando come il miglioramento ambientale attragga residenti sensibili alla qualità dell'aria.

Quindi in conclusione lo status di nonattainment è associato a una significativa riduzione dell'inquinamento da TSPs e a un aumento dei prezzi delle abitazioni a livello di contea. Quando lo status di nonattainment è utilizzato come variabile strumentale per le concentrazioni di TSPs, si rileva che l'ela-

sticità dei valori immobiliari rispetto alle concentrazioni di particolato varia tra -0,20 e -0,35. Questi valori di elasticità riflettono quanto, in media, le persone siano disposte a pagare (marginalmente) per una riduzione dell'inquinamento atmosferico, cioè per avere un'aria più pulita. È un'indicazione della disponibilità a pagare (willingness to pay) per un beneficio ambientale.

2 Capitolo Secondo – Descrizione dei dataset

In questo capitolo sarà illustrato il processo di costruzione dei dati utilizzati per la redazione della presente tesi, questi si basano su due principali fonti.

I dati relativi al valore degli immobili sono stati ottenuti dal sito ufficiale dell'Agenzia delle Entrate italiana [8]. In particolare, l'Agenzia fornisce le quotazioni per le Zone OMI (Osservatorio del Mercato Immobiliare), che suddividono il comune di Torino in numerose zone, queste organizzate in fasce, utilizzate per monitorare e analizzare il mercato immobiliare. I dati sono organizzati per anno e semestre, permettendo di tracciare con precisione le variazioni dei valori immobiliari nel tempo, dal 2016 al 2023.

I dati relativi agli incidenti stradali sono stati organizzati per zona, sono stati integrati con i dati immobiliari per consentire un'analisi congiunta. L'integrazione dei due dataset è stata effettuata tramite un software esterno, che ha permesso di aggregare le informazioni in un unico database coerente. Sebbene i dettagli tecnici di questo processo vengano descritti successivamente, è fondamentale sottolineare come questa operazione abbia costituito la base per l'analisi proposta, che mira a identificare correlazioni significative tra la sicurezza urbana e le dinamiche del mercato immobiliare.

2.1 Descrizione del dataset OMI

Il dataset OMI cioè il database contenente i valori immobiliari della città di Torino dal 2016 al 2023 è stato costruito partendo dai dati disponibili dal sito dell'Agenzia delle Entrate. Come prima operazione, sono stati scaricati i file dal sito dell'Agenzia delle Entrate, questi, in formato "csv" (Comma Separated Value), contengono dati specifici relativi alla compravendita di immobili per ogni anno, semestre e sono relativi a diverse tipologie di immobili. Ogni file fornisce una serie di informazioni dettagliate, tra cui la suddivisione del comune di Torino nelle zone OMI, i prezzi di vendita minimi e massimi al metro quadro, e le caratteristiche degli immobili: come la tipologia e quella

prevalente per ciascuna zona. I prezzi minimi e massimi riportati si riferiscono a una determinata tipologia di immobile (ad esempio, abitazioni civili) e a una specifica zona OMI. Ogni dato è inoltre correlato a un preciso semestre e anno, garantendo così una panoramica dettagliata e aggiornata per ciascun periodo di riferimento.

Utilizzando lo strumento Power Query messo a disposizione da Excel è stato possibile unire tutti questi file csv in un unico database ottenendo così una prima versione del database a cui successivamente sono state aggiunte le informazioni sugli incidenti.

Il dataset contiene 5.444 osservazioni e 30 colonne, i dati riguardano il mercato immobiliare della città di Torino. Le informazioni sono così organizzate:

- Dati geografici e amministrativi: comprendono informazioni sulla regione, la provincia, il comune e microzone specifiche.
- Caratteristiche immobiliari: includono tipologia, stato degli immobili e valori di compravendita (minimo, massimo e medio).

Dal sito dell'Agenzia delle Entrate oltre a questi file di tipo "csv", è stato possibile scaricare un file del formato "kml" (Keyhole Markup Language) contenente i perimetri delle zone OMI di interesse per il comune di Torino. Questo file permette di localizzare le zone OMI in un sistema di riferimento del tipo WGS84 (World Geodetic System 1984). Il quale definisce una superficie matematica della Terra per rappresentare posizioni in coordinate geografiche, le posizioni sono rappresentate usando latitudine e longitudine in gradi decimali o sessagesimali. Oltre che dai software GIS (Geographic Information System) è utilizzato da GPS e per la cartografia digitale. Le zone sono rappresentate tramite dei poligoni, questi sono costruiti ognuno utilizzando le coordinate spaziali di ogni vertice.

Grazie a QGIS, un software open source per i Sistemi Informativi Geografici, è stato possibile gestire, analizzare e visualizzare questi dati in modo

semplice ed efficace. In generale, QGIS è un software che consente di lavorare con mappe, modelli di terreno, reti stradali, edifici e molti altri dati spaziali, integrandoli con informazioni aggiuntive per analisi avanzate. Il software supporta diversi formati di dati, sia vettoriali che raster, permettendo di sovrapporre livelli informativi, effettuare misurazioni, creare mappe personalizzate e applicare strumenti di analisi geografica. Grazie alla sua flessibilità e alla vasta gamma di plugin disponibili, QGIS è utilizzato in diversi ambiti, dalla pianificazione urbana alla gestione ambientale, fino all'analisi territoriale e alla cartografia digitale.

Nel'immagine 4 è rappresentata la suddivisione in fasce e zone del comune di Torino effettuata dall'Agenzia delle Entrate. Si distinguono le varie fasce in cui è diviso il comune di Torino: il territorio è suddiviso in quattro fasce distinte, ogni fascia è rappresentata dalla sfumatura di un determinato colore. In particolare, la fascia B corrispondente alle zone centrali della città è rappresentata dalle sfumature del colore rosso, mentre la fascia C dal colore giallo, la fascia D dal blu, e la fascia comprendente i territori collinari dal colore grigio. All'interno delle fasce si distinguono le varie zone OMI caratterizzate ognuna da una tonalità diversa del colore della fascia.

Grazie ad una prima analisi di queste informazioni è stato possibile rappresentare i trend che hanno avuto le principali caratteristiche di interesse, in particolare si è scelto di indagare i trend temporali relativi al prezzo medio al metro quadro per un particolare tipo di immobile, gli immobili così descritti "Abitazioni civili" che si trovano nello stato così descritto "Normale".

Si è voluto rappresentare l'andamento dei prezzi delle "Abitazioni civili" per numerosi motivi ma soprattutto perché sono la tipologia di immobile più esemplificativa per il nostro compito.

Le "Abitazioni civili" rappresentano la tipologia di immobile residenziale più diffusa nelle zone OMI e rientrano generalmente nella categoria catastale A/2. Si tratta di unità abitative destinate principalmente a prima o seconda casa, caratterizzate da una qualità costruttiva media, con materiali

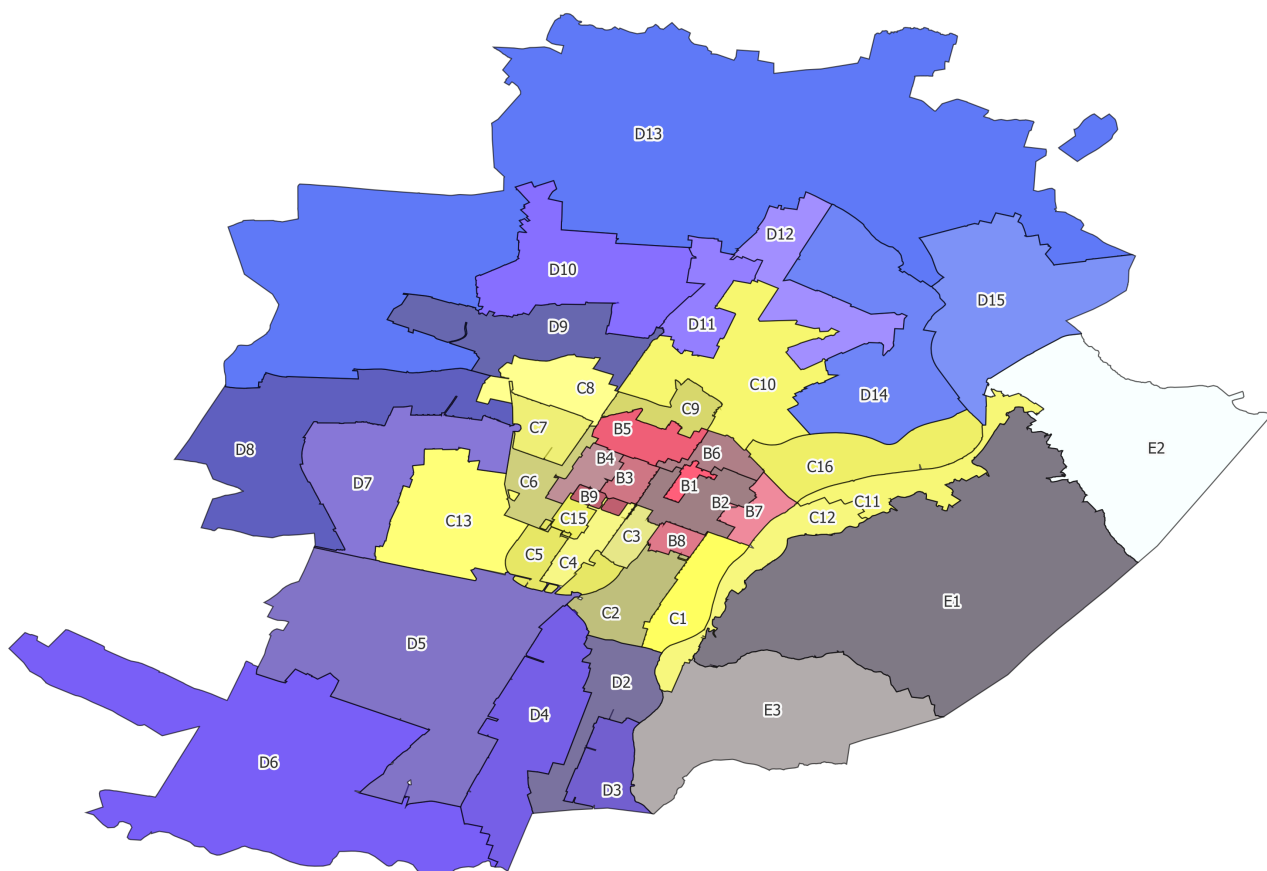


Figura 4: Rappresentazione del territorio comunale di Torino suddiviso in fasce e zone OMI (fonte: Agenzia delle Entrate [8])

e finiture standard e impianti tecnologici adeguati, seppur privi di elementi di pregio. Questi immobili possono trovarsi in condomini, palazzine o case indipendenti, con una superficie variabile tra 50 e 150 mq. Sono tipicamente collocati in tessuti urbani misti, dalle periferie ai centri cittadini, in contesti a densità abitativa media o alta. Le dotazioni possono includere balconi, terrazzi, cantine o box auto, ma generalmente non dispongono di ampi spazi verdi privati come le ville. Inoltre, le abitazioni civili si trovano spesso in edifici con ascensori e aree comuni come cortili o giardini condominiali. Sul

piano economico, presentano un valore di mercato medio, con un buon equilibrio tra domanda e offerta, e un rendimento locativo stabile. Rispetto ad altre categorie catastali, si distinguono dalle abitazioni economiche (A/3), che presentano qualità inferiore e finiture più modeste, e dalle abitazioni signorili (A/1), che si caratterizzano per un livello qualitativo superiore e una collocazione in zone di pregio.

Tuttavia, ci sono numerose altre tipologie di immobili nel dataset, è possibile avere un'idea più completa leggendo l'appendice B in cui sono descritti tutti i campi del database e vengono descritte tutte le tipologie di immobili presenti nello stesso.

L'assegnazione della tipologia di immobile nelle zone OMI avviene attraverso criteri standardizzati utilizzati dall'Agenzia delle Entrate, basati sulle caratteristiche catastali, urbanistiche e di mercato della zona di riferimento. Questo per specificare che per rappresentare graficamente l'andamento dei prezzi medi al metro quadro di una tipologia di immobile si è scelto di rappresentare i prezzi relativi alle "Abitazioni civili" nello stato "Normale".

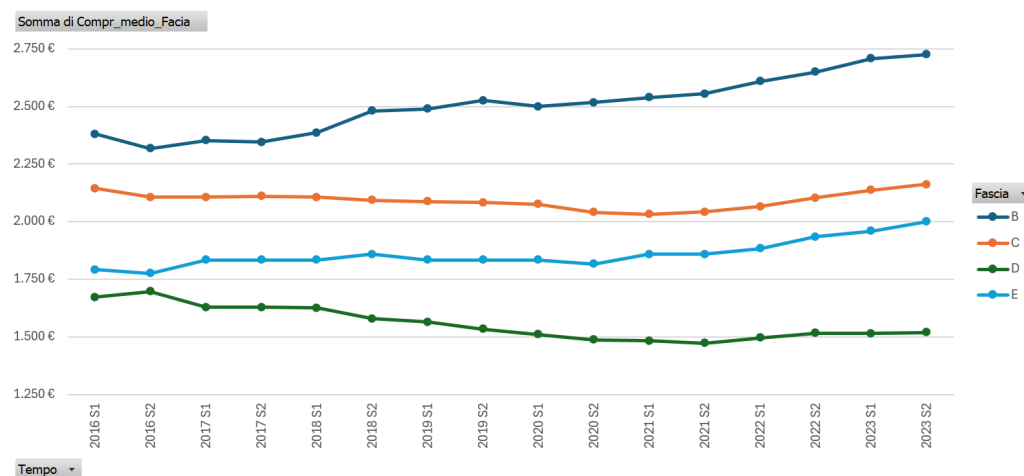


Figura 5: Andamento del prezzo di vendita medio (euro al metro quadro) per le "Abitazioni civili" delle fasce OMI (fonte: dataset OMI)

La figura 5 mostra l'andamento temporale del prezzo medio di vendita

al metro quadro delle abitazioni civili nelle diverse fasce OMI di Torino dal 2016 al 2023. Per le abitazioni civili facenti parte della fascia B il prezzo è aumentato costantemente nel tempo, con un'accelerazione più marcata a partire dal 2020. Questo suggerisce una domanda crescente per le zone di pregio o centrali, probabilmente legata a una maggiore attrattività del mercato immobiliare in queste aree. L'andamento del prezzo medio di vendita delle abitazioni civili per la fascia C, corrispondente alle zone adiacenti al centro della città, è stato relativamente stabile fino al 2020, con un leggero calo. Dal 2021 si osserva una ripresa dei prezzi, suggerendo una rivalutazione di queste zone. Mentre per la fascia D si assiste a un andamento in controtendenza rispetto ai precedenti, l'andamento è stato prevalentemente decrescente dal 2016 fino al 2021, segnalando una possibile riduzione dell'attrattività di queste aree o un eccesso di offerta rispetto alla domanda. Dal 2021 in poi, la tendenza si stabilizza, suggerendo un possibile assestamento del mercato. Infine, per la fascia E, corrispondente al territorio collinare di Torino, il grafico mostra un andamento oscillante con una crescita più evidente negli ultimi anni. Questo potrebbe indicare un maggiore interesse verso zone periferiche o meno costose, forse a causa di dinamiche come smart working, accessibilità economica o interventi di riqualificazione urbana. Dal grafico è evidente che il mercato immobiliare torinese sembra aver subito una fase di stabilizzazione tra il 2018 e il 2020, per poi avere una ripresa dal 2021 in poi, in particolar modo nelle fasce corrispondenti a zone più importanti e centrali per la città. La fascia D è l'unica con un trend chiaramente decrescente fino al 2021, segnalando una minore attrattività o una maggiore offerta rispetto alla domanda.

Per spiegare meglio questi andamenti di seguito sono descritte brevemente le fasce OMI della città di Torino. Mentre nell'appendice C sono rappresentati i grafici relativi all'andamento del prezzo medio di vendita di un metro quadro sempre per le abitazioni civili, questo per mostrare che c'è stato uno studio approfondito dei dati, ma questi grafici essendo di difficile lettura sono

messi in appendice per non appesantire il discorso.

La fascia B rappresenta e identifica le zone centrali della città. Queste zone sono caratterizzate da un'elevata densità edilizia e da una forte presenza di attività commerciali, direzionali e residenziali di pregio. Si tratta delle aree storiche e più rappresentative del tessuto urbano torinese, dove si trovano edifici di valore architettonico, palazzi d'epoca e immobili destinati a funzioni amministrative, finanziarie e culturali. Questa fascia include quartieri come il Centro Storico, e alcune porzioni di Crocetta, San Salvario e Vanchiglia, che godono di un'elevata accessibilità, grazie alla presenza di importanti assi viari, stazioni ferroviarie come Porta Nuova e Porta Susa, e una rete di trasporto pubblico ben sviluppata. Il mercato immobiliare in queste aree è generalmente caratterizzato da prezzi al metro quadro più alti rispetto ad altre fasce OMI, con una forte domanda sia per uso residenziale che per investimenti destinati alla locazione o ad attività commerciali. Dal punto di vista urbanistico, la fascia B si caratterizza per la presenza di piazze, portici, musei e istituzioni culturali, elementi che ne aumentano l'attrattività. Tuttavia, l'elevata densità edilizia e la limitata disponibilità di spazi verdi possono influire sulla qualità della vita, rendendo queste aree più trafficate rispetto alle zone residenziali periferiche. Sul piano sociale, la fascia B ospita luoghi di grande rilievo per la vita cittadina, tra cui numerosi poli universitari e attività commerciali legate alla movida torinese.

Dall'analisi dei dati si vede che le zone che hanno avuto una crescita significativa dei prezzi sono quelle zone che caratterizzano più delle altre il centro storico di Torino. La zona B1 chiamata comunemente "Roma" copre la più importante e prestigiosa via del centro storico di Torino, partendo subito dopo la stazione ferroviaria di Porta Nuova la zona B1 copre interamente la celebre "Via Roma" e Palazzo Carignano. La zona B2 subito antecedente alla zona B1 è caratterizzata dalla presenza della stazione ferroviaria Porta Nuova, la quale ha visto completarsi nel 2016 un enorme lavoro di ristrutturazione della facciata che sicuramente ha portato a un miglioramento estetico

della stazione, ma anche dell'intera area. La zona B6 è la zona in cui si erge la famosa Piazza Castello, con le vecchie residenze reali dei Savoia. Infine, la zona B7 comprende un'ampia area centrale che è caratterizzata più di tutto da Piazza Vittorio Veneto, con i suoi 35.000 metri quadri di estensione e portici annessi su tutti i lati del perimetro è la piazza porticata più grande d'Europa, una delle più grandi in generale. Viceversa, la zona B8 comunemente nota come San Salvario ha mantenuto dei prezzi decisamente inferiori rispetto alle altre zone della stessa fascia. Ci potrebbero essere vari fattori che spiegano la differenza di crescita dei prezzi nelle diverse zone di Torino, inclusi fattori economici, urbanistici e sociali. La zona B8 include quartieri che, rispetto alle zone B1 e B2, sono meno densamente urbanizzati e con meno infrastrutture di valore storico o commerciale. Si tratta di una zona residenziale che, pur avendo alcuni punti di interesse, è meno centrale e meno vicina a aree vitali dal punto di vista economico e turistico.

La fascia C include principalmente aree che si trovano nelle zone adiacenti al centro storico di Torino, ma che sono comunque relativamente ben collegate al centro tramite i mezzi pubblici e le principali arterie stradali. Zone come Borgo San Paolo, Crocetta e San Salvario possono rientrare in questa fascia in base alla specifica suddivisione delle zone OMI. Queste aree offrono una buona accessibilità alla città, ma non sono nel cuore pulsante del centro storico o nelle zone più ricercate. La fascia C è caratterizzata da una predominanza di edifici residenziali, ma comprende anche aree miste con presenza di piccole attività commerciali, uffici e zone industriali dismesse o in transizione. Questi quartieri possono includere sia abitazioni moderne che edifici più datati, con una varietà di tipologie abitative. Sono generalmente ben servite da trasporti pubblici, ma meno rispetto alle zone centrali. Le principali arterie stradali e le linee della metropolitana raggiungono queste aree, ma il livello di connettività può variare da quartiere a quartiere. Inoltre, sono generalmente ben dotate di scuole, negozi, parchi, e altre infrastrutture di base. Tuttavia, potrebbero esserci alcune aree con una minore presenza

di servizi di fascia alta o di grande attrazione commerciale. I prezzi immobiliari nelle zone di fascia C sono mediamente inferiori rispetto a quelli delle zone centrali o delle aree di fascia A e B. Tuttavia, queste zone offrono un buon compromesso tra prezzo e qualità della vita, poiché sono più accessibili economicamente pur offrendo buoni collegamenti con il resto della città. Molti quartieri della fascia C sono stati oggetto di iniziative di riqualificazione urbana, con progetti di rinnovamento che hanno migliorato la qualità delle infrastrutture, la sicurezza e l'attrattività complessiva.

La fascia D del Comune di Torino comprende aree che si trovano nelle periferie più lontane dal centro e che sono generalmente meno sviluppate rispetto alle zone di fascia B e C. Queste zone sono meno centrali, con una minore densità di servizi, infrastrutture e attrattività economica, ma offrono vantaggi in termini di prezzi più contenuti, maggiore disponibilità di spazi e una qualità della vita potenzialmente più tranquilla. Alcuni quartieri che rientrano in questa fascia potrebbero includere zone come Pozzo Strada, Parella, Mirafiori, Le Vallette, Regio Parco, Barriera di Milano, Sangone, e altre aree meno centrali. Le zone della fascia D sono generalmente caratterizzate da un mix di edilizia residenziale, spesso con una maggiore prevalenza di edifici più datati o di edilizia popolare. Queste aree tendono a essere meno densamente urbanizzate rispetto alle zone più centrali. Inoltre, includono molto spesso aree industriali dismesse o a bassa intensità, e una minore presenza di attività commerciali rispetto alle zone più centrali. Ciò significa che molte di queste aree sono meno dinamiche economicamente. Sono queste zone il target perfetto per essere soggette a progetti di riqualificazione urbana o miglioramento infrastrutturale, soprattutto in vista di un aumento della domanda abitativa nelle aree periferiche. Basti pensare ai quartieri come Mirafiori, oppure il quartiere Spina 3 corrispondente alla zona comunemente detta "Dora".

Le zone della fascia E sono le zone collinari di Torino, in particolare vicine a Villa della Regina, Superga e Cavour. Rappresentano alcune delle

aree più esclusive e panoramiche della città. Queste zone offrono una qualità della vita elevata grazie alla loro bellezza naturale, tranquillità e affaccio sulla città, pur rimanendo relativamente vicine al centro urbano. Le zone limitrofe a Villa della Regina includono una combinazione di ville storiche, abitazioni signorili, e residenze private. Le strade che portano verso la collina sono spesso strette e sinuose, e l'urbanizzazione è meno densa rispetto alle aree centrali, ma le residenze sono di alta qualità. L'architettura delle ville e delle case è spesso caratterizzata da stili storici, con giardini ben curati e ampi terreni. La zona di Superga è meno densamente popolata rispetto al centro città. Si compone principalmente di ville e residenze unifamiliari, alcune delle quali sono molto grandi e risalgono a epoche passate. È una zona principalmente residenziale, con una bassa concentrazione di attività commerciali, ma è ben servita da vie di comunicazione che la collegano facilmente al resto di Torino. Le case spesso godono di ampi giardini e spazi esterni. Mentre Cavoretto è un quartiere prevalentemente residenziale, con ville e appartamenti in condomini di qualità.

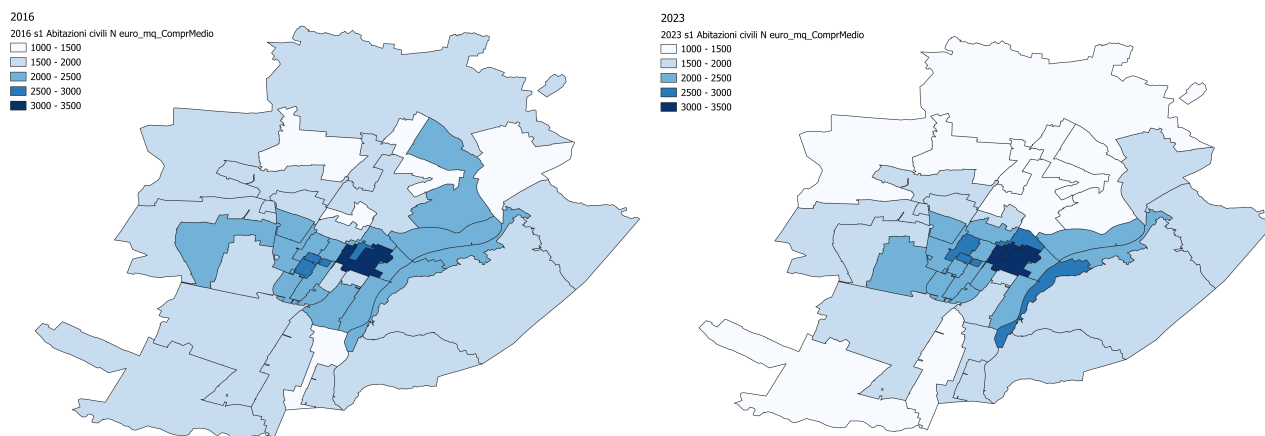


Figura 6: Zone OMI Torino, indagine sul prezzo di un metro quadro per "Abitazioni civili" (fonte: dataset OMI)

Infine, per concludere questo sottocapitolo dedicato al dataset OMI, la

figura 6 mostra un'analisi visiva del territorio di Torino, suddiviso per fasce di prezzo medio di vendita degli immobili nei due anni considerati: 2016 e 2023. Le mappe, generate con QGIS, evidenziano un'evoluzione dei valori immobiliari, con un rafforzamento del mercato nelle zone centrali e semi-centrali, mentre le aree più periferiche hanno registrato un generale calo di valore nel periodo analizzato.

2.2 Descrizione del dataset Incidenti

Dopo aver strutturato i dati riguardanti le informazioni delle zone immobiliari di Torino, l'attenzione è stata spostata su gestire le informazioni riguardanti gli incidenti stradali avvenuti nel comune di Torino, durante lo stesso periodo di tempo, dal 2016 al 2023. Queste informazioni sono state gentilmente fornite dal professore, il quale ha creato questo database in un precedente lavoro. Questo database contiene una collezione di sinistri stradali avvenuti nel territorio di Torino, ogni incidente è registrato descrivendo il luogo, la data e l'ora dell'accaduto. Oltre a queste informazioni, per ogni incidente registrato, sono fornite anche il numero di feriti e deceduti.

Caricando questa serie di punti su QGIS è stato possibile identificare le zone OMI in cui è avvenuto l'incidente, così da aggiungere a ogni sinistro stradale l'informazione necessaria per unire i due database, cioè la zona OMI. Successivamente, questi dati sono stati aggregati per semestre e per anno. Ottenendo così il numero di incidenti stradali, il numero di feriti e il numero dei decessi, per ogni zona, per ogni semestre dal 2016 al 2023. Infine, questo database è stato unito al database relativo alle informazioni immobiliari, utilizzando come chiave primaria di join il campo "Zona", ovviamente tenendo sempre conto dell'anno e del semestre.

Il risultato è stato quello di ottenere un database di 5.444 osservazioni e 36 colonne, avendo sia i dati relativi al mercato immobiliare di Torino, sia i dati relativi ai sinistri stradali, entrambi relativi agli anni 2016-2023.

Grazie a queste informazioni è stato possibile rappresentare i trend che hanno avuto le principali caratteristiche di interesse, di seguito è riportato l'andamento del numero di incidenti per ogni fascia OMI dal 2016 al 2023.

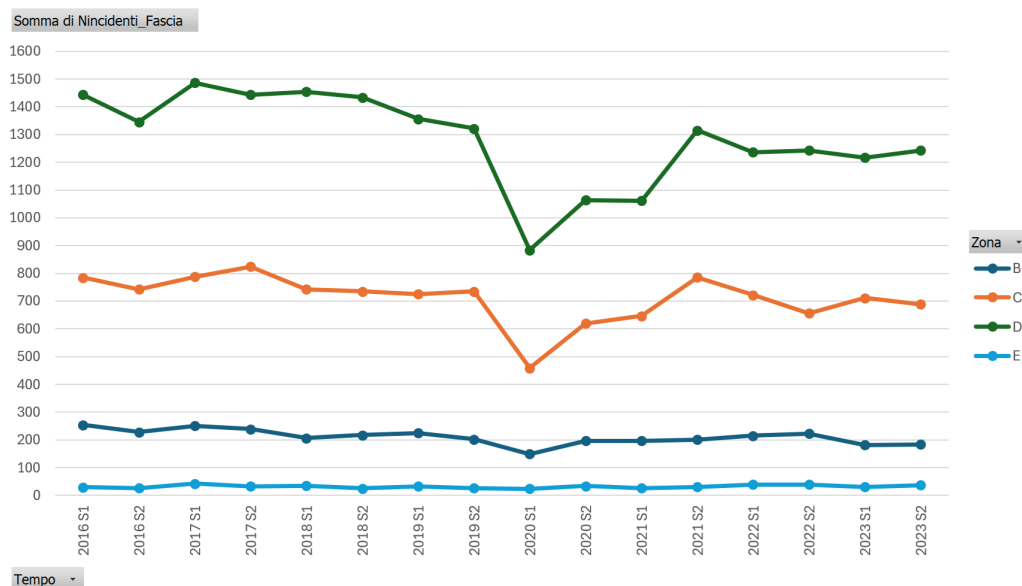


Figura 7: Andamento del numero di incidenti per fasce (fonte: dataset OMI)

Nella figura 7 è rappresentato l'andamento semestrale del numero di incidenti nelle diverse fasce di Torino dal 2016 al 2023. Nell'appendice C sono riportati in dettaglio i grafici che mostrano l'andamento del numero di incidenti di ogni zona OMI suddivisi per fasce.

Si vede come la fascia B è la fascia con meno incidenti stradali questo perché essendo una zona centrale alcune zone sono chiuse al traffico in certi orari, sono zone a traffico limitato, ma più in generale la fascia B comprende zone caratterizzate da strade strette quindi non altamente trafficate. In particolare si può vedere come le zone B1 e B9 sono le zone che sistematicamente rilevano meno incidenti, perché la zona B1 è costituita da Via Roma la quale per metà è chiusa al traffico, inoltre, il comune di Torino sta pensando, in questi anni, di chiudere al traffico anche l'altra metà. La zona B9 invece è la

zona Crocetta che si affaccia davanti al Politecnico di Torino, la quale include una vasta area pedonabile chiusa al traffico per i non residenti. Al contrario, le fasce D e C registrano il maggior numero di incidenti, essendo tra le aree più trafficate della città e attraversate dalle principali arterie stradali.

Nel grafico presente nella figura 7 ha un andamento particolare, si osserva una netta diminuzione del numero di incidenti nel primo semestre del 2020 in tutte le fasce. Questo calo non è casuale, ma è direttamente riconducibile al periodo di lockdown imposto tra il 9 marzo e il 3 maggio dello stesso anno. Le restrizioni alla mobilità e la permanenza forzata in casa hanno infatti determinato una riduzione significativa degli incidenti stradali durante quel semestre.

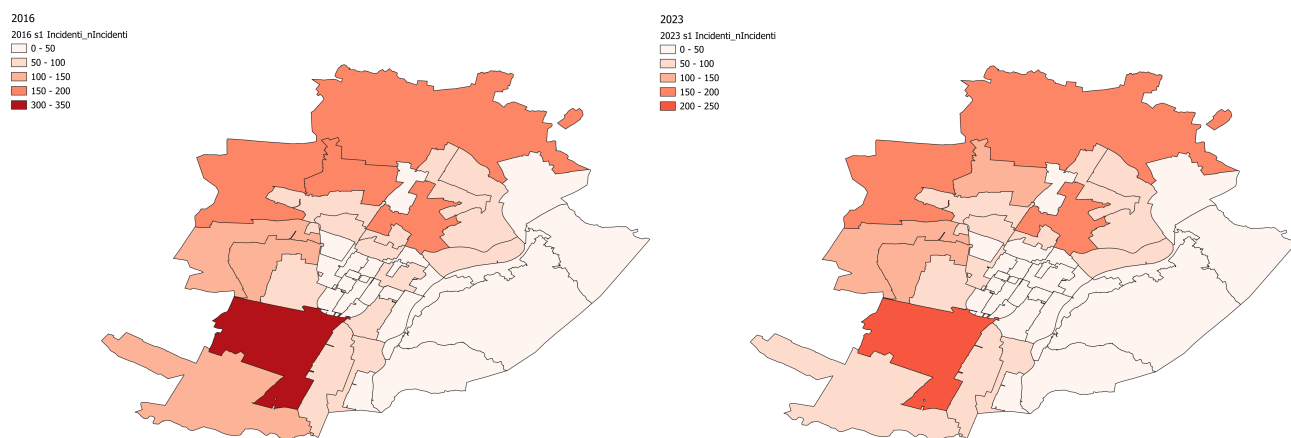


Figura 8: Zone OMI Torino, indagine sul numero di incidenti stradali (fonte: dataset OMI)

Infine, per concludere questo sottocapitolo dedicato al dataset sugli incidenti stradali, la figura 8 mostra un'analisi visiva del territorio di Torino focalizzandosi sul numero di incidenti nei due anni considerati: 2016 e 2023.

3 Capitolo Terzo - Analisi dei dati

Dopo aver introdotto il tema e analizzato il processo di costruzione del database, il passo successivo consiste nell'utilizzare tale database per verificare l'esistenza di una relazione tra le variabili di interesse. Vogliamo descrivere questa relazione attraverso una retta di regressione. Indagando questa relazione attraverso il metodo di regressione lineare possiamo così trovare due importanti informazioni, fondamentali per l'analisi statistica. In primo luogo il segno della pendenza della retta di regressione ci dirà se c'è una relazione positiva o negativa. Il valore quantitativo, cioè la stima del parametro della regressione che ci indica la pendenza, invece, ci dirà quanto varia il prezzo degli immobili se il numero degli incidenti aumenta.

Per prima cosa dobbiamo stimare il parametro che identifica la relazione tra X e Y utilizzando il metodo dei minimi quadrati ordinari (Ordinary Least Squares, OLS). Il metodo ha come obiettivo quello di trovare la linea che meglio si adatta ai dati, minimizzando la somma dei quadrati degli errori (le differenze tra i valori osservati e quelli stimati dal modello). Trovato il parametro che spiega la relazione tra X e Y poi si deve verificare che la pendenza sia diversa da zero. Deve essere fatta la verifica dell'ipotesi nulla, che dice che la pendenza è zero. Se la pendenza è zero, cioè se fosse vera l'ipotesi nulla allora significa che non c'è una relazione tra X e Y . Tuttavia, prima di applicare il modello ai dati, è meglio spiegare ulteriormente qual è l'obiettivo del modello e formalizzare la spiegazione.

Ipotizziamo una prima forma della nostra retta di regressione, volendo sapere se il valore delle abitazioni delle zone di interesse sia influenzato dal numero di incidenti; questa è la variabile che rappresenta la sicurezza per i cittadini. Potremmo scrivere una retta di regressione in questo modo:

$$Y_{t,k,i} = \beta_0 + \beta_1 X_{t,i} + A_{t,k,i} + u_i \quad (1)$$

Nel nostro caso, la variabile dipendente è il prezzo al metro quadro di

un determinato immobile, mentre la variabile indipendente è il numero di incidenti. Tuttavia, i valori che assumono queste variabili cambiano: i prezzi cambiano nel corso del tempo, in base alla tipologia di immobile e in base alla zona, mentre il numero di incidenti può variare in base al periodo di tempo preso in esame e alla zona. Per questo motivo, nella retta di regressione presentata ci sono questi pedici sulle variabili. I pedici sulle variabili significano che quella determinata variabile varia su n fattori. Il pedice "t" significa che la variabile varia in funzione del tempo, mentre il pedice "k" sta a significare che il prezzo al metro quadro di un determinato immobile varia in base alla tipologia dell'immobile. Ad esempio, un metro quadro di una tipologia di immobile come un "Box" ha sicuramente un prezzo diverso rispetto a un metro quadro di una "Abitazione signorile". Se si vuole avere un'idea più chiara su quali tipologie di immobili sono presenti all'interno del dataset OMI si veda l'appendice B in cui sono descritti dettagliatamente i campi del dataset. E infine il pedice "i" identifica l' i -esimo valore delle variabili. L'ultima variabile rappresentata nell'equazione dalla lettera A rappresenta un set di variabili binarie, dette anche comunemente variabili dummy; sono quindi variabili che possono valere o "0" o "1". Queste sono importanti da considerare perché rappresentano delle variabili che stimano l'effetto di condizioni fisse. Ad esempio, è comune che nella città di Torino le zone centrali, avendo una valenza storica in primo luogo e in secondo luogo un prestigio particolare, questo fattore fa sì che solo perché siano in zone centrali il prezzo sia più alto per magari una stessa tipologia di immobile ma in una zona più periferica. Infine, la variabile u rappresenta la presenza di un errore di regressione o residuo di regressione.

Il metodo di regressione OLS parte dall'analisi di un grafico a dispersione, il quale rappresenta la relazione tra due variabili quantitative, in cui ogni coppia di valori è rappresentata su un piano cartesiano. Analizzando il grafico, si cerca di tracciare una retta che minimizzi, per tutti i punti, la distanza tra il valore effettivo e il punto corrispondente alla proiezione del

valore effettivo sulla retta. Per trovare questa retta si devono trovare i due valori fondamentali, β_0 e β_1 .

Determinare la retta dei minimi quadrati significa individuare una funzione che minimizzi la somma dei quadrati delle differenze tra ciascun valore rilevato e il corrispondente valore teorico individuato sulla funzione interpolante. In altre parole, si vogliono determinare i valori di β_0 e β_1 che minimizzano la somma dei quadrati degli errori (Error Sum of Squares, SSE). Nel caso in esame la retta interpolante la possiamo considerare della forma:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 X$$

Applicare la definizione del metodo dei minimi quadrati vuol dire costruire una funzione:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{y})^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - (b_0 + b_1 X_i))^2$$

Per trovare i valori ottimali di β_0 e β_1 , si calcolano le derivate parziali della funzione SSE rispetto a β_0 e β_1 , ponendole uguali a zero e risolvendo il sistema di equazioni risultante, otteniamo le formule di stima:

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

Una volta stimati β_0 e β_1 , si ottiene la retta di regressione che meglio interpola i punti. Questa è la spiegazione teorica del metodo dei minimi quadrati per trovare la retta di regressione.

Affinché le stime ottenute con il metodo dei minimi quadrati siano affidabili e permettano di trarre conclusioni corrette, è necessario che siano soddisfatte alcune assunzioni fondamentali. Queste ipotesi garantiscono la

validità del modello e la correttezza delle inferenze statistiche. Di seguito, vengono analizzate nel dettaglio.

La prima assunzione dei minimi quadrati è che la distribuzione condizionata di u_i data X_i abbia media nulla. Questa assunzione è una formalizzazione matematica riguardante gli “altri fattori” contenuti in u_i e afferma che questi altri fattori non sono legati a X_i nel senso che, dato un valore di X_i , la media della distribuzione di questi altri fattori è pari a zero. Se una variabile casuale ha media condizionata nulla data un'altra variabile casuale, allora le due variabili casuali hanno covarianza nulla e sono perciò incorrelate. Per questo motivo, l'assunzione circa la media condizionata $E(u_i|X_i) = 0$ implica che X_i e u_i siano incorrelati, ovvero $\text{corr}(X_i, u_i) = 0$.

La seconda assunzione dei minimi quadrati è che $(X_i, Y_i), i = 1, \dots, n$, sono indipendentemente e identicamente distribuite (i.i.d.). Questa è una formalizzazione matematica del modo in cui viene estratto il campione. Se le osservazioni sono estratte con campionamento casuale semplice da un'unica ampia popolazione, allora $(X_i, Y_i), i = 1, \dots, n$, sono i.i.d.

La terza assunzione degli OLS è che i momenti quarti di X_i e u_i siano non nulli e finiti o, equivalentemente, che i momenti quarti di X_i e Y_i siano non nulli e finiti. Questa assunzione limita la probabilità di selezionare un'osservazione con valori estremamente elevati di X_i e u_i . Se dovessimo estrarre un'osservazione con X_i o Y_i estremamente elevati, ovvero con X_i o Y_i molto lontani dalla regione in cui si trova il grosso dei dati, questa osservazione riceverebbe grande rilevanza in una regressione OLS e questo renderebbe fuorvianti i risultati della regressione.

Infine, l'ultima condizione necessaria del modello dei minimi quadrati è che i residui devono avere varianza costante in corrispondenza di ciascun valore di X , cioè devono essere omoschedastici. L'errore di regressione u_i è omoschedastico se la varianza della distribuzione condizionata di u_i data X_i , $\text{var}(u_i|X_i = x)$, è costante per $i = 1, \dots, n$ e in particolare non dipende da X ; altrimenti, l'errore è eteroschedastico. L'eteroschedasticità degli errori è

una condizione indesiderata, poiché implica che la varianza di u_i dipende dai valori di X_i .

Se le assunzioni dei minimi quadrati sono soddisfatte e, in aggiunta, gli errori sono omoschedastici, allora gli stimatori OLS $\hat{\beta}_0$ e $\hat{\beta}_1$ risultano essere i più efficienti tra tutti gli stimatori lineari in $Y_1, \dots, Y_n$ che sono anche non distorti, condizionatamente a $X_1, \dots, X_n$.

Di conseguenza, tra tutti gli stimatori non distorti che rappresentano medie ponderate di $Y_1, \dots, Y_n$, quelli ottenuti tramite il metodo OLS presentano la varianza minima. In altre parole, sotto queste condizioni aggiuntive, gli stimatori OLS $\hat{\beta}_0$ e $\hat{\beta}_1$ sono i migliori stimatori lineari non distorti, noti con l'acronimo BLUE (Best Linear Unbiased Estimators). Questo risultato è formalizzato nel teorema di Gauss-Markov.

VARIABLES	(1) Modello 1.1	(2) Modello 1.2	(3) Modello 1.3	(4) Modello 2.1	(5) Modello 2.2	(6) Modello 2.3
Incidenti.n.incidenti	0.0004** (0.0002)			0.0004** (0.0002)		
Incidenti.feriti		0.0002* (0.0001)			0.0002* (0.0001)	
Incidenti.FeritiPerIncidente			0.0056 (0.0046)			0.0047 (0.0047)
Observations	5,444	5,444	5,444	5,444	5,444	5,444
R-squared	0.9262	0.9262	0.9262	0.9662	0.9662	0.9662
Tempo FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Cod_tip FE	YES	YES	YES			
Zona FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES

Tabella 1: Le regressioni presentate mettono in evidenza la relazione tra le variabili indipendenti, in questo caso il numero di incidenti, il numero di feriti per incidente e il rapporto feriti per incidente, con la variazione percentuale del valore degli immobili. Sono presenti due versioni della regressione, divise nei due modelli, che hanno effetti fissi diversi. Errori standard robusti raggruppati per Zona_Classe tra parentesi. *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$.

Una prima analisi è stata condotta con i dati a nostra disposizione cercando una relazione tra gli incidenti stradali e i feriti derivanti da questi incidenti, con il logaritmo del prezzo degli immobili. La tabella 1 presenta

questa prima analisi dei dati. Nella tabella sono riportate sei regressioni: in queste sei regressioni vengono identificati due modelli diversi. Il primo modello, in cui sono racchiuse le prime tre regressioni, differisce dal secondo solo perché vengono considerati effetti fissi diversi. La presenza degli effetti fissi di "Tempo" e "Cod_tip" indica che sono stati controllati gli effetti non osservabili che potrebbero variare nel tempo e tra le varie tipologie di immobili.

Nei modelli 1.1 e 2.1, la variabile "Incidenti.n_incidenti" ha un coefficiente significativo di 0.0004 con un errore standard di 0.0002. Questo significa che un aumento di un'unità nel numero di incidenti è associato a un aumento del 0,04% nella variabile dipendente, con un livello di significatività del 95%.

Nei modelli 1.2 e 2.2, la variabile "Incidenti.feriti" ha un coefficiente significativo di 0.0002, con un errore standard di 0.0001. Questo suggerisce che un aumento del numero di feriti è associato a un aumento del 0,02% nella variabile dipendente, con un livello di significatività del 90%.

Nei modelli 1.3 e 2.3, il coefficiente di "Incidenti.FeritiPerIncidente" non è significativo, con i valori di p ben superiori a 0,10. Questo significa che non c'è evidenza statistica di un legame tra il numero di feriti per incidente e la variabile dipendente in questi modelli.

Approfondendo l'analisi dei dati possiamo cercare di indagare gli effetti che hanno queste variabili "Incidenti.n_incidenti" e "Incidenti.feriti" sulle varie tipologie di immobili. Per questo motivo approfondiamo la nostra analisi con la tabella 2.

In questa tabella è mostrato l'effetto che il numero di incidenti ha sulla variazione percentuale del prezzo degli immobili, questi sono divisi per categoria di immobile. Si vede dalla tabella che gli effetti cambiano per tipologia di immobile, soprattutto per le Abitazioni Civili, come per i Negozi, i coefficienti non sono statisticamente significativi, mentre per Box e Uffici c'è una relazione piccola ma positiva però poco significativa, perché l'intervallo di confidenza è del 90%. Mentre, per quanto riguarda la tipologia di

VARIABLES	(1) Abitazioni Civili	(2) Box	(3) Uffici	(4) Negozi	(5) Ville e Villini
Incidenti.n_incidenti	0.0002 (0.0003)	0.0006* (0.0003)	0.0007* (0.0004)	0.0003 (0.0004)	-0.0003* (0.0002)
Observations	1,051	616	608	604	176
R-squared	0.7269	0.9687	0.9339	0.9023	0.8460
Tempo FE	YES	YES	YES	YES	YES
Zona FE	YES	YES	YES	YES	YES

Tabella 2: Le regressioni presentate mettono in evidenza la relazione che c'è tra le variabili indipendenti, in questo caso il numero di incidenti con la variazione percentuale del valore degli immobili suddivisi per categoria. Errori standard robusti raggruppati per Zona.Classe tra parentesi. *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$.

immobile denominata Ville e Villini, la relazione è negativa e anche qui poco significativa.

Volendo approfondire l'analisi statistica ci siamo chiesti come poter migliorare il modello per analizzare i dati a nostra disposizione, e abbiamo ipotizzato che questo modello potesse essere affetto dalla distorsione da variabile omessa, e che quindi i risultati ottenuti siano per questo poco significativi. Un'ipotesi molto probabile è che ci sia una variabile omessa che influenza sia il valore degli immobili sia il numero di incidenti stradali, in questo caso la variabile omessa potrebbe essere il fattore del traffico. Questo perché un maggiore traffico stradale porta sicuramente ad un aumento degli incidenti stradali, contemporaneamente un maggiore traffico definisce una zona più importante dal punto di vista sociale per la città, di conseguenza questo è un fattore che influisce direttamente sul valore degli immobili. Al fine di provare che il modello proposto è disturbato da una variabile omessa utilizziamo una variabile strumentale che è correlata con la variabile indipendente ma non con la variabile dipendente. Nel nostro database sono presenti i dati relativi ai T-red che sono strumenti utili alla rilevazione di infrazioni nel traffico stradale. Questo dispositivo è una telecamera utilizzata per il rilevamento del passaggio con semaforo rosso. Si tratta di un sistema di controllo del

traffico che scatta una fotografia a un veicolo che entra in un incrocio dopo che il semaforo è diventato rosso, registrando così l'infrazione del codice della strada, fornendo così una prova legale dell'infrazione presunta. Questa variabile associata ai T-red presenti nella città di Torino potrebbe essere una buona scelta come variabile strumentale, perché sicuramente influenza il traffico e di conseguenza il numero di incidenti, ma ipotizziamo che non abbia effetti diretti sul valore degli immobili nelle zone in cui sono installati questi dispositivi.

Al fine di indagare se questa variabile T-red possa essere una buona variabile strumentale è necessario svolgere degli ulteriori passaggi che ne dimostrino l'efficacia. La distorsione da variabile omessa può essere affrontata in modo diretto, includendo la variabile omessa in una regressione multipla, ma ciò è realizzabile solo se si possiedono dati riguardanti tale variabile. In questo caso questo è impossibile perché non si hanno i dati relativi a questa variabile omessa; di conseguenza, dobbiamo trovare un altro metodo. Se in un ulteriore studio fosse possibile modellizzare il traffico stradale e metterlo in relazione agli incidenti stradali, magari sarebbe possibile capire meglio la relazione che c'è con le variazioni di prezzo degli immobili. Se una soluzione diretta a questi problemi è impraticabile o non disponibile, è necessario allora un nuovo metodo.

La regressione con variabili strumentali (IV, acronimo dall'inglese *Instrumental Variables*) è un metodo generale per ottenere uno stimatore consistente dei coefficienti ignoti della funzione di regressione della popolazione quando il regressore X è correlato con l'errore u . Per comprendere come funziona la regressione IV, si pensi a una variazione in X come costituita da due parti: una parte che, per qualsivoglia ragione, è correlata con u e una seconda parte che è incorrelata con u . Se si avessero informazioni tali da permettere di isolare la seconda parte, ci si potrebbe allora concentrare sulle variazioni in X che sono incorrelate con u e trascurare le variazioni in X che rendono distorte le stime OLS. Questo è, in pratica, ciò che fa la regressione

IV. L'informazione riguardante le variazioni in X che sono incorrelate con u è ottenuta grazie a una o più variabili aggiuntive, dette variabili strumentali o semplicemente strumenti. La regressione con variabili strumentali usa queste variabili addizionali come “strumenti” per isolare le variazioni in X che sono incorrelate con u , il che a sua volta permette di stimare in modo consistente i coefficienti di regressione.

La regressione con variabili strumentali ha una terminologia specifica per distinguere le variabili che sono correlate con l'errore u da quelle che non lo sono. Le variabili correlate con l'errore sono dette variabili endogene, mentre le variabili incorrelate con l'errore sono dette variabili esogene. Una variabile strumentale valida deve soddisfare due condizioni, note come rilevanza dello strumento ed esogeneità dello strumento: rilevanza dello strumento, $\text{corr}(Z_i; X_i) \neq 0$, e esogeneità dello strumento, $\text{corr}(Z_i; u_i) = 0$. Se uno strumento è rilevante, la variazione nello strumento è legata alla variazione in X_i . Se lo strumento è inoltre esogeno, la parte della variazione in X_i catturata dalla variabile strumentale è esogena. Per questo motivo, uno strumento che sia rilevante ed esogeno può catturare movimenti in X_i che sono esogeni. Questa variazione esogena può a sua volta essere usata per stimare il coefficiente β_1 .

Se lo strumento Z soddisfa le condizioni di rilevanza e di esogeneità, il coefficiente β_1 può essere stimato usando uno stimatore IV detto minimi quadrati a due stadi (TSLS, acronimo dall'inglese Two Stage Least Squares).

Il primo stadio scompone X in due parti: una componente problematica che potrebbe essere correlata con l'errore di regressione e un'altra componente priva di problemi che è incorrelata con l'errore. Il secondo stadio utilizza la componente priva di problemi per stimare β_1 . Il primo stadio comincia con una regressione che lega X e Z :

$$X_i = b_0 + b_1 Z_i + v_i$$

La tabella 3 evidenzia il test effettuato per valutare se la variabile "In-

VARIABLES	(1) Incidenti.n_incidenti	(2) Incidenti.feriti	(3) Incidenti.n_incidenti	(4) Incidenti.feriti
Incidenti.tred	-21.8597*** (4.2849)	-21.4998*** (3.6192)	-21.9101*** (4.3881)	-21.5224*** (3.7080)
Observations	5,444	5,444	5,444	5,444
R-squared	0.9674	0.9497	0.9674	0.9497
Tempo FE	YES	YES	YES	YES
Cod_tip FE	YES	YES		
Zona FE	YES	YES	YES	YES

Tabella 3: La regressione presentata è il primo stadio del metodo TSLS. Sono presenti due versioni della regressione che hanno effetti fissi diversi. Errori standard robusti in parentesi. *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$.

cidenti.tred” è un buon candidato come strumento in un’analisi a variabili strumentali. In questo caso la variabile di interesse ”Incidenti.tred” è fortemente correlata con queste variabili endogene, inoltre i coefficienti sono tutti statisticamente significativi a un livello di confidenza del 99%. Quindi il requisito della rilevanza dello strumento è soddisfatto. Per la seconda condizione abbiamo ipotizzato precedentemente che i dispositivi T-red non abbiano effetti sul valore degli immobili nelle zone in cui sono installati. Quindi, si può procedere con la regressione a variabile strumentale per indagare meglio l’effetto che gli incidenti stradali hanno sulla variazione del prezzo degli immobili.

VARIABLES	(1) Effetto medio	(2) Abitazioni Ci- vili	(3) Box	(4) Uffici	(5) Negozi	(6) Ville e Villini
Incidenti.n_incidenti	0.0006 (0.0006)	0.0006 (0.0012)	-0.0001 (0.0014)	0.0014 (0.0028)	0.0016 (0.0016)	-0.0008*** (0.0002)
Observations	5,444	1,051	616	608	604	176
R-squared	0.9662	0.7266	0.9684	0.9332	0.9010	0.8453
Tempo FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Zona FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES

Tabella 4: La regressione presentata è la regressione IV per il numero di incidenti stradali. Errori standard robusti in parentesi. *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$.

VARIABLES	(1) Effetto medio	(2) Abitazioni Ci- vili	(3) Box	(4) Uffici	(5) Negozi	(6) Ville e Villini
Incidenti.feriti	0.0006 (0.0006)	0.0006 (0.0011)	-0.0001 (0.0015)	0.0013 (0.0026)	0.0017 (0.0016)	-0.0010*** (0.0003)
Observations	5,444	1,051	616	608	604	176
R-squared	0.9661	0.7265	0.9684	0.9305	0.9005	0.8436
Tempo FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Zona FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES

Tabella 5: La regressione presentata è la regressione IV per il numero di feriti derivanti dagli incidenti stradali. Errori standard robusti in parentesi. *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$.

Nelle tabelle 4 e 5 sono riportate le regressioni con variabili strumentali. Il risultato ottenuto è interessante, poiché ci saremmo aspettati un effetto negativo anche sulle abitazioni civili. Tuttavia, è possibile che l'impatto del traffico su questa tipologia di immobile sia più complesso. Al contrario, per immobili come Ville e Villini, situati in zone più tranquille e isolate, il traffico ha un'influenza minore sulla relazione tra incidenti e valore immobiliare. Di conseguenza, per questa categoria si osserva un effetto estremamente significativo. Quando si parla di Ville o Villini, ci si riferisce a edifici residenziali indipendenti o semi-indipendenti con spazi verdi privati. Questi possono essere di alta qualità e destinati a una tipologia di residenti di fascia alta, in questo caso si parla di Ville, oppure abitazioni indipendenti di qualità media destinata a clienti di fascia media, in questo caso si parla di Villini.

Nella tabella 4 i risultati delle regressioni con variabili strumentali mostrano che gli effetti di un aumento del numero di incidenti sulle varie tipologie di immobile hanno un effetto non significativo, tranne per le Ville e Villini. In questa ultima tipologia di immobile l'effetto è chiaramente negativo ed estremamente significativo, si ha un livello di confidenza del 99%. Questo coefficiente spiega che per un aumento di un incidente stradale si ha una riduzione del valore degli immobili appartenenti alla categoria Ville e Villini del 0,08%. Sebbene questa variazione possa sembrare modesta, un incremento

di 20 incidenti stradali porterebbe a una diminuzione complessiva del valore di circa 1,6%, evidenziando un impatto non trascurabile su questa tipologia di immobile.

Possiamo estendere lo stesso ragionamento alla tabella 5, dove si vede un ferito in più porta a una diminuzione del valore dell'immobile dello 0,1%. Anche qui, quindi, un aumento di 20 feriti porterebbe a una diminuzione del valore dell'immobile appartenente alla categoria Ville e Villini del 2%.

In conclusione, analizzando i dati a nostra disposizione, le regressioni a variabili strumentali suggeriscono che per la tipologia di immobile Ville e Villini gli incidenti stradali e i feriti causati dagli incidenti abbiano un effetto negativo sul valore degli immobili. Quindi queste regressioni suggeriscono che le prime analisi statistiche siano soggette a una distorsione, causata molto probabilmente da una variabile omessa e che quindi il modello potrebbe essere migliorato magari modellizzando il fattore del traffico e vedendo come interagisce con i dati presenti.

4 Conclusioni

Dallo studio condotto emerge come il mercato immobiliare di una determinata area possa riflettere le preferenze dei residenti non solo in termini di caratteristiche intrinseche degli immobili, ma anche rispetto a beni e servizi che non hanno un mercato diretto. In particolare, fattori come la sicurezza stradale, pur non essendo oggetto di scambio economico diretto, possono influenzare il valore delle proprietà, poiché la loro percezione è incorporata nelle dinamiche di prezzo degli immobili.

Questa tesi si è focalizzata sull'analisi del legame tra sicurezza stradale e valori immobiliari, utilizzando come indicatori il numero di incidenti e il numero di feriti registrati nelle zone oggetto di studio. L'obiettivo è stato comprendere se e in che misura questi fattori possano incidere sulle scelte dei residenti e, di conseguenza, sui prezzi degli immobili.

L'analisi dei dati e i modelli econometrici adottati hanno evidenziato una relazione significativa tra sicurezza stradale e valore degli immobili, in particolare per le categorie di immobili denominate Ville e Villini, che altro non sono che determinate categorie catastali. I risultati suggeriscono che un aumento del numero di incidenti o di feriti tende a determinare una riduzione del valore degli immobili appartenenti a queste categorie. In particolare, tramite regressioni strumentali utilizzando la variabile relativa alla presenza dei T-red in determinate zone, si dimostra che all'aumentare di un incidente stradale o di un ferito si ha una perdita di valore dell'immobile di circa lo 0,1%.

Tuttavia, l'indagine potrebbe essere ulteriormente affinata con l'integrazione di dati aggiuntivi. In particolare, la disponibilità di informazioni sul traffico stradale permetterebbe di valutare se l'assenza di questa variabile abbia introdotto una distorsione nelle stime, influenzando l'interpretazione dei risultati. Un'analisi più approfondita di questo aspetto potrebbe fornire un quadro ancora più preciso della relazione tra incidentalità e valori immobiliari, migliorando l'affidabilità delle conclusioni tratte.

5 Appendici

5.1 Appendice A: Il modello dei prezzi edonici

Il modello dei prezzi edonici rappresenta un'efficace strategia per stimare indirettamente la relazione tra un bene commerciabile, come un'abitazione, e i servizi non commerciabili ad esso associati, come il paesaggio o la qualità dell'aria. Nell'analisi edonica di un bene eterogeneo come l'abitazione, non sono disponibili osservazioni dirette sul prezzo delle sue caratteristiche. Tuttavia, è possibile stimarne il valore analizzando le variazioni osservabili del prezzo del bene commerciabile.

La scelta di un luogo in cui vivere è influenzata dalle preferenze personali, dal reddito familiare e dalla differenza di prezzo delle caratteristiche di ciascun immobile. In questo contesto, il consumatore valuta un mercato implicito, dove beni e servizi sono prodotti, scambiati e consumati in forma di "pacchetti". Al contrario, nei mercati espliciti si osservano direttamente i prezzi e gli scambi dei pacchetti stessi. Nel caso del mercato immobiliare, le proprietà sono scambiate in un unico mercato, ma si tratta di beni eterogenei. Di conseguenza, la domanda abitativa non è modellizzata considerando le abitazioni come unità omogenee, bensì in base alle loro caratteristiche.

A causa della loro natura eterogenea, le proprietà immobiliari non possono essere analizzate utilizzando il tradizionale modello di domanda e offerta impiegato nell'economia standard. Nel mercato immobiliare, infatti, non esiste un unico prezzo per tutte le abitazioni, ma una gamma di prezzi che varia in base alle caratteristiche o alla qualità degli immobili. L'analisi edonica, pertanto, considera i beni eterogenei come insiemi composti da componenti aggregate relativamente omogenee. Sebbene il pacchetto aggregato non abbia un prezzo univoco, le singole caratteristiche che lo compongono possiedono un valore, o almeno una struttura di prezzo comune.

Nell'ambito del modello del prezzo edonico, si assume che l'utilità dei consumatori dipenda dal consumo di un bene differenziato, rappresentato

da un vettore $Z = (z_1, z_2, z_3, \dots, z_n)$, che comprende le caratteristiche strutturali (ad esempio, la superficie costruita, il numero di stanze), e da un vettore $A = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$, che comprende una serie di amenità dell'abitazione trovandosi in una determinata zona (ad esempio, la qualità dell'aria circostante, la vicinanza delle infrastrutture, l'efficienza del servizio pubblico nella zona). Il prezzo del bene è funzione delle sue caratteristiche e delle sue amenità, definendo così la funzione del prezzo edonico:

$$P = P(Z, A)$$

L'equilibrio edonico deriva dal problema di massimizzazione sia dei consumatori che dei produttori, nonché dall'interazione tra questi due agenti economici.

Nel scegliere un luogo in cui vivere, le famiglie, i consumatori, selezionano un vettore A di caratteristiche vantaggiose dell'abitazione e un vettore Z di caratteristiche proprie dell'immobile. Inoltre, decidono l'importo da destinare a un bene composito X , differente dall'abitazione, presente nell'economia. Le famiglie si trovano anche a fronteggiare un vincolo di bilancio Y , che può essere impiegato per le spese abitative o per l'acquisto del bene composito X . La spesa abitativa è funzione del prezzo edonico della proprietà $P(Z, A)$, che misura la relazione di equilibrio tra il prezzo di una proprietà e Z e A . Le famiglie possiedono anche un vettore α di caratteristiche socio-economiche; pertanto, le loro preferenze possono essere rappresentate da una funzione di utilità:

$$U(Z, A, X; \alpha)$$

Il problema di massimizzazione dell'utilità delle famiglie è:

$$\max_{Z, A, X} U(Z, A, X; \alpha) \quad \text{sotto il vincolo} \quad P(Z, A) + X = Y.$$

Dalla soluzione di questo problema si ottiene la funzione di offerta del consumatore $\varphi(Z, A, Y, u; \alpha)$, che rappresenta la disponibilità a pagare (wil-

lingness to pay, WTP) per una proprietà con caratteristiche Z e amenità A , dato un determinato livello di reddito e utilità. La funzione di offerta può essere definita implicitamente come $U(Z, A, Y - \varphi) = u$. Pertanto, se il reddito cambia, anche l'offerta cambierebbe. Inoltre, la derivata della funzione di offerta

$$\frac{\partial \varphi(Z, A, Y, u; \alpha)}{\partial z_i}$$

indica il tasso al quale una famiglia sarebbe disposta a modificare la spesa abitativa, dato un aumento delle caratteristiche e mantenendo costante il livello di utilità.

$$\frac{\partial U(Z, A, X; \alpha)}{\partial z_i} \bigg/ \frac{\partial U(Z, A, X; \alpha)}{\partial x_i} = \frac{\partial P(Z, A)}{\partial z_i} = \frac{\partial \varphi(Z, A, y, u; \alpha)}{\partial z_i}$$

L'equazione stabilisce che il tasso marginale di sostituzione tra una caratteristica della casa z_i e il consumo del bene composito x_i è uguale al prezzo marginale della caratteristica z_i , che a sua volta coincide con la variazione della disponibilità a pagare rispetto a z_i .

Allo stesso modo, il tasso marginale di sostituzione tra un'amenità e il bene composito è uguale al prezzo marginale dell'amenità, che a sua volta è uguale all'offerta marginale per l'amenità.

In sintesi, come risultato del problema del consumatore, nell'ottimo, la pendenza della funzione di offerta equivale al prezzo edonico per ciascuna caratteristica i . Se è possibile osservare (o stimare) il prezzo edonico di una caratteristica, sotto l'ipotesi di massimizzare la propria utilità, questa osservazione ci fornisce informazioni sulle preferenze del consumatore e sulla sua disponibilità a pagare per le amenità dell'unità scelta.

D'altra parte, gli sviluppatori urbani, i produttori, scelgono sia la quantità che il tipo di abitazioni da costruire. La funzione di costo del produttore può essere rappresentata come $C(Z, A, N, \beta)$, dove N è il numero di unità prodotte e β rappresenta un vettore di attributi dei fornitori, come tecnologie

specifiche e altre variabili che descrivono le differenze nelle funzioni di costo tra i diversi fornitori.

Prendendo i prezzi come dati, il problema di massimizzazione del profitto che gli sviluppatori edilizi affrontano è:

$$\max_{Z,A,N} \pi = NP(Z, A) - C(Z, A, N; \beta)$$

Dalla soluzione di questo problema, si ottiene la funzione di offerta $\rho(Z, A, N, \beta)$, che rappresenta il prezzo che un venditore di abitazioni può accettare per un'unità con caratteristiche Z e attributi A .

Dalle condizioni del primo ordine di questo problema di massimizzazione, il prezzo marginale di ciascuna caratteristica deve essere uguale al suo costo marginale. Il livello offerto delle caratteristiche dovrebbe bilanciare il suo prezzo con il costo marginale.

$$\frac{\partial P_Z}{\partial Z_i} = \frac{\partial C}{\partial Z_i}$$

Il set di equilibrio può essere determinato dall'interazione tra consumatori e produttori. Per comprenderlo in modo intuitivo, questa interazione può essere vista come un'asta in cui il produttore offre caratteristiche e il consumatore fa un'offerta per il prezzo di ogni bene differenziato. Da un lato, i consumatori vogliono avere la minore disponibilità a pagare in modo da poter massimizzare la loro utilità. Dall'altro, i produttori massimizzano la loro offerta (il prezzo che accettano) e, facendo ciò, massimizzano i loro profitti. Il mercato riconcilia gli interessi degli agenti evitando che i consumatori aumentino la loro utilità scegliendo un prodotto diverso e le aziende aumentino i loro profitti variando la quantità o la versione del prodotto che forniscono. In equilibrio, le funzioni di offerta e di domanda sono tangenti, e la funzione del prezzo edonico è data dal luogo dei punti di tangenza tra le funzioni di offerta e di domanda.

Gli economisti hanno affrontato alcune difficoltà econometriche nella sti-

ma della funzione del prezzo edonico. Il problema più comune è stato, tra gli altri, la scelta della forma funzionale e delle variabili per evitare problemi di multicollinearità, potenziale eteroschedasticità o la violazione dell'assunzione di normalità del termine casuale. Tutte le considerazioni teoriche sui modelli del prezzo edonico sono ancora oggetto di discussione e ricerca tra gli economisti. Pertanto, la ricerca futura dovrà continuare per affrontare i problemi teorici dei modelli edonici e migliorare non solo la loro capacità predittiva, ma anche la base teorica dei modelli applicati.

5.2 Appendice B: Campi del database OMI completo

In questa appendice sono riportati tutti i campi del database OMI, inclusi i dati sugli incidenti, per offrire una visione completa della struttura e dei valori contenuti. Ogni campo è descritto in dettaglio per garantire una maggiore chiarezza e comprensione del database.

1. Id: codice identificativo nel formato "Zona X, (anno)S(n)", creato per facilitare la ricerca della zona OMI selezionando l'anno di interesse.
2. Anno: numero intero compreso dal 2016 al 2023.
3. Semestre: numero intero che può assumere il valore 1 o 2, corrispondente al primo o secondo semestre dell'anno.
4. Area_territoriale: NORD-OVEST.
5. Regione: PIEMONTE.
6. Prov: TO (Torino).
7. Comune_ISTAT: codice ISTAT del comune di Torino, pari a 001272.
8. Comune_cat: codice catastale del comune di Torino, pari a A1AA.
9. Comune_amm: codice amministrativo del comune di Torino, pari a L219.
10. Comune_descrizione: nome del comune, in questo caso "TORINO".
11. Fascia: suddivisione del territorio comunale in diverse fasce (in questo caso: B, C, D, E).
12. Zona: suddivisione della fascia in zone specifiche (es. D1, D2, ecc).
13. LinkZona: codice identificativo univoco della zona.

14. Cod_Tip: codice numerico che identifica la tipologia di immobile.
15. Descr_Tipologia: descrizione testuale della tipologia di immobile, tra queste:
- (a) Abitazioni civili.
 - (b) Abitazioni di tipo economico.
 - (c) Abitazioni signorili.
 - (d) Autorimesse.
 - (e) Box.
 - (f) Capannoni industriali.
 - (g) Capannoni tipici.
 - (h) Laboratori.
 - (i) Negozi.
 - (j) Posti auto coperti.
 - (k) Posti auto scoperti.
 - (l) Uffici.
 - (m) Ville e villini.
16. Stato: condizione degli immobili nella zona (es. "Normale", "Ottimo").
17. Prevalente: variabile booleana che indica se lo stato riportato nella colonna precedente è quello predominante nella zona.
18. Compr_min: prezzo minimo registrato di compravendita (Euro/mq) nella zona in questo periodo.
19. Compr_max: prezzo massimo di compravendita (Euro/mq) nella zona in questo periodo.

20. Sup_NL_compr: tipo di superficie considerata per la compravendita, distinguendo tra Lorda (L) e Netta (N).
21. Loc_min: prezzo minimo di locazione (Euro/mq) registrato nella zona in questo periodo.
22. Loc_max: prezzo massimo di locazione (Euro/mq) registrato nella zona in questo periodo.
23. Sup_NL_loc: tipo di superficie considerata per la locazione, distinguendo tra Lorda (L) e Netta (N).
24. Zona_Descr: nome comune della zona (es. Pozzo Strada, Crocetta, Roma, ecc).
25. Cod_tip_prev: codice della tipologia di immobile prevalente nella zona.
26. Descr_tip_prev: nome comune della tipologia di immobile prevalente nella zona.
27. Stato_immobili_prev: stato prevalente degli immobili nella zona ("O" per Ottimo, "N" per Normale).
28. Microzona: suddivisione più dettagliata della zona omogenea, generalmente corrispondente alla microzona catastale di riferimento.

5.3 Appendice C: Grafici dettagliati

In questa appendice sono raffigurati i grafici precedentemente esposti ma in maniera più dettagliata, sono riportati di seguito in appendice perché sono grafici di difficile lettura e appesantirebbero il discorso se messi nel corpo centrale.

Di seguito sono mostrati i grafici relativi agli andamenti del prezzo di vendita medio (euro al metro quadro) per le "Abitazioni civili" delle varie fasce OMI di Torino, con un dettaglio relativo alle zone OMI che compongono le varie fasce.

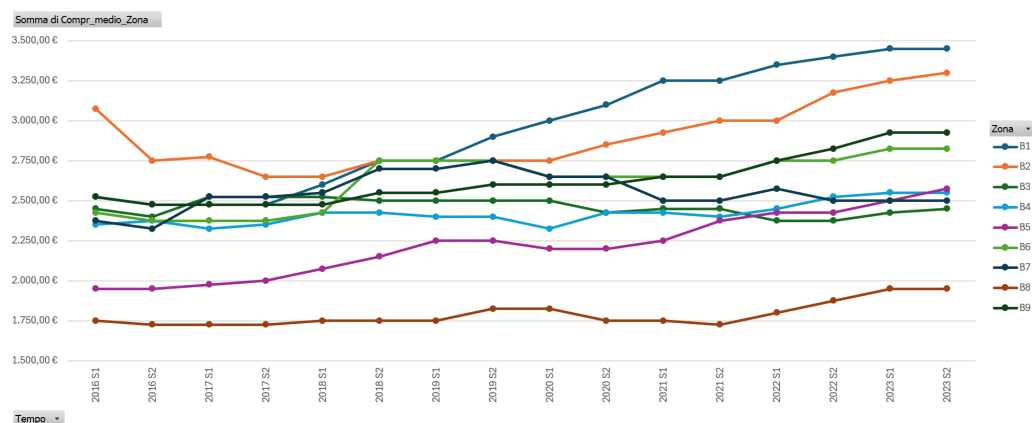


Figura 9: Andamento del prezzo di vendita medio (euro al metro quadro) per le "Abitazioni civili" della fascia B (fonte: dataset OMI)

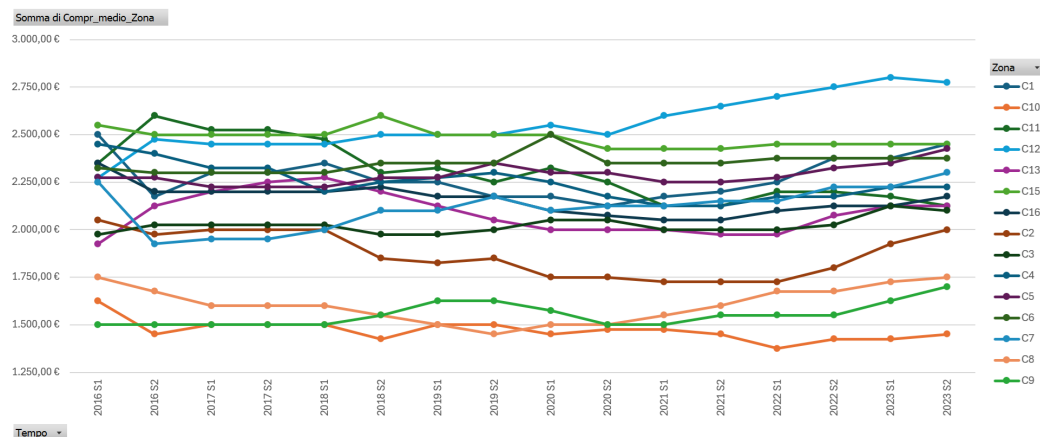


Figura 10: Andamento del prezzo di vendita medio (euro al metro quadro) per le "Abitazioni civili" della fascia C (fonte: dataset OMI)

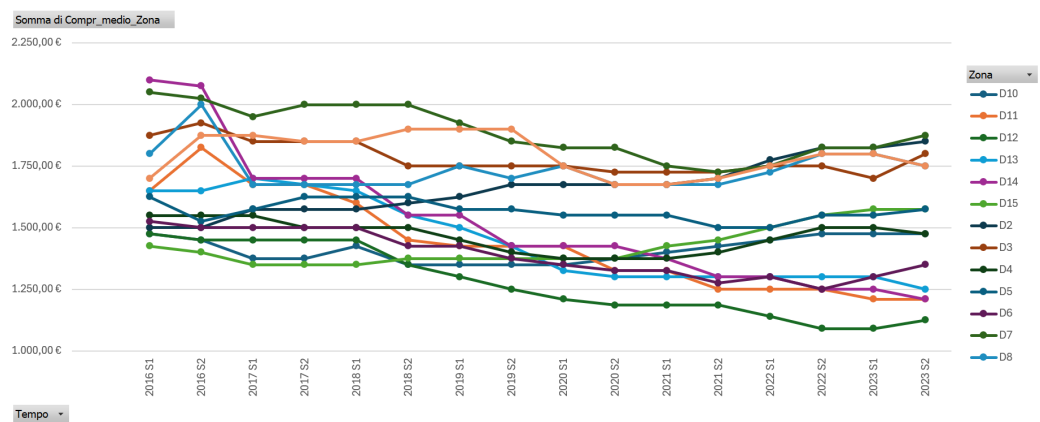


Figura 11: Andamento del prezzo di vendita medio (euro al metro quadro) per le "Abitazioni civili" della fascia D (fonte: dataset OMI)

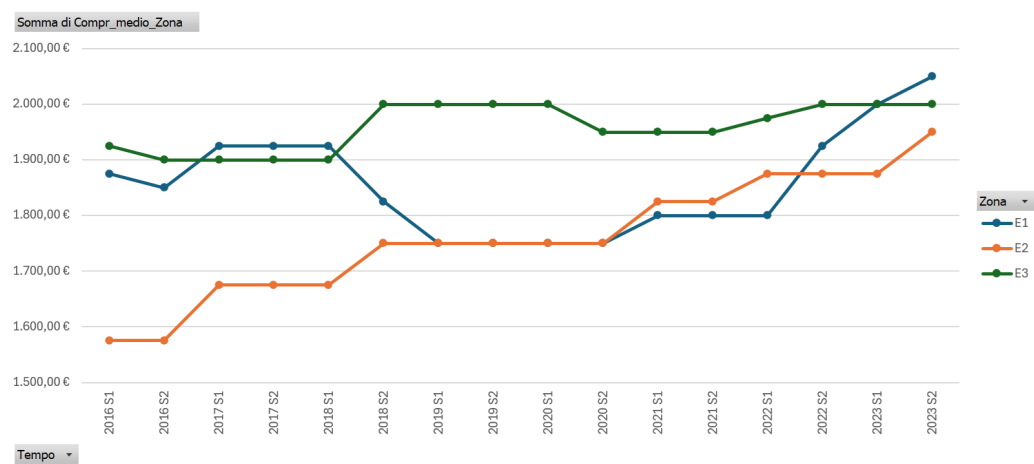


Figura 12: Andamento del prezzo di vendita medio (euro al metro quadro) per le "Abitazioni civili" della fascia E (fonte: dataset OMI)

Infine, sono mostrati i grafici relativi all'andamento del numero di incidenti nelle varie fasce OMI di Torino, con un dettaglio relativo alle zone OMI che compongono le varie fasce.

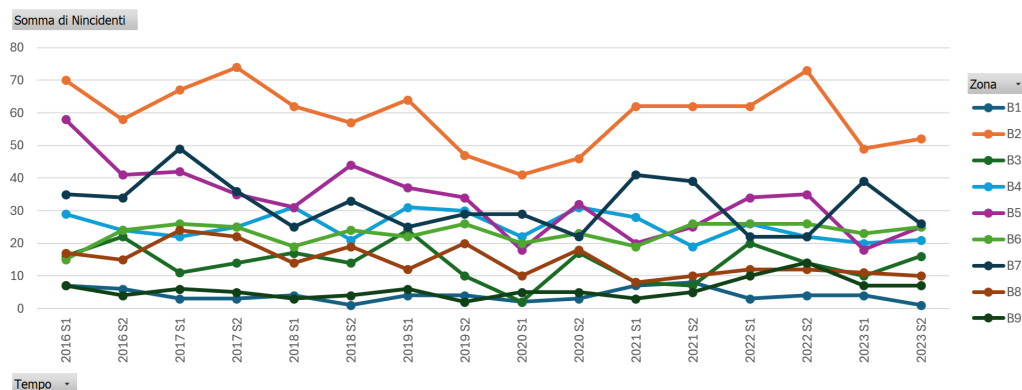


Figura 13: Andamento del numero di incidenti per la fascia B (fonte: dataset OMI)

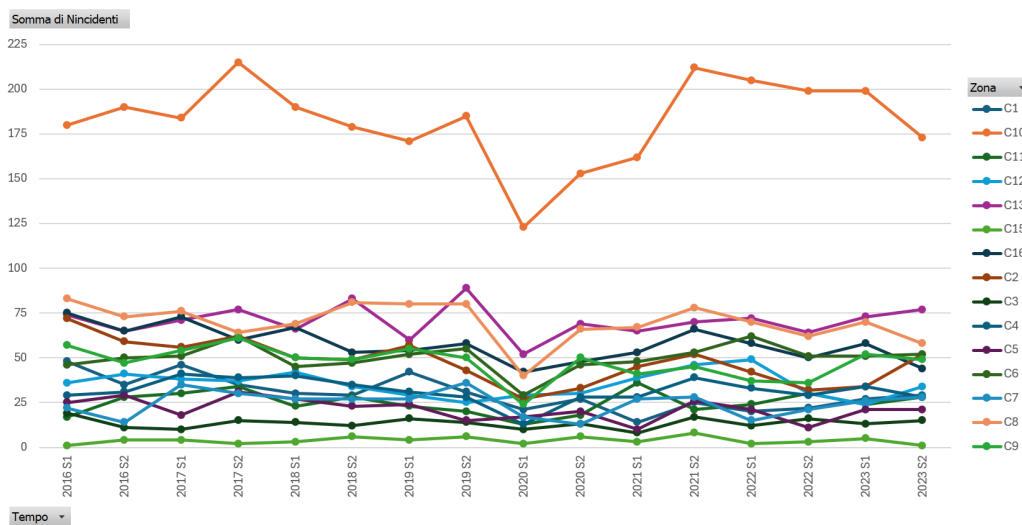


Figura 14: Andamento del numero di incidenti per la fascia C (fonte: dataset OMI)

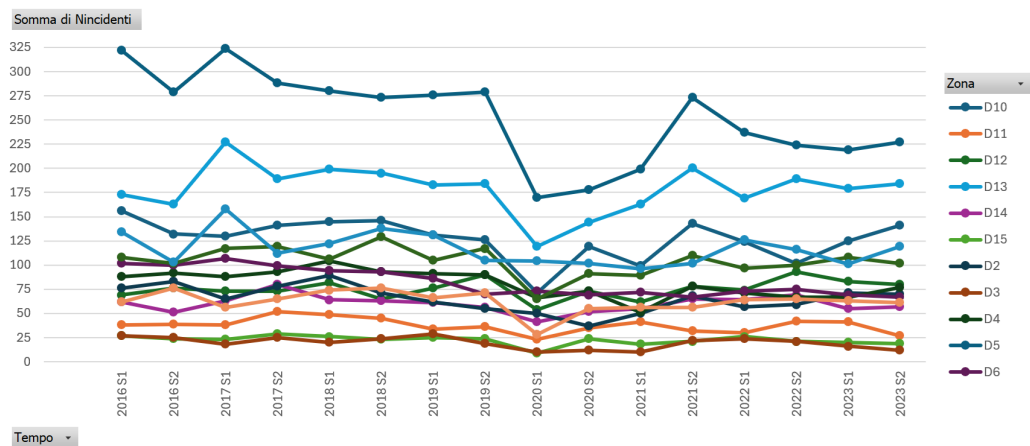


Figura 15: Andamento del numero di incidenti per la fascia D (fonte: dataset OMI)

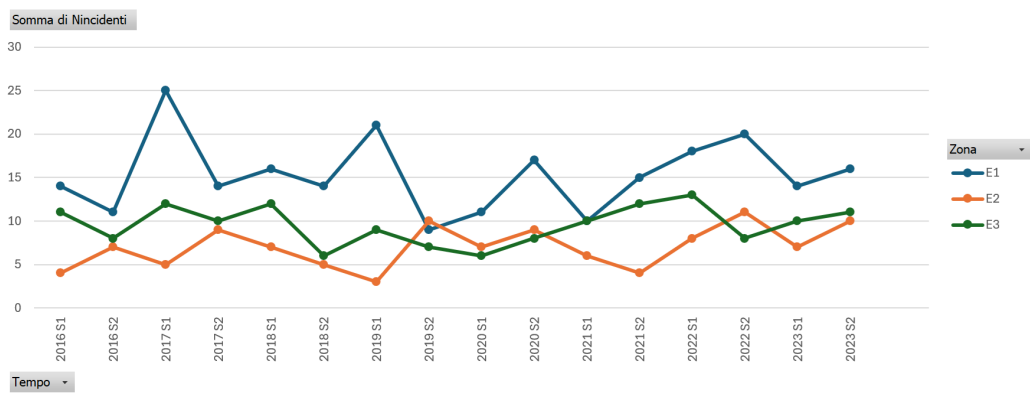


Figura 16: Andamento del numero di incidenti per la fascia E (fonte: dataset OMI)

Ringraziamenti

Giunto al termine di questo percorso, è doveroso esprimere la mia gratitudine a coloro che hanno contribuito alla mia crescita personale e accademica. Il biennio magistrale è stato un'esperienza particolarmente stimolante e arricchente, sia per la profondità delle tematiche affrontate, sia per le persone con cui ho avuto il privilegio di collaborare.

Per primo ringrazio il Professore Lorien Sabatino, che con disponibilità e competenza mi ha guidato nella stesura di questa tesi, permettendomi di approfondire un argomento di grande interesse e di applicare concretamente le conoscenze acquisite durante il mio percorso di studi al Politecnico di Torino.

Desidero esprimere la mia più profonda gratitudine ai miei genitori, mia sorella e la mia famiglia, il cui sostegno, sia morale che materiale, è stato fondamentale in questi anni di intenso impegno. Senza il loro appoggio, raggiungere questo traguardo sarebbe stato infinitamente più difficile.

Un ringraziamento speciale va anche agli amici di sempre e a coloro che, pur avendo intrapreso strade diverse, hanno lasciato un segno nel mio percorso. Grazie a loro ho avuto l'opportunità di crescere, di mettermi in discussione e di affinare la mia capacità di analisi critica della realtà che ci circonda. Un pensiero particolare va alla mia fidanzata, Alice, per il suo costante supporto, per la sua pazienza e per essere per me fonte inesauribile di ispirazione e positività. In particolare ringrazio: Claudio, Adriano, Simone, Jacopo, Alessandro, Angel, Luca, persone straordinarie che hanno arricchito la mia vita con la loro intelligenza, il loro spirito critico e il loro affetto.

Sono eternamente grato per tutto ciò che ho vissuto in questi venticinque anni: per i successi raggiunti, per gli errori commessi e per le persone che ho conosciuto durante il mio cammino. Guardando al futuro, posso solo dire: grazie.

Riferimenti bibliografici

- [1] Robert J Anderson Jr and Thomas D Crocker. Air pollution and residential property values. *Urban Studies*, 8(3):171–180, 1971.
- [2] Paolo Buonanno, Daniel Montolio, and Josep Maria Raya-Vílchez. Housing prices and crime perception. *Empirical Economics*, 45:305–321, 2013.
- [3] Oliviero A Carboni and Claudio Detotto. The economic consequences of crime in italy. *Journal of Economic Studies*, 43(1):122–140, 2016.
- [4] Fernando Carriazo-Osorio. Impacts of air pollution on property values: an economic valuation for bogota, colombia. *Retrieved from the Internet*., published on Aug, 19:16, 2007.
- [5] Kenneth Y Chay and Michael Greenstone. Does air quality matter? evidence from the housing market. *Journal of political Economy*, 113(2):376–424, 2005.
- [6] Hanli Chen, Yu Zhang, Ningxin Zhang, Man Zhou, and Heping Ding. Analysis on the spatial effect of infrastructure development on the real estate price in the yangtze river delta. *Sustainability*, 14(13):7569, 2022.
- [7] Philip J Cook and John MacDonald. Public safety through private action: an economic assessment of bids. *The Economic Journal*, 121(552):445–462, 2011.
- [8] Agenzia delle Entrate. Quotazioni immobiliari omi. URL: <https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/schede/fabbricatiterreni/omi/banche-dati/quotazioni-immobiliari>.
- [9] Claudio Detotto and Edoardo Otranto. Does crime affect economic growth? *Kyklos*, 63(3):330–345, 2010.

- [10] Istituto Nazionale di Statistica. La precezione della sicurezza_2022-2023. URL: <https://www.istat.it/comunicato-stampa/percezione-della-sicurezza-anni-2022-2023/>.
- [11] Steve Gibbons. The costs of urban property crime. *The Economic Journal*, 114(499):F441–F463, 2004.
- [12] Haripriya Gundimeda. Hedonic price method-a concept note. *Project report submitted to The South Asian Network for economic institution*, 2005.
- [13] Jaren C Pope. Fear of crime and housing prices: Household reactions to sex offender registries. *Journal of Urban Economics*, 64(3):601–614, 2008.
- [14] Ronald G Ridker and John A Henning. The determinants of residential property values with special reference to air pollution. *The review of Economics and Statistics*, pages 246–257, 1967.
- [15] Sherwin Rosen. Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition. *Journal of political economy*, 82(1):34–55, 1974.
- [16] Stephen Sheppard. Hedonic analysis of housing markets. *Handbook of regional and urban economics*, 3:1595–1635, 1999.
- [17] James H. Stock and Mark W. Watson. *Introduzione all’econometria*. Pearson Italia, 2007.
- [18] Zijun Yao, Yanjie Fu, Bin Liu, and Hui Xiong. The impact of community safety on house ranking. In *Proceedings of the 2016 SIAM International Conference on Data Mining*, pages 459–467. SIAM, 2016.