POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Geothermal infrastructure for an historic village in Tuscany: A sustainable retrofit solution - Un’infrastruttura geotermica per un borgo storico in Toscana: riflessioni sulla sostenibilità

Original
Geothermal infrastructure for an historic village in Tuscany: A sustainable retrofit solution - Un’infrastruttura geotermica per un borgo storico in Toscana: riflessioni sulla sostenibilità delle soluzioni
di riqualificazione energetica / Marino, V., Pagani, R.. - In: TECHNE. - ISSN 2239-0243. - STAMPA. - 11:(2016), pp. 87-96. [10.13128/Techne-18406]

Availability:
This version is available at: 11583/2787154 since: 2020-01-30T15:28:52Z

Publisher:
Firenze University Press

Published
DOI:10.13128/Techne-18406

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)

08 October 2026

Un'infrastruttura geotermica per un borgo storico in Toscana: riflessioni sulla sostenibilità delle soluzioni di riqualificazione energetica

Valentina Marino, Roberto Pagani,
Dipartimento Architettura e Design, Politecnico di Torino, Italia

valentina.marino@polito.it
roberto.pagani@polito.it

Abstract. Il comune di Montieri ha recentemente costruito una rete di teleriscaldamento alimentata a vapore geotermico.
L'aspetto innovativo risiede nell'uso del vapore geotermico di scarto dalla produzione di elettricità, per fornire riscaldamento e acqua calda sanitaria per 425 utenze del centro storico.
Con il progetto Geothermal Community (Concerto, FP7) sono stati intrapresi ulteriori obiettivi per l'ambiente costruito: la riduzione del consumo energetico degli edifici e l'aumento della quota delle risorse energetiche rinnovabili utilizzate dalla comunità. L'articolo propone una analisi dei benefici ambientali ed economici delle misure di efficienza energetica pianificate dal progetto Europeo alla luce dell'installazione della rete di teleriscaldamento. I risultati presentano uno spunto di riflessione interessante per la formulazione dei piani di riduzione delle emissioni delle aree urbane storiche Italiane ed Europee dove sono presenti simili infrastrutture.

Parole chiave: Teleriscaldamento geotermico, Centri storici, Riqualificazione energetica, Benefici economici, Benefici ambientali

Stato dell'arte

La necessità di ridurre il fabbisogno energetico degli edifici di interesse storico è dibattuta. Alcuni approcci suggeriscono che la riduzione della domanda di energia degli edifici storici non dovrebbe essere considerata una priorità di intervento ma dovrebbe essere secondaria rispetto agli obiettivi di restauro e conservazione (Moschella et al., 2013), altri studi sostengono che potrebbe accompagnare interventi di miglioramento del comfort indoor ma non dovrebbe essere finalizzata al raggiungimento di specifici standard o classi di prestazione (Fabbri, 2013). È ampiamente condivisa la necessità di un approccio multidisciplinare per prendere in considerazione aspetti culturali, estetici, funzionali, di risparmio energetico, economici e ambientali (Polo Lopeza, Frontinia, 2014), (Alev et al., 2014), tutti importanti per identificare soluzioni tecnologiche e progettuali appropriate.
La direttiva 2010/31/UE sancisce che gli Stati membri possono decidere di non fissare o non applicare i requisiti minimi di prestazione energetica per «gli edifici ufficialmente protetti come patrimonio designato o in virtù del loro particolare valore architettonico o storico, nella misura in cui il rispetto di determinati requisiti minimi di prestazione energetica implichi un'alterazione inaccettabile del loro carattere o aspetto».
Alcuni studi minimizzano l'importanza di intervenire sull'involucro negli edifici storici dimostrando che altre misure possono portare a risultati simili o migliorativi. Il lavoro di Zagorskas (Zagorskas et al., 2013), attraverso l'analisi di alcuni casi studio di misure di riqualificazione energetica su edifici in muratura di mattoni pieni nella Regione del Mar Baltico, dimostra che gli interventi sugli impianti giocano un ruolo più importante nel miglioramento delle prestazioni iniziali.
Nel caso di edifici di valore culturale, è preferibile considerare gli aspetti relativi alla riduzione della domanda di energia e all'aumento della quota di energia rinnovabile a scala urbana (o almeno di di quartiere) per poter tenere conto di soluzioni infrastrutturali (come le reti di teleriscaldamento) che possono ridurre la necessità di dover intervenire profondamente sui singoli edifici.
Alcuni risultati di ricerche supportano questa idea, anche se l'oggetto analizzato non è un'area urbana storica. Lo studio di Zvingilaite E. e Balyck O. (Zvingilaite e Balyck, 2014) analizza l'efficacia economica e prestazionale di alcune misure di risparmio energetico su edifici esistenti con alcuni scenari di generazione di energia rinnovabile al 100%, in Danimarca. Gli interventi di riduzione delle dispersioni termiche risultano più efficaci su edifici con sistemi di riscaldamento autonomo che in quelli connessi alle reti di teleriscaldamento. Gli autori, paragonando diversi livelli di risparmio energetico, hanno concluso che è molto più conveniente combinare interventi più lievi sulla riduzione delle dispersioni energetiche

Geothermal infrastructure for an historic village in Tuscany: a sustainable retrofit solution

Abstract. The municipality of Montieri (GR) has recently built a district-heating network fuelled by geothermal steam.
The innovation behind this installation is the use of waste geothermal steam from electricity production, to provide heating and domestic hot water to 425 users.
With the participation to Geothermal Communities project (Concerto, FP7), further objectives for the historic village were set: reduction of building energy demand and increase in the share of renewable energy sources. The article proposes an analysis of environmental and economical benefits of energy efficiency measures planned by the European project. Results are relevant for emissions reduction plans into Italian and European city centres in which similar networks are available.

Keywords: Geothermal district heating, Historical town centres, Energy retrofit, Economic benefits, Environmental benefits

State of the art

The need of reducing energy demand and related CO_2 emissions of heritage architecture is debated. Some approaches suggest that the reduction of energy demand on heritage architecture should not be seen as a priority of intervention but must be subject to preservation and restoration scope (Moschella et al., 2013), it may come together with interventions for indoor comfort improvements but not subject to the achievement of a specific efficiency label or target (Fabbri, 2013). It is widely accepted that a multi-disciplinary approach is needed to face this issue, in order to take into account cultural, aesthetic, functional, energetic, economic and environmental aspects (Polo Lopeza, Frontinia, 2014) (Alev et al., 2014) all relevant for identifying proper technological and design solutions.
The directive 2010/31/EU established that Member States may decide not to set or apply the minimum requirements of energy performance to «buildings officially protected as part of a designated environment or because of their special architectural or historical merit, in so far as compliance with certain minimum energy performance requirements would unacceptably alter their character or appearance».
Some research studies minimise the need of intervening on historical building fabric demonstrating that other interventions can lead to similar or higher results. Zagorskas (Zagorskas et al., 2013) analysing several case studies of energy retrofit measures for solid brick masonry buildings of the Baltic Sea Region, concluded that building systems play a greater role in the upgrade of existent performances.
At urban scale, in the case of culturally valuable town areas, it is worth consid-

ISSN online: 2239-0243 | © 2016 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.13128/Techne-18406

dell'edificio con altri relativi alla fornitura di energia, che investire in singoli interventi di riqualificazione energetica profonda dell'involucro.
Lo studio di Connolly et al. (Connolly at al, 2014) analizza una strategia alternativa agli scenari proposti dalla Energy Roadmap 2050 per i 27 paesi dell'Unione Europea allo scopo di raggiungere l'80% di riduzione delle emissioni di CO_2, che si basa meno su misure di efficienza energetica installate a scala di singolo edificio e maggiormente sull'espansione delle reti di teleriscaldamento, sul recupero di calore e sulle fonti energetiche rinnovabili. Questo scenario appare più realistico nell'implementazione perché raggiunge obiettivi simili alla Roadmap europea con una riduzione dei costi di investimento del 10%.
Questi studi sono particolarmente interessanti per la definizione di politiche di decarbonizzazione del patrimonio costruito di valore culturale perché suggeriscono che profondi interventi di risparmio energetico sull'involucro edilizio possono essere parzialmente sostituiti da una pluralità di soluzioni che utilizzano fonti energetiche rinnovabili. Come sostenuto dai due studi, risultati simili in termini di riduzione delle emissioni di CO_2 possono essere raggiunti con minori ricadute per gli edifici storici in termini di impatto sul valore culturale dell'edificio. Questo contributo mira a analizzare questa prospettiva in un caso studio specifico, il borgo storico di Montieri, in cui è stata recentemente costruita una rete di teleriscaldamento alimentata a vapore geotermico.

Il caso studio del borgo di Montieri

Il comune di Montieri ha recentemente costruito una rete di teleriscaldamento geotermico che sfrutta la risorsa disponibile nel territorio, il vapore geotermico, per fornire riscaldamento nella stagione invernale e acqua calda sanitaria durante tutto l'anno a 425 unità abitative private e alcune utenze pubbliche nel centro storico.
L'idea innovativa alla base del progetto è lo sfruttamento del vapore di scarto della produzione elettrica, estratto dal pozzo di Montieri[4], che risulta appropriato per usi termici.
La costruzione della rete di teleriscaldamento è stato il fattore chiave per l'ingresso del comune di Montieri come principale sito dimostrativo di un progetto Europeo dell'iniziativa CONCERTO (FP7). Il progetto Geothermal Communities mirava ad implementare alcune soluzioni sostenibili per lo sfruttamento dell'energia geotermica a scala di comunità, integrandole con misure per la riduzione del fabbisogno di energia del costruito e per l'aumento della quota di fonti rinnovabili di tipo solare. Le soluzioni furono implementate in tre principali siti di mostrativi situati nei comuni di Galanta (Slovacchia), Morahalom (Ungheria) e Montieri (Italia). Dei tre siti dimostrativi, il comune di Montieri è il caso più interessante. Montieri è un borgo medievale localizzato a circa 700 m s.l.m. sul lato nord-est del Poggio di Montieri nell'area delle colline metallifere grossetane nella zona sud della Toscana. L'area geografica è classificata come zona climatica fredda con 2500 gradi giorno termici. La struttura urbana non si è espansa molto nel corso dei secoli. Gli edifici sono caratterizzati dai sistemi costruttivi locali tradizionali, come le murature portanti in pietra e mattoni, solai lignei e coperture di elementi in cotto. Gli infissi e gli intonaci esterni delle murature, insieme alle coperture sono gli elementi che ricevono la manutenzione più ricorrente, pertanto i relativi elementi di finitura sono raramente originali negli edifici. Prima della costruzione della rete teleriscaldamento ciascuna abitazione disponeva di un sistema di riscaldamento autonomo e

ering old valuable buildings in a wider scale to allow the opportunity of taking into account infrastructural solutions (such as district heating and decentralised renewable energy supply) that may reduce the need of deep interventions at building level.
Some research findings support this idea, even if these are not focused on historical areas of cities. Zvingilaite E. and Balyck O. (Zvingilaite and Balyck, 2014) analysed the cost effectiveness of energy savings in existing buildings on several scenarios of 100% renewable energy generation in Denmark. Heat savings are more cost effective in buildings with individual heat generation technologies than in buildings connected to a district heating system. They compared several levels of energy savings and found out that is more cost effective implementing low-level combined interventions for demand and supply side rather than few deep retrofit measures.
Connolly et al. (Connolly at al, 2014) analysed an alternative heating strategy to the Energy Roadmap at 2050 for EU 27 to achieve an 80% CO_2 emissions reduction, which relies less on energy saving measures installed at building level than the Roadmap scenario does, and more on expansion of district heating, heat recycling and renewable energy sources. This new scenario seems more realistic to be implemented because it reaches similar objectives with 10% less investment costs.
These findings are particularly important for the definition of policies in cultural valuable built environments because they suggest that deep heat savings interventions on building envelopes can be partly substituted by a plurality of renewable generation solutions. As stated by the two studies, similar results in term of CO_2 reduction can be achieved and minor drawbacks on historic buildings in term of visual impact of retrofit measures and loss of cultural value are caused.
This paper aims at analysing this perspective on a specific case study, the historic village of Montieri, where a geothermal district heating was recently built.

The case study of the village of Montieri

The Municipality of Montieri has developed and installed a brand new geothermal district-heating network that exploits the geothermal resource available in the municipal territory, the geothermal steam, to provide winter heating and domestic hot water all year long to 425 private and public units in the historic town centre.
The innovative idea at the base of the project is the exploitation of a waste of the steam extracted from Montieri 4 geothermal well that is unsuitable for electricity production but appropriate for thermal uses.
The district-heating project was the leverage point for the municipality to take part into a European project of the CONCERTO FP7 initiative. The Geothermal Communities project aimed at implementing sustainable solutions for the exploitation of geothermal energy on a community scale, integrated with other renewable energy resources and retrofitting measures for existing buildings. Solutions were implemented on three major pilot sites: the city of Galanta in Slovakia, the town of Morahalom in Hungary and the community of Montieri in Italy.
Of the three demonstration sites, the town of Montieri is the most peculiar. Montieri is a medieval small historic town located at 700 m a.s.l. on a North-East oriented hillside in Colline Metal-

di uno separato per la produzione di acqua calda sanitaria. Tipici carburanti per il riscaldamento erano la legna da ardere, il gasolio e il metano.
La rete di teleriscaldamento geotermico è composta da due circuiti principali. Un primo condotto porta il vapore alla stazione di scambio A. Questo primo impianto trasferisce il calore dal vapore all'acqua surriscaldata del primo circuito. Questo ha una lunghezza di 2*2.200 metri, porta l'acqua surriscaldata all'impianto di scambio B, posto al confine del centro abitato ad un dislivello di circa 200 metri. Dalla stazione di scambio B la temperatura del fluido viene ridotta da 130°C a circa 95°C e di qui parte il ramo principale del circuito che raggiunge il centro storico. Cinque anelli minori raggiungono tutte le abitazioni del borgo. In totale questo secondo circuito è lungo circa 5.100 mt. Essendo circuiti chiusi, la rete non spreca acqua pulita per funzionare ma riutilizza la stessa all'interno di ciascun anello, con un conseguente recupero dell'energia termica residua dal condotto di ritorno. Ciascuna unità abitativa è collegata alla rete mediante uno scambiatore di calore individuale utile per il riscaldamento e per l'acqua calda sanitaria.
La realizzazione dell'infrastruttura, di proprietà comunale, è costata complessivamente oltre 7 milioni € ed è stata sovvenzionata mediante finanziamenti pubblici e fondi comunali. I lavori di realizzazione, durati circa due anni, sono stati l'occasione per l'aggiornamento di altre infrastrutture urbane quali le reti idriche e fognarie, l'interramento della rete elettrica e il rifacimento delle pavimentazioni del borgo.
Il progetto Geothermal Communities è intervenuto finanziariamente nelle fasi conclusive della realizzazione della rete di teleriscaldamento, agevolando l'allacciamento delle singole utenze alla rete attraverso l'installazione degli scambiatori di calore individuali.

Obiettivo e ambito dell'articolo

Lo studio, sviluppato nel corso del progetto Geothermal Communities, analizza come la presenza di una rete di teleriscaldamento alimentata da fonte rinnovabile può condizionare i piani di riduzione delle emissioni di CO_2 attraverso misure per il controllo della domanda e fornitura di energia in un contesto storico. A Montieri, la convenienza economica della connessione delle unità abitative alla rete di teleriscaldamento geotermico ha ridotto fortemente la penetrazione di altre misure di risparmio energetico per il costruito, tuttavia questo risultato non necessariamente rappresenta un fatto negativo dal punto di vista della conservazione del patrimonio e della riduzione dell'impatto ambientale. Se una infrastruttura può ridurre efficacemente l'impatto ambientale delle unità, le soluzioni di retrofit possono essere indirizzate verso il miglioramento di altri aspetti ad esempio i livelli di comfort indoor e il controllo della fornitura di energia, che minacciano meno la conservazione del carattere storico degli edifici implicando minori interventi invasivi sull'involucro.
L'articolo mira ad analizzare fino a che punto la presenza di una rete di distribuzione dell'energia alimentata da fonti rinnovabili, possa ridurre in modo sostenibile la necessità di implementare misure di riqualificazione energetica profonda sugli edifici antichi per raggiungere determinati obiettivi di riduzione delle emissioni.

Metodologia

Il centro storico di Montieri occupa pressoché l'intero borgo. È composto da circa 200 edifici residenziali, 79 dei quali sono classificati di valore culturale da parte del regolamento urbanistico perché caratterizzati da elementi di pregio da preservare.
Per gli scopi di questa analisi sono stati scelti 12 casi studio. La

lifere area in the southern part of Tuscany. The geographical area is classified as cold climatic zone with 2500 heating degree-days. The urban structure has not expanded very much over the centuries.
Buildings are characterised by local traditional construction systems, such as load bearing stone and brick masonry, wooden horizontal floor and roof structures with clay cover units. Windows and external wall rendering, together with roofs, are the elements that undergo regular maintenance and repair works therefore their external finish are rarely original on buildings. Before the construction of the district-heating network each dwelling had an individual heating system with separated electric or gasoil boiler for domestic hot water production. Typical fuels used for indoor heating were burning wood, gasoil and methane.
The geothermal district-heating network is made up of the following parts: a first pipeline conveys the steam to the heat exchanger Plant A. This first heat exchanger plant transfers heat from the steam to a first circuit of super-heated water. This circuit is about 2*2200 m long. It conveys superheated water to the heat exchanger Plant B, located at the edge of the town, where heat is transferred to a second circuit. From heat exchanger B begins the main pipeline that reaches the town centre. Here five branch circuits spread to reach all dwellings of the built up area. The whole second circuit is about 5100 m long. All circuits are sealed to prevent emissions of steam and water leakage in the environment. The network doesn't deplete clean water but re-uses it within each circuit, with a consequent saving of residual energy. Each dwelling is connected to the network by an individual heat exchanger unit that provides hot water for indoor heating and sanitary water production.
The total cost of the geothermal district heating implementation in Montieri was over 7 million Euro and was supported by public funding and municipal resources. Construction works lasted about two years and provided the opportunity to upgrade other urban infrastructures such as water main, sewage system, embedding of electricity grid and street repaving. The Geothermal Communities project supported the conclusion of the construction phase by partially financing the connection of dwellings to the district heating with individual heat exchangers for each unit.

Objective and scope of the paper

The study, developed within the Geothermal Community project, analyses how the presence of a district heating network fuelled by renewable energy can affect the plans for the implementation of demand and supply side solutions for reducing CO_2 emissions, into a historic town centre. In Montieri, the economic convenience of the connection of dwellings to geothermal district heating reduced the penetration of other retrofit measures, but this outcome doesn't necessarily represent a drawback for the historic town from environmental and cultural preservation point of view. If the infrastructure can consistently reduce the environmental impact of dwellings, retrofit solutions can be driven towards the improvement of other aspects, for instance comfort levels inside dwellings and control of energy demand, that threaten less the preservation of the historic character of buildings. The paper aims at understanding to which extent the presence of a clean energy distribution network,

Building use	set point indoor winter temperature	20 °C
	set point indoor summer temperature	26 °C
	outdoor temperature	outdoor temperature - monthly average
	residential use	365 days
	heating season Zone E	162 days
Heating system: (wood + gasoil)	annual heating by wood biomass	10%
	annual heating by gasoil	90%
Heating system (biomass)	wood biomass	100%
Heating system (gasoil)	gasoil	100%

TAB. 1 | Assunti generali per la valutazione della prestazione energetica dei casi studio, prima della riqualificazione
General assumption for energy performance assessment of case studies, before renovation

TAB. 2 | Caratteristiche specifiche dei casi studio
Qualifying features of case studies

numerosità del campione non è statisticamente rilevante, tuttavia è rappresentativa delle costruzioni più antiche del borgo, delle tre tipologie edilizie (edifici isolati e in linea, edifici multipiano in linea) e di tutte le possibilità di contiguità. Gli edifici scelti sono caratterizzati da sistemi costruttivi tradizionali.
Le piante degli edifici sono state acquisite dal catasto locale con speciale permesso; l'altezza degli edifici, le tipologie di aperture e le dimensioni sono state misurate mediante rilievi in loco; informazioni sull'uso degli edifici, riscaldamento e acqua calda sanitaria sono state raccolte con un questionario inviato alla popolazione.
Data la discontinuità delle proprietà negli edifici e dal momento che molte abitazioni erano vuote oppure a uso seconda casa, è stato necessario fare alcuni assunti per definire i consumi iniziali degli edifici, così come espresso nella tabella 1.

Le prestazioni energetiche dei casi studio sono state valutate con sistema standard (*asset rating*) e con metodo stazionario come indicato nelle UNI/TS 11300 parte 1, 2 e 4 aggiornate al 2014. Il calcolo prende in considerazione solo il consumo di energia primaria per riscaldamento e acqua calda sanitaria. Il fabbisogno elettrico legato all'illuminazione artificiale e agli apparecchi interni non è stato considerato, come i carichi estivi di raffrescamento.
A causa dell'elevato spessore delle murature, in alcuni casi superiore al metro, le superfici disperdenti e il volume sono stati calcolati dall'interno. La contiguità di ciascun edificio con gli altri accanto è stata calcolata come percentuale di superfice libera. I caratteri qualificanti dei casi studio e la domanda energetica inziale e e relative emissioni sono riassunti nella tabella 2.

Code	Building value[1]	Contiguity	Heated floor area	Heated volume	Heating system	DHW system	kWh/m^{2}y	TCO$_2$/year
CS-273	Listed building	detached building	205.52	616.56	wood and gasoil stoves	electric boiler	279.3	13.9
CS-263	Listed building	detached building	548.61	1645.83	gasoil heater	electric boiler	200.6	24.4
CS-335	Listed building	end terrace house	55.8	167.4	gasoil heater	electric boiler	521.6	7.3
CS-248	Listed building	end terrace house	96.78	300.02	wood and gasoil stoves	gasoil boiler	354.1	8.4
CS-329	Listed building	mid terrace building	467.4	1402.2	wood and gasoil stoves	electric boiler	206.3	23.4
CS-380	Culturally relevant	half detached building	528.72	1586.16	wood and gasoil stoves	electric boiler	196.7	20.6
CS-269	Culturally relevant	mid terrace house	95	247.36	wood and gasoil stoves	electric boiler	350	8.1
CS-254	Culturally relevant	end terrace house	83.7	230.18	wood and gasoil stoves	electric boiler	386	7.8
CS-350	Culturally relevant	mid terrace house	291.96	875.88	gasoil heater	gasoil boiler	204	16.2
CS-123	Culturally relevant	mid terrace building	200.72	582.09	wood and gasoil stoves	electric boiler	266.8	13
CS-390	Culturally relevant	end terrace building	319.68	895.1	wood and gasoil stoves	electric boiler	217	16.8
CS-191	Culturally relevant	end terrace building	231.66	694.98	wood and gasoil stoves	electric boiler	252.8	14.2

TAB. 2 |

Retrofit measure	U value before retrofit, indicative (W/ m²K)	Description	U value after retrofit (W/m²K)	cost/unit (€/m²)
Roof insulation	2.1	10 cm of insulating material (λ = 0.045 W/mK)	0.3	80
Internal insulation of walls	1.04 brick and stone masonry (if Filaretto masonry 2.00)	5 cm of insulating material (λ = 0.039 W/mK)	0.56	70
thermal plaster on external walls	1.04	5 cm of insulating material (λ = 0.09 W/mK)	0.72	45.3
First floor insulation	1.45	8 cm of insulating material (λ = 0.045 W/mK)	0.36	69
Substitution of windows	3.5	double low-e coated glass and wood window frame	1.8	260
Connection to district heating		installation of an heat exchanger for winter heating and domestic hot water	η=0.9	€ 7675

TAB. 3 | Misure di retrofit energetico selezionate
Selected energy retrofit measures

TAB. 3 |

Selezione delle misure di riqualificazione energetica

Le misure per la riduzione delle dispersioni attraverso l'involucro edilizio sono state scelte per la loro compatibilità con eventuali attività di ristrutturazione sui medesimi edifici per essere incluse all'interno di progetti di riqualificazione. Infatti, l'esperienza del progetto Geothermal Communities ha dimostrato che la disponibilità dell'utente privato a pagare per ulteriori misure di risparmio energetico è sempre collegata alla necessità di riqualificare gli edifici, altrimenti singoli investimenti sono difficilmente diretti per sole misure di efficientamento energetico dell'involucro edilizio. La tabella 3 definisce le caratteristiche e i costi unitari considerati per le misure di retrofit energetico scelte. Tutte le misure sono compatibili con gli edifici esistenti e sono state pensate per non alterare l'aspetto esterno delle linee di colmo e gronda delle coperture, delle facciate, per non modificare gli allineamenti delle cortine urbane, la dimensione delle aperture e dei telai degli infissi e i materiali originali. A questo proposito il sistema a cappotto esterno non è stato considerato tra le misure di retrofit e lo spessore dei materiali isolanti è stato scelto in modo da non ridurre le dimensioni degli ambienti interni che sono già minime a causa dell'elevato spessore delle murature.

I costi delle misure di retrofit includono l'extra-costo del materiale isolante e la posa, oltre a tutti gli strati di finitura necessari al completamento dell'intervento, mentre i costi delle impalcature e di altre lavorazioni legate all'intervento di ristrutturazione non sono stati considerati. Nemmeno l'IVA è stata conteggiata. I costi unitari per fornitura e posa in opera sono dedotti dai prezzari regionali delle opere pubbliche.

Per analizzare il costo efficacia di una combinazione di interventi per l'involucro e per l'impianto sono stati identificati 3 scenari compositi di intervento, come espresso in tabella 4. I costi sono stati calcolati come la somma dei singoli interventi e del costo individuale degli scambiatori di calore per ciascuna unità di cui è composto l'edificio.

Costi dei carburanti ed emissioni di CO_2

La principale fonte di riferimento per i costi iniziali dei carburanti è il portale della Camera di commercio di Grosseto. Le emissioni di CO_2 relative a ciascuna tipolo-

Scenario	Description of retrofit measures
Scenario 1	Roof insulation + Substitution of windows + installation of an heat exchanger for winter heating and domestic hot water for each dwelling
Scenario 2	Roof insulation + Substitution of windows + thermal plaster on external walls + installation of an heat exchanger for winter heating and domestic hot water for each dwelling
Scenario 3	Roof insulation + Substitution of windows + First floor insulation + Internal insulation of walls + installation of an heat exchanger for winter heating and domestic hot water for each dwelling

TAB. 4 |

TAB. 4 | Scenari compositi
Selected composed scenario

sustainably reduces the need of implementing deep energy retrofit measures on historic building fabrics to achieve emission reduction objectives.

Methodology

The historic town centre made up almost all the village of Montieri. There are about 200 residential buildings, 79 of which are defined by local urban regulation as culturally valuable buildings characterised by historical features to be preserved.

To the purpose of the analysis twelve case studies were chosen among the building stock. The number of the sample is not statistically relevant but representative of the oldest constructions of the village, of the three building types (detached and terrace houses, terrace buildings) and of all contiguity options. Chosen buildings are characterised by traditional construction systems.

Building plans were acquired by special permission from the cadastral archive; building height, openings type and size were measured by local survey; information on building use, heating and domestic hot water systems were gathered through a questionnaire sent out to local inhabitants. Given the unevenness of the properties inside each building and provided that that several dwellings resulted vacant or second home, some assumptions were made to assess the initial building consumption, as expressed in Table 1.

Energy performance of case study buildings are evaluated by asset rating with steady state method indicated in UNI/TS 11300 part 1, 2 and 4 updated to 2014. The calculation takes into account heating and domestic hot water primary energy consumption only. Electricity demand due to artificial light and internal equipment it is not consid-

TAB. 5 | Costo unitario del carburante e relative emissioni di CO_2
Fuel unit cost and CO_2 emissions

TAB. 5 |

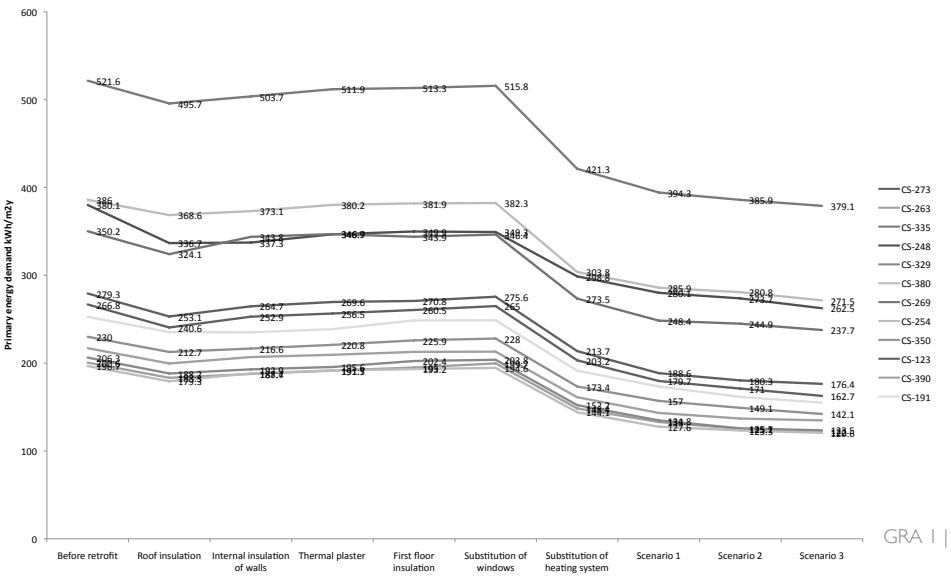
Fuel type	Unit costs [€/kWh]	Unit emission [CO_2/kWh]
Wood	0.035	0
Oil-gas	0.133	0.272
Electricity	0.23	0.523
Geothermal heat	0.03	0

GRA. 1 | Fabbisogno energetico relativo all'integrazione di differenti soluzioni di retrofit [kWh/m²a]
Energy demand related to the integration of different retrofit solutions [kWh/m²y]

gia di carburante derivano da database nazionali e regionali. Il costo unitario del kWh termico da teleriscaldamento geotermico deriva dalle tariffe locali imposte dall'amministrazione comunale in base agli accordi con la società di gestione del vapore geotermico, mentre le emissioni di CO_2 sono considerate trascurabili, sia perché il sistema utilizza vapore di scarto dell'impianto di produzione di energia elettrica, sia perché affini a quelle naturalmente esalate dal suolo se il vapore non fosse convogliato per la produzione di elettricità. I dati relativi ai carburanti sono riassunti nella tabella 5.

Risultati e discussione

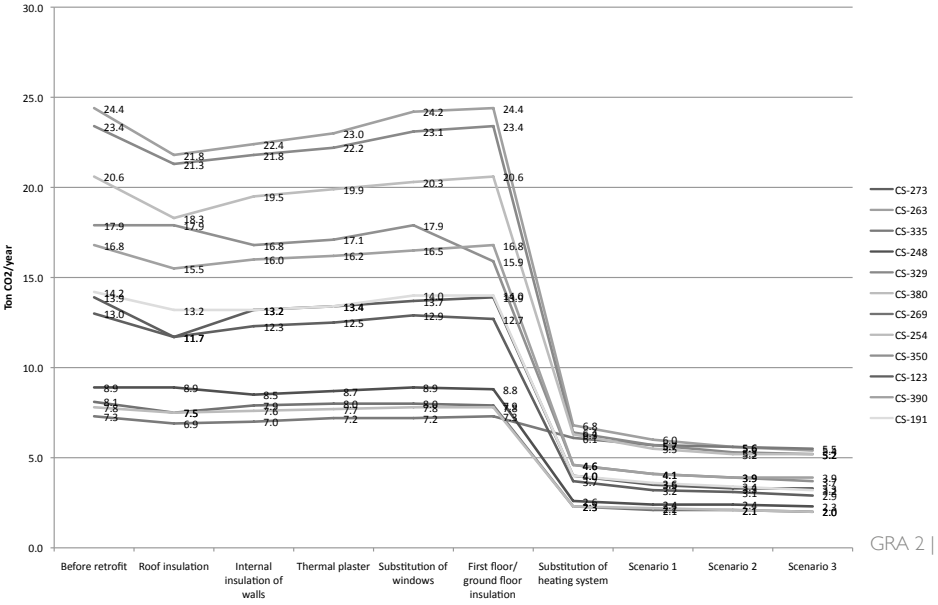
Le misure di retrofit e gli scenari compositi sono stati applicati ai 12 casi studio. Il grafico 1 mostra come in generale l'integrazione di singole misure di retrofit non riduca efficacemente il fabbisogno energetico dell'edificio, mentre la sostituzione del sistema di riscaldamento, data l'elevata efficienza della rete di teleriscaldamento rispetto ai sistemi precedenti, sia sensibilmente migliorativo. I tre scenari compositi riducono ulteriormente e progressivamente il fabbisogno senza sostanziali differenze tra lo scenario 1 e lo scenario 3.
Una simile tendenza è dimostrata anche per la riduzione delle emissioni di CO_2 (grafico 2), con qualche differenza dovuta alle fonti di energia inizialmente utilizzate negli edifici, che influiscono diversamente sul conteggio delle emissioni. Il caso studio CS335 non mostra un brusco calo di fabbisogno energetico e di riduzione di emissioni con l'installazione di scambiatori di calore nelle abitazioni perché questo edificio, un'antica torre medievale, è caratterizzato da un piccolo volume riscaldato, perciò la differenza non è così sensibile.
La convenienza finanziaria e ambientale delle misure di riqualificazione energetica è analizzata attraverso due parametri: il tempo di ritorno dell'investimento e il costo di abbattimento della CO_2.
Il payback time è un fattore legato agli investimenti fatti dal proprietario e misura la convenienza finanziaria della soluzione tecnologica. In questo caso è stato calcolato prendendo in considerazione gli incentivi nazionali nella forma delle detrazioni fiscali in 10 anni, IVA esclusa, come previsto dalla legge 208/2015, per le misure di efficienza energetica degli edifici[2].
Il costo unitario di abbattimento della CO_2 e un fattore che rappresenta lo sforzo finanziario, legato all'integrazione di misure per l'efficienza energetica, necessario per ridurre le normali emissioni di CO_2 di 1 kg. Questo fattore generalmente si usa per paragonare investimenti su risorse energetiche rinnovabili differenti o misure di efficienza energetica non direttamente comparabili.
Il grafico 3 mette in luce la convenienza finanziaria dell'installazione di misure composite rispetto a singoli interventi di retrofit su specifiche parti dell'involucro edilizio. Come atteso, il tempo di ritorno delle misure individuali è fortemente dipendente dalla forma dell'edificio e dall'estensione, quindi dal costo, dell'installazione. Questo risulta evidente sulle misure di isolamento delle murature perché il fattore di contiguità e l'altezza degli edifici è piuttosto variabile tra i casi studio analizzati. Al contrario la percentuale di aperture invece, è abbastanza ricorrente tra le facciate degli edifici.
Come prevedibile il tempo di ritorno dell'investimento relativo alla connessione delle abitazioni alla rete di teleriscaldamento è più breve delle altre soluzioni di retrofit ma anche i tre scenari compositi hanno un tempo di ritorno al di sotto dei 10 anni. Sicuramente questo è conseguente al basso costo del kWh di energia termica prodotto dalla rete, dovuto all'accordo stipulato tra l'amministrazione comunale e la compagnia che gestisce il pozzo geotermico.



GRA 1 |

ered, as well as summer cooling load. Because of the thickness of external walls, in some cases over 100 cm, heated surfaces and volumes are calculated from inside. Contiguity of each building with others beside was calculated as a percentage of free external surface. Qualifying features of case studies and simulated initial energy demand and emissions are expressed in table 2.

Selection of energy retrofit technologies
Technologies for the reduction of energy losses through the building envelope were chosen for their compatibility with possible refurbishment activities on the same buildings as meant to be included in a whole building renovation plan. In fact, the experience of Geothermal Communities project demonstrated that building owners willingness to pay for extra energy saving measures is always linked to the necessity of reno-



GRA. 2 | Emissioni di CO_2 relative all'integrazione di differenti misure di risparmio energetico sugli edifici campione [ton CO_2/anno]

CO_2 emissions related to the integration of different retrofit measures on buildings [ton CO_2/year]

GRA. 3 | Tempo di ritorno delle single misure di retrofit energetico e degli scenari compositi

Payback time of the selected retrofit measures and scenarios

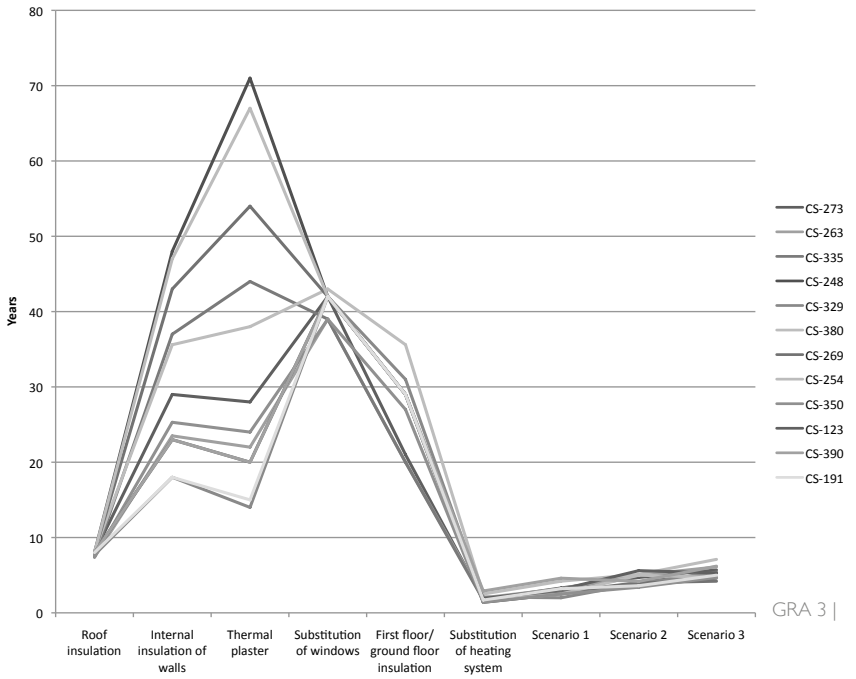
In termini di tempo di ritorno dell'investimento, l'isolamento della copertura è l'unico intervento comparabile ai tre scenari compositi.

Il grafico 4 mostra che, in termini generali, l'andamento del costo di abbattimento della CO_2 ha un trend molto simile a quello del tempo di ritorno dell'investimento che dimostra la convenienza di scenari di intervento edificio-impianto. Il costo legato ai benefici ambientali delle singole misure di retrofit energetico è fortemente variabile perché dipende da i) la tipologia di fonte inizialmente utilizzata per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria, che si riflette sulla riduzione delle emissioni di CO_2 e ii) la superficie di estensione dell'intervento tecnologico che si riflette sul costo della misura di retrofit. Negli edifici più antichi, il volume e le caratteristiche dell'involucro edilizio, riducono l'efficacia anche nel caso di interventi compositi.

Conclusioni

L'esperienza del comune di Montieri dimostra che nel caso di centri storici minori, in presenza di una rete di teleriscaldamento alimentata da fonte rinnovabile, è preferibile considerare la possibilità di intervenire con interventi sull'impianto invece di implementare misure di riqualificazione energetica profonda degli edifici che potrebbero irrimediabilmente danneggiare il patrimonio esistente. Sicuramente in questo specifico caso la presenza della risorsa geotermica nel territorio e le speciali condizioni sul costo del vapore geotermico giocano un grande ruolo nel costo efficacia delle installazioni.

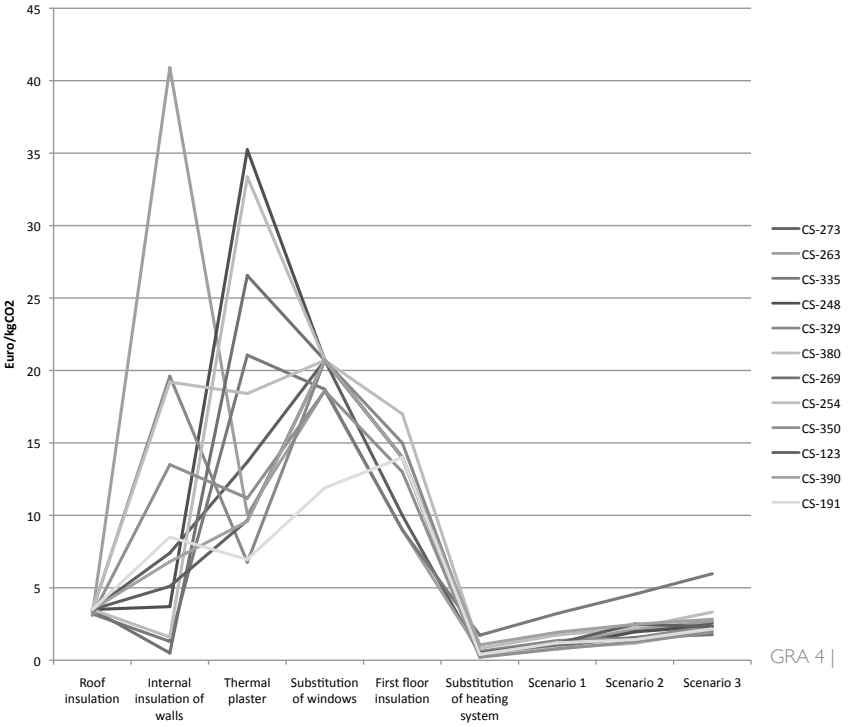
Le caratteristiche degli edifici tradizionali locali non lasciano grandi possibilità di realizzare profondi e più efficaci interventi di retrofit energetico senza compromettere la vivibilità degli spazi interni oppure l'aspetto delle facciate e delle coperture.



GRA. 3 |

vating buildings otherwise individual financial efforts are rarely addressed to the energy efficiency purpose only. Table 3 outlines the characteristics and unit costs of the selected energy retrofit measures. All measures are compatible with existent buildings and are meant to not alter the external appearance of roof eaves and ridges, of facades, to not modify urban alignments, window openings and frame size and materials. To this purpose external insulation of walls is not taken into account and thicknesses of insulating materials are chosen according to the necessity of not reducing indoor spaces that are already of minimal size due to the thickness of old load bearing masonry walls.

Costs of retrofitting measures include the extra-cost for the insulating material and installation, and all finishing layers necessary for completing the intervention, whereas scaffolding or related



GRA. 4 | Costo di abbattimento delle emissioni di CO_2 relativo all'installazione delle tecnologie di retrofit energetico
CO_2 abatement cost of the installation of retrofitting technologies

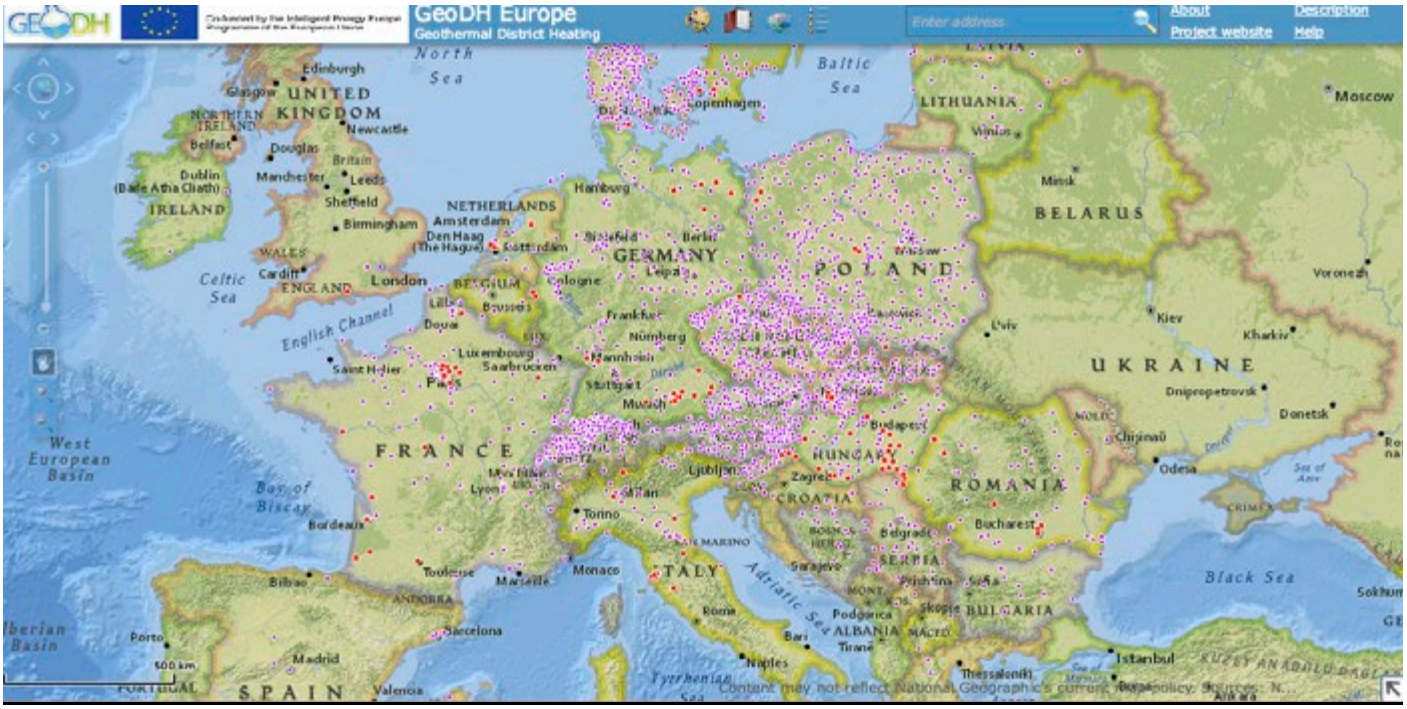
GRA 4 |

Altre tipologie edilizie e differenti condizioni di disponibilità e costo di fonti rinnovabili potrebbero produrre risultati differenti. Gli autori ritengono di grande importanza proseguire l'analisi considerando differenti tipologie di impianto e differenti scenari compositi per confrontare i risultati di questo studio con situazioni più comuni in ambito europeo.
Ciononostante, la diffusione di reti di teleriscaldamento in Europa, e il recente incremento di quelle alimentate a energia geotermica, dimostrano buone potenzialità per ridurre le emissioni nei contesti di interesse storico facendo leva sulla fornitura di energia pulita invece di investire principalmente in misure di retrofit profondo per ridurre il fabbisogno energetico a scala di edificio.
Sulla base del potenziale geotermico europeo, nei 28 paesi dell'Unione Europea si attende una espansione considerevole del settore delle reti di teleriscaldamento entro il 2050. Secondo i dati divulgati dal rapporto annuale EGEC (EGEC, 2015), mediante l'installazione di nuove reti di teleriscaldamento l'energia geotermica potrà essere disponibile per più del 25% della popolazione Europea. L'immagine 1 mostra le reti di teleriscaldamento già presenti in Europa, geotermiche e non. I punti più scuri indicano le reti alimentate a fonte geotermica, quelli più chiari tutte le altre.
La mappa fornisce un'idea della potenziale replicabilità di studi di questo tipo. Infatti, ulteriore ricerca è necessaria per comprendere l'efficacia economica e ambientale di simili approcci basati sulla connessione degli edifici antichi alle reti di teleriscaldamento, magari alimentate da differenti mix di fonti rinnovabili.
Entro Aprile 2017, gli Stati Membri devono presentare alla Commissione Europea l'aggiornamento delle strategie nazionali di

refurbishment works are not included. V.A.T. is not included as well. Unit costs are derived from regional price lists of building materials and works, publicly available for public tenders.
Three composed scenario were also defined to analyse cost-effectiveness of a combination of retrofitting measures for the building envelope with the substitution of heating and domestic hot water system. Cost were calculated by the sum of single interventions and the individual cost of installation of the heat exchangers at unit level, considering the number of flats within each building.

Fuel costs and CO_2 emissions
The reference source of information for initial fuel cost is the public portal of the Authority for the protection of interests of enterprises, crafts and consumers of Grosseto province (Camera di Commercio di Grosseto). CO_2 emissions related to each fuel type derive from regional and national databases. The unit cost of heating from geothermal district heating network derives from the decision of the municipality of local tariffs whereas CO_2 emissions are considered negligible because equal to those naturally exhaled by the soil if the steam wasn't employed in electricity production and because the systems uses a wasted heat from the power plant. Fuel related data are summarised in table 5.

Results and discussion
The retrofitting measures and the composed scenarios were applied to the 12 selected case studies.
Graph 1 shows that, overall, the integration of single retrofit measures doesn't reduce effectively the energy demand of a building, whereas the substitution of heating system, given the high efficiency of the district heating network compared to existent heating and hot water systems, already makes a sensible difference. The three proposed scenarios of combined measures progressively decrease the energy demand without large differences from scenario 1 to 3.
A similar trend is demonstrated in the reduction of CO_2 emissions (graph 2), with some differences due to the original heating and domestic hot water resource in each building, that count differently for CO_2 emissions. The case study CS-335 doesn't show a deep drop of energy demand and CO_2 emissions with the installation of heat exchangers at dwelling level because this building, a listed old medieval tower, is characterised by very small heated volumes, so the difference is not that sensible.
The financial effectiveness of energy retrofit measures is analysed by two parameters: the payback time and the CO_2 abatement cost.
The payback time is a factor linked to the investment made by the building owner and it is a measure of the financial convenience of the technological solution. In this case it was calculated taking into account the national incentives in the form of tax deduction in ten years, V.A.T. excluded, to be refunded to the applicants with annual rate, as foreseen by the law 208/2015, for energy efficiency measures on buildings[2].
The unit of CO_2 abatement cost is an economical factor that represents the financial effort, linked to the integration of energy efficiency measures, made to reduce the usual emissions of CO_2 by 1kg. This factor is generally used to compare investments on different renewable energy resources or energy efficiency measures non-directly comparable.
Graph 3 highlights the financial convenience of the installation of combined



01 | Mappa della diffusione delle reti di teleriscaldamento in Europa: i punti più scuri indiano le reti alimentate da energia geotermica gli altri quelle alimentate da altre tipologie di fonti (http://map.mfgi.hu/geo_DH/)

Map of the spread of district heating in Europe: dots highlight district heating networks already installed (http://map.mfgi.hu/geo_DH/)

riqualificazione energetica del patrimonio costruito. Ogni paese dovrà definire gli standard di prestazione energetica e le misure di implementazione predisposte dai governi centrali. Dove ampie aree urbane sono rappresentate da edifici di interesse culturale, qualora vi sia la presenza di reti di teleriscaldamento, potrebbe essere interessante considerare l'implementazione degli obiettivi nazionali attraverso iniziative che permettano di integrare misure di retrofit energetico e di miglioramento del comfort indoor, rispettose delle caratteristiche del patrimonio storico, con interventi di tipo impiantistico che aumentino la quota di fornitura di energia da fonte rinnovabile.

NOTE

[1] Edificio schedato: edificio inserito nell'elenco della Soprintendenza ai Beni Architettonici e del Paesaggio della provincia di Siena e Grosseto, nel documento Elenco degli immobili o complessi edilizi di particolare valore nei centri abitati, ai sensi della L.R. 21 Maggio 1980 n.59. Edificio di valore culturale: edificio inserito come invariante strutturale nel regolamento urbanistico comunale, nel documento "Schede di sintesi del patrimonio edilizio esistente nei centri storici e nei tessuti consolidati"

[2] In questa sede è stata considerata una riduzione delle tasse del 36%, come previsto dalla legge 208/2015 a partire dal 1° Gennaio 2017, il medesimo orizzonte temporale della consegna della V.2 delle srategie nazionali di riqualificazione del costruito che gli stai membri dovranno consegnare alla Commissione Europea.

measures in respect of single retrofitting works on specific parts of the building fabric. As expected, the payback time of single measures is strongly dependent on the building shape and on the extension, hence the cost, of the installation. It is evident for wall insulation technologies because the contiguity factor and building height is quite variable among the case studies analysed. The percentage of openings instead, is recurrent on building facades, as well as roof and first floor surfaces ratio.

As expected the payback time of the connection of the dwellings to the district heating is shorter than all other solutions but also all the three composed scenarios are well below the ten years of payback period. This is certainly due to the very convenient deal between the municipality and the energy company for the cost of the geothermal resource that is reflected on the cost of the kWh of heat produced by the geothermal district heating plant.

In all cases, roof insulation is the only technical installation that is comparable to the three comprehensive scenarios in terms of payback time.

Graph 4 shows that, in general terms, the CO_2 abatement cost display a similar trend, with a higher convenience for composed retrofitting scenarios that include the connection of the dwellings to the district heating network. The cost linked to the environmental benefit of individual retrofitting measures is highly variable because it is dependent on i) initial heating and domestic hot water resource, that is reflected on the reduction of CO_2 emissions and ii) the area of the retrofit installation that is reflected in the final cost of the intervention. In very old buildings, the specific volume and fabric characteristics affect even the benefit of composed interventions. Even in this case the calculation of the cost of the technical installation took into account the above-mentioned national incentives.

Conclusions

The experience of the Municipality of Montieri shows that in the case of small historic town centres it is worth considering the possibility of intervening with clean renewable energy resources before undertaking deep energy retrofit for building fabrics that may irreversibly damage the historic built environment. Indeed, the presence of the geothermal resource in the territory and the special financial condition to which the steam is sold play a great role in the cost-effectiveness of the installations in Montieri.

The characteristics of local old fabrics don't leave much room for deep, and more effective, energy retrofit installations without compromising the liveability of indoor spaces or the appearance of building façades. Certainly other historic building types and different financial condition for renewable energy resources may produce different results. Authors consider of high relevance to carry on further analysis taking into account different building systems and composite retrofit scenarios to compare the results of this specific study with more common situation in other European countries.

Nevertheless, the diffusion of district heating networks in Europe, and the recent growth of geothermal ones, reveals a high potential for decarbonising the historic built environment by leveraging on clean energy supply instead of boosting deep building measures.

Based on Europe's geothermal potential, a considerable expansion of the district heating sector is expected in the EU-28

REFERENCES

Moschella, A., Salemi, A., Lo Faro, A., Sanfilippo, G., Detommaso, M.B. and Privitera, A. (2013), "Historic buildings in Mediterranean area and solar thermal technologies: architectural integration vs preservation criteria", *Proceedings of The Mediterranean Green Energy Forum 2013, Energy Procedia,* Vol. 42, 416-25.

Fabbri, K. (2013), "Energy incidence of historic building: Leaving no stone unturned", *Journal of Cultural Heritage,* Vol. 14S, pp. e25-e27.

Polo Lópeza, C.S. and Frontinia, F. (2014), "Energy efficiency and renewable solar energy integration in heritage historic buildings", *Proceedings of International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, Freiburg, Germany, September 23-25, 2013*, *Energy Procedia,* Vol. 48, pp. 1493-1502.

Alev, U., Eskola, L., Arumägi, E., Jokisalo, J., Donarelli, A., Siren, K., Broström, T. and Kalamees T. (2014), "Renovation alternatives to improve energy performance of historic rural houses in the Baltic Sea region", *Energy and Buildings,* Vol. 77, pp. 58-66.

DIRETTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (rifusione)

Zagorskas, J., Paliulis, G. M., Burinskienė, M., Venckauskaitė, J. and Gediminas, V. (2013), "Energetic Refurbishment of Historic Brick Buildings: Problems and Opportunities", *Environmental and Climate Technologies,* DOI: 10.2478/rtuect-2013-0012

Zvingilaite, E. and Balyk, O. (2014), "Heat savings in buildings in a 100% renewable heat and power system in Denmark with different shares of district heating", *Energy and Buildings,* Vol. 82, pp. 173-86.

Connolly, D., Lund, H., Mathiesen, B.V., Werner, S., Möller, B., Persson, U., Boermans, T., Trier, D., Østergaard, P.A. and Nielsen, S. (2014), "Heat Roadmap Europe: Combining district heating with heat savings to decarbonise the EU energy system", *Energy Policy,* Vol. 65, pp. 475-89.

EGEC (2015), "European Geothermal Energy Council market report 2013/2014 update", available at: http://egec.info/media/ (accessed 29 February 2016)

Progetto geo_DH (2016), "Map of the spread of district heating in Europe", available at: http://map.mfgi.hu/geo_DH/ (accessed 29 February 2016)

until 2050. The EGEC annual report (EGEC, 2015) states that geothermal heat through future district heating systems could be available for more of 25% of the EU population. Image 1 show the district heating networks already built in Europe, either geothermal systems or not. Darker dots indicate geothermal district heating networks, clearer ones all the others. This map provides an idea of the potential replication of studies of this type. In fact, clearly the case of Montieri is very specific, but further research is needed to understand the economic and environmental effectiveness of similar approaches based on buildings connection to district heating networks fuelled by other share of renewable resources integrated with energy retrofit measures.

In April 2017, Member States are asked to present to the European Commission the upgraded version of national energy renovation strategies for the existing building stock. Every country will be asked to define energy efficiency standards and implementation measures that will be supported by national governments. Where large part of the building stock is represented by historical buildings, such as city centres in Italy and Europe, in case of the presence of district heating networks, it could be interesting developing new initiatives aimed at the implementation of national energy efficiency objectives, able to integrate energy retrofit and comfort improvement measures, respectful of the characters of local heritage, with intervention on building plants that increase the share in the exploitation of renewable energy sources.

NOTES

[1] Listed building: building in the list of Soprintendenza ai Beni Architettonici e del Paesaggio della provincia di Siena e Grosseto, in the document Elenco degli immobili o complessi edilizi di particolare valore nei centri abitati, related to L.R. 21 Maggio 1980 n.59. Culturally relevant: building set as invariante strutturale in the urban regulation of Montieri, as listed in in the document "Schede di sintesi del patrimonio edilizio esistente nei centri storici e nei tessuti consolidati"

[2] Tax deduction by 36% are considered here, as set by law 208/2015 from 1st of January 2017, same horizon as national renovation strategies v.2 to be submit by Member States to the European Commission