

INDUSTRIA 4.0 E INDUSTRIA DELLE COSTRUZIONI: IL PROGETTO DI RICERCA EUROPEO P2ENDURE

Emanuele Piaia¹, Beatrice Turillazzi², Andrea Boeri³, Danila Longo⁴

Abstract

Nell'ottica del miglioramento del processo edilizio grazie a procedure di digitalizzazione del progetto, la ricerca H2020-P2ENDURE è finalizzata alla messa a punto di strategie di recupero, rifunzionalizzazione ed efficientamento energetico di edifici esistenti mediante l'utilizzo di tecnologie Plug-and-Play e digitalizzazione del progetto mediante l'impiego di Laser Scanner 3D, modellazione BIM e BEM, impiego di stampanti 3D fino all'uso di robot per la posa in opera dei componenti. Obiettivo strategico è il raggiungimento di un risparmio energetico del 60% in rapporto al fabbisogno energetico primario dell'edificio prima del recupero.

Keywords: Plug-and-Play (PnP) technologies, Building Information Modelling (BIM), Deep Renovation, Energy-Efficient Buildings

¹ Dipartimento di Architettura, Università di Ferrara, emanuele.piaia@unife.it

² Dipartimento di Architettura, Università di Bologna, beatrice.turillazzi@unibo.it

³ Dipartimento di Architettura, Università di Bologna, andrea.boeri@unibo.it

⁴ Dipartimento di Architettura, Università di Bologna, danila.longo@unibo.it

Il ruolo cruciale del rinnovamento del patrimonio edilizio esistente

Il 90% del patrimonio edilizio esistente in Europa è stato costruito prima del 1990 e oggi non risponde più agli standard attuali in termini di *Indoor Environmental Quality* (IQE) ed Efficienza Energetica (EE). Intervenire efficacemente su questo patrimonio rappresenta pertanto una sfida cruciale per contribuire a ridurre le emissioni in atmosfera a salvaguardia dell'ambiente.

La strategia di rinnovamento energetico del patrimonio edilizio è distribuita in diverse disposizioni e strumenti politici dell'Unione Europea (EU), tra le quali emerge la *Energy Efficiency Directive* (EED) 2018/844, che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia, e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica.

La Commissione europea intende però rafforzare la vigente legislazione relativa al raggiungimento degli obiettivi del 2030 per l'EE e la diffusione delle energie rinnovabili attraverso il "Green Deal" europeo¹, un patto che ambisce ad ottenere la neutralità climatica entro il 2050 attraverso un piano per la riduzione dei gas serra dal 40% al 50/55% rispetto alle emissioni del 1990.

Il tasso di ristrutturazione annuale del patrimonio immobiliare varia dallo 0,4 all'1,2% negli Stati membri. Considerato che il 40% del consumo energetico totale riguarda proprio gli edifici (IEA, 2019)², questo tasso dovrà almeno raddoppiare per raggiungere i nuovi obiettivi.

Lo sforzo dovrà essere supportato sia dalla revisione e consolidamento delle normative in materia, capaci di assicurare un processo edilizio sviluppato secondo i principi dell'economia circolare e guidato da una maggiore digitalizzazione, che da iniziative collaborative e partecipative volte a superare le barriere, anche economico-finanziarie, che ostacolano il rinnovamento del patrimonio.

Deep Renovation

In questo ambito, la EED 2012/27 introduce il termine *Deep Renovation* riferendosi agli interventi di ristrutturazione edilizia,

economicamente vantaggiosi, che consentono un rinnovamento tale da ridurre il consumo energetico di un edificio di una percentuale significativa rispetto ai livelli precedenti alla ristrutturazione. La percentuale non viene definita; alcuni studi la identificano nel 75% (GBPN, 2013), altri la includono in un intervallo compreso tra il 60% e il 90% (BPIE, 2013). Gli Stati membri possono definire una ristrutturazione come "profonda", se il suo costo totale è superiore al 25% del valore dell'edificio (escluso il valore del terreno) o se l'intervento coinvolge più del 25% della superficie dell'involucro (EPRS, 2016).

Gli interventi sono generalmente integrati e riguardano:

- l'involucro dell'edificio (isolamento delle partizioni esterne, sostituzione degli infissi, installazione di schermature solari, uso di tecniche di ventilazione naturale e/o di riscaldamento o raffreddamento solare passivo);
- gli impianti (sostituzione di caldaie, installazione di sistemi di recupero del calore, di sistemi di micro-generazione, installazione di sistemi di controllo, ecc.);
- i sistemi di generazione elettrica e/o di calore rinnovabile.

Nell'ambito del 7° Programma Quadro e del successivo Horizon 2020, la Commissione Europea ha finanziato numerosi progetti di ricerca mirati allo studio di soluzioni di *Deep Renovation*, in alcuni casi anche alla loro applicazione e verifica su casi dimostrativi come nel progetto P2ENDURE presentato in questo paper.

Le soluzioni riguardano per la maggior parte l'integrazione tra sistemi prefabbricati, sistemi intelligenti per la produzione di energia da fonti rinnovabili e sistemi informatici di gestione dell'edificio e sono innovazioni combinate a metodi di progettazione tecnologica avanzata supportati dalla modellazione digitale BIM (*Building Information Modelling*) e BPMS (*Building Performance Simulation Models*) (D'Oca et al., 2018).

Tali procedimenti mutuano, nel settore dell'edilizia, la tendenza dell'automazione industriale e il miglioramento dei processi mediante l'uso di nuovi strumenti, metodi e modelli propri dell'Industria 4.0 finalizzati ad aumentare la produttività con un contestuale miglioramento della qualità del prodotto finale.

¹ Available at: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication_en.pdf

² Il settore dell'edilizia e delle costruzioni mostra un aumento sia delle emissioni di CO₂ che dell'uso di energia, un progresso limitato ottenuto dalle direttive in materia e un ulteriore rallentamento della crescita degli investimenti per l'efficienza energetica.

L'industria 4.0 nel settore dell'edilizia

Laser Scanner 3D, BIM, stampanti 3D e robotizzazione possono diventare così strumenti indispensabili offerti dalla quarta rivoluzione industriale al settore dell'edilizia aprendo a nuove opportunità e scenari con potenzialità interessanti come, ad esempio, l'applicazione della Realtà Virtuale (VR), della Realtà Aumentata (AR) e della Realtà Mista nelle diverse fasi del processo edilizio.

Attraverso questi nuovi strumenti e metodi di lavori, l'Industria 4.0 riesce anche a superare una carenza nativa dei primi progetti in ambiente digitale CAD (*Computer-Aided Design*) ovvero, alla difficoltà di comunicazione e di trasferimento di conoscenza tra i diversi stakeholder del processo edilizio, la quale è in corso di superamento grazie all'applicazioni di innovative simulazioni integrate tra ambienti reali e digitali, il cui linguaggio è accessibile e indipendente dalle diverse competenze e ruoli.

Sul lato squisitamente produttivo e per lungo tempo, la ricerca si è dedicata soprattutto all'involucro edilizio e agli impianti ad alte prestazioni energetiche, privilegiando il perfezionamento di tecnologie esistenti piuttosto che allo studio di nuove soluzioni. Solo recentemente e spinte da una richiesta di innovazione più integrata da parte dell'industria delle costruzioni applicazioni relative a stampa in 3D, elementi prefabbricati PnP (*Plug-and-Play*), sistemi impiantistici avanzati, sistemi di gestione dell'edificio, ecc. sono diventate oggetto di progetti di ricerca e sperimentazione, anche nel campo più complesso della ristrutturazione profonda di edifici esistenti, vista come volano privilegiato per la transizione energetica (Saidi, 2016).

L'efficacia di queste soluzioni continua ad essere limitata dalla mancanza di innovazione nel processo di costruzione vero e proprio in cui i metodi costruttivi e le scelte tecnologiche restano profondamente tradizionali. L'applicazione di metodologie di automazione nelle fasi esecutive – macchine teleoperate, macchine programmabili e sistemi intelligenti – possono rispondere alla crescente domanda di qualità costruttiva, in tempi più ridotti e soddisfacendo esigenze di carattere ambientale, sociale ed economico (Naboni, 2015).

La digitalizzazione del progetto in ambiente BIM

Come introdotto, l'Industria 4.0 propone e incentiva l'uso di nuovi strumenti e metodi che rendono più efficiente la "produttività" e la "qualità" del costruito in termini di sicurezza, performance, costi e tempi.

In questa direzione la digitalizzazione del progetto di architettura rappresenta uno degli ambiti di maggiore innovazione sia per il settore delle nuove costruzioni che per quello del recupero edilizio.

L'elaborazione del progetto in ambiente BIM ha di fatto dimostrato negli ultimi anni i numerosi vantaggi che può offrire tale metodologia per la gestione del progetto e dell'edificio costruito. Per essere tale, imprescindibilmente, il BIM deve intendersi però come una nuova metodologia di lavoro la quale supporta e migliora la gestione del processo edilizio in ogni sua fase: programmazione, progettazione, costruzione e manutenzione. Infatti, per rendere possibile quanto introdotto, il BIM non offre un semplice modello virtuale tridimensionale dell'edificio ma raccoglie al suo interno una serie di informazioni e meta-dati, interoperabili fra di loro, dell'intero progetto, i quali possono essere continuamente aggiornati e implementati.

Tale caratteristica evidenzia di per sé due macro-vantaggi di questa metodologia.

Il primo riguarda il fatto che, in fase di progetto, si può re-

alizzare un modello virtuale che può essere analizzato da tutti gli attori del processo. L'analisi permette il miglioramento della comunicazione tra le diverse figure tecniche e consente di apportare, in tempo utile, ogni scelta migliorativa, sia del sistema ambientale che di quello tecnologico, in particolare considerando le attese prestazioni energetiche, di IEQ, dei costi e tempi di costruzione quali fattori chiave degli interventi di *Deep Renovation*. Grazie a questo modello virtuale, per la prima volta, si è così in grado di studiare dettagliatamente, *off-site*, il progetto come se fosse già costruito evidenziando eventuali conflitti ed errori progettuali – *clash detection* – che rischierebbero di emergere solo nella cantierizzazione dell'opera.

Il secondo vantaggio riguarda il fatto che il modello virtuale, essendo un modello aperto, può essere costantemente aggiornato in ogni fase del processo rendendolo analogo all'edificio costruito; da qui deriva il termine *Digital Twin* simboleggiando il progredire dell'IT (*Information Technology*) anche nell'industria delle costruzioni. Attraverso questo modello gemello si è pertanto in grado di offrire una migliore gestione dell'edificio costruito, nel tempo, considerando non solo il monitoraggio delle prestazioni attese – attraverso l'integrazione nell'edificio di sensori – ma anche l'interazione fra le persone e l'ambiente costruito nella direzione dello *smart-building*.

Sulla base di quanto introdotto, nel settore della *Deep Renovation*, la digitalizzazione può diventare un supporto operativo indispensabile per gestire il progetto di recupero, in ogni sua fase, sperimentando virtualmente diversi scenari di intervento e individuando il migliore in termini prestazionali, di costi e tempi di cantierizzazione.

Al riguardo, il miglioramento del controllo dell'efficientamento energetico del sistema edificio-impianto può trovare una ulteriore spinta innovativa proprio dalla razionalizzazione e controllo di processi complessi in modelli virtuali integrati BIM e BEM (*Building Energy Model*). Infatti, usando nel suo massimo potenziale il BIM, inteso anche come *repository* di tutte le informazioni dell'edificio, si può successivamente passare alla validazione delle prestazioni energetiche con modelli BEM.

Il progetto di ricerca P2ENDURE

Un punto di incontro tra le esigenze del settore della *Deep Renovation* con i principi dell'Industria 4.0 è ritrovabile nel progetto di ricerca europeo P2ENDURE (*Plug-and-Play product and process innovation for Energy-efficient building Deep Renovation*) finanziato nell'ambito del programma quadro H2020 e che vede impegnati 16 Partner appartenenti a cinque diversi Paesi della Comunità Europea (Danimarca, Germania, Italia, Olanda e Polonia).

Il progetto (<https://www.p2endure-project.eu/en>), che concluderà il proprio programma ad agosto del 2020, promuove soluzioni innovative per la *Deep Renovation* basate sull'utilizzo di sistemi prefabbricati di tipo PnP, sia per quanto riguarda componenti edilizi specifici per l'intervento sull'involucro edilizio (pannelli di facciata, infissi, moduli di addizione *roof-top*, ecc.) sia per quanto riguarda componenti impiantistici a sostituzione di impianti non più performanti per la produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione, riscaldamento e/o raffrescamento. Tali componenti sono combinati con strumenti innovativi (3D laser scanner, stampe 3D, tecniche di diagnostica avanzata, BIM-BEM) per migliorare la gestione, il monitoraggio nonché la realizzazione dell'intervento in termini di tempo, costi e qualità finale.

Il programma ambizioso del progetto P2ENDURE mira a testare su 10 casi dimostrativi un modello processuale in ambiente

BIM declinato in 4 step operativi definiti con l'acronimo 4M: *Mapping, Modelling, Making, Monitoring*.

Il primo step, *Mapping*, mira a sviluppare e analizzare l'edificio esistente sia dal punto di vista tecnico sia dal punto di vista economico anche in considerazione delle soluzioni preliminari di progetto proposte (fattibilità tecnico-economica).

Il secondo step, *Modelling*, è cruciale in quanto per ogni intervento viene creato il modello BIM dell'edificio. Partendo dalla creazione di un modello rappresentativo dello stato pre-intervento si passa alla definizione di scenari di intervento testando virtualmente le soluzioni tecnologiche PnP poste alla base della ricerca. In tal senso ogni componente PnP è stato preliminarmente modellato diventando parte della libreria oggetti BIM così da poterli verificare, in modo rapido, anche su più casi dimostrativi in base all'interesse degli *stakeholder* coinvolti dalla ricerca stessa. Ogni modello è stato elaborato inserendo informazioni e dati utili (caratteristiche impiantistiche e degli infissi, stratigrafie dei pacchetti dell'involucro edilizio, ecc.) per la successiva validazione delle performance energetiche mediante il passaggio da BIM a BEM.

Il terzo step, *Making*, riguarda l'esecuzione dell'intervento di *Deep Renovation* testando e validando realmente in opera i componenti edilizi adottati, sia singolarmente (per una successiva maggiore produzione e commercializzazione su larga scala) che nell'insieme, considerando l'intero sistema edificio-impianto volto proprio al successivo monitoraggio delle prestazioni energetiche raggiunte. Tale fase prevede attività svolte in fabbrica come la produzione e il controllo, in base alle indicazioni del modello BIM, dei componenti da fornire in cantiere e, successivamente, attività in loco che partono dalla consegna e controllo dei componenti fino al loro assemblaggio anche con l'utilizzo di robot o integrazione di interventi svolti con tecnologia di stampa 3D. Attraverso il modello BIM iniziale si stabilisce così anche una piattaforma di dialogo e interazione tra tutti gli attori in campo (dai produttori, ai progettisti sino agli appaltatori o sub-appaltatori).

Il quarto e ultimo step, *Monitoring*, mira a controllare e garantire l'esecuzione di alta qualità dei lavori di riqualificazione verificando la qualità ambientale degli ambienti e le prestazioni energetiche. Questo passaggio porterà, se necessario, all'aggiornamento del modello BIM di progetto (*as-designed*) con le condizioni reali dell'edificio riqualificato (*as-built*). Tale modello sarà integrato con sistemi sensoriali e strumenti software per il monitoraggio continuo delle prestazioni facilitando così interventi futuri di manutenzione e gestione a lungo termine. La fase di monitoraggio prevede anche l'adozione di strumenti innovativi per il monitoraggio delle prestazioni di comfort termico come il *comfort eye* che consente la scansione termica 3D degli ambienti (riscontro di ponti termici, oscillazioni di temperature superficiali delle pareti, ecc.). Inoltre, si prevede l'uso di dispositivi mobili per gli utenti finali per guidarli a semplici e intuitive procedure di auto-ispezione dell'edificio nonché a training di auto-istruzione per l'uso ottimale dell'edificio rinnovato in particolare per quanto riguarda gli impianti meccanici, elettrici e idraulici.

Attraverso l'applicazione del processo modulare descritto nonché all'utilizzo di un pacchetto di componenti e soluzioni di intervento derivati da altri progetti di ricerca europei ci si prefigge di testare e validare sia l'approccio di gestione proposto che le tecnologie adottate al fine di accelerare la diffusione della *Deep Renovation* sull'intero territorio europeo.

Gli indicatori presi in esame, per validare i risultati raggiunti, riguarderanno il risparmio del fabbisogno energetico primario che dovrà essere inferiore al 60% rispetto allo stato pre-inter-

vento; una riduzione del 15% dei costi di recupero e del 50% del tempo di cantierizzazione in rapporto a interventi analoghi ma con tecnologie e modelli di processo standard (non con modelli digitali integrati). Gli interventi di riqualificazione proposti dovranno al contempo garantire il minimo di disturbo e adeguati livelli di benessere e *comfort indoor* per gli occupanti.

Allo stato attuale diversi casi dimostrativi hanno concluso la fase di cantierizzazione e sono in corso le fasi di monitoraggio delle prestazioni raggiunte in base agli indicatori di validazione.

Conclusioni

Il progetto di ricerca P2ENDURE, seppure al momento non possa ancora esplicitare totalmente i risultati raggiunti poiché le attività di *Monitoring* dei principali casi dimostrativi sono ancora in fase di conclusione, sta confermando i vantaggi offerti dalla digitalizzazione e modellazione del progetto in ambiente BIM. Evidente è stata la propensione di tutti gli attori a una maggiore progettazione collaborativa come anche si è riscontrata una maggiore capacità di gestione di molti "dati" di progetto che nei vari step di processo solitamente rischiano di essere persi o mal interpretati, tra le diverse figure coinvolte, rischiando di alterare le prestazioni attese in particolare quelle energetiche.

La digitalizzazione del progetto in ambiente BIM ha permesso anche, in alcuni casi dimostrativi, di implementare l'AR e la VR per un maggiore controllo del progetto e della cantierizzazione diventando così strumenti di comunicazione tra progettisti e appaltatori ma anche tra progettisti e utenti finali.

Nonostante questi aspetti positivi, il divario esistente tra il settore sperimentale della ricerca a quello di mercato sembra ancora lontano dal colmarsi.

Il settore dell'edilizia in Italia è infatti ancora fortemente caratterizzato da limiti che ne evidenziano una cronica impreparazione o resistenza a innovarsi. Anche in questo caso, sebbene la normativa già lo stia imponendo (vedasi D.M. n. 560 del 01/12/2017), si denota una difficoltà a introdurre nella prassi quotidiana modelli e sistemi digitali di gestione del processo.

Le motivazioni sono molte: assenza di figure specializzate in grado di elaborare e gestire i modelli BIM, difficoltà di accettarne l'uso da parte di tutti gli attori coinvolti, complessità ad applicare un processo rigoroso e sistematico. A questi limiti si aggiungono altri fattori: tecnologici (esportazione e interpolazione dei modelli evitando di perdere dati da un software all'altro), economici (acquisto di hardware e software), gestionali (personale di ogni categoria adeguatamente formato) e legali (privacy dei dati).

Nell'ottica di innovare la nostra intera filiera e proporre efficaci interventi di riqualificazione energetica del patrimonio esistente, nella direzione non solo della *Deep Renovation* ma anche dei *plus energy buildings*, diventa imprescindibile che tutto il settore si apra a nuove sfide. Formarsi all'uso di nuovi strumenti, metodi e modelli digitali integrati di gestione del processo edilizio potrà contribuire a ridurre costi e i tempi di cantierizzazione, aumentare la produttività e la qualità degli interventi stessi.

In ultimo, ma non meno importante in relazione a quanto oggi si sta vivendo e a quanto vivremo nell'era post COVID-19, l'adozione di modelli digitali integrati (3D: restituzione tridimensionale parametrica; 4D: programmazione temporale dei lavori; 5D: valutazioni e analisi dei costi; 6D: sostenibilità sociale, economica e ambientale; 7D: gestione dell'edificio) consentirà anche una continuità di lavoro a "distanza" e nel *cloud* dove le varie figure chiave del progetto potranno condividere, estrarre e generare nuove informazioni in tempo reale senza ostacolare la stabilità di lavoro in quanto il modello BIM stesso diventa *repo-*

story di tutti i dati di progetto.

Riconoscimenti

Il progetto di ricerca P2ENDURE è cofinanziato dall'Unione Europea nell'ambito del programma quadro H2020 con il contratto n. 723391.

References

- BPIE (2013), A Guide Developing Building Renovation Strategies for Building Energy Renovation. Delivering article 4 of the Energy Efficiency Directive, p.16.
- D'Oca, S., Ferrante, A., Ferrer, C., Perneti, R., Gralka, A., Sebastian, R. and Op't Veld, P. (2018), "Technical, Financial, and Social Barriers and Challenges in Deep Building Renovation: Integration of Lessons Learned from the H2020 Cluster Projects", *Buildings*, vol. 8, p. 174
- Global Buildings Performance Network (GBPN), Deep Renovation Definition, Technical Report (February 2013), available at: <https://www.p2endure-project.eu/en>
- IEA (2019), Global Status Report for Buildings and Construction 2019, IEA, Paris
- Naboni, R. and Paoletti, I. (2015), *Advanced Customization in Architectural Design and Construction*, PoliMI SpringerBriefs, Cham, CH.
- Saidi K.S., Bock T. and Georgoulas C. (2016), Robotics in Construction. in: Siciliano B., Khatib O. (eds), *Springer Handbook of Robotics*, Springer Handbooks. Springer, Cham, CH, pp 1493-1520.
- Šajin, N. (2016), Briefing May 2016 - EPRS – European Parliamentary Research Service, p. 4.