

Giulio Zuccaro, Direttore del Centro Studi PLINIVS, Università di Napoli Federico II  
Mattia Federico Leone, Dipartimento di Architettura, Università di Napoli Federico II

zuccaro@unina.it  
mattia.leone@unina.it

**Abstract.** L'articolo illustra parte dei risultati del progetto SPeeD, finanziato da UE, Regione Campania e Dipartimento Nazionale di Protezione Civile. La ricerca è finalizzata alla definizione di scenari di impatto conseguenti ad una eruzione del Vesuvio e dei Campi Flegrei, nonché allo sviluppo di strategie per la riduzione del danno sull'ambiente costruito. I temi legati all'individuazione di soluzioni tecniche per la mitigazione dell'impatto su edifici e infrastrutture, ai benefici socio-economici derivanti da interventi diffusi sul territorio, nonché alla redazione di linee guida propedeutiche all'implementazione di normative locali per le aree a rischio vulcanico, sono stati sviluppati presso il Centro Studi PLINIVS dell'Università di Napoli Federico II. Lo studio è teso a dimostrare come l'applicazione di tecnologie appropriate per interventi di retrofit o nuova edificazione, finalizzate a ridurre la vulnerabilità degli organismi edilizi, rappresenti allo stesso tempo un'opportunità per incentivare una riqualificazione diffusa del territorio orientata ai principi energetici e ambientali.

**Parole chiave:** Mitigazione del rischio vulcanico, Resilienza urbana, Retrofit tecnologico, Efficienza energetica, Sicurezza, Normativa

## Background

Il tema della vulnerabilità dell'ambiente costruito ai rischi naturali ha acquisito un ruolo di primo piano negli ultimi anni, grazie all'accresciuta consapevolezza delle relazioni esistenti tra l'accelerazione dei cambiamenti climatici, l'aumento del numero di eventi calamitosi in aree densamente popolate e le implicazioni negative dell'incontrollata crescita urbana sulla capacità di resilienza dell'ambiente naturale.

Si è compreso come i danni prodotti da eventi eccezionali siano fortemente amplificati dall'elevata esposizione al rischio degli insediamenti urbani, ma allo stesso tempo nei processi di progettazione e pianificazione urbana sono spesso trascurati alcuni aspetti chiave orientati alla mitigazione del rischio, quali l'uso compatibile del suolo, la delocalizzazione delle aree residenziali e delle attività produttive, il miglioramento della resistenza mecca-

nica di sistemi tecnologici e componenti edilizi, il potenziamento di infrastrutture verdi.

Ciò nonostante, nell'ultimo decennio il concetto di resilienza urbana – genericamente definito come «la capacità del sistema (urbano) e dei suoi componenti di anticipare, assorbire, accogliere, o recuperare dagli effetti di un evento potenzialmente pericoloso in modo tempestivo ed efficiente, garantendo la conservazione, il ripristino o il miglioramento delle sue strutture e funzioni di base essenziali» (Field et al., 2012) – si è affermato a livello internazionale come importante principio guida in relazione ai temi della sostenibilità e dell'innovazione, fino a connotarsi come condizione essenziale per la realizzazione di *green buildings* ed *eco-districts* (Godschalk, 2003; Coaffee, 2008; Otto-Zimmermann, 2012).

Da questo punto di vista emerge l'importanza di inquadrare le azioni di mitigazione dell'impatto dei rischi naturali sul costruito in un contesto più ampio di azioni di retrofit tecnologico degli edifici orientato alla resilienza del sistema urbano, puntando a realizzare interventi integrati sul costruito che puntino a massimizzare i benefici economici, ambientali e sociali a partire dai fattori di criticità e dalle potenzialità del contesto territoriale.

Gli effetti delle eruzioni vulcaniche sull'ambiente costruito sono stati ampiamente indagati negli ultimi anni, portando alla definizione di un quadro globale di studi, modelli e simulazioni che comprendono i diversi fenomeni eruttivi e i loro possibili impatti sul territorio. Tuttavia, al fine di definire una metodologia di progettazione orientata al retrofit tecnologico di edifici e alla rigenerazione dei sistemi urbani in aree vulcaniche ad altro rischio è richiesto un approccio metodologico in grado di restituire la complessità degli scenari eruttivi in rapporto alle caratteristiche

The mitigation of volcanic risk as opportunity for an ecological and resilient city

**Abstract.** The paper outlines some of the results of SPeeD project, funded by EU, Campania Region and National Department of Civil Protection. The research is aimed at the definition of impact scenarios resulting from the eruption of Vesuvius and Campi Flegrei and the development of strategies to reduce the damage on the built environment.

The issues related to the identification of technical solutions for mitigating the impact on buildings and infrastructure, to the socio-economic benefits arising from widespread interventions on the territory, as well as to the drafting of preparatory guidelines for the implementation of regional regulations and local building codes for volcanic risk-prone areas, have been developed at PLINIVS Study Centre of University of Naples Federico II.

The methodological approach for the definition of appropriate technologies aimed at reducing the impact in relation

to eruptive phenomena and construction types in the area is based on PLINIVS Volcanic Impact Simulation Model, a unique tool to define impact scenarios consequent to a volcanic eruption in the region, able to evaluate the cumulative effects given by the action of volcanic phenomena, such as earthquake, ash fall, pyroclastic flows and landslides.

The study aims to demonstrate how the application of appropriate technologies for retrofit interventions or new constructions, aimed at reducing the vulnerability of building components, represents at the same time an opportunity to encourage a diffuse redevelopment of the territory driven by energy and environmental efficiency issues.

**Keywords:** Mitigation of volcanic risk, Urban resilience, Technological retrofit, Energy efficiency, Safety, Building code

## Background

In recent years, the awareness about vulnerability of built environment to natural hazards has grown, also because of the increase of disastrous events in densely populated areas, as a consequence of both climatic changes acceleration and uncontrolled urban growth with negative implications on the resilience capacity of the natural environment. Damages produced by exceptional events are strongly amplified by the high exposure of urban settlements where key issues connected to risk mitigation, such as compatible land use, delocalization of residential areas and productive activities, improvement of mechanical strength of building components and technological systems, improvement of green infrastructures, are still often neglected in urban planning and building design practice.

degli insediamenti, in modo da evidenziare l'efficacia delle soluzioni tecniche per la mitigazione degli impatti attesi e i benefici socio-economici derivanti da interventi diffusi sul territorio.

Scenari eruttivi complessi, quali ad esempio eruzioni Pliniane o Sub-Pliniane, producono impatti estremamente variabili sulle costruzioni e dipendono dalla specifica "time-history" dell'evento, dalle tipologie edilizie ricorrenti sul territorio e del loro grado di vulnerabilità. Tale approccio è stato recentemente formalizzato per analizzare gli effetti di un'eruzione Sub-Pliniana del Vesuvio e dei Campi Flegrei (Zuccaro et al., 2008) attraverso lo sviluppo di un modello GIS per la simulazione dinamica di scenari di impatto, in grado di valutare la distribuzione del danno cumulato nel tempo e nello spazio derivante dai diversi fenomeni eruttivi, quali terremoti, flussi piroclastici e caduta di cenere.

Il *PLINIVS Volcanic Impact Simulation Model* è stato sviluppato nell'ambito di diversi progetti nazionali e internazionali quali Exploris (EU-FP6) e SPeeD (Convenzione fra Dipartimento Nazionale di Protezione Civile, Regione Campania e Centro Studi PLINIVS).

### **Vulnerabilità ai rischi naturali e resilienza dei sistemi urbani**

esposte al rischio è strettamente legato alla definizione di linee guida e norme tecniche per le costruzioni in grado di garantire una corretta gestione del territorio, una pianificazione urbanistica coerente e una progettazione edilizia improntata alla sicurezza, supportata da specifiche normative regionali e regolamenti edilizi locali.

L'obiettivo di riduzione degli impatti prodotti da un'eruzione vulcanica sul patrimonio costruito e sugli abitanti nelle aree

Nevertheless, in the last decade researchers and professionals worldwide started to introduce the concept of urban resilience – generally defined as «the ability of the system and its component parts to anticipate, absorb, accommodate, or recover from the effects of a hazardous event in a timely and efficient manner, including through ensuring the preservation, restoration, or improvement of its essential basic structures and functions» (IPCC, 2012) – as an important guiding principle in relation to issues of sustainability and building innovation, to become an essential condition for the realisation of *green buildings* and *eco-districts* (Godschalk, 2003; Coaffee, 2008; Otto-Zimmermann, 2012).

The effects of a volcanic eruption on a built environment have been thoroughly investigated in the last years,

defining a comprehensive framework of studies, surveys, and simulations that include all the different eruptive phenomena and their possible impacts on existing buildings and infrastructure. Nevertheless, to define a design-oriented methodology for the technological retrofit of structures in volcanic high risk-prone areas, a broader approach able to tackle the complexity of the eruptive scenarios in relation to the characteristics of the settlements, in order to highlight the effectiveness of the technical solutions to mitigate the expected impacts and socio-economic benefits arising from widespread interventions might be needed (Zuccaro and Leone, 2012).

Complex eruptive scenarios, such as a sub-Plinian or Plinian eruptions, produce extremely variable impacts on constructions depending on the specific time history of the event, on

Anche in caso di eventi vulcanici particolarmente distruttivi, la sicurezza delle vite umane e di buona parte degli edifici nelle aree colpite può essere accresciuta dall'applicazione di strategie di mitigazione sull'esistente in funzione dei diversi fenomeni eruttivi, nonché dalla scelta di tecnologie appropriate in caso di interventi di nuova edificazione o di demolizione/ricostruzione di edifici, finalizzate a ridurre la vulnerabilità degli organismi edilizi.

Di qui la necessità di predisporre un apparato normativo che, a partire dalla conoscenza approfondita delle complesse dinamiche legate ad un evento eruttivo, definisca i principi fondamentali legati all'uso dei suoli e alla salvaguardia dell'assetto naturale delle aree prossimali al cratere, ma anche i requisiti fondamentali per le costruzioni in zona vulcanica in relazione alla destinazione d'uso e alle differenti tipologie edilizie.

Gran parte delle aree vesuviana e flegrea risulta già interessata da restrizioni e vincoli alla trasformazione in virtù delle vigenti normative in materia paesistica e sismica, con la presenza dei Parchi del Vesuvio e dei Campi Flegrei. Tale limitazione riguarda tuttavia unicamente le nuove costruzioni e all'interno del panorama normativo resta difficile definire indirizzi tecnici e progettuali per la riduzione della vulnerabilità dell'esistente. In relazione alle caratteristiche costruttive degli edifici è possibile definire il danno atteso in seguito all'eruzione e le possibili strategie di mitigazione da attuare che, agendo sui fattori di vulnerabilità specifici di elementi strutturali e di involucro, permettono di aumentare le probabilità di resistere agli impatti e di ridurre in maniera significativa il numero di persone interessate dall'evacuazione (Unali, 2013).

the building typologies, and on their level of vulnerability.

This specific approach has been recently formalized to evaluate the impact of a sub-Plinian eruption in the Vesuvius and Campi Flegrei area (Zuccaro, 2010; Zuccaro et al., 2008) through the development of a GIS model for the dynamic simulation of impact scenarios, able to evaluate the cumulative damage distribution in time and space from different eruptive phenomena, such as earthquakes, pyroclastic flows and ash fall.

PLINIVS Volcanic Impact Simulation Model was developed within several national and international projects such as Exploris (EU-FP6) and SPeeD (Agreement between National Department of Civil Protection, Campania Region and PLINIVS research center).

### **Vulnerability to natural hazards and resilience of urban systems**

The objective of reducing the impacts produced by a volcanic eruption on the built environment and people living in risk-prone areas is closely related to the definition of guidelines and technical standards for construction able to ensure a proper land management, a coherent urban planning and a safety-oriented building design, supported by specific regional regulations and local building codes.

Even in the case of particularly destructive volcanic events, the protection of human lives, buildings and infrastructure in the affected areas can be significantly strengthened through the implementation of mitigation strategies on the built environment in relation to the various eruptive phenomena, as well as the choice of appropriate technologies

Nei principali “scenari di mitigazione” individuati (cfr. Zuccaro and Leone, 2012), utili allo sviluppo di normative locali, le priorità di intervento sono legate ad alcune azioni strategiche, quali:

- adeguamento sismico degli edifici prospicienti le vie di fuga in caso di evacuazione, in modo da rendere più efficienti le operazioni di gestione dell'emergenza nella fase di *unrest* caratterizzata dalla presenza di eventi sismici precursori dell'eruzione (di magnitudo attesa tra 4 e 5,5 MCS), limitando il rischio di interruzioni dei percorsi dovute a crolli e presenza di detriti sulle strade;
- consolidamento delle coperture o sovrapposizione di coperture inclinate per la protezione dai danni da caduta di cenere, in particolare per le aree non interessate da colate piroclastiche, più distanti dal cratere, per cui sono attesi comunque sovraccarichi compresi tra 500 e 1400 kg/m<sup>2</sup>;
- misure per la protezione di strutture, tamponature e aperture dall'impatto di flussi piroclastici in zona rossa (stress termici fino a 450°C e meccanici compresi tra 0,5 e 10 kPa), in particolare per edifici strategici (quali ospedali, scuole, caserme, stazioni ferroviarie) per la gestione dell'emergenza post-eruzione.

Un interessante caso applicativo sviluppato nell'ambito della ricerca SPeeD riguarda la stima del costo degli interventi di mitigazione da attuare sulle coperture degli edifici nei comuni recentemente inseriti nella “zona rossa 2” del Vesuvio che, pur non essendo interessati dal rischio di colate piroclastiche, sono da evacuare in caso di eruzione a causa della particolare entità dei danni attesi per caduta di cenere: Poggiomarino, Scafati, Palma Campania e S. Gennaro Vesuviano (Fig. 1).

in new construction or demolition / reconstruction interventions, aimed at reducing the vulnerability of building components. Hence the need for a regulatory framework that, starting from the thorough understanding of the complex dynamics related to an eruptive event, outlines the basic principles related to land use, protection and maintenance of the natural areas proximal to the crater, but also the basic construction requirements for volcanic areas in relation to the different types of buildings and their intended use.

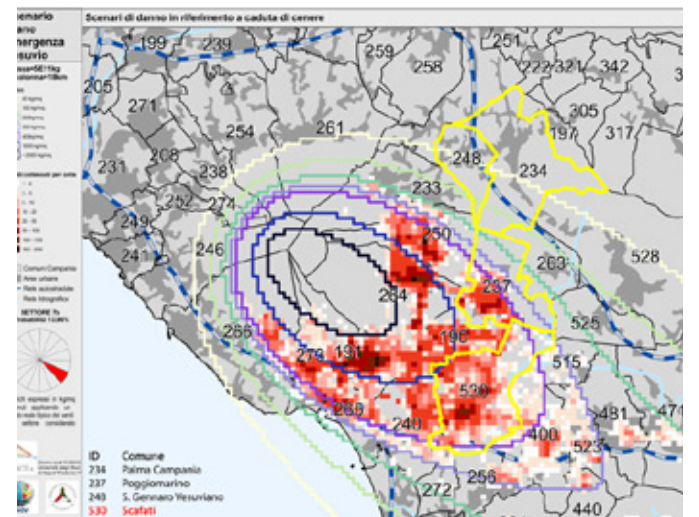
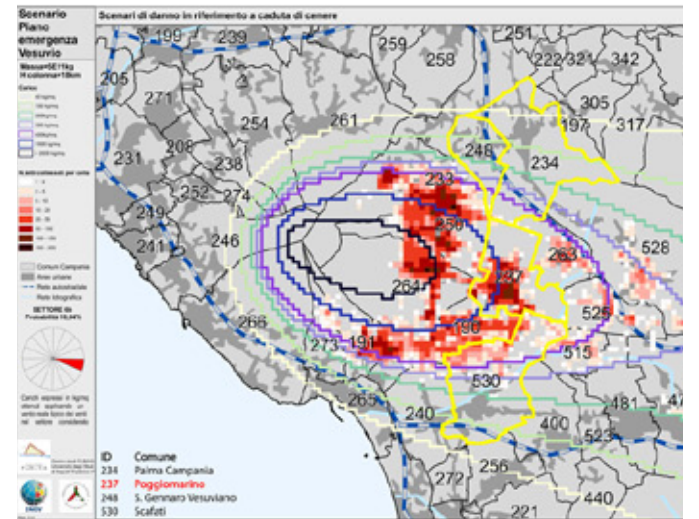
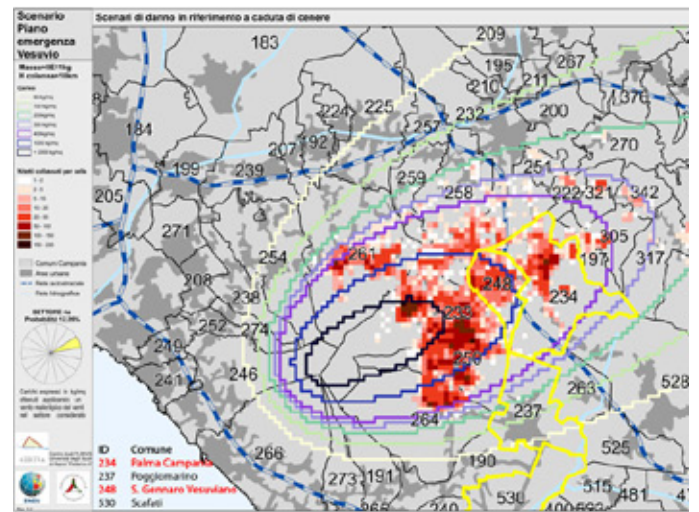
In most of the Vesuvius and Campi Flegrei areas specific restrictions and constraints on the transformation apply, under the current landscape and seismic regulations, with the presence of Mount Vesuvius and Campi Flegrei Parks. This limitation, however, applies only to new construction, and in

the regulatory field the definition of technical and design guidelines for reducing the vulnerability of the existing building stock still remains difficult.

In relation to the structural features of the buildings it is possible to define the expected damage following the eruption and the possible mitigation strategies to be implemented which, acting on the vulnerability factors of specific structural and envelope components, allow to increase the chances of resisting to the impacts and to significantly reduce the number of people involved in the evacuation (Unali, 2013).

In the main “mitigation scenarios” identified (see Zuccaro and Leone, 2012), useful for the development of local regulations, priority interventions are linked to some strategic actions, such as:

- Seismic upgrading of buildings facing emergency escape routes, thus



01 | Scenari di impatto da caduta di ceneri nei 4 comuni della “zona rossa 2” del Vesuvio

Ash fall impact scenarios in Vesuvius “red zone 2” municipalities

Vuln. classes	Roofing type	Load kPa	Collapse prob. %
A_COP	Weak pitched wooden roof	2.0	50
B_COP	Standard wooden flat roof; Flat floor with steel beams and brick vaults; Sap floors	3.0	50
C1_COP	Flat floor with steel beams and hollow bricks; R.C flat slab (more than 20 year old)	5.0	60
C2_COP	R.C flat slab (less than 20 year old); Last generation R.C. flat slab	7.0	51
D_COP	Last generation R.R. pitched slab; Last generation steel pitched roof	12.0	50

TAB. 1 |

Municipality	Roofing surfaces per vulnerability class (m <sup>2</sup> )					Total	Wind sector	Max. load (kg/m <sup>2</sup> )	Expected collapses	% of total buildings
	A_COP	B_COP	C1_COP	C2_COP	D_COP					
Poggiomarino	17.363	101.019	640.828	140.420	31.952	<b>931.582</b>	6B	1.300	3.439	93%
Scafati	41.301	222.125	1.288.035	363.871	71.370	<b>1.986.701</b>	7B	1.100	4.001	62%
Palma Campania	23.302	125.741	534.785	109.961	23.863	<b>817.652</b>	4A	1.000	2.274	79%
S. Gennaro Vesuviano	12.427	70.959	417.870	105.942	26.353	<b>633.551</b>	4A	1.400	2.073	97%
<b>TOTAL</b>						<b>4.369.486</b>				

TAB. 2 |

All'interno di ciascun comune è definito il numero di edifici esistenti in relazione alla classe di vulnerabilità delle coperture, alla quale corrisponde la capacità intrinseca della struttura di resistere al sovraccarico da cenere (Tab. 1).

I dati di inventario considerati (Tab. 2) sono relativi a 15.124 edifici per 4.369.486 m<sup>2</sup> complessivi di coperture. Il numero di collassi stimati, oltre che dal sovraccarico specifico, è determinato dalla distribuzione sul territorio delle tipologie di coperture rispetto alle curve di isocarico.

Gli interventi di mitigazione (Tab. 3) sono definiti in base alla compatibilità con le tipologie costruttive esistenti e dimensionati in rapporto al carico massimo atteso per ciascun comune a seconda del settore di vento ipotizzato.

I risultati economici della simulazione sono riportati in Tab. 4.

Ash overload (Kg/m <sup>2</sup> )	Sloped roof overlapping (€/m <sup>2</sup> )	Strengthening with fiber-reinforced composites (€/m <sup>2</sup> )		
		C1	C2	D
2000	180	150	125	100
1500	140	125	100	85
1000	120	100	85	70
800	105	80	70	0
500	85	65	50	0
Compatibility with roofing vulnerability class	A, B, C1	C1	C2	D

TAB. 3 |

Municipality	A_COP	B_COP	C1_COPmin	C1_COPmax	C2_COP	D_COP	Total (min.)	Total (max.)
Poggiomarino	2.099.203	12.213.201	68.536.569	77.476.121	12.406.073	2.377.223	<b>97.632.269</b>	<b>106.571.821</b>
Scafati	3.200.798	17.214.673	83.851.077	99.822.710	19.176.024	3.097.439	<b>126.540.010</b>	<b>142.511.643</b>
Palma Campania	2.208.999	11.920.293	42.248.029	50.697.635	8.686.886	1.885.171	<b>66.949.379</b>	<b>75.398.985</b>
S. Gennaro Vesuviano	1.627.261	9.292.086	48.640.085	54.720.096	9.762.541	2.044.990	<b>71.366.963</b>	<b>77.446.974</b>
<b>TOTAL (€)</b>	<b>9.136.261</b>	<b>50.640.253</b>	<b>243.275.760</b>	<b>282.716.562</b>	<b>50.031.523</b>	<b>9.404.823</b>	<b>353.352.359</b>	<b>401.929.423</b>

TAB. 4 |

TAB. 1 | Vulnerabilità delle tipologie di copertura ricorrenti in area vesuviana e flegrea  
*Vulnerability of common roofing typologies in Vesuvius and Campi Flegrei areas*

TAB. 2 | Dati di inventario e di impatto per i comuni della "zona rossa 2"  
*Inventory and impact data for Vesuvius "red zone 2" municipalities*

TAB. 3 | Costo parametrico degli interventi di mitigazione secondo i sovraccarichi attesi e le azioni di retrofit ipotizzate  
*Mitigation parametric cost according to the expected overload and the type of intervention*

TAB. 4 | Costo minimo e massimo degli interventi di mitigazione  
*Minimum and maximum cost of mitigation interventions*

La differenza di costo dipende principalmente dalla tipologia di intervento scelta per le coperture di classe C1 (solai latero-cementizi deboli o a putrelle e tavelloni) maggiormente diffusi sul territorio, per i quali la valutazione sulla tipologia di intervento da realizzare è subordinata a verifiche di vulnerabilità più dettagliate. I costi possono a loro volta essere incrementati fino a un massimo del 40% nel caso di integrazione con sistemi per il miglioramento delle prestazioni energetiche (inserimento di isolante termico o realizzazione di tetto microventilato) e per la produzione di energia da fonti rinnovabili (fotovoltaico o solare termico).

Sulla base dei parametri di costo individuati nello sviluppo del *Modello per la valutazione degli impatti economici di scenari eruttivi* (cfr. Zuccaro et al., 2013) è possibile confrontare i costi necessari all'attuazione degli interventi di mitigazione da caduta di ceneri con il "costo evitato" della successiva ricostruzione di edifici crollati. In caso di eruzione del Vesuvio con conseguente caduta di ceneri nel settore corrispondente ad uno dei comuni individuati, la convenienza economica dell'azione di mitigazione per il comune colpito è evidente, poiché i costi evitati di demolizione e ricostruzione sono nell'ordine dei miliardi di euro a fronte di interventi di mitigazione del costo pari ad almeno un ordine di grandezza inferiore. Tuttavia, l'impossibilità di prevedere la direzione del vento al momento dell'eruzione determina un fattore di incertezza tale da non rendere facilmente praticabile simili scenari di mitigazione, che in assenza dell'evento distruttivo rappresenterebbero solo un fattore di costo, privo di benefici aggiuntivi.

Un approccio integrato al tema della resilienza dei sistemi urbani consente di inquadrare gli interventi di mitigazione del ri-

schio vulcanico nell'ambito di una più ampia strategia finalizzata alla riqualificazione energetica del costruito, alla riduzione degli impatti ambientali e del consumo di suolo.

In tale contesto, la necessità di intervenire sul costruito diffuso massimizzando il rapporto costi-benefici richiede che le soluzioni adottate, sia con riferimento agli obiettivi del retrofit energetico che della mitigazione del rischio, si basino su tecnologie consolidate e affidabili.

Una simulazione in tal senso è stata realizzata nell'ambito di studi preliminari legati allo sviluppo del nuovo Regolamento Urbanistico Edilizio nell'ambito di una Convenzione tra il Dipartimento di Architettura dell'Università di Napoli Federico II e il Comune di Poggiomarino, considerando un edificio residenziale campione in cui la mitigazione del rischio da caduta di ceneri è collegata ad un intervento di retrofit energetico che prevede un aumento di cubatura attraverso la realizzazione di un sottotetto abitabile, combinando i benefici economici derivanti dall'aumento di superficie abitabile dell'immobile, dal risparmio energetico per l'isolamento delle coperture e dalla produzione di energia da fotovoltaico.

L'intervento prevede la realizzazione di una copertura inclinata con struttura in *Cold Formed Steel* sovrapposta a quella esistente. Le proprietà meccaniche e la leggerezza dei profili in CFS consentono di realizzare una copertura particolarmente resistente senza un sovraccarico elevato sulla struttura sottostante.

Il pacchetto di copertura, coibentato e microventilato, offre prestazioni energetiche complementari all'intervento di retrofit strutturale.

Ulteriori benefici economici ed energetici derivano dall'inserimento, nella falda esposta a sud, di moduli fotovoltaici ad alta

improving the efficiency of emergency management operations during the unrest phase, characterized by the presence of seismic events precursors of the eruption (magnitude between 4 and 5.5 EMS), reducing the risk of interruptions due to buildings collapse and presence of debris on the roads;

- Structural reinforcement of roofing systems or the superposition of pitched roofs to reduce damages from ash fall, especially for areas more distant from the crater not affected by pyroclastic flows, for which, however, overloads between 500 and 1400 kg/m<sup>2</sup> are expected;

- The introduction of measures for the protection of structures, envelope and openings from the impact of pyroclastic flows (thermal stresses up to 450 °C and non-cyclic loads between 0.5 and 10 kPa) in the red zone, especially for strategic buildings (such as hospitals,

schools, police and railway stations) for post-eruption emergency management. An interesting case study application developed within SPeeD research project concerns the economic evaluation of mitigation measures to be implemented on building roofs in the municipalities recently classified in the Vesuvius "red zone 2" that, even if not affected by the risk of pyroclastic flows, are supposed to be evacuated in case of eruption due to the high probability of ash fall in the correspondent wind sectors and the particular extent of damage expected: Poggiomarino, Scafati, Palma Campania and S. Genaro Vesuviano (Fig. 1).

Within each municipality the number of existing buildings in relation to roofing vulnerability class is defined, corresponding to the intrinsic ability of the structure to withstand the ash overload (Tab. 1). The inventory

data considered (Tab. 2) are referred to 15,124 buildings and 4,369,486 m<sup>2</sup> of roofs. The estimated number of collapses, besides the specific overload, is determined by the spatial distribution of roofing typologies.

Mitigation measures (Tab. 3) are defined according the compatibility with the existing building types and dimensioned in relation to the maximum expected load for each municipality, depending on the wind sector assumed. The results of the simulation are shown in Table 4.

The different cost depends mainly on the type of intervention needed for the roofing class C1 (flat floors with steel beams and hollow bricks or R.C. flat slab more than 20 year old) with a higher diffusion in the area, for which the evaluation of the mitigation action to be implemented is subject to a more detailed vulnerability assessment. The

costs can be further increased up to a maximum of 40% in the case of integration with systems for the improvement of the energy performance (insertion of thermal insulation or micro-ventilated roof) and for the production of energy from renewable sources (PV or solar thermal panels). Based on the cost parameters identified in the development of the *Model for the assessment of economic impacts of eruptive scenarios* (cfr. Zuccaro et al., 2013) it is possible to compare the costs for the implementation of ash fall mitigation measures with the "avoided cost" the reconstruction of collapsed buildings. In the case of the eruption of Vesuvius with ash fall in the wind sector correspondent to one of the municipalities identified, the cost-effectiveness of the mitigation for the affected area is evident, since the avoided costs of demolition and

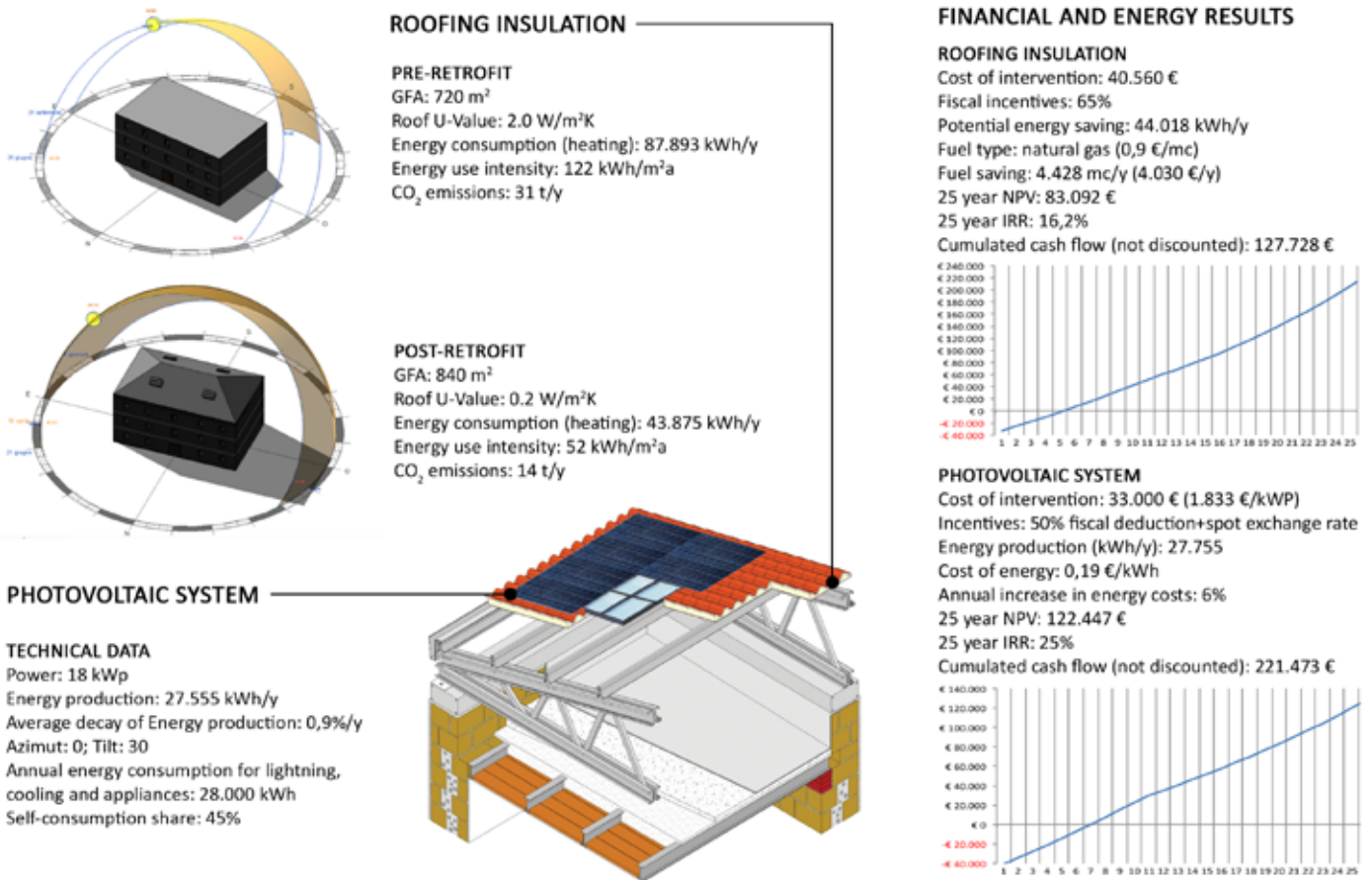
efficienza, il cui costo per kWp è sensibilmente ridotto grazie alla possibilità di integrare i moduli nella sottostruttura in CFS. La realizzazione dell'intervento non presenta una particolare complessità in fase di progettazione e messa in opera, ma richiede soluzioni specifiche in funzione dei carichi previsti e una verifica delle modalità di ancoraggio alla struttura esistente per offrire un ulteriore contributo in termini di miglioramento sismico realizzando il cosiddetto "effetto scatola".

Considerando un periodo di riferimento pari a 25 anni, a fronte di un costo di intervento pari a 75.000 €, è possibile stimare

rilevanti benefici energetici, che in termini economici determinano un VAN dell'investimento di circa 205.000 € (Fig. 2), oltre all'incremento del valore dell'immobile a fronte della maggiore superficie utile, pari a circa 55.000 € (fonte: Agenzia delle Entrate). A fronte di tali dati, pur tenuto conto dell'aleatorietà di alcuni parametri e della natura speditiva dell'analisi economica, si evince il ritorno dell'investimento iniziale in tempi brevi a fronte di flussi di cassa particolarmente rilevanti, a cui si aggiunge il vantaggio della capacità dell'edificio di resistere ai sovraccarichi attesi da caduta di ceneri.

02 | Risultati della simulazione energetica (Autodesk Revit) e dell'analisi finanziaria (fogli di calcolo MyGreenBuildings e ATER - Associazione Tecnici Energie Rinnovabili) su un edificio tipo nel Comune di Poggiomarino  
Results of energy simulation (Autodesk Revit) and financial analysis (MyGreenBuildings and ATER - Associazione Tecnici Energie Rinnovabili spreadsheets) on a sample building in the municipality of Poggiomarino

02 |

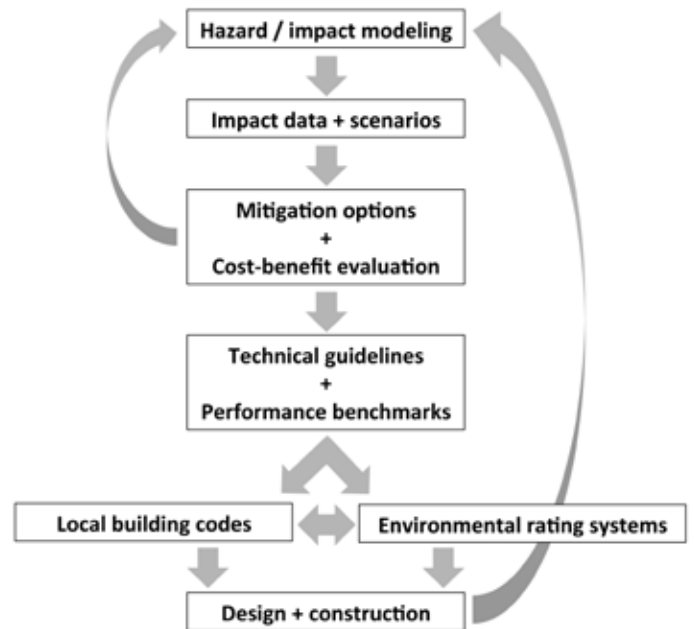


## Conclusioni

Lo studio dimostra come un approccio integrato all'efficienza energetica e alla mitigazione del rischio consenta di migliorare l'efficacia degli investimenti destinati ad interventi di retrofit diffusi sul territorio. Si tratta di una prospettiva di particolare interesse nel contesto nazionale, in cui il patrimonio costruito esistente è caratterizzato da specifici fattori di criticità che, investiti alla luce dell'orizzonte socio-tecnico-economico legato all'incremento della resilienza urbana, permettono l'introduzione di standard di qualità più elevati per la progettazione tecnologica e ambientale, da supportare con l'aggiornamento normativo e l'introduzione di nuovi standard prestazionali che riflettano i livelli di esposizione regionali ai rischi naturali, da includere nei regolamenti edilizi locali e nei sistemi di rating ambientale come LEED e ITACA. La definizione di scenari di impatto conseguenti alle diverse tipologie di *hazard* presenti sul territorio consente di individuare benchmark prestazionali relativi ad interventi di retrofit sul sistema edificio - spazio aperto in grado di ridurre la vulnerabilità del costruito e l'impatto di eventi distruttivi, secondo un approccio ciclico e ricorsivo finalizzato al controllo dell'efficacia degli interventi (Fig. 3).

L'attuazione di una simile strategia consente di rendere praticabili scenari di mitigazione del patrimonio costruito esistente a fronte dei rischi naturali o indotti dai cambiamenti climatici, perseguendo gli obiettivi a lungo termine di riduzione della vulnerabilità dei sistemi territoriali e degli impatti ambientali del costruito attraverso la definizione di priorità di intervento alla scala locale in grado di garantirne la sostenibilità economica nel breve periodo.

03 |



03 | Schematizzazione dell'approccio metodologico per lo sviluppo di sistemi di normazione innovativi a partire dalla definizione di scenari di impatto da rischi naturali o indotti dai cambiamenti climatici

*Schematization of the methodological approach for the development of innovative building regulations from the definition of impact scenarios related to geophysical and climate change hazards*

reconstruction are in terms of billions euros against mitigation costs at least an order of magnitude lower. However, the inability to predict the direction of the wind at the time of the eruption leads to an uncertainty factor that does not make such mitigation scenarios feasible, since in the absence of a destructive event these represent only a cost factor, without significant additional benefits.

An integrated approach to the theme of the resilience of urban systems allows to frame the mitigation of volcanic risk in the context of a broader strategy aimed at upgrading the energy efficiency of the built environment, reducing the environmental impacts and soil consumption. In this context, the need for widespread and cost-effective actions on built environment requires that the adopted solutions, both with reference to

energy retrofitting and risk mitigation objectives, are based on well-established and reliable technologies. This kind of simulation has been carried out in the context of preliminary studies related to the development of the new Urban and Building Code as part of an agreement between the Department of Architecture of University of Naples Federico II and the City of Poggioreale, considering a sample residential building where the risk mitigation from ash fall is connected to an energy retrofitting that provides an increase in gross floor area through the construction of an attic space, combining the economic benefits deriving from property value increase, the energy savings for insulation of roofs and the production of energy from photovoltaics. The project concerns the realisation of sloping roof with Cold Formed Steel

## REFERENCES

- Coaffee, J. (2008), "Risk, resilience, and environmentally sustainable cities", *Energy Policy*, 36, pp. 4633–4638.
- Godschalk, D. (2003), "Urban Hazard Mitigation: Creating Resilient Cities", *Nat. Hazards Rev. (ASCE)*, 4(3), pp. 136–143.
- Field, C.B., Barros, V., Stocker T.F. and Dahe, Q. (Ed.) (2012), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, New York.
- Otto-Zimmermann, K. (Ed.) (2012), *Cities and Adaptation to Climate Change. Proceedings of the Global Forum 2011*. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Spence, R.J.S., Kelman, I., Baxter, P. J., Zuccaro, G. and Petrazzuoli, S. (2005), "Residential building and occupant vulnerability to tephra fall", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 5(4), pp. 477–494.
- Unali, F. (2013), "Vesuvio, nuovo piano di emergenza", *La Protezione Civile Italiana*, n. 2, pp. 8-16.
- Zuccaro, G., Leone, M.F., Del Cogliano, D. and Sgroi, A. (2013), "Economic impact of explosive volcanic eruptions: A simulation-based assessment model applied to Campania region volcanoes", *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 266, pp. 1-15.
- Zuccaro, G. and Leone, M.F. (2012), "Building Technologies for the Mitigation of Volcanic Risk: Vesuvius and Campi Flegrei", *Nat. Hazards Rev. (ASCE)*, 13(3), pp. 221–232.
- Zuccaro, G., Cacace, F., Spence, R. J. S., and Baxter, P. J. (2008), "Impact of explosive eruption scenarios at Vesuvius", *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 178, pp. 416-453.

structure overlapped on the existing flat one. The mechanical properties and the lightness of the profiles in CFS allow the construction of a very resistant roof without a high overload on the underlying structure. The insulated and micro-ventilated roof offers high energy performances complementary to the structural retrofitting intervention. Additional economic and energy benefits come from the insertion of high efficiency photovoltaic modules, with a cost per kWp significantly reduced due to the possibility of integrating the modules in the CFS substructure. The intervention does not present a particular complexity in the design and implementation, but requires specific technical solutions depending on the expected loads and a verification of connections to the existing structure to provide a further contribution in terms of improving

seismic resistance, realizing the so-called "box effect". Considering a 20 years period, compared to a cost of intervention of 75,000 €, it is possible to estimate significant energy benefits, which in economic terms determine an NPV of about 205.000 € (Fig. 2), in addition to the increment in the value of the property due to the increased surface area, equal to about 55.000 € (source: Agenzia delle Entrate). Based on these data, also taking into account the aleatory definition of certain parameters and the need of further details for a complete economic analysis, is possible to estimate the return of the initial investment in few years, with particularly relevant cash flows added to the primary benefit of the ability of the building to withstand expected overloads from ash fall.

## Conclusions

The study shows how an integrated approach to energy efficiency and risk mitigation for improving the effectiveness of widespread retrofitting investments. It is a perspective of particular interest in the Italian national context, where the built environment is characterized by specific critical factors that, in the light of the socio-techno-economic horizon defined by the resilience-based urban planning, allow the introduction higher quality standards for technological and environmental design, supported by regulatory updates and the introduction of new performance standards reflecting the exposure to natural hazards at regional level, to be included in local building codes and environmental rating systems such as LEED and ITACA. The definition of impact scenarios resulting from different types of hazard

in a given territory allows to identify performance benchmarks relating to the building-open space system retrofitting, able to reduce the vulnerability of the built environment and the impact of disruptive events, following a cyclic and adaptive approach aimed at measuring of the effectiveness of planned actions (Fig. 3). The implementation of a resilience-based strategy for building and public spaces retrofitting allows to define viable mitigation scenarios for the protection of existing built heritage from natural and climate change-induced disasters, pursuing the long-term goals of reducing vulnerability of territorial systems and environmental impacts of the built environment through the definition of priorities of intervention at the local scale that can ensure economic sustainability in the short term.