

Costanzo Di Perna*
Lorenza Fantini**

La casa NZEB: una proposta per il clima mediterraneo

Quale è l'edificio ideale effettivamente a "consumo quasi zero"? Un apposito studio che riguarda i nuovi obblighi di risparmio energetico al 2020, considerando anche gli aspetti legati alla stagione estiva ed all'ottimizzazione dei costi, individua una efficace soluzione

KEYWORDS NZEB, Edificio di riferimento, Energia quasi zero

Negli ultimi mesi, i tecnici ed i ricercatori che si occupano di risparmio energetico degli edifici stanno lavorando per identificare possibili modelli di edifici a consumo di Energia Quasi Zero, i cosiddetti NZEB (Nearly Zero Energy Building), adatti al contesto climatico italiano. Essi dovranno quindi definire i parametri e le prescrizioni da inserire nei decreti attuativi della Legge 90/2013 [1], emanata per rispondere alle richieste dell'Unione Europea, al fine di individuare il nuovo scenario, al 2020, della progettazione energetica degli edifici. Il punto di partenza per definire tali parametri è lo stato dell'arte raggiunto nella costruzione di edifici a basso consumo. L'obiettivo della ricerca dell'Università Politecnica delle Marche (AN) che, viene qui presentata con la necessaria sintesi, consisteva nell'individuare il percorso per riuscire ad identificare un modello di edificio NZEB che potesse raggiungere dapprima fabbisogni di energia primaria molto bassi, attraverso la riduzione del fabbisogno utile dell'edificio (intorno ai 30/40 kWh/m²a per il solo riscaldamento) e successivamente annullare quest'ultimo mediante l'uso di energia prodotta da fonti rinnovabili. Le

prestazioni energetiche di tale edificio, come ben chiarito nella normativa, non potranno prescindere dallo studio del suo costo globale di costruzione. Parte fondante dello studio è stata quindi una valutazione "cost-optimal", illustrata in dettaglio nell'articolo "Livelli ottimali di costo per involucri ad alta efficienza energetica" [2].

La nuova Direttiva Europea EPBD recast La nuova Direttiva Europea EPBD recast [3], all'articolo 1, promuove il miglioramento della prestazione energetica degli edifici che si trovano all'interno dell'Unione Europea, specificando che si deve tener conto sia delle prescrizioni relative al comfort degli ambienti interni, sia delle condizioni climatiche specifiche di ciascuno stato membro, senza però dimenticare l'aspetto dei costi che tali prestazioni richiedono. All'articolo 5, stabilisce che gli Stati membri devono calcolare i livelli ottimali dei requisiti minimi di prestazione energetica in funzione dei costi, e comparare tali risultati con i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi in vigore nel proprio Paese. A recepimen-

The NZEB house: a proposal for the Mediterranean climate

KEYWORDS NZEB, Reference building, Nearly zero energy

To meet the requirements of the European Directive EPBD recast, Italy, as the other states of the European Community, had to commit to improving the energy performance of buildings present on its territory. The intelligent design of integrated policy packages to supporting the Nearly Zero Energy Buildings (NZEB) and renewable heating and cooling will be crucial for achieving ambitious long-term energy savings and CO₂-reductions in the building sector. Responding to these requests, Italy defined through its law 90/2013 what is a Nearly Zero Energy Building: it is a building with very high energy performance, whose energy demand is very low,

or almost zero, and is covered by energy from renewable sources. Not being further developed this definition, this research aims to show that a NZEB can be obtained from a traditional building model built in brick, slightly reducing the transmittance of the dispersing structures and introducing high efficiency heating and cooling plants associated with renewable energy sources. As the Directive requires, in the choice of various building solutions or plants the cost of investment and operation that interventions require can not be ignored. The proposal of NZEB in this article fully complies with the requirements of "optimal costs" analysis, developed in further researches.

to di tale Direttiva, l'Italia ha emanato il Decreto Legge 63 del 2013, successivamente convertito nella Legge 90/2013, [1] con cui si introducono i concetti di edificio a energia quasi zero e quello di "edificio di riferimento". L'edificio a energia quasi zero viene definito come un edificio ad altissima prestazione energetica, il cui fabbisogno energetico risulta molto basso o quasi nullo, ed è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta all'interno del confine del sistema.

In mancanza di indicazioni più accurate sulle caratteristiche termiche e sui parametri energetici del futuro edificio NZEB, con questa ricerca si vuole fornire un esempio concreto agli operatori del settore, individuando molteplici possibili stratigrafie di involucro, caratterizzate sia da adeguati valori di trasmittanza che da ottimale capacità termica, tenendo conto dell'importanza che nel nostro paese riveste una valutazione di confort in fase estiva. La ricerca ha dovuto quindi necessariamente tralasciare il quadro normativo attuale, non ancora completamente definito in mancanza dei decreti attuativi della L. 90/2013, così da individuare un "best case" a consumo energetico quasi nullo, vicino agli standard tipologici in uso nel nostro paese, ma con elementi costruttivi in grado di fornire standard energetici e di comfort più elevati.

Il percorso progettuale ha previsto, quindi, l'identificazione di un edificio "tipo" da ottimizzare per raggiungere l'obiettivo "NZEB", in primis riducendone i consumi energetici, per poi introdurre un sistema impiantistico ad alta efficienza e fonti rinnovabili (ad es. impianto fotovoltaico associato ad una pompa di calore, solare termico per l'acqua calda sanitaria, ecc.) per annullare il fabbisogno energetico.

Il caso studio Tra le varie tipologie di edificio di riferimento che sono richieste dalla Direttiva Europea, ovvero abitazione monofamiliare, piccolo condominio, grande condominio ed edificio ad uso uffici, si è scelto di analizzare uno dei casi più diffusi sul territorio italiano: quello del piccolo condominio. In particolare, si è scelto un edificio di edilizia economico popolare (social housing), realizzata da ACER (Azienda Casa di Reggio Emilia) nel 2005 (quindi antecedente all'emanazione del D.Lgs. 192/05) ed avente un consumo energetico di poco superiore ai $70 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, ovvero in classe energetica D. Il caso studio scelto ben rappresenta il tipico condominio residenziale ed è a tutti gli effetti da considerarsi un caso di edilizia low cost. Inoltre l'edificio preso in considerazione è dotato di elementi costruttivi tipici della tradizione mediterranea quali solai e pareti in laterizio.

Per adeguare l'edificio scelto ai nuovi standard energetici, si sono operate delle modifiche a livello geometrico e costruttivo, in particolare:

- ampliamento delle dimensioni delle finestre di 20 cm in larghezza;
- riduzione delle trasmittanze delle chiusure verticali comprensive di infissi a $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$;



1. Vista assonometrica dell'edificio analizzato.

DATI GENERALI	
Località	Bologna
Altitudine	54 m s.l.m.
Latitudine	40° 30' 27"
Longitudine	11° 21' 05"
Gradi giorno	2259
Zona climatica	E
Destinazione d'uso	Residenziale
Tipologia	Piccolo condominio
Intervento	Nuova costruzione
Volume lordo riscaldato	3962 m ³
Sup. esterna che delimita lo spazio riscaldato	1923 m ²
S/V	0,485 m ⁻¹
Sup. calpestabile	948 m ²
N. piani climatizzati	3
altezza interna netta	2,70 m
N. unità immobiliari	12
DATI COSTRUTTIVI	
Chiusure verticali opache	25 diverse stratigrafie, come descritte nella tabella 2
Chiusure verticali trasparenti	Superfici finestrate a trasmittanza termica media pari a $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ e la cui trasmissione solare è di 0,67 e prive di schermature se non quelle dovute agli aggetti dell'edificio
Chiusura orizzontale superiore	Solaio in latero-cemento; trasmittanza termica pari a $0,297 \text{ W/m}^2\text{K}$
Copertura	Tetto a falde con solaio in latero-cemento e coppi; trasmittanza pari a $0,623 \text{ W/m}^2\text{K}$
Chiusura orizzontale inferiore	Solaio in latero-cemento; trasmittanza termica pari a $0,210 \text{ W/m}^2\text{K}$
Ponti termici	Risultano tutti corretti
Partizioni interne	Divisori in laterizio (sp. 11 cm)
Divisione verticale tra ambienti riscaldati	Parete multistrato in laterizio con interposto isolante termico; trasmittanza pari a $0,393 \text{ W/m}^2\text{K}$
Divisione orizzontale tra ambienti riscaldati	Solaio in latero-cemento; trasmittanza pari a $0,576 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tabella 1. Caratteristiche geometriche e costruttive dell'edificio oggetto di analisi.

Stratigrafia	Spessore	U	Yie	k1	Portante	Monostrato	Isolante	Materiale principale
	m	W/m ² K	W/m ² K	kJ/m ² K	Si/No	Si/No	-	laterizio
1	43,0	0,236	0,007	34,7	No	Si	No	Si
2	53,0	0,203	0,001	38,6	No	Si	No	Si
3	45,0	0,246	0,003	42,5	Si	Si	No	Si
4	53,0	0,214	0,003	38,7	No	Si	No	Si
5	45,0	0,266	0,003	25,6	Si	Si	No	Si
6	52,0	0,260	0,007	47,3	No	No	Fibra minerale in intercapedine	Si
7	43,0	0,237	0,006	41,5	No	No	Cappotto in polistirene	Si
8	43,0	0,235	0,012	48,4	Si	No	Cappotto in lana di roccia	Si
9	45,0	0,261	0,003	21,9	Si	Si	No	Si
10	43,0	0,235	0,013	39,8	Si	No	Fibra di legno in intercapedine	Si
11	45,3	0,208	0,022	42,0	No	No	Polistirene in intercapedine	Si
12	45,3	0,225	0,022	41,9	No	No	Lana di roccia in intercapedine	Si
13	45,3	0,244	0,017	41,8	No	No	Fibra di legno in intercapedine	Si
14	48,0	0,175	0,001	36,9	No	Si	No	Si
15	48,0	0,244	0,002	39,2	No	Si	No	Si
16	43,0	0,201	0,002	33,1	No	Si	No	Si
17	43,0	0,214	0,003	37,0	No	Si	Polistirene inserito nel blocco	Si
18	43,0	0,242	0,002	39,4	Si	Si	Polistirene inserito nel blocco	Si
19	45,0	0,252	0,006	41,6	No	Si	No	Si
20	45,0	0,252	0,013	42,5	No	No	Polistirene in intercapedine	Si
21	48,0	0,247	0,012	47,7	Si	No	Polistirene in intercapedine	Si
22	44,5	0,237	0,018	42,0	No	No	Polistirene in intercapedine	Si
23	44,5	0,234	0,014	42,0	No	No	Polistirene in intercapedine.	Si
24	47,3	0,134	0,024	50,0	No	No	Fibre di legno	No
25	38,0	0,320	0,016	42,0	No	Si	No	Si

Tabella 2. Principali caratteristiche termiche e costruttive delle stratigrafie analizzate.

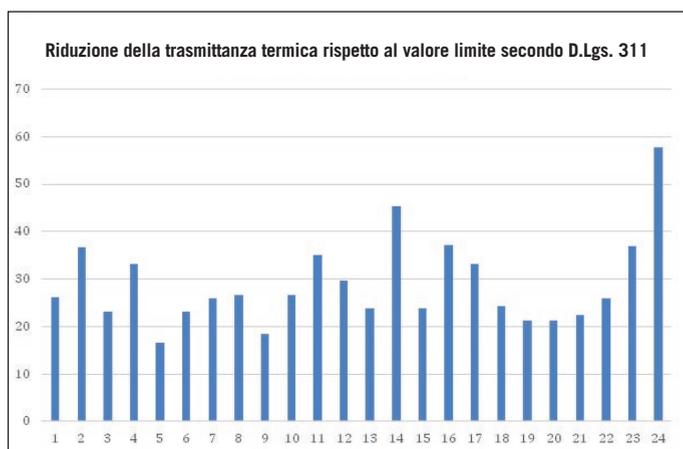
- inserimento di un ulteriore piano non riscaldato destinato a soffitte;
- incremento del numero dei piani (da due a tre) per ottenere una tipologia maggiormente diffusa sul territorio italiano;
- aumento dell’isolamento del solaio verso i garage, fino ad una trasmittanza di 0,21 W/m²K.

Questi cambiamenti hanno permesso di ridurre il rapporto S/V dell’edificio al valore di 0,485 m⁻¹ (fig. 1). Non si è proposto un ulteriore aumento del numero di piani dell’edificio, per tenere conto della effettiva rappresentatività tecnologica dell’edificio. Inoltre un elevato numero di piani richiede l’introduzione sostanzialmente obbligata di un ascensore con i relativi costi energetici che questa soluzione necessariamente introduce. In tabella (tab.1) sono state riassunte le principali caratteristiche geometriche e costruttive dell’edificio oggetto di analisi. Vengono anche descritte le caratteristiche delle strutture edilizie che compongono l’edificio ad eccezione di quelle delle strutture esterne verticali, che sono riportate in tabella 2.

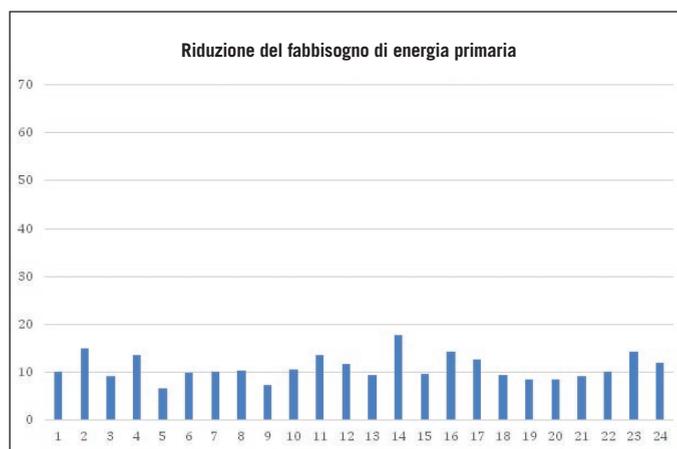
La metodologia di analisi Il primo obiettivo dello studio è stato la definizione di un involucro edilizio che potesse al meglio rispondere alle esigenze della citata Direttiva Euro-

pea ed alle problematiche di comfort in fase estiva tipiche del clima mediterraneo, solo successivamente si è focalizzata l’attenzione anche sugli aspetti impiantistici. Si è optato per strutture in laterizio dalla elevata capacità termica, elemento utile a garantire il comfort ambientale interno in fase estiva [4]. La scelta è stata dettata anche dall’esigenza di non allontanarsi troppo dalle tipologie costruttive tipiche della tradizione italiana.

Relativamente alle strutture opache esterne non si è quindi proposta un’unica soluzione, ma si sono considerate molteplici casistiche. Sono state individuate 25 stratigrafie, selezionate tenendo conto della loro effettiva diffusione sul territorio, così da risultare facilmente reperibili dagli operatori del settore. Queste comprendono pareti monostrato, pareti multistrato, sia portanti che non portanti, con pannelli isolanti o isolamento distribuito, aventi trasmittanze termiche che risultano comprese tra 0,175 W/m²K e 0,267 W/m²K calcolate secondo la metodologia della UNI EN ISO 6946:2008 [5]. Per ogni struttura sono stati valutati attraverso la UNI EN ISO 13786 [6] i parametri termici dinamici ed in particolare in tabella vengono riportati i valori di trasmittanza termica periodica (Yie) e di capacità termica interna periodica (k1).



2. Riduzione della trasmittanza termica delle 24 stratigrafie analizzate rispetto alla stratigrafia 25, con trasmittanza pari al valore limite del D.Lgs. 311/06 per la zona climatica E (0,34 W/m²K).



3. Riduzione del fabbisogno termico delle 24 stratigrafie analizzate rispetto alla stratigrafia 25, con trasmittanza pari al valore limite del D.Lgs. 311/06 per la zona climatica E (0,34 W/m²K).

I valori di trasmittanza termica periodica rientrano tutti entro il limite dettato dal DPR 59/09 [7] mentre per la capacità termica interna il range varia tra 20 e 50 [kJ/m²K]. La capacità termica interna permette di valutare l'inerzia termica dell'involucro. Valori elevati di essa garantiscono un miglior livello di comfort e un miglior controllo dei carichi termici estivi, con conseguente risparmio energetico per il raffrescamento. Tale parametro è infatti funzione della profondità di penetrazione dell'onda termica e descrive la capacità effettiva di accumulo del calore sul lato interno di un componente, quindi in estate la capacità di ridurre le temperature superficiali e attenuare la temperatura operativa [8].

L'accumulo di calore da parte delle strutture interne limita l'escursione interna giornaliera della temperatura dell'aria, limitando il raggiungimento di valori inaccettabili per il comfort interno [4].

Considerando tali vantaggi dell'inerzia termica interna, si sono scelte tutte soluzioni in laterizio, ad esclusione di una in legno (stratigrafia n° 24), costituita da una successione di strati di isolante in fibra di legno, cartongesso e pannelli di legno. La stratigrafia n° 25 è invece una parete monostrato sempre in laterizio, con trasmittanza secondo valore limite del DPR 59/09 [7], scelta come termine di paragone. In tabella 2 sono riassunte le caratteristiche termiche e costruttive principali delle venticinque stratigrafie analizzate. Le prime ventiquattro stratigrafie individuate nell'analisi risultano tutte più prestanti rispetto all'attuale limite di trasmittanza per la zona climatica considerata (Bologna, zona climatica E).

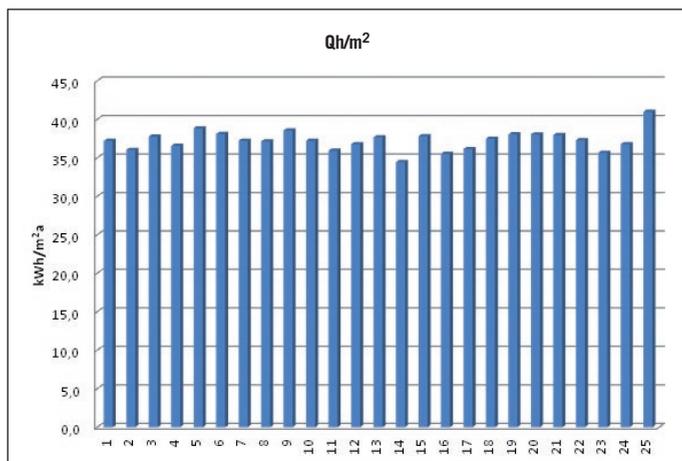
Risultati Dall'analisi delle prestazioni termiche delle stratigrafie di pareti scelte si può osservare che esse presentano riduzioni di trasmittanza, rispetto a quella limite, dal 17% al 57%, come mostrato nel grafico in fig. 2. a fronte di tale riduzione, però, nel calcolo del fabbisogno di energia primaria non ritroviamo la stessa percentuale di riduzione. Infatti, nonostante l'andamento dei risultati si assomigli (fig. 3),

le percentuali qui si attestano tra il 7% e il 18%, quindi se ne deduce che un elevato calo delle trasmittanze termiche dell'involucro non comporta sempre una altrettanto elevata riduzione del fabbisogno di energia

Considerati questi preliminari risultati di questo studio, si sottolinea che nei nuovi edifici "a energia quasi zero", caratterizzati da involucri edilizi molto performanti, il fabbisogno energetico sarà percentualmente molto più influenzato dalle dispersioni per ventilazione rispetto a quanto accadeva negli edifici di vecchia generazione. Infatti, se un edificio costruito precedentemente agli ultimi decreti relativi al contenimento dei consumi energetici consuma 110 kWh/m²a di cui solo il 25% è dovuto alla ventilazione; uno costruito nei primi anni dell'entrata in vigore dei decreti consuma 50 kWh/m²a di cui il 35% è dovuto alla ventilazione. Ipotizzando che con i futuri sviluppi normativi non ci saranno variazioni sulla metodologia di calcolo del fabbisogno energetico, un edificio di nuova generazione consumerà 30 kWh/m²a, ma il 40% di questo fabbisogno sarà dovuto alla sola dispersione per ventilazione (fig. 4). Pertanto in futuro non sarà più possibile trascurare le problematiche legate alla ventilazione degli ambienti. In termini pratici ciò significa ad esempio valutare l'introduzione negli edifici, anche residenziali, di un sistema di ventilazione meccanica controllata.

Questi primi risultati ci portano inoltre a concludere che la sola ottimizzazione dell'involucro edilizio verticale non è un intervento sufficiente per progettare un edificio NZEB, di fatto è necessario introdurre un efficientamento dell'intero sistema edificio-impianto.

Partendo dal caso che ha come involucro esterno la stratigrafia 14, che evidenzia i migliori risultati prestazionali dal punto di vista energetico, si sono quindi elaborate due diverse soluzioni impiantistiche. Nel primo caso troviamo una caldaia a condensazione associata ad un sistema di emissione a bassa temperatura e ventilazione naturale (soluzione definita "COND"), mentre, nel secondo caso ritroviamo la stessa



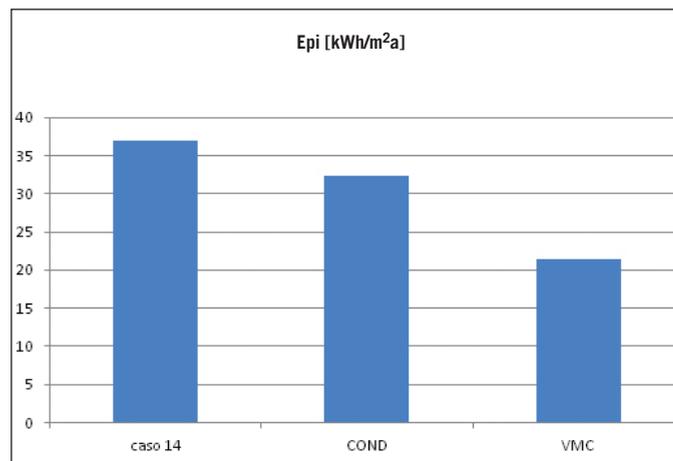
4. Fabbisogno utile in regime di riscaldamento delle 25 stratigrafie analizzate.

caldaia e lo stesso sistema di emissione, associato ad un sistema di ventilazione meccanica controllata con recuperatore di calore all'80%, funzionante sia in regime estivo che in regime invernale (soluzione definita "VMC").

Come era logico aspettarsi (fig. 5), la sola introduzione di una caldaia a condensazione associata a pannelli radianti al posto di quella tradizionale con radiatori, presente nell'edificio originario, determina un miglioramento di circa il 12% della prestazione energetica (soluzione definita "COND"), mentre la soluzione chiamata VMC risulta ottenere le migliori prestazioni energetiche riducendo il fabbisogno di circa il 15%, ma senza ancora giungere al consumo "zero".

I guadagni ottenuti in termini di efficienza energetica sono comunque tali da permettere di compensare il fabbisogno energetico dell'edificio attraverso l'introduzione di tecnologie rinnovabili come un impianto fotovoltaico e un impianto solare termico a servizio della produzione dell'acqua calda sanitaria. La quota rinnovabile potrebbe portare ad una riduzione tale del fabbisogno di energia che il caso studio possa essere considerato effettivamente un edificio NZEB.

Conclusioni Già da tempo numerose ricerche hanno evidenziato che in clima mediterraneo il riferirsi al solo fabbisogno invernale per classificare gli edifici è limitativo, in quanto manca una componente fondamentale che è il fabbisogno per il raffrescamento legato alla necessità di garantire un adeguato comfort in fase estiva. La difficoltà di calcolare tale fabbisogno, dovuta alla necessità di una valutazione dinamica con molti dati di input, spinge spesso a trascurare questo aspetto, affidando a parametri prescrittivi la limitazione del fabbisogno per il raffrescamento [8]. Nel ridurre ulteriormente il fabbisogno totale dell'edificio in un'ottica NZEB, la problematica estiva diviene invece fondamentale e essa deve quindi essere valutata in modo più dettagliato. L'edificio NZEB dovrà essere necessariamente una combinazione ideale tra tecnologia costruttiva e impianti tecnologici installati, compresi quelli per produrre energia rinnovabile.



5. Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale dell'edificio di partenza con stratigrafia 14 (impianto con caldaia tradizionale e radiatori) messo a confronto con quelli ottenuti nei due casi "COND" (ventilazione naturale) e "VMC" (con ventilazione meccanica e con recuperatore di calore).

Dallo studio riportato in questo articolo si evince che è possibile spingersi verso una ulteriore riduzione di trasmittanza termica delle pareti esterne senza però dover giungere a valori estremamente bassi.

I risultati mostrano che un edificio in laterizio, tipologicamente e costruttivamente tipico del nostro patrimonio edilizio, può ottenere eccellenti risultati dal punto di vista della prestazione energetica e del comfort (valutato in accordo con [4] e [8]) e può quindi rappresentare una tipologia adeguata da utilizzare come edificio campione. Non solo, esso può anche rappresentare un valido esempio di casa NZEB, in cui il fabbisogno energetico è coperto dall'introduzione di impianti efficienti associati a ventilazione meccanica controllata e tecnologie rinnovabili (coppi/tegole fotovoltaiche, geotermico, ecc.). È necessario però evidenziare che in prima istanza la normativa attualmente in via di definizione dovrà fare maggiore chiarezza sia sulla quantificazione della quota rinnovabile, sia sulla corretta interpretazione dell'espressione "quasi zero". ¶

* Costanzo Di Perna

Professore Associato, DIISM, Università Politecnica delle Marche

** Lorenza Fantini

PhD, Libero professionista

[1] LEGGE n. 90, Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63, 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, 3 agosto 2013.

[2] E. Di Giuseppe, M. D'Orazio, Livelli ottimali di costo per involucri ad alta efficienza energetica, *Costruire in Laterizio* 159 (2014).

[3] Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell'edilizia, 19 maggio 2010.

[4] E. Di Giuseppe, Lorenza Fantini, M. D'Orazio, C. Di Perna, Un indice di comfort abitativo nel certificato energetico, *Costruire in Laterizio* 147 (2012).

[5] UNI EN ISO 6946:2008 - Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo

[6] UNI EN ISO 13786:2008 - Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo

[7] Decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59 - Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia (09G0068).

[8] C. Di Perna, F. Stazi, A. Ursini Casalena, A. Stazi, Massa e comfort: necessità di una adeguata capacità termica areica interna periodica, *L'industria dei Laterizi*, marzo/aprile 2008, n. 110