

ANALISI DEL COMPORTAMENTO ENERGETICO DEGLI EDIFICI RESIDENZIALI NELLA PROVINCIA DI MILANO

di

* Carlotta Bersani

Introduzione

Il settore dell'edilizia ha un forte impatto sull'ambiente: è responsabile di circa il 40% del consumo di energia e del 36% delle emissioni di gas serra. Per affrontare il problema, l'Unione Europea, tramite direttive e piani finanziari, promuove misure di efficientamento energetico del patrimonio edilizio esistente. In Italia, da luglio 2020, la detrazione fiscale del Superbonus 110% ha significativamente investito il settore, dando al tema dell'efficientamento energetico importanza primaria. Il requisito principale per accedere alla detrazione, è il miglioramento del comportamento energetico dell'edificio di almeno due classi energetiche, conseguito grazie agli interventi agevolati. Il tema del doppio salto di classe come requisito fondamentale per l'accesso alle detrazioni, si ricollega alla recente proposta di revisione della EPBD, che prevede una classe energetica minima da raggiungere in caso di vendita, locazione o ristrutturazione: per gli edifici residenziali classe F a partire dall'anno 2030 e classe E dall'anno 2033.

Il presente articolo è la sintesi dei risultati ottenuti nell'ambito dell'elaborazione della Tesi di Laurea Magistrale in Building Engineering "Analysis on energy performance of residential buildings in Milano Metropolitan Area", discussa il 28 aprile 2022 presso il Politecnico di Milano. La tesi è stata redatta dalla studentessa Carlotta Bersani con relatore prof. Andrea Giovanni Mainini.

L'analisi ha come oggetto gli edifici residenzia-

li nella provincia di Milano e vuole essere un supporto ai professionisti nella valutazione degli interventi necessari al miglioramento delle prestazioni energetiche dell'edificio, valutato tramite il salto di almeno due classi energetiche; l'analisi indaga il requisito degli standard energetici minimi: il significato, gli interventi che potrebbero consentire tale miglioramento, le difficoltà e le criticità che si presentano durante il processo di rinnovamento.

Lo studio di analisi iniziale presenta un'indicazione numerica dello sforzo necessario per rispettare il requisito. La successiva presentazione di casi studio reali convalida i valori trovati nella parte precedente. Il confronto con edifici reali permette di confermare i risultati dell'analisi, e introduce anche le varie criticità che si incontrano durante il processo di efficientamento energetico. Oltre alle previsioni numeriche, il lavoro professionale vero e proprio incontra molte difficoltà; questo si svolge in numerosi passaggi - studi preliminari, scelte dei materiali, verifica dei requisiti di legge, procedure burocratiche, gestione dei tempi e delle risorse, calcoli economici, lavori di ristrutturazione veri e propri -, coinvolge molte figure diverse - architetti, ingegneri, tecnici, imprenditori - e deve seguire regole rigide.

Il fine ultimo del lavoro di Tesi è quello di presentare una previsione della riduzione del fabbisogno energetico richiesto, le misure che vengono considerate per raggiungere il requisito, le criticità che potrebbero minare il rispetto dei

requisiti e la fattibilità dell'intervento. Non tutti gli edifici presentano la possibilità di essere ristrutturati rispettando lo standard energetico minimo imposto. Un approccio critico a tale obbligo è necessario, così come la riduzione del fabbisogno energetico di un settore tanto energivoro.

Analisi

Selezione e organizzazione dei dati

Per effettuare un'analisi di tipo statistico, è stato necessario raccogliere in partenza dati significativi: la fonte considerata è il catasto energetico regionale CENED 2+, che mette a disposizione un portale Open Source da cui poter scaricare tutti gli attestati di prestazione energetica caricati dai certificatori. L'APE è il primo strumento impiegato nella tesi, in quanto contiene le informazioni di classe energetica e il relativo $EP_{gl,nren}$ ossia il valore di energia primaria non rinnovabile espresso in $[kWh/m^2a]$. Questi due parametri sono di interesse in quanto tutta l'analisi si basa sulla classe e sul valore di $EP_{gl,nren}$.

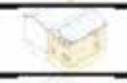
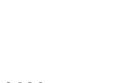
I certificati sono stati scaricati e filtrati per una selezione più precisa: per area geografica (provincia di Milano), destinazione d'uso (residenziale), oggetto del certificato, generale validità delle informazioni riportate (sono stati esclusi i

certificati con dati improbabili, come ad esempio anno di compilazione maggiore di 2021, o $EP_{gl,nren}$ pari a 0 kWh/m^2a con classe energetica C). Al fronte dei filtri applicati il campione finale per le analisi è composto da 12'048 certificati.

I dati scaricati e filtrati sono stati successivamente analizzati. I risultati delle analisi sono organizzati e riportati considerando un modello specifico, ossia la matrice di TABULA (Typology Approach for Building Stock Energy Assesment); TABULA è uno strumento sviluppato dal Dipartimento di Energia del Politecnico di Torino, che ha l'obiettivo di valutare il consumo energetico del patrimonio edilizio nazionale, e di prevedere di conseguenza l'impatto delle misure di efficienza energetica. Alla base dell'analisi di TABULA c'è il concetto di "tipologia edilizia" specifica per ogni Paese: la struttura della tipologia è stata integrata con le seguenti informazioni:

- Dati dimensionali e tipologici.
- Parametri termo-fisici dell'involucro edilizio.
- Prestazioni dei sistemi edilizi.
- Distribuzione nel contesto urbano.
- Possibili interventi di ristrutturazione di diversa qualità "standard" o "avanzata".

I risultati sono visualizzati nella matrice riportata di seguito.

BUILDING SIZE CLASS				
	SINGLE FAMILY HOUSES	TERRACED HOUSES	MULTI-FAMILY HOUSES	APARTMENT BLOCKS
1 Up to 1900				
2 1901-1920				
3 1921-1945				
4 1946-1960				
5 1961-1975				
6 1976-1990				
7 1991-2005				
8 After 2005				

Per studiare gli edifici oggetto di analisi, la matrice è stata riadattata come segue:

Classe di grandezza dell'edificio:

1. Casa unifamiliare, rapporto S/V > 0,6
2. Case a schiera, rapporto S/V < 0,6
3. Case multifamiliari, 2-10 appartamenti
4. Condomini, ≥ 11 appartamenti

Classe di età dell'edificio:

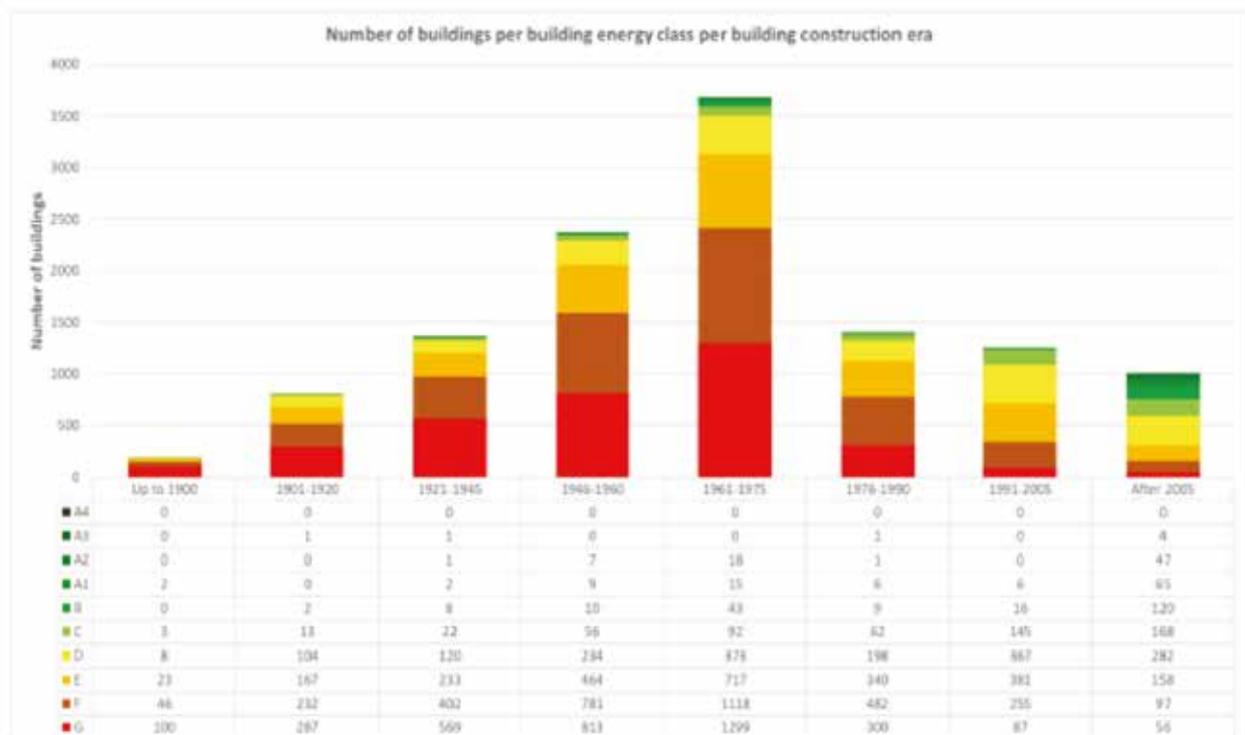
1. Fino al 1945
2. 1946-1960
3. 1961-1975
4. 1976-2005
5. Dopo il 2005

TITLE			BUILDING SIZE CLASS			
			1 Single-family houses S/V > 0.6	2 Terraced houses S/V < 0.6	3 Multi-family houses 2-10 apt	4 Apartment block ≥ 10 apt
BUILDING AGE CLASS	1	Up to 1945	...	...	...	...
	2	1946-1960	...	...	...	...
	3	1961-1975	...	...	...	...
	4	1976-2005	...	...	...	...
	5	After 2005	...	...	...	...

Analisi degli edifici esistenti

Prima di iniziare con le analisi dei dati, è stato rappresentato con il seguente grafico il comportamento degli edifici tramite l'informazione di classe energetica-

tica: è riportato il numero di edifici (asse verticale) per età di costruzione (asse orizzontale). Sotto l'istogramma sono riportati i numeri reali.



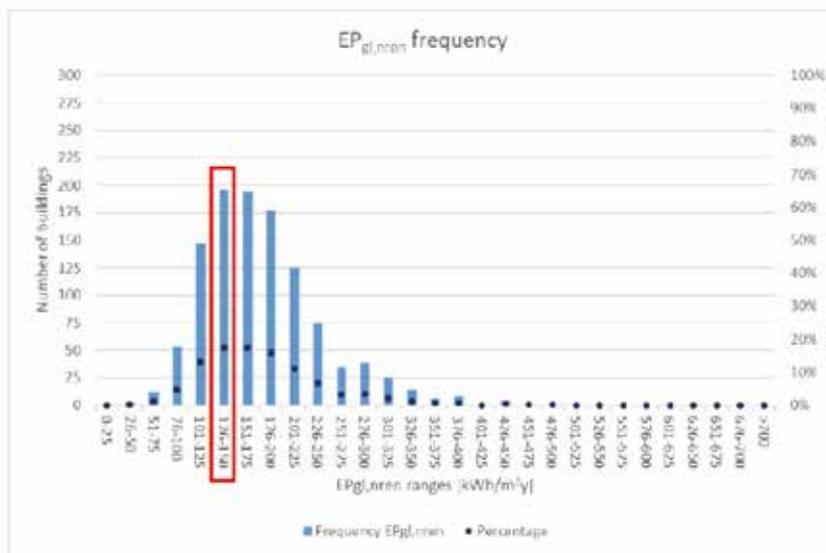
Da questo grafico è possibile notare e constatare che:

- La maggior parte degli edifici è stata costruita tra il 1961 e il 1975.
- Il secondo periodo più prolifico è quello tra il 1946 e il 1960.
- La ragione dei numeri di questi tre decenni è legata al miracolo economico italiano.
- Gli edifici costruiti tra il 1961 e il 1975 appartengono principalmente alle classi “G” e “F”.
- La “G” è la classe più popolosa.
- Dopo il 2005 le prestazioni energetiche degli edifici sono migliori rispetto alle epoche di costruzione precedenti.

In generale, questo grafico mostra bene la situazione del patrimonio edilizio esistente, e questa informazione è il punto di partenza per ulteriori analisi:

come detto, le lettere della classificazione sono utili per capire l'entità dei consumi rispetto alla condizione di energia zero, specifica per ogni edificio, e sono utili anche per le agevolazioni fiscali in esame. Il parco edifici di interesse per le agevolazioni fiscali del Superbonus deve essere riqualificato. L'analisi ora svolta considera ogni tipologia di edificio, identificata per dimensione ed età di costruzione. A questo punto, per ogni classe di edifici è stato analizzato il fattore $EP_{gl,nren}$: sull'asse orizzontale si trovano le classi di frequenza (considerando un passo di 25 [kWh/m²a]), sugli assi verticali il numero di edifici e la percentuale sul totale che ogni gruppo rappresenta; le colonne rappresentano il numero di edifici che ricadono nello specifico range di frequenza del fattore di $EP_{gl,nren}$ in cui ricadono più frequentemente gli edifici.

Building size class	2 – Terraced houses; S/V < 0.6
Building age class	2 – 1946 - 1960
Total number of buildings	1116



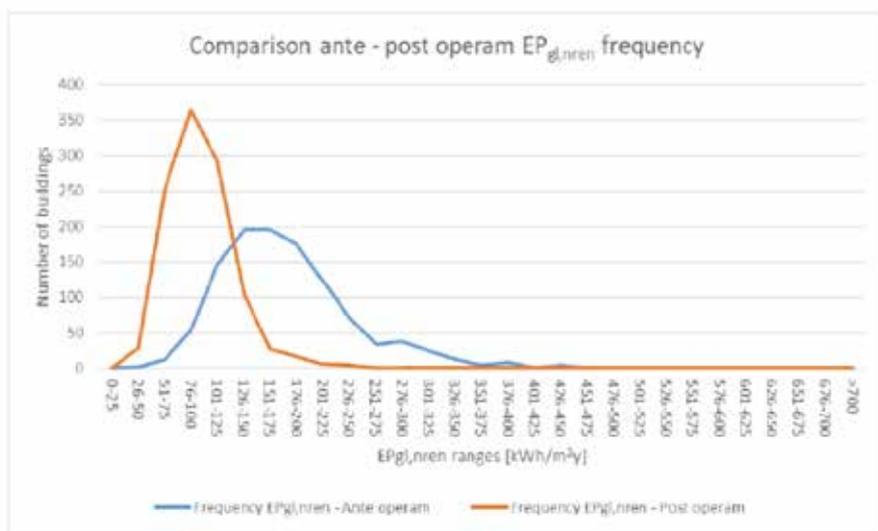
Existing buildings average EP _{gl,nren} summary table [kWh/m ² y]		BUILDING SIZE CLASS			
		1 Single-family houses S/V > 0.6	2 Terraced houses S/V < 0.6	3 Multi-family houses 2-10 apt	4 Apartment block ≥ 10 apt
BUILDING AGE CLASS	1 Up to 1945	301 – 325	126 – 150	201 – 225	151 – 175
	2 1946 - 1960	301 – 325	126 – 150	276 – 300	126 – 150
	3 1961 - 1975	226 – 250	151 – 175	126 – 150	151 – 175
	4 1976 - 2005	176 – 200	101 – 125	151 – 175	126 – 150
	5 After 2005	126 – 150	101 - 125	101 – 125	76 – 100

Prendendo il sottogruppo riportato come esempio e dimostrazione del calcolo effettuato, e la tabella riassuntiva della prima analisi, si sottolinea che: l'andamento della campana è frutto della divisione in range stabilita ogni 25 kWh/m²a, il range di frequenza più popoloso non comunica il generale comportamento del campione selezionato, e per comprendere appieno il sottogruppo selezionato è necessario guardare i risultati nel complesso. Tuttavia, è stato selezionato il valore più frequente come indicatore medio di riferimento; è così possibile stabilire che: con l'avanzare del periodo di costruzione, così come con l'aumentare delle dimensioni dell'edificio e del numero delle unità considerate, diminuisce il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile globale; questo è posto in relazione alle tecnologie adottate, all'attenzione posta sul tema efficienza energetica nel corso degli ultimi decenni, e alla geometria che influisce sulle dispersioni.

Stima della riduzione di energia necessaria per il doppio salto di classe

Tramite il valore EP(Y) (ossia il valore di EP_{gl,nren,rif} di separazione tra la classe B e A, presente nel certificato) è stato possibile ricostruire per ogni certificato la griglia di classificazione moltiplicando tale valore per i coefficienti moltiplicativi che stabiliscono i limiti di classi inferiori e superiori. Partendo dalla classe dei certificati – considerata come ante operam – è stato possibile stabilire la classe “post operam” (ad esempio per un edificio in classe D è stata scelta la classe B). Con il valore di EP(Y) è stata ricostruita la griglia di classificazione, a questo punto avendo la classe di arrivo, il valore di EP_{gl,nren} post operam è stato posizionato cautelativamente a 1/3 del range della classe post operam. Partendo dal valore di EP_{gl,nren} è stato possibile stabilire la differenza in percentuale tra la si-

Building size class	2 – Terraced houses; S/V < 0.6
Building age class	2 – 1946 - 1960
Total number of buildings	1097



Energy reduction average percentage summary table [%]		BUILDING SIZE CLASS			
		1 Single-family houses S/V > 0.6	2 Terraced houses S/V < 0.6	3 Multi-family houses 2-10 apt	4 Apartment block ≥ 10 apt
BUILDING AGE CLASS	1 Up to 1945	46 – 50	41 – 45	46 – 50	46 – 50
	2 1946 - 1960	46 – 50	41 – 45	46 – 50	41 – 45
	3 1961 - 1975	46 – 50	41 – 45	41 – 45	41 – 45
	4 1976 - 2005	41 – 45	41 – 45	41 – 45	46 – 50
	5 After 2005	36 – 40	36 – 40	41 – 45	36 – 40

tuazione ante operam e la situazione post operam. Il grafico sottostante rappresenta un sottogruppo riportato come esempio, in cui: in blu sono rappresentati gli edifici nella condizione ante operam (stesso dato dell'analisi precedente), e in arancione il valore di $EP_{gl,nren}$ calcolato come appena descritto. Il risultato riportato nella tabella finale è la differenza in percentuale tra questi due valori.

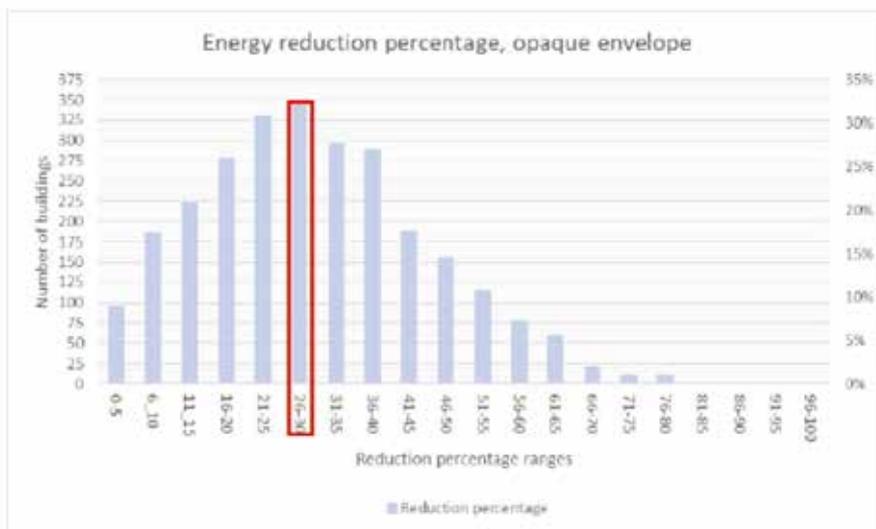
È possibile constatare che: la percentuale di riduzione del valore di $EP_{gl,nren}$ necessaria per ottenere il doppio salto di classe è simile per tutti i sottogruppi considerati, con qualche differenza coerente con quanto evinto dall'analisi precedente. I sottogruppi che risultavano più energivori richiedono una riduzione maggiore: questo perché la classe G, la più popolosa secondo il grafico riportato precedente-

mente, ha un limite superiore ma non uno inferiore e questo porta ad avere valori anche molto distanti dal primo salto di classe G – F.

Stima della riduzione di energia conseguibile attraverso interventi migliorativi

Un'altra informazione presente sui certificati APE, è il suggerimento, da parte del certificatore, di alcuni interventi migliorativi e il relativo risultato ottenibile. Sono stati considerati gli interventi riguardo: l'involucro opaco, l'involucro trasparente, la sostituzione del generatore di calore per il servizio di riscaldamento, essendo gli interventi compresi nel Superbonus. Non tutti i certificati presentano tale dato, quindi sono stati accorpati per anno di costruzione mantenendo 4 sottogruppi anziché 20. I dati sono stati rappresentati secondo le logiche dei grafici precedenti.

Building size class	2 – Terraced houses; S/V < 0.6
Total number of buildings	2676



Energy reduction per intervention average percentage summary table [%]			BUILDING SIZE CLASS				
			1	2	3	4	
INTERVENTIONS		Opaque envelope	Single-family houses S/V > 0.6	Terraced houses S/V < 0.6	Multi-family houses 2-10 apt	Apartment block ≥ 10 apt	
		1	Opaque envelope	26 – 30	26 – 30	26 – 30	31 – 35
		2	Transparent envelope	5 – 10	5 – 10	5 – 10	5 – 10
3	Heating system	0 – 5	0 – 5	5 – 10	5 – 10		

Dalla tabella riassuntiva si evince che: l'intervento sull'involucro opaco consente una riduzione di circa il 30%, valore che varia in base alla superficie di intervento, alla situazione ante operam, alle specifiche dell'intervento; l'intervento sull'involucro trasparente consente di ottenere una riduzione di circa il 5-10%; l'intervento sull'impianto comporta una

riduzione molto ristretta – questo dato varia molto in base al sistema scelto, perché incide direttamente sulla parte non rinnovabile o rinnovabile di energia primaria.

Sono di seguito riportate le tre tabelle riassuntive dei valori calcolati:

BUILDING SIZE CLASS						
		1	2	3	4	
		Single-family houses S/V > 0.6	Terraced houses S/V < 0.6	Multi-family houses 2-10 apt	Apartment block ≥ 10 apt	

Existing buildings average EP _{gl,area} summary table [kWh/m ² y]						
BUILDING AGE CLASS	1	Up to 1945	301 – 325	126 – 150	201 – 225	151 – 175
	2	1946 1960	301 – 325	126 – 150	276 – 300	126 – 150
	3	1961 1975	226 – 250	151 – 175	126 – 150	151 – 175
	4	1976 2005	176 – 200	101 – 125	151 – 175	126 – 150
	5	After 2005	126 – 150	101 - 125	101 – 125	76 – 100

Energy reduction average percentage summary table [%]						
BUILDING AGE CLASS	1	Up to 1945	46 – 50	41 – 45	46 – 50	46 – 50
	2	1946 1960	46 – 50	41 – 45	46 – 50	41 – 45
	3	1961 1975	46 – 50	41 – 45	41 – 45	41 – 45
	4	1976 2005	41 – 45	41 – 45	41 – 45	46 – 50
	5	After 2005	36 – 40	36 – 40	41 – 45	36 – 40

Energy reduction per intervention average percentage summary table [%]						
INTERVENTIONS	1	Opaque envelope	26 – 30	26 – 30	26 – 30	31 – 35
	2	Transparent envelope	5 – 10	5 – 10	5 – 10	5 – 10
	3	Heating system	0 – 5	0 – 5	5 – 10	5 – 10

Confronto con edifici reali

A seguito dell'analisi statistica sul campione selezionato, è stata fatta un'analisi di edifici reali studiati appositamente per l'accesso alle detrazioni del 110%. Gli edifici selezionati sono tutti condomini, essendo la tipologia più studiata, e di seguito si riportano le tabelle che riassumono gli interventi (sull'involucro

opaco, trasparente e la sostituzione dell'impianto di generazione) con i valori di EP_{gl,nren} che consentono di ottenere, e la percentuale di riduzione sempre sul valore di EP_{gl,nren}. I valori riportati considerano l'effetto del singolo intervento.

Le percentuali riportate confermano quanto analizzato precedentemente.

Edificio B01 – EP_{gl,nren} ante operam 246,75 kWh/m²a

INTERVENTIONS		
	EP _{gl,nren} Post operam	Energy reduction
Opaque envelope	145,90 kWh/m ² y	41%
Transparent envelope	214,89 kWh/m ² y	13%
Heating service	-	-

Edificio B02 – EP_{gl,nren} ante operam 213,11 kWh/m²a

INTERVENTIONS		
	EP _{gl,nren} Post operam	Energy reduction
Opaque envelope	148,50 kWh/m ² y	30%
Transparent envelope	127,69 kWh/m ² y	40%
Heating service	210,63 kWh/m ² y	1%

Edificio B03 – EP_{gl,nren} ante operam 203,46 kWh/m²a

INTERVENTIONS		
	EP _{gl,nren} Post operam	Energy reduction
Opaque envelope	145,79 kWh/m ² y	28%
Transparent envelope	-	-
Heating service	-	-

Edificio B04 – EP_{gl,nren} ante operam 166,06 kWh/m²a

INTERVENTIONS		
	EP _{gl,nren} Post operam	Energy reduction
Opaque envelope	86,33 kWh/m ² y	51%
Transparent envelope	-	-
Heating service	-	-

Edificio B05 – EP_{gl,nren} ante operam 188,00 kWh/m²a

INTERVENTIONS		
	EP _{gl,nren} Post operam	Energy reduction
Opaque envelope	108,58 kWh/m ² y	42%
Transparent envelope	-	-
Heating service	-	-

Tematiche da approfondire

Una volta stimato l'ordine di grandezza dei valori da ottenere, è necessario passare dai calcoli puramente numerici a considerazioni di natura pratica e incentrate sulla realizzabilità degli interventi proposti. Sono stati individuati diversi punti che meritano di essere approfonditi:

- Requisiti di legge: facendo riferimento al DM "Requisiti minimi" 26/06/2015, in base alla tipologia di intervento e alla tipologia di edificio, è necessario compiere verifiche specifiche relative all'intervento in questione. Ad esempio, per quanto riguarda l'involucro opaco, è necessario verificare parametri quali H'_T e U_{media} , e tale verifica può essere di facile o difficile riuscita in base alla percentuale di superficie di intervento e correzione dei ponti termici. In caso di mancato rispetto

delle verifiche di legge, non è possibile effettuare interventi di efficientamento energetico.

- Impedimenti fisici: l'isolamento termico occupa un determinato spessore, in caso di mancato spazio può essere difficile, se non impossibile, l'applicazione di materiali isolanti.
- Impedimenti legislativi: in determinate zone non è possibile intervenire sulle superfici esterne dell'edificio per via di restrizioni poste, ad esempio, da commissioni paesaggistiche. L'isolamento termico è necessario per diminuire le dispersioni attraverso l'involucro e di conseguenza i consumi relativi al servizio di climatizzazione invernale.
- Difficoltà nel reperire materiali, che nel corso dell'ultimo anno ha rappresentato una problematica importante.
- Specificità del singolo intervento: ogni

elemento richiede studi e accorgimenti specifici dal materiale nuovo sul mercato e dunque la necessità di verificarne l'affidabilità tramite le certificazioni, all'impianto nuovo che richiede uno spazio diverso rispetto al precedente.

- Interessi dei vari stakeholders: non solo i diversi professionisti che ruotano attorno alla fase di studio, progettazione ed esecuzione hanno interessi specifici e pongono determinati limiti, ma anche l'utenza finale; trattando l'edilizia residenziale, è doveroso considerare l'abitante dell'edificio oggetto di intervento: la diffidenza nei confronti di tecnici e cambiamenti di spazi che sono considerati privati e personali, così come il timore di quello che una ristrutturazione può comportare possono essere un ostacolo alla buona riuscita dello studio dell'immobile.

Questo elenco non esaustivo può risultare provocatorio, ma sono tematiche che rimangono aperte e come tali sono state rappresentate. L'efficientamento energetico è sì una questione di parametri e valori da rispettare, ma dopo la fase di studio segue la fase di realizzazione e, di conseguenza, il confronto con tante variabili non considerate in sede legislativa.

Conclusioni

Le conclusioni prendono in considerazione:

- il risultato dell'analisi del patrimonio edilizio attuale, ovvero l'evidente necessità di ridurre il fabbisogno energetico e di conseguenza i consumi energetici;
- i risultati dell'analisi dei dati, ovvero la riduzione media dell'indice di energia globale non rinnovabile per ottenere l'obiettivo di miglioramento di due classi energetiche;
- il confronto tra l'analisi dei dati, le conseguenti considerazioni e l'analisi dei casi di studio reali;
- le criticità che si incontrano lungo il processo, che hanno origini legislative e/o tecniche;
- i requisiti ancora più severi previsti nei prossimi decenni.

Questo lavoro di Tesi conclude dunque che è difficile rispettare l'obbligo di valutare l'efficienza energetica in base al valore $EP_{gl,nren}$; l'obbligo, considerato singolarmente, è spesso applicabile, ma per un numero significativo di edifici rappresenta un'im-

possibilità o si scontra con vari ostacoli. Inoltre, se l'indice che viene considerato per la valutazione finale è $EP_{gl,nren}$, ossia l'energia primaria globale non rinnovabile, significa che l'uso di energia rinnovabile sarà avvantaggiato. Si puntualizza tuttavia che l'obiettivo non è cambiare il vettore e il sistema energetico, ma ridurre il consumo energetico, lavorando preferibilmente sull'involucro dell'edificio e sulle strategie passive. La sostenibilità dei lavori di ristrutturazione per l'efficienza energetica non è pienamente affrontata in questa configurazione. **E**

** Carlotta Bersani,*