

Maggio
2025

SPECIALE CALENDARIO 2025

Economia e fattibilità

Supporto nel processo decisionale di valutazione della sostenibilità di un fondo immobiliare

-

TEBE-IEEM Research Group, Dipartimento di Energia, Politecnico di Torino Ilaria Abbà, Cristina Becchio, Giulio Cavana, Sara Viazzo

Fondazione Links: Giorgiana Abate, Giorgia Sugoni

Introduzione

Il presente articolo presenta gli esiti dell'attività di ricerca condotta dalla Fondazione Links e dal gruppo di ricerca TEBE-IEEM del Dipartimento di Energia del Politecnico di Torino su incarico di REAM SGR S.p.A. per conto del Fondo Piemonte C.A.S.E., con l'obiettivo di definire e testare su un caso studio un approccio replicabile per la valutazione della sostenibilità degli asset della Committenza.

L'attività è stata condotta in due fasi. La fase 1 ha previsto la definizione, in collaborazione con la Committenza, di un metodo per l'individuazione del caso studio all'interno di un piccolo patrimonio immobiliare, costituito da 12 edifici nelle provincie di Asti, Alessandria, Cuneo e Torino di proprietà di Real Estate Asset Management SGR S.p.A aventi destinazione d'uso residenziale. Il metodo ha tenuto conto di molteplici criteri quali, a titolo esemplificativo, potenziale di efficientamento energetico e decarbonizzazione, coerenza con i criteri ESG, anche in ambito urbanistico con un approccio innovativo, rappresentatività nell'ambito degli asset gestiti, comunicabilità verso l'esterno, trasferibilità ad altri asset. Durante la fase 2, su cui questo articolo si focalizza, è stata condotta un'analisi dettagliata del caso pilota, includendo aspetti energetici, ambientali e finanziari. In particolare, è stata effettuata una diagnosi energetica approfondita. A seguito della diagnosi dell'edificio oggetto di studio è stato costruito un modello energetico, calibrato sulla base dei dati ricavati dalle bollette energetiche degli ultimi tre anni. Sono quindi stati ipotizzati quattro scenari di efficientamento energetico, fissati così da interessare in modo più o meno profondo ed invasivo l'involucro edilizio e la dotazione impiantistica, considerando anche le tecnologie per lo sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili. In dettaglio, è stato ipotizzato uno scenario di retrofit cosiddetto *Minimal*, uno Base, uno Avanzato e uno *Green*.

Attraverso la metodologia *Cost-Optimal* sono infine stati analizzati dal punto di vista energetico, ambientale e finanziario i quattro scenari di retrofit ed individuato quello più efficace. La stabilità dei risultati è stata testata attraverso lo sviluppo di due analisi di sensitività.

Analisi della sostenibilità degli edifici

Valutazione della sostenibilità degli edifici a livello urbanistico

L'analisi conoscitiva del contesto urbano al contorno dell'edificio scelto è un processo completo che fornisce una visione dettagliata delle condizioni e delle esigenze di una comunità o di un'area urbana specifica. Di seguito sono elencate le tematiche che sono state approfondite all'interno della valutazione.

Accessibilità e trasporti: Valutare l'accessibilità ai servizi di commercio, sanità e istruzione tramite il sistema di trasporto pubblico e la presenza di infrastrutture per la mobilità dolce, nonché il sistema di viabilità.

Servizi di commercio: Identificare e mappare i punti vendita, centri commerciali, mercati e attività commerciali nell'area. Questo può essere fatto utilizzando mappe locali o dati disponibili online. Valutare la varietà e l'accessibilità dei servizi di commercio, tenendo conto delle esigenze della popolazione locale.

Servizi sanitari: Identificare gli ospedali, le farmacie e altri servizi sanitari nell'area. Valutare la disponibilità di servizi di emergenza, specialisti e la qualità complessiva dell'assistenza sanitaria.

Istruzione: Identificare scuole, istituti educativi, università e altre istituzioni di istruzione nell'area. Valutare la qualità dell'istruzione, la disponibilità di programmi educativi e l'accessibilità alle opportunità educative.

Analisi delle performance energetiche, finanziarie ed ambientali dello stock edilizio e identificazione delle priorità di intervento

La prima fase dell'attività ha avuto l'obiettivo di analizzare lo stato di fatto di un set di edifici proposti dalla Committenza al fine di identificare l'edificio sul quale sia prioritario intervenire con misure di retrofit, per migliorarne le prestazioni e ridurre le spese energetiche. Per farlo, è stato identificato un set di indicatori prestazionali che non si limitano al solo dato di consumo energetico in esercizio degli edifici, ma che integrano nella valutazione anche aspetti di natura finanziaria ed ambientale. Nel dettaglio, per ciascun edificio analizzato sono state calcolate le seguenti 3 coppie di indicatori, composte da un indicatore annuale totale, ed un indicatore annuale specifico, normalizzato sui m² di superficie calpestabile di ciascun edificio:

- Consumo di energia primaria totale [kWh/anno]
- Consumo di energia primaria specifico [kWh/(m²anno)]
- Costo dell'energia totale [€/anno]
- Costo dell'energia specifico [€/m²anno]
- Emissioni di CO_{2eq} totali [kgCO_{2eq}/anno]
- Emissioni di CO_{2eq} specifiche [kgCO_{2eq}/(m²anno)]

Per esprimere una valutazione relativamente alla priorità di intervento per ciascun edificio analizzato si è utilizzato lo strumento del grafico a quadranti. Tale strumento fornisce, attraverso l'utilizzo delle tre coppie di indicatori, una panoramica in formato grafico di facile interpretazione delle performance di ciascun edificio in relazione all'intero stock analizzato.

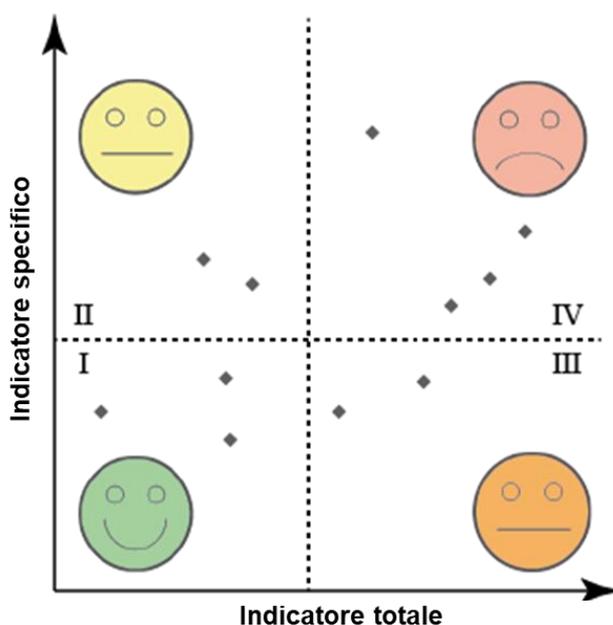


Figura 1 – Grafico a quadranti (Fonte: Articolo degli autori su rivista¹)

Come si evince dalla Figura 1, per ogni coppia di indicatori il grafico a quadranti presenta sull'asse delle ascisse l'indicatore annuale totale, mentre sull'asse delle ordinate vengono riportati i valori relativi all'indicatore prestazionale specifico annuale. Lo strumento prende il suo nome dalla divisione dell'area del grafico in 4 quadranti tramite due linee tratteggiate, una orizzontale e

¹ Giulia Vergerio, Cristina Becchio, Chiara Delmastro, Andrea Lanzini, Stefano P. Corgnati, Romano Borchiellini, A decision-making process to support public administrations in defining local energy policies, Thermal Science and Engineering Progress, Volume 6, 2018, Pages 398-409, ISSN 2451-9049

una verticale, che rappresentano rispettivamente il valore medio dell'indicatore prestazionale specifico e totale degli edifici analizzati. Tramite la divisione in quadranti è possibile individuare in modo immediato le diverse prestazioni degli edifici, permettendo l'identificazione degli edifici con le peggiori prestazioni energetiche, finanziarie ed ambientali, su cui è prioritario andare ad intervenire. Ogni edificio analizzato è rappresentato da un singolo punto nel grafico in base alle sue prestazioni annuali specifiche e totali per ciascuna coppia di indicatori. Nel dettaglio, i punti che ricadono nel quadrante I in basso a sinistra rappresentano edifici con indicatore specifico e totale contenuto. Questi edifici hanno priorità di intervento bassa. I punti che ricadono nel quadrante II, in alto a sinistra, hanno un indicatore totale contenuto, ma un indicatore specifico elevato. La priorità di intervento per gli edifici in questo quadrante è quindi media, poiché, nonostante una gestione probabilmente non ottimale a livello di consumi, e, quindi, di costi e di emissioni, l'incidenza delle scarse performance in esercizio ha un peso limitato a livello assoluto sullo stock analizzato. Priorità media è anche associata agli edifici che popolano il quadrante III, caratterizzati da buone performance specifiche, ma elevati valori per quanto concerne l'indicatore totale. Questo può essere causato dalle importanti dimensioni degli edifici in esame, le quali necessariamente hanno un impatto sulle prestazioni assolute degli stessi. Infine, in alto a destra, nel quadrante IV, ricadono gli edifici con le peggiori performance sia specifiche che assolute. Per questo motivo la priorità massima di intervento ricade sugli edifici presenti nel quadrante IV.

Lo strumento del grafico a quadranti è stato utilizzato per analizzare le performance energetiche, ambientali e finanziarie di 12 edifici del fondo immobiliare Piemonte C.A.S.E. di REAM SGR S.p.A. Per 5 di essi i dati forniti dalla Committenza sono risultati adeguati al fine di eseguire un'analisi dettagliata e completa delle loro prestazioni, mentre per gli altri edifici del fondo l'aggregazione dei dati di consumo o la mancanza stessa di dati non ha permesso il loro inserimento nel grafico. Solo gli immobili numerati da 1 a 5 sono riportati nei grafici a quadranti.

Per ciascun indicatore identificato come significativo (i.e., consumo di energia primaria, costo dell'energia, ed emissioni di CO_{2eq}), sono riportati di seguito i grafici a quadranti per il 2019, 2020 e 2021, anni per cui sono risultati disponibili i dati per i 5 edifici. Inoltre, sono stati elaborati i valori medi sui tre anni, che sono stati rappresentati in un ulteriore grafico.

Per quanto riguarda la prima coppia di indicatori relativi al consumo di energia primaria, i dati forniti dalla Committenza si presentano differenziati per ciascun vettore energetico (energia elettrica, teleriscaldamento, gas naturale). Utilizzando specifici fattori di conversione derivati dalla normativa nazionale per ciascun vettore energetico, è stato possibile calcolare il consumo di energia primaria, che consente di riferire i singoli consumi allo stesso tipo di energia e di poterli così sommare, ottenendo un unico valore di consumo complessivo dell'edificio. In linea con il Decreto Requisiti Minimi del 2015², sono stati utilizzati i seguenti fattori di conversione: vettore elettrico = 2.42 kWh_p/kWh_e, gas metano = 1.05 kWh_p/kWh_g, e teleriscaldamento = 1.50 kWh_p/kWh_{TLR}.

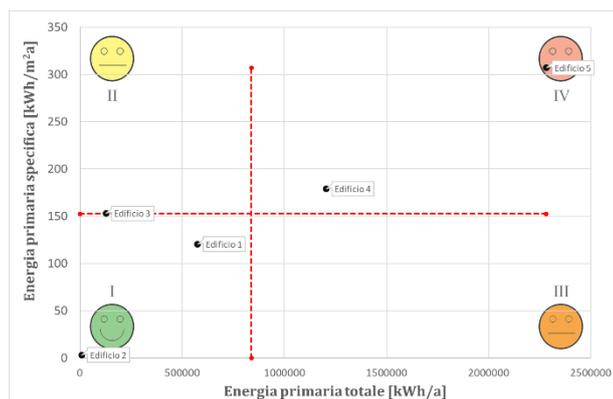
Osservando i grafici a quadranti relativi all'indicatore di consumo di energia primaria (Figura 2) si nota come gli immobili denominati edificio 2 edificio 1 e edificio 3 si trovino nel quadrante I e non presentino, quindi, particolari necessità di intervento al fine di migliorarne le prestazioni energetiche, mentre l'edificio 4 e l'edificio 5 risultano ricadere nel quadrante IV, quindi caratterizzati da alti livelli di consumo di energia primaria sia per quanto riguarda l'indicatore annuale totale, sia quello specifico. In particolare, l'edificio 5 risulta avere un consumo di energia primaria totale e specifico molto più elevato rispetto agli altri edifici.

Grafici a quadranti analoghi a quello riportato in Figura 2 per i consumi di energia primaria sono stati realizzati anche per il costo dell'energia e per le emissioni di CO_{2eq}, qui omessi per brevità di trattazione. Per entrambi gli indicatori il posizionamento reciproco degli edifici all'interno dei quadranti rimane invariato e in termini assoluti l'edificio 2 risulta sempre il migliore mentre l'edificio 5 risulta sempre il peggiore.

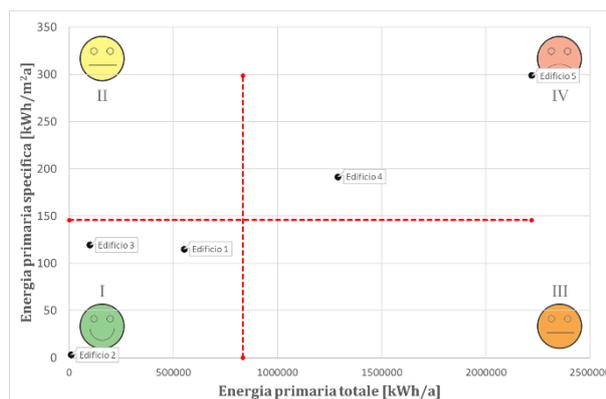
Consumo di energia primaria

² Decreto interministeriale 26 giugno 2015 - Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.

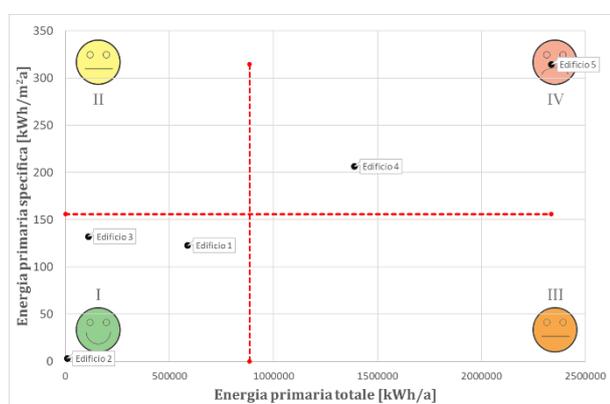
2019



2020



2021



MEDIA

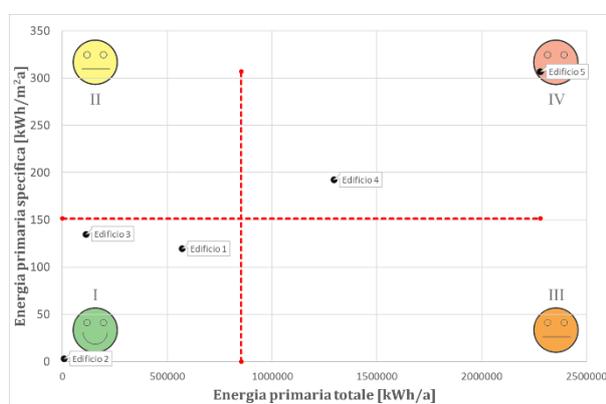


Figura 2 – Grafico a quadranti per gli indicatori di consumo di energia primaria (Fonte: Elaborazione degli autori)

Individuazione del caso pilota

Esiti delle analisi delle performance energetiche, finanziarie ed ambientali dello stock edilizio e identificazione delle priorità di intervento

Come dimostrato dall'analisi effettuata con lo strumento del grafico a quadranti, gli edifici con maggior priorità di intervento ricadono nel quadrante IV e sono quelli che consumano, emettono e spendono di più per l'approvvigionamento dell'energia. Di conseguenza, essi presentano livelli di criticità superiore, e costituiscono gli edifici sui quali risulta più urgente porre attenzione. In Figura 3 si riporta una sintesi delle prestazioni medie per le tre coppie di indicatori: consumo di energia primaria, costo dell'energia, ed emissioni di CO_{2eq}.

COMUNE	LOCALIZZAZIONE	CONSUMO ENERGIA PRIMARIA (MEDIO)	COSTO ENERGIA (MEDIO)	EMISSIONI DI CO _{2EQ} (MEDIO)
EDIFICIO 1	Semiperiferica	I	I	I

COMUNE	LOCALIZZAZIONE	CONSUMO ENERGIA PRIMARIA (MEDIO)	COSTO ENERGIA (MEDIO)	EMISSIONI DI CO2EQ (MEDIO)
EDIFICIO 2	Semiperiferica	I	I	I
EDIFICIO 3	Urbana	I	II	I
EDIFICIO 4	Semiperiferica/Extra-urbana	IV	IV	IV
EDIFICIO 5	Periferica	IV	IV	IV
LEGENDA	II quadrante	III quadrante	IV quadrante	

Figura 3 – Riassunto dei risultati prestazionali annuali dei grafici a quadranti (Fonte: Elaborazione degli autori)

Gli edifici 4 e 5 presentano performance molto scarse, ponendosi nel quadrante peggiore (IV) relativamente a tutti gli indicatori considerati. Tra questi due edifici, l'edificio 5 risulta essere sempre il peggiore, con livelli di performance di gran lunga più basse dell'edificio 4 (come risulta evidente dall'analisi del grafico 2).

Alla luce di queste considerazioni, risulta evidente come il caso studio con la maggiore priorità d'intervento sia l'edificio 5, il quale presenta le peggiori performance per tutti gli indicatori scelti, seguito dall'edificio 4. A seguito di un confronto con la Committenza, in cui si è discusso a proposito di questi due edifici, si è deciso di selezionare l'edificio 5 come "caso pilota" per la seconda fase di analisi riportata di seguito.

Valutazione energetica dello Stato di Fatto e degli scenari di retrofit

Obiettivo della seconda fase dell'attività è stata la valutazione, tramite un'analisi *Cost-Optimal*, dell'effetto di alcuni interventi di retrofit energetico per l'edificio 5, selezionato come caso pilota.

Nello specifico, a seguito di sopralluoghi e attraverso l'analisi della documentazione tecnica fornita dalla Committenza, è stato eseguito un approfondito studio energetico dell'edificio che ha permesso la modellazione energetica con metodo quasi-stazionario dello Stato di Fatto dello stesso utilizzando il software Edilclima EC700. L'analisi dettagliata del comportamento energetico dell'edificio ha permesso di identificare le criticità dell'edificio, suddividendole in quattro campi di intervento: involucro edilizio, sistemi di generazione, impianti a fonti rinnovabili, sistema di regolazione e controllo.

Successivamente sono stati proposti quattro scenari di retrofit a complessità realizzativa ed invasività crescente: *Minimal*, *Base*, *Avanzato* e *Green*. Per ciascuno di questi scenari, sono state definite alcune misure di efficientamento, che interessano i suddetti quattro campi di intervento.

Nel definire gli interventi di retrofit energetico per il caso pilota in esame, si è tenuto conto dell'ultima versione della Direttiva Europea sull'efficienza energetica degli edifici (EPBD), in via di adozione al momento dello svolgimento dell'attività e poi definitivamente adottata nel maggio del 2024.

I quattro scenari di retrofit energetico sono descritti in Figura 4. Lo Stato di Fatto a cui si fa riferimento nelle analisi è quello relativo al sopralluogo effettuato in campo all'inizio dello sviluppo dello studio. A seguito di un ingente guasto al sistema di generazione esistente, la Committenza ha provveduto ad installare 3 nuove caldaie a condensazione. Per tale motivo, i primi tre scenari presentano l'introduzione di nuove caldaie a condensazione tra le misure di intervento afferenti ai sistemi di generazione. Pur non completamente allineata agli indirizzi della EPBD, che indirizza verso edifici *all-electric*, questa decisione si è ritenuta necessaria data la spesa già sostenuta dalla Committenza per la sostituzione delle caldaie a causa di un guasto occorso successivamente alla data del sopralluogo, lasciando solo nell'ultimo scenario (*Green*) la misura di sostituzione del sistema di generazione con un

sistema ad alimentazione elettrica. Si specifica, inoltre, che l'intervento di installazione delle nuove caldaie riportato negli scenari di retrofit è stato considerato a costo zero, in quanto appena eseguito dalla Committenza.

In nessuno scenario sono stati previsti interventi sul sistema di regolazione e controllo, per via della mancanza di dati sull'effettivo potenziale del sistema attualmente installato nell'edificio.

	<i>Minimal</i>	<i>Base</i>	<i>Avanzato</i>	<i>Green</i>
 INVOLUCRO	-	-	<ul style="list-style-type: none"> Isolamento solai verso pilotis e sotto-tetto Veneziane interne 	<ul style="list-style-type: none"> Isolamento solai verso pilotis e sotto-tetto
 SISTEMI DI GENERAZIONE	<ul style="list-style-type: none"> Caldaie nuove (post intervento luglio) Gruppo frigorifero in copertura 	<ul style="list-style-type: none"> Caldaie nuove (post intervento luglio) Gruppo frigorifero in copertura 	<ul style="list-style-type: none"> Caldaie nuove (post intervento luglio) Gruppo frigorifero in copertura 	<ul style="list-style-type: none"> PDC per riscaldamento e ACS PDC per raffrescamento
 RINNOVABILI	<ul style="list-style-type: none"> PV esistente funzionante ST esistente funzionante 	<ul style="list-style-type: none"> PV nuovo al posto di PV esistente ST esistente funzionante 	<ul style="list-style-type: none"> PV nuovo al posto di PV esistente ST esistente funzionante 	<ul style="list-style-type: none"> No ST PV nuovo al posto di ST e di PV esistente
 REGOLAZIONE E CONTROLLO	-	-	-	-

PV: fotovoltaico; ST: solare Termico; PDC: pompa di calore; ACS: acqua calda sanitaria

Figura 4 – Scenari di retrofit proposti (Fonte: Elaborazione degli autori)

Per i vari scenari, nelle Figure 5, 6 e 7 sono riportati nel dettaglio gli interventi di retrofit sull'involucro edilizio, sugli impianti di climatizzazione e sulle fonti rinnovabili.

	SCENARIO MINIMAL	SCENARIO BASE	SCENARIO AVANZATO	SCENARIO GREEN
INVOLUCRO	-	-	Veneziane interne su 62 portefinestre 144 finestre esposizione sud	-
	-	-	Solaio vs pilotis aggiunti 8 cm di isolante EPS U = 0.184 W/m ² K	Solaio vs pilotis aggiunti 8 cm di isolante EPS U = 0.184 W/m ² K
	-	-	Solaio vs garage aggiunti 8 cm di isolante EPS U = 0.193 W/m ² K	Solaio vs garage aggiunti 8 cm di isolante EPS U = 0.193 W/m ² K
	-	-	Solaio vs sottotetto aggiunti 10 cm di isolante EPS U = 0.179 W/m ² K	Solaio vs sottotetto aggiunti 10 cm di isolante EPS U = 0.179 W/m ² K

Figura 5 – Interventi di retrofit sull'involucro edilizio per i vari scenari (Fonte: Elaborazione degli autori)

	SCENARIO MINIMAL	SCENARIO BASE	SCENARIO AVANZATO	SCENARIO GREEN
SISTEMI DI GENERAZIONE	Riscaldamento + Acqua Calda Sanitaria		2 caldaie a condensazione ICI mod. Monolite 320 GT portata termica 296.8 kW Rendimento utile = 98.5 %	1 PDC geotermica 602 kW COP = 5.86
	Raffrescamento	-	-	1 PDC aria-acqua 377 kW EER = 4.93

Figura 6 – Interventi di retrofit sugli impianti di climatizzazione per i vari scenari (Fonte: Elaborazione degli autori)

	SCENARIO MINIMAL	SCENARIO BASE	SCENARIO AVANZATO	SCENARIO GREEN	
IMPIANTI A FONTI RINNOVABILI	Fotovoltaico	96 pannelli esistenti 20.04 kW _p	72 pannelli nuovi 30.6 kW _p	72 pannelli nuovi 30.6 kW _p	114 pannelli nuovi 48.45 kW _p
	Solare termico	36 pannelli esistenti 82.8 m ²	36 pannelli esistenti 82.8 m ²	36 pannelli esistenti 82.8 m ²	-

Figura 7 – Interventi di retrofit sugli impianti a fonti rinnovabili per i vari scenari (Fonte: Elaborazione degli autori)

Nella Figura 8 sono riportati i principali risultati energetici delle simulazioni, con le coperture di consumi da fotovoltaico e solare termico, i consumi di energia primaria ed il risparmio di energia primaria rispetto allo Stato di Fatto. L'ultima colonna riporta anche la classe energetica dell'edificio, calcolata in base a quanto stabilito dal Decreto Interministeriale del 26/06/2015 e dalle relative disposizioni della Regione Piemonte. È importante sottolineare che gli usi finali considerati per il calcolo delle prestazioni energetiche dei diversi scenari modellati fanno riferimento ai soli servizi di climatizzazione e di produzione di acqua calda sanitaria, mentre sono esclusi dal calcolo i consumi relativi all'illuminazione degli ambienti, al funzionamento degli ascensori, ed all'utilizzo di apparecchiature (sui quali peraltro non è stato ipotizzato nessun intervento di retrofit).

	Consumo Elettrico Coperto Da Fotovoltaico [%]	Consumo Di Acs Coperto Da Solare Termico [%]	Consumo Energia Primaria [kWh_p/Anno]	ΔkWh_p [%]	Classe Energetica
STATO DI FATTO	-	-	1'248'926	-	B
SCENARIO MINIMAL	34.7%	14.6%	1'127'608	9.7%	B
SCENARIO BASE	48.9%	14.6%	1'107'563	11.3%	B
SCENARIO AVANZATO	50.4%	14.6%	1'076'600	13.8%	A1
SCENARIO GREEN	21.4%	0%	474'969	62%	A4

Figura 8 – Interventi di retrofit sugli impianti a fonti rinnovabili per i vari scenari (Fonte: Elaborazione degli autori)

Analisi cost-optimal del caso pilota

L'analisi *Cost-Optimal* è stata sviluppata in quattro fasi: (i) valutazione energetica, (ii) valutazione finanziaria dei costi, (iii) generazione del grafico di *Cost-Optimal* con individuazione del *cost-optimal level*, (iv) analisi di sensitività del modello valutativo. Nel dettaglio, la fase di valutazione energetica è quella già descritta nel paragrafo precedente. Successivamente, è stata eseguita una valutazione finanziaria secondo la metodologia del costo globale; in seguito, i diversi costi sono stati analizzati tramite la *Breakdown Analysis*. I risultati di tali valutazioni energetiche e finanziarie sono stati utilizzati per disegnare il grafico *Cost-Optimal* al fine di comparare i diversi scenari proposti tra loro e con lo Stato di Fatto. Da ultimo, sono state svolte due analisi di sensitività al fine di considerare la stabilità degli esiti delle analisi proposte, a fronte della variazione di alcune delle ipotesi iniziali alla costruzione del modello di valutazione.

Metodologia cost-optimal

Il concetto di Costo Ottimale (*Cost-Optimal*) è stato introdotto dalla Direttiva 2010/31/UE³, nota anche come Revisione della *Energy Performance of Buildings Directive (EPBD recast)*. Successiva alla Direttiva 2002/91/CE (*EPBD I*)⁴ che ha definito il concetto di certificazione energetica in tutti gli Stati Membri, l'*EPBD recast* ha imposto agli Stati Membri la determinazione di requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici considerando il raggiungimento di livelli ottimali di costo delle soluzioni considerate nell'arco della vita utile di un edificio. In particolare, questa metodologia consente di valutare diverse soluzioni di efficientamento energetico operando un bilanciamento tra le prestazioni energetiche dell'edificio, ed i costi da sostenere per la loro realizzazione e per il loro mantenimento durante il periodo di calcolo dell'analisi stessa.

Nella presente analisi, l'applicazione della metodologia di *Cost-Optimal* è stata utilizzata a fini progettuali, con lo scopo di valutare le soluzioni di intervento proposte lungo il periodo di calcolo considerato nell'analisi stessa, permettendo di restituire un quadro valutativo più completo e ricco di informazioni rispetto all'applicazione di altre metodologie disponibili a supporto delle decisioni di intervento in campo energetico-finanziario (quali, ad esempio, l'analisi del tempo di ritorno dell'investimento).

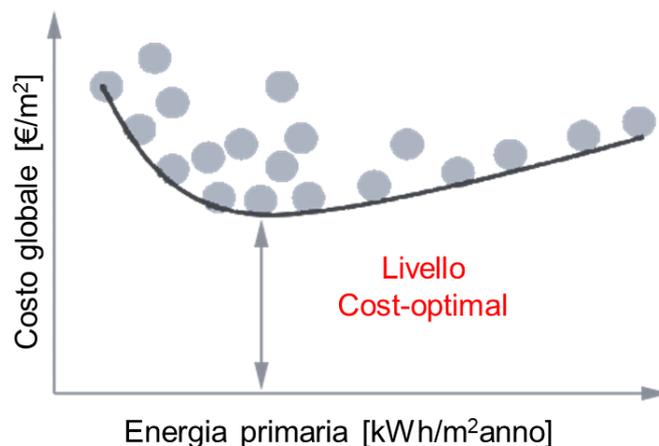


Figura 9. Grafico del Costo Ottimale (Fonte: Elaborazione degli autori)

Il concetto di livello di costo ottimale (*Cost-Optimal Level*) è definito come "il livello di prestazione energetica che comporta il costo globale più basso durante il ciclo di vita economico stimato dell'edificio". La Figura 9 illustra schematicamente il grafico di *Cost-Optimal*. Tale grafico presenta sull'asse delle ordinate i valori di costo globale dei diversi scenari normalizzati rispetto alla superficie climatizzata dell'edificio oggetto d'esame (pertanto espressi in €/m²), mentre sull'asse delle ascisse sono indicati i consumi annuali di energia primaria anch'essi normalizzati rispetto alla superficie climatizzata dell'edificio stesso (in kWh/m²·anno).

³ Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (*Recast*), Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea (2010).

⁴ Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia, Gazzetta ufficiale delle Comunità europee (2003).

Il carattere innovativo dell'analisi *Cost-Optimal* consiste nell'utilizzo dell'indicatore finanziario rappresentato dal costo globale di tali alternative progettuali. L'accoppiamento, quindi, dell'indicatore del costo globale con un indicatore di natura energetica (solitamente il consumo annuale di energia primaria) consente la valutazione di ciascuna soluzione in termini di prestazione energetico-finanziaria, e di visualizzare graficamente il posizionamento reciproco delle alternative di retrofit tramite il grafico di *Cost-Optimal*.

Di seguito viene fornita la formulazione matematica per il calcolo del valore di costo globale, come definito dalla norma UNI EN 15459:2008⁵.

$$C_g(\tau) = C_i + \sum_j [\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \cdot R_d(i)) - V_{f,\tau}(j)] \quad (1)$$

Dove $C_g(\tau)$ rappresenta il costo globale riferito al periodo di calcolo τ , C_i l'importo dell'investimento iniziale, $C_{a,i}(j)$ il costo annuale per il componente j nell'anno i , includendo costi di gestione (comprendenti i costi di manutenzione ordinaria ed energetici), di sostituzione, e $V_{f,\tau}(j)$ il valore finale del componente j al termine del periodo di calcolo τ . Da ultimo $R_d(i)$ rappresenta il fattore di attualizzazione, necessario a riferire costi sostenuti nei diversi anni del tempo di calcolo al momento iniziale dell'analisi.

Grafico di Cost-Optimal ed individuazione del cost-optimal level

In seguito al calcolo dei consumi di energia primaria annuali nella valutazione energetica, e del costo globale dei vari interventi nella valutazione finanziaria, è stato possibile generare il grafico di *Cost-Optimal* riportato in Figura 10. Tale grafico permette, come si è detto in precedenza, l'analisi comparata delle prestazioni energetiche e finanziarie degli scenari di retrofit proposti. In particolare, dalla Figura 10 si evince come gli scenari *Minimal*, *Base* ed *Avanzato* presentino contenuti livelli di riduzione sui consumi energetici, a fronte di limitati aumenti in termini di costo globale per i primi due, e leggermente più alto per lo scenario *Avanzato*. Risulta evidente, invece, come lo scenario *Green* presenti prestazioni decisamente migliori in termini sia di consumo di energia primaria ($\text{kWh}_p/\text{m}^2\text{anno}$), sia di costo globale ($\text{€}/\text{m}^2$), risultando lo scenario più efficace rispetto ad entrambi gli indicatori.

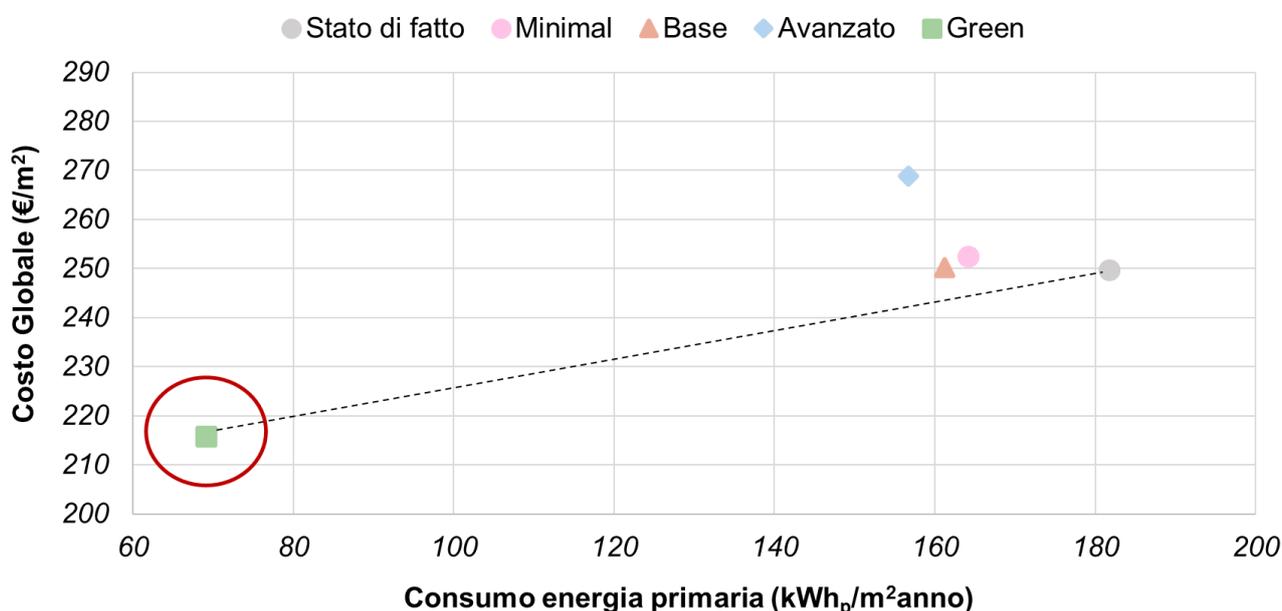


Figura 10 - Grafico Cost-Optimal (Fonte: Elaborazione degli autori)

Per analizzare nel dettaglio le varie voci di costo, che compongono il costo globale, è stata effettuata una *Breakdown Analysis*, riportata in Figura 11. L'analisi è particolarmente utile per guidare le scelte durante il processo decisionale, perché permette di esaminare quali costi siano più impattanti nel corso del periodo di calcolo e come essi varino da scenario a scenario.

⁵ UNI EN 15459:2008 "Prestazione energetica degli edifici - Procedura di valutazione economica dei sistemi energetici degli edifici" (2008).

Considerando il costo di investimento (in blu), nello Stato di Fatto questa voce non è presente, poiché si valuta l'edificio come realmente è (alla data del sopralluogo), senza interventi di retrofit. Negli altri scenari invece, il costo di investimento è una voce di costo crescente, raggiungendo il valore massimo nello scenario più *eco-friendly*, il *Green*. Altro parametro avente influenza preminente sul costo globale è il costo dell'energia (in verde). Al contrario del costo d'investimento, questa voce è massima nello Stato di Fatto e diminuisce muovendosi verso lo scenario *Green*.

La *Breakdown Analysis* permette, quindi, di apprezzare la potenzialità del considerare gli interventi di retrofit attraverso l'indicatore di costo globale: se si fosse valutato il solo costo d'investimento, lo scenario *Green* sarebbe stato scartato in quanto notevolmente più costoso rispetto agli scenari *Minimal* e *Base*. Considerando però tutti i costi da sostenere durante il periodo di calcolo analizzato (30 anni), si percepisce come il costo di investimento sia meno rilevante rispetto al costo dell'energia: lo scenario *Green* risulta, quindi, essere il più conveniente sia in termini energetici, che finanziari.

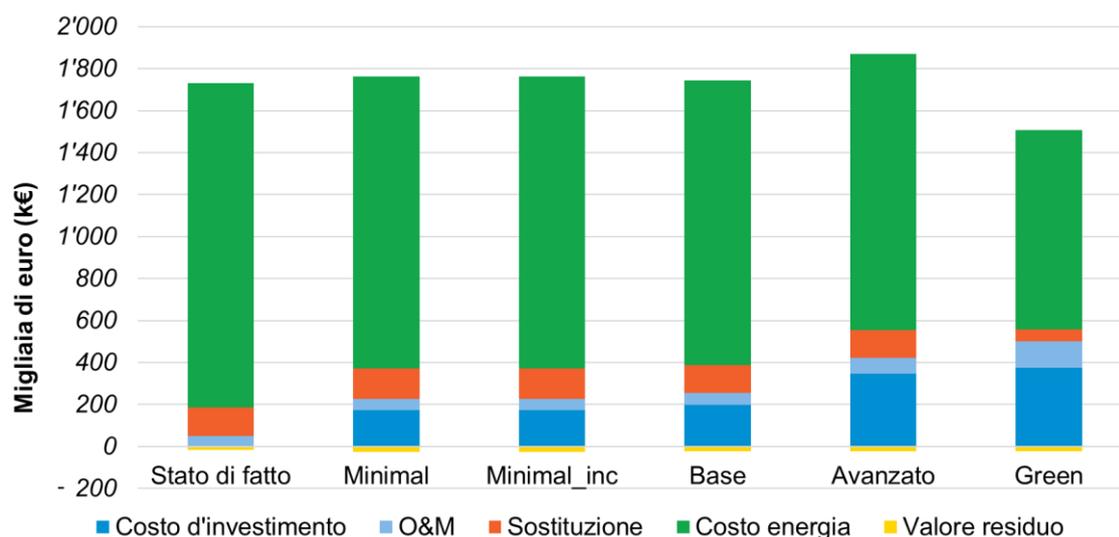


Figura 11 - Breakdown Analysis (Fonte: Elaborazione degli autori)

Conclusioni

Le analisi effettuate sul caso pilota dell'edificio 5 mediante un'analisi dettagliata della documentazione tecnica fornita dalla Committenza e sopralluoghi, hanno consentito di identificare le problematiche dell'edificio in questione e di presentare quattro opzioni possibili per interventi migliorativi di retrofit energetico.

Attraverso l'applicazione della metodologia *Cost-Optimal*, la valutazione energetica dello Stato di Fatto e dei diversi scenari proposti, accoppiata all'analisi finanziaria eseguita attraverso il calcolo del costo globale su un arco temporale totale di 30 anni, ha permesso di restituire un quadro prestazionale energetico-finanziario complessivo dell'edificio oggetto di studio.

Dalle analisi è emerso chiaramente che i costi legati all'acquisizione dell'energia hanno un'influenza preminente nel periodo di calcolo, mentre le altre categorie di costo (investimento, manutenzione ordinaria, sostituzione, valore residuo) risultano avere un peso inferiore sul costo globale.

Tra i diversi scenari proposti, l'alternativa denominata *Green*, coerente con le prescrizioni della EPBD Europea, propone un pacchetto di misure efficientanti a livello di involucro (isolamento di solai verso i pilotis e verso il sotto-tetto) e nella direzione *"all-electric"* per ciò che riguarda la generazione (sostituzione delle caldaie a condensazione con pompe di calore e installazione di solo impianto fotovoltaico in copertura), risultando pertanto lo scenario preferibile. Infatti, nonostante un alto costo di investimento iniziale, nell'arco dei 30 anni del periodo di calcolo, risulta la soluzione sia con il costo globale minore, sia con le migliori prestazioni in termini di consumo di energia primaria annuale. Tale soluzione, inoltre, garantisce all'edificio un salto di classe energetica dalla classe B attuale, alla classe A4 che è la massima raggiungibile in base alla normativa vigente.

Da ultimo si sono effettuate due analisi di sensitività per testare la stabilità dei risultati del modello valutativo al variare di alcuni dati di input. Anche in queste ultime analisi, lo scenario di intervento *Green* si conferma l'alternativa con i costi globali minori e le prestazioni energetiche migliori rispetto a tutti gli altri scenari considerati.

