TETTI VERDI: PROPOSTA DI UN MODELLO ECONOMETRICO DI STIMA

Determinazione del valore aggiunto agli edifici per la presenza dei tetti verdi

ANGELO DONATO BERLOCO

Dottore Agronomo, Presidente E-Valuations

FRANCESCA SALVO

Professore Associato Icar 22 Estimo – Università della Calabria

ABSTRACT

I tetti verdi sono soluzioni "sostenibili", sempre più utilizzati in ambiente urbano, poiché sono in grado di diminuire il consumo di energia di un edificio e di attenuare il rischio di allagamento urbano su larga scala. Nonostante numerose ricerche e studi abbiano dimostrato l'efficacia di tali soluzioni sostenibili, esistono ancora molti limiti per quanto riguarda la diffusione sul mercato di tali sistemi; in particolare, manca un'analisi economica volta ad evidenziare come tali sistemi siano anche economicamente convenienti se inquadrati nelle dinamiche del mercato immobiliare.

Il contributo propone di valutare i costi di impianto e gestione di un tetto verde e soprattutto di quantificare il valore aggiunto fornito dalla presenza dei tetti verdi agli edifici (alla luce anche di quanto previsto dalla Direttiva europea su "CASE GREEN"). Per quantificare in termini monetari l'impatto dei tetti verdi sul valore di mercato di un immobile, verranno utilizzati i criteri e le modalità di valutazione basati sugli standard internazionali di valutazione. In dettaglio, verrà illustrata una procedura di stima del valore di mercato della caratteristica immobiliare "Presenza di tetti verdi" in ambito urbano. Lo studio prevede un'applicazione sperimentale della metodologia predisposta, al fine di testarne la validità operativa. I risultati dimostrano che l'aumento del valore degli immobili dotati di tetto verde è superiore ai costi di installazione e di gestione; quindi investire su tale alternativa progettuale risulta economicamente vantaggioso per il proprietario, per l'ambiente e per la comunità.

KEYWORDS

Market Comparison Approach
Sistema delle Differenze
Sostenibilità
Tetti Verdi
EPBD Direttiva
Case Green
Discount Cash Flow Analysis

1. Introduzione

L'efficientamento energetico degli edifici è un tema di grande attualità che sta comportando una vera e propria rivoluzione tecnologica e progettuale e che impatterà sempre più sulle decisioni degli acquirenti e dei venditori (e di conseguenza su progettisti e valutatori). Tale contesto andrà via via ampliandosi anche a causa dell'impatto che avrà sul settore immobiliare l'applicazione della **Direttiva EPBD** - *Energy Performance of Building Directive* - pubblicata nella GUE del 8 maggio 2024.

Si impone quindi **un ripensamento complessivo delle principali tecnologie impiegate in ambito edilizio** per gli interventi di efficientamento energetico, tanto negli edifici di nuova costruzione quanto negli edifici esistenti, per promuovere un approccio progettuale olistico, volto a consentire il risparmio energetico, il *comfort* termoigrometrico ed acustico, la sicurezza strutturale e antincendio dei fabbricati.

> Una ovvia conseguenza sarà il maggior apprezzamento da parte del mercato immobiliare degli immobili che rispondono a tali requisiti.

In tale contesto si inserisce l'utilizzazione dei "**tetti verdi**", soluzioni sostenibili utilizzate in ambiente urbano per contribuire al raggiungimento di vari obiettivi:

i) riduzione della temperatura interna degli edifici;

ii) contrasto al fenomeno delle cosiddette isole di calore nei centri abitati;

iii) assorbimento di CO_2 e produzione di ossigeno.

Fig. 1 - Alcuni esempi di tetto verde.

In questa direzione spinge anche l'ENEA che ha pubblicato **un apposito *vademecum*** (*ENEA, 2024*) per la promozione dell'uso di tetti e pareti verdi negli edifici della Pubblica Amministrazione (nell'ambito del programma "*Italia in Classe A*", campagna sull'efficienza energetica promossa del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica). In particolare, il *vademecum* dell'ENEA evidenzia come il "**cappotto verde**" permetta di ridurre la temperatura estiva fino a 3 gradi, abbattendo circa il 50% del flusso termico grazie all'effetto di ombreggiamento e traspirazione delle piante.

Peraltro, il tema relativo ai Tetti verdi è di forte attualità anche per **il significativo impatto macroeconomico e sociale**, in quanto tali componenti edilizie consentono di ridurre gli impatti sulla salute umana del cambiamento climatico. Infatti, nel *Rapporto europeo 2024 del Lancet Countdown* viene sottolineato che i record di temperature registrati a livello globale nel 2023 e nel 2024 richiedono con urgenza di affrontare l'impatto del cambiamento climatico sulla salute, delineando un quadro estremamente critico rispetto ai rischi per la salute derivanti dal cambiamento climatico e della necessità di un'azione immediata *(Lancet, 2024).*

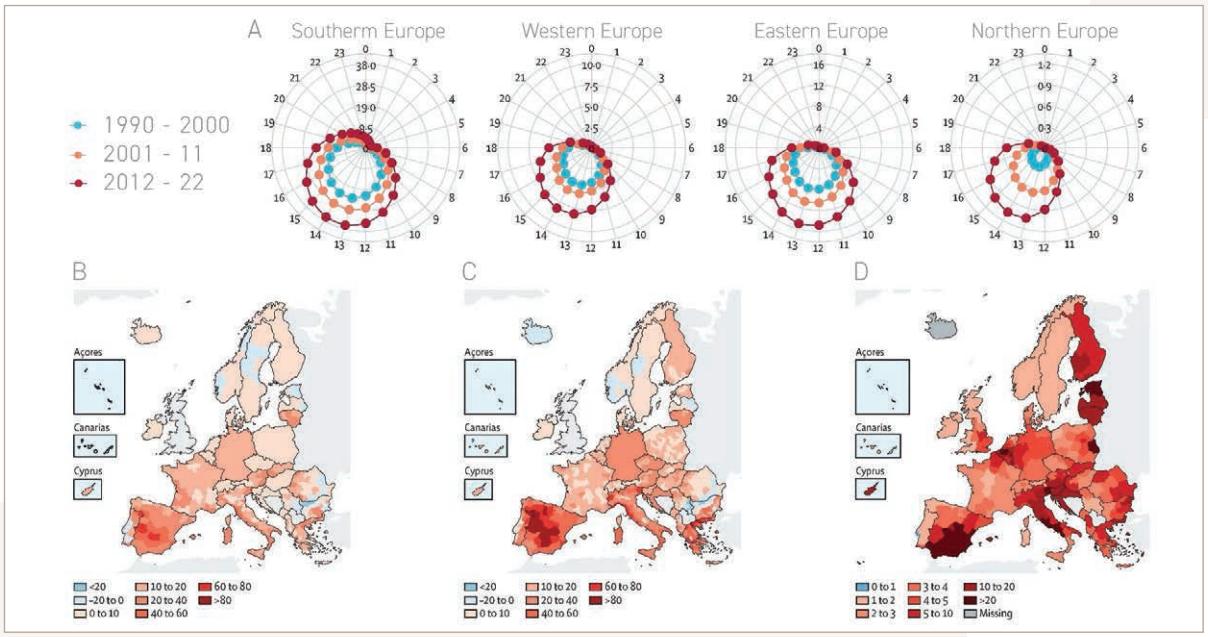

Fig. 2 - Rapporto tra Alte temperature e Salute in Europa dal Rapporto europeo 2024 del Lancet Countdown.

Nella *Fig. 2* sono riportati alcuni indicatori molto significativi della **correlazione tra cambiamento climatico ed effetti sulla saluta umana**. In particolare sono evidenziate:

A. **Ore medie annuali a rischio per persona per stress da calore correlato all'attività fisica** (attività di media intensità) per subregione europea in base all'ora del giorno per tre periodi di tempo (1990-2000, 2001-2011 e 2012-2022). Il cerchio grigio esterno mostra l'ora del giorno su un orologio a 24 ore, mentre i cerchi grigi interni mostrano il numero di ore rischiose.

B. **Variazione del tasso di mortalità correlata al caldo**, espressa come numero di decessi per 100.000 abitanti tra il 2003-2012 e il 2013-2022 per gli uomini e per le donne.

C. **Cambiamenti nella probabilità di episodi di mortalità legati al caldo estremo** dovuti ad attività antropica e riscaldamento, espresso come rapporto tra la probabilità nel recente periodo 2003-2022 e il periodo pre industriale 1850-1900.

Pertanto, con il *Climate Change* e i relativi impatti sulla nostra vita, il ruolo del verde urbano emerge come un'importante risorsa per affrontare le sfide legate al cambiamento climatico.

Le aree verdi urbane e l'inserimento dei tetti verdi non solo offrono spazi vitali per il riposo e la ricreazione, ma svolgono anche **un ruolo cruciale nel mitigare gli effetti negativi di tale cambiamento**. È noto, infatti, che il verde urbano, attraverso alberi, parchi e giardini, agisca come un filtro naturale per l'aria, riducendo l'inquinamento atmosferico e migliorando la qualità dell'aria che respiriamo. Inoltre, le aree verdi urbane possono contribuire a ridurre il fenomeno dell'isola di calore urbano, mitigando l'effetto delle temperature estreme e aiutando a mantenere un clima urbano più confortevole e salutare.

Oltre agli evidenti benefici per la salute fisica, il verde urbano ha dimostrato di avere un impatto positivo anche per **mitigare gli effetti economici negativi** collegati al cambiamento climatico in Europa.

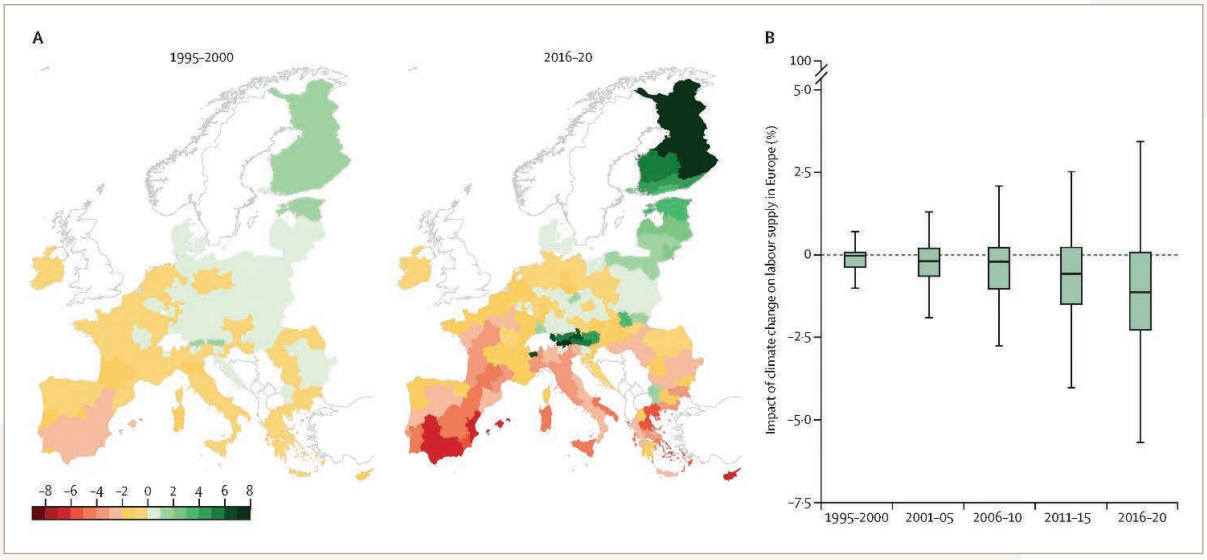

Fig. 3 - Impatti economici del cambiamento climatico in Europa dal Rapporto europeo 2024 del Lancet Countdown.

Ad esempio nella *Fig. 3*, tratta dal *Rapporto europeo 2024 del Lancet Countdown,* vengono evidenziati i seguenti aspetti:

A. **Variazione dell'offerta di lavoro** ad alta esposizione (%) in Europa a causa del cambiamento di temperatura; analisi controfattuale per ciascun periodo di tempo rispetto alla media a lungo termine del 1965-1994.

B. **Percentuale di variazione del numero di ore lavorative** (ponderata per il numero totale di ore lavorative nel 2020) dovuta al cambiamento della temperatura rispetto al periodo di riferimento 1965-1994.

A questo punto appare utile svolgere **una specifica analisi economica** volta a dimostrare l'efficacia tecnica delle varie soluzioni sostenibili e di come tali sistemi siano anche economicamente convenienti.

Al fine quindi di quantificare in termini monetari **l'impatto dei tetti verdi sul valore di mercato di un immobile** è stata implementata una proposta metodologica finalizzata a definire i criteri e le modalità di valutazione della caratteristica "*Presenza di tetti verdi*" secondo i dettami degli standard internazionali di valutazione immobiliare. Verrà infatti illustrata una procedura di stima del **Valore di mercato della caratteristica immobiliare "Presenza/ Assenza di Tetti Verdi"**, e oltre alla descrizione metodologica, lo studio prevede l'applicazione sperimentale della metodologia proposta, al fine di testarne la validità operativa.

I risultati ottenuti dimostrano che l'aumento del valore degli immobili dotati di tetto verde, nel lungo periodo, è superiore ai costi di installazione e di gestione e pertanto investire su tale alternativa progettuale risulta economicamente vantaggioso per il proprietario, per l'ambiente e per la comunità.

2. Il "valore" del verde nella città che cambia

In conseguenza dei sempre più frequenti fenomeni di emergenze di gestione dei deflussi in ambito urbano e della nuova propensione all'ottimizzazione delle prestazioni energetiche degli edifici, soluzioni tecnologiche "verdi", sono sempre più frequentemente utilizzate in ambiente urbano *(Piro et al., 2013; Stovin et al., 2012)*. In particolare, il riferimento è qui ai tetti verdi ovvero quei sistemi "vegetati" che consentono di raggiungere elevati standard di sostenibilità ambientale e una gestione più efficiente delle risorse idriche *(Mentens, et al., 2006)* a scala urbana, ed energetica a scala di edificio *(Dietz, 2007)*.

> Diversamente dai tetti tradizionali, i tetti verdi sono caratterizzati da uno strato di finitura superiore costituito da specie vegetali, da uno strato di suolo minerale (substrato), uno strato sottostante integrato comprensivo di drenaggio/aerazione e uno strato impermeabile.

Una guida utile e completa sulle varie tipologie di verde pensile è stata pubblicata dall'**Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale** (ISPRA, 2012), al fine di consentire la valutazione delle varie prestazioni di sistema e il relativo valore ecologico.

I tetti verdi sono essenzialmente suddivisi in:

I. *intensivi*, caratterizzati da una varietà di vegetazione che va dalle piante erbacee a piccoli alberi e dalla frequente necessità di manutenzione del verde;

II. *estensivi*, con spessore di 10 centimetri (e a volte anche meno), caratterizzati da una vegetazione che va dalla *sedum* a piccole piante erbacee, necessitano di poca manutenzione e nessun sistema di irrigazione.

Copiosa è la letteratura recente sui benefici dei tetti verdi *(Bevilacqua et al., 20176, Bevilacqua et al., 2017)*.

Nonostante siano conosciuti da tempo gli effetti positivi dei tetti verdi, l'uso di tali installazioni è ancora limitato, dal momento che benefici e costi non sono stati ancora sistematicamente valutati. Un consistente impulso alla installazione dei tetti verdi potrà giungere dalla **Direttiva *"Case Green"***, con cui l'UE impone ai Paesi membri di implementare importanti misure per migliorare l'efficienza energetica degli edifici.

Una delle principali ricadute dell'attuazione di tale direttiva sarà il significativo impatto che essa avrà sui **valori degli immobili**: infatti, gli edifici che non rispetteranno i nuovi standard energetici vedranno diminuire consistentemente il loro valore di mercato, mentre quelli conformi ai requisiti della direttiva potranno beneficiare di un aumento del valore. Gli investitori e i proprietari immobiliari dovranno quindi valutare attentamente gli interventi necessari per adeguare gli edifici esistenti e gli edifici di nuova costruzione alle vigenti normative.

Tuttavia, non si dispone al momento di informazioni sufficienti che consentono di valutare **la convenienza economica** derivante dall'installazione dei tetti verdi, considerato che i costi necessari per l'installazione e la manutenzione dei vari *upgrade* energetici ed i relativi benefici non sono stati sistematicamente monitorati e valutati.

Questo lavoro mira proprio a dare una prima risposta alla quantificazione degli **effetti positivi di un tetto verde sul valore di mercato degli immobili**. È noto, infatti, che un tetto verde consente di ottenere benefici a livello multiscala e tali benefici possono essere facilmente trasformati in "**Utilità**" se il loro valore economico è adeguatamente quantificato. Conseguentemente, gli *stakeholder* potranno apprezzare che un tetto verde non è solo in grado di soddisfare i criteri di sviluppo sostenibile e risparmio energetico, ma ha anche un impatto diretto, significativo e positivo sul valore dell'immobile, rendendolo un investimento più sicuro e redditizio nel lungo termine.

> Di conseguenza, la crescente consapevolezza e richiesta di sostenibilità farà sì che gli immobili ecosostenibili diventino sempre più ricercati e apprezzati, in quanto il mercato immobiliare è sempre più caratterizzato da una domanda sostanzialmente "qualitativa".

Il concetto della qualità associato ad un manufatto edilizio riguarda molto da vicino **il tema del risparmio energetico**, che in effetti altro non è che una variabile proxy di diverse caratteristiche immobiliari, riferibili in qualche misura alle caratteristiche costruttive e di finitura: un edificio che è in grado di garantire un elevato livello di *comfort*, abbattendo nel contempo le dispersioni energetiche, è verosimilmente un manufatto ben costruito, con "buoni" materiali e "a regola d'arte", ben coibentato e ben progettato *(De Ruggiero et al., 2017)*.

3. Modello econometrico di stima di un tetto verde

Partendo dal postulato estimativo della **Comparazione** *(Berloco A.D., Grittani G., 1989)*, la metodologia utilizzata in questo studio per valutare il contributo che un tetto verde apporta al valore di mercato di un edificio è riconducibile al *Market Comparison Approach* (MCA) e al *Sistema delle Differenze* (SDD) *(Salvo e al. 2017)*. Invece i costi di installazione e di manutenzione sono stati quantificati rendendoli comparabili attraverso la *Discounted Cash Flow Analysis* (DCFA).

La metodologia è stata testata in relazione ad un caso di studio riguardante alcune villette unifamiliari site in un comune di medie dimensioni del Sud d'Italia, ma tale metodologia può essere utilizzata in diversi contesti geografici e tipologici, andando ad adeguare i parametri da misurare.

3.1. Approcci metodologici secondo IVS ed EVS

In accordo con gli standard di valutazione internazionali (IVS ed EVS), i tre metodi classici di valutazione immobiliare sono: il *Market Oriented Approach*, l'I*ncome Approach* e il *Cost Approach* (o metodo del costo di ricostruzione deprezzato).

Il *Market Oriented Approach* fornisce un'indicazione del valore di un immobile confrontando il soggetto con altri immobili simili acquistati o venduti di recente, quando le informazioni sui prezzi delle transazioni e dei dati immobiliari sono disponibili. L'approccio comprende una serie di procedure, e le principali sono: la Stima Monoparametrica, il Sistema di Ripartizione, il Market Comparison Approach (MCA), il Sistema Generale di Stima (SGS), il Sistema delle Differenze (SDD), i procedimenti misti *(Salvo et al.; 2016; Salvo et al, 2013; Simonotti, 2006)*.

L'*Income Approach* si basa sulla capitalizzazione dei redditi degli immobili. La procedura per capitalizzazione del reddito include i metodi che analizzano la capacità di generare benefici monetari di un immobile e la capacità di convertire questi benefici in valori. Le procedure all'interno del metodo finanziario sono la *Direct Capitalization* (che converte il reddito annuo atteso nel valore di mercato di un immobile), la *Yield Capitalization* (che applica il calcolo finanziario per convertire la serie di redditi in un valore attraverso un saggio di capitalizzazione), la *Discounted Cash Flow Analysis* (tenendo conto dei diversi costi e ricavi, in un intervallo temporale compreso tra la data di acquisto e quella di rivendita del bene da stimare, restituendo un valore di mercato finale).

Il *Cost Approach* è un approccio che si basa sulla stima dei costi di ricostruzione di un immobile simile a quello da stimare, eventualmente deprezzato per tenere conto dello stato di uso e obsolescenza. L'approccio di costo stima il valore dell'immobile sommando al valore dell'area edificata il costo di ricostruzione, deprezzandolo opportunamente per tener conto del fatto che evidentemente un immobile usato è meno apprezzabile di uno nuovo.

3.2. Analisi dei costi di un tetto verde

L'analisi dei costi per il caso in esame è stata quantificata applicando **la DCFA**. Il costo totale è stato ottenuto attualizzando i costi di installazione e i costi di manutenzione ordinaria e straordinaria. L'orizzonte temporale è da considerarsi in funzione della vita utile del tetto verde, generalmente pari a 40 anni.

Assunto che i costi di installazione coprono un arco temporale di circa tre mesi; la frequenza dei costi di manutenzione ordinaria è mediamente quadrimestrale; la frequenza dei costi di manutenzione straordinaria è mediamente semestrale, è possibile scindere **il flusso di cassa in tre flussi distinti**:

i) una rendita variabile, posticipata e mensile per i costi di installazione;
ii) una rendita costante, posticipata e quadrimestrale per i costi di manutenzione ordinaria;
iii) una rendita costante, posticipata e semestrale per i costi di manutenzione straordinaria

$$C = C_{i_0} + C_{i_1} \cdot (1 + i_{12})^{-1} + C_{i_2} \cdot (1 + i_{12})^{-2} + C_{i_3} \cdot (1 + i_{12})^{-3} + C_o \cdot \frac{1-(1+i_3)^{-3 \cdot n}}{i_3} + C_s \cdot \frac{1-(1+i_2)^{-2 \cdot n}}{i_2}$$

Dove C è il costo totale aggiornato; C_{t_0} è il costo mensile di installazione al tempo t_0; C_{t_1} è il costo mensile di installazione al tempo t_1; C_{t_2} è il costo mensile di installazione al tempo t_2; C_{t_3} è il costo mensile di installazione al tempo t_3; C_o è il costo quadrimestrale di manutenzione ordinaria; C_s è il costo semestrale di manutenzione straordinaria; i_{12} è il saggio periodale mensile desumibile dal saggio annuo non convertibile $i_{12} = (1 + i)^{\frac{1}{12}} - 1$; i_3 è il saggio periodale quadrimestrale desumibile dal saggio annuo non convertibile $i_3 = (1 + i)^{\frac{1}{3}} - 1$; i_2 è il saggio periodale semestrale desumibile dal saggio annuo non convertibile $i_2 = (1 + i)^{\frac{1}{2}} - 1$; n rappresenta l'intero orizzonte temporale considerato nel flusso di cassa; $3n$ è la durata della rendita quadrimestrale; $2n$ è la durata della rendita semestrale.

3.3. Stima del valore di un tetto verde

L'approccio metodologico utilizzato nel presente studio per quantificare l'incremento di valore di un immobile per la presenza del tetto verde è il **Procedimento Misto** che comprende il *Market Comparison Approach* (MCA) e il *Sistema delle Differenze* (SDD) *(Salvo, 2024).*

Il **MCA** è un procedimento che conduce alla stima del valore di mercato di un immobile attraverso il confronto con i prezzi di immobili simili al soggetto (P_j), compravenduti in data prossima a quella di stima. In particolare, il procedimento perviene alla stima del valore di mercato attraverso una serie di aggiustamenti (*adjustments*), calcolati per le caratteristiche immobiliari *driver*. Attraverso gli aggiustamenti, si ottengono i prezzi corretti (P_{cj}) degli immobili di confronto. L'aggiustamento per il j-esimo (j = 1,2, ..., m) immobile e per la i-esima caratteristica immobiliare (*CAR*) (con $i = 1,2,\ldots,n$) è uguale al prodotto tra il prezzo marginale pi (definito come la variazione nel prezzo totale corrispondente a una variazione unitaria nell'ammontare della caratteristica immobiliare) e la differenza tra l'ammontare della caratteristica del soggetto CAR_{i0} e quella del comparabile CAR_{ij};

$$P_{cj} = P_j + \sum_{i=1}^{n} p_i \cdot \left(CAR_{i0} - CAR_{ij} \cdot (i + r_j)\right)$$

$$\text{dove } r_j = \left(\frac{CAR_{SUR_0} - CAR_{SUR_j}}{CAR_{SUR_j}}\right)$$

I prezzi corretti sono ricondotti a un singolo valore di mercato *V*, normalmente ottenuto come valore atteso dei prezzi corretti, valore che, nell'ipotesi di equi-probabilità, è pari a:

$$V = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^{m} \quad P_{cj}$$

Quando la finalità dell'analisi non è determinare il valore di una specifica unità di riferimento ma i prezzi marginali impliciti, il Sistema delle Differenze è il procedimento più idoneo allo scopo e trova applicazione nel procedimento misto insieme al MCA. In questo caso l'equazione generica del sistema delle differenze assume la seguente forma simbolica:

$$P_j - \underline{P} = \sum_{i=1}^{n} \quad (CAR_{ij} - \underline{CAR_i}) \cdot p_i$$

dove con P_j si indica il prezzo totale del dato j-esimo, $\underline{P}$ la media dei prezzi totali del campione estimativo oppure il prezzo totale di una compravendita facente parte del campione estimativo scelta come unità di riferimento, CAR_{ij} la modalità della caratteristica i-esima del dato j-esimo e $\underline{CAR_i}$ la modalità media della caratteristica i-esima oppure la modalità della caratteristica i-esima della compravendita facente parte del campione estimativo scelta come unità di riferimento e con p_i il prezzo marginale implicito incognito.

Il **SDD** si fonda sulla rilevazione di un campione estimativo costituito da immobili simili ed appartenenti al medesimo segmento di mercato. Il campione estimativo si costruisce rispetto alle caratteristiche di cui si vogliono stimare i prezzi marginali, una volta assolto che le unità rilevate siano simili tecnicamente ed economicamente, di data recente e appartenenti allo stesso segmento di mercato, secondo il postulato di rilevanza e la regola di elisione. Nella verifica i prezzi marginali devono soddisfare le ipotesi a priori formulate nella stima riguardo i segni e gli ammontari attesi in base alla conoscenza del dato segmento di mercato immobiliare.

Le caratteristiche di riferimento assumono generalmente la modalità media per la misura degli scostamenti e l'eventuale standardizzazione dei dati. Nel caso di variabili dicotomiche si assume la modalità unitaria.

Dal confronto tra ciascuna unità rilevata e i valori medi di riferimento si costruisce il sistema delle differenze costituito da m equazioni lineari in n incognite:

$$\{P_1 - \underline{P} = \sum_{i=1}^{n} \quad (CAR_{1i} - \underline{CAR_i}) \cdot p_i \; P_2 - \underline{P} = \sum_{i=1}^{n} \quad (CAR_{2i} - \underline{CAR_i}) \cdot p_i \; \vdots \; P_m - \underline{P} = \sum_{i=1}^{n} \quad (CAR_{mi} - \underline{CAR_i}) \cdot p_i$$

Nel formalismo matriciale se si indica con D_d la matrice delle differenze, con p_d il vettore formato dai prezzi marginali p_i, dei diversi caratteri, detto anche vettore di stima, e con il vettore P_d dei prezzi noti:

$$D_d = \left[(CAR_{11} - \underline{CAR_1}) \; (CAR_{12} - \underline{CAR_2}) \; \cdots \; (CAR_{1n} - \underline{CAR_n}) \; (CAR_{21} - \underline{CAR_1}) \; (CAR_{22} - \underline{CAR_2}) \; \cdots \; (CAR_{2n} - \underline{CAR_n}) \; \vdots \vdots \vdots \vdots \; (CAR_{m1} - \underline{CAR_1}) \; (CAR_{m2} - \underline{CAR_2}) \; \cdots \; (CAR_{mn} - \underline{CAR_n}) \right]$$

$$p_d = [p_1 \; p_2 \; \vdots \; p_n \,], \quad P_d = \left[P_1 - \underline{P} \; P_2 - \underline{P} \; \vdots \; P_m - \underline{P} \right]$$

il suddetto sistema può essere dunque scritto in forma matriciale nel modo che segue:

$$P_d = D_d \cdot p_d$$

La soluzione del sistema si presenta nel modo che segue se $m = n$ e dove D_d^{-1} rappresenta l'inversa della matrice delle differenze:

$$p_d = D_d^{-1} \cdot P_d$$

Se il sistema è sovradimensionato ($m > n$) o sotto determinato ($m < n$) la soluzione può essere ricavata applicando la tecnica dell'inversa generalizzata e precisamente.

Se $m > n$ indicando con D_d^T la matrice trasposta della matrice delle differenze:

$$p_d = (D_d^T \cdot D_d)^{-1} \cdot D_d^T \cdot P_d$$

Se $m < n$ la soluzione sarà:

$$p_d = D_d^T \cdot (D_d \cdot D_d^T)^{-1} \cdot P_d$$

che rappresenta la soluzione dei minimi quadrati dell'analisi di regressione svolta sui dati trasformati, purché la matrice $D_d \cdot D_d^T$ sia non singolare e il problema di regressione espresso nei termini statistici propri.

Il SDD è una formalizzazione del MCA; di conseguenza, le due procedure possono essere efficacemente integrate in modo che i prezzi marginali delle caratteristiche quantitative sono stimati nel MCA, mentre i prezzi marginali delle caratteristiche qualitative sono stimati nel SDD.

Il procedimento misto, dunque, si formalizza nel modo che segue:

$$\{P_{Corretto1} - \underline{P} = \sum_{i=1}^{n} \left(CAR_{1i} - \underline{CAR_i}\right) \cdot p_i \; P_{Corretto2} - \underline{P} = \sum_{i=1}^{n} \left(CAR_{2i} - \underline{CAR_i}\right) \cdot p_i \; \vdots \; P_{Correttom} - \underline{P} = \sum_{i=1}^{n} \left(CAR_{mi} - \underline{CAR_i}\right) \cdot p_i$$

dove $P_{Corretto\,j}$ rappresenta il prezzo corretto della generica compravendita risultante dall'applicazione del MCA, $\underline{P}$ rappresenta la media dei prezzi di compravendita, CAR_{1i} rappresenta la caratteristica immobiliare i-esima non considerata nella precedente applicazione del MCA e infine $\underline{CAR_i}$ rappresenta la media della caratteristica immobiliare i-esima non considerata nella precedente applicazione del MCA.

Nel formalismo matriciale se si indica con D_d la matrice delle differenze, con p_d il vettore formato dai prezzi marginali p_i, dei diversi caratteri, detto anche vettore di stima, e con il vettore P_d dei prezzi noti:

$$D_d = \left[\left(CAR_{11} - \underline{CAR_1}\right)\left(CAR_{12} - \underline{CAR_2}\right) \cdots \left(CAR_{1n} - \underline{CAR_n}\right)\left(CAR_{21} - \underline{CAR_1}\right)\left(CAR_{22} - \underline{CAR_2}\right) \cdots \left(CAR_{2n} - \underline{CAR_n}\right) \vdots\vdots\vdots \left(CAR_{m1} - \underline{CAR_1}\right)\left(CAR_{m2} - \underline{CAR_2}\right) \cdots \left(CAR_{mn} - \underline{CAR_n}\right)\right]$$

$$p_d = [p_1 \; p_2 \; \vdots \; p_n\,], \quad P_d = \left[P_{Corretto1} - \underline{P} \; P_{Corretto} - \underline{P} \; \vdots \; P_{Correttom} - \underline{P}\,\right]$$

4. Caso di studio

Al fine di valutare l'efficacia del procedimento proposto, è riportato un esempio numerico basato su un caso reale di stima riguardante villette unifamiliari site **in un comune di medie dimensioni del Sud d'Italia**.

4.1. Stima del valore di un tetto verde

È stata preliminarmente svolta un'indagine di mercato, volta a raccogliere dati immobiliari relativi a contratti di compravendita recenti che consentissero di "spiegare" il contributo al prezzo degli immobili della presenza del tetto verde nell'immobile.

L'analisi di mercato ha permesso di costituire **un campione di tre comparabili**, tutti ubicati nella stessa zona, al fine di annullare l'effetto locazionale. Sono stati raccolti i dati immobiliari degli immobili di confronto, a partire dal prezzo di compravendita (PRZ) espresso in €, insieme alle caratteristiche immobiliari di seguito indicate: Data di compravendita (DAT) - misurata retrospettivamente a partire dal momento di stima (09/2024), in mesi; Superficie principale (SUP) - superficie commerciale espressa in metri quadri; Superficie balconi (SUB) - superficie dei balconi espressa in metri quadri; Superficie esterna SUE - superficie del giardino espressa in metri quadri; Servizi (SER) - numero di servizi igienici presenti nell'unità immobiliare, misurati in termini di numero, n°; Piscina (PIS) - presenza o assenza della piscina nell'unità immobiliare, 0/1; Tetto verde (TET) - superficie di tetto verde presente in ogni unità immobiliare, espresso in metri quadri.

Le transazioni immobiliari rilevate si sono verificate in un periodo che va **da settembre 2023 ad aprile 2024**.

Tutte le altre caratteristiche non riportate nella tabella dei dati sono da considerarsi *caeteris paribus*, e dunque non sono state considerate rilevanti nella valutazione.

TABELLA 1. TABELLA DEI DATI

Prezzo e caratteristiche	A	B	C	S*
PRZ (€)	371.000,00	315.000,00	406.000,00	-
DAT (mesi)	8	12	5	8
SUP (m²)	282,30	300,00	266,50	283
SUB (m²)	17,00	21,20	25,30	21
SUE (m²)	823,00	700,00	750,00	758
SER (n.)	2	3	3	3
PIS (0-1)	0	0	1	0
TET (m²)	250	0	200	150

**Non essendoci un bene oggetto di valutazione, in quanto l'analisi estimativa nell'analisi specifica non lo richiede, si considerano come modalità delle caratteristiche su cui operare il confronto la media delle caratteristiche del campione così come si procederà nell'applicazione del SDD per determinare l'incidenza del tetto verde nel valore di mercato degli immobili.*

L'analisi dei prezzi marginali delle caratteristiche immobiliari è stata svolta secondo le indicazioni del prof. Marco Simonotti *(Simonotti, 2016)*. Nella tabella che segue, sono riassunti gli ammontari dei prezzi marginali calcolati.

TABELLA 2. TABELLA DEI PREZZI MARGINALI			
Prezzi marginali	A	B	C
DAT (€/mesi)	- 618,33	-525,00	- 676,67
SUP (€/m^2)	1.064,84	850,77	1.234,39
SUB (€/m^2)	351,40	280,75	407,35
SUE (€/m^2)	73,05	72,92	87,72
SER (€/n.)	3.000,00	3.000,00	3.000,00

Una volta che sono stati definiti i prezzi marginali, si redige la tabella di valutazione.

TABELLA 3. TABELLA DI VALUTAZIONE			
Prezzo e caratteristiche	A	B	C
PRZ (€)	371.000,00	315.000,00	406.000,00
DAT (€)	- 195,01	1.566,60	- 2.046,93
SUP (€)	674,40	- 14.519,80	20.285,10
SUB (€)	1.450,76	329,24	- 2.319,20
SUE (€)	- 4.907,55	7.109,19	- 3.384,47
SER (€)	1.986,54	- 488,00	- 1.554,97
Prezzi corretti	370.009,13	308.997,24	416.979,53

L'applicazione del procedimento misto prevede l'implementazione in sequenza del SDD, considerando i prezzi corretti ottenuti dal MCA e come incognite il prezzo marginale della caratteristica qualitative "tetto verde" (TET) e "piscina" (PIS). Nello specifico il sistema delle differenze assume la seguente formulazione:

$$D_d[0 - 0\ 265 - 150\ 0 - 0\ 0 - 155\ 1 - 0\ 200 - 155\ ]; p_d = [p_{PIS}\ p_{TET}\ ]; P_d = [370.009{,}13 - 364.000{,}00\ 308.997{,}24 - 364.000{,}00\ 416.979{,}53 - 364.000{,}00\ ].$$

La soluzione del sistema matriciale è per il caso $m > n$ indicando:

$$p_d = (D_d^T \cdot D_d)^{-1} \cdot D_d^T \cdot P_d$$

Il prezzo marginale per la presenza della piscina risulta pari a € 61.935,58 mentre il prezzo marginale per la presenza del tetto verde è risultato pari a €/m^2 230,23. In definitiva, **per ogni m^2 di tetto verde presente**, il valore complessivo dell'immobile **si incrementa di oltre 230 euro**.

4.2. Analisi dei costi di un tetto verde

L'analisi dei costi ha considerato un tetto verde caratterizzato dalla seguente stratigrafia: i) spessore dello strato colturale di 30,00 cm; ii) strato integrato accumulo e drenaggio in PEAD (capacità di accumulo di 8,70 L/m2).

Lo spessore dell'intero pacchetto è di 33,00 cm. Sul tetto verde sono impiantate le seguenti specie vegetali: *Carpobrotus edulis, Dianthus gratianopolitanus, Cerastium tomentosum*. Le specie vegetali sono state selezionate per la loro bassa richiesta d'acqua ai fini irrigui e la loro resistenza alle condizioni climatiche mediterranee.

La Fig. 4 illustra la stratigrafia del tetto verde analizzato. Considerando tutte le componenti che costituiscono la tipologia di tetto verde intensivo sopra descritto (quali la fornitura dei materiali e l'installazione per rendere l'opera a perfetta regola d'arte), il costo unitario di installazione è risultato pari a €146,50/m2.

TABELLA 4. COSTI UNITARI DI INSTALLAZIONE DEGLI ELEMENTI.	
Strato	**Costo €/m²**
Tenuta antiradice	15,00
Protezione meccanica	5,50
Accumulo/drenaggio/ aerazione	14,00
Filtrante	5,00
Colturale	72,00
Vegetazionale	35,00
Totale	**146,50**

Fig. 4 - Esempio della stratigrafia del tetto verde per il caso di studio - La figura è stata estratta da Palermo, S. A., Turco, M., Principato, F., & Piro, P. (2019). Hydrological effectiveness of an extensive green roof in Mediterranean climate, 2019.

Per il tetto verde in esame, oltre al costo di installazione sono stati considerati: i) il costo unitario di manutenzione ordinaria (0,50 €/m2/quadrimestre) e ii) il costo unitario di manutenzione straordinaria (1,00 €/m2/semestre). È stato inoltre ipotizzato il pagamento del 10% per il costo di installazione come acconto, il 20% dopo un mese, il 30% dopo due mesi e il rimanente 40% dopo il terzo mese. Per determinare il saggio di capitalizzazione si può fare riferimento a uno specifico segmento di mercato con un range di valori compresi tra il 3,6% e il 4,4%. Per tenere conto del fatto che l'analisi estimativa fa riferimento ad un arco temporale di vita economica dell'opera molto ampio, il saggio di capitalizzazione dovrà essere più alto di quello ricorrente per tenere conto del rischio sul lungo tempo.

con $i = 3{,}6$:

$$C = 14{,}65 + 29{,}3 \cdot (1 + 0{,}0029)^{-1} + 43{,}95 \cdot (1 + 0{,}0029)^{-2} + 58{,}6 \cdot (1 + 0{,}0029)^{-3} + 0{,}5 \cdot \frac{1-(1+0{,}0118)^{-3\cdot 40}}{0{,}0118} + 1{,}0 \cdot \frac{1-(1+0{,}018)^{-2\cdot 40}}{0{,}018} = 219{,}99 \ \frac{€}{m^2}.$$

con $i = 4{,}4$:

$$C = 14{,}65 + 29{,}3 \cdot (1 + 0{,}0036)^{-1} + 43{,}95 \cdot (1 + 0{,}0036)^{-2} + 58{,}6 \cdot (1 + 0{,}0036)^{-3} + 0{,}5 \cdot \frac{1-(1+0{,}014)^{-3\cdot 40}}{0{,}014} + 1{,}0 \cdot \frac{1-(1+0{,}022)^{-2\cdot 40}}{0{,}022} = 211{,}60 \ \frac{€}{m^2}.$$

Applicando la formula descritta in precedenza, è possibile stimare il costo totale del tetto verde all'attualità:

Pertanto, il costo totale di un tetto verde varia da un minimo di 211,60 €/m2 a un massimo di 219,99 €/m2. Come atteso, l'incremento di valore dell'immobile (€/m2 230,23) è risultato sempre superiore al costo.

5. Conclusioni

Il crescente interesse per l'utilizzo delle infrastrutture "verdi" nella progettazione architettonica degli edifici ha portato i ricercatori e le società di ingegneria a studiare l'effetto di tali pratiche sulla mitigazione dei volumi delle acque piovane e sui consumi energetici. In particolare, il *Tetto verde* non è solo in grado di soddisfare i criteri di sviluppo sostenibile richiesti dal *Green deal* europeo, ma ha anche un impatto diretto e significativo sul mercato immobiliare. Infatti, è dimostrato che costruire edifici in conformità con i criteri di sostenibilità ambientale non dà solo un risparmio dei costi di energia ma comporta anche un incremento di valore degli immobili.

Il presente articolo fornisce indicazioni finalizzate alla procedura di stima del valore aggiunto fornito dalla presenza negli edifici dei tetti verdi, utilizzando i metodi di valutazione basati sugli standard internazionali di valutazione (IVS ed EVS). In particolare, le metodologie di valutazione utilizzate in questo studio sono riconducibili al MCA e al SDD, usate in modo sinergico.

Lo studio ha quindi applicato la metodologia individuata ad un caso concreto di studio (villette unifamiliari site in un comune di medie dimensioni del Sud d'Italia) ed ha considerato i complessivi costi di installazione e di manutenzione di un tetto verde con specifiche caratteristiche, al fine di confrontare l'incremento di valore che l'immobile registra per la presenza del tetto verde.

L'analisi dimostra numericamente che l'aumento di valore dell'immobile (€/m2 230,23) in cui è presente un tetto verde è maggiore del costo totale per impiantare e manutenere tale infrastruttura verde (max €/m2 219,99).

In conclusione, è possibile affermare che la presenza del tetto verde non solo è in grado di soddisfare i criteri di sviluppo sostenibile richiesti dal *Green deal* europeo ma è anche economicamente conveniente sia per il fatto che i costi di impianto e di gestione sono compensati dal risparmio energetico conseguente alla loro installazione sia dal conseguente maggior apprezzamento che si ottiene sul mercato immobiliare.

Bibliografia

- Berloco A.D., Grittani G., *La comparazione quale presupposto logico dei giudizi di stima*, Genio Rurale 9, pp. 37-44, 1989.
- Bevilacqua P., Mazzeo D., Bruno R., Arcuri N., *Experimental investigation of the thermal performances of an extensive green roof in the Mediterranean area. Energy and Buildings,* 122, pp. 63-79, *2016.*
- Bevilacqua P., Mazzeo D., Bruno R., Arcuri N., *Surface temperature analysis of an extensive green roof for the mitigation of urban heat island in southern Mediterranean climate. Energy and Buildings, 150, pp. 318-327, 2017.*
- De Ruggiero M., Forestiero G., Manganelli B., Salvo F., *Buildings Energy Performance in a Market Comparison Approach*, Buildings open access journal, 7(1), 16, 2017.
- Dietz M.E., *Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions*, Water Air Soil Pollut, 186, pp. 351-363, 2007.
- Direttiva (UE) 2024/1275 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 24 aprile 2024 sulla prestazione energetica nell'edilizia, 2024.
- Mentens J., Raes D., Hermy M., *Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?*, Landscape and urban planning, 77(3), pp. 217-226, 2006.
- Palermo, S. A., Turco, M., Principato, F., & Piro, P., *Hydrological effectiveness of an extensive green roof in Mediterranean climate, Water* 11(7), 1378, 2019.
- Piro P., Carbone M., Nigro G., Garofalo G., Ferrante A., *Installazione di un modello sperimentale a verde pensile per la valutazione dell'influenza del sistema sulla gestione delle acque meteoriche in area mediterranea*, Edibios, Corso Guardia Piemontese (CS), 2013.
- Salvo F., Piro P., Nigro G., De Ruggiero M., *Modello economico di stima dei tetti verdi negli edifici residenziali*, Valori e Valutazioni n. 18, pp. 81-88, 2017.
- Salvo F., *From appraisal function to Automatic Valuation Method (AVM). The contribution of International Valuation Standards in modern appraisal methodologies*, Aestimum Firenze University Press, pp.47-57, 2024.
- Simonotti M., *Metodi di stima immobiliare, Applicazione degli standard internazionali*, Flaccovio, 2006.
- Simonotti M., *Valutazione Immobiliare Standard*, Stimatrix, 2016.
- Stovin V.R., Vesuviano G., Kasmin H., *The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions*, Journal of Hydrology, 414, pp. 148-161, 2012.

Sitografia

ENEA - *Tetti e pareti verdi per gli edifici. Linee guida per la Pubblica Amministrazione e gli Enti Territoriali*, 2024, https://italiainclassea.enea.it/pubblicazioniventiquattro

ISPRA – *Verde pensile: prestazioni di sistema e valore ecologico*, Manuali e Linee Guida, 2012, https://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/manuali-lineeguida/mlg-78.3-2012-verde-pensile.pdf

LANCET - *The 2024 Europe report of the Lancet Countdown on health and climate change: unprecedented warming demands unprecedented action*, https://www.thelancet.com/journals/lanpub/article/PIIS2468-2667(24)00055-0/fulltext