

^{neo}EUBIOS

bene et commode vivens

ISSN 1825-5515



53

qualche modo deleterio e non costruttivo.

Questa preoccupazione ha portato al messaggio comune che è stato più volte sottolineato anche al meeting internazionale sui cambiamenti climatici che si è svolto a Roma il 10-11 settembre 2015: il problema ambientale è un problema etico e di giustizia sociale, e se ci si ferma solo al territorio e al clima non si potrà cambiare nulla.

Il tema è etico e morale a prescindere da scienza ed economia, per questo motivo si parla di giustizia ambientale. L'approccio deve essere integrale per funzionare, non sarà più possibile pensare a delle soluzioni prettamente scientifiche.

Gli attuali trend di crescita delle emissioni inquinanti porteranno a disastri enormi e irreversibili che non riguardano solo il clima e il territorio (scioglimento dei ghiacci, innalzamento della temperatura terrestre, uragani e siccità...) ma anche carestia, migrazioni e guerre.

Bisognerebbe ridurre le emissioni di 7/8 volte entro il 2050 con un massimo aumento della temperatura di 2°C per rientrare in una situazione non ottimale ma in qualche modo accettabile e sanabile.

La prossima Conferenza di Parigi è un appuntamento fondamentale perché lì si decide la sorte del mondo intero e se non si trova un accordo difficilmente si riuscirà ad uscire da una situazione che non fa altro che peggiorare creando scompensi su tutto il globo terrestre.

“ equilibrio fra il soddisfacimento delle esigenze presenti senza compromettere la possibilità delle future generazioni di sopperire alle proprie. ”

Malgrado l'Italia contribuisca solo all'1% delle emissioni e necessiti che a Parigi condivida con tutti gli altri Paesi progetti importanti e obiettivi.

Purtroppo l'ultima Conferenza di Coppenaghen è stata un fallimento e non si è trovato un accordo ma questo a Parigi non deve succedere e le nazioni lo sanno. Il Ministro per l'ambiente Gallotti ha sottolineato la volontà dell'Italia di puntare a obiettivi ambiziosi perché andare al ribasso significherebbe già avere perso in partenza.

Gli interessi economici e sociali sono enormi soprattutto in quei Paesi che più incidono sull'inquinamento globale e i cambiamenti climatici. Ci auguriamo tuttavia che tutti, in qualche modo, abbiano capito

L'EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DEGLI EDIFICI STORICI: STUDIO DI VILLA GRASSENÌ A FLERO (BS).

di

* Alberto Averngli e Isaac Scaramella

Nel contesto Europeo, ed ancor di più in quello italiano, gli edifici storici rappresentano una quota importante (circa il 30% a livello europeo) del patrimonio edilizio. Capire come ridurre i consumi energetici di questa tipologia di edificio, mantenendo o addirittura incrementando le condizioni di

confort interno rappresenta una sfida interessante, da affrontare con un approccio interdisciplinare che unisca competenze di carattere energetico e legate alla fisica degli edifici a quelle espresse dall'architettura e dal restauro.

Nell'approcciarsi ad uno studio energetico di un edificio storico, occorre tener conto delle più significative differenze che esso in generale presenta rispetto ad un edificio moderno:

- Diverso livello di conoscenza dell'edificio: se per una costruzione recente sono spesso disponibili elaborati di progetto contenenti informazioni geometriche e tecnologiche, per gli edifici storici spesso si può solo ricorrere ad ipotesi basate sull'epoca (presunte) di costruzione;
- Elevata inerzia termica degli

edifici storici: gli edifici costruiti prima della diffusione estensiva delle strutture a telaio sono generalmente caratterizzate da pareti portanti in muratura e/o materiale lapideo dall'elevata spessore. Questo comporta un'elevata inerzia termica dell'edificio nel suo complesso;

- Diversa permeabilità all'aria ed al vapore dell'involucro: le caratteristiche dei serramenti e più in generale dell'involucro degli edifici storici comportano una maggiore permeabilità all'aria ed al vapore degli stessi. Questo da un lato significa una più semplice evacuazione dell'umidità interna, dall'altro comporta maggiori perdite di calore per infiltrazione;
- Installazione degli impianti termici: mentre gli edifici recenti sono stati progettati e costruiti contestualmente all'impianto termico, in quelli storici il riscaldamento è stato eventualmente aggiunto in un secondo momento. Questo comporta che spesso l'edificio non è correttamente compatimento e le zone riscaldate sono talvolta in diretto collegamento con quello non riscaldate.

Da un punto di vista materico, la villa presenta pareti esterne ed interne in muratura dallo spessore variabile (tra i 30 e i 90 cm). I solai sono prevalentemente lignei con travetti a semplice ortitura (con e senza contossolito in cannicciato e gesso) con assito su cui, negli anni '90 dello scorso secolo,

che ci troviamo in una situazione davvero critica e che se non ci fermiamo un attimo a pensare al prossimo portiamo tutti quanti. L'egoismo dovrà restare fuori delle tavole di lavoro di Parigi e sarà necessario che coloro che decideranno commentando bene i rischi di un eventuale fallimento o un eventuale accordo blando poco ambizioso.

Nell'ottica di conoscere i rischi e di capire bene cosa significa giustizia ambientale nei prossimi numeri di Eubios pubblicheremo dei passi dall'Enciclica Laudato si di papa Francesco, a mio parere l'unico documento veramente completo e illuminante su tutto l'argomento!

Valeria Euba,
Presidente ANVT



Fig. 1 - Prospetto nord di Villa Grassani



Fig. 2 - Prospetto est di Villa Grassani



Fig. 3 - Prospetto sud di Villa Grassani



Fig. 4 - Prospetto ovest di Villa Grassani

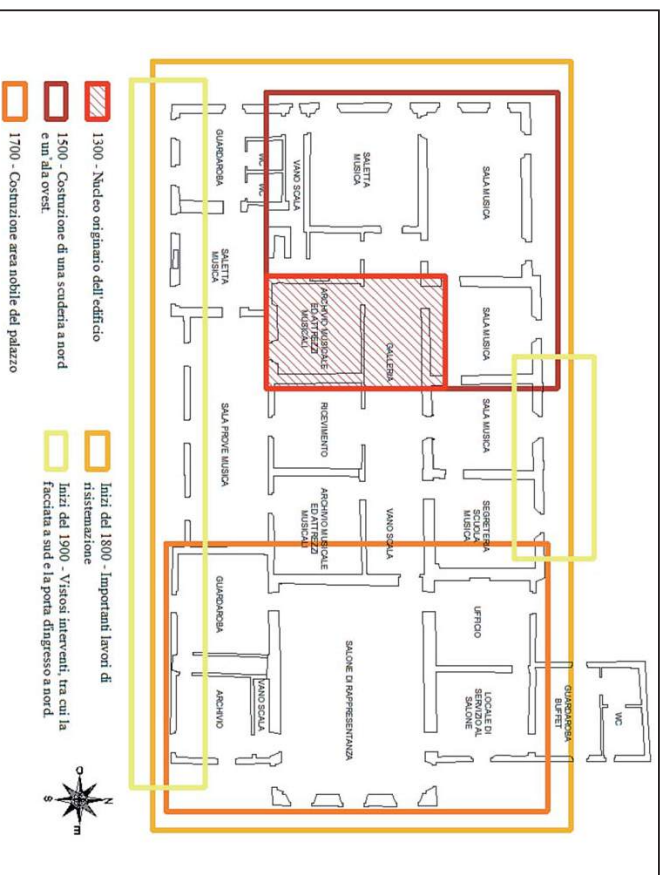


Fig. 5 - Ricostruzione dell'evoluzione storica di Villa Grassani

è stata posata una cappa collab-orante in calcestruzzo e una pavim-entazione in cotto. I pochi locali affrescati presentano volte a botte e a crociera in muratura. I serramen-ti, infine, fatta eccezione per la vetrata storica della veranda al piano terra del prospetto sud, risalgono all'intervento di ristrut-turazione effettuato all'inizio de-gli anni '90 e sono tutti costituiti da un telaio in legno tenero e una vetrocamera singola, con spesse-re dei vetri di 3 mm e spessore dell'intercapedine di 6 mm.

Metodologia di analisi e tipologia di calcolo

Per definire le strategie di efficientamento energetico di Villa Grassani è stato applicato l'approccio metodologico sviluppato nel contesto del progetto transfrontaliero Ex.Ro. Aus. (EXtension of Potentiality of Adriatic UNESCO Sites) nel quale sono state elaborate le "Linee guida sull'uso di tecnologie basate su energie rinnovabili e volte al rispar-mio energetico all'interno di edifici storici tutelati ed adibiti a fruizione pubblica dei beni culturali".

Nella metodologia proposta nelle linee guida, la diagnosi ener-getica viene delimita - confor-memente alla norma UNI CEI/TR 11428 - come una "proce-dura sistematica volta a fornir-re un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici di una attività (o impianto) indu-striale o di servizi pubblici o pri-vati e ad individuare e quanti-ficare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi/benefici".

Per realizzare correttamente una diagnosi energetica i passaggi fondamentali sono riassumibili in:

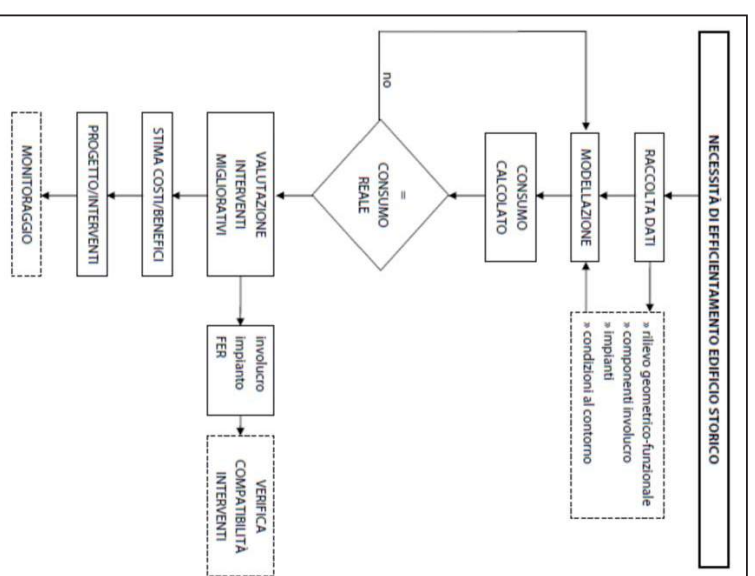


Fig. 6 - Workflow del processo di efficientamento di un edificio storico

- un'adeguata conoscenza delle caratteristiche geometriche e tec-nologiche dell'edificio;
- la modellazione termica del fab-bricato;
- la validazione del modello in base ai dati reali;
- la valutazione costi/benefici de-gli interventi di riduzione del con-sumo energetico
Le norme UNI TS 11300 preve-dono tre tipologie (Tab. 1) di valu-tazione energetica di un edificio:
- di progetto (design rating): è quella eseguita in fase di progetto, quando non si conoscono ancora i reali utilizzi della struttura e ven-gono quindi svolti con un'utenza ed un clima standardizzati e dati geometrici e tecnologici coerenti con il progetto;
- standard (asset rating): valu-tazione finalizzata alla certifica-zione energetica, prevede le stesse ipotesi di utenza e clima del de-sign rating, ma viene eseguita va-lutando l'edificio come effettiva-mente realizzato;
- adattata all'utenza (tailored ra-ting): valutazione idonea per la diagnosi energetica che prevede di valutare caso per caso il tipo di uso dell'edificio e le condizioni climatiche del luogo. L'edificio da modellare è quello effettivamente esistente.

Tipo di valutazione energetica	Dati d'ingresso		Scopo della valutazione
	Uso	Clima	
Di progetto (<i>design rating</i>)	Standard	Standard	Progetto Permesso di costruire
Standard (<i>asset rating</i>)	Standard	Standard	Reale Certificazione energetica
Adattata all'utenza (<i>tailored rating</i>)	In funzione dello scopo		Reale Ottimizzazione, validazione, diagnosi e programmazione degli interventi di riqualificazione

Tab. 1 - Tipologie di valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici

Dal punto di vista del calcolo è possibile individuare tre metodologie principali per il calcolo del fabbisogno energetico:

- calcolo stazionario: considera un solo valore annuale caratteristico del clima esterno (ad esempio i gradi giorno). Questo metodo è chiaramente più semplice ma decisamente poco rappresentativo della realtà.

- calcolo semi-stazionario: considera condizioni al contorno costanti per un certo periodo di tempo. È il caso della procedura di calcolo delineata nelle UNI TS 11300, dove viene effettuato un calcolo mensile delle grandezze, considerandole costanti su tale intervallo di tempo. Il grosso limite di questo approccio è la limitata considerazione dei fenomeni inerziali.

- calcolo dinamico: prevede una variazione su time step ridotti (ore o frazioni di ore) delle con-

izioni al contorno e considera i fenomeni di accumulo e rilascio di calore nelle strutture.

Da quanto sopra esposto risulta chiaro che per edifici storici, caratterizzati come detto da elevata inerzia, l'approccio migliore è quello tramite valutazione dinamica.

Nel caso specifico, l'edificio è stato modellato tramite l'utilizzo del motore di calcolo Energy Plus ed interfaccia Open Studio.

Al fine della corretta valutazione della dispersione del calore dovuta ai ponti termici sono stati inoltre modellati i nodi parete-serramento con il programma di simulazione agli elementi finiti Therm 6.3.

Indagini in situ e misure sperimentali

Una incognita tipica degli edifici esistenti, ed in particolare di quelli storici, è la corretta valutazione delle caratteristiche tecnologiche

che degli elementi dell'involucro. Spesso non si ha traccia delle effettive stratigrafie di pareti, coperture e solai e non è possibile (ed opportuno) ricorrere ad indagini distruttive.

Al fine di utilizzare valori verosimili di trasmittanza termica nella modellazione si ricorre quindi ad indagini non distruttive ed in particolare al rilievo termografico ed alla valutazione della conduttanza in opera.

Le immagini termografiche sono particolarmente utili per individuare discontinuità nell'involucro, che negli edifici storici possono essere causate ad esempio da accessi o cavetti murari, dalla presenza di elementi realizzati con materiali differenti, da interventi di isolamento termico effettuati in passato e di cui si è persa traccia documentale.

Nel caso specifico i termogrammi (Figg. 7, 8) non hanno evidenziato fenomeni rilevanti.

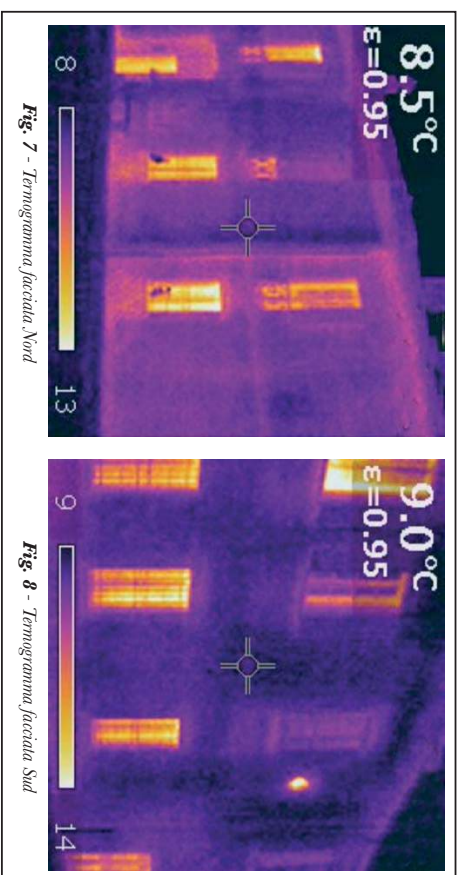


Fig. 7 - Termogramma, facciata Nord

Fig. 8 - Termogramma, facciata Sud

È stata condotta una campagna di prove atte a determinare la conduttanza in opera di elementi dell'involucro edilizio utilizzando un termoflussimetro e tre termocoppie per ogni prova. Elaborando i dati acquisiti con il metodo delle medie progressive è stato possibile ottenere il valore di conduttanza in opera e conseguentemente valutare una conduttività termica equivalente del componente (Tab. 2).

I valori di conduttanza in opera, misurati con particolare attenzione a valutare pareti risalenti alle

differenti soglie storiche, sono stati utilizzati (soprattutto quelli delle pareti) come confronto con i dati presenti in letteratura per stratigrafie di elementi tecnologici paragonabili per datazione storica e tipologia edilizia a quelli presenti a Villa Grassenti (peraltro

	Periodo di rilevamento	Intervallo di acquisizione dati	Elemento indagato		Conduttanza calcolata [W/m ² K]
			Parete	Parete	
1	17/12/2014 16:20 01/01/2015 17:20	10 minuti	Parete	Parete	1,247 1,062
2	07/01/2015 10:10 11/01/2015 22:10	5 minuti	Solaio	Parete	0,684* 1,481
3	13/01/2015 11:00 18/01/2015 23:00	5 minuti	Solaio	Parete	9,639** 1,185

*Il dato riferito al solaio della prova 2 non è coerente con i dati forniti dalla letteratura. È possibile che la piastra fissa metrica, posata sul controsoffitto, sia in corrispondenza di un travetto

**Il dato riferito al solaio della prova 3 è evidentemente errato a causa di condizioni sperimentali che hanno invalidato la prova

Tab. 2 - Ripetizione dati rilievo e risultati finali del valore di conduttanza in opera

erano disponibili alcuni disegni relativi agli interventi degli anni '90 da cui si sono potuti desumere ulteriori dati). Da questi confronti si sono desunti i valori di conducibilità termica equivalente utilizzati poi nel modello numerico.

Modello numerico e sua calibrazione

Tramite gli strumenti software precedentemente descritti e utilizzando i dati raccolti è stato quindi possibile realizzare un modello dell'edificio (Fig. 9, 10). Di fondamentale importanza è stata la scelta dei profili di utilizzo (schedules in Energy Plus) sia dal punto di vista dell'uso dell'edificio da parte del personale e degli utenti, che per quanto riguarda i settaggi dell'impianto. Per ciascun intervallo temporale sono stati definiti dei profili di utilizzo, identificati grazie ad un confronto con l'amministrazione comunale e con il gestore dell'impianto. Per quanto riguarda i dati climatici è stato utilizzato il file meteo standard della stazione Brescia - Ghedi, ritenuto sufficientemente rappresentativo del clima della zona. Al fine di stabilire se il model-

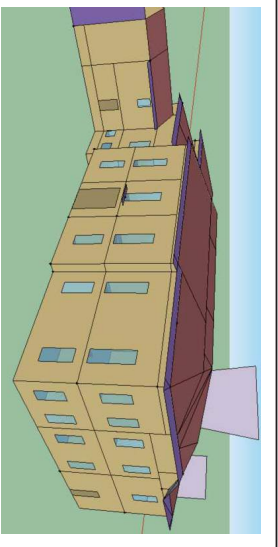


Fig. 9 - Modello geometrico 3D, lato Nord-Ovest

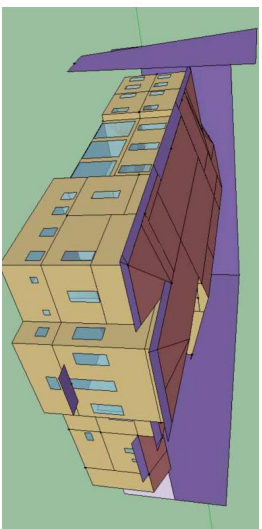


Fig. 10 - Modello geometrico 3D, lato Sud-Est

lo rappresenta effettivamente la realtà è stato valutato il fabbisogno energetico dell'edificio rapportato ai gradi giorno della località. In particolare sono stati confrontati i consumi previsti dal modello per gli anni 2011, 2012, 2013 e 2014, normalizzati rispetto al rapporto tra i gradi giorno effettivi di quegli anni e

quelli del file meteo (Tab. 3). Da tale confronto risulta uno scostamento medio del 15% che si è si reputato accettabile così da poter validare il modello.

Validato il modello numerico, si è proceduto all'analisi dello stato di fatto (scenario 0), che ha restituito i consumi energetici rappresentati in figura 11.

Anno	Consumo effettivo di energia termica [kWh]	Gradi Giorno effettivi [GG]	Consumo normalizzato di energia termica [kWh]
2011	106430	2488	114301
2012	106440	2451	116037
2013	81280	2664	81524
2014	60300	1923	83786

Tab. 3 - Ripilogo consumi

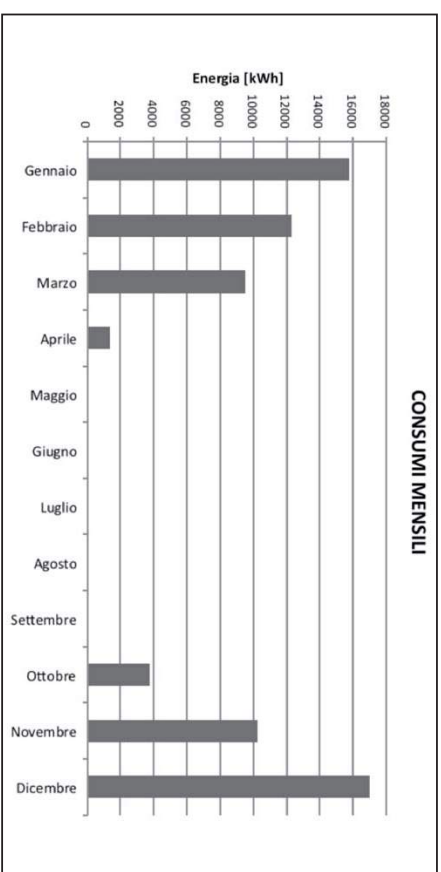


Figura 11 - Consumi mensili ottenuti dal modello energetico

In particolare la dispersione dell'energia immessa negli ambienti dal sistema di riscaldamento e dagli apporti interni (illuminazione naturale ed artificiale, metabolismo delle persone, apparecchiature elettriche) risulta così distribuita:

- 56,8% attraverso le superfici opache (verticali ed orizzontali);
- 20,9% attraverso i serramenti;
- 22,3% a causa di ventilazione ed infiltrazioni d'aria.

Interventi migliorativi ed analisi dei risultati

Il passo successivo della diagnosi energetica è la valutazione degli interventi per la riduzione dei consumi. Nel caso di edifici storici, ed a maggior ragione in quello di edifici vinodati, è di primaria importanza valutare la compatibilità degli interventi con la conservazione e la tutela del bene. Per Villa Grassani sono stati ipotizzati i seguenti interventi:

- colibentazione dell'ultimo solario (sottotetto): questo intervento

è reversibile, poco invasivo e non impatta sulla percezione visiva del bene (scenario 1). Il sottotetto è attualmente agevolmente accessibile mediante un'apposita scala a scomparsa e l'altezza della copertura non pone problemi di movimento all'interno dello stesso: pertanto non sussistono particolari ostacoli alla posa manuale dell'isolante. Si è scelto di utilizzare lana di roccia in rotoli, da posare a diretto contatto con lo scaldato esistente. Sopra allo strato di lana di roccia è poi possibile posare delle tavole rigide in legno (quasi pannelli in OSB) sostenute da listelli in legno, in modo da consentire l'accessibilità al sottotetto per eventuali opere di manutenzione ordinaria; lo spazio tra i listelli sarà riempito sempre con lana di roccia. Si è quindi proceduto alla simulazione con diversi spessori di lana di roccia, considerando gli spessori più diffusi in commercio. In funzione di una valutazione costi/benefici si è scelto di considerare uno strato di

lana di roccia di spessore pari a 12 cm (valori superiori non comportano un significativo aumento del risparmio). In questo scenario si ottiene una riduzione dei consumi di energia pari al 22,6%.

colibentazione dall'interno delle pareti perimetrali: le stanze prive di affreschi o decorazioni, pertanto è possibile colibentare dall'interno mediante una contro parete in cartongesso con isolante multistrato termoriflettente. La scelta del materiale è stata fatta al fine di ridurre gli spessori necessari (scenario 2). Lo scenario così proposto comporta una riduzione del 17,5% dei consumi energetici per il riscaldamento.

Sostituzione degli infissi: gli infissi presenti hanno caratteristiche ormai non in linea con le tecnologie attualmente sul mercato, la loro sostituzione non altera in modo rilevante la qualità architettonica del bene (scenario 3). Si è ipotizzata quindi l'installazione di nuovi serramenti con telaio in

CONSUMI E RISPARMI ANNUALI	
DATAI	Potere calorifico inferiore gas [kWh/m ³]
	Costo gas metano [€/m ³]
CONSUMI ANNUALI	
	consumi attuali [kWh]
	consumi dopo l'intervento [kWh]
RISPARMIO ANNUALE	
	kWh di energia risparmiata
	% di energia risparmiata
	m ³ di gas risparmiato
	risparmio [€]

Tab. 4 - Riepilogo consumi e risparmi ottenuti con gli interventi dello Scenario 4

legno spesso 9,2 cm, vetrocammere a singola, spessa complessivamente 3,2 cm (riempita con una miscela di aria al 10% e argon al 90%). I vetri utilizzati sono trasparenti ed hanno spessore di 0,8 cm; è presente uno strato di coating basso-emissivo in posizione 2. Questo intervento consente di ridurre dell'8% i consumi. Va però sottolineato che la sostituzione dei serramenti consente anche di diminuire le perdite per infiltrazione. Considerando anche tale contributo (riducendo le infiltrazioni da 0,2 vol/h a 0,1 vol/h) si stima un risparmio complessivo del 16,3%.

I risultati in termini di riduzione dei consumi energetici per tutti e tre gli interventi proposti (scenario 4), sono riportati in tabella 4.

L'esecuzione di tutti gli interventi migliorativi ipotizzati (scenario 4) comporta complessivamente una riduzione di circa il 43% (tale valore non è ovviamente la somma algebrica dei singoli contributi sopra riportati poiché gli stessi sono riferiti al singolo intervento che in percentuale diminuisce sul totale, se si considerano tutti e tre insieme).

Comportamento estivo

Avere a disposizione un modello dinamico validato del comportamento termico di Villa Grassenti ha consentito di espandere l'analisi anche allo studio del comfort estivo. Energy Plus è infatti in grado di restituire informazioni circa la temperatura operante degli ambienti e, applicando il modello adattivo riportato dalla normativa statunitense ASHRAE 55-2010 (calibrato su edifici privi di ventilazione meccanica), che considera il range di

temperatura di comfort in funzione della temperatura esterna, è stata valutata la percentuale di tempo durante la quale si hanno condizioni di comfort nella settimana di massime temperature (Tab. 5). In particolare sono state analizzate due zone significativamente la zona 7 (locali a sud-est del piano primo) e la zona 2 (locali a sud-est del piano terra).

Dalle analisi effettuate risulta che gli interventi effettuati comportano un leggero peggioramento del comfort estivo. Questo comportamento è dovuto al fatto che riducendo la dispersione attraverso l'involucro viene contenuto il raffrescamento notturno (figg. 12, 13).

Dalla simulazione che tiene conto contemporaneamente di tutti gli interventi precedentemente

valutati emerge un modesto peggioramento rispetto alla situazione di partenza per la zona 2, legato all'incremento della temperatura operante massima. Anche per quanto concerne la zona 7, si ha una riduzione del numero di ore in cui la temperatura operante rientra nel range di comfort. Ciò è dovuto all'aumento della temperatura operante minima calcolata, mentre non si registrano scostamenti significativi per quanto riguarda la temperatura operante media e massima.

Si può quindi concludere che tutti gli interventi migliorativi proposti non apportino variazioni rilevanti del comportamento estivo dell'edificio. Ciò è dovuto al fatto che, trattandosi di una struttura massiva, il comporta-

Zona 2		Zona 7	
Ore di comfort totali nel mese	617	Ore di comfort totali nel mese	50
Ore di comfort nel mese [%]	82,93	Ore di comfort nel mese [%]	6,72
To max [°C]	29,29	To max [°C]	33,88
To media [°C]	24,80	To media [°C]	28,85
To min [°C]	22,36	To min [°C]	25,59

Tabella 5 - Riepilogo dati di valutazione sul comfort in regime estivo nello Scenario 4

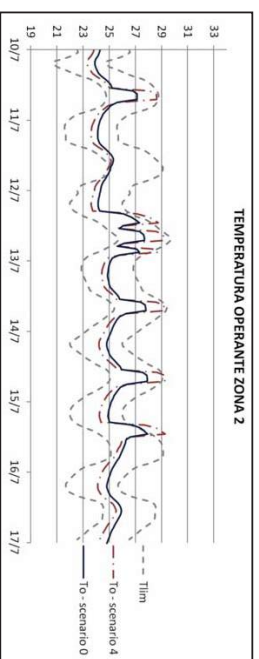


Fig. 12 - Confronto delle temperature operante tra scenario 0 e 4 con il range di temperature di comfort per la zona 2

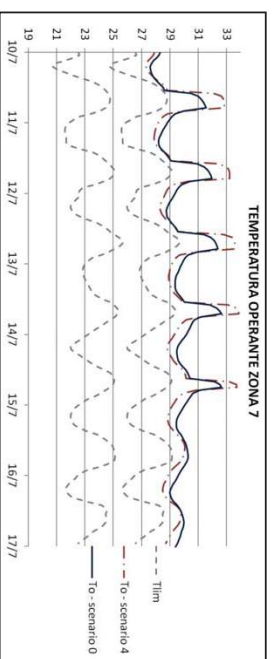


Fig. 13 - Confronto delle temperature operante tra scenario 0 e 4 con il range di temperature di comfort per la zona 7

mento in regime estivo è governato principalmente dall'inerzia termica, parametro sostanzialmente non influenzato dai vari interventi ipotizzati.

Conclusioni

Lo studio degli edifici antichi non può che passare da una metodologia che veda l'utilizzo di modelli dinamici tramite software evoluti che permettano di considerare il reale comportamento dell'edificio tenendo conto del suo uso. In particolare, con riferimento al caso di studio, si osserva come con 'modesti' interventi caratterizzati da un ridotto impatto sulla materia antica e sulla percezione del bene storico-artistico, si ottiene un notevole miglioramento rispetto alla dispersione energetica in ambito invernale. **15**

Bibliografia
ANSI/ASHRAE Standard 55-2010, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
Arici L., Morotti E., Studio del comportamento termico degli edifici antichi: prove sperimentali e simulazioni numeriche presso Villa Grassenti di Piero (BS), Tesi di laurea, Università degli Studi di Brescia, 2015.

Lucchi E. e Pracchi V., Efficienza energetica e patrimonio costruito, Maggioli Editore, Segrate (MI), 2013.
Scaramella I., Pracassi A., Massetti A., Esposi R., Panzeri A., Bianchini D., Linee guida sull'uso di tecnologie basate su energie rinnovabili e volte al risparmio energetico all'interno di edifici storici tutelati ed adibiti a fruizione pubblica dei beni culturali.

Provincia di Ferrara, 2014.
European Commission, ENERGYEFFICIENT BUILDINGS PPP MULTI-ANNUAL ROADMAP AND LONGER TERM STRATEGY, 2013.
UNI/TS 11300-2:2014, Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria e per l'illuminazione.
UNI/TS 11300-3:2010, Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.

* Alberto Anghini, Ingegnere, Professore Associato di Architettura Tecnica, Università di Brescia
Isaac Scaramella, Ingegnere, geometra, Brescia