

Strumenti BIM per l'analisi termica del patrimonio edificato esistente

R. Agliata^{1*}, R. Macchiaroli², L. Mollo³

^{1*} Università della Campania "L. Vanvitelli", Aversa, rosa.agliata@unicampania.it

² Università della Campania "L. Vanvitelli", Aversa, roberto.macchiaroli@unicampania.it

³ Università della Campania "L. Vanvitelli", Aversa, luigi.mollo@unicampania.it

1. ABSTRACT

L'edilizia rappresenta il settore industriale che durante la vita utile del prodotto assorbe la maggior quantità di energia. In un'ottica di tutela ambientale e di sostenibilità economica, l'efficientamento energetico degli edifici rappresenta una delle principali sfide del settore, particolarmente se si fa riferimento al parco edilizio nazionale in gran parte edificato antecedentemente alla prima legge che introduceva criteri per il risparmio energetico. L'affidabilità della valutazione energetica di un edificio, e di un eventuale conseguente progetto di efficientamento, è in larga misura legata alla corretta conoscenza dell'edificato. Per tale motivo si impone la necessità di disporre di modelli digitali tridimensionali, semanticamente arricchiti, degli edifici esistenti. Il *Building Information Modeling* (BIM) può fornire un valido supporto da utilizzare per l'analisi del comportamento termico degli edifici esistenti. Per superare le difficoltà insite nella creazione del modello si usano tecniche di *reverse engineering*.

In questo lavoro, a partire da un rilievo condotto con strumenti tradizionali, è stato costruito il modello digitale di un edificio esistente del quale è stato poi determinato il comportamento termico, gestendo l'intero procedimento di restituzione del modello ed analisi energetica con strumenti e procedure BIM.

2. INTRODUZIONE

Il settore edile è da tempo riconosciuto come uno dei settori maggiormente energivori, tanto durante la costruzione dei manufatti edilizi quanto nelle fasi di gestione e manutenzione [1]. Il consumo di energia utilizzata, negli edifici residenziali e non, per garantire il benessere termo-igrometrico degli occupanti ha registrato negli ultimi decenni trend di crescita esponenziali, che risultano insostenibili per la sopravvivenza del pianeta che ci ospita [2]. Ridurre la quantità di energia assorbita dagli organismi edilizi rappresenta un aspetto essenziale per il raggiungimento degli obiettivi di risparmio energetico e riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera, fissati dalle politiche comunitarie [3]. Per perseguire tale obiettivo è anzitutto necessario stabilire l'effettivo consumo di energia da parte degli edifici e quindi la loro classe energetica. Lo strumento atto a tale scopo è la certificazione energetica degli edifici, che si inserisce nell'ambito più generale della riduzione delle emissioni di gas serra e della ricerca di un maggiore sfruttamento delle energie rinnovabili e pulite [4].

I nuovi strumenti e procedure basati sul *Building Information Modelling* (BIM) sempre più in voga negli ultimi anni nei settori dell'Architettura, dell'Ingegneria e delle Costruzioni, possono senza dubbio fornire un efficace supporto anche nell'ambito della valutazione energetica degli edifici. Grazie anche alla progressiva obbligatorietà introdotta dal "Decreto BIM" [5], un numero sempre crescente di nuovi edifici è provvisto del modello BIM come parte della documentazione di progetto e dei risultati finali richiesti [6]. Nella pratica corrente, il BIM è già ampiamente utilizzato in fase di progettazione come strumento di supporto alla realizzazione di edifici energeticamente efficienti [7-9]. L'applicazione dell'approccio BIM anche al patrimonio costruito esistente (*Heritage BIM*, o abbreviato HBIM) estende enormemente le potenzialità del metodo BIM e costituisce la nuova frontiera della ricerca per la gestione e il miglioramento dell'edificio [10].

Con HBIM si indica l'applicazione dei processi BIM alla modellazione degli organismi edilizi esistenti, tanto monumentali quanto residenziali, per la creazione di modelli del costruito non solo come loro restituzione digitale e geometrica in 3D, ma come modelli che possano contenere e gestire informazioni [11]. Questi modelli, che possono riguardare tutte le componenti del progetto, dal bullone all'intero sistema di copertura, comprendono oltre alle informazioni tipicamente geometriche, anche tutta una serie di altre proprietà (ad es. materiali, casa produttrice, etc.) che descrivono e identificano nel dettaglio il singolo componente edilizio. Tali informazioni rappresentano un livello di arricchimento semantico chiaramente non contemplato da un modello non BIM. Modelli di questo tipo vengono anche detti "intelligenti" poiché tutte le parti che li compongono sono oggetti con una semantica ben definita, che

contengono informazioni di qualsiasi genere che possano essere aggiornate, sostituite e aggiunte [12]. Detti oggetti sono “parametrici”, cioè hanno dei valori modificabili secondo parametri ben determinati e quindi adattabili al caso specifico, il che li rende utilizzabili, previa opportune modifiche, anche per edifici affini, creando in questo modo un utile database.

L’HBIM consente dunque di progettare l’esistente, creando un modello che ne simuli quanto più verosimilmente possibile la maggior parte delle caratteristiche, geometriche, dei materiali, storiche ecc. (*as built*), operando una sorta di “reverse engineering” sull’esistente poiché, mentre si modella l’edificio, si studiano i procedimenti che hanno portato alla costruzione di quel particolare organismo edilizio e si implementano informazioni che potranno essere utilizzate nei successivi step di modellazione, in un processo iterativo sempre più accurato [13].

I primi tentativi per restituire un modello BIM di un edificio esistente erano legati ad edifici di interesse storico o monumentale, in quanto si voleva dare vita ad un modello che consentisse l’inserimento, l’aggiunta e la divulgazione di informazioni per i più svariati utilizzi, dalla semplice restituzione geometrica dei volumi alle analisi strutturali e termiche; la ricerca ha evidenziato limiti nell’utilizzo di modelli standard e suggerisce il ricorso all’*as built* [14].

Il presente studio intende valutare l’efficienza energetica, e quindi la relativa classe energetica associata, di un edificio reale già costruito, impiegando esclusivamente strumenti e procedure BIM. A tal fine, si è dapprima costruito un modello BIM *as built* del caso studio, applicando la logica della “reverse engineering”; sul modello così ottenuto è stata poi condotta l’analisi energetica termica.

3. EVOLUZIONE NORMATIVA

La crisi energetica del 1973, generatasi a seguito della guerra del Kippur, interruppe bruscamente il lungo ciclo di sviluppo economico dell’Occidente durato all’incirca 20 anni e costrinse, per la prima volta, le comunità a confrontarsi con il tema del risparmio energetico. In Italia, dopo alcuni interventi immediati legati al varo di un piano nazionale di “austerità economica” per il risparmio energetico, il 30 aprile 1976 fu emanata la legge n. 373 sul contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici. Essa, limitatamente agli edifici nei quali era prevista l’installazione di un impianto termico e fatta eccezione per gli edifici destinati ad attività industriali e artigianali, regolava le caratteristiche di isolamento termico degli stessi e dettava le regole di progettazione per gli elementi tecnici e per i componenti impiantistici.

Questo strumento tecnico è stato più volte aggiornato negli anni ed è rimasto in vigore fino al 9 gennaio 1991 quando fu emanata la legge n. 10 che conteneva le “norme per l’attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell’energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia”. Essa è divenuta effettivamente operativa con l’entrata in vigore del decreto di attuazione, ossia il DPR n. 412/1993. La legge 10/1991 aggiornava i criteri progettuali finalizzati al contenimento dei consumi energetici puntando sulla tenuta termica dell’involucro e sul progetto del sistema edificio-impianti. L’aspetto veramente innovativo però era all’art. 26, dove, per la prima volta, si prevedeva che, per gli edifici pubblici o adibiti ad uso pubblico, salvo impedimenti tecnici o economici, fosse obbligatorio il ricorso a fonti rinnovabili di energia per soddisfare il fabbisogno energetico. Sostanzialmente si passa da una visione di riduzione dei consumi finalizzata al risparmio economico ad una visione più squisitamente ambientale del problema.

Il decreto attuativo 421/1993 introduce il “Fabbisogno Energetico Normalizzato” come base per la progettazione energetica dell’edificio. Il FEN, che è la quantità di energia primaria globale richiesta, nel corso di un anno, per mantenere negli ambienti riscaldati la temperatura ad un valore costante di 20 °C, prevedendo un adeguato ricambio d’aria durante la stagione di riscaldamento, è un concetto innovativo che anticipa di qualche anno l’introduzione degli indici di prestazione.

Circa 10 anni dopo la Comunità Europea con la direttiva 2002/91/CE, Energy Performance of Building Directive (EPBD), spinge definitivamente verso un efficientamento energetico finalizzato alla riduzione dell’impatto ambientale e dell’inquinamento sia dei nuovi edifici sia del patrimonio esistente. Altro punto importante della normativa è il coinvolgimento dell’utenza. Infatti la EPBD introduce il Certificato energetico, che indica sostanzialmente il livello di prestazione energetica dell’edificio. Esso viene messo a disposizione dell’utenza in modo da consentire ai cittadini di conoscere l’efficienza energetica dell’immobile, i possibili interventi migliorativi sull’involucro e sugli impianti in modo da consentirne un uso più razionale. La direttiva viene recepita dall’Italia con il decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192: “Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell’edilizia”, integrato e corretto dal successivo decreto legislativo n. 311 del 29 dicembre 2006. Con l’utilizzo dell’indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EPI) viene programmato un incremento dell’efficienza energetica con tre soglie temporali 2006, 2008, 2010. Il concetto di certificazione energetica viene tradotta con l’adozione, in via transitoria di una certificazione volontaria denominata Attestato di Qualificazione Energetica (AQE) cui dovrà seguire la certificazione energetica. Con il DPR n. 59 del 2 aprile 2009 vengono emanate le relative norme di attuazione e definite le norme

tecniche nazionali di riferimento. Finalmente con DM del 26 giugno 2009 vengono definite le linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici e il modello di certificato. L'Attestato di Certificazione Energetica (ACE) dovrà dare indicazioni sull'efficienza energetica dell'edificio, indicare i valori di riferimento a norma di legge e le classi prestazionali, e fornire chiare indicazioni per interventi di riqualificazione energetica economicamente sostenibili. Con il decreto legislativo n. 28 del 3 marzo 2011 emanato in attuazione della direttiva europea 2009/28/CE, viene promosso l'uso di energia da fonti rinnovabili in tutti gli interventi edilizi e si rende obbligatorio negli atti di vendita la dichiarazione di presa visione dell'ACE. Con la legge n. 90 del 3 agosto 2013 (Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63 recante disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale) la certificazione diviene obbligatoria anche per gli atti di locazione e cambia nome da ACE ad APE (Attestato di Prestazione Energetica). Vengono anche aggiornate le normative nazionali di riferimento. Il 27 giugno 2013 viene anche pubblicato il D.P.R. n. 75 del 16 aprile 2013 contenente i criteri di accreditamento per esperti e organismi per la certificazione energetica degli edifici. Con la pubblicazione dei tre DM del 26 giugno 2015 (decreto requisiti minimi, linee guida nuovo APE 2015 e decreto relazione tecnica di progetto) viene nuovamente aggiornato il quadro di riferimento. In particolare si ridefiniscono gli schemi e le modalità per l'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici con le relative metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e si adeguano le linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici. Le attuali regole sui requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e per la redazione dell'APE sono quindi in vigore dal 1 ottobre 2015. Il MISE ha poi pubblicato nel 2016 e nel 2018 ulteriori documenti di chiarimento volti ad agevolare l'applicazione della normativa senza però modificarla.

4. CASO STUDIO

Il caso studio selezionato per l'analisi è un edificio sito in Frattaminore, un comune appartenente alla cintura metropolitana di Napoli, a ridosso dell'agro Aversano. L'edificio, ultimato nel febbraio del 2006, si trova in una zona residenziale di espansione P.E.E.P. di recente costruzione. Si tratta di un edificio in linea composto da un piano seminterrato adibito a garage e depositi, un piano terra destinato ad attività commerciali, nello specifico un bar, e quattro piani in elevazione con due appartamenti per piano (Fig. 1). La struttura portante è in cemento armato, con murature di tamponamento spesse 30 cm in laterizi leggeri isolati e tramezzature interne realizzate con laterizi simili, di spessore 10 cm. L'edificio non presenta particolari e innovative soluzioni tecnologiche.



Fig. 1 Edificio caso studio

1.1 Materiali e Metodi

Per valutare l'efficienza energetica dell'edificio preso in esame, si è scelto di avvalersi del *software* TermusBIM® di ACCA *Software*, per la sua completezza e l'interfaccia *user-friendly*, che ne rendono semplice l'uso anche per un utente

mediamente esperto. Detto *software* è destinato principalmente all'uso professionale, il che estende il valore dei risultati, rendendoli immediatamente disponibili per il trasferimento al di fuori dell'ambito accademico.

Il primo passo per poter condurre la verifica energetica del caso studio con strumenti BIM è stato costruire un modello quanto più prossimo all'*as-built* dell'edificio, vale a dire un modello che rispecchi il più fedelmente possibile le caratteristiche dell'edificio reale, in modo da ottenere risultati quanto più possibile veridici e affidabili. Per le nuove edificazioni l'*as-built* è il risultato di un iter progettuale completamente gestito in BIM, dalle prime fasi della progettazione, alla modifica e al completamento del modello che avvengono, rispettivamente, durante e a valle della costruzione, al fine di riportare tutte le scelte progettuali ed operative messe in atto durante ogni singolo stadio procedurale ed eventuali cambiamenti in corso d'opera. Per ottenere l'*as-built* di un edificio esistente invece, bisogna mettere in pratica una procedura di *reverse engineering* che prevede come primo step un approfondito studio della documentazione disponibile e quindi un'accurata analisi dell'edificio allo stato attuale, ottenuta attraverso uno o più rilievi di campo del manufatto. A valle di ciò, si passa quindi alla fase di restituzione del modello 3D col software BIM prescelto, che può inoltre essere arricchito con dati non prettamente geometrici, quali notizie storiche, analisi del degrado o delle deformazioni, sottosistemi impiantistici e così via.

Per il caso studio si disponeva degli elaborati grafici (piante, prospetti e sezioni relativi al progetto esecutivo) realizzati in fase di progettazione, di cui parte in CAD e parte cartacei. Una volta ultimato lo studio della documentazione ed identificate univocamente le unità abitative assegnando loro un codice da A1 ad A8 (in cui a numeri bassi corrispondono piani bassi), si è proceduto con tre indagini di campo al fine di rilevare eventuali difformità tra progetto e stato di fatto, oltre che le caratteristiche di tutti gli elementi e i componenti edilizi. È stato utilizzato un rilievo strumentale impiegando, oltre al distanziometro, anche schede cartacee appositamente predisposte per rendere più agevole il rilievo delle caratteristiche non geometriche. Il rilievo diretto è stato coadiuvato anche da un rilievo indiretto tramite campagna fotografica per acquisire un maggior numero di dettagli, soprattutto riguardanti i dispositivi di riscaldamento e raffrescamento, generatori, e affini. Si è inoltre cercato di reperire la maggior quantità possibile di informazioni riguardanti le tecnologie costruttive e le soluzioni tecnologiche adottate durante la costruzione.

A valle della fase di rilievo è stato costruito il modello BIM georeferenziato dell'edificio a partire dagli elaborati disponibili in CAD. In particolare, le piante sono state importate in TermusBIM e aggiornate in base ai dati acquisiti durante la campagna di rilievo in situ. L'impiego del BIM ha consentito di integrare nel modello anche tutte le informazioni non metriche (materiali, componenti tecnologici, caratteristiche costruttive, ecc.) ottenute con i rilievi, nella forma di metadati, ovvero attributi disponibili all'interno delle schede relative ai singoli componenti edilizi (Fig. 2).

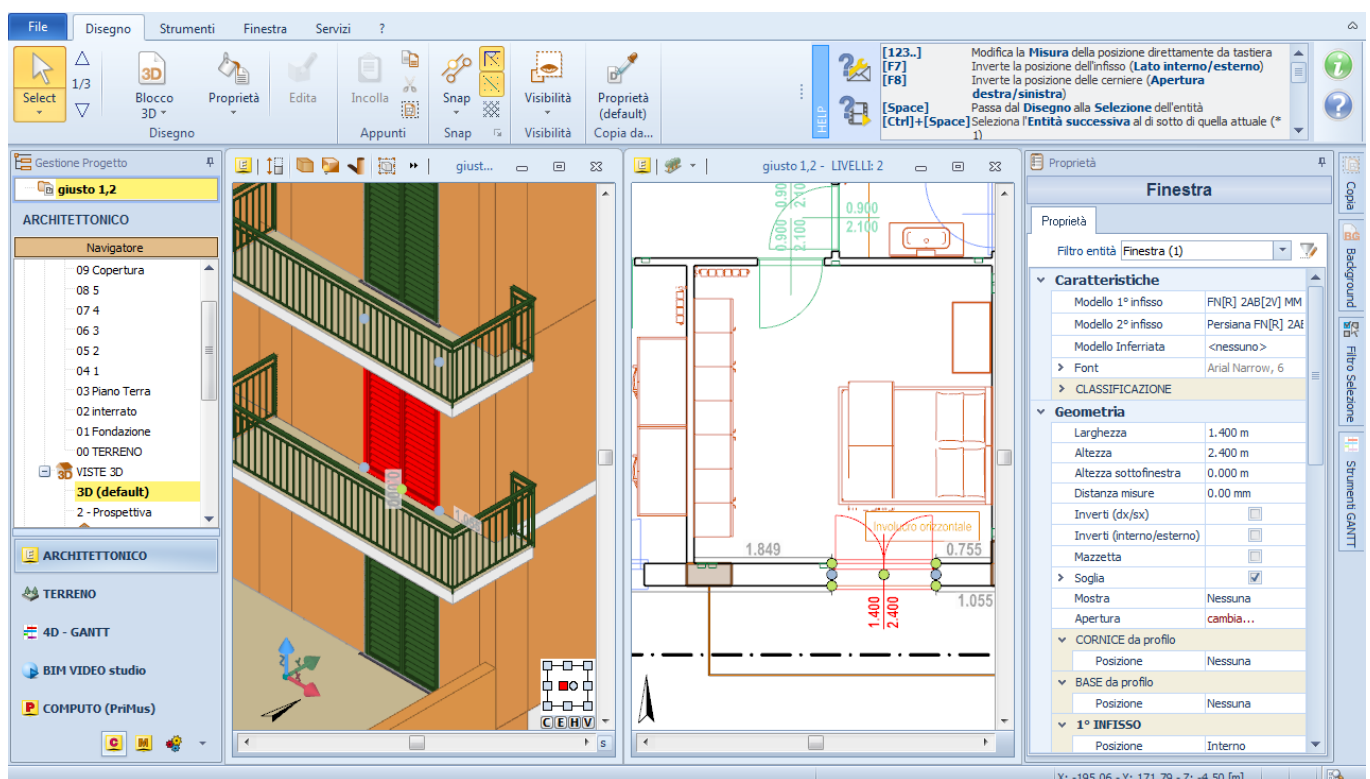


Fig. 2 Vista dell'interfaccia *software*. Nello *screenshot* è evidenziato il particolare porta-finestra nel modello BIM dell'edificio (sinistra) e in pianta (centro), cui è associata la scheda dei metadati (destra).

Il software ha inoltre consentito di inserire all'interno del modello anche gli ingombri degli edifici circostanti (utili nel calcolo dell'ombreggiatura e degli apporti solari) che, insieme ai metadati e i dati impiantistici vengono utilizzati per l'analisi termica.

Si è proceduto quindi con il calcolo della prestazione energetica dell'edificio, condotta in conformità alla norma UNI 10349:2016. Tale valutazione è stata condotta sia per l'intero edificio che per le unità immobiliari prese singolarmente, in maniera da valutare le differenze in relazione ai diversi componenti impiantistici e all'esposizione solare. Per le certificazioni delle singole unità, tutti gli ambienti di confine sono stati modellati come "ambienti di confine climatizzati", in modo da tener conto dell'interazione dell'unità considerata con i volumi circostanti.

Le prestazioni energetiche complessive dell'intero edificio sono valutate utilizzando i seguenti indici di prestazione, secondo il D.M. 26 giugno 2015:

- Le prestazioni invernali ed estive sono indici qualitativi del fabbisogno energetico necessario per soddisfare il comfort interno. Forniscono un'indicazione della capacità di isolamento termico dell'edificio (o dell'unità abitativa), in estate e in inverno, su una scala di valutazione qualitativa: "alta" (☺), "media" (☹), "bassa" (☹).
- EP_{gl,nren} è l'"indice di prestazione energetica non rinnovabile", che indica la quantità di energia consumata per l'edificio per raggiungere le condizioni di comfort. Tiene conto della necessità di energia primaria non rinnovabile per condizionamento invernale ed estivo, produzione di acqua calda sanitaria e ventilazione. È calcolato sulla base del rapporto tra l'energia richiesta per portare un ambiente alla temperatura di comfort e la sua area percorribile a piedi. Determina direttamente la classe energetica dell'edificio. In estrema sintesi più piccolo è, meglio è.
- La valutazione dell'efficienza energetica è un punteggio che va da G a A4, derivante direttamente dall'indice di prestazione energetica non rinnovabile (EP_{gl,nren}) confrontando quest'ultimo con una scala predefinita, in cui ogni step è un livello di prestazione energetica. La scala della classe di efficienza si basa sul valore dell'"Indice di prestazione energetica non rinnovabile" di un edificio di riferimento (EP_{gl,nren,standard}), corrispondente alla soglia tra le classi A1 e B. Tutti gli altri livelli di prestazione sono ottenuti moltiplicando il valore di riferimento (EP_{gl,nren,standard}) per un coefficienti di riduzione (classi da B a G) o di amplificazione (classi da A1 a A4).

1.2 Risultati

Due viste del modello *as-built* dell'edificio sono riportate in Fig. 3 e Fig. 4.



Fig. 3 Modello BIM *as built* dell'edificio caso studio

L'utilizzo della *reverse engineering*, integrata con metodi di rilievo tradizionali, ha dimostrato che è possibile ottenere un BIM *as built* affidabile che permette di ottenere un modello integrato che, in maniera chiara ed intuitiva, consenta di gestire in modo coordinato i vari sottosistemi quali ad esempio "struttura" e "impianto".

Il modello BIM evidenzia le caratteristiche costruttive e prestazionali dei singoli elementi tecnologici. In particolare al piano terra la presenza della serra solare antistante il locale bar costituisce un importante elemento di riduzione del fabbisogno energetico per il riscaldamento dell'unità. Analogamente la possibilità offerta dalla modellazione BIM di considerare tutti gli elementi di arredo esterno, quali alberature, tettoie e così via, ha consentito di valutare in maniera più precisa il fabbisogno energetico dato che in modo automatico ha permesso di acquisire i livelli di ombreggiatura e di esposizione.



Fig. 4 Modello BIM *as built* dell'edificio georeferenziato

Dalla campagna di rilievo è emerso che tutte le unità abitative e il bar, sono dotati di sistemi per la produzione di acqua calda, il condizionamento invernale e la climatizzazione estiva, tranne l'unità A8 che difetta di quest'ultimo servizio energetico.

Le prestazioni energetiche complessive per l'edificio nella sua totalità, per le 8 unità abitative prese singolarmente e per il Bar sono riassunte nella Tab. 1:

Dall'analisi effettuata, la performance invernale e quella estiva risultano cattive in tutta la casistica analizzata; solo il bar raggiunge, nella sola stagione estiva, livelli di consumi energetici accettabili per garantire il comfort utente.

Per quanto riguarda invece la certificazione energetica, è stato ricavato per l'intera struttura un APE di classe D, riconfermato in 2 casi su 9 anche per le unità prese singolarmente, nello specifico per l'unità A7, posta all'ultimo piano, e per il bar. Le unità da A1 ad A6 (piani da 1 a 3) presentano una certa omogeneità nell'"indice di prestazione energetica non rinnovabile" (EP_{gl,nren}), che si attesta tra 70 e 90 kWh/m²anno. Tale omogeneità si riflette direttamente anche nell'APE, che risulta in tutti i casi di classe C. Per l'unità A8 invece, l'analisi restituisce una classe energetica F, quindi nettamente al di sotto della media del fabbricato. Ciò è probabilmente dovuto alla mancanza nell'immobile dell'impianto di climatizzazione estiva. Questo particolare risulta un elemento negativo ai fini della valutazione della prestazione energetica poiché va a discapito del benessere dell'utenza, che rappresenta uno dei parametri di valutazione per la certificazione energetica.

	Intero Edificio	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	Bar
Performance Invernale	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹
Performance Estiva	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹
EPgl,nren [kWh/m ² anno]	213	89	80	88	77	73	81	143	137.3	1011
Classe Energetica	D	C	C	C	C	C	C	D	F	D

Tab. 1 Prestazioni energetiche complessive calcolate con TermusBIM

5. CONCLUSIONI

In questo studio è stata analizzata l'efficienza energetica di un edificio esistente tramite strumenti e procedure di modellazione BIM che hanno consentito, rispetto alle tecniche di analisi energetica tradizionale, di integrare in maniera chiara ed intuitiva nel sistema edificio i vari sottosistemi, quali la “struttura” e gli “impianti”.

La prima parte del lavoro ha riguardato la costruzione del modello BIM *as built* dell'edificio, ottenuto mediante l'utilizzo di strumenti di rilievo tradizionali e di tecniche di *reverse engineering*. Le criticità riscontrate in questa fase sono riconducibili essenzialmente alla discrepanza tra lo stato dei luoghi e gli elaborati progettuali di cui si disponeva, i quali risultavano inoltre carenti di informazioni di dettaglio circa le parti non visibili della costruzione. Inoltre ci si è scontrati con la constatazione che le librerie BIM, per quanto ampie, risultano comunque limitate e nel rilievo di un edificio esistente la maggior parte delle volte si riscontrano elementi i cui oggetti parametrici vanno modellati da zero.

Modellato l'edificio è stato poi calcolato il comportamento termico riscontrando che, rispetto alle procedure ordinarie, l'utilizzo di strumenti BIM accelera il processo, semplifica e migliora l'acquisizione dati, che risulta automatizzata e non più manuale.

Il prossimo step di ricerca prevede il confronto del comportamento termico ricavato nel presente studio, e quindi in riferimento a quanto previsto dalla normativa, con il comportamento termico ricavato invece tenendo conto del comportamento dell'utenza. Per fare ciò verranno impiegati gli strumenti di “Diagnosi” già disponibili in TermusBIM, che consentono di tenere conto di variabili quali il numero di occupanti, le abitudini di ventilazione e riscaldamento (ad es. numero di ore) per la singola unità e i consumi pro capite di acqua ed energia. Tale analisi rappresenterà senza dubbio uno scenario più veritiero rispetto a quello calcolato in maniera standardizzata e costituirà un utile strumento per valutare se sia possibile e conveniente legare la certificazione energetica al comportamento degli occupanti.

6. RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro è stato sviluppato nell'ambito del Progetto “Progettazione Automatizzata” a valere sui fondi del POR FSE Campania 2014 – 2020 - ASSE IV, per lo svolgimento di attività di ricerca presso l'Università degli Studi della Campania “L. Vanvitelli”.

Si ringraziano gli allievi Gennaro Iovino e Raimondo Capasso per il contributo operativo dato allo sviluppo del lavoro nell'ambito delle loro rispettive tesi di laurea.

7. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and buildings*, 40(3), 394-398

[2] Zavrl, E., & Stritih, U. (2019). Improved thermal energy storage for nearly zero energy buildings with PCM integration. *Solar Energy*, 190, 420-426.

- [3] Direttiva 2010/31/UE
- [4] D.M. 26/06/2009
- [5] Decreto Ministeriale n. 560 del 01/12/2017
- [6] Rosa, Agliata, Roberto Macchiaroli, and Luigi Mollo. "BIM per la gestione razionale degli impianti negli edifici." (2019): 834-843
- [7] Jalaei F. & Jade A. (2014) Integrating BIM with green building certification system, energy analysis, and cost estimating tools to conceptually design sustainable buildings. *Construction Research Congress*, pp. 140–9.
- [8] Choi J., Shin J., Kim M., & Kim, I. (2016). Development of open BIM-based energy analysis software to improve the interoperability of energy performance assessment. *Automation in Construction*, 72, pp. 52-64.
- [9] Kamarudin, S. A., Usman, F., Roslan, R., & San, H. W. (2019). Evaluation of energy consumption by using building information modelling (BIM). *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(1), 3531-3534.
- [10] Cogima, C. K., Paiva, P. V. V., Dezen-Kempton, E., Carvalho, M. A. G., & Soibelman, L. (2019). The role of knowledge-based information on BIM for built heritage. In *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering* (pp. 27-34). Springer, Cham.
- [11] Khalil, A., & Stravoravdis, S. (2019). H-BIM and the domains of data investigations of heritage buildings current state of the art. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*.
- [12] Noor, S., Shah, L., Adil, M., Gohar, N., Saman, G. E., Jamil, S., & Qayum, F. (2019). Modeling and representation of built cultural heritage data using semantic web technologies and building information model. *Computational and Mathematical Organization Theory*, 25(3), 247-270.
- [13] Ding, Z., Liu, S., Liao, L., & Zhang, L. (2019). A digital construction framework integrating building information modeling and reverse engineering technologies for renovation projects. *Automation in Construction*, 102, 45-58.
- [14] Rahhal, A., Matthys, C., Ben Rajeb, S., & Leclercq, P. (2019). Limitations of Using Digital BIM Models to Carry out Thermal Analysis.