POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Consumi energetici e comfort in edifici tradizionali in pietra: monitoraggio e ipotesi di intervento

Original
Consumi energetici e comfort in edifici tradizionali in pietra: monitoraggio e ipotesi di intervento / Consoli, M., Bocco, A., Raimondo, L.. - In: ATTI E RASSEGNA TECNICA. - ISSN 0004-7287. - ELETTRONICO. - 74:1(2020), pp. 47-56.

Availability:
This version is available at: 11583/2858270 since: 2020-12-17T18:14:44Z

Publisher:
SOCIETÀ DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

15 October 2026

Consumi energetici e comfort in edifici tradizionali in pietra: monitoraggio e ipotesi di intervento

Energy consumption and comfort in traditional stone buildings: monitoring and retrofit options

MATTEO CONSOLI, ANDREA BOCCO, LUCA RAIMONDO

Abstract

L'oggetto di studio è un edificio rurale in pietra di elevato interesse storico-architettonico sito a Ghesc, un villaggio dell'Ossola. Si tratta di un'abitazione contadina di origine medievale; gli altri edifici della borgata sono oggi allo stato di rudere o in fase di recupero per opera dell'associazione Canova, nata per la valorizzazione di questo patrimonio. Lo studio ha previsto alcune indagini strumentali e la diagnosi energetica, finalizzata a quantificare il fabbisogno energetico attuale ed elaborare alcuni scenari di intervento per migliorare l'efficienza energetica e il comfort. Le diverse ipotesi progettuali sono confrontate sotto il profilo energetico, economico e ambientale, anche attraverso l'utilizzo di un motore di calcolo dinamico orario. I risultati dello studio saranno utili non solo per eventuali interventi sull'edificio in esame, ma anche per recuperare edifici analoghi. Del resto, Ghesc è un "villaggio laboratorio" dove si stanno sperimentando tecniche tradizionali e innovative per il recupero degli edifici con l'obiettivo di divenire un punto di riferimento per il recupero dell'architettura storica in pietra.

The purpose of study is a rural stone building of high historical and architectural interest located in Ghesc, a hamlet in Ossola. It is a medieval peasant house; the other buildings are in a state of ruin or undergoing recovery by Canova association, that was born to valorize this heritage. The study includes instrumental investigations and energy diagnoses, aimed at quantifying the current energy needs and developing retrofit options to improve energy efficiency and comfort. Each design option is compared from energy, economic and environmental point of view, also using a dynamic hourly calculation tool. The results of this study could be useful not only for any interventions on the building in question, but also to restore similar buildings. Moreover, Ghesc is a "laboratory village" where traditional and innovative techniques are experimented. The aim is to become a reference point for the recovery of historic stone architecture.

Matteo Consoli, laureato magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile, borsista di ricerca presso il Politecnico di Torino, DIST.

matteo.consoli@gmail.com

Andrea Bocco, professore ordinario di Tecnologia dell'Architettura, Politecnico di Torino, DIST.

andrea.bocco@polito.it

Luca Raimondo, architetto libero professionista, consulente energetico ambientale, Vice coordinatore del Focus Group "Sostenibilità ed Energia" dell'Ordine degli Architetti PPC di Torino.

raimondo.luca@gmail.com

Introduzione

Ghesc (/ghesh/, termine dialettale che identifica Ghesio[1]), è una minuscola borgata medievale dell'Ossola, a Montecrestese (VB), comune sparso costituito da decine di villaggi. L'oggetto di studio è un edificio a destinazione residenziale, abitato permanentemente da una coppia con un bambino piccolo. Si tratta di un'abitazione contadina caratterizzata da pareti perimetrali portanti in pietra a sacco, copertura a falde molto inclinate e manto di piccole lastre di pietra (*beole*). L'edificio presenta un volume elementare ed è organizzato su quattro livelli: un deposito seminterrato, due piani abitati – riscaldati da una unica stufa a legna posta al piano primo – e un sottotetto non fruibile. È l'unico

edificio abitato della borgata, che è composta da otto edifici ed è stata disabitata per più di cento anni. Gli altri edifici sono oggi allo stato di rudere o in fase di recupero per opera dell'associazione senza fini di lucro Canova, che prende il nome dall'omonimo villaggio situato a pochi minuti a piedi da Ghesc, sull'opposta sponda del Toce. L'associazione, fondata nel 2001, mira allo studio, la salvaguardia, il recupero e la valorizzazione dell'inestimabile patrimonio architettonico dell'Ossola[2], ed è diventata un importante riferimento fornendo consigli a proprietari e progettisti e aiutando amministrazioni locali e società civile a riflettere sugli strumenti e le procedure di gestione del patrimonio architettonico e paesaggistico[3]. Prima della pandemia, l'associazione, membro ICOMOS e INTBAU, organizzava ogni anno incontri e campi scuola che coinvolgono studenti, architetti ed esperti di conservazione provenienti da Nord America, Italia e Giappone. Ghesc è infatti un "villaggio laboratorio", dove vengono sperimentate tecniche tradizionali e innovative per il recupero degli edifici con l'obiettivo di divenire un modello per il recupero del patrimonio dell'intera Ossola e, più in generale, per gli interventi sull'architettura storica in pietra.

Negli scorsi decenni l'industrializzazione e lo spostamento della popolazione ossolana (e montana in genere) verso il fondovalle hanno comportato il progressivo abbandono degli edifici storici e delle terre alte, tuttavia la crisi dell'attuale sistema economico e anche la recente emergenza sanitaria – che ha portato a riconsiderare modalità alternative di lavoro – offrono l'occasione di immaginare differenti modelli di sviluppo, nei quali gli insediamenti rurali, e in particolare le borgate montane, possono rivestire un ruolo di nuova centralità. Inoltre, l'inderogabile necessità di preservare l'ambiente ci mette di fronte a due imperativi. Il primo è di ridurre drasticamente – se non azzerare – la costruzione di nuovi edifici e il consumo di suolo, orientandoci verso il recupero dello stock edilizio esistente; il secondo è la riduzione dei fabbisogni energetici degli edifici. Se da un lato quest'ultimo obiettivo è facilmente raggiungibile nel caso delle nuove costruzioni – che possono essere oggi progettate secondo i più elevati standard di efficienza energetica –, la priorità resta la minimizzazione degl'impatti degli edifici esistenti, che costituiscono di gran lunga la maggioranza dello stock. Gli edifici storici, ancorché non vincolati, non si sottraggono a questo imperativo; occorre tuttavia adottare nei loro confronti soluzioni rispettose e compatibili, che comprendono non solo interventi fisici ma anche adattamenti dei comportamenti, delle aspettative e delle stesse norme, pensate per edifici costruiti in tutt'altro modo.

L'esperienza dell'associazione Canova suggerisce che questo vasto stock, tanto più quando di valore storico, vada recuperato senza subordinare la qualità architettonica a una pedissequa soddisfazione della normativa; inoltre, gli edifici storici dovrebbero poter essere adattati in funzione

Figura 1. Vista di Ghesc (foto di Andrea G. Melillo).

Figura 2. Casa Alfio, unico edificio abitato di Ghesc (foto di Andrea G. Melillo).

delle esigenze dei nuovi occupanti, modi d'uso e funzioni ospitate, superando un atteggiamento di eccessivo ritegno che porterebbe a una museificazione, anche del patrimonio "minore". L'architettura vernacolare, lungi dall'essere statica, si è sempre evoluta di pari passo con le esigenze dei suoi abitanti; l'armonia che il suo aspetto ci suggerisce deriva, almeno in parte, dalle limitazioni materiali ed energetiche che caratterizzarono la sua costruzione[4]. C'è il rischio che la complessità dei vincoli, paradossalmente, disincentivi il recupero stesso, condannando gli edifici del passato all'inevitabile degrado.

1. Indagini strumentali

L'obiettivo dello studio, condotto da Matteo Consoli tra il 2018 e il 2019 a seguito di un accordo tra Politecnico di Torino e Associazione Canova, è un approfondimento sul comportamento energetico dell'edificio, che è partito con alcune indagini strumentali sul campo. Sono stati svolti un rilievo termografico, finalizzato all'analisi delle strutture disperdenti e all'individuazione dei ponti termici, e una campagna di misure termoflussimetriche, mirata alla determinazione del valore di trasmittanza termica della parete.

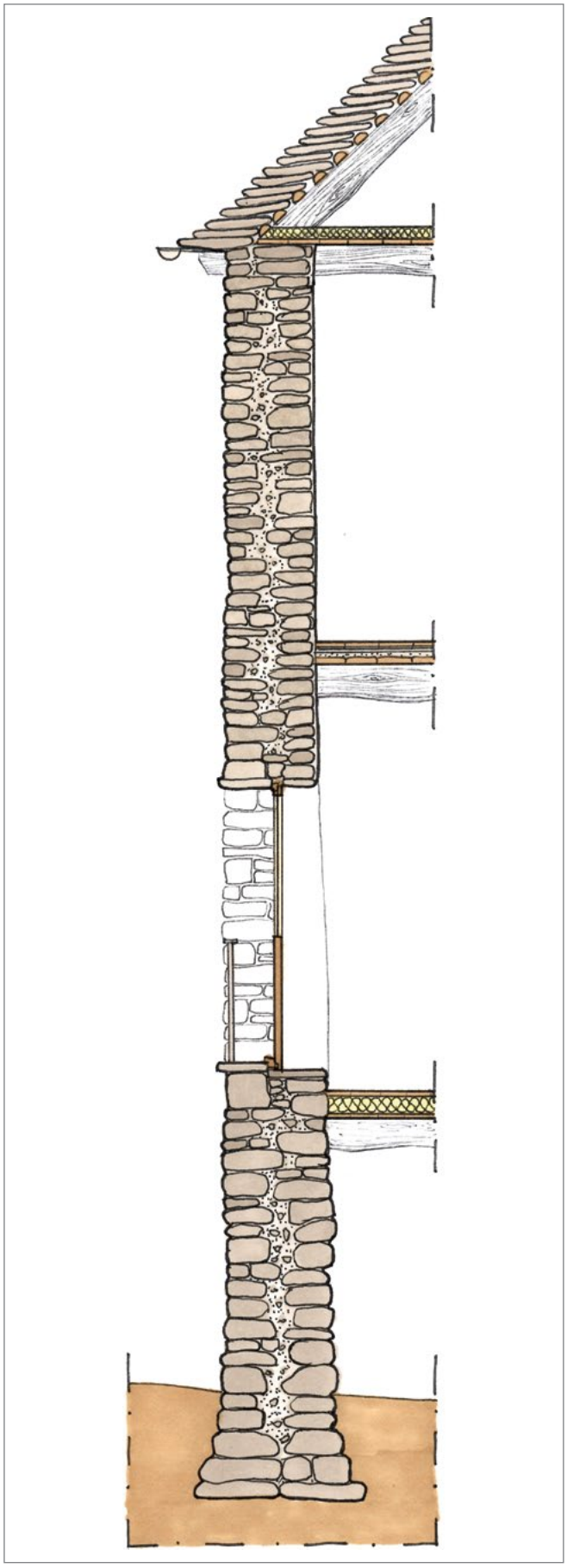


Figura 3. Casa Alfio, sezione facciata sud (disegno di Matteo Consoli).

1.1. Rilievo termografico

Il rilievo termografico[5] ha permesso di osservare l'involucro edilizio al fine di individuare la tipologia di strutture disperdenti e le relative discontinuità termiche. Il rilievo è stato svolto nel mese di gennaio per beneficiare della massima differenza di temperatura tra l'esterno e l'interno. Le termografie mostrano un edificio caratterizzato da temperature superficiali tendenzialmente omogenee, sia sul lato interno che su quello esterno. Non spiccano infatti ponti termici di grande entità né discontinuità termiche puntuali degne di nota, fatta eccezione per le imbotti delle finestre. La tessitura muraria, seppur costituita da elementi di forma e dimensione variabile allettati con malte di spessore non costante, si presenta piuttosto omogenea dal punto di vista del suo comportamento termico complessivo (Figura 4). Considerata l'assenza di ponti termici particolarmente evidenti, e la scarsa resistenza termica dei diversi elementi di involucro, si potrebbe definire l'edificio "uniformemente molto disperdente", confermando di fatto le indicazioni riportate in letteratura[6].

1.2. Rilievo termoflussimetrico

Il rilievo termografico è in grado di fornire informazioni di tipo qualitativo sulle dispersioni dell'involucro. Per quantificare la conduttanza e la trasmittanza termica della parete è stato eseguito un rilievo termoflussimetrico[7]. La strumentazione utilizzata, messa a disposizione dal Laboratorio LAMSA del DAD-Politecnico di Torino, si compone di termoflussimetri, termocoppie, sensori di temperatura dell'aria, datalogger e PC[8]. All'esterno sono state predisposte due termocoppie per il monitoraggio delle temperature superficiali della parete[9] collegate a un datalogger con rilevatore di temperatura incorporato. All'interno invece, in corrispondenza dei sensori esterni, sono stati collocati i due termoflussimetri e quattro termocoppie (Figura 5). Anche per questo tipo di misure è essenziale il mantenimento di un'adeguata differenza di temperatura tra la faccia interna della parete e quella esterna al fine di limitare l'incertezza della misura[10]. I dati registrati durante le due settimane di acquisizione[11] sono stati rielaborati con il metodo della media mobile[12], che ha restituito valori di conduttanza pari a 2,9 W/m^{2}K per il primo sensore e 3,6 W/m^{2}K per il secondo. Per il calcolo della trasmittanza sono stati utilizzati i valori di resistenza superficiale forniti dalla UNI EN ISO 6946:2018 (R_{si}=0,13 m^{2}K/W e R_{se}=0,04 m^{2}K/W)[13]. Ne risultano valori di trasmittanza pari a 1,9 W/m^{2}K per un sensore e 2,2 W/m^{2}K per l'altro, con un valore medio di 2,1 W/m^{2}K[14].

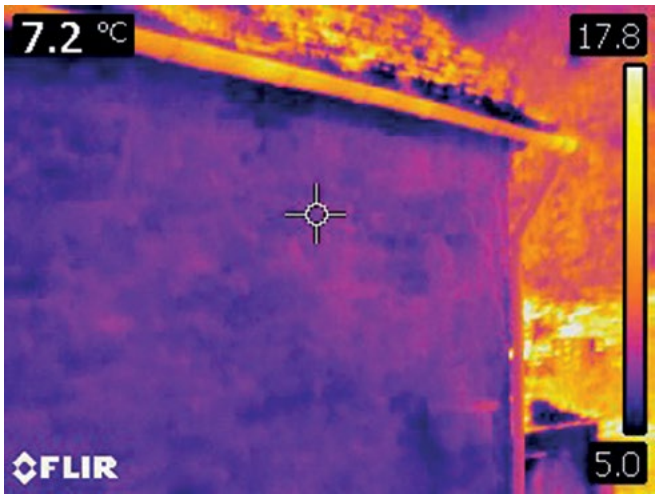


Figura 4. Termografia della parete nord-est dell'edificio (vista dall'esterno).

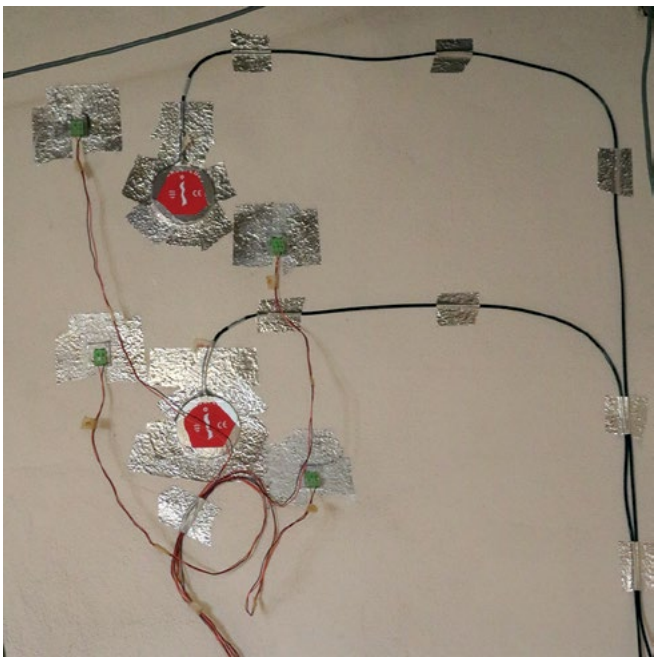


Figura 5. Termoflussimetri e termocoppie per il monitoraggio del flusso termico e della temperatura superficiale sul lato interno della parete (foto di Andrea G. Melillo).

1.3. Monitoraggio del consumo di legna

Durante i 14 giorni di gennaio interessati dal rilievo termoflussimetrico è stato monitorato da parte degli utenti il consumo di legna combusta nella stufa[15], evidenziando un utilizzo medio nel periodo di 20,5 kg/giorno; nonostante tale dato abbia una significatività relativa, sia per le specifiche condizioni climatiche del periodo, sia per la breve durata del monitoraggio, l'analisi del dato giornaliero è stata utile per comprendere le interazioni tra l'utente e la stufa. La legna utilizzata per il riscaldamento dell'edificio proviene da piante di quercia e tiglio abbattute nelle adiacenze della casa[16]. Il potere calorifico è stato calcolato[17] tenendo conto del contenuto idrico del legno (w=12%), rilevato mediante l'utilizzo di un misuratore di umidità, e risulta pari a 4,33 kWh/kg.

2. Modellazione e valutazione energetica

La buona conoscenza dell'edificio, rafforzata delle indagini strumentali, ha permesso la modellazione dello stesso mediante l'utilizzo del software Termolog EpiX 8, distribuito

dalla Logical Soft, finalizzata alla determinazione del fabbisogno energetico attuale e all'elaborazione di alcuni scenari di intervento per migliorare l'efficienza energetica e il comfort.

2.1. Modellazione dell'edificio e certificazione energetica

La modellazione dell'edificio è partita dall'individuazione delle zone riscaldate e non riscaldate, e dalla definizione di aree, altezze e volumi ed è proseguita con l'imputazione delle dispersioni di ciascun elemento di involucro (Figura 6, Tabella 1). Le caratteristiche termofisiche delle strutture disperdenti sono state definite integrando i dati misurati con quelli presenti in letteratura; i ponti termici sono stati analizzati agli elementi finiti per ottenere i relativi coefficienti di trasmittanza termica lineica e individuare eventuali problemi di condensa superficiale sul lato interno. Il calcolo ha permesso di determinare[18] gli indici di prestazione energetica, i consumi e attribuire la classe: in condizioni di calcolo standard (valutazione di tipo A2 secondo la UNI TS 11300), il valore dell'indice di energia primaria globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) è pari a 167,05 kWh/m^{2}anno, la corrispondente classe energetica è la "B". Si fa notare che nonostante si tratti di un fabbricato caratterizzato da un elevato fabbisogno termico invernale, l'edificio ricade in una buona classe energetica per effetto del fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile della biomassa, pari a 0,2[19]. Il consumo standard di legna è pari a 7570 kg/anno.

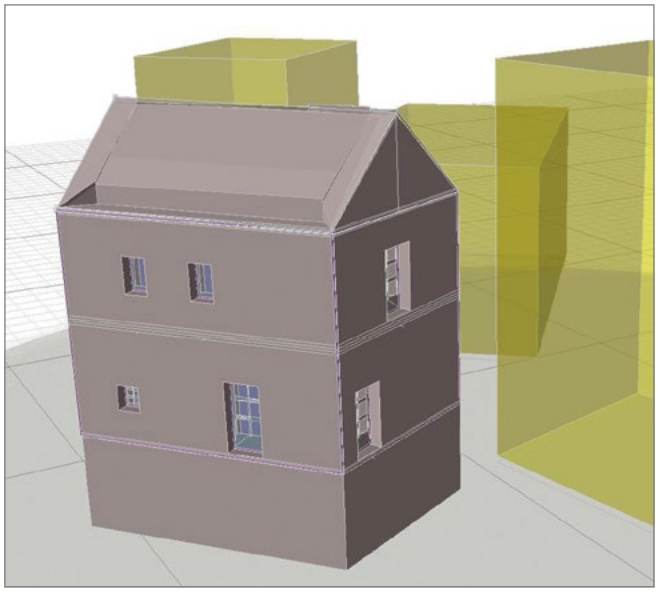


Figura 6. Vista tridimensionale del modello dell'edificio (Termolog).

2.2. Diagnosi energetica

L'edificio è stato anche simulato in modalità "diagnosi energetica", ovvero considerando le condizioni di uso reale (valutazione di tipo A3 secondo la UNI TS 11300) e condizioni climatiche più vicine a quelle rilevate in campo. Ai fini di questa valutazione, infatti, è stato inserito il profilo delle temperature medie mensili della stazione meteo Arpa di Domodossola (VB) relative all'anno 2017 e quello delle temperature interne reali, mediamente inferiori a quelle del calcolo standard, che meglio approssima l'effettivo profilo di utilizzo del sistema di riscaldamento. La descrizione del modello, tuttavia, trascura la disuniformità di riscaldamento degli ambienti – in particolare tra la zona giorno e la zona notte, condizione inevitabile per un generatore di calore diretto di tipo puntuale e privo di regolazione – e l'alimentazione discontinua della stufa che è sospesa durante la notte e in caso di assenza degli occupanti – condizione inevitabile per un sistema a caricamento manuale senza accumulo. Ciò ha determinato uno scarto piuttosto significativo tra i consumi di riscaldamento calcolati (6271 kg/anno) e i consumi reali dichiarati dagli occupanti, rilevati in modo analitico solo durante le due settimane interessate dalla misura termoflussimetrica (2700 kg/anno).

dimensioni piano 1	A_{netta}=27,22 m^2	h_{netta}=2,97 m	V_{netto}=80,84 m^3
	A_{lorda}=44,40 m^2	h_{lorda}=3,22 m	V_{lordo}=142,97 m^3
dimensioni piano 2	A_{netta}=27,45 m^2	h_{netta}=2,85 m	V_{netto}=78,23 m^3
	A_{lorda}=44,40 m^2	h_{lorda}=3,01 m	V_{lordo}=133,64 m^3
volume riscaldato (tot)	V=159,07 m^3		
superficie disperdente opaca (tot)	S=250,88 m^2		
superficie disperdente trasparente (tot)	S=9,08 m^2		
trasmittanza solaio vs sottotetto	U=0,66 W/m^{2}K		
trasmittanza solaio vs cantina	U=0,29 W/m^{2}K		
trasmittanza parete in pietra	U=2,10 W/m^{2}K		
trasmittanza media serramenti	U=2,79 W/m^{2}K		

Tabella 1. Principali dati geometrici e termofisici dell'edificio.

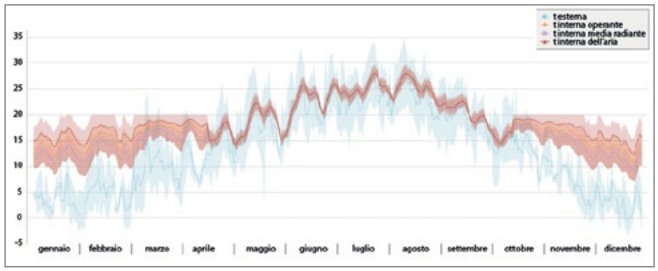


Figura 7. Simulazione del comportamento termico annuo dell'edificio con motore di calcolo dinamico orario, standard ANSI/ ASHRAE 140:2017, stato di fatto (Termolog).

2.3. Calcolo dinamico orario dell'edificio (stato di fatto)

Un ulteriore approfondimento della diagnosi energetica ha previsto l'analisi dell'edificio mediante l'utilizzo del motore di calcolo dinamico orario[20]. Sono quindi state formulate ipotesi per la definizione di profili d'uso il più possibile aderenti alle reali abitudini degli occupanti, rilevate durante i sopralluoghi[21]. Il grafico in Figura 7 mostra l'andamento di: temperatura esterna, temperatura interna operante, temperatura interna media radiante e temperatura interna dell'aria nell'arco dell'anno[22].

3. Ipotesi per la riqualificazione energetica

La consapevolezza delle dispersioni termiche suggerisce una serie di possibili interventi di miglioramento energetico. Lo studio si è concentrato sugli aspetti passivi dell'edificio, e le varie ipotesi di riqualificazione si sono sviluppate attorno alle diverse soluzioni di isolamento delle pareti esterne. Non sono pertanto stati ipotizzati interventi sull'impianto, che pure avrebbero permesso significative ottimizzazioni dei consumi energetici[23]. D'altronde sono stati ipotizzati interventi autonomamente eseguibili dagli occupanti della casa, che sono membri attivi dell'associazione e che hanno già eseguito direttamente il recupero dell'edificio stesso: ne deriva la preferenza per soluzioni a bassa "complessità tecnologica", in cui il valore della manodopera prevale su quello dei materiali nell'ottica di una realizzazione in autonomia – se non nel contesto di cantieri didattici – e con esborsi contenuti. I punti saldi nella progettazione degli interventi sono il rispetto della natura costruttiva e del valore storico-architettonico dell'edificio e l'utilizzo esclusivo di materiali naturali, rispettosi della salute dell'uomo e dell'ambiente (caratterizzati da bassa energia grigia, basso o negativo *embodied carbon*, biocompatibilità, rinnovabilità).

3.1. Interventi di isolamento

Le superfici disperdenti oggetto degli interventi ipotizzati sono l'estradosso del solaio verso sottotetto, attualmente isolato con un materassino in lana di roccia da 4 cm di spessore, e le pareti perimetrali, che non sono isolate e determinano attualmente le maggiori dispersioni termiche. Le ipotesi di intervento non coinvolgono il solaio di pavimento verso cantina dal momento che è stato sufficientemente isolato con pannelli in fibra di legno di spessore pari a 8 cm nell'ambito dei lavori di recupero dell'edificio effettuati dai proprietari. Lo stesso vale per i serramenti, installati nel medesimo periodo e dotati di vetrocamera.

L'isolamento del sottotetto, poco invasivo sia dal punto di vista percettivo sia da quello economico, non presenta particolari complessità tecniche. Il prodotto ipotizzato è un pannello in fibra di legno di spessore pari a 14 cm, adatto all'isolamento sia invernale sia estivo e inattaccabile dai roditori.

Per quanto concerne invece l'isolamento dei muri perimetrali si riscontra la criticità del rapporto con l'aspetto dell'edificio. Un eventuale intervento di isolamento a cappotto esterno (ad esempio in fibra di legno) risulterebbe ottimale dal punto di vista dell'isolamento termico, della correzione dei ponti termici e non impatterebbe sugli spazi interni, che sono già rifiniti e abitati. Tuttavia risulterebbe problematica la connessione con la copertura – che presenta uno sporto molto ridotto – e altererebbe l'aspetto esterno dell'edificio, che è caratterizzato dalla muratura in pietra a vista. In Ossola, come anche in altre aree alpine, dall'Ottocento invalse, per motivi di status e anche grazie alla maggiore disponibilità di risorse economiche ed energetiche, la pratica di intonacare le facce esterne delle pareti perimetrali. Alla luce di questa considerazione un intervento di isolamento a cappotto esterno, rifinito con un intonaco, non risulterebbe in contrasto con le pratiche tradizionali. Tuttavia la propensione estetica per la tessitura muraria in pietra a vista potrebbe scoraggiare questo tipo di intervento. Va inoltre osservato che le norme vigenti e le scelte adottate dalle Commissioni locali per il paesaggio potrebbero impedire un simile intervento, vuoi in modo diretto, vuoi in modo indiretto (ad es. perché non consentono di modificare lo sporto del tetto e/o il dettaglio di gronda), rendendo evidente il conflitto tra due obiettivi: quello della efficienza energetica e quello della conservazione del patrimonio.

Una soluzione alternativa consisterebbe in un intervento di isolamento dall'interno, che comporterebbe però l'erosione degli spazi abitabili interni, la riduzione della capacità termica areica interna[24] e quindi il peggioramento delle prestazioni estive. Estendendo tuttavia il ragionamento agli edifici in stato di rudere o di abbandono – quali sono gli altri di Ghesc così come migliaia di altri nelle borgate alpine – il sacrificio di spazio interno potrebbe essere meglio gestito in fase progettuale. Il problema del surriscaldamento estivo, invece, potrebbe essere fronteggiato attraverso una corretta ventilazione, lo sfruttamento di tecniche di raffrescamento passivo che sfruttano l'abbassamento della temperatura dell'aria esterna durante la notte e l'adozione di schermature solari.

Nel caso studio sono state ipotizzate due soluzioni alternative; una con pannelli in fibra di legno rifiniti a calce e una con un termointonaco in calce-canapa, che garantirebbe maggiore inerzia termica e un migliore comportamento estivo.

Sono quindi stati ipotizzati quattro possibili interventi per l'isolamento dell'involucro, alcuni dei quali alternativi tra loro (Figura 8).

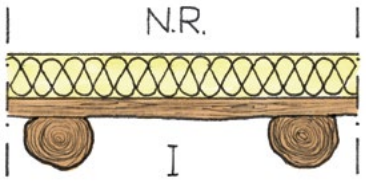
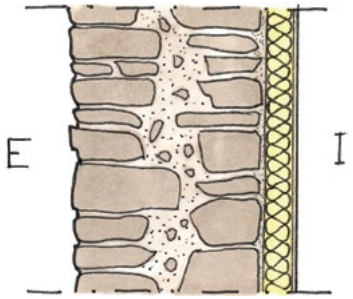
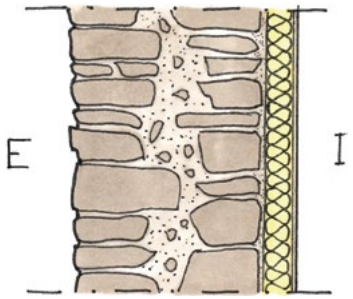
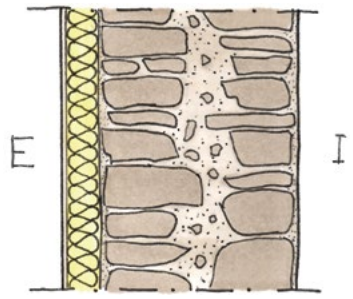
A – isolamento del sottotetto con pannelli in fibra di legno U=0,25 W/m²K U_{lim}=0,26 W/m²K (D.M. 26/06/2015, appendice B, tabella 2) caratteristiche dell'isolamento: spessore: 14 cm conducibilità termica (λ): 0,04 W/mK densità: 120 kg/m³ calore specifico: 2100 J/kgK	
B – termointonaco in calce-canapa sulla faccia interna delle pareti perimetrali U=0,60 W/m²K (il dimensionamento è avvenuto ipotizzando uno spessore massimo di 10 cm, che non consente di raggiungere la U_{lim}) U_{lim}=0,39 W/m²K (D.M. 26/06/2015, appendice B, tabella 1 + deroga per intervento dall'interno (+30%), allegato 1, 1.4.3_2) caratteristiche dell'isolamento: spessore: 10 cm conducibilità termica (λ): 0,085 W/mK densità: 400 kg/m³ calore specifico: 1500 J/kgK	
C – cappotto termico in fibra di legno sulla faccia interna delle pareti perimetrali U=0,36 W/m²K U_{lim}=0,39 W/m²K (D.M. 26/06/2015, appendice B, tabella 1 + deroga per intervento dall'interno (+30%), allegato 1, 1.4.3_2) caratteristiche dell'isolamento: spessore: 9 cm + 1 cm (colla e rasatura) conducibilità termica (λ): 0,04 W/mK densità: 120 kg/m³ calore specifico: 2100 J/kgK	
D – cappotto termico in fibra di legno sulla faccia esterna delle pareti perimetrali U=0,29 W/m²K U_{lim}=0,30 W/m²K (D.M. 26/06/2015, appendice B, tabella 1) caratteristiche dell'isolamento: spessore: 12 cm + 1 cm (colla e rasatura) conducibilità termica (λ): 0,04 W/mK densità: 120 kg/m³ calore specifico: 2100 J/kgK	

Figura 8. Soluzioni A, B, C, D per l'isolamento dell'involucro.

3.2. Scenari di intervento

Combinando gli interventi appena descritti sono stati composti quattro scenari. L'isolamento del sottotetto (intervento A) è stato considerato da solo nello scenario base (scenario 1) e ricorre anche negli altri tre. Nella composizione degli scenari 2, 3 e 4 all'isolamento del sottotetto si aggiungono, rispettivamente, il termointonaco (B), il cappotto interno (C) e il cappotto esterno (D).

Per ciascuno scenario sono stati ricalcolati i ponti termici per verificare la validità delle soluzioni ipotizzate e ridefinire il valore dei coefficienti di trasmittanza termica lineica. Per quantificare il risparmio energetico conseguibile attraverso l'attuazione di ciascuno degli scenari, l'edificio è stato nuovamente simulato con il software tenendo conto di nuovi stratigrafie, trasmittanze e ponti termici; considerando la relativa significatività dei consumi reali monitorati, si è scelto di fare riferimento al modello di calcolo di diagnosi energetica e quello orario. Tale operazione ha restituito il nuovo fabbisogno energetico, i nuovi consumi e ha permesso il confronto con il costo di realizzazione[25] corrispondenti a ciascuna ipotesi. La Tabella 2 sintetizza i principali risultati della simulazione dal punto di vista energetico, economico e ambientale. Le ultime tre colonne riportano, in maniera esemplificativa, uno dei parametri più significativi restituiti dal calcolo dinamico orario descritto nel prossimo paragrafo, vale a dire la temperatura interna media radiante nel mese più caldo.

	costo intervento	$EP_{gl,nren}$	classe energetica	variazione emissione CO_2	T.R.	consumo legna e bosco necessario		principali risultati calcolo dinamico $t_{interna\ media\ radiante}$ agosto		
	[€]	[kWh/ m^2a]		[%]	[anni]	[kg]	[ha]	max [°C]	min [°C]	med [°C]
STATO DI FATTO										
STANDARD (profilo A2)	-	167,08	B	-	-	7.570	8,1	29,0	21,0	25,1
DIAGNOSI (profilo A3)	-	142,90	-	-	-	6.271	6,7			
SCENARIO 1 A										
STANDARD (profilo A2)	3.327	159,99	B	-4,28	33,6	7.173	7,7	29,0	21,4	25,3
DIAGNOSI (profilo A3)	-	137,01	-	-	-	5.942	6,3			
SCENARIO 2 A + B										
STANDARD (profilo A2)	28.102	79,36	A3	-52,96	22,9	2.663	2,8	30,5	25,1	28,0
DIAGNOSI (profilo A3)	-	69,62	-	-	-	2.172	2,3			
SCENARIO 3 A + C										
STANDARD (profilo A2)	13.056	69,16	A3	-59,13	9,5	2.092	2,2	37,1	19,2	27,9
DIAGNOSI (profilo A3)	-	60,36	-	-	-	1.654	1,8			
SCENARIO 4 A + D										
STANDARD (profilo A2)	15.802	73,49	A3	-56,51	12,1	2.334	2,5	30,0	26,7	28,4
DIAGNOSI (profilo A3)	-	63,46	-	-	-	1.827	1,9			

Tabella 2. Riassunto del confronto degli scenari.

3.3. Calcolo dinamico orario dell'edificio (scenari di progetto)

La simulazione degli scenari di intervento è stata approfondita mediante il calcolo dinamico orario dell'edificio, che ha permesso un confronto delle prestazioni dello stesso in relazione ai diversi interventi di riqualificazione e la definizione dei profili di temperatura dell'aria interna e delle superfici disperdenti, utili al fine di valutare il comfort per gli abitanti. Dall'analisi comparativa dei profili di temperatura interna durante il periodo estivo, ad esempio, è possibile riconoscere il miglior comportamento delle soluzioni caratterizzate dai più elevati valori di capacità termica areica interna.

Già da un primo sguardo ai quattro grafici relativi agli scenari di progetto (Figura 9) e a quello relativo allo stato di fatto (Figura 7) appare evidente come, a parità di condizioni climatiche esterne, vi siano differenze all'interno dell'ambiente. In particolare, si noti l'ampiezza delle variazioni di temperatura interna (operante, media radiante e dell'aria): molto pronunciata per lo scenario 3, decisamente contenuta per lo scenario 2 e ancora più contenuta per lo scenario 4. Il cappotto interno

in fibra di legno (scenario 3) determina, oltre all'innegabile riduzione dei consumi per il riscaldamento e al miglioramento del comfort invernale, un peggioramento delle condizioni di comfort estivo a causa della minore capacità termica areica interna delle pareti perimetrali. In sostanza il posizionamento dell'isolante sul lato interno dell'involucro riduce la capacità delle murature in pietra di assorbire e rilasciare il calore e la possibilità di contenere i picchi di temperatura delle ore calde dei giorni estivi. Il migliore comportamento descritto dal grafico dello scenario 2, seppure si tratti anche in questo caso di un intervento sul lato interno dell'involucro, è motivato dalla maggiore densità del termointonaco in calce-canapa rispetto alla fibra di legno, che contribuisce a una maggiore inerzia termica. Infine, il cappotto esterno in fibra di legno (scenario 4) presenta l'andamento dei profili di temperatura più "appiattito". In questo caso infatti il posizionamento dell'isolante sul lato esterno dell'involucro permette alla massa dei muri in pietra di rimanere a contatto con l'ambiente interno garantendo la valorizzazione dell'elevata inerzia termica che caratterizza questo tipo di edifici.

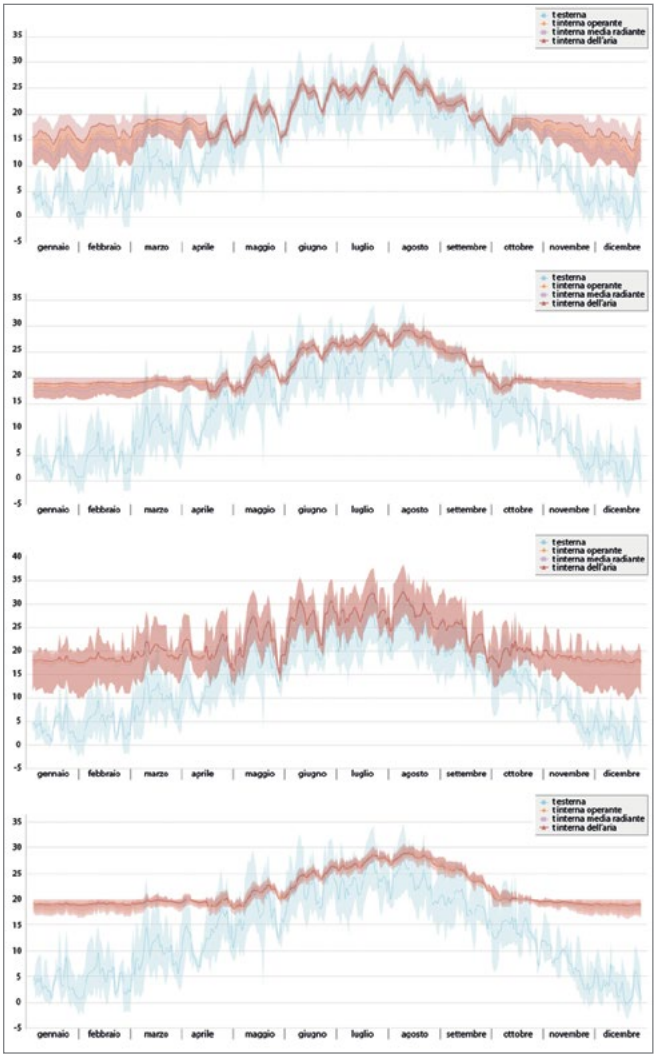


Figura 9. Simulazione del comportamento termico annuo dell'edificio con motore di calcolo dinamico orario, standard ANSI/ ASHRAE 140:2017, scenari 1, 2, 3 e 4 (Termolog).

Conclusioni

Pur escludendo un approccio solo "prestazionale", incompatibile con la natura di edifici di questo tipo, è essenziale che i progetti di recupero tengano in considerazione l'aspetto dei consumi energetici, imprescindibile in un'ottica di sostenibilità. L'ipotesi di progressivo ripopolamento della borgata solleva infatti il problema della sostenibilità del riscaldamento invernale di edifici particolarmente "energivori", se le attese di comfort sono non quelle originarie bensì quelle contemporanee.

Se poi non si fa riferimento astratto all'energia "consumata" ma al combustibile utilizzato, e ci si pone l'obiettivo di escludere combustibili fossili, non si può prescindere dalla ricerca di un equilibrio tra la quantità di biomassa estraibile in modo sostenibile da un certo territorio e la quantità di combustibile necessario a riscaldare gli edifici dello stesso territorio. Gli interventi di *retrofit* energetico dovrebbero porsi l'obiettivo di conseguire, nel rispetto delle caratteristiche storico-architettoniche degli edifici, un valore medio di consumo per riscaldamento che non comporti né l'erosione delle risorse boschive né l'importazione di combustibile[26]. Si è quindi tentato di convertire il fabbisogno di legna in superficie boschiva[27] necessaria al sostentamento termico dell'edificio studiato, ipotizzando una gestione sostenibile del bosco. A seconda dei consumi presi in considerazione nello stato ante intervento (quantitativi stimati dagli occupanti oppure valore ricavato dalla diagnosi energetica dell'edificio) tale superficie varia tra i 2,9 e 6,7 ha. Tali consumi possono apparire sostenibili oggi, quando gli abitanti sono tre e può essere consumata la legna ricavata liberando il villaggio dalla vegetazione che l'aveva letteralmente sepolto, ma non in perpetuità, e men che meno se la borgata dovesse tornare ad essere popolata. Ne consegue la necessità di un intervento per ridurre tali fabbisogni.

In ultimo, le simulazioni con il motore di calcolo dinamico orario hanno evidenziato quanto possano variare le condizioni di comfort in funzione delle scelte progettuali, e quindi l'importanza dell'impiego di questi strumenti per una progettazione consapevole degli interventi di recupero. Un approccio analitico può favorire la valorizzazione del potenziale, anche energetico, degli edifici di valore storico-architettonico.

Note

[1] Altitudine 382 m s.l.m., zona climatica E, 2936 gradi giorno.

[2] Tra le numerose pubblicazioni disponibili sull'argomento, si vedano Luigi Dematteis, *Case contadine nelle Valli dell'Ossola, Cusio e Verbano*, Priuli & Verlucca, Ivrea 1985; Giovanni Simonis, *Costruire sulle Alpi*, Tararà, Verbania 2005; Galeazzo M. Conti, Gilberto Oneto, *Paesaggio di pietra, alberi e colore*, Alberti Libraio Editore, Verbania 2008; Oliviero Tronconi, *L'architettura montana,* Maggioli, Santarcangelo di Romagna 2008; Andrea Bocco, Nadia Battaglio, *Linee guida, indirizzi tecnici e prescrizioni per gli interventi di recupero e di nuova costruzione nel Comune di Premia*, Comune di Premia, Premia 2011; *Manuale per il recupero*

architettonico, GAL Laghi e Monti del Verbano Cusio e Ossola, Domodossola [2013]; Marco Zerbinatti (a cura di), *Manuale per il recupero del patrimonio architettonico di pietra tra Verbano Cusio Ossola e Canton Ticino*, Provincia Verbano Cusio Ossola, Verbania 2014. Senza contare la vasta letteratura dedicata specificamente all'architettura walser.

[3] Andrea Bocco, *Il recupero di un'antica borgata in pietra dell'Ossola: Ghesio, "villaggio laboratorio"*, ANCSA, Gubbio 2015.

[4] Luigi Sertorio, *Storia dell'abbondanza*, Bollati Boringhieri, Torino 2002.

[5] È stata utilizzata la termocamera FLIR E60bx messa a disposizione dal Laboratorio di Analisi e Modellazione dei Sistemi Ambientali (LAMSA) del DAD, Politecnico di Torino.

[6] Rapporto tecnico UNI/TR 11552:2014 - *Abaco delle strutture costituenti l'involucro opaco degli edifici.*

[7] Indagine strumentale condotta ai sensi della norma ISO 9869-1:2014 *Thermal insulation - Building elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance*.

[8] Il termoflussimetro è un sensore a piastra in grado di misurare il flusso termico che lo attraversa; l'utilizzo combinato, come in questo caso, di due sensori garantisce una maggiore attendibilità dei valori misurati. La restante strumentazione ha lo scopo di monitorare le condizioni ambientali interne ed esterne e la temperatura superficiale sui due lati della parete.

[9] Tutti i sensori sono stati fissati a parete con pasta termica e nastro adesivo in alluminio per un ottimale contatto termico con la parete.

[10] La campagna misure è durata 14 giorni ed è stata svolta nel mese di gennaio 2018, consentendo di garantire una differenza di temperatura mai inferiore agli 11°C.

[11] Sia all'interno che all'esterno i dati sono stati raccolti con una frequenza di memorizzazione di 15 minuti previa sincronizzazione dei due apparecchi.

[12] Tale metodo prevede il calcolo, per ciascuna nuova acquisizione, della media aritmetica sulla totalità dei valori precedentemente acquisiti.

[13] Questo procedimento ha permesso di ottenere un valore maggiormente indipendente dall'incidenza dei moti convettivi causati dalla stufa a legna rispetto al risultato ottenibile mediante il calcolo diretto della trasmittanza a partire dai valori registrati.

[14] Tali acquisizioni strumentali risultano sostanzialmente coerenti con il valore di trasmittanza termica fornito dalla UNI/TR 11552:2014 per le murature in pietra, che per spessori di parete di 70 cm riporta un valore di 1,96 W/m^2K.

[15] Il generatore è una stufa in ghisa di marca Jøtul, modello F 602, della potenza nominale di 6 kW.

[16] Si è stimato un mix di combustibile composto al 50% da quercia e al 50% tiglio.

[17] Per la quantificazione del potere calorifico si è fatto riferimento a *L'energia del legno. Nozioni, concetti e numeri di base*, Regione Piemonte, Torino 2004.

[18] I dati climatici sono forniti dalla UNI 10349:2016, e riferiti alla stazione meteo di Pallanza (VB).

[19] Tabella 1, Allegato 1 del DM 26.06.2015 – Requisiti Minimi

[20] È stato utilizzato l'apposito modulo del software Termolog, conforme alla norma UNI EN ISO 52016-1:2018. La simulazione è svolta utilizzando i dati dell'anno tipo climatico CTI relativi alla stazione di Pallanza (VB).

[21] Gli input richiesti dal software vertono sugli aspetti del riscaldamento ed eventuale raffrescamento (temperature di *set-point* dell'impianto), della ventilazione (ricambi/ora), dei carichi interni e dell'umidità dell'ambiente interno. Tutti i parametri sono descritti attraverso 24 valori per ciascun giorno della settimana, differenziando il periodo di riscaldamento da quello di raffrescamento.

[22] Il software permette di eseguire uno zoom del periodo desiderato fino a raggiungere la singola giornata con evidenziati i valori orari.

[23] Ad esempio, la potenziale installazione di pannelli solari termici e/o fotovoltaici, per quanto auspicabile da un punto di vista prettamente energetico, introduce la delicata questione del loro inserimento in un contesto di elevato interesse storico-architettonico come quello in esame. Si tratta sicuramente di un tema interessante ma al tempo stesso articolato, e che potrà essere sviluppato in un'altra occasione. Per indicazioni di approccio, vedi Andrea Bocco e Francesco Stassi, *Linee guida per la riqualificazione energetica degli insediamenti montani*, in Giovanni Paludi, Paolo Zeppetella (a cura di), *Valorizzare le risorse della montagna*, L'Artistica Editrice, Savigliano 2011, pp. 110-126. Per un simile caso studio, vedi Andrea Bocco e Nadia Battaglio, *Il progetto pilota*, in Giovanni Paludi, Paolo Zeppetella (a cura di), *Valorizzare le risorse della valle Ossola*, L'Artistica Editrice, Savigliano 2011, pp. 39-59.

[24] La capacità termica areica interna (K1), espressa in kJ/m^2K, esprime la quantità di calore che deve essere fornita all'unità di superficie interna perché la sua temperatura si alzi di 1°C. Tale parametro, strettamente legato alla densità dei materiali che costituiscono i primi cm di spessore dell'elemento costruttivo, rappresenta la capacità dell'unità di superficie di assorbire calore internamente. Per un'ottimale gestione dei picchi di temperatura estivi è fondamentale che l'ambiente sia lambito da superfici caratterizzate da elevati valori di K1.

[25] I costi parametrici degli interventi sono stati calcolati utilizzando il Prezzario Regionale Piemonte del 2018.

[26] In un precedente studio, abbiamo dimostrato che la gestione attenta del patrimonio boschivo della valle Varaita avrebbe potuto fornire in modo sostenibile il combustibile necessario a riscaldare l'intero patrimonio edilizio locale se questo fosse stato reso più efficiente, passando a un valore medio di consumo energetico per riscaldamento di 58 kWh/m^2a. Vedi Andrea Bocco, Francesco Stassi, *Produzione di energia da fonti rinnovabili*, in Giovanni Paludi, Paolo Zeppetella (a cura di), *Valorizzare le risorse della montagna*, L'Artistica Editrice, Savigliano 2011, pp. 74-90.

[27] Il valore di produttività per la tipologia di bosco in questione è stimato in 0,937 t/ha.

Gli autori ringraziano: il Laboratorio di Analisi e Modellazione dei Sistemi Ambientali (LAMSA) del Dipartimento di Architettura e Design (DAD) del Politecnico di Torino per il supporto metodologico e strumentale; Maurizio Cesprini e Paola Gardin (associazione Canova) per aver messo a disposizione l'edificio per lo studio; Andrea G. Melillo (architetto libero professionista) per il supporto nei rilievi strumentali e fotografici; Valentina Serra (DENERG, Politecnico di Torino) per il supporto nell'impostazione dei rilievi strumentali.

BY-NC-SA