

This is an Open Access document downloaded from ORCA, Cardiff University's institutional repository: <https://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/149012/>

This is the author's version of a work that was submitted to / accepted for publication.

Citation for final published version:

Pezzica, Camilla and Cutini, Valerio 2021. Road network resilience: the relational components and their role in disaster risk reduction. AND 40 , pp. 182-187. file

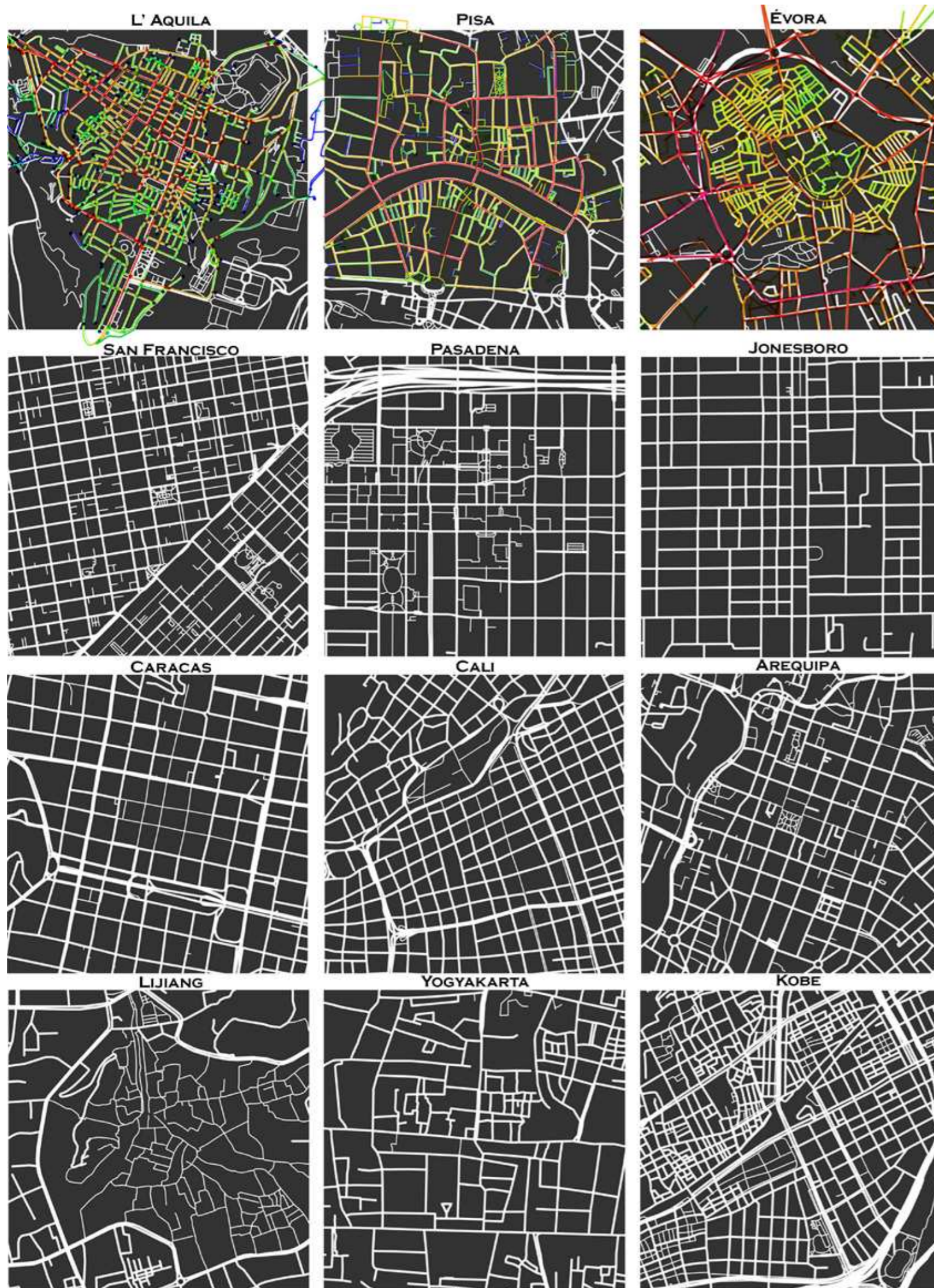
Publishers page: <https://www.and-architettura.it/index.php/and/issu...>

Please note:

Changes made as a result of publishing processes such as copy-editing, formatting and page numbers may not be reflected in this version. For the definitive version of this publication, please refer to the published source. You are advised to consult the publisher's version if you wish to cite this paper.

This version is being made available in accordance with publisher policies. See <http://orca.cf.ac.uk/policies.html> for usage policies. Copyright and moral rights for publications made available in ORCA are retained by the copyright holders.





1 SQUARE MILE NOLLI MAPS

Resilienza di rete

Le componenti relazionali e il loro ruolo nella riduzione del rischio di disastri

#network resilience
#street networks
#specified resilience
#resilience indices
#configurational analysis

testo di/text by
Pezzica Camilla, Cutini Valerio
Università degli Studi di Pisa/University of Pisa

Road network resilience: the relational components and their role in disaster risk reduction

1. The rise and fall of the term resilience

Some terms, among which “sustainability”, and more recently “regeneration” and “resilience”, find in particular moments a historical and cultural context so prepared to adopt them as to favour their incorporation and rapid proliferation in different fields. Sometimes, this proliferation proceeds in an almost infesting way, generating a variety of declensions that free these terms from their original boundary, in terms of use and meaning, making them available to cover a much wider semantic terrain. The expressions in question then become ‘umbrella terms’, useful for encompassing different concepts and principles, and for supporting different aims. Although, on the one hand, this dynamic clearly attests the effectiveness of the term in reflecting an era, representing themes, sensitivities and reasons that emerge at that particular moment in time, on the other hand, there is a clear risk of this leading to a substantial emptying of their meaning. The umbrella term becomes, then, a linguistic flag, a self-referential hashtag useful for legitimizing, with its use, the communication of misleading, partial or in any case not sufficiently clear messages. Although the term “resilience” is generally understood as the “ability to prepare and plan for, absorb, recover from or more successfully adapt to actual or potential adverse events” (NRC, 2012; p 16), more specific notions, as presented in the vast recent literature, are so polysemic that even the

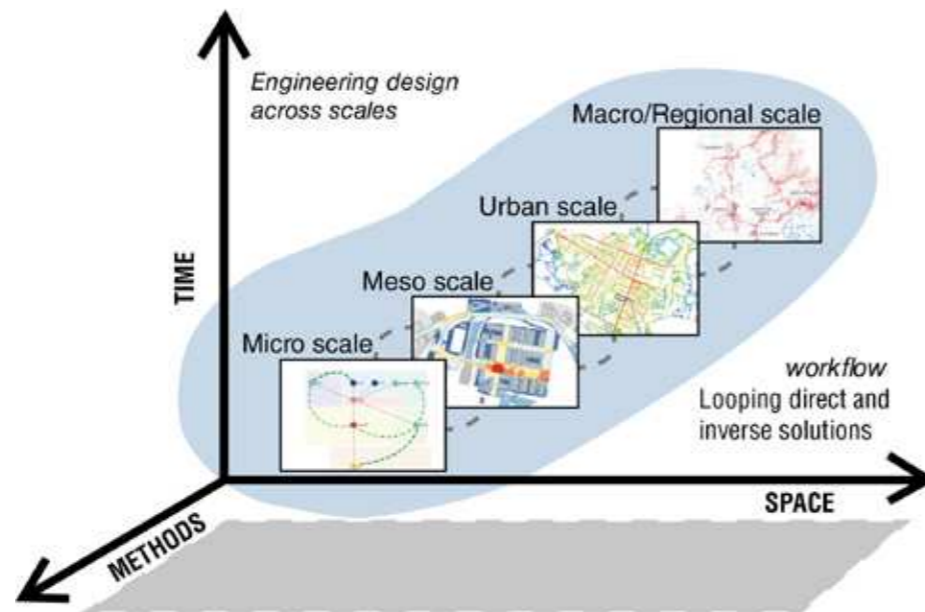
1. L’ascesa e la caduta del termine resilienza

Alcuni termini, tra i quali “sostenibilità”, e più di recente “rigenerazione” e “resilienza”, trovano in particolari momenti un contesto storico e culturale tanto disponibile a riceverli da favorirne l’attecchimento e la rapida proliferazione in campi diversi. Talvolta questa procede in modo quasi infestante, generando una varietà di declinazioni che liberano questi termini dal loro perimetro di origine, in termini di uso e significato, rendendoli disponibili a interessare un terreno semantico assai più ampio. I termini in questione diventano quindi ‘umbrella terms’, utili a coprire concetti e principi differenti, e ad avvalorare diversi intendimenti. Se da un lato questa dinamica attesta l’efficacia del termine a rispecchiare un’epoca, rappresentando temi, sensibilità e ragioni che emergono in quel particolare momento, dall’altro è evidente il rischio che ciò determini uno svuotamento del loro significato. L’ombrello term diviene una bandiera linguistica, un *hashtag* autoreferenziale utile a legittimare, con il suo utilizzo, la comunicazione di messaggi forvianti, parziali o comunque non sufficientemente chiari. Sebbene il termine “resilienza” sia generalmente inteso come la capacità di “prepararsi e pianificare, assorbire, riprendersi o adattarsi con più successo a eventi avversi effettivi o potenziali” (NRC, 2012; p 16), nozioni più specifiche, così come presentate nell’ampia letteratura recente, sono tanto polisemiche che anche la costruzione di una tassonomia dei suoi significati appare controversa. Ad esempio, Rose (2004) fa una distinzione tra resilienza ai disastri statica e dinamica. La prima è intesa come capacità di un sistema di mantenere la propria funzionalità (Holling, 2013), mentre la seconda si riferisce alla capacità del sistema di riprendersi (Pimm, 1984). Cutter (2016) distingue tra resilienza inerente (capacità intrinseca del sistema di assorbire uno shock) e adattiva (capacità di un sistema di modificarsi e adattarsi ai cambiamenti che questo shock determina), aprendo a discussioni sul significato di resilienza come risultato o processo. Questa dinamica si riflette nell’uso del termine “resilienza urbana”. Se nel 2004 Google restituiva circa 135.000 risultati per questa espressione, 17 anni dopo questi erano già più di quattro volte tanti. Il fenomeno non si può ricondurre solamente all’effetto di mode passeggero riguardo a interessi e abitudini lessicali, quanto piuttosto a un cambiamento di priorità e preoccupazioni individuali e collettive, legate alla percezione del rischio. Il titolo del libro di Beck “Risk Society” (1992) è emblematico del periodo storico nel quale viviamo, dove la società della tarda modernità sembra condannata a convivere con la costante presenza di condizioni di rischio, per la possibilità di disastri da calamità e per tendenze autodistruttive latenti. Dopo il superamento dei secolari problemi dovuti a carenze materiali che caratterizzavano la ‘società della scarsità’, la società contemporanea si è riconfigurata come ‘società del rischio’. Sebbene alcuni fattori

sotto/below: Quadro per l'analisi della resilienza di rete / Network resilience analysis framework

a destra/on the right: Accumoli, variazione diacronica di 4 indici di resilienza di rete / Accumoli, diachronic variation of 4 network resilience indices

construction of a taxonomy of its meanings appears controversial. For example, Rose (2004) makes a distinction between static and dynamic resilience to disasters. The first is understood as the ability of a system to maintain its functionality (Holling, 2013), while the second refers to the system's ability to recover (Pimm, 1984). Cutter (2016) distinguishes between inherent resilience (intrinsic ability of the system to absorb a shock) and adaptive resilience (ability of a system to modify itself and adapt to the changes that this shock causes), opening up to discussions on the meaning of resilience as a result or process. This dynamic is reflected in the use of the term "urban resilience". While Google returned about 135,000 results for this expression in 2004, 17 years later they were more than four times as many. The phenomenon cannot be traced back only to the effect of transitory fashions regarding lexical interests and habits, but rather to a change in individual and collective priorities and concerns, linked to the perception of risk. The title of Beck's book "Risk Society" (1992) is emblematic of the historical period in which we live, where the society of late modernity seems condemned to cohabit with the constant presence of conditions of risk, due to the possibility of disasters stemming from hazards and latent self-destructive tendencies. After overcoming the centuries-old problems linked to material deficiencies that characterised the 'society of scarcity', our contemporary society has reconfigured itself as a 'risk society'. Although some factors - such as climate change, environmental degradation, rapid urbanisation, political instability and the strong variability of socio-economic dynamics - are easy to identify, the perception of risk has become a pervasive and immanent condition, not attributable to a specific cause. This perception is reinforced by a structural condition of uncertainty, which followed the epistemological revolution of the late twentieth century, known as 'complexity science'. On the one hand, it marked the decline of the positivist ideal and trust in man's ability to understand and predict, rationally and comprehensively, urban phenomena. On the other hand, it opened the door to new interpretations based on the principle that system dynamics emerge as a result of unpredictable, multidimensional and non-linear phenomena, through a spontaneous process of self-organization of the individual elements, which interact with each other at the local level. In this context, resilience emerges as a property that combines the perception of a structural condition of immanent risk with the awareness of the inability to identify its causes and predict its effects. All this requires a paradigm shift in planning: no longer aimed at achieving a desirable state, difficult to define and agree on and difficult to achieve, but rather at strengthening the capacity of the urban system to continue to function, responding

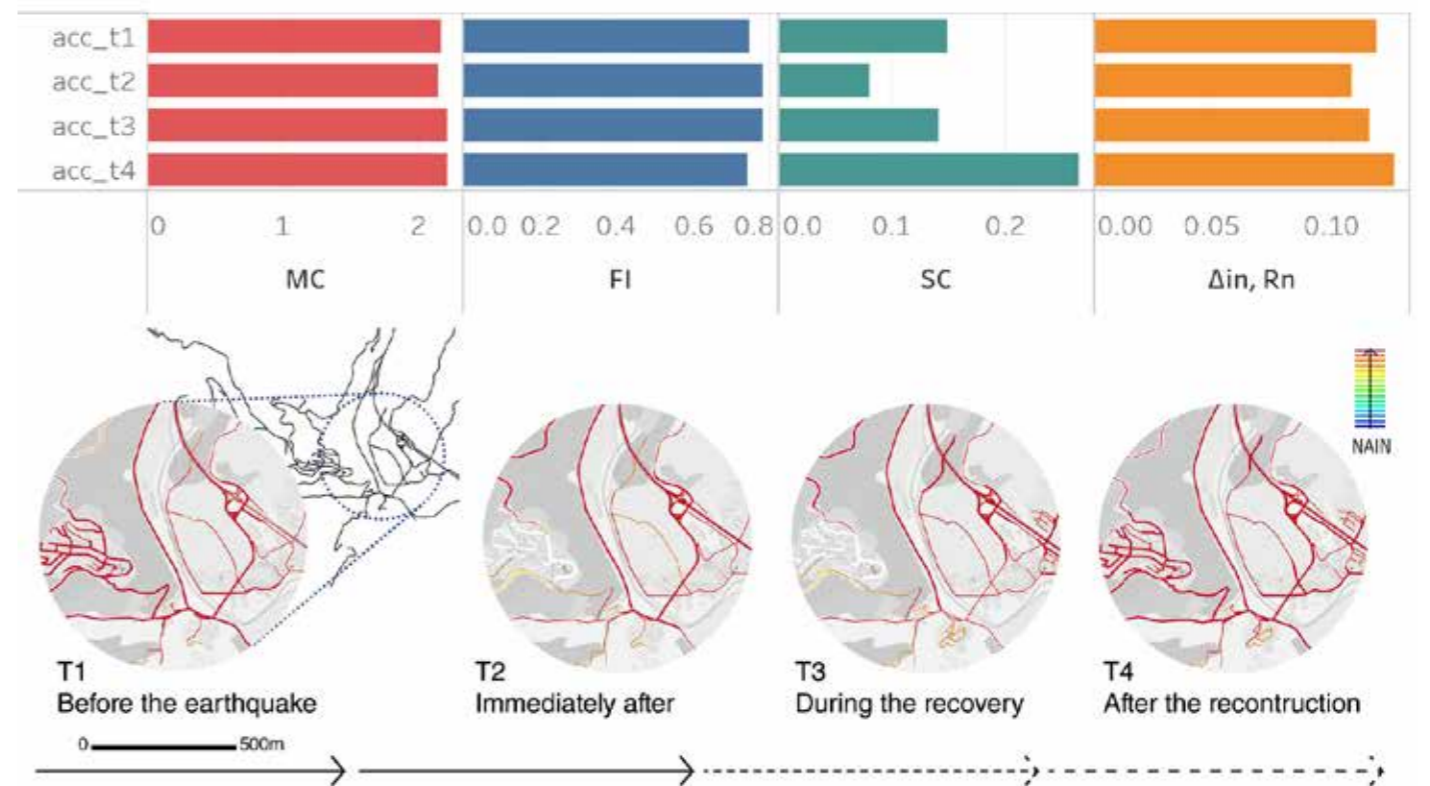


- come i cambiamenti climatici, il degrado ambientale, la rapida urbanizzazione, le instabilità politiche e la forte variabilità delle dinamiche socioeconomiche - siano facili da identificare, la percezione del rischio è diventata una condizione pervasiva ed immanente, non riconducibile a una causa specifica. Questa è rafforzata da una condizione strutturale di incertezza, che ha seguito la rivoluzione epistemologica del tardo Novecento, conosciuta come 'scienza della complessità'. Da una parte, ciò ha segnato il tramonto dell'ideale positivista e della fiducia nella capacità dell'uomo di comprendere e predire razionalmente ed in modo esaustivo i fenomeni urbani. Dall'altra, ha aperto la porta a nuove interpretazioni basate sul principio che le dinamiche di sistema emergono a seguito di fenomeni imprevedibili, multidimensionali e non lineari, attraverso un processo spontaneo di auto-organizzazione dei singoli elementi interagenti a livello locale. In questo contesto, la resilienza emerge come una proprietà che coniuga la percezione di una condizione strutturale di rischio immanente con la consapevolezza dell'incapacità di individuarne le cause e prevederne gli effetti. Tutto ciò impone un cambio di paradigma nella pianificazione: non più finalizzata al raggiungimento di uno stato desiderabile, difficile da definire e concordare e arduo da conseguire, quanto al rafforzamento della capacità del sistema urbano di continuare a funzionare, rispondendo in modo efficace a perturbazioni e variazioni sconosciute e non prevedibili. Questo rende l'adattamento l'unica risposta alla compresenza di rischio e incertezza, e la resilienza (come capacità di un insediamento di reagire in modo adattivo a sollecitazioni esterne e cambiamenti imprevedibili) la chiave per affrontare le situazioni in divenire. Comprendere, salvaguardare e valorizzare questa proprietà è quindi compito prioritario di ogni azione di pianificazione.

2. Forma urbana e resilienza

Ribeiro & Pena Jardim Gonçalves (2019) identificano cinque dimensioni di resilienza urbana: naturale (ecologica-ambientale), economica, sociale, istituzionale e infine fisica; quella che, ancora poco esplorata nella letteratura scientifica, include la resilienza della forma urbana. Emerge, questa, dall'assemblaggio nel tempo degli elementi fisici che sostengono il funzionamento (sociale, economico, ecologico, di trasporto, ecc.) della città, inclusa la riproduzione quotidiana delle sue attività e della sua cultura. Pertanto, i componenti della forma urbana (i quartieri, le strade, gli isolati, i bordi stradali e i lotti urbani) possono contribuire a generare connettività, ridondanza, efficienza, modularità e diversità, e presentano tra loro dipendenze trasversali (Felicetti et al., 2016) a varie scale, le quali vanno simultaneamente considerate. Tra questi, le infrastrutture stradali e gli spazi pubblici aperti giocano un ruolo fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi di resilienza e sviluppo sostenibile (Sharifi, 2019). Le proprietà topologiche della rete stradale

Accumoli



effectively to disturbances as well as to unknown and unpredictable variations. This makes adaptation the only response to the coexistence of risk and uncertainty, and resilience (as the ability of a settlement to react adaptively to external stresses and unpredictable changes) the key for addressing issues as they unfold. Understanding, safeguarding and enhancing this property is therefore the priority task of every planning action.

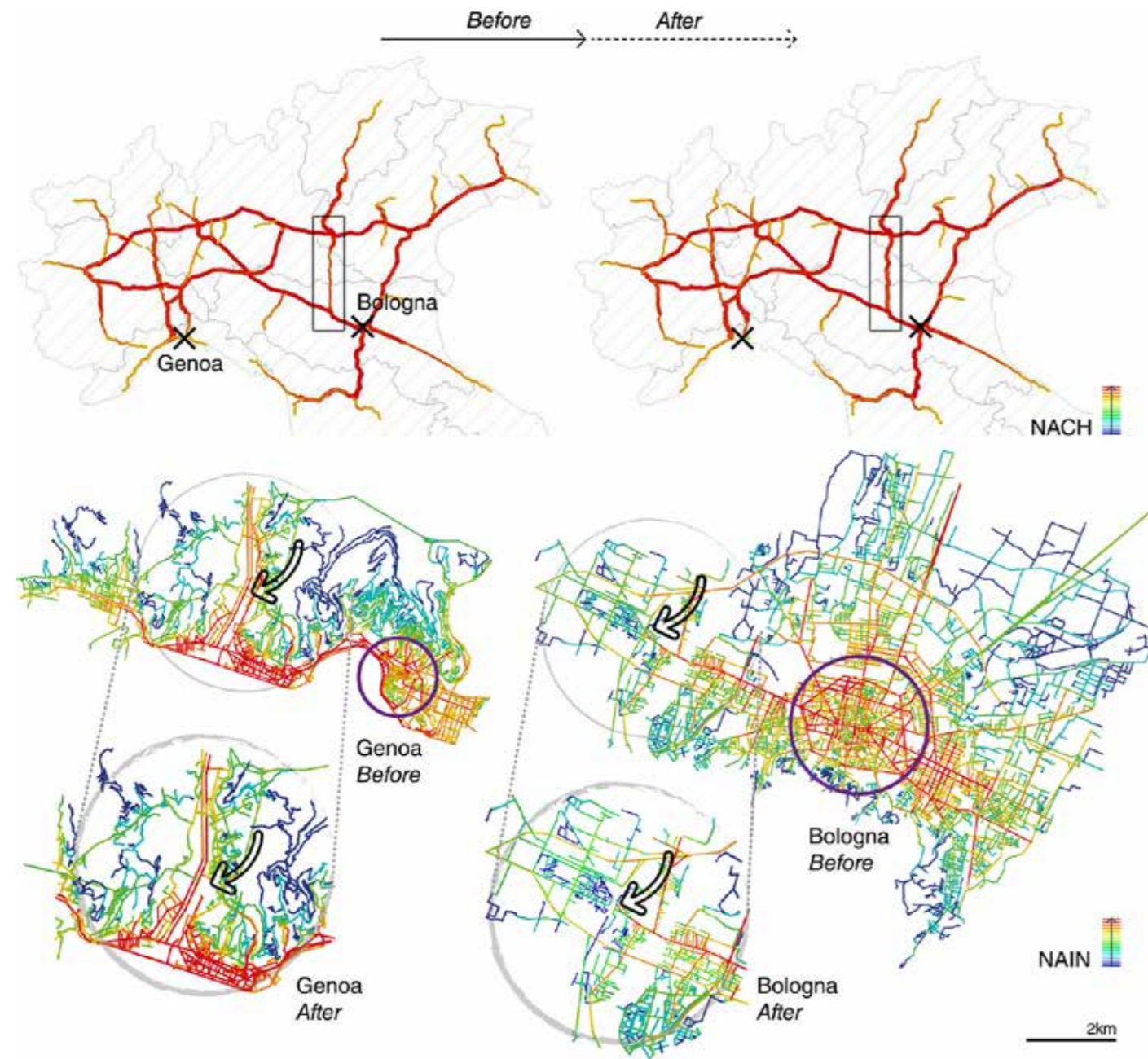
2. Resilience and urban form

Ribeiro & Pena Jardim Gonçalves (2019) identify five dimensions of urban resilience: natural (ecological-environmental), economic, social, institutional and finally physical; what, still little explored in the scientific literature, includes the resilience of the urban form. This emerges as a result of the assemblage, over time, of the physical elements that support the functioning (social, economic, ecological, transport, etc.) and the daily reproduction of the activities of a city and its culture. Therefore, the components of the urban form (districts, streets, blocks, road edges, plots) can contribute to the connectivity, redundancy, efficiency, modularity and diversity of the urban system, and present transversal interdependencies (Felicetti et al., 2016) at various scales, which ought to be simultaneously considered. Among these, road infrastructures and open public spaces play a fundamental role in enabling the achievement of resilience and sustainable development goals (Sharifi, 2019). The topological properties of the road network appear to be crucial to the ability of the urban grid to cope with shocks without affecting the functioning of

appaiono determinanti della capacità della griglia urbana di sopportare degli shock senza affliggere il funzionamento dei sistemi che questa supporta; il che è parte integrante della "resilienza di rete". Sebbene questo concetto sia più frequentemente applicato allo studio di casi estremi, per un esempio pratico basta pensare all'effetto che la chiusura al traffico di certe strade può avere sulla circolazione. Infatti, secondo la teoria 'del movimento naturale' (Hillier and Hanson, 1984), la griglia è il motore dei flussi di movimento urbano, e per estensione delle attività commerciali e dei servizi, e il suo funzionamento sociale è dettato dalle proprietà relazionali delle sue componenti fisiche, tra cui le strade. La 'scienza delle reti' ci mette a disposizione gli strumenti operativi per studiare in modo quantitativo queste relazioni, mentre la Space Syntax (teoria che spiega come lo spazio influenza la nostra esperienza di città e edifici) ci offre una chiave di lettura per connettere questioni di tipo morfologico-relazionale e comportamentali-fenomenologiche; utili a comprendere il ruolo che le prime giocano nella riduzione del rischio in abito urbano. Questa combinazione consente di studiare le trasformazioni spaziali, causate da eventi anche distruttivi, le cui complesse relazioni funzionali vengono analizzate trasformando la griglia in un modello di rete. L'uso di metodi di analisi robusti restituisce poi un'indicazione precisa di come certe qualità relazionali significative variano all'interno del sistema e di come queste si combinano ad una scala più ampia determinando, per esempio, la domanda e i modelli di mobilità urbana; contribuendo, in definitiva, alla resilienza generale del sistema città.

3. Resilienza di rete: due esempi paradigmatici

L'analisi della resilienza di rete si presta a diverse applicazioni nell'ambito della riduzione del rischio di disastri e può essere usata sia in fase preventiva, per identificare e ridurre vulnerabilità esistenti, che in fase di recupero, per informare scelte di soccorso e di ricostruzione. Può inoltre aiutare a studiare la risposta del sistema stradale a seguito di un disastro che interessa interi territori, come nel caso di un terremoto, o anche un solo elemento, come nel caso del crollo di un ponte. Questi casi, che si collocano agli estremi opposti dello spettro di applicazione dell'analisi di resilienza di rete, sono illustrati qui di seguito attraverso gli esempi della valutazione: (i) della collocazione dei siti per gli alloggi temporanei negli insediamenti colpiti dai terremoti del 2016-2017 in Centro Italia; (ii) degli effetti sul traffico urbano e regionale del crollo dei ponti di Genova e Bologna nel 2018, e come questi siano legati ai pattern di urbanizzazione delle due città. Un punto che li accumuna è l'approccio diacronico: la resilienza di rete non viene quindi studiata in termini assoluti, ma relativi. Nel primo caso, l'analisi di rete ha permesso di valutare se, ed in quale misura, l'infrastruttura stradale costruita nella fase di emergenza ha contribuito ad aumentare



a sinistra/on the left. Livelli di centralità delle reti stradali e autostradali urbane dopo il crollo dei ponti di Genova e Bologna / Centrality levels of urban road and motorway networks after the crash of Genova and Bologna bridges

the systems it supports; which is an integral part of "network resilience". Although this concept is more frequently applied to the study of extreme cases, for a practical example one can think about the effect that the closure of certain roads can have on traffic. In fact, according to the theory of 'natural movement' (Hillier and Hanson, 1984), the grid is the engine of urban movement flows, and by extension of commercial activities and services, and its social functioning is dictated by the relational properties of its physical components, including the streets. The 'network science' provides us with the operational tools to study these relationships in a quantitative way, while Space Syntax (a theory that seeks to explain how space affects our experience of cities and buildings) offers us an interpretation key to connect morphological-relational issues and behavioural-phenomenological ones; what helps understand the role that the former play in reducing the risk of urban disasters. This combination enables studying the spatial transformations, caused by events which

can be destructive, whose complex functional relationships are analysed by translating the urban grid into a network model. The use of robust analysis methods, then, returns a precise indication of how certain significant relational qualities vary within the system and how they combine at larger scales determining, for instance, movement demand and urban mobility modes; ultimately contributing to the general resilience of the urban system.

3. Network resilience: two paradigmatic examples

The network resilience analysis lends itself to various applications in the context of disaster risk reduction and can be used both in the preventive phase, to identify and reduce existing vulnerabilities, and in the recovery phase, to inform post-disaster relief and reconstruction decisions. It can also help to study the response of the road network system following a disaster affecting entire territories, as in the case of an earthquake, or even a single element, as in the case of the collapse of a bridge. These cases, which

lie at opposite ends of the spectrum of application of the network resilience analysis, are illustrated below through the examples of the assessment of: (i) the location of temporary housing sites in the settlements affected by the 2016-2017 Central Italy earthquakes; (ii) the effects on urban and regional vehicular flows of the collapse of two bridges in Genoa and Bologna in 2018, and how these are linked to the urbanization patterns of these cities. One point that these cases have in common is the diachronic approach: network resilience is therefore not studied in an absolute manner, but rather in relative terms. In the first case, the network analysis made it possible to assess whether, and to what extent, the road infrastructure built in the emergency phase has contributed to enhance the capacity of the earthquake-affected towns to respond to new disasters; contributing to the creation of alternative routes between possible origin-destination pairs (Gini Coefficient) and increasing the level of complexity (Frequency Index), redundancy of connections (Connectivity) and hierarchy (Syn-

ergy) of the urban road system (Pezzica et al., 2021). In the second case, the analysis highlighted how the removal of a weakly tied element, in this case a bridge, can affect the global accessibility levels of the network, significantly decreasing the overall connectivity of the road system and the redundancy of the routes that run across it; making it vulnerable to future shocks (Cutini and Pezzica, 2020). The study emphasizes both the importance of preserving the functionality of the nodes which are strategically important for the overall functioning of the network, to ensure a greater adaptability of the urban system following localised disruptions, and how urbanization processes contribute to add to, or detract from, network resilience; suggesting the use of the analysis for embedding disaster risk reduction goals in the management of urban spatial development. In conclusion, the concept of network resilience can interact with the planning process by supporting the negotiation between design problems and solutions through the iteration of analysis, synthesis and evaluation activities. Through an interpretative effort, this facilitates the translation of some resilience principles into concrete design propositions. The quantification of their relational components, through the computation of the intrinsic resilience indices of the road system, helps detect the problems and latent potentials of the context right from the beginning, and refine the boundaries of the project objectives in a reflexive way, also inspiring new ideas. The analysis of network resilience ex-post, with respect to perturbation, appears to be a crucial operation in the planning-test cycle; supporting, and adding objectivity to, the comparative assessment of different scenarios, through the formal appreciation of the ability of a socio-spatial system to cope with new perturbations. Clearly, although the network resilience indices offer a valid support to the decision-making process (even with respect to holistic resilience indicators), their use in a planning perspective requires caution and raises questions: in particular concerning the appropriate weights to be attributed to the chosen indices and, more generally, to the consideration and contextualization of the issue of network resilience in the broader framework of the adaptive capacity of the city as a complex system.

NOTE
Il lavoro discute i risultati della tesi di dottorato di Camilla Pezzica, redatta nel corso di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni dell'Università di Pisa. Valerio Cutini ha contribuito al lavoro strutturando l'inquadramento del tema / The work discusses results from the PhD research of Camilla Pezzica. Valerio Cutini contributed to the general framing of the theme

la capacità delle città colpite dal sisma di rispondere a nuovi disastri; contribuendo alla creazione di percorsi alternativi tra le possibili coppie di origini e destinazioni (Coefficiente di Gini) ed incrementando il livello di complessità (Indice di Frequenza), ridondanza di connessioni (Connettività) e gerarchia (Sinergia) del sistema stradale urbano (Pezzica et al., 2021). Nel secondo caso l'analisi ha evidenziato come la rimozione di un elemento debolmente connesso, un ponte, può influire sui livelli di accessibilità globale della rete, diminuendo sensibilmente la connettività complessiva del sistema stradale e la ridondanza dei percorsi che lo attraversano; rendendolo vulnerabile ad ulteriori shock (Cutini and Pezzica, 2020). Lo studio sottolinea sia l'importanza di preservare la funzionalità dei nodi nevralgici della rete, per garantire una maggiore capacità adattamento del sistema urbano in seguito a interruzioni localizzate, sia come i processi di urbanizzazione contribuiscono ad incrementare o ridurre la resilienza di rete; suggerendo l'uso dell'analisi per includere la riduzione del rischio nella gestione dello sviluppo spaziale urbano. In conclusione, il concetto di resilienza di rete può interagire con il processo di pianificazione supportando la negoziazione tra problemi di progettazione e soluzioni attraverso l'iterazione di attività di analisi, sintesi e valutazione. Attraverso uno sforzo interpretativo, questo facilita la traduzione di alcuni principi di resilienza in concrete proposizioni progettuali. La quantificazione delle loro componenti relazionali, attraverso la computazione degli indici di resilienza intrinseca del sistema stradale, aiuta a rilevare fin dall'inizio i problemi e le potenzialità latenti del contesto e rifinire in modo riflessivo il confine degli obiettivi del progetto, ispirando anche nuove idee. Lo studio della resilienza di rete ex-post rispetto alla perturbazione appare un'operazione chiave nel ciclo di pianificazione-test; supportando, aggiungendovi oggettività, la valutazione comparativa di diversi scenari, attraverso l'apprezzamento formale della capacità del sistema socio-spaziale di far fronte a nuove perturbazioni. Naturalmente, sebbene gli indici di resilienza di rete offrano un valido supporto al processo decisionale (anche rispetto a quelli olistici), il loro utilizzo in un'ottica di pianificazione impone cautele e apre questioni: in particolare riguardo all'opportuno peso da attribuire agli indici considerati e, più in generale, alla considerazione e contestualizzazione della tema della resilienza di rete nel più ampio quadro della capacità adattiva della città come sistema complesso.

References

- Beck, U. (1992), Risk Society - Towards a New Modernity, Sage Pub.
- Cutini, V. and Pezzica, C. (2020), Street Network Resilience Put to the Test: The Dramatic Crash of Genoa and Bologna Bridges, Sustainability, Vol. 12 No. 11, p. 4706.
- Cutter, S.L. (2016), Resilience to What? Resilience for Whom?, The Geographical Journal, Vol. 182 No. 2, pp. 110-113.
- Feliciotti, A., Romice, O. and Porta, S. (2016), Design for change: Five proxies for resilience in the urban form, Open House International, Vol. 41 No. 4, pp. 23-30.
- Hillier, B. and Hanson, J. (1984), The Social Logic of Space, Cambridge University Press.
- Holling, C.S. (2013), Resilience and stability of ecological systems, The Future of Nature: Documents of Global Change, pp. 245-256.
- NRC. (2012), Disaster Resilience: A National Imperative, Disaster Resilience: A National Imperative, National Academies Press.
- Pezzica, C., Cutini, V., Bleil de Souza, C. and Chioni, C. (2021), Re-defining spatial typologies of humanitarian housing plans using machine learning, in: Innovation in Urban and Regional Planning, INPUT 2021- LNCE, Springer Cham.
- Pimm, S.L. (1984), The complexity and stability of ecosystems, Nature 1984 307:5949, Vol. 307 No. 5949, pp. 321-326.
- Ribeiro, P.J.G. and Pena Jardim Gonçalves, L.A. (2019), Urban resilience: A conceptual framework, Sustainable Cities and Society, 50.
- Rose, A. (2004), Defining and measuring economic resilience to disasters, Disaster Prevention and Management: An International Journal, Vol. 13 No. 4, pp. 307-314.
- Sharifi, A. (2019), Resilient urban forms: A review of literature on streets and street networks, Building and Environment, Vol. 147, pp. 171-187.