

## ARTICLE INFO

Received	10 September 2024
Revised	14 October 2024
Accepted	16 October 2024
Published	30 December 2024

## RIVITALIZZARE LE COMUNITÀ RURALI

Autosufficienza energetica e valorizzazione delle risorse boschive locali

## REVITALISING RURAL COMMUNITIES

Energy self-sufficiency and valorisation of local forest resources

Giuseppe Losco, Chiara Pasqualini, Mohammadjavad Khodaparast

### ABSTRACT

La ricerca esplora l'individuazione di strategie per la rivitalizzazione dei nuclei storici rurali montani in depauperamento demografico, con focus sugli insediamenti del cratere del sisma che ha coinvolto l'Appennino centrale nel 2016. Con approccio olistico, multidisciplinare e multiscale si indaga sulle interconnessioni tra un rilancio economico basato sulla valorizzazione delle risorse locali e la riqualificazione energetica degli insediamenti per un miglioramento della qualità della vita e il ritorno alla stanzialità. Viene sviluppata una metodologia di valutazione della fattibilità tecnica per il raggiungimento dell'autosufficienza energetica con l'obiettivo di innescare virtuosi sistemi circolari in cui tutela dell'ambiente, ricadute economiche locali e obiettivi globali di neutralità climatica e indipendenza energetica si supportano vicendevolmente a beneficio delle comunità.

This study examines strategies for revitalising historic rural mountain settlements suffering from demographic decline, focusing on those in the earthquake-affected area of the central Apennines hit in 2016. Through a holistic, multidisciplinary, and multi-scalar approach, the paper investigates the interconnections between economic revival – driven by the enhancement of local resources – and the energy upgrading of settlements to improve quality of life and encourage long-term repopulation. A methodology for assessing the technical feasibility of achieving energy self-sufficiency is developed to initiate virtuous circular systems, where environmental protection, local economic benefits, and global goals of climate neutrality and energy independence reinforce each other, ultimately benefiting local communities.

### KEYWORDS

autosufficienza energetica, biomassa legnosa, comunità rurali, filiera corta, energia rinnovabile  
energy self-sufficiency, woody biomass, rural communities, short supply chain, renewable energy

**Giuseppe Losco**, Architect and PhD, is a Full Professor of Industrial Design at the School of Architecture and Design, University of Camerino (Italy). His research is a place for experimental design aimed at new models of sustainable environmental development and new product concepts, addressing questions on the qualitative development of the built environment, regarding the use of eco-sustainable and energy-efficient materials and energy-saving techniques and technologies. Mob. +39 329/26.09.970 | E-mail: giuseppe.losco@unicam.it

**Chiara Pasqualini**, Architect, is a PhD Candidate in Innovation Design at SAAD, University of Camerino (Italy). Her research focuses on building energy efficiency, energy management, circular and renewable energy supply strategies for communities, digitisation of buildings through Building Information Modeling (BIM) and energy analysis / simulation through Building Energy Modeling (BEM). E-mail: chiara.pasqualini@unicam.it

**Mohammadjavad Khodaparast**, Architect, is a PhD Candidate in Architecture, Design and Planning at the University of Camerino (Italy). His research focuses mainly on urban sustainability, materials, urban heat islands, technology and environmental design. His professional architecture and construction background spans over a decade and includes several international projects. Mob. +39 380/90.20.105 | Email: javad.khodaparast@unicam.it



Lo spopolamento delle aree rurali montane è un fenomeno indicativo di una complessità di situazioni di declino che vedono correlati fattori sociali ed economici, la cui difficile gestione provoca nel tempo la loro sedimentazione e acuizione. In caso di eventi naturali catastrofici, inoltre, l'aggravarsi delle criticità endemiche rende ancora più insidiosi i tentativi di recupero, prefigurando scenari di irreversibilità. La prassi della risposta correttiva di contingenza non risolve la debolezza strutturale di questi territori e un rilancio resiliente richiede politiche di sinergia, adattive, preventive e proattive (Gausa, 2019). In questo quadro è fondamentale che la pianificazione delle strategie d'intervento sia capace di mettere a sistema le azioni di risposta a una moltitudine di domande di natura diversa, da implementare in modo contestuale e coordinato e che le metodologie utilizzate riflettano il grado di complessità del problema a cui si rivolgono.

Il patrimonio ambientale delle aree interne rurali offre un grande potenziale per le politiche di trasformazione della società e di transizione energetica ed economica verso modelli circolari a basso impatto, auspicati dalla Comunità Europea attraverso il Green Deal (European Commission, 2019). La nuova prospettiva impone di attenzionare le reciproche relazioni tra il livello fisico-materiale delle risorse, degli insediamenti e degli ecosistemi e quello socio-economico della produzione, del lavoro, del consumo e del benessere (Antonini, 2019): una situazione di crisi può tramutarsi in opportunità.

L'abbandono dei territori rurali montani in Italia si è tradotto nell'incuria del Patrimonio forestale, la cui crescita incontrollata, se venisse destinata ad assestamento sostenibile e gestita attraverso logiche di economia circolare, offrirebbe positive ricadute sociali e ambientali, veicolando il rilancio delle comunità locali. La presente ricerca presuppone, come fattore abilitante del ritorno alla stanzialità, l'interconnessione virtuosa tra l'attivazione di filiere produttive sostenibili del legno, la rigenerazione fisica degli insediamenti e l'approvvigionamento energetico da risorse rinnovabili locali, proponendo una metodologia per la valutazione di fattibilità tecnica del raggiungimento dell'autosufficienza energetica, in coerenza con gli obiettivi europei di neutralità climatica (European Commission, 2019) e indipendenza dalle importazioni esterne (European Commission, 2022).

Il focus si è concentrato sui borghi del cratere del sisma che ha investito l'Appennino Centrale nel 2016, dove il problema dell'abbandono e dell'esodo è stato aggravato dall'evento calamitoso; gli sforzi di ricostruzione e gli investimenti impegnati dovranno essere supportati da scenari di rilancio del territorio che va oltre la sola ricostruzione del Patrimonio edilizio distrutto o danneggiato.

Il presente contributo ha l'ambizione di porsi in modo rilevante per la comunità scientifica perché vuole affrontare con approccio olistico problematiche interconnesse e opera in ambiti scalari e multidisciplinari. Il ripopolamento dei borghi, lo sviluppo di filiere produttive locali, l'utilizzo circolare a cascata delle risorse, l'autosufficienza energetica, l'efficientamento e il miglioramento del comfort abitativo nell'ambito della ristrutturazione e della ricostruzione post-sisma, la sostenibilità degli interventi e la rispondenza alle aspettative delle politiche sono considerati nelle loro interdipendenze e rendono i risultati dello studio d'interesse per una moltitudine di stakeholder che va dagli amministratori locali agli operatori economici fino ai privati cittadini.

Il contributo è strutturato in una prima parte che espone una panoramica sul fenomeno dello spopolamento dei piccoli borghi rurali montani, della crescita non gestita del Patrimonio forestale italiano e sulle potenzialità per il rilancio delle comunità; una seconda analizza lo stato dell'arte sulle esperienze di rivitalizzazione degli insediamenti rurali, a partire dalla valorizzazione delle risorse locali e le aspettative delle policy europee in ambito energetico a supporto di tali strategie; una terza parte presenta la metodologia di valutazione di fattibilità implementata e una quarta ne presenta l'applicazione al caso studio di Terracino, borgo della Città di Accumoli; infine si riportano i risultati ottenuti e le conclusioni, prospettando ulteriori scenari futuri per la ricerca.

### L'andamento demografico delle piccole comunità montane in Italia e l'incuria del Patrimonio forestale

In Europa molte aree rurali si trovano a fronteggiare sfide impegnative legate al fenomeno dello spopolamento, afflitte da problemi di sviluppo economico competitivo, carenze infrastrutturali o assenza di servizi, a cui corrispondono disuguaglianze sociali, bassa natalità, scarsa attrattività per una immigrazione controllata e invecchiamento demografico (Baró Zarzo, Poyatos Sebastián and Martínez Martínez, 2020). Queste condizioni sono considerate un 'circolo vizioso' che prelude al declino delle regioni rurali e interessano maggiormente l'Europa settentrionale e orientale, la Germania, la Spagna e l'Italia. D'altro canto le stesse aree rurali detengono intrinseci potenziali per lo sviluppo di economie strategiche per la transizione ecologica, perché vantano una minore pressione sul loro capitale ambientale naturale (ESPON EGTC, 2020).

In Italia il 52% dei Comuni è situato in aree rurali montane, di cui il 94% è costituito da piccoli borghi con meno di 5.000 abitanti, corrispondente al 71% del totale dei Piccoli Comuni (ISTAT, 2024) dei quali il 73% sta soffrendo un trend demografico di costante decrescita (ANCI, 2019; Figg. 1, 2). L'area che nel 2016 è stata investita dallo sciame sismico sull'Appennino Centrale ospita 140 Comuni (Presidente della Repubblica, 2016) e l'85% di questi sono Piccoli Comuni sotto i 5.000 abitanti, di cui circa la metà non raggiunge i 1.000, mentre l'emorragia demografica interessa il 95% (Fig. 3). Queste aree esprimono una maggiore vulnerabilità poiché necessitano della ricostruzione del tessuto edilizio storico e di una rivitalizzazione di processi di sviluppo socio-economici.

Nel secolo scorso l'esodo della popolazione dai territori rurali verso i grandi agglomerati urbani (ESPON EGTC, 2020) e il correlato abbandono delle attività agrosilvopastorali hanno comportato le inevitabili conseguenze di una crescita indisturbata delle foreste e dei boschi nei terreni lasciati all'incuria (Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, 2012). La stima della copertura boschiva in Italia è pari a circa 11 milioni di ettari, corrispondente a oltre un terzo del territorio nazionale (Gasparini et alii, 2022) con un incremento costante nel tempo che ha raggiunto un complessivo 32% dal 1985. I dati evidenziano inoltre un forte sottodimensionamento della pianificazione e dell'assestamento forestale, che copre solo il 15% circa delle aree (FAO, 2020). Le aree rurali con problemi complessivi di sviluppo si distribuiscono maggiormente sui territori montani (Rete Rurale Nazionale, 2020) e si stima che in Italia gli utilizzi dell'incremento annuo di volume legnoso, disponibile al prelievo sostenibile, sono limi-

tati a un 25% (Gasparini et alii, 2022), a fronte di una media europea del 65% (Eurostat, 2024; Figg. 4, 5).

Tornare a vivere e custodire questi luoghi presuppone di trovarvi condizioni necessarie allo stanziamento, in termini di rilancio di un'economia basata sulla valorizzazione delle risorse del territorio e di rigenerazione qualitativa degli insediamenti (Fig. 6), coinvolgendo le comunità locali nelle politiche di sviluppo per una imprenditorialità diffusa (Dall'Ara and Villani, 2020). Per stimolare l'occupazione e garantire servizi di prevenzione dei rischi idrogeologici e degli incendi la Strategia Nazionale Forestale promuove l'implementazione di una gestione forestale che attivi filiere produttive sostenibili del settore legno (Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, 2022).

Ai fini della sostenibilità ambientale, sociale ed economica l'utilizzo del legno in tali filiere deve seguire il principio 'a cascata', che ottimizza l'efficienza della risorsa minimizzando gli sprechi (Olsson et alii, 2016) e favorisce un'imprenditorialità inclusiva capace di valorizzare lo scarto all'interno di un quadro sistemico di economia circolare basato sulle logiche del Material-driven Design (Santos Malaguti de Sousa et alii, 2023). A valle di un tale sistema si può considerare l'utilizzo del materiale legnoso anche a scopi energetici, poiché si mantiene il bilanciamento tra l'obiettivo di protezione degli ecosistemi forestali e dei serbatoi di carbonio, raccomandato dal LULUCF<sup>1</sup>, e l'utilizzo della biomassa come fonte rinnovabile, sostenuto dalla RED II (Camia et alii, 2021), con l'obiettivo di raggiungimento dei target di neutralità climatica e sicurezza dell'approvvigionamento energetico attesi dal Green Deal europeo.

La sicurezza e l'utilizzo razionale delle fonti energetiche sono fattori abilitanti della rigenerazione degli insediamenti storici rurali in declino; tra gli indicatori che favoriscono il ripopolamento si annoverano gli interventi di riqualificazione energetica degli edifici esistenti, ponendo l'attenzione alla delicata questione di combinare la tutela dei valori storico-culturali del Patrimonio con le tecnologie innovative (Dall'Ara and Villani, 2020). In conclusione l'obiettivo di rivitalizzare i centri rurali necessita l'implementazione di un sistema in cui il rilancio economico e la tutela ambientale si supportino vicendevolmente, costituendo l'uno la condizione necessaria per la realizzazione dell'altra.

### Soluzioni sostenibili per l'autosufficienza energetica dei borghi montani attraverso la biomassa legnosa locale

Negli ultimi anni sono emerse le iniziative degli Smart Villages basate sull'idea di rivitalizzare i piccoli borghi, attraverso il coinvolgimento delle comunità locali in processi bottom-up di valorizzazione dei propri punti di forza e di esplorazione di nuove opportunità, favorendo l'ammmodernamento tecnologico per supportare digitalizzazione e sicurezza energetica (Zavratnik, Kos and Stojmenova Duh, 2018).

Il tema della sicurezza dell'approvvigionamento energetico in Europa è associato alla fornitura da fonti rinnovabili locali, vista la diretta correlazione con gli obiettivi di riduzione delle emissioni climalteranti e di indipendenza dalle importazioni dai Paesi esteri; pertanto sono stati finanziati progetti di 'bioenergy villages', volti a raggiungere l'autosufficienza energetica, l'affrancamento dalle fonti fossili e la valorizzazione delle risorse locali. Diffusi in Germania e Austria, il 55% di questi villaggi ha una popolazione tra i 1.000 e i 5.000 abitanti, e il 35% ne ha meno di 500.

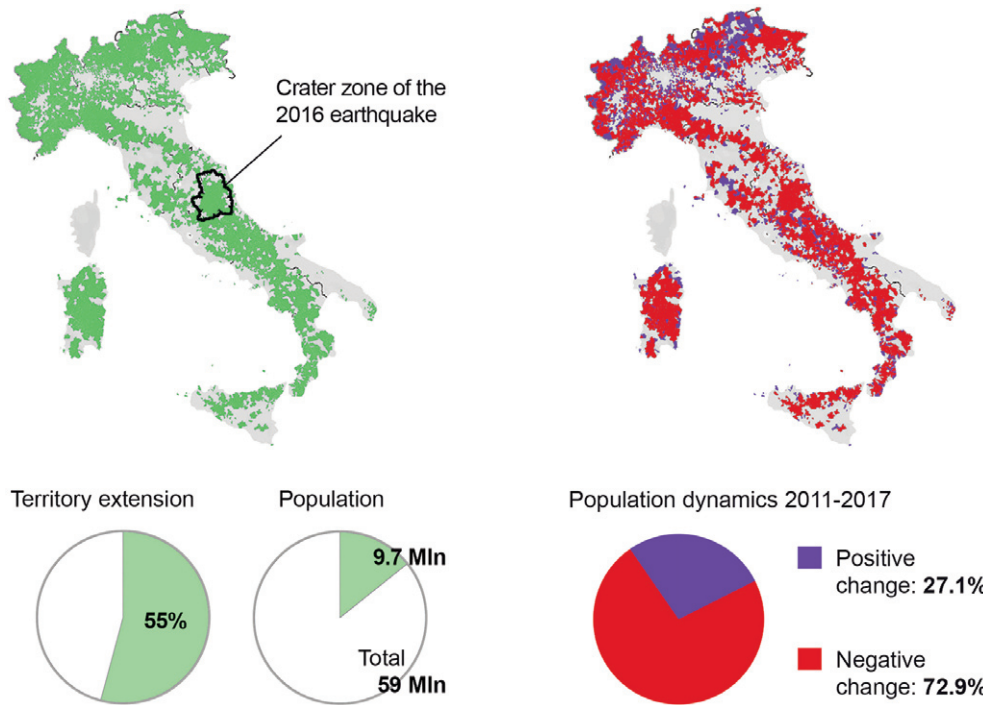


Fig. 1 | Geographical distribution, territorial extension and total population of small Municipalities under 5,000 inhabitants in Italy (credit: the Research Group).

Fig. 2 | Geographical distribution of demographic trends in small Municipalities in Italy (credit: the Research Group).

Attraverso un modello di business partecipato dalle comunità, sono stati realizzati mix tecnologici che includono la cogenerazione a biomassa legnosa e le reti di teleriscaldamento: la metà di questi villaggi produce un'eccedenza di elettricità e la condivide attraverso la rete (Ugalde et alii, 2016).

La recente Direttiva 2023/2413/EU (European Parliament and the Council of the European Union, 2023) fissa l'obiettivo comunitario di copertura del 49% del consumo di energia finale con fonti rinnovabili per il settore degli edifici e promuove le forme aggregate di autoconsumo già definite dalla precedente Direttiva 2018/2001/EU (European Parliament and the Council of the European Union, 2018) con il nome di Comunità di Energia Rinnovabile, in cui gruppi di cittadini si uniscono per condividere l'energia autoprodotta utilizzando risorse locali, con l'obiettivo di ottenerne benefici ambientali, economici e sociali. Le stesse Direttive incoraggiano configurazioni servite da teleriscaldamento e l'uso della biomassa legnosa: in linea con esse, il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2024) promuove in Italia lo sviluppo di filiere circolari per la raccolta, recupero e trasformazione in prodotti aventi valore di mercato dei materiali di provenienza forestale, includendo tra le destinazioni i combustibili per il teleriscaldamento.

L'obiettivo dell'autosufficienza energetica può essere un traguardo per i piccoli borghi montani che spesso sono carenti, nel loro isolamento, di infrastrutture di allaccio alla rete nazionale e può contribuire al miglioramento della qualità della vita negli insediamenti poiché si integra con gli interventi di efficientamento energetico degli edifici, necessari a ridurre i fabbisogni e aumentare il comfort abitativo.

La Direttiva 2024/1275/EU (European Parliament and the Council of the European Union, 2024) stabilisce una tabella di marcia per efficientare il Patrimonio edilizio esistente e raggiungere la neutra-

lità climatica dell'intero parco immobiliare al 2050, richiedendo un aggiornamento dei requisiti minimi di prestazione energetica da rispettare nelle ristrutturazioni. Inoltre introduce la necessità in futuro di calcolare il Global Warming Potential dell'intero ciclo di vita dell'edificio, includendo anche le emissioni incorporate nei materiali e attenendone la conformità ai principi dell'economia circolare. È stato infatti dimostrato che la semplice ricerca della prestazione energetica non garantisce la riduzione delle emissioni climalteranti se i materiali utilizzati nella ristrutturazione non derivano da processi attenti alla sostenibilità ambientale (Del Curto et alii, 2024).

La sicurezza dell'approvvigionamento, l'efficientamento degli edifici, l'utilizzo di materiali legnosi provenienti da forniture sostenibili, a basse emissioni climalteranti e che favoriscono le filiere locali per un rilancio economico del territorio, sono i fattori tenuti a sistema nella ricerca.

### Proposta metodologica e fasi per la valutazione di fattibilità

Il presente lavoro ha definito una metodologia replicabile per la valutazione di fattibilità tecnica dell'autosufficienza energetica di un borgo montano attraverso l'utilizzo sostenibile della biomassa legnosa locale. Gli obiettivi perseguiti sono stati individuare le fasi del processo di valutazione, fornire gli strumenti operativi, legislativi e documentali di supporto e restituire risultati numerici confrontabili ricavati dall'applicazione della metodologia a un caso studio. Le fasi che strutturano il processo includono analisi ed elaborazioni a scale differenti e gli strumenti sono di varia natura vista la multidisciplinarietà degli ambiti coinvolti e la settorializzazione delle fonti.

Il lavoro si è confrontato con virtuosi casi studio quali il progetto europeo BioVill (Bozhikalieva et alii, 2019) e il progetto Factor20 promosso dalla Regione Lombardia (Provincia di Bergamo, 2013), che

incoraggiano l'uso di biomassa locale per la generazione di energia nei villaggi montani e lo sviluppo di reti di teleriscaldamento. In tali progetti vengono approfondite la valutazione di fattibilità economica e l'impatto sociale e ambientale della realizzazione di tali sistemi e vengono forniti suggerimenti alle Amministrazioni pubbliche per l'effettiva implementazione.

Il presente contributo si concentra sulla ricognizione degli strumenti per la valutazione della fattibilità tecnica e aggiunge alla metodologia l'importante aspetto di considerare le azioni di efficientamento energetico degli edifici nelle strategie per l'autosufficienza, al fine di rendere più efficace il sistema e ridurre la richiesta di risorse, ottimizzandone il livello di circolarità. Inoltre è posta l'attenzione sulla necessità di selezionare gli interventi non solo in chiave prestazionale, ma anche in ottica di tutela dei valori culturali e architettonici dei centri storici.

Nelle conclusioni viene presentata una proposta progettuale di installazione di un impianto per la raccolta, lo stoccaggio, la cippatura e la lavorazione della biomassa legnosa per la produzione di energia quale soluzione di conversione funzionale delle aree che, nei territori colpiti dagli eventi tellurici catastrofici, sono state forzatamente urbanizzate per far fronte alla richiesta abitativa in fase di emergenza e sono oggetto di dibattito rispetto alla loro destinazione d'uso successiva alla fase di ricostruzione. Si descrive di seguito la metodologia con la definizione delle fasi e associando gli strumenti di riferimento.

Fase 1 – Stato dell'arte ed analisi del contesto ambientale e climatico degli insediamenti: in questa fase sono stati individuati la zona climatica del luogo e i gradi giorno mensili di riscaldamento, quantificabili attraverso database climatici e software di analisi e si sono valutate le condizioni termoclimatiche stagionali per indirizzare le successive strategie progettuali di efficientamento dell'edificato e di miglioramento del comfort indoor e outdoor.

Fase 2 – Analisi della disponibilità delle risorse rinnovabili locali utilizzabili e quantificazione della disponibilità della risorsa boschiva all'interno di un raggio massimo di km 70 (Provincia di Bergamo, 2013) prelevabile in modo sostenibile, ovvero compatibilmente con la ripresa legnosa annua, utile all'avvio di filiere locali di prodotti del legno, a valle delle quali recuperare scarti di materiale per scopi energetici. Tale ricognizione è stata effettuata attraverso l'utilizzo di software GIS e l'integrazione tra Carte Forestali, che individuano le estensioni delle aree boschive divise per tipologia vegetazionale, Piani di Gestione e Assestamento Forestale, con cui i Comuni stimano l'incremento legnoso annuo e pianificano i tagli sostenibili, e Carte delle Acclività che individuano le pendenze geomorfologiche, con l'esclusione delle zone di difficile accesso.

Fase 3 – Qualificazione della consistenza del Patrimonio edilizio esistente: in questa fase si sono quantificate le superfici abitabili, attraverso l'analisi dei database catastali e si sono classificate per tipologie di edifici e anno di costruzione, deducibili attraverso un'analisi documentale e visiva.

Fase 4 – Stima del complessivo fabbisogno netto di energia dell'insediamento allo stato di fatto: in questa fase è stata attribuita una stima delle prestazioni energetiche e dei fabbisogni termici ed elettrici alle varie superfici abitabili precedentemente classificate, affidandosi alla comparazione con modelli disponibili in letteratura.



Fase 5 – Selezione delle strategie di riqualificazione energetica per efficientare il parco immobiliare esistente o da ricostruire e aumentare il comfort abitativo: in questa fase si sono delineate le scelte progettuali di intervento, privilegiando soluzioni compatibili con i valori culturali e architettonici dell'edilizia storica e materiali e tecnologie derivanti da processi produttivi rispettosi dell'ambiente. Si sono consultate apposite Linee Guida redatte da Enti istituzionali per una scelta più consapevole degli interventi possibili; successivamente è stato verificato anche il rispetto dei requisiti minimi di legge delle prestazioni raggiungibili, attraverso appositi software di calcolo energetico.

Fase 6 – Stima dei complessivi fabbisogni netti elettrici e termici dell'insediamento in relazione al progetto di riqualificazione e ricostruzione: come per lo stato di fatto, in questa fase sono stati utilizzati modelli di riferimento forniti dalla letteratura scientifica.

Fase 7 – Progettazione e dimensionamento della tecnologia impiantistica per l'autoproduzione di energia: in questa fase sono state individuate le curve di carico della richiesta termica ed elettrica dell'intero insediamento riqualificato, sulla base delle quali è stata scelta la soluzione impiantistica e dimensionata la potenza. Anche in questo passaggio sono stati utili dati e modelli disponibili in letteratura; è stata preferita una soluzione di tipo cogenerativo poiché permette di ottimizzare l'utilizzo del combustibile, attraverso una configurazione centralizzata che distribuisce il calore prodotto con una rete di teleriscaldamento e che immette elettricità in una rete di distribuzione elettrica.

Fase 8 – Verifica della disponibilità di biomassa legnosa considerata destinabile agli scopi energetici: in questa fase è stata verificata la fattibilità dell'autosufficienza energetica. Conoscendo la potenza dell'impianto scelto, i regimi di funzionamento e l'efficienza, è stata stimata la quantità di biomassa legnosa necessaria ad alimentare il sistema come energia primaria, attraverso il supporto di manuali specifici che contengono fattori di conversio-

ne energetica della biomassa legnosa in funzione della tipologia. Tale dato è stato confrontato con la quantità di biomassa prelevabile individuata nelle prime fasi della metodologia ed è stato verificato che non eccedesse il 20%, percentuale di scarto nei tagli di legname e pertanto destinabile a scopi energetici (Provincia di Bergamo, 2013).

**Il caso studio di Terracino (frazione di Accumoli)**

La metodologia è stata sperimentata sul caso studio di Terracino, un piccolo borgo montano nell'area del cratere sismico del 2016. Si tratta della frazione con la maggiore quota altimetrica di Accumoli (m 1.165 s.l.m.), Comune che soffre di un trend demografico negativo già prima dell'evento calamitoso e che ha registrato una diminuzione della popolazione del 25% in vent'anni; il borgo è costituito da 60 edifici, di cui 40 residenziali, e si trova in zona climatica E (Figg. 7-9).

La ricognizione della quantità di biomassa legnosa prelevabile in modo sostenibile è stata effettuata stringendo l'area d'indagine all'interno dei confini comunali. Data la limitatezza dell'assestamento forestale comunale rispetto all'intero Patrimonio locale individuato dalle carte regionali, si è accettato di considerare un sottodimensionamento della stima della risorsa, pari a circa 8.620 mc/anno, relativo alla sola specie vegetazionale del faggio, l'unica di cui la pianificazione aveva calcolato l'incremento annuo (Fig. 10). L'individuazione della consistenza edilizia è stata incentrata sul settore residenziale, redigendo una schedatura di ogni edificio della categoria catastale A, comprensiva di documentazione fotografica (Tab. 1).

Le stime dei fabbisogni termici allo stato di fatto (circa 2.350 MWh/anno) e di progetto (circa 632 MWh/anno) sono state ricavate attraverso il confronto della consistenza edilizia locale con le matrici prodotte dal Politecnico di Torino nel progetto europeo TABULA, che assegnano valori di consumo termico specifico annuo a modelli di edifici rappresentativi delle tipologie residenziali ed epoca di

costruzione in zona climatica E, sia relativamente al parco immobiliare esistente sia in caso di riqualificazione standard (Corrado et alii, 2014). I fabbisogni elettrici invece sono stati ricavati attraverso il confronto con i risultati del progetto MICENE del Politecnico di Milano, che ha catalogato i consumi in funzione dell'estensione delle superfici abitative, e sono risultati pari a circa 204 MWh/anno (Di Andrea and Danese, 2004).

Le strategie per l'efficientamento energetico del comparto edilizio storico, richiedendo una certa cautela progettuale per evitare lo snaturamento dell'insediamento e mantenere l'integrità identitaria, si sono riferite alle Linee Guida redatte dal Ministero della Cultura (Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per l'area Metropolitana di Venezia e le Province di Belluno, Padova e Treviso, 2015). Le soluzioni per aumentare i livelli di coibentazione hanno privilegiato tecnologie a base di fibra legnosa, adatte alle caratteristiche di traspirazione dei materiali dei sistemi costruttivi tradizionali e considerate reperibili all'interno della filiera locale del legno, in ottica circolare (Fig. 11; Tabb. 2, 3). Tutti gli interventi sono stati schedati e analizzati con appositi software di calcolo energetico per verificare la conformità ai requisiti prestazionali minimi di legge.

La scelta della tecnologia di autoproduzione energetica per coprire l'intero fabbisogno del borgo allo stato riqualificato è stata indirizzata verso un impianto cogenerativo di piccola taglia di tipo 'Externally Fired Micro Gas Turbine', con potenza termica di 300 kW e potenza elettrica netta di 75 kW, dotato di turbina e di una camera di combustione esterna che utilizza come comburente l'aria atmosferica e come combustibile il cippato di legno (Comodi et alii, 2010; Fig. 12): tra le tecnologie di cogenerazione di piccola taglia per la combustione di biomasse solide, è quella con più alto rendimento (Kautz and Hansen, 2007) e se ne trovano esempi nel Progetto BioPower in Tuscany a Livorno, con Enel capofila (Galletti et alii, 2016). Il dimensionamento è avvenuto a partire dal confronto con le cur-

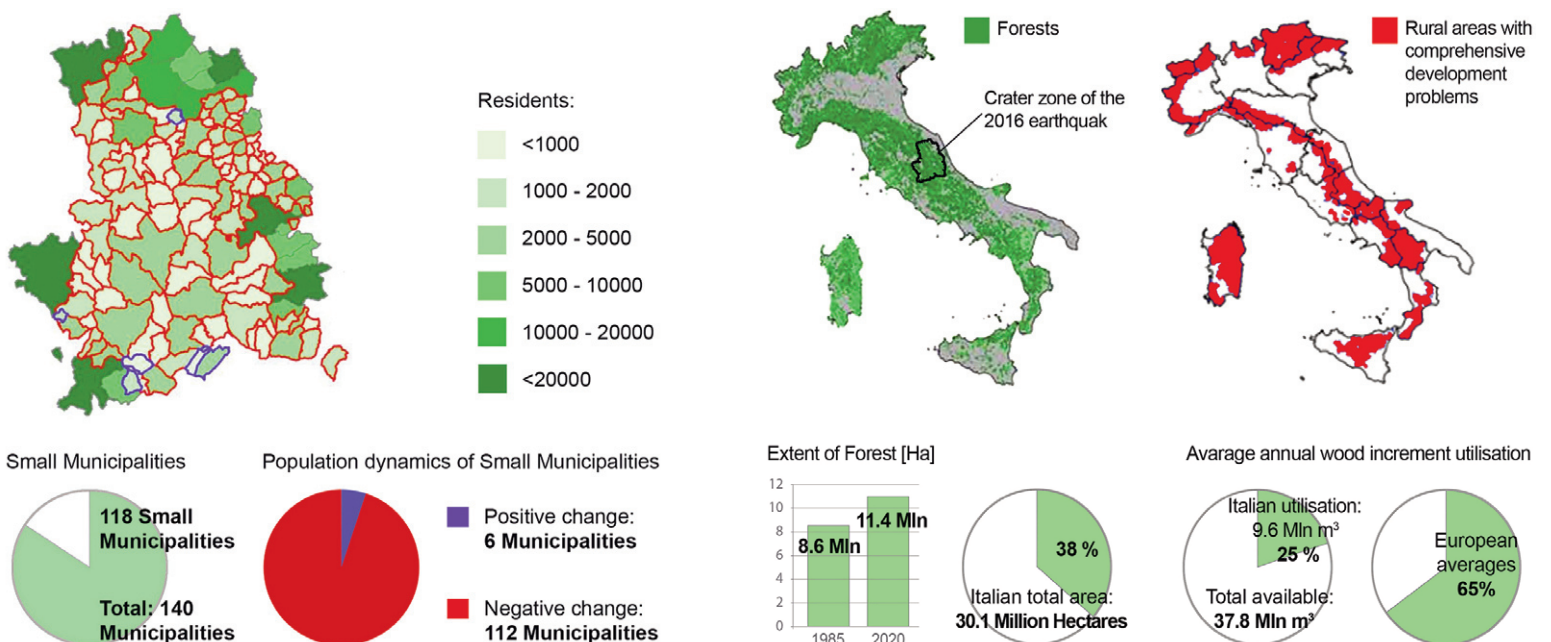


Fig. 3 | Population and demographic trends of Municipalities in the 2016 earthquake crater area (credit: the Research Group).

Fig. 4 | Comparison of forest and rural areas distribution with overall development problems (credit: the Research Group).

Fig. 5 | Data on the extent of Italy's forests in 2020 and comparison of the use of the annual wood increase in Italy with the European average in 2021 (credit: the Research Group)

ve di carico di richiesta termica giornaliera, diversificate in funzione dei gradi giorno mensili, verificando il soddisfacimento contestuale dei carichi elettrici giornalieri. È stato inoltre avanzato il design e il dimensionamento di una rete di teleriscaldamento con cui distribuire il calore prodotto dall'impianto, considerando anche le perdite di calore lungo le tubazioni e la potenza di pompaggio, che include le cadute di pressione (Fig. 13). La produzione elettrica è stata invece considerata scambiata con la rete esistente.

È stata infine quantificata la biomassa necessaria ad alimentare l'impianto di cogenerazione, 1000 mc circa, e confrontata con la quantità calcolata inizialmente, verificando l'effettiva possibilità tecnica di copertura delle richieste del caso studio attraverso l'utilizzo della sola porzione di materiale destinabile alla produzione di cippato.

**Conclusioni** | I risultati dell'applicazione della metodologia hanno dimostrato per il caso studio l'effettiva possibilità tecnica di raggiungimento dell'autosufficienza energetica attraverso l'utilizzo dell'11,6% del volume di incremento legnoso annuo dei soli boschi di faggio all'interno dei confini comunali. Questi dati stimolano la percezione del beneficio socio-economico e ambientale che si otterrebbe se l'intero Patrimonio forestale venisse gestito e pianificato, potenziando la filiera produttiva locale a tutto vantaggio della rivalizzazione e del ripopolamento del territorio.

Lo studio si confronta con i limiti della pianificazione forestale e le barriere alla sua diffusione sono dovute alle difficoltà effettive di implementazione delle filiere locali del legno legate soprattutto a problemi di governance del sistema di stakeholders quali imprese, proprietà, addetti alla gestione e utenze. Le proprietà forestali sono molto frammentate, la piccola dimensione delle aziende ne penalizza la competitività e la capacità di investire in innovazione, le

iniziative sono scoraggiate dalla carenza di formazione tecnica e gestionale, dalla mancanza di forme contrattuali che assicurino e tutelino la stabilità e la continuità dei rapporti commerciali di fornitura e utilizzo e da un imperfetto coordinamento tra diversi strumenti di programmazione (Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, 2012). Inoltre l'installazione di impianti di produzione e distribuzione energetica locali necessita di appropriate politiche di sostegno finanziario visto che l'ingente investimento iniziale è difficilmente solvibile da parte delle Amministrazioni locali e la bassa remuneratività del progetto non sempre può attrarre investimenti privati (Provincia di Bergamo, 2013).

Alla base della riuscita del progetto si segnala imprescindibile un'adesione convinta e una volontà di collaborazione tra cittadini, imprese ed Enti pubblici per garantire il funzionamento e il mantenimento del sistema. Pertanto il fine del presente studio è quello di fornire supporto scientifico alle Amministrazioni pubbliche e alle aziende legate al settore del legno e di sensibilizzare i privati cittadini, con riferimento tanto all'attuale popolazione delle piccole comunità nei territori rurali montani quanto ai potenziali nuovi abitanti, i quali contribuirebbero ad aumentare la massa critica degli stakeholder coinvolti e a rendere interessanti le iniziative. Questo tipo di interventi, oltre ad offrire nuove possibilità occupazionali, prospettano i vantaggi dell'autosufficienza energetica da risorse locali, immune dalle fluttuazioni dei prezzi della fornitura centralizzata e rispettosa dell'ambiente, e il comfort di uno scenario abitativo riqualificato in luoghi di elevato pregio paesaggistico, riducendo l'attuale percezione di località carenti di infrastrutture e di servizi essenziali.

La ricerca pone l'attenzione sulla necessità di combinare interventi di approvigionamento da fonti rinnovabili con quelli di efficientamento energetico degli edifici per massimizzare l'utilizzo della risorsa

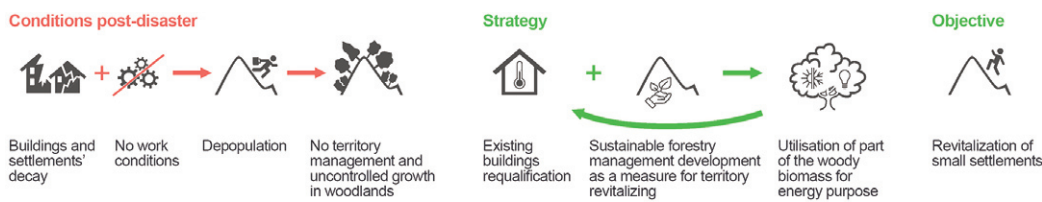
energetica e la circolarità del sistema. Si suggerisce che la realizzazione di un Centro per la raccolta, la cippatura e lo stoccaggio e l'installazione dell'impianto di produzione energetica possono essere una soluzione per la conversione funzionale delle aree urbanizzate, nelle prossimità degli originari nuclei storici, per ospitare le Soluzioni Abitative in Emergenza all'indomani dell'evento sismico, con l'importante significato simbolico di una nuova destinazione d'uso di supporto al ritorno a vivere i luoghi della tradizione con una rinnovata qualità dell'abitare (Figg. 14, 15).

La disponibilità di tali aree e la loro localizzazione sono condizioni peculiari degli insediamenti del cratere, che potrebbero farsi capofila per l'implementazione di progetti pilota, rafforzando la scommessa del ripopolamento a cui mirano gli sforzi pubblici per la ricostruzione: la possibilità di riuso degli spazi esistenti consentirebbe la sistemazione degli impianti senza aumentare il consumo di suolo, con evidenti benefici sugli impatti ambientali nelle operazioni di costruzione.

Il sistema di autosufficienza energetica studiato può essere considerato un esempio di Comunità di Energia Rinnovabile conforme al Decreto Legislativo 199/2021 (Presidente della Repubblica, 2021), sottesa alla stessa cabina primaria per l'allaccio elettrico e servita da una rete di teleriscaldamento per la distribuzione del calore; inoltre i regimi di funzionamento dell'impianto di cogenerazione hanno mostrato un'eccedenza di produzione giornaliera rispetto alla richiesta dell'insediamento, allineando il sistema alle logiche dei Distretti a Energia Positiva (Ferrante, Romagnoli and Villani, 2023) nelle aree rurali e proiettando l'idea di una possibile rete di piccoli borghi che scambiano vicendevolmente l'energia.

Sarebbe pertanto interessante se ulteriori sviluppi della ricerca potessero scalare la metodologia presentata al fine di verificare il potenziale che le aree rurali montane potrebbero offrire nel caso dell'attivazione di una seria pianificazione di assestamento dell'intero Patrimonio forestale italiano integrata a un Programma di Riqualificazione Energetica dei Borghi da inserire nel Piano di ristrutturazione dell'edilizia esistente richiesta dalla Direttiva europea 2024/1275/EU entro il 2025 (European Parliament and the Council of the European Union, 2024).

In conclusione, integrando la riqualificazione dell'ambiente costruito e il rilancio della filiera del legno con le politiche di sostegno allo sviluppo rurale rivolte alle reti digitali e a servizi da calibrare sulle specificità locali, i territori montani potrebbero acquisire una rinnovata attrattività per lo stanziamento e divenire promotori di stili di vita più vicini alla natura e meno impattanti sull'ambiente, strategici per decongestionare gli agglomerati urbani, efficienti e autonomi da un punto di vista energetico e climaticamente neutri. Come negli Smart Villages, la riattivazione dei settori più tradizionali come quelli le-



- Existing condition Legend:
- Buildings to be requalified
  - Buildings to be totally demolished
  - ▨ Buildings to be partially demolished
  - ▤ Area with the emergency temporary structures
  - Temporary prefabricated structures for public uses
  - S.A.E. - prefabricated emergency housing units



**Fig. 6** | Graphic concept of the revitalisation strategy for rural mountain settlements in the 2016 earthquake crater area (credit: the Research Group).

**Fig. 7** | Overview of the Terracino (IT) case study: Hamlet's building fabric plan in its post-seismic state (credit: the Research Group).

Next page

**Fig. 8** | Terracino: Existing historical buildings, prefabricated and installed Housing Solutions in Emergency following the 2016 earthquake, and settlement integration into the landscape context (credit: the Research Group).



gati alla gestione forestale potrebbe affiancarsi allo sviluppo di altri modelli occupazionali contemporanei che traggono la scala locale, favoriti dalla nuova frontiera del telelavoro, abilitando lo scenario di ripopolamento e rivitalizzazione del territorio.

The depopulation of rural mountainous areas is a phenomenon indicative of a complex set of declining situations where social and economic factors are interconnected. The challenging management of these factors leads to their accumulation and worsening over time. Moreover, in the case of catastrophic natural events, the aggravation of endemic criticalities makes recovery attempts even more insidious, foreshadowing scenarios of irreversibility. The practice of corrective contingency response does not solve the structural weakness of these territories, and a resilient revival requires synergetic, adaptive, preventive and proactive policies (Gausa, 2019). Within this framework, it is fundamental that the planning of intervention strategies systematises actions to respond to a multitude of demands. These actions should be implemented in a contextual and coordinated manner, and the methodologies used must reflect the complexity of the problem they address.

The environmental heritage of inland rural areas offers great potential for the policies of societal transformation and energy and economic transition towards low-impact circular models, as advocated by the European Community through the Green Deal (European Commission, 2019). This new perspective demands careful attention to the interconnected relationships between the physical-material aspects of resources, settlements, and ecosystems, and the socio-economic dimensions of production, labour, consumption, and welfare (Antonini, 2019). A crisis can, therefore, transform into an opportunity. The abandon-

ment of mountainous rural areas in Italy has led to the neglect of forest heritage, enabling uncontrolled growth. If this growth were sustainably managed and integrated with circular economy principles, it could generate positive social and environmental benefits, fostering the revitalisation of local communities. This research considers the virtuous interconnection between sustainable wood production chains, the physical regeneration of settlements, and energy supply from local renewable resources as a key enabler for encouraging permanent resettlement. It proposes a methodology to assess the technical feasibility of achieving energy self-sufficiency, aligning with European goals for climate neutrality (European Commission, 2019) and independence from external imports (European Commission, 2022).

The study focused on the villages within the 2016 earthquake zone of the Central Apennines. The catastrophic event aggravated the issues of abandonment and depopulation in these areas. Reconstruction efforts and investments will have to be supported by scenarios for revitalising the territory beyond the mere reconstruction of the destroyed or damaged building stock.

This paper aims to be significant to the scientific community by addressing interconnected challenges through a holistic approach, working across multiple scales and multidisciplinary fields. The repopulation of villages, development of local production chains, circular use of resources, energy self-sufficiency, and the improvement of living conditions in post-earthquake reconstruction are all considered in their interdependencies. These factors, along with the sustainability of interventions and alignment with policy expectations, make the study's results relevant to a wide range of stakeholders, including local administrators, economic operators, and private citizens.

The contribution is organised into several parts: the first offers an overview of the depopulation of small

rural mountain villages, the unmanaged growth of Italy's forest heritage, and the potential for community revitalisation; the second analyses current revitalisation experiences of rural settlements, emphasising the valorisation of local resources and the expectations of European energy policies to support these strategies; the third outlines the implemented feasibility assessment methodology; the fourth applies this methodology to the case study of Terracino, a village in Accumoli (IT); and finally, the last part presents the results and conclusions while envisioning future research scenarios.

**The demographic trends of small mountain communities in Italy and the neglect of the forest heritage**

In Europe, many rural areas are facing serious challenges related to the phenomenon of depopulation, plagued by problems of competitive economic development, lack of infrastructure or absence of services, in parallel with social inequalities, low birth rate, low attractiveness for controlled immigration and demographic ageing (Baró Zarzo, Poyatos Sebastián and Martínez Martínez, 2020). These conditions are seen as a 'vicious circle', a prelude to the decline of rural regions, and affect northern and eastern Europe, Germany, Spain and Italy the most. On the other hand, rural areas hold intrinsic potential for developing strategic economies for the ecological transition because they have less pressure on their natural environmental capital (ESPON EGTC, 2020).

In Italy, 52% of Municipalities are located in rural mountainous areas, of which 94% are small villages with less than 5,000 inhabitants, corresponding to 71% of the total number of Small Municipalities (ISTAT, 2024). Nearly 73% of Small Municipalities are suffering a demographic trend of constant decrease (ANCI, 2019; Figg. 1, 2). The crater area of the earthquake swarm in the Central Apennines in 2016 comprises 140 Municipalities (Presidente della Repubblica





ca Italiana, 2016), with 85% classified as Small Municipalities having fewer than 5,000 inhabitants. Approximately half of these Municipalities have populations below 1,000, and demographic decline impacts 95% of them (Fig. 3). These areas express greater vulnerability, as they require reconstruction of the historical building fabric and revitalisation of socio-economic development processes.

In the last century, the exodus of the population from rural territories to large urban agglomerations (ESPOG EGTC, 2020) and the correlated abandonment of agroforestry activities has led to the inevitable consequences of the undisturbed growth of forests and woodlands on neglected land (Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, 2012). The estimated forest area in Italy is about 11 million hectares, corresponding to more than one-third of the national territory (Gasparini et alii, 2022), with a steady increase over time, reaching a total of 32% since 1985. The data shows that forest planning and management are severely underdeveloped, covering only about 15% of the areas (FAO, 2020). Rural areas with development issues are distributed more on mountainous territories (Rete Rurale Nazionale, 2020). It is estimated that, in Italy, the utilisation of the annual increase in wood volume available for sustainable harvesting is limited to 25% (Gasparini et alii, 2022), compared

to a European average of 65% (Eurostat, 2024; Figg. 4, 5).

Returning to live in and care for these places implies identifying the necessary conditions for their appropriation, in terms of relaunching an economy based on the enhancement of the territory's resources and the qualitative regeneration of settlements (Fig. 6), involving local communities in development policies and for widespread entrepreneurship (Dall'Ara and Villani, 2020). To stimulate employment and ensure hydrogeological risk and fire prevention services, the National Forestry Strategy promotes the implementation of a forest management strategy that activates sustainable production chains in the wood sector (Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, 2022).

For environmental, social and economic sustainability, the use of wood in such supply chains must follow the 'cascade' principle, which optimises resource efficiency by minimising waste (Olsson et alii, 2016) and fosters an inclusive entrepreneurship capable of valuing waste within a systemic framework of circular economy based on Material-driven Design logic (Santos Malaguti de Sousa et alii, 2023). Downstream of such a system, the use of woody material for energy purposes can also be considered, as it maintains a balance between the objective of protecting forest ecosystems and carbon sinks, as

recommended by LULUCF<sup>1</sup>, and the use of biomass as a renewable resource, advocated by RED II (Camia et alii, 2021). This approach aims to achieve the climate neutrality and energy security targets set by the European Green Deal.

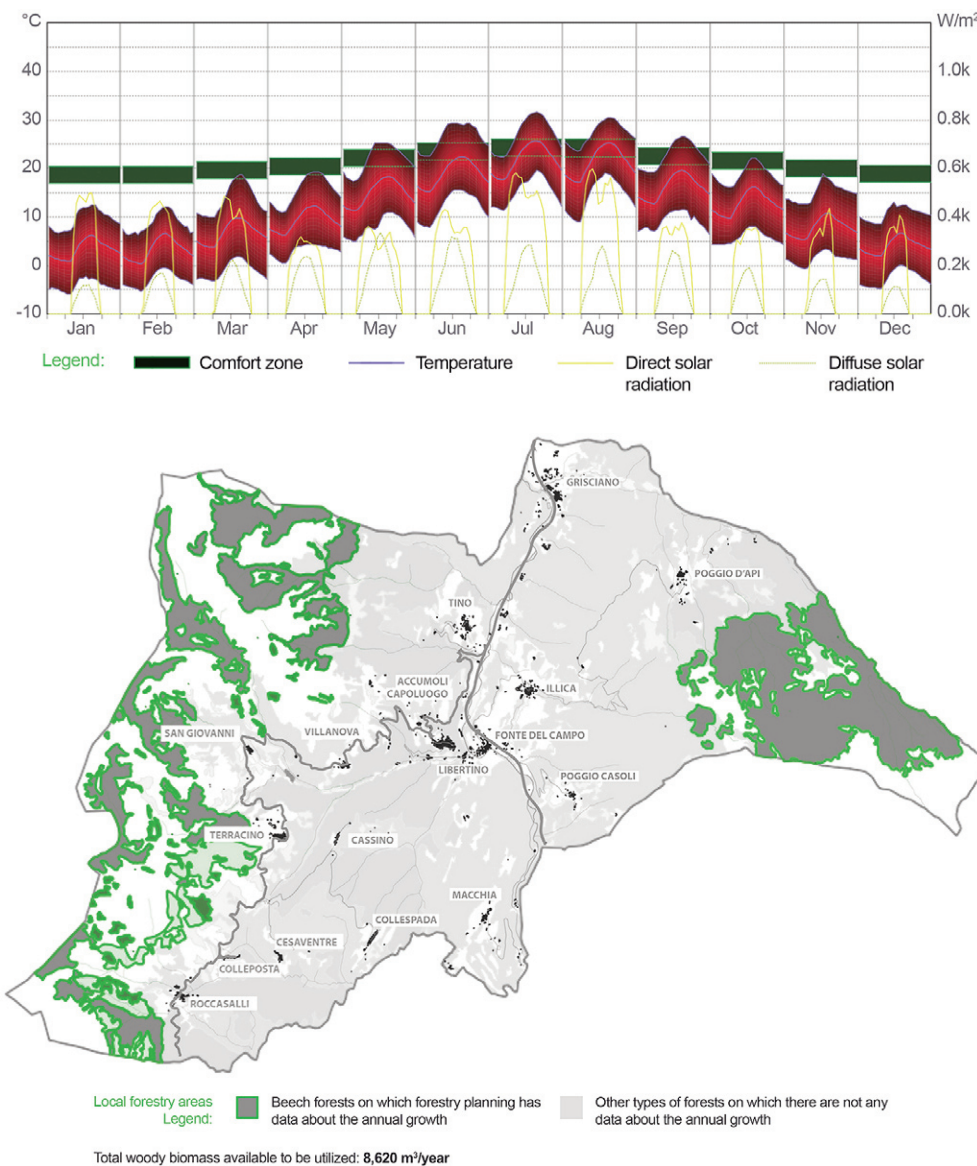
Safety and rational use of energy sources are enabling factors in the regeneration of declining historical rural settlements; among the indicators that promote repopulation are energy efficiency interventions in existing buildings, with careful attention to the delicate issue of combining the preservation of the historical and cultural values of the heritage with innovative technologies (Dall'Ara and Villani, 2020). In conclusion, the objective of revitalising rural centres requires the implementation of a system in which economic revitalisation and environmental protection are mutually supportive, one being the necessary condition for the other's realisation.

**Sustainable solutions for the energy self-sufficiency of mountain hamlets through local woody biomass**

**| In recent years, Smart Villages initiatives have emerged, centred on revitalising small hamlets by involving local communities in bottom-up processes that enhance their strengths and explore new opportunities. These initiatives encourage technological modernisation to support digitisation and energy security (Zavratnik, Kos and Stojmenova Duh, 2018).**

The issue of energy supply security in Europe is linked to local renewable sources, given the direct correlation with the objectives of reducing climate-altering emissions and achieving independence from imports from foreign countries. Therefore, 'bioenergy villages' projects have been financed, aiming to achieve energy self-sufficiency, freedom from fossil fuels and valorisation of local resources. Spread across Germany and Austria, 55% of these villages have a population of between 1,000 and 5,000, and 35% have less than 500. Through a community-participated business model, local communities implemented technology mixes that include woody biomass cogeneration and district heating networks. Half of these villages produce a surplus of electricity and share it through the grid (Ugalde et alii, 2016).

The recent Directive 2023/2413/EU (European Parliament and the Council of the European Union, 2023) sets the EU target of 49% of final energy consumption from renewable sources for the buildings sector and promotes aggregate forms of self-consumption already defined by the previous Directive 2018/2001/EU (European Parliament and the Council of the European Union, 2023) as Renewable Energy Communities, where groups of citizens join together to share self-produced energy using renewable energy resources. The same Directives encourage



**Fig. 9** | Some climate data on daily averages for all months of the year in Terracino and comparison with comfort conditions (credit: the Research Group).

**Fig. 10** | GIS analysis comparing the forest areas considered available for the sustainable harvesting of woody biomass with the total local forest area within the municipal boundaries (credit: the Research Group).

district heating configurations and the use of woody biomass. In line with this, the Italian Integrated National Energy and Climate Plan (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2024) promotes the development in Italy of circular supply chains for the collection, recovery and transformation into products with market value of forestry materials, including district heating fuels among the destinations.

The goal of energy self-sufficiency can be a goal for small mountain villages that often lack, in their isolation, infrastructures to connect to the national grid, and can contribute to improving the quality of life in settlements as it complements energy efficiency measures in buildings, necessary to reduce needs and increase living comfort.

Directive 2024/1275/EU (European Parliament and the Council of the European Union, 2024) establishes a roadmap for making the existing built heritage efficient and achieving climate neutrality of the entire building stock by 2050, requiring an update of the minimum energy performance standards to be met in renovations. It also introduces the future need to calculate the Global Warming Potential of the entire life cycle of the building, including emissions embedded in materials, and to focus on compliance with the principles of the circular economy. Indeed, it has been shown that the mere pursuit of energy performance does not guarantee the reduction of climate-changing emissions if materials used for renovation are not from environmentally sustainable processes (Del Curto et alii, 2024).

The research integrates factors such as supply security, building energy efficiency, the use of wood materials from sustainable sources with low climate-altering emissions, and the promotion of local supply chains to revitalise the territory economically.

**Methodological proposal and steps for feasibility assessment** | This study defines a replicable methodology for the technical feasibility assessment of the energy self-sufficiency of a mountain village through the sustainable use of local woody biomass. The aim was to identify the stages of the evaluation process, provide the supporting operational, legislative and documentary tools and return comparable numerical results from the application of the methodology to a case study. The process phases include analysis and processing at different scales, with varied tools, given the multidisciplinary nature of the areas involved and the sectorisation of sources.

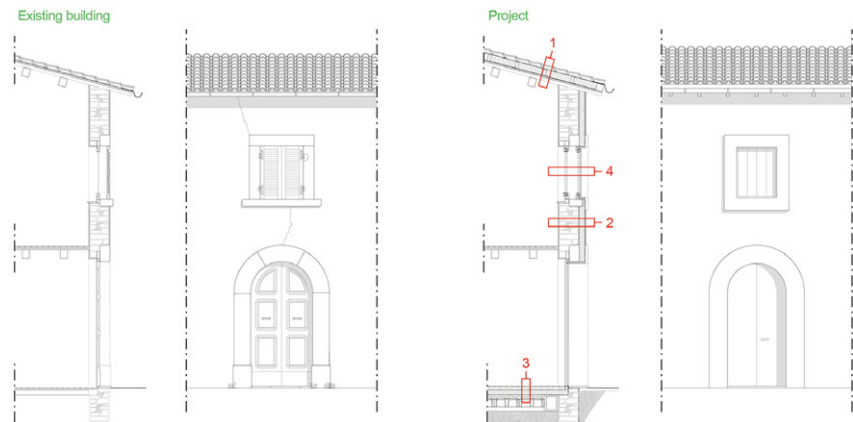
The study compared itself with virtuous case studies such as the European BioVill project (Bozhikalieva et alii, 2019) and the Factor20 project sponsored by the Lombardy Region (Provincia di Bergamo, 2013), which encourage the use of local biomass for power generation in mountain villages and

**Tab. 1** | Example of a building consistency analysis sheet for a historic residential building (credit: the Research Group).

**Fig. 11** | Example of energy upgrading work on a historic residential building in Terracino. Comparison between the actual state and the project state: 1) waterproofing and insulation work on the roof; 2) insulation work on the opaque vertical partitions of the envelope; 3) renovation work on the floor in contact with the ground with a ventilation and insulation system; 4) replacement of windows and doors (credit: the Research Group).

**Tab. 2** | Example of evaluation for energy efficiency work on the roof, including construction details and results of the verification calculation of legal limits for thermal transmittance and interstitial condensation risks (credit: the Research Group).

Photos	
Tipology of residential building	
Multi-family building	
Cadastral map sheet 55	
Cadastral parcel 184	
Cadastral typology A4 – Cheap dwelling house	
Cadastral data	
	sub 3 159.53 m <sup>2</sup>
	sub 5 51.00 m <sup>2</sup>
	sub 6 69.00 m <sup>2</sup>
Cadastral total surface 278.53 m <sup>2</sup>	
Building volume 835.59 m <sup>3</sup>	
Total building levels 3	
Construction data	
Period of construction Before 1900	
Type of masonry Irregular masonry texture	
Type of slab Timber	



Type of intervention	Insulation on the outer surface of the roof		
	Concept of intervention	Assembly preview	Product
Construction and technological aspects			
Energy performances	<b>Stratigraphy</b> <p>1 - sp. 15 mm - Clay tiles                  2 - sp. 50 mm - Unventilated cavity                  3 - sp. 4 mm - Polymer bitumen membrane                  4 - sp. 140 mm - Wood fiber board                  5 - sp. 4 mm - Vapor barrier                  6 - sp. 30 mm - Wooden boarding</p> <p>Total thickness: 243 mm (148 mm increase over the current roof)                  Thermal transmittance U-value = 0.23 W/m<sup>2</sup>K                  Compliance with minimum legal requirements: Ok</p>		<b>Risk of interstitial condensation</b> <p>Condensation risk assessment in the most critical month (December)                  Condensation risk: Ok</p>



EXISTING CONDITIONS				
Period of construction	Heating demand for single-family houses [kWh <sub>t</sub> /y]	Heating demand for row houses [kWh <sub>t</sub> /y]	Heating demand for multi-family buildings [kWh <sub>t</sub> /y]	Heating demand for flat blocks [kWh <sub>t</sub> /y]
Before 1900	886,928.00	127,402.83	848,662.09	-
1901-1920	188,705.46	-	-	-
1921-1945 Post-world war I	23,970.52	-	-	-
1946 - 1960 Post-world war II and reconstruction	256,408.40	-	-	-
1961-1975 Oil crisis	-	-	-	-
1976-1990 Early energy regulations	-	-	-	-
1991-2005 New energy regulations	17,359.50	-	-	-
After 2006 Increased restrictions	-	-	-	-
<b>Total net heating demand [kWh<sub>t</sub>/y]</b>	<b>2,349,436.80</b>			

PROJECT				
Period of construction	Heating demand for single-family houses [kWh <sub>t</sub> /y]	Heating demand for row houses [kWh <sub>t</sub> /y]	Heating demand for multi-family buildings [kWh <sub>t</sub> /y]	Heating demand for flat blocks [kWh <sub>t</sub> /y]
Before 1900	211,088.86	34,729.87	255,778.66	-
1901-1920	44,606.79	-	-	-
1921-1945 Post-world war I	6,009.72	-	-	-
1946-1960 Post-world war II and reconstruction	69,285.20	-	-	-
1961-1975 Oil crisis	-	-	-	-
1976-1990 Early energy regulations	-	-	-	-
1991-2005 New energy regulations	10,432.00	-	-	-
After 2006 Increased restrictions	-	-	-	-
<b>Total net heating demand [kWh<sub>t</sub>/y]</b>	<b>631,931.10</b>			

the development of district heating networks. These projects involve an in-depth examination of the economic feasibility assessment and the social and environmental impact of implementing such systems. Suggestions are provided to public administrations for effective implementation. This contribution focuses on identifying tools for assessing technical feasibility and adds the important aspect of considering energy efficiency actions for buildings within strategies for self-sufficiency. The aim is to enhance the system's effectiveness and reduce resource demand while optimising circularity. Furthermore, emphasis is placed on the importance of selecting interventions not only based on performance but also to preserve the cultural and architectural values of historic centres.

The conclusions present a project proposal for establishing a facility for collecting, storing, chipping, and processing woody biomass for energy production. This proposal aims to provide a functional solution for converting areas that were forcibly urbanised in response to housing demands during the emergency phase following catastrophic earthquakes. These areas are now the subject of ongoing discussions regarding their intended use in the post-reconstruction phase. The methodology, defining the steps and associating the reference tools, is as follows.

Phase 1 – State of the art and analysis of the environmental and climatic context of the settlements. In this phase, the climatic zone of the location and the monthly heating degree days were identified and quantified using climatic databases and analysis software. The seasonal thermo-hygrometric conditions were assessed to direct the subsequent design strategies for building efficiency and improve indoor and outdoor comfort.

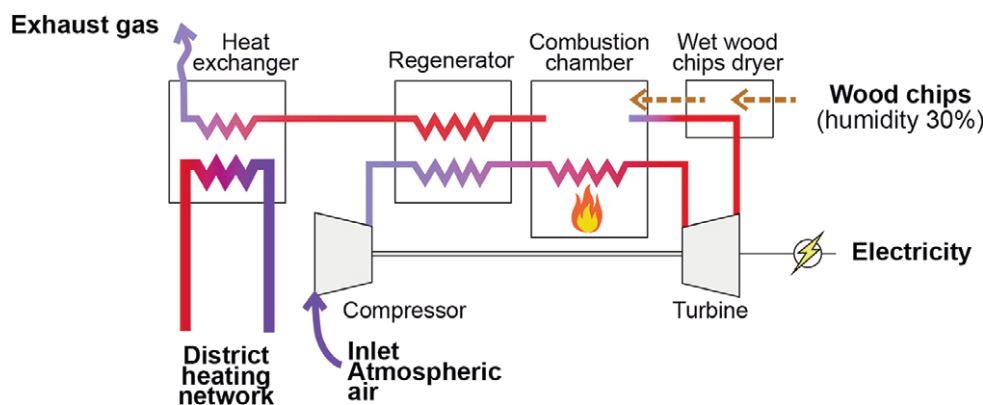
Phase 2 – Analysis of the availability of usable local renewable resources and quantification of the availability of the forest resource within a maximum radius of 70 km (Provincia di Bergamo, 2013) that can be harvested sustainably, i.e. compatibly with the annual woody recovery, useful for the start-up of local wood product supply chains, after which material waste can be recovered for energy purposes. This survey was conducted using GIS software and involved the integration of several key components: forest maps that delineate forest areas by vegetation type, forest management plans through which Municipalities estimate annual wood growth and plan sustainable harvesting, and slope maps that identify geomorphological features while excluding areas that are difficult to access.

Phase 3 – Qualification of the building heritage: in this phase, the habitable surfaces were quantified through the analysis of cadastral databases and classified according to building type and year of construction through documentation and visual analysis.

Phase 4 – Estimating the settlement's total net energy demand in its current state; at this stage, an estimate of energy performance and thermal and electrical requirements was allocated to the various

**Tab. 3** | Net thermal requirements of the entire residential building stock in the settlement, divided by type and period of construction and total figure: comparison between the requirements of buildings in their existing state and their upgraded state of design (credit: the Research Group).

**Fig. 12** | Schematic diagram of the cogeneration plant with the chosen technology: Externally Fired Micro Gas Turbine fuelled by woody biomass (credit: the Research Group).



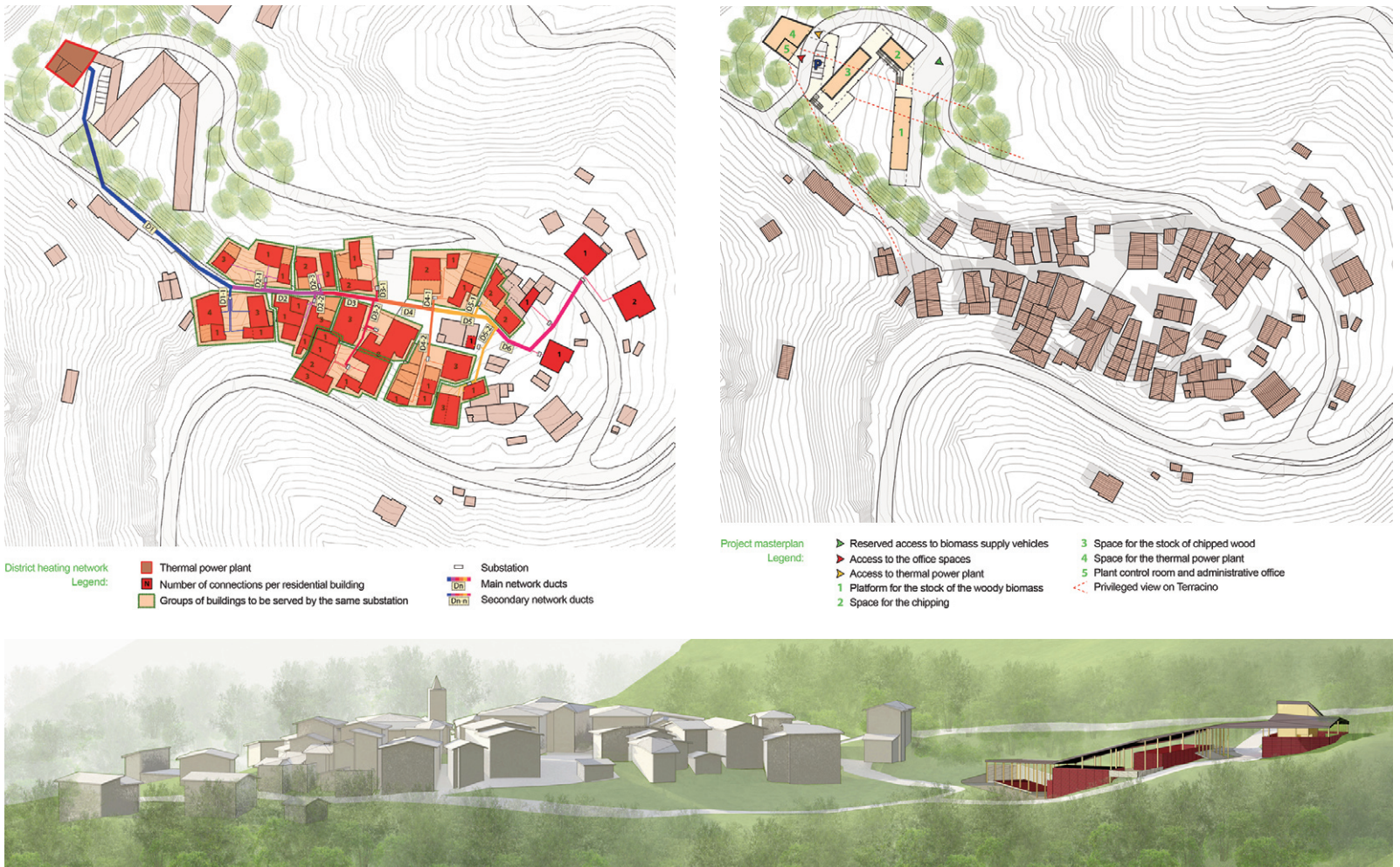


Fig. 13 | District heating network project master plan for Terracino (credit: the Research Group).

Fig. 14 | Master plan of the project to convert the S.A.E. area into a centre for transforming woody biomass to energy serving the entire redeveloped historic village (credit: the Research Group).

Fig. 15 | View of the project's integration into the landscape and its relationship with the historic built environment of the settlement (credit: the Research Group).

previously classified habitable surfaces based on models available in the literature.

Phase 5 – Selection of energy upgrading strategies to improve the efficiency of housing stock previously existing or to be rebuilt and increase living comfort. In this phase, the design choices for intervention were outlined, favouring solutions compatible with the cultural and architectural values of historic buildings and materials and technologies derived from environmentally friendly production processes. Researchers consulted guidelines developed by institutional bodies for a more informed choice of possible interventions. Subsequently, compliance with the minimum legal requirements for achievable performance was also verified using special energy calculation software.

Phase 6 – Estimating the total net electrical and thermal needs of the settlement in relation to the redevelopment and reconstruction project. As with the state of affairs, reference models provided by the scientific literature were used at this stage.

Phase 7 – Design and dimensioning of plant technology for self-generation of energy. At this stage, the load curves of the entire redeveloped settlement's thermal and electrical demand were identified, leading to choosing the plant solution and scaling the power. In this step, once again, data and models available in the literature were useful; the preferred option was a cogeneration solution, as it allows for the optimisation of fuel utilisation, through a cen-

tralised configuration that distributes the heat produced with a district heating network and feeds electricity into an electricity distribution network.

Phase 8 – Checking the availability of woody biomass considered suitable for energy purposes. The feasibility of energy self-sufficiency was tested at this stage. The amount of woody biomass required to feed the system as primary energy was estimated based on knowledge of the chosen system's output, operating regimes and efficiency, through the support of specific manuals containing woody biomass energy conversion factors by type. This figure was compared with the quantity of harvestable biomass identified in the first stages of the methodology; it was confirmed to be below 20%, a percentage considered to be waste in timber harvests and, therefore, destined for energy purposes (Provincia di Bergamo, 2013).

**The Terracino case study (hamlet of Accumoli, IT)** | The methodology was tested on the case study of Terracino, a small mountain village in the 2016 earthquake crater area. This hamlet has the highest altitude in Accumoli (1,165 meters above sea level) and was already suffering from a negative demographic trend before the calamitous event, with a population decrease of 25% in twenty years. The village consists of 60 buildings, 40 of which are residential, and is located in climate zone E (Figg. 7-9). The assessment of the sustainably harvestable

woody biomass was conducted by narrowing the survey area within the municipal boundaries. Given the limited scope of municipal forest management compared to the entire local heritage identified by regional maps, it was acknowledged that the resource estimate may be underestimated of approximately 8,620 cubic meters per year, specifically for the beech tree species, which is the only species for which annual growth has been calculated in the planning (Fig. 10). The identification of the building stock focused on the residential sector, drawing up a file of each building in cadastral category A, including photographic documentation (Tab. 1).

The estimates of the thermal needs in the actual state (about 2,350 MWh/year) and in the project state (about 632 MWh/year) were obtained by comparing the local building stock with the matrices produced by the Polytechnic of Turin in the European project TABULA, which assigns specific annual thermal consumption values to representative building models of residential types and construction period in climatic zone E, both in relation to the existing building stock and in the case of standard redevelopment (Corrado et alii, 2014). Electrical needs, on the other hand, were obtained by comparison with the results of the MICENE project of the Politecnico di Milano, which catalogued consumption according to the size of the living areas, and were found to be approximately 204 MWh/year (Di Andrea and Danese, 2004).



Strategies for enhancing energy efficiency in the historic building sector require careful design consideration to preserve the character and integrity of the settlements. These strategies align with the Guidelines established by the Ministry of Culture (Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per l'area Metropolitana di Venezia e le Province di Belluno, Padova e Treviso, 2015). Solutions to increase insulation levels favour wood fibre-based technologies, well suited to the transpiration characteristics of the materials of traditional building systems and available within the local wood supply chain, in a circular perspective (Fig. 11; Tab. 2, 3). All interventions were filed and analysed with special energy calculation software to check compliance with the minimum legal performance requirements.

The selection of energy self-production technology to meet the village's entire needs in its upgraded state focused on a small-scale cogeneration plant of the 'Externally Fired Micro Gas Turbine' type. This plant features a thermal output of 300 kW and a net electrical output of 75 kW, utilising a turbine and an external combustion chamber that employs atmospheric air as the oxidant and wood chips as fuel (Comodi et alii, 2010; Fig. 12): among small-scale cogeneration technologies for combustion of solid biomass, it is the one with the highest efficiency (Kautz and Hansen, 2007) and examples include the Bio Power in Tuscany project in Livorno, with Enel as lead partner (Galletti et alii, 2016). Dimensioning was based on an analysis of daily thermal demand load curves, which were adjusted according to monthly degree days, ensuring that daily electrical loads were met simultaneously. The design and sizing of a district heating network to distribute the heat generated by the plant were also developed, accounting for heat losses along the pipes and the pumping power required, which includes pressure drops (Fig. 13). Electricity production was instead considered exchanged with the existing grid. Finally, the biomass required to fuel the cogeneration plant, approximately 1,000 cubic metres, was quantified and compared with the initially estimated amount. This confirmed the technical feasibility of meeting the energy demands of the case study solely through the portion of material suitable for wood chip production.

**Conclusions** | The results of the methodology application demonstrated the technical possibility, for the case study, of achieving energy self-sufficiency through utilising 11.6% of the annual woody increment volume of beech forests alone within municipal boundaries. These data stimulate the perception of the socio-economic and environmental benefits that would be obtained if the entire forest

heritage were managed and planned, strengthening the local production chain to the benefit of revitalising and repopulating the area.

The study is confronted with the limitations of forestry planning; the barriers to its dissemination result from the difficulties in implementing local wood supply chains, which are mainly related to governance problems of the stakeholder system, such as companies, owners, managers, and users. Forest properties are highly fragmented, small companies are not competitive and able to invest in innovation, and initiatives are discouraged by the lack of technical and management training, the lack of contractual forms that ensure and protect the stability and continuity of supply and use commercial relationships, as well as by imperfect coordination between different planning instruments (Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, 2012). In addition, the installation of local energy production and distribution facilities requires appropriate financial support policies given that the significant initial investment is difficult for local governments to solvency, and the low profitability of the project may not always attract private investment (Provincia di Bergamo, 2013).

Essential to the project's success is a convinced adherence and willingness to cooperate among citizens, businesses and public agencies to ensure the operation and maintenance of the system. Therefore, the study aims to provide scientific support to public administrations and companies related to the timber sector and to raise awareness among private citizens, with reference both to the current population of small communities in rural mountain areas and to potential new inhabitants who would contribute to increasing the critical mass of the stakeholders involved and make the initiatives attractive. This type of intervention not only offers new employment opportunities, but also the advantages of self-sufficiency in energy from local resources, immune from the price fluctuations of centralised and environmentally friendly supply, and the comfort of a redeveloped housing scenario in locations of high scenic value, reducing the current perception of locations lacking in infrastructure and essential services.

The research focuses on the need to combine renewable energy supply interventions with energy efficiency in buildings to maximise energy use and system circularity. The construction of a Centre for the collection, chipping and storage and the installation of the energy production plant may potentially be a solution for the functional conversion of urbanised areas, in the vicinity of the original historical nuclei, to host Emergency Housing Solutions in the aftermath of the seismic event, with the important

symbolic significance of a new use to support the return to living in traditional places with a renewed quality of living (Fig. 14, 15). Such areas' availability and location are peculiar to crater settlements, which could take the lead in implementing pilot projects, reinforcing the repopulation bet towards which current public reconstruction efforts are already aiming. The possibility of reusing existing spaces would allow for the accommodation of facilities without increasing land consumption, with obvious benefits on environmental impacts in construction operations.

The studied energy self-sufficiency system can be regarded as an example of a Renewable Energy Community that complies with Italian Legislative Decree 199/2021 (Presidente della Repubblica, 2021), underlying the same primary cabin for electrical connection and served by a district heating network for heat distribution. Furthermore, the cogeneration plant's operating regimes showed a daily production surplus compared to the settlement's demand, aligning the system with the logic of Positive Energy Districts (Ferrante, Romagnoli and Villani, 2023) in rural areas and projecting the idea of a possible network of small villages that exchange energy with each other. Therefore, it would be beneficial if future research efforts could expand the current methodology to assess the potential offered by rural mountain areas, taking into account careful planning for the development of Italy's entire forest heritage. This should be integrated into an Energy Requalification Programme for Municipalities, aligned with the Plan for the Renovation of existing buildings mandated by the European Directive 2024/1275/EU by 2025 (European Parliament and the Council of the European Union, 2024).

In conclusion, integrating the redevelopment of the built environment with the revitalisation of the wood industry, alongside rural development support policies focused on tailored digital networks and services, could significantly enhance the appeal of mountain regions for settlement. These areas could become models for sustainable, nature-oriented lifestyles with a lower environmental impact – strategically important for relieving pressure on urban centres. Moreover, they could achieve energy efficiency and autonomy, contributing to energy and climate neutrality. As seen in the Smart Villages concept, the revitalisation of traditional sectors like forest management can be paired with the growth of modern, locally-focused employment models, facilitated by the rise of teleworking. This combination could pave the way for the repopulation and revitalisation of rural areas, fostering sustainable development and strengthening the local economy.

## Note

1) In the forestry sector, the European Union sets different objectives that lend themselves to contrasting interpretations regarding carbon mitigation. On the one hand, the RED II – Directive 2018/2001/EU (European Parliament and the Council of the European Union, 2018) promotes the use of bioenergy by encouraging wood demand, while on the other hand, the LULUCF regulation (Land Use, Land-Use Change, and Forestry) aims to protect carbon storage reservoirs. This requires a delicate governance approach to ensure a balance between the two objectives. The cascading use of wood is

seen as a fundamental principle, enabling the harvesting of woody materials while minimising the risk of depleting forest carbon sinks. This principle was explicitly included in Directive 2023/2413/EU (European Parliament and the Council of the European Union, 2023) amending RED II.

## References

- ANCI (2019), "Atlante dei Piccoli Comuni", in *anci.it*, 05/07/2019. [Online] Available at: [anci.it/atlante-dei-piccoli-comuni](https://anci.it/atlante-dei-piccoli-comuni) [Accessed 16 October 2024].
- Antonini, E. (2019), "Incertezza, fragilità, resilienza | Un-

certainty, fragility, resilience", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 6, pp. 6-13. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/612019](https://doi.org/10.19229/2464-9309/612019) [Accessed 16 October 2024].

Baró Zarzo, J.-L., Poyatos Sebastián, J. and Martínez Martínez, N. (2020), "Contrastare lo spopolamento nell'entroterra della Spagna – Proposte tra Arte, Design e Architettura | Fighting against depopulation in inland Spain – Alternatives from Art, Design and Architecture", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 8, pp. 138-147. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/8132020](https://doi.org/10.19229/2464-9309/8132020) [Accessed 16 October 2024].

- Bozhikaliev, V., Sazdovski, I., Adler, J. and Markovska, N. (2019), “Techno-economic, Social and Environmental Assessment of Biomass Based District Heating in a Bioenergy Village”, in *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, vol. 7, issue 4, pp. 601-614. [Online] Available at: doi.org/10.13044/j.sdwes.d7.0257 [Accessed 16 October 2024].
- Camia, A., Giuntoli, J., Jonsson, R., Robert, N., Cazzaniga, N. E., Jasinevičius, G., Avitabile, V., Grassi, G., Barredo, J. and Mubareka, S. (2021), *The use of woody biomass for energy production in the EU*, Publications Office of the European Union, Luxembourg. [Online] Available at: data.europa.eu/doi/10.2760/831621 [Accessed 16 October 2024].
- Comodi, G., De Carolis, C., Foppa Pedretti, E., Riva, G. L. and Vagni, S. (2010), “Italian feed-in tariff mechanism applied to a cogenerative plant fuelled by solid biomass – A technical-economic comparison between Microturbine and Stirling engine”, *Proceedings of the 18th European Biomass Conference and Exhibition, 2010, ETA-Florence Renewable Energies, Lyon, May 3-7, 2010*, pp. 2340-2346. [Online] Available at: doi.org/10.5071/18thEUBCE2010-VP5.7.7 [Accessed 16 October 2024].
- Corrado, V., Ballarini, I. and Corgnati, S. P. (2014), *Building Typology Brochure – Italy – Fascicolo sulla Tipologia Edilizia Italiana*, Nuova Edizione, Politecnico di Torino, Torino. [Online] Available at: hdl.handle.net/11583/2643577 [Accessed 16 October 2024].
- Dall’Ara, G. and Villani, T. (2020), “Per un futuro sostenibile dei borghi – Albergo Diffuso e nuovi scenari di rigenerazione | A sustainable future for hamlets – Albergo Diffuso and new regeneration scenarios”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 8, pp. 230-243. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/8222020 [Accessed 16 October 2024].
- Del Curto, D., Garzulino, A. and Turrina, A. (2024), “Sostenibilità e transizione energetica – Prospettive per un approccio integrato al patrimonio costruito | Sustainability and energy transition – Perspectives for an integrated approach to the built heritage”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 114-123. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1582024 [Accessed 16 October 2024].
- Di Andrea, F. and Danese, A. (2004), *Micene, Misure dei Consumi di Energia Elettrica in 110 abitazioni Italiane – Curve di carico dei principali elettrodomestici e degli apparecchi di illuminazione*, Politecnico di Milano, Milano. [Online] Available at: eerg.it/wp-content/uploads/2024/09/Di-Andrea-and-Danese-2004-Micene-Misure-dei-Consumi-di-Energia-Elettrica-in.pdf [Accessed 16 October 2024].
- ESPON EGTC (2020), *Policy Brief – Shrinking rural regions in Europe*. [Online] Available at: archive.espon.eu/rural-shrinking [Accessed 16 October 2024].
- European Commission (2022), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – REPowerEU Plan*, document 52022DC 0230, 230 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2022:230:FIN [Accessed 16 October 2024].
- European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019 DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0640 [Accessed 16 October 2024].
- European Parliament and the Council of the European Union (2024), *Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings*, document 32024L1275, PE/102/2023/REV/1. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024L1275 [Accessed 16 October 2024].
- European Parliament and the Council of the European Union (2023), *Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652*, document 32023L2413, PE/36/2023/REV/2. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj [Accessed 16 October 2024].
- European Parliament and the Council of the European Union (2018), *Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast)*, document 32018L2001, PE/48/2018/REV/1. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32018L2001 [Accessed 16 October 2024].
- Eurostat (2024), *Forest, forestry and logging*. [Online] Available at: ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Forests,\_forestry\_and\_logging#Economic\_indicators\_for\_forestry\_and\_logging [Accessed 16 October 2024].
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020), “Extent of forest and other wooded land”, in *Global Forest Resources Assessment 2020*. [Online] Available at: fra-platform.herokuapp.com/assessments/fra/2020/ITA/sections/extentOfForest [Accessed 16 October 2024].
- Ferrante, T., Romagnoli, F. and Villani, T. (2023), “Sviluppo urbano sostenibile – Organizzazione di contenuti informativi per la transizione verso i Distretti a Energia Positiva | Sustainable urban development – Organizing information content for the transition to Positive Energy Districts”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 191-204. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13162023 [Accessed 16 October 2024].
- Galletti, C., Giomo, V., Giorgetti, S., Leoni, P. and Tognotti, L. (2016), “Biomass furnace for externally fired gas turbine – Development and validation of the numerical model”, in *Applied Thermal Engineering*, vol. 96, issue 5, pp. 372-384. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.11.085 [Accessed 16 October 2024].
- Gasparini, P., Di Cosmo, L., Floris, A. and De Laurentis, D. (2022), *Italian National Forest Inventory – Methods and Results of the Third Survey | Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio – Metodi e Risultati della Terza Indagine*, Springer, Cham. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-98678-0 [Accessed 16 October 2024].
- Gausa, M. (2019), “Resili(g)ence – Città Intelligenti / Paesaggi Resilienti | Resili(g)ence – Smart Cities / Resilient Landscape”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 6, pp. 14-25. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/622019 [Accessed 16 October 2024].
- ISTAT (2024), *Classificazioni statistiche e dimensione dei Comuni*. [Online] Available at: istat.it/classificazione/principali-statistiche-geografiche-sui-comuni [Accessed 16 October 2024].
- Kautz, M. and Hansen, U. (2007), “The externally-fired gas-turbine (EFGT-Cycle) for decentralized use of biomass”, in *Applied Energy*, vol. 84, issues 7-8, pp. 795-805. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.apenergy.2007.01.010 [Accessed 16 October 2024].
- Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica (2024), *Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima*. [Online] Available at: mase.gov.it/sites/default/files/PNIEC\_2024\_revfin\_01072024%20errata%20corrigere%20pulito.pdf [Accessed 16 October 2024].
- Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali (2022), *Strategia Forestale Nazionale*. [Online] Available at: politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/17813 [Accessed 16 October 2024].
- Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali (2012), *Piano della Filiera Legno 2012-2014 – Documento di sintesi*. [Online] Available at: politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/5082 [Accessed 16 October 2024].
- Olsson, O., Bruce, L., Hektor, B., Roos, A., Guissson, R., Lamers, P., Hartley, D., Ponitka, J., Hildebrandt, J. and Thrän, D. (2016), *Cascading of woody biomass – Definitions, policies and effects on international trade*, IEA Bioenergy Tak 40, April 2016. [Online] Available at: ieabioenergy.com/blog/publications/cascading-of-woody-biomass-definitions-policies-and-effects-on-international-trade-2/ [Accessed 16 October 2024].
- Presidente della Repubblica (2021), “Decreto Legislativo dell’8 novembre 2021, n. 199 – Attuazione della direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell’11 dicembre 2018, sulla promozione dell’uso dell’energia da fonti rinnovabili (21G00214)”, in *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, Serie Generale n. 285 del 30/11/2021. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/2016/10/18/16G00205 [Accessed 16 October 2024].
- Presidente della Repubblica (2016), “Decreto-Legge del 17 ottobre 2016, n. 189 – Interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dal sisma del 24 agosto 2016 (16G00205)”, in *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, Serie Generale n. 244 del 18/10/2016. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/2016/10/18/16G00205 [Accessed 16 October 2024].
- Provincia di Bergamo (2013), *Report attività di sperimentazione promosse in Regione Lombardia – La realizzazione di reti di teleriscaldamento alimentate da biomassa locale – Verifica di fattibilità – Provincia di Bergamo – Deliverable 11 – Parte B*. [Online] Available at: factor20.it/c/document\_library/get\_file?p\_l\_id=8031504&folderId=8441231&name=DLEF-55423.pdf [Accessed 16 October 2024].
- Rete Rurale Nazionale (2020), *Aree Rurali 2014-2020*. [Online] Available at: reterurale.it/areerurali [Accessed 16 October 2024].
- Santos Malaguti de Sousa, C., Queiroz Ferreira Barata, T., Dutra Profirio de Souza, C. and de Melo, F. G. (2023), “Gestione delle foreste urbane – Percorsi tecnologici design-driven per la valorizzazione dei rifiuti da potatura | Urban forests management – Design-driven technological routes for wood waste valuing”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 291-300. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13252023 [Accessed 16 October 2024].
- Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per l’area Metropolitana di Venezia e le Province di Belluno, Padova e Treviso (2015), *Linee guida di indirizzo per il miglioramento dell’efficienza energetica nel patrimonio culturale*. [Online] Available at: soprintendenzapdve.beniculturali.it/la-soprintendenza-informa/atti-di-indirizzo/linee-guida-di-indirizzo-per-il-miglioramento-dellefficienza-energetica-nel-patrimonio-culturale/ [Accessed 16 October 2024].
- Ugalde, J. M., Rutz, D., Adler, J., Stein, K., Höher, M., Krizmanić, M., Vrček, V. and Šegon, V. (2016), *Bioenergy Villages (BioVill) – Increasing the Market Uptake of Sustainable Bioenergy*, Grant Agreement no. 691661. [Online] Available at: ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=08016665adfl3840&appId=PPGMS [Accessed 16 October 2024].
- Zavratnik, V., Kos, A. and Stojmenova Duh, E. (2018), “Smart Villages – Comprehensive Review of Initiatives and Practices”, in *Sustainability*, vol. 10, issue 7, article 2559, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su10072559 [Accessed 16 October 2024].