

Valeria D'Ambrosio,

Dipartimento di Architettura, Università di Napoli Federico II, Italia

valeria.dambrosio@unina.it

**Abstract.** Il contributo riporta i risultati del Progetto di ricerca "METROPOLIS - Metodologie e Tecnologie integrate e sostenibili per l'adattamento e la sicurezza dei sistemi urbani", finanziato nell'ambito del PONREC 2007-2013. Tra gli esiti del lavoro, il paper è focalizzato sull'elaborazione di un modello per la misurazione della vulnerabilità climatica in ambito urbano. Dalla sua applicazione deriva la valutazione degli impatti e la successiva programmazione di azioni correttive di adattamento per l'incremento della resilienza edilizia e urbana attraverso azioni di retrofit tecnologico. La sperimentazione del modello ha riguardato il sistema urbano della città di Napoli, scomposto nel sottosistema fisico e della popolazione per i fenomeni di *heat wave* e di *pluvial flooding*.

**Parole chiave:** rischio climatico, progettazione adattiva, progettazione ambientale, vulnerabilità climatica, resilienza urbana.

## Vulnerabilità, adattamento, resilienza

Le tematiche dell'incremento della resilienza climatica stanno interessando numerosi contesti urbani anche al fine di diffondere buone pratiche di progettazione tecnologica e ambientale (EEA, 2016), in una fase in cui i processi di *downscaling* perfezionano le attuali strategie di area vasta sia attraverso l'utilizzo di categorie di opere edilizie progettate per ridurre la vulnerabilità, sia attraverso il coinvolgimento degli abitanti mediante l'informazione e azioni *bottom up*. Ciò richiede che nei processi di progettazione alla scala locale le soluzioni costruttive, le prestazioni tecnologiche e ambientali, i principi insediativi e l'innovazione tecnologica rappresentino un contributo all'incremento della resilienza al fine di ridurre l'incidenza degli impatti climatici alla scala degli edifici e degli spazi aperti (Ministero dell'Ambiente, 2017).

Il lavoro di ricerca fa riferimento alla fase conclusiva del Progetto "METROPOLIS - Metodologie e Tecnologie integrate e sostenibili per l'adattamento e la sicurezza dei sistemi urbani", finanziato nell'ambito del PONREC 2007-2013<sup>1</sup>, che ha previsto l'elaborazio-

ne di un modello per la misurazione della vulnerabilità climatica in ambito urbano, con la valutazione degli impatti derivanti da specifiche tipologie di *hazard* e la successiva programmazione di azioni correttive di adattamento per incrementare la resilienza edilizia e urbana attraverso azioni di retrofit tecnologico. La sperimentazione del modello ha riguardato la città di Napoli ed è stato applicato al sistema urbano scomposto nel sottosistema fisico (edifici e spazi aperti) e della popolazione, in relazione ai fenomeni di ondata di calore (*heat wave*) e di allagamenti correlati a piogge intense (*pluvial flooding*), attraverso l'elaborazione di quadri prestazionali, soluzioni tipo e un *core set* di indicatori tecnologici, ambientali e socio-economici. Nel caso studio sono stati simulati gli scenari di impatto a medio e lungo termine su popolazione ed edifici e la loro riduzione mediante interventi di adattamento.

Il tema della modellazione della vulnerabilità ai fenomeni climatici è da tempo affrontato attraverso metodi e approcci di matrice statistica e la restituzione dei livelli di vulnerabilità è prevalentemente riferita alla valutazione della componente socio-economica. L'approfondimento della conoscenza del sistema fisico consente al contrario di poter considerare con maggiore dettaglio la valutazione della propensione al rischio basandosi sulle caratteristiche dei sistemi insediativi e delle caratteristiche tecnologiche degli elementi urbani e degli edifici. Considerando l'incidenza delle condizioni fisiche e delle prestazioni di edifici e spazi aperti sui livelli di adattamento, si può fornire una risposta strutturata e di lungo termine per una città resiliente al cambiamento climatico attraverso soluzioni progettuali e tecnologiche adattive. Negli studi più approfonditi (quali quelli dell'Intergovernmental Panel on Climate Change o dell'European Environment Agency) l'adattamento è considerato una misura centrale per l'incremen-

## Climate vulnerability, impact scenarios and adaptation strategies for resilient cities

**Abstract.** This paper deals with the results of the Research Project "METROPOLIS - Integrated and sustainable methods and technologies for resilience and safety in urban systems", funded under PONREC 2007-2013. Among all the results of the work, the paper is focused on the development of a model to measure climate vulnerability in urban areas. The application of the model provides the assessment of impacts and the subsequent planning of corrective actions to increase building and urban resilience by means of technological retrofitting. The testing of the model for heat waves and pluvial flooding has been implemented in the urban system of Naples City which has been divided into the physical subsystem and the population subsystem.

**Keywords:** climate risk, climate adaptive design, environmental design, climate vulnerability, urban resilience.

## Vulnerability, adaptation, resilience

The issues related to the increasing of climate resilience involve several urban contexts also for the purpose of spreading good practices of technological and environmental design (EEA, 2016), now that *downscaling* processes are refining the modern large-scale strategies both using building categories designed to reduce vulnerability and involving inhabitants through information and *bottom up* actions. This means that on local scale design processes, building solutions, technological and environmental performance, settlement principles and technological innovation should represent a contribution to the improvement of resilience to reduce climate impacts on buildings and open spaces (Ministry of the Environment "Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici - PNACC", 2017).

The research refers to the final stage of the Project "METROPOLIS - Integrated and sustainable methods and technologies for resilience and safety in urban systems", funded under PONREC 2007-2013<sup>1</sup>. It is based on the development of a model to measure climate vulnerability in urban areas assessing the impacts caused by specific hazard typologies and the subsequent planning of corrective adaptation actions to increase building and urban resilience by means of technological retrofits. The testing of the model was implemented in Naples and applied onto the urban system divided into the physical subsystem (buildings and open spaces) and the population subsystem in relation to heat waves and pluvial flooding caused by heavy rains. Performance standards have been developed, as well as standard solutions and a core set of technological, environmental,

to della resilienza dei sistemi urbani fisici e sociali. Molti autori inquadrano il concetto di resilienza in base a parametri specifici che, partendo dai sistemi socio-ecologici, ben si adattano alle città viste nella loro componente fisica (Mezzi e Pelizzaro, 2016). Tra le azioni che possono contribuire all'incremento dei livelli di resilienza va considerata l'individuazione delle fragilità e delle soglie critiche a cui un sistema può essere sottoposto identificandone le condizioni di vulnerabilità (Zolli e Healy, 2014).

### **Il modello per la misurazione della vulnerabilità climatica in ambito urbano**

La misurazione della vulnerabilità va collocata nel campo degli approcci valutativi attraverso la correlazione necessaria tra gli ambiti del Disaster Risk Reduction (DRR) e del Climate Change Adaptation (CCA), secondo un approccio metodologico multidisciplinare teso alla modellazione della vulnerabilità degli elementi esposti al rischio e alla quantificazione degli impatti attesi. Tali approcci risultano coerenti con le politiche internazionali, quali l'Accordo di Parigi sul clima e l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, che possono essere applicate solo con il concorso di più soggetti – abitanti, enti pubblici, stakeholders – e attraverso azioni *bottom up*.

La metodologia utilizzata ha previsto un approccio di tipo analitico-deduttivo al fine di raccogliere dati e informazioni per la costruzione del modello gerarchico per la misurazione del livello di vulnerabilità climatica dei sottosistemi fisico e sociale. Il modello infatti è finalizzato alla valutazione della vulnerabilità di un sottosistema mettendo in relazione le sue caratteristiche intrinseche con l'incidenza dei principali effetti di un fenomeno climatico intenso (D'Ambrosio e Leone, 2017).

and socio-economic indicators. In the case study medium and long-term impact scenarios on the population and buildings were simulated as well as the reduction of their impact by means of climate-adaptive actions.

The subject of models for climate vulnerability has been addressed for a long time with methods and approaches based on statistics and the assessment of vulnerability levels has been mainly referred to the socio-economic component. Deepening the knowledge of the physical system allows us to consider in a more detailed manner the assessment of the risk exposure, as we can work on the features of the settlement systems and the technological features of urban elements and buildings. Considering the effects of physical conditions and performances of buildings and open spaces on the adaptation levels,

we can give a long-term comprehensive answer for a city that is resilient to climate change by means of design solutions and adaptive technologies. In more detailed studies (as in those by the Intergovernmental Panel on Climate Change or by the European Environment Agency), adaptation is considered a central measure to increase resilience of physical and social urban systems. Many authors define the concept of resilience referring to specific parameters that moving from socio-ecological systems adapt themselves easily to cities considered in their physical components (Mezzi e Pelizzaro, 2016). Among all actions that can contribute to the improvement of resilience levels, there is the detection of weaknesses and critical thresholds to which a system may be subject, identifying vulnerability conditions (Zolli e Healy, 2014).

La costruzione del modello è avvenuta in quattro fasi:

- la scomposizione del sistema urbano nei sottosistemi edifici, spazi aperti e popolazione;
- la definizione delle caratteristiche intrinseche dei sottosistemi che influenzano la risposta ai fenomeni climatici di *heat wave* e di *pluvial flooding*;
- la costruzione di un *core set* di indicatori in grado di restituire la risposta prestazionale di singoli elementi costitutivi;
- l'attribuzione di pesi attuata in relazione agli obiettivi di *decision making e knowledge management* (attraverso l'utilizzo di conoscenza esperta e di processi di simulazione e taratura) per valutare l'incidenza degli indicatori sulla vulnerabilità dei sottosistemi.

A valle delle quattro fasi la costruzione del modello ha condotto all'elaborazione di carte tematiche della vulnerabilità dei sottosistemi.

L'utilizzo del modello gerarchico di tipo multidimensionale ha permesso la gestione di dati multiscalarari ed eterogenei relativi a sistemi complessi, secondo una modalità avanzata di elaborazione in ambiente GIS, appropriata per la possibilità di sviluppare in contesti georeferenziati processi di analisi spaziale, classificazioni, operazioni di *knowledge management*, individuazione di *hot spot* attraverso procedure di interrogazione del modello.

### **La misurazione dei livelli di vulnerabilità attraverso un core set di indicatori tecnologici e ambientali**

L'impostazione di un *core set* di indicatori ha consentito di coniugare molteplici aspetti fisici e prestazionali al fine di sviluppare valutazioni attendibili del grado di vulnerabilità degli elementi del sistema edilizio.

#### **Measuring climate vulnerability in urban areas - The Model**

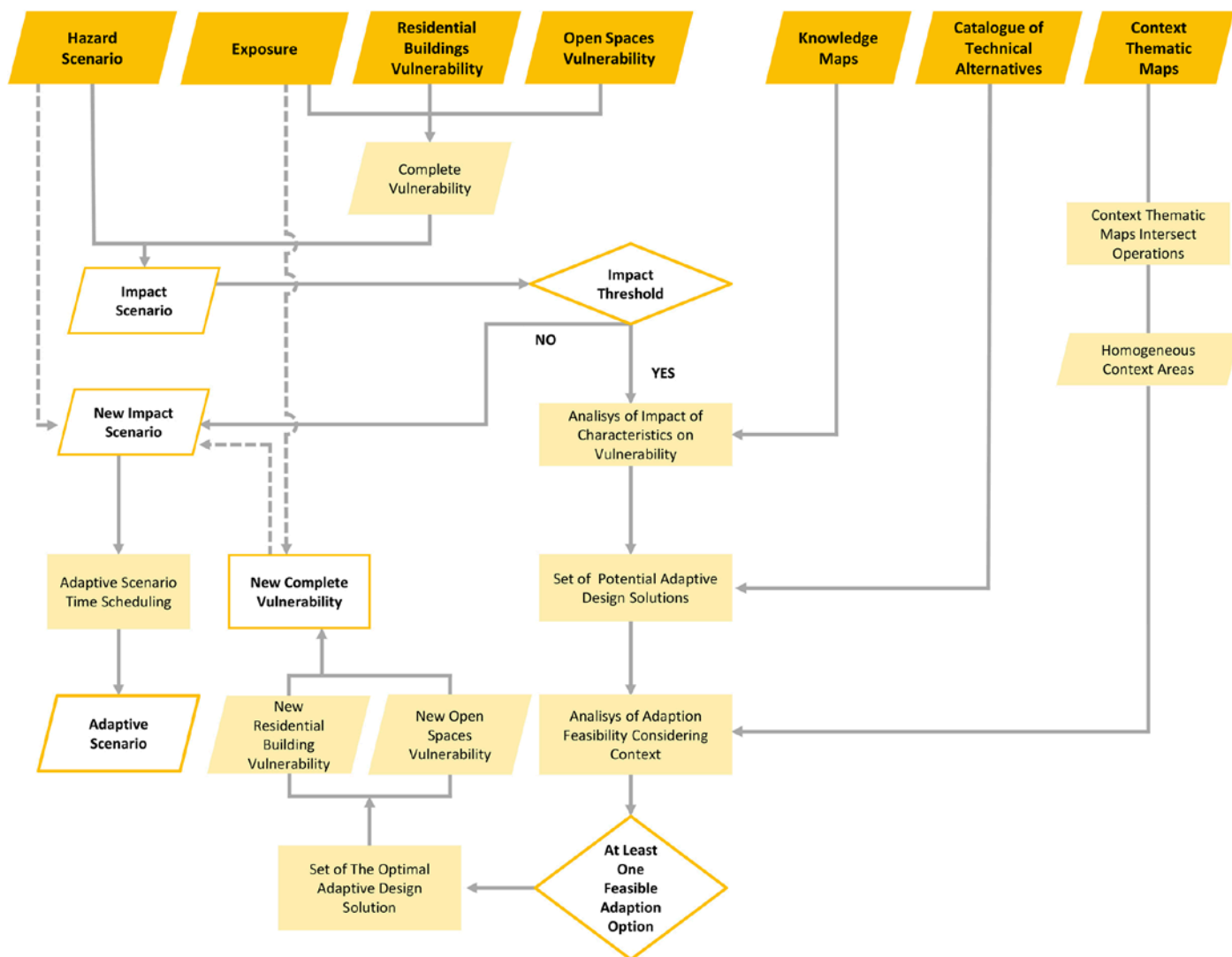
Measuring vulnerability is part of the assessment approach based on the necessary correlation between the Disaster Risk Reduction (DRR) and the Climate Change Adaptation (CCA), following a multidisciplinary methodological approach that aims at modelling the vulnerability of the elements exposed to risks and quantifying the expected impacts. These approaches are consistent with the international policies such as the Paris Agreement and the 2030 Agenda for Sustainable Development that can be implemented only with the involvement of all stakeholders – inhabitants, public authorities – and *bottom up* processes.

The applied methodology has an analytic-deductive approach to collect data and info to develop a hierarchical model for measuring climate vulner-

ability levels of the physical and social subsystems. The model aims at assessing the vulnerability of a subsystem by relating its intrinsic features with the incidence of the main effects of an extreme climate event (D'Ambrosio e Leone, 2017).

The model has been developed in four different stages:

- breakdown of the urban system into subsystems – buildings, open spaces, population;
- definition of the intrinsic features of the subsystems that affect the response to heat waves and pluvial flooding;
- development of a core set of indicators that can show the performance of single elements;
- assignment of weighted values based on the targets of decision making and knowledge management (using expertise, simulation processes and



calibration) to assess the incidence of the indicators on the vulnerability of subsystems.

Downstream of the 4 stages, the development of the model generated thematic maps that provide the vulnerability of subsystems.

The use of a multidimensional hierarchic model allows managing multi-scale and heterogeneous data referred to complex systems in an advanced GIS elaboration that, in georeferenced contexts, can develop processes of spatial analysis, classifications, knowledge management, and identification of hot spots through model query procedures.

#### Measuring vulnerability levels with a core set of technological and environmental indicators

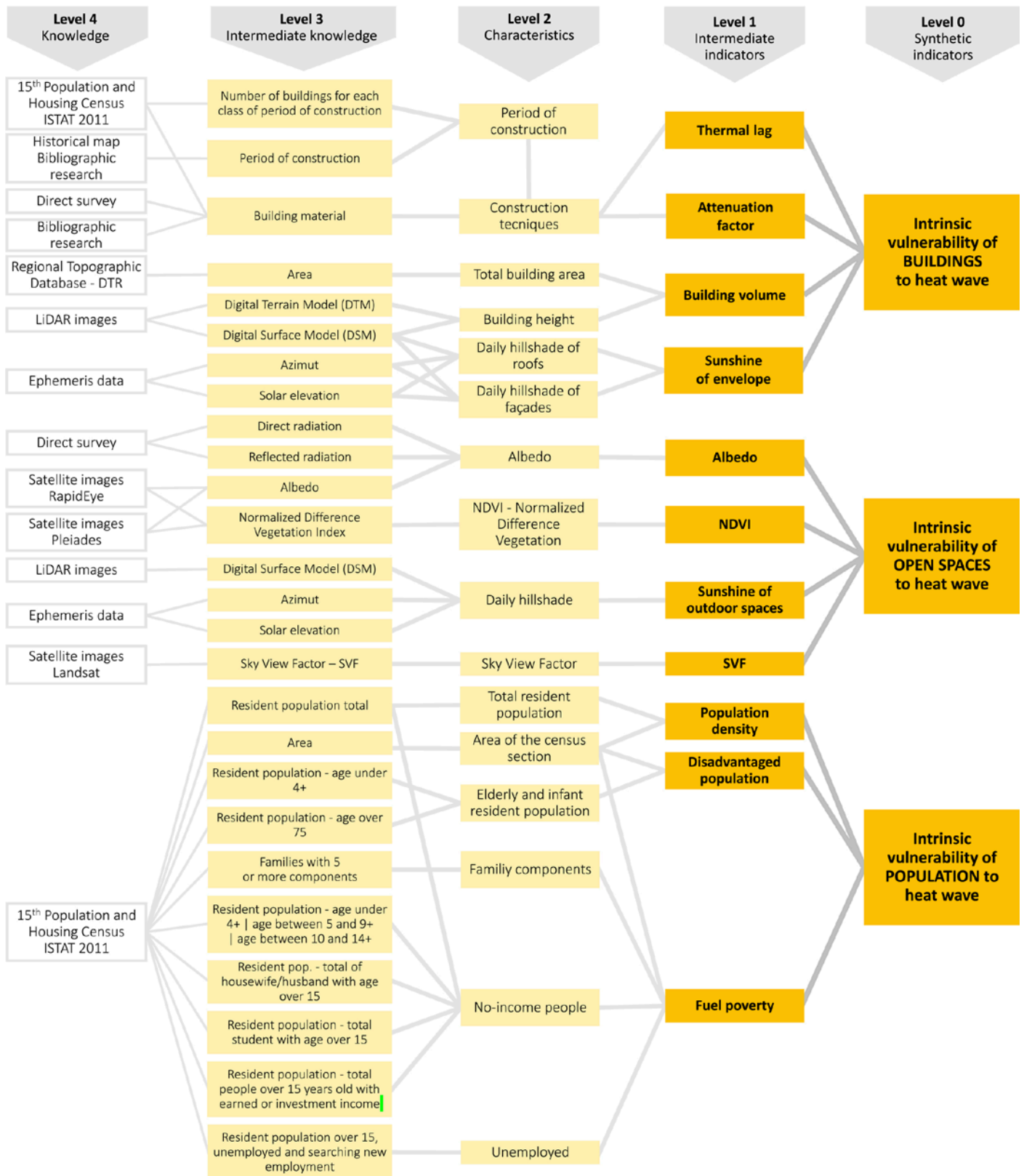
Coding a core set of indicators allows the combination of several physical aspects and performances to develop

reliable assessments of the vulnerability levels of the elements of the building system. For each of them characterizing and recurring features and performances have been identified to make comparable all the descriptive data and performances deriving from measuring the indicators related to them. This approach endorses the principle of the measurability of critical factors also through a standardization process of indicators - with the transformation of their respective scales to allow comparison (Spath et al., 2006) - and aims at defining homogeneous vulnerability classes for each of them.

The criteria to build and select indicators allows to provide the measurability of the aspects that characterise the studied system and of the performances both at the urban scale and the district/block scale, down to the single building. Therefore, besides the well-

established ones, other indicators have been proposed to represent at a more detailed scale the behaviour of parts and elements of the built system against the potential impacts giving priority, where possible, to the easy construction opposed to the data collection. Official databases have been used with a view to the replicability of the model in different urban contexts, (ISTAT, regional CTR, DTM, DSM, etc.). Referring to *heat waves*, a set of indicators has been identified based on the typo-morphological and technological aspects as well as on the presence and intensity of green areas, both considered as the main features of settlements and urban elements that can affect temperature, ventilation, and relative humidity during extreme climate phenomena (EEA, 2012; Swart et al., 2012). To measure the behaviour of buildings' envelopes against heat waves,

discrepancy, and mitigation indicators (behaviour during summertime) have been considered together with quantitative indicators related to volume and sunlight (to calculate the volume that is potentially subject to overheating and the incidental solar radiation onto facades and rooftops). For the indicators concerning open spaces, the relationship between urban forms and environmental conditions of sunlight and ventilation has been referred to (Sky View Factor) (Ratti, 2003). Remotely sensed databanks (Weber et al., 2015) have been used for the features of the materials' superficial reflectance (albedo) and of vegetation (Normalized Difference Vegetation Index). Lastly, the indicators for the population component have been developed in line with what is reported in several studies and scientific papers and therefore considering population density, vulnerable population



Per ciascuno di essi si sono individuate caratteristiche e prestazioni ritenute connotanti e ricorrenti per rendere confrontabili i dati derivanti dalla misurazione di indicatori ad esse correlati, sia prestazionali che descrittivi. Questa scelta aderisce al principio della misurabilità dei fattori critici anche attraverso un processo di normalizzazione degli indicatori stessi – con una trasformazione delle rispettive scale per renderli comparabili tra di loro (Spath et al., 2006) – finalizzata a definire, per ciascuno di essi, classi di vulnerabilità omogenee.

I criteri di costruzione e selezione degli indicatori hanno consentito di restituire, mediante un approccio interscalare, la misurabilità degli aspetti connotanti il sistema osservato e delle prestazioni offerte tanto alla scala urbana che a quella di distretto/quartiere fino a quella dell'edificio. Per questo motivo, accanto a indicatori consolidati in letteratura, ne sono stati proposti altri necessari per rappresentare, a scala più dettagliata, i comportamenti di parti ed elementi del sistema costruito rispetto ai potenziali impatti, privilegiando, ove possibile, la facilità di costruzione rispetto alla reperibilità del dato. In un'ottica di replicabilità del modello in diversi contesti urbani, si è scelto di utilizzare anche dati ufficiali (ISTAT, CTR regionale, DTM e DSM, ecc.). Per il fenomeno dell'*heat wave* si è proceduto all'individuazione di un set di indicatori che riconosce negli aspetti tipo-morfologici e tecnologici, nonché nella presenza e intensità del verde, le principali caratteristiche degli insediamenti e degli elementi urbani, in grado di incidere sugli aspetti di temperatura, ventilazione e umidità relativa durante i fenomeni climatici intensi (EEA, 2012; Swart et al., 2012). Per misurare il comportamento all'*heat wave* dell'involucro degli edifici sono stati presi in considerazione indicatori di sfasamento e attenuazione (per il comportamento in

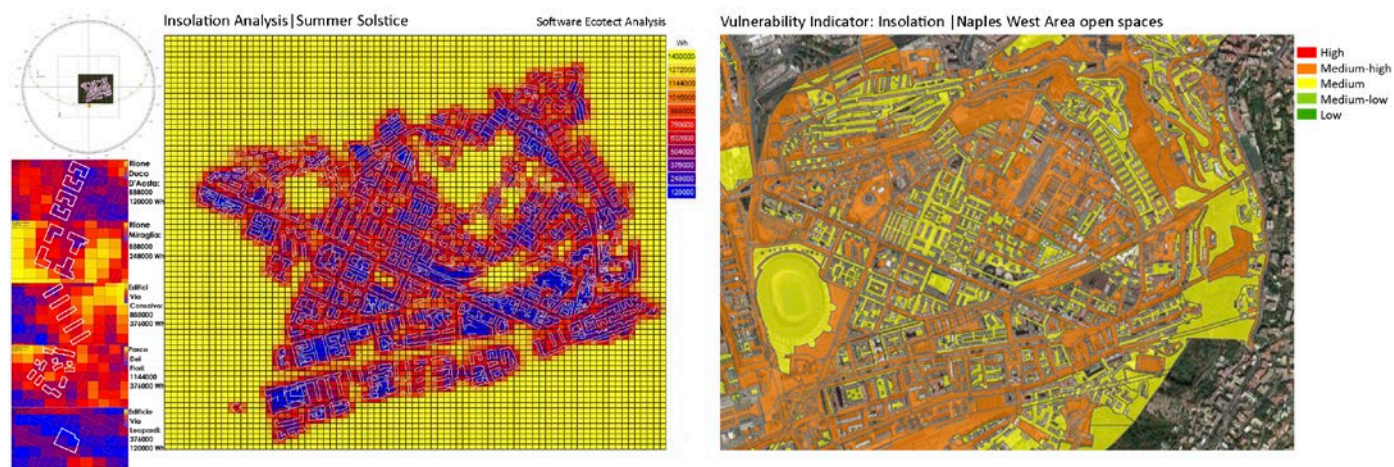
regime estivo) e indicatori quantitativi correlati al volume e al soleggiamento (per calcolare il volume potenzialmente soggetto a surriscaldamento e la radiazione solare incidente in facciate e in copertura). Per gli indicatori relativi agli spazi aperti si è fatto riferimento al rapporto tra forma urbana e condizioni ambientali di soleggiamento e ventilazione (*Sky View Factor*) (Ratti, 2003). Per le caratteristiche di riflettanza superficiale dei materiali (albedo) e della vegetazione viva (*Normalized Difference Vegetation Index*) sono state utilizzate anche dati da telerilevamento (Weber et al., 2015). Infine, per la componente della popolazione, gli indicatori sono stati sviluppati in coerenza con quanto riportato nei numerosi studi e documenti scientifici considerando la densità di popolazione, le fasce deboli di popolazione e la *fuel poverty* rispetto all'utilizzo di fonti energetiche (EEA, 2012).

Per la costruzione degli indicatori di vulnerabilità al fenomeno del *pluvial flooding* si sono adottati criteri e processi analoghi, proponendo sia indicatori già ampiamente utilizzati in letteratura che indicatori specificamente costruiti in relazione al fenomeno climatico considerato (Swart et al., 2012; Timmerman et al., 2017). Gli indicatori per il sistema degli edifici misurano la vulnerabilità in relazione al perimetro esposto ad eventuali fenomeni di allagamento in virtù della presenza di corti, cortili e spazi aperti interni all'edificio (rapporto di copertura), o per la presenza di marciapiedi (percentuale di edificio su marciapiede), all'uso del piano terra (usi piano terra) e ai m<sup>2</sup> di copertura che favoriscono il deflusso delle acque piovane in relazione alla sua tipologia ed estensione (tipologia di copertura).

Per gli spazi aperti, accanto a indicatori correlati alla capacità dei suoli di consentire l'assorbimento e l'infiltrazione delle acque superficiali (permeabilità dei suoli), si è ritenuta necessaria la co-

03 | Strumenti IT di supporto alla definizione delle classi di vulnerabilità degli indicatori (elaborazione in Ecotect G. De Stefano)

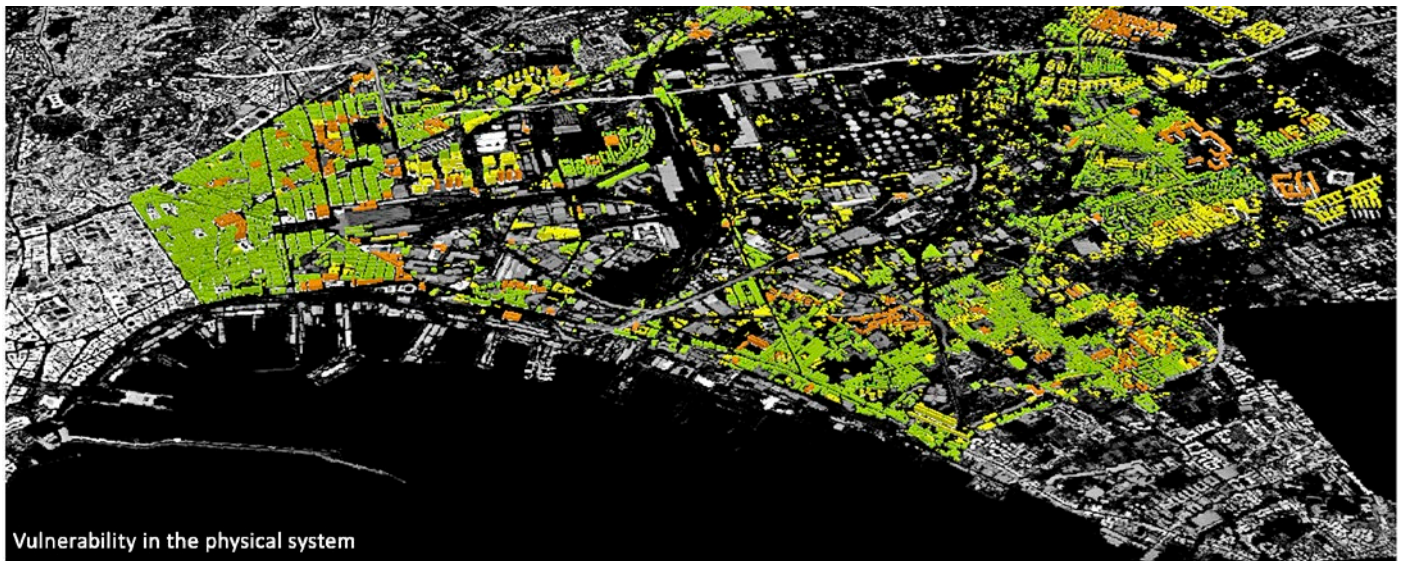
IT support tools for defining the vulnerability classes of indicators (Ecotect processing G. De Stefano)





04 | Vulnerabilità, impatti e scenari di adattamento a breve e medio termine nell'area orientale di Napoli. Gli scenari di adattamento sono stati elaborati considerando come soglia di impatto il valore di classe media attuando interventi di retrofit su edifici e spazi aperti con valori di impatto peggiori rispetto alla media.

*Vulnerability, impacts and adaptation scenarios in the short and medium term in the East of Naples. The adaptation scenarios are elaborated considering as impact threshold the medium class implementing retrofit interventions on buildings and open spaces with impact values worse than the average*



Impact scenario on resident population



Adaptation scenario

- High
- Medium-high
- Medium
- Medium-low
- Low



and fuel poverty compared to the use of energy resources (EEA, 2012). Developing the vulnerability indicators against pluvial flooding, similar criteria and processes have been adopted, both proposing indicators already extensively used in the literature and new indicators specifically built for the considered climate event. (Swart et al., 2012; Timmerman et al., 2017). The indicators for the system of buildings measure the pluvial flooding vulnerability in relation to the exposed perimeter, considering the presence of courtyards and open spaces in the building (building coverage ratio), the presence of sidewalks (building/sidewalk ratio), the ground floor use (ground floor uses) and the roofing surfaces that facilitate the outflow of rainwater in relation with its typology and extension (roof typology). For open spaces, besides the indicators related to the capacity of soils to ensure

absorption and infiltration of superficial water (soil permeability) more complex indicators have been considered necessary to show the capacity of collecting systems to guarantee the rainwater flow (wastewater disposal capacity, maintenance standards of collecting systems). For the population subsystem, besides the indicators of resident population density and vulnerable population the attraction capacity indicator has been considered to assess the attractiveness based on the number of workers and student. To identify range and benchmark of performances, the indicators have been calibrated to the environmental and technological features of the context through adjustment processes and simulations (D'Ambrosio e Leone, 2017). For the experimental application in the research areas in Naples, 5 vulnerability classes have been classified to which

data representations are correlated for each indicator through a calibration process that summarises the incidence rates of parts and technical elements in relation with various technological and environmental indicators using IT simulations. The use of GIS technologies and the attribution of weights per indicator allows the elaboration of vulnerability maps of the physical system (buildings and open spaces) and of the population. The model's reliability has been tested on significant samples of the urban system's physical subsystem. The credibility of the results has been checked comparing data at different scales in the same urban context and assessing the impact of the margin of error, thus showing that the vulnerability data developed at the scale of 1:5000 are comparable to the more detailed ones developed with the downscaling process.

**Impacts and climate adaptive measures. Experimentation in Naples urban districts related to heat waves**  
Among the areas where to check possible levels of considerable climate criticality in the city of Naples, the research has selected those ones showing such an articulation and complexity to be able to provide a reliable case study of different vulnerability conditions (the selection is based on the typo-morphological and technological features consolidated in different periods in history). The western area (the districts of Bagnoli, Cavalletteri d'Aosta, Fuorigrotta) and the eastern one (from the edge of the historic centre to the Ponticelli district) are the two contexts where the model has been tested. Both are characterized by the presence of homogeneous areas (before 1800, modern, and contemporary areas) with a wide range of construction technologies from tufa stone blocks to



struzione di indicatori più complessi che restituissero la capacità delle reti fognarie di accogliere il deflusso delle acque meteoriche (capacità di smaltimento del sistema fognario, grado di manutenzione del sistema fognario). Per il sottosistema popolazione, accanto agli indicatori di densità di popolazione residente e di fasce deboli, è stato considerato quello relativo alla capacità attrattiva finalizzato alla valutazione dell'attrattività in relazione alla presenza di lavoratori e studenti. Per individuare range e benchmark prestazionali, gli indicatori sono stati calibrati in relazione alle caratteristiche ambientali e tecnologiche del contesto attraverso processi di taratura e di simulazione (D'Ambrosio e Leone, 2017).

Nell'applicazione sperimentale in aree studio di Napoli, si è scelto di effettuare una classificazione in 5 classi di vulnerabilità, alle quali sono rapportate le rappresentazioni dei dati per ciascun indicatore attraverso un processo di calibrazione che ha sintetizzato l'incidenza percentuale di parti ed elementi tecnici in relazione ai vari indicatori tecnologici e ambientali utilizzando strumenti di simulazione IT. Attraverso l'utilizzo di tecnologie GIS e l'attribuzione di un sistema di pesi per ogni indicatore, sono state elaborate le carte tematiche di vulnerabilità del sistema fisico (edifici e spazi aperti) e della popolazione.

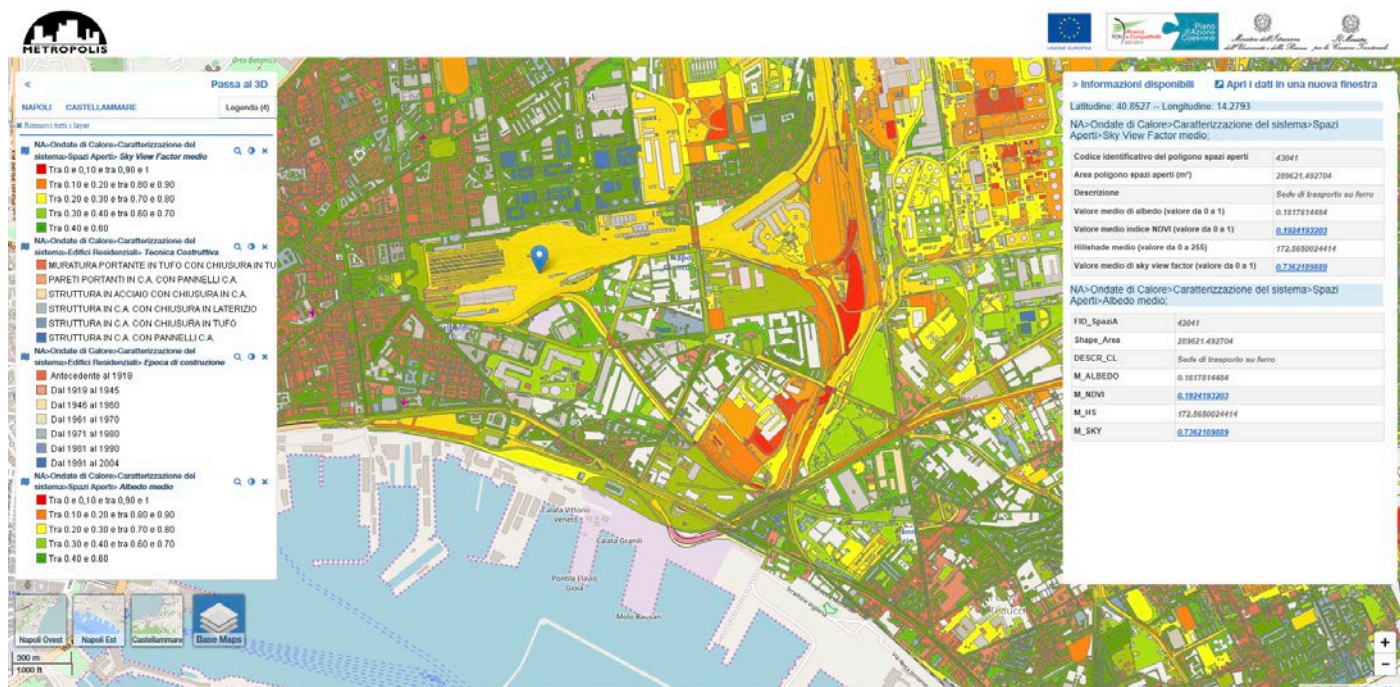
La verifica di affidabilità del modello è stata attuata con la sua applicazione su campioni significativi del sottosistema fisico del sistema urbano. L'attendibilità dei risultati è stata verificata con-






















































































































frontando, in uno stesso contesto urbano, dati a scale differenti e valutando per essi l'incidenza del margine di errore, dimostrando che i dati di vulnerabilità elaborati alla scala 1:5000 erano confrontabili con quelli più dettagliati elaborati attraverso un processo di *downscaling*.

### Impatti e misure di adattamento climatico. La sperimentazione su distretti urbani di Napoli in relazione al fenomeno dell'heat wave

di differenti condizioni di vulnerabilità (la selezione è stata condotta a partire dalle caratteristiche tipo-morfologiche e tecnologiche consolidate in differenti epoche storiche). L'area occidentale (quartieri di Bagnoli, Cavalleggeri d'Aosta, Fuorigrotta) e quella orientale (dal margine del Centro Antico fino al quartiere di Ponticelli) hanno rappresentato i due contesti in cui è stata sperimentata l'applicazione del modello. Entrambi sono caratterizzati dalla presenza di zone omogenee (pre-ottocentesche, moderne e contemporanee) con un'ampia casistica di tecnologie costruttive che vanno, rispettivamente, dai sistemi in blocchi di tufo a quelli in cemento armato gettato in opera e in c.a. prefabbricato, quest'ultimo prevalente negli interventi edilizi post sisma del 1980.

Fra le aree in cui verificare eventuali livelli di maggiore criticità climatica della città di Napoli, sono state selezionate quelle che contengono una articolazione e una complessità tali da poter restituire una casistica attendibile



TARGET	PARTS OF THE URBAN SYSTEM	INDICATORS	ADAPTATION SOLUTIONS																			
 <p>HEAT WAVES</p>	 <p>BUILDINGS</p>	Volume																				
		Sunshine																				
		Thermal lag																				
		Attenuation factor																				
	 <p>OUTDOOR SPACES</p>	Sunshine																				
		SVF																				
		Albedo																				
		NDVI																				
 <p>PLUVIAL FLOODING</p>	 <p>BUILDINGS</p>	Building coverage ratio																				
		Ground floor uses																				
		Building/sidewalk ratio																				
	 <p>OUTDOOR SPACES</p>	Roof typology																				
		Soil permeability																				
		Wastewater disposal capacity																				
Maintenance standards of collecting systems																						

Legend

- |                                   |                                               |                                            |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1. Sloping roof addition          | 12. Sloping roof insulation (ventilated roof) | 23. Cool paving painting                   |
| 2. Ventilated façade              | 13. Flat roof insulation (warm roof)          | 24. Green areas                            |
| 3. Green façade (green wall)      | 14. Fixed coverings                           | 25. Bioswale                               |
| 4. Green façade (climbing plants) | 15. Removable coverings                       | 26. Basins and fountains                   |
| 5. Green roof (extensive)         | 16. Tree row                                  | 27. Watersquares                           |
| 6. Green roof (intensive)         | 17. Green pergolas                            | 28. Retention basins                       |
| 7. Cool roof                      | 18. Natural aggregates                        | 29. Pilotis ground floor                   |
| 8. Ventilated flat roof           | 19. Open joint paving                         | 30. Raised ground floor                    |
| 9. Selective glass                | 20. Grassed open joint paving                 | 31. Sidewalk construction                  |
| 10. Solar shading                 | 21. Porous surface                            | 32. Collection and reuse of meteoric water |
| 11. External insulation           | 22. Cool paving                               | 33. Drains systematic maintenance          |

reinforced concrete and prefab concrete, the last one especially used after the earthquake in 1980.

The application of the vulnerability model in the study areas shows a situation of widespread criticality against heat wave. The level of integrated vulnerability of the three subsystems (buildings, open spaces, population) reaches average values (class 3) in the eastern area, whereas in the western one it reaches frequently medium-high levels (class 2). The aspects of the performance of buildings are those affect-

ing the urban system vulnerability the most, in relation with the building techniques, the envelope properties and the population density. Particularly vulnerable are the modern and contemporary areas of the city where you find mainly reinforced concrete buildings with double leaf walls of bricks or lava concrete. The less vulnerable buildings are those built before 1800 with tufa blocks and load bearing masonry. The system vulnerability is comparable with short-term heat wave impact scenarios (2010-2040) elaborated through the

development of hazard scenarios in the event of extreme weather for consecutive days (D'Ambrosio and Di Martino, 2016) and considering the resident population as the exposed value. The hazard scenarios show critical conditions in the mid-term (2041-2070) for up to 31 consecutive days and in the long-term (2071-2100) for up to 60 days, under the assumption that CO<sub>2</sub> emissions remain constant (RCP 4.5)<sup>2</sup> (Mercogliano et al., 2016).

The simulation of heat wave impacts on the study area in the mid-term shows

critical levels in the whole urban system with impacts class 1 and 2 (high and mid-high), even though today's vulnerability is acceptable, except in some critical contexts. The experimentation shows therefore the inadequacy of the urban system to combat extreme climate events in the years to come.

**Reduction of vulnerability in the physical system by means of climate adaptive solutions**

A catalogue of alternative techniques for building and open spaces has been



Dall'applicazione del modello di vulnerabilità alle aree di studio è emersa una condizione di criticità diffusa rispetto al fenomeno dell'*heat wave*. Il livello di vulnerabilità integrata dei tre sottosistemi (edifici, spazi aperti e popolazione) raggiunge valori medi (classe 3) nell'area orientale mentre, in quella occidentale, in molti casi la vulnerabilità raggiunge livelli medio-alti (classe 2). A incidere sulla vulnerabilità del sistema urbano sono gli aspetti legati prevalentemente alle prestazioni degli edifici, analizzate in relazione alle tecniche costruttive e alle proprietà dell'involucro oltre che alla densità abitativa. Particolarmente vulnerabili risultano le parti di città di impianto moderno e contemporaneo, nelle quali ricadono in prevalenza gli edifici in cemento armato con chiusura in muratura a doppia foderia in blocchi di laterizio o lapillo-cemento. Gli edifici meno vulnerabili risultano essere quelli di impianto pre-ottocentesco in muratura portante in blocchi di tufo. La condizione di vulnerabilità del sistema risulta confrontabile con scenari di impatto all'*heat wave* a breve termine (2010-2040) elaborati attraverso la costruzione di scenari

di *hazard* espressi in termini di durata di giorni consecutivi di presenza del fenomeno intenso (D'Ambrosio e Di Martino, 2016) considerando come valore esposto la popolazione residente. Gli scenari di pericolosità hanno evidenziato condizioni critiche con durata del fenomeno, a medio termine (2041-2070), fino a 31 giorni consecutivi e a lungo termine (2071-2100) fino a 60 giorni, ipotizzando costanti le emissioni di CO<sub>2</sub> (RCP 4.5)<sup>2</sup> (Mercogliano et al., 2016).

Dalla simulazione degli impatti dell'*heat wave* sull'area di studio a medio termine emergono livelli critici per l'intero sistema urbano, con classi di impatto 1 e 2 (alto e medio-alto) nonostante, ad oggi, la vulnerabilità risulti accettabile, eccetto alcuni contesti critici. La sperimentazione dimostra dunque le inadeguatezze del sistema urbano di poter contrastare, nei prossimi anni, eventi climatici intensi.



## La riduzione della vulnerabilità del sistema fisico attraverso soluzioni di adattamento

Per la misurazione dell'adattamento è stato elaborato un catalogo di alternative tecniche per edifici e spazi aperti, costruito a partire dall'ampia letteratura tecnica e dalla manualistica nazionale e internazionale. Il catalogo comprende una selezione delle soluzioni più efficaci rispetto ai fenomeni di *pluvial flooding* e di *heat wave* e con elevato grado di replicabilità, di diffusione nella pratica edilizia e in grado di garantire la riduzione dei consumi energetici, delle emissioni di gas serra e degli impatti, nonché il miglioramento del comfort, della sicurezza e della vivibilità. Le categorie di intervento e le alternative tecniche sono state definite rispetto a variabili relative a tipologie di materiali, spessori e percentuale di applicazione a parti ed elementi del sistema fisico (D'Ambrosio e Leone, 2017). Le soluzioni di retrofit tecnologico del catalogo sono state messe in relazione con il sistema degli indicatori attraverso l'elaborazione di specifici algoritmi con i quali è stata simulata, nella fase di sperimentazione, l'incidenza sull'indicatore al variare delle opzioni tecnologiche predisposte. Ciò è stato possibile considerando un campione statisticamente significativo di edifici e spazi aperti nell'area studio, effettuando simulazioni con software dedicati<sup>3</sup> attraverso lo sviluppo di un processo operativo organizzato per fasi<sup>4</sup>.

I risultati dimostrano che i tessuti meno vulnerabili, quali quelli correlati alla città compatta, risultano meno adattivi rispetto alle parti di città consolidata dove, pur partendo da una condizione di vulnerabilità peggiore, si possono ottenere riduzioni anche di 2 classi della vulnerabilità, in particolare per gli edifici con sistemi di chiusura in blocchi di laterizio a doppia fodera.

developed to measure adaptation. It is based on the wide technical literature and national and international manuals. The catalogue is a selection of the most effective solutions against pluvial flooding and heat waves with a high degree of replicability, diffusion in building practices and the ability of guaranteeing the reduction in energy consumption, greenhouse gas emissions and impacts as well as the improvement of comfort, safety, and liveability. The categories of actions and technical alternatives are defined on variables depending on the typology of materials, thicknesses and application rates to parts and elements of the physical system (D'Ambrosio e Leone, 2017). Technological retrofit solutions in the catalogue are related to the system of indicators with specific algorithms that have been processed to simulate the impact on the indicator to the change

of the given technological options. This has been achieved using a statistically significant sample of buildings and open spaces in the study area and making simulations with dedicated software<sup>3</sup> developing an operational process<sup>4</sup> divided into phases. Results show that less vulnerable fabrics, those in the compact city, are less adaptive compared to the parts of the consolidated city where, in spite of worse vulnerability conditions you can get also 2 classes reduction in vulnerability, especially for the buildings with double leaf walls.

The final phase of the research, the demonstrator project, has provided a Web-GIS platform developed on digital interfaces with scenarios of vulnerability, hazard, and adaptation to simulate the improvement of urban resilience after retrofitting<sup>5</sup>. Adaptive actions can be measured and simulated

La fase finale della ricerca ha previsto, nel progetto dimostratore, una piattaforma Web-GIS sviluppata secondo interfacce digitali con gli scenari di vulnerabilità, rischio e adattamento, per simulare il miglioramento delle condizioni di resilienza urbana in seguito agli interventi di retrofit tecnologico<sup>5</sup>. Le azioni di adattamento vanno misurate e simulate per un supporto alle decisioni degli Enti pubblici al fine di orientare e ottimizzare – secondo strategie sostenibili, programmate e integrate – gli investimenti per la riqualificazione urbana.

Il potenziale competitivo della ricerca si colloca pertanto su linee di sviluppo ritenute strategiche dalla comunità internazionale ed è basato sulla capacità di comporre in maniera innovativa fattori e sottosistemi del sistema urbano di norma considerati separatamente. Lo strumento della Piattaforma Web-GIS costituisce un elemento di rilevanza per la costruzione di metodologie e scenari trasferibili in altri contesti. Sviluppandosi all'interno di un Distretto tecnologico, la ricerca ha fruito delle opportunità offerte da una struttura configurata come un cluster in cui convergono saperi specialistici e apporti di partners industriali finalizzati ad una efficace condivisione delle conoscenze e al loro trasferimento sul territorio. Lo sviluppo di metodi e tecnologie integrati attraverso l'utilizzo e l'elaborazione di molteplici tipologie di dati (dati aerofotogrammetrici, dati da telerilevamento LIDAR, serie climatiche, rilevamenti in situ, ecc.) finalizzate alla conoscenza del sistema urbano, hanno consentito di strutturare sistemi informativi multilivello per la valutazione degli impatti e delle soluzioni adattive.

Lo sviluppo della ricerca, pur nei limiti imposti dalle inerzie della realtà operativa e della *governance* amministrativa, è orientato alla individuazione delle dimensioni conformi dei distretti urba-

to support public authorities in decision making to guide and optimize the investments for urban requalification, following programmed and integrated sustainable strategies.

The competitiveness of this research lies in the lines of development that the international community considers strategic and is based on the capacity of composing in an innovative way the factors and subsystems of the urban system that are usually considered separately. The Web-GIS platform is a relevant tool in the development of methodologies and scenarios that can be transferred to other contexts. The research has been carried on in a technological district and therefore could benefit from the opportunities offered by such a structure that is configured as a cluster where expertise and contributions of industrial partners merge to share knowledge effectively and trans-

fer it onto the territory. The development of integrated technologies and methods using and processing several data typologies (aerophotogrammetric data, LIDAR remote sensing data, climate datasets, field measurements etc.) aimed at studying the urban system, has provided multilevel information systems to assess impacts and adaptive solutions.

Despite the limits imposed by the inertia of reality and governance, the research aims at identifying dimensions of compliance in urban districts to mitigate impacts efficaciously, maximise resilience and support professionals in managing climate emergencies on the territory.

### NOTES

1. The paper refers to the component developed by the Department of Architecture of Università di Napoli Federico

ni per interventi efficaci per la mitigazione degli impatti, la massimizzazione della resilienza e il supporto agli operatori preposti alla gestione dell'emergenza climatica sul territorio.

#### NOTE

1. Il contributo fa riferimento alla componente sviluppata dal Dipartimento di Architettura dell'Università di Napoli Federico II. Il progetto è stato attuato dal Distretto ad Alta Tecnologia per l'Edilizia Sostenibile della Regione Campania STRESS Scarl, con le Università di Napoli Federico II e del Sannio, Centri di ricerca, partners industriali ed Enti nazionali e internazionali (Comune di Napoli, Protezione civile, Autorità di Bacino, Centro Euro-mediterraneo sui Cambiamenti Climatici).

2. Gli scenari di Hazard sono stati elaborati all'interno del progetto di ricerca a partire dai modelli di previsione RCP 4.5 e RPC 8.5 (Representative Concentration Pathways) che stimano un andamento costante o in crescita di emissioni e concentrazioni di gas serra, aerosol, gas chimicamente attivi e variazioni di uso del suolo (Intergovernmental Panel on Climate Change). I dati di proiezione climatica sull'area di studio di Napoli utilizzati per la modellazione degli scenari di hazard sono stati elaborati dal Centro Euro-mediterraneo sui Cambiamenti Climatici.

3. Ad esempio PAN 6.0 per i valori di sfasamento e attenuazione, Autodesk Ecotect Analysis 2011 per i valori di soleggiamento dell'involucro e di Sky View Factor, EnviMET 3.1 Beta 5 per i valori di NDVI, etc.

4. La modellazione tridimensionale dell'area di studio (edifici, pavimentazioni, vegetazione, etc.), la configurazione dei software (dati climatici, caratteristiche dell'edificio, etc.), l'esecuzione delle simulazioni (stato attuale e previsionale), la lettura ed estrazione dei risultati.

5. <http://webgis.progetto-metropolis.it>.

II. The project has been implemented in the High Technology Research Center for Sustainable construction STRESS Scarl of the Campania Region, together with the Università di Napoli Federico II e del Sannio, Research Centers, industrial partners and national and international Bodies (Comune di Napoli, Protezione civile, Autorità di Bacino, The Euro-Mediterranean Center on Climate Change).

2. Hazard scenarios have been developed within the project starting from RCP 4.5 and RPC 8.5 forecasting models (Representative Concentration Pathways) that estimate steady or increasing trends in the emission and concentration of greenhouse gas, aerosol, chemically active gases and variations in the use of the soil (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate projection data on the study area in Naples, used in the development of

hazard scenarios, were processed by The Euro-Mediterranean Center on Climate Change.

3. For instance, PAN 6.0 for discrepancy and mitigation values, Autodesk Ecotect Analysis 2011 for the sunlight values on envelopes and Sky View Factor, EnviMET 3.1 Beta 5 for NDVI values, etc.

4. The 3D modelling of the study area (buildings, paving, vegetation etc.), software configuration (climate data, buildings' features etc.) simulations (state of the art and projections), reading and extraction of results.

5. <http://webgis.progetto-metropolis.it>.

#### REFERENCES

D'Ambrosio, V. and Leone, M.F. (Eds.) (2017), *Environmental Design for Climate Change adaptation. 2. Tools and Guidelines for Climate Risk Reduction*, Clean, Napoli.

European Environment Agency (2012), *Environmental indicator report 2012. Ecosystem resilience and resource efficiency in a green economy in Europe*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

European Environment Agency (2016), *Urban adaptation to climate change in Europe 2016, Transforming cities in a changing climate*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2014), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge and New York, Cambridge University Press.

Mercogliano, P., Rianna, G. and Zollo, N.C. (2016), "Climate change scenarios at urban scale: the downscaling issue", in D'Ambrosio, V., Leone, M.F. (Eds.), *Environmental Design for Climate Change adaptation 1. Innovative models for the production of knowledge*, Clean, Napoli, pp. 208-217, available at: <http://www.sitda.net/index.php/biblioteca-sitda.html> (accessed 22 May 2018).

D'Ambrosio, V. and Di Martino, F. (2016), "The Metropolis research. Experimental models and decision-making processes for the adaptive environmental design in climate change", *UPLanD - Journal of Urban Planning, Landscape & environmental Design*, No. 1, available at: [www.upland.it](http://www.upland.it) (accessed 22 May 2018).

Pelizzaro, P. and Mezzi, P. (2016), *La città resiliente. Strategie e azioni di resilienza urbana in Italia e nel mondo*, Milano.

Ratti, C., Raydan, D. and Steemers, K. (2003), "Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate", *Energy and Buildings*, Vol. 35, pp. 49-59.

Swart, R., Fons, J., Geertsema, W., van Hove, B., Gregor, M., Havranek, M., Jacobs, C., Kazmierczak, A., Krellenberg, K., Kuhlicke, C. and Peltonen, L. (2012), *Urban Vulnerability Indicators. A joint report of ETC-CCA and ETC-SIA, Technical Report 01/2012*, European Topic Centre on Climate Change Impacts, Vulnerability and Adaptation (ETC/CCA) and European Topic Centre on Spatial Information and Analysis (ETC/SIA).

Weber, S., Sadoff, N., Zell, E. and De Sherbinin, A. (2015), "Policy-Relevant Indicators for Mapping the Vulnerability of Urban Populations to Extreme Heat Events: A Case Study of Philadelphia", *Applied Geography*, No. 63, pp. 231-243.

Timmerman, J. et al., (2017), *Map book urban vulnerability to climate change - Factsheets*, European Environment Agency, European Topic Centre on Climate Change Impacts, Vulnerability and Adaptation, European Topic Centre on Spatial Information and Analysis.

Zolli A. and Healy A.M. (2014), *Resilienza. La scienza di adattarsi ai cambiamenti*, Rizzoli, Milano.