

Francesca Vanelli<sup>1,2</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-5918-2932>

Monica Lavagna<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-1001-4292>

Paul Minifie<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-2687-6479>

[francesca.vanelli@polimi.it](mailto:francesca.vanelli@polimi.it)

[monica.lavagna@polimi.it](mailto:monica.lavagna@polimi.it)

[paul.minifie@rmit.edu.au](mailto:paul.minifie@rmit.edu.au)

<sup>1</sup> Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, Italia

<sup>2</sup> School of Design and Social Context, Royal Melbourne Institute of Technology, Australia

**Abstract.** Nella gestione del rischio alluvionale, le autorità preferiscono l'affidamento a misure strutturali ingegneristiche, centralizzate a livello spaziale e di governance. Queste sono valutate principalmente sulla base della riduzione del danno, senza considerare criteri sociali, economici e ambientali. La ricerca propone una metodologia valutativa e procedurale per supportare la scelta di misure spazialmente distribuite. Il contributo, dopo un'illustrazione del progetto di ricerca e della metodologia applicata, si concentra sul primo step metodologico: l'identificazione di criteri valutativi multi-scalari e multidisciplinari, tramite revisione sistematica della letteratura e interviste. Il contributo conclude presentando i criteri, una riflessione sul tema e i successivi sviluppi.

**Parole chiave:** Flood risk management; Approccio sistemico; Multicriteri; Ambiente costruito; Multi-scala.

## Introduzione

In Europa, la gestione del rischio alluvionale è distribuita su vari livelli amministrativi, che sono spinti a una collaborazione a scala di bacino sia dall'urgenza del fenomeno che dalle nuove direttive europee, come la Direttiva Europea sulle alluvioni che supporta una gestione integrata del rischio (European Commission, 2007). Superando la visione degli anni '70-'90 basata su strategie di difesa reattive ed emergenziali, l'approccio odierno verte su *Flood Risk Management* (Dieperink *et al.*, 2016), cioè un controllo applicato alla risorsa idrica attraverso le varie fasi del disastro, includendo strategie di difesa, prevenzione, mitigazione degli impatti, preparazione e ricostruzione. Tali strategie sono concretizzate in diverse misure: quelle di difesa (eco)ingegneristica; le misure non strutturali, cioè politiche urbane di prevenzione e preparazione all'evento; soluzioni ispira-

Evaluation criteria for a systemic approach to flood risk management: stakeholders' perspectives

**Abstract.** Flood risk management authorities rely on structural engineering measures centralised at the spatial and governance levels. These are mainly evaluated based on damage reduction without considering social, economic and environmental criteria. The research proposes an evaluative and procedural methodology to support the choice of spatially distributed measures. After illustrating the research project and the applied methodology, the paper focuses on the first methodological step, which involves identifying multi-scalar and multidisciplinary evaluative criteria through a systematic literature review and interviews. The paper concludes by presenting the criteria, reflecting on the topic and the subsequent developments of the research.

**Keywords:** Flood Risk Management; Systemic approach; Multi-criteria; Built environment; Multi-scalar.

te alla natura (*nature-based solutions, NBS*) e misure di *flood-proofing* a livello di edificio. Tuttavia, l'affidamento a tradizionali misure ingegneristiche, per lo più centralizzate a livello spaziale e guidate da modelli di governance anch'essi centralizzati, resta legato a una soglia di fallimento, a una gestione compartimentalizzata, ad un elevato consumo di risorse, col rischio di generare conflitti localizzati. In aggiunta, se da un lato le misure vengono valutate sulla base della riduzione del danno, dall'altro la letteratura promuove l'uso di una varietà di criteri e di processi partecipativi per ridurre conflitti sociali, aumentare la legittimità, e per cogliere aspetti contestuali (Alves *et al.*, 2018, 2019). In questo contesto, la ricerca indaga modalità di adattamento dell'ambiente costruito alle alluvioni, in particolare la definizione di un approccio sistemico e partecipativo che consideri combinazioni di misure multi-scalari. Il presente contributo, dopo aver illustrato le implicazioni di un approccio sistemico e la metodologia generale, si concentra sul primo step metodologico: l'identificazione di criteri valutativi multi-scalari e multidisciplinari, tramite letteratura e interviste. A seguire, si discutono i criteri identificati e si conclude con i successivi passi della ricerca.

## Approccio sistemico

La ricerca si propone di definire un approccio sistemico all'adattamento al rischio alluvionale e alla mitigazione degli impatti. Tale approccio resiliente, in grado di resistere, assorbire e adattarsi a un evento, considera una gestione del rischio attra-

## Introduction

In Europe, flood risk management is distributed across various bodies and administrative levels, which are driven to collaborate at the basin scale by the urgency to cope with flood events. They are also compelled to cooperate by the new European directives, such as the Flood Directive, which supports reactive and emergency-based integrated risk management (European Commission, 2007). Overcoming the '70s-'90s vision based on defensive strategies, the current approach leans towards Flood Risk Management (Dieperink *et al.*, 2016), i.e. a control applied to the water resource through the various phases of the disaster, therefore including defence, prevention, impact mitigation, preparation and reconstruction strategies. These strategies are implemented through functionally different measures: structural, i.e. (eco)engineering

defence measures to *keep water away*; non-structural, i.e. urban policies for prevention and preparation to *keep people away*; nature-based solutions and flood-proofing measures. However, the reliance on traditional structural engineering measures, mostly spatially centralised and guided by centralised governance models, remains linked to a failure threshold, high consumption of resources, and a high risk of generating localised conflicts. In addition, while measures are primarily evaluated based on damage reduction potential, the literature promotes the use of a variety of social, economic and environmental indicators and participatory processes to reduce social conflicts, increase legitimacy and support, and capture contextual aspects (Alves *et al.*, 2018, 2019). The research investigates strategies for flood adaptation in the built environment, particularly

verso diverse scale geografiche e temporali, in cui strategie di difesa, prevenzione, preparazione coesistono (Adedeji *et al.*, 2024). Difatti, alcuni autori (e.g., Barendrecht *et al.*, 2020; Kreibich *et al.*, 2015; Rehan, 2018) sostengono la necessità di considerare il contributo di misure distribuite a diverse scale. Tuttavia, se la letteratura studia l'integrazione tra misure strutturali e non-, un aspetto poco studiato è quello delle misure decentrate, efficaci nel ridurre gli impatti degli eventi alluvionali nell'ambiente costruito, il cui contributo è spesso trascurato, per limitazioni metodologiche e per il necessario coinvolgimento di multipli attori. La collaborazione tra settori e attori è oggi un aspetto chiave dell'approccio di *Flood Risk Management*, per condividere responsabilità, ridurre i rischi in modo consensuale e non generarne di nuovi (Ishiwatari, 2024). Pertanto, per un sistema decentralizzato, è necessario includere aspetti di *Flood Risk Governance*, che si riferisce alla costruzione di valori e di una visione comune, all'uso di risorse e regole, ai meccanismi da attivare tra i diversi attori (Hegger *et al.*, 2014). Applicare un approccio di decentralizzazione delle misure porta tre vantaggi (Veerbeek *et al.*, 2012): i) interrompere la dipendenza da interventi a scala ampia che dipendono principalmente da fondi pubblici, rivolgendosi a misure localizzate che possono aprirsi a diversi modelli di governance; ii) progettare misure a scala locale, flessibili, per ridurre le incertezze di previsione degli impatti, più evidenti a macro-livello; iii) distribuire su più misure la risposta ad eventi alluvionali per rendere il sistema più resiliente. A ciò, aggiungiamo l'importanza di sviluppare una coscienza civica attraverso forme di adattamento locali che aumentino l'accettabilità e la valorizzazione delle strategie. Per concludere, un approccio sistemico alla gestione

the definition of a systemic and participatory approach that considers all the measures that exist in a sub-basin at different scales, with both public and private involvement. This study focuses on the identification of appropriate multidisciplinary evaluation criteria. After briefly illustrating the implications of a systemic approach, the contribution explains the general methodology and the first methodological step of identifying multi-scalar and multidisciplinary evaluation criteria through literature and interviews. The identified evaluation criteria are then presented and discussed. The paper concludes with a reflection on the research topic and subsequent research developments.

#### A systemic approach

The research aims to define a systemic approach to flood risk adaptation and

impact mitigation. This resilient approach, i.e. capable of resisting, absorbing and adapting to an event, considers risk management across different geographical and temporal scales in which defence, prevention and preparation strategies coexist (Adedeji *et al.*, 2024). Some authors (e.g. Barendrecht *et al.*, 2020; Kreibich *et al.*, 2015; Rehan, 2018) state the need to consider the contribution of measures distributed at different scales. However, though the literature studies the integration between structural and non-structural measures, an overlooked aspect is that of decentralised measures, which effectively reduce the impact of flood events in the built environment. The contribution of such measures is often discarded due to methodological limitations and to the necessary involvement of multiple actors. Collaboration between sectors and actors is an essen-

del rischio alluvionale vede la messa in atto di diverse misure su targets spaziali e sociali diversificati.

#### Una proposta metodologica

Il processo decisionale per identificare strategie appropriate a gestire il rischio alluvionale è complesso, non solo per le ingenti risorse da mettere in atto, ma anche per le intricate dipendenze tra le diverse misure, gli interessi dei diversi attori, e le incertezze scientifiche nelle previsioni. Misure di valutazione tradizionali identificano soluzioni efficienti quelle con un rapporto più alto tra costi e benefici. Questi metodi sono lacunosi di una prospettiva più ampia, dove si considerino un insieme di criteri e indicatori economici, sociali ed ambientali (O'Donnell *et al.*, 2024). L'analisi multi-criteriale permette di identificare la migliore soluzione tra diverse alternative secondo obiettivi e criteri i quali, tramite processi partecipativi, includono le diverse opinioni degli attori coinvolti nel processo decisionale. L'approccio partecipativo, benché complesso e incerto nei risultati, è cruciale per incorporare lo 'human element' nella valutazione e risposta al rischio (Proverbs *et al.*, 2024, p. 365). La presente ricerca sviluppa una metodologia valutativa e procedurale per supportare la scelta di misure spazialmente distribuite, basata su criteri valutativi multi-scalari e multidisciplinari, focus di questo contributo.

#### Metodologia di identificazione dei criteri

I criteri per l'analisi multi-criteriale sono stati identificati in diverse fasi. i) Si è effettuata una revisione sistematica della letteratura, utilizzando il metodo PRISMA (Raikes *et al.*, 2019). La revisione si è concentrata su due tematiche: il quadro teorico

tial aspect of Flood Risk Management today, as it allows to share responsibilities, reduce risks consensually, and not generate new ones (Ishiwatari, 2024). Therefore, a decentralised system must include aspects of Flood Risk Governance, referring to shared vision, value building, and the use of resources, regulations and engagement mechanisms between actors (Hegger *et al.*, 2014). Applying a decentralisation approach to Flood Risk Management measures brings three advantages (Veerbeek *et al.*, 2012): i) it breaks dependence on large scale interventions that mainly depend on public funds, turning to localised measures that can open up different governance models; ii) it encourages designing flexible, local-scale measures to reduce forecast uncertainties, which are more evident at the macro-level; iii) it distributes the response to flood events across multi-

ple measures to make the system more resilient and less prone to failure. To these, we add the importance of activating local forms of adaptation by creating civic engagement and raising awareness regarding climate adaptation. Concluding, a systemic approach to Flood Risk Management involves implementation of different measures, targeting a variety of spatial and social receptors.

#### A methodological proposal

The decision-making process to identify appropriate strategies for Flood Risk Management is complex, not only due to the considerable resources to be activated but also due to the intricate consequences between the different measures, the divergent or converging interests of the various actors, and the scientific uncertainties concerning predictions of future conditions. Tradition-

sul tema di adattamento alle alluvioni e di gestione del rischio, e i processi di identificazione e implementazione di misure di gestione del rischio alluvionale. È stato creato un database di circa 600 fonti identificate su Scopus e Web of Science, e sono stati analizzati titoli ed abstracts. Il database include anche fonti identificate via *snowballing*. ii) Titoli, abstracts e parole-chiave dei documenti della seconda tematica sono stati selezionati secondo le seguenti parole chiave: *multi-criteria*, *multicriteria*, *performance*, *evaluation*, individuando 73 articoli. Un'analisi di dettaglio ha identificato 45 articoli (Tab. 1), escludendo quelli focalizzati sulla valutazione del rischio (invece che sulle misure) e quelli solo descrittivi del metodo. iii) Questi documenti sono stati poi analizzati per ottenere una lista di criteri, iv) validata attraverso interviste. Le interviste sono state condotte tra gennaio e marzo 2024, seguendo il metodo Delphi, per collezionare opinioni di esperti in modo sistematico; per questo contributo consideriamo un metodo Delphi semplificato (Quyên, 2014). Difatti, durante il colloquio, viene chiesto di indicare i criteri rilevanti; a fronte di ciò, si chiede di evidenziare lacune o modifiche rispetto alla lista di criteri risultante dalla letteratura. Nove esperti sono stati identificati nell'ambito accademico, tra associazioni no-profit e amministrazioni pubbliche (profili in Tab. 2). Sono stati identificati attori di competenza generica e a scala locale, questi ultimi legati a un caso studio italiano, presentato di seguito. La metodologia presenta alcune limitazioni. Il database finale include articoli contestualizzati nei limiti della prima analisi della letteratura; tuttavia, questo ha permesso di limitare la ricerca a fonti rilevanti per il tema generale. Inoltre, la ricerca si concentra sull'identificazioni di criteri valutativi clusterizzati in dimensioni, e non si spinge alla formulazione

al evaluation measures identify efficient solutions with a higher cost-benefit ratio. These methods lack a broader perspective where economic, social, and environmental criteria and indicators are considered. Multi-Criteria Analysis allows to identify the best solution among alternatives according to multidisciplinary objectives and criteria. It evaluates which criteria influence the decision, and captures variations in the opinions of the actors involved in the decision-making process. Despite complex and uncertain results, the participatory approach is key for incorporating the 'human element' into risk assessment and response (Proverbs *et al.*, 2024, p. 365). This research develops an evaluative and procedural methodology to support the choice of spatially distributed measures based on multi-scalar and multidisciplinary evaluation criteria, which is the focus of this paper.

#### Criteria identification methodology

The criteria for Multi-Criteria Analysis are identified via different steps. Firstly, an extensive systematic literature review was conducted using the PRISMA method (Raikes *et al.*, 2019). The review focused on the state of the art on two themes: i) the general theoretical framework on flood adaptation and risk management, and ii) the processes of identification and implementation of Flood Risk Management measures. A database of approximately 600 sources was created and identified on Scopus and Web of Science, reviewing titles and abstracts; the database also includes relevant sources identified via snowballing. Secondly, the titles, abstracts and keywords of documents belonging to the second theme were scanned using the following keywords: *multi-criteria*, *multicriteria*, *performance*, and *evaluation*, leading to the

di indicatori, che verranno definiti in seguito. Tali criteri riflettono la complessità della scelta che guida la selezione di misure e strategie per la gestione alluvionale. Questo contributo è uno step preliminare e necessario per la successiva identificazione di indicatori.

#### Il caso studio del Bacino del Seveso

Il bacino del Torrente Seveso in Lombardia è parzialmente incluso nella provincia di Monza-Brianza e nella Città Metropolitana di Milano, la cui alta urbanizzazione che ha portato alla antropizzazione del fiume. Ciò causa allagamenti ricorrenti in diversi comuni anche a fronte di precipitazioni di bassa entità: in media dal 2005, sono occorse n. 2.5 esondazioni all'anno (Vitale and Meijerink, 2021), anche a fronte di una limitata capacità delle reti fognarie, che aumenta la crisi idraulica (Busi, 2018). Per contrastare piene significative in aree urbanizzate, la Regione ha introdotto il principio dell'invarianza idraulica e idrologica<sup>1</sup> contro le acque meteoriche, le cui misure sono calcolate rispetto alla variazione della permeabilità del suolo, indicando come *benchmark* cautelativo lo stato naturale precedente all'urbanizzazione (Berteni *et al.*, 2020). Il principio viene comunemente tradotto in invasi di laminazione, calcolati per tempi di ritorno di 50 anni e testati per 100, per il temporaneo contenimento delle acque che vengono poi smaltite via riuso, infiltrazione o scarico. Il progetto del sottobacino (Regione Lombardia and ERSAF, 2017) include, oltre al canale scolmatore di Nord Ovest ed interventi di drenaggio urbano, una serie di vasche di espansione a monte e di laminazione a valle per ridurre il rischio di esondazione. Alcune municipalità si sono opposte al progetto per diversi motivi: la discrepanza tra

identification of 73 papers. A detailed review led to 45 papers (Tab.1), excluding those focused on risk assessment rather than on measures, and those only descriptive of the MCA method. Thirdly, these documents were read in detail to obtain a list of potential criteria, which was validated through interviews afterwards. The interviews were conducted between January and February 2024, following the Delphi method. This method is used to collect expert opinions in a structured and systematic way. From the classical model, various modified forms have emerged in literature (Quyên, 2014). For this paper, we consider a simplified Delphi method. During the interview, the respondents were firstly asked to think about criteria relevant to the identified problem; afterwards, they were shown the list of criteria resulting from the literature and then asked to

highlight gaps or changes. The experts are identified in the academic field and research institutes among non-profit associations and public administrations (details in Tab. 2). Competent actors at both a large and local scale are identified; the latter are related to a specific Italian case study, presented below.

The methodology presents some limitations. The final database includes papers contextualised within the limits of the first literature review; however, this allowed us to limit the search to sources relevant to the main topic. Furthermore, the research focuses on the identification of evaluation criteria clustered in dimensions and does not go as far as the definition of indicators, which will be defined in subsequent steps. These criteria reflect the complexity of the choice that guides the selection of measures and strategies

|    | Authors                     | Year | Title  | Journal   |
|----|-----------------------------|------|--|---|
| 1  | Adamson <i>et al.</i>       | 2016 | Reflecting Societal Values in Designing Flood Risk Management Strategies   | E3S Web of Conferences, vol. 7                                      |
| 2  | Alexander <i>et al.</i>     | 2016 | A framework for evaluating flood risk governance   | Environmental Science and Policy, vol. 64                           |
| 3  | Alves <i>et al.</i>         | 2018 | Combining Co-Benefits and Stakeholders Perceptions into Green Infrastructure Selection for Flood Risk Reduction  | Environments, vol. 5  |
| 4  | Alves <i>et al.</i>         | 2019 | Assessing the Co-Benefits of green-blue-grey infrastructure for sustainable urban flood risk management  | Journal of Environmental Management, Vol. 239                       |
| 5  | Alves <i>et al.</i>         | 2020 | Exploring trade-offs among the multiple benefits of green-blue-grey infrastructure for urban flood mitigation  | Science of the Total Environment, vol. 703                          |
| 6  | Barquet <i>et al.</i>       | 2018 | Using participatory Multi-Criteria Assessment for assessing disaster risk reduction measures   | Coastal Engineering, vol. 134                                       |
| 7  | Bottero <i>et al.</i>       | 2015 | Dealing with a multiple criteria environmental problem with interaction effects between criteria through an extension of the Electre III method            | European Journal of Operational Research, vol. 245                  |
| 8  | Chow <i>et al.</i>          | 2014 | Using a Systematic, Multi-criteria Decision Support Framework to Evaluate Sustainable Drainage Designs   | Procedia Engineering, vol. 70                                       |
| 9  | Ciullo <i>et al.</i>        | 2020 | Efficient or Fair? Operationalizing Ethical Principles in Flood Risk Management: A Case Study on the Dutch-German Rhine                                    | Risk Analysis, vol. 40  |
| 10 | De Risi <i>et al.</i>       | 2018 | Life Cycle Cost and Return on Investment as complementary decision variables for urban flood risk management in developing countries                       | International Journal of Disaster Risk Reduction, vol. 28           |
| 11 | De Ruig <i>et al.</i>       | 2020 | A micro-scale cost-benefit analysis of building-level flood risk adaptation measures in Los Angeles  | Water Resources and Economics, vol. 32                              |
| 12 | Dong <i>et al.</i>          | 2018 | Environmentally sustainable decision making– The need and obstacles for integration of LCA into decision analysis  | Environmental Science and Policy, vol. 87                           |
| 13 | Dottori <i>et al.</i>       | 2016 | INSYDE: a synthetic, probabilistic flood damage model based on explicit cost analysis  | Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 16                  |
| 14 | Eder <i>et al.</i>          | 2022 | RegioFEM — Applying a floodplain evaluation method to support a future-oriented flood risk management (Part II)  | Journal of Flood Risk Management, vol. 15                           |
| 15 | Ekmekcioğlu <i>et al.</i>   | 2021 | Investigation of the low impact development strategies for highly urbanized area via auto-calibrated Storm Water Management Model (SWMM)                   | Water Science and Technology, vol. 84                               |
| 16 | Gersonius <i>et al.</i>     | 2008 | Efficiency of private flood proofing of new buildings – adapted redevelopment of a floodplain in The Netherlands   | Flood Recovery, Innovation and Response I                           |
| 17 | Habersack and Schober       | 2020 | Floodplain evaluation matrix FEM: A multiparameter assessment methodology  | Journal of Flood Risk Management, vol. 13                           |
| 18 | Hegger <i>et al.</i>        | 2016 | Strengthening and redesigning flood risk governance in Europe: An overview of seven key issues and how they are being dealt with in six European countries | E3S Web of Conferences 7  |
| 19 | Hegger <i>et al.</i>        | 2016 | Toward more flood resilience: Is a diversification of flood risk management strategies the way forward?  | Ecology and Society, vol. 21  |
| 20 | Hudson <i>et al.</i>        | 2014 | Evaluating the effectiveness of flood damage mitigation measures by the application of propensity score matching   | Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 14                  |
| 21 | Jamali <i>et al.</i>        | 2020 | Rainwater harvesting for urban flood management – An integrated modelling framework  | Water Research, vol. 171  |
| 22 | Jonkman <i>et al.</i>       | 2011 | The Use of Individual and Societal Risk Criteria Within the Dutch Flood Safety Policy—Nationwide Estimates of Societal Risk and Policy Applications        | Risk Analysis, vol. 31  |
| 23 | Kapetas and Fenner          | 2020 | Integrating blue-green and grey infrastructure through an adaptation pathways approach to surface water flooding   | Philosophical Transactions of the Royal Society A, vol. 378         |
| 24 | Löschner <i>et al.</i>      | 2022 | RegioFEM – Informing future-oriented flood risk management at the regional scale (Part I)  | Journal of Flood Risk Management, vol. 15                           |
| 25 | Löwe <i>et al.</i>          | 2017 | Assessment of urban pluvial flood risk and efficiency of adaptation options through simulations – A new generation of urban planning tools                 | Journal of Hydrology, vol. 550                                      |
| 26 | Mechler                     | 2016 | Reviewing estimates of the economic efficiency of disaster risk management: opportunities and limitations of using risk-based cost–benefit analysis        | Natural Hazards, vol. 81  |
| 27 | Merz <i>et al.</i>          | 2010 | Review article “Assessment of economic flood damage”   | Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 10                  |
| 28 | Meyer <i>et al.</i>         | 2007 | GIS-based multicriteria analysis as decision support in flood risk management  | UFZ-Diskussionspapiere, No. 6/2007                                  |
| 29 | Meyer <i>et al.</i>         | 2009 | Flood Risk Assessment in European River Basins—Concept, Methods, and Challenges Exemplified at the Mulde River   | Integrated Environmental Assessment and Management, vol. 5          |
| 30 | Meyer <i>et al.</i>         | 2009 | A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany  | Natural Hazards, vol. 48  |
| 31 | Meyer <i>et al.</i>         | 2012 | Economic evaluation of structural and non-structural flood risk management measures: examples from the Mulde River   | Natural Hazards, vol. 62  |
| 32 | Molinari <i>et al.</i>      | 2021 | Cost–benefit analysis of flood mitigation measures: a case study employing high-performance hydraulic and damage modelling                                 | Natural Hazards, vol. 108   |
| 33 | Oladunjoye <i>et al.</i>    | 2019 | A cost-benefit analysis model for the retrofit of sustainable urban drainage systems towards improved flood risk mitigation                                | International Journal of Building Pathology and Adaptation, vol. 38 |
| 34 | Ortmann-Ajkai <i>et al.</i> | 2022 | A GIS-based framework to determine spatially explicit priority categories for flood risk management intervention schemes                                   | Moravian Geographical Reports, vol. 30                              |
| 35 | Ossa-Moreno <i>et al.</i>   | 2017 | Economic analysis of wider benefits to facilitate SuDS uptake in London, UK  | Sustainable Cities and Society, vol. 28                             |
| 36 | Oukes <i>et al.</i>         | 2022 | Enhancing the Use of Flood Resilient Spatial Planning in Dutch Water Management. A Study of Barriers and Opportunities in Practice                         | Planning Theory and Practice, vol. 23                               |

|    | Authors                       | Year | Title  | Journal  |
|----|-------------------------------|------|--|--|
| 37 | Pacetti <i>et al.</i>         | 2022 | Planning Nature Based Solutions against urban pluvial flooding in heritage cities: A spatial multi criteria approach for the city of Florence (Italy)  | Journal of Hydrology: Regional Studies, vol. 41                |
| 38 | Paneque Salgado <i>et al.</i> | 2009 | Participative multi-criteria analysis for the evaluation of water governance alternatives. A case in the Costa del Sol (Málaga)                        | Ecological Economics, vol. 68                                  |
| 39 | Pugliese <i>et al.</i>        | 2022 | Assessment of NBSs effectiveness for flood risk management: The Isar River case study  | Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua, vol. 71 |
| 40 | Raaijmakers <i>et al.</i>     | 2008 | Flood risk perceptions and spatial multi-criteria analysis: exploratory research for hazard mitigation   | Natural Hazards, vol. 46                                       |
| 41 | Reddy <i>et al.</i>           | 2015 | Finding solutions to water scarcity: Incorporating ecosystem service values into business planning at The Dow Chemical Company's Freeport, TX facility | Ecosystem Services, vol. 12                                    |
| 42 | Tzioutzios and Kastridis      | 2020 | Multi-Criteria Evaluation (MCE) Method for the Management of Woodland Plantations in Floodplain Areas  | ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 9         |
| 43 | Woodward <i>et al.</i>        | 2014 | Adaptive Flood Risk Management Under Climate Change Uncertainty Using Real Options and Optimization  | Risk Analysis, vol. 34   |
| 44 | Woodward <i>et al.</i>        | 2014 | Multiobjective optimization for improved management of flood risk  | Journal of Water Resources Planning and Management, vol. 140   |
| 45 | Zevenbergen <i>et al.</i>     | 2008 | Challenges in urban flood management: travelling across spatial and temporal scales: Challenges in urban flood management                              | Journal of Flood Risk Management, vol. 1                       |

il luogo di costruzione delle vasche e l'effettiva area potenzialmente esposta a rischio; la localizzazione delle vasche in luogo di spazi pubblici verdi; la bassa qualità delle acque che vengono trattate nelle vasche; il limitato coinvolgimento in sede decisionale della comunità locale (Vitale and Meijerink, 2021).

### Criteria per un approccio sistemico

La sintesi dei criteri identificati in letteratura ha portato all'individuazione di quattro dimensioni:

riduzione del rischio, intesa come performance delle misure (maggior danno evitato a fronti dei costi), basata su analisi del rischio e valutazione dell'evento (D1); adeguatezza spaziale e progettuale (D2); capacità di governance e accettabilità sociale (D3); fornitura di benefici ambientali, sociali ed economici, ossia i *co-benefits* (D4). I criteri corrispondenti alle dimensioni sono stati discussi e modificati a seguito delle interviste e articolati in sub-criteri (Tab. 3, riferimenti Tab. 1, 2). In merito alla riduzione del rischio D1, le interviste hanno confermato che

for flood management. This contribution is a preliminary and necessary step for the subsequent identification of indicators.

#### The Seveso Basin

The Seveso River Basin in Lombardy is partially located in the Monza-Brianza province and in the Metropolitan City of Milan, a highly urbanised area that has led to anthropisation of the river. The urbanisation process causes recurring flooding in several municipalities even in case of low rainfall. Indeed, on average, 2.5 floods have occurred per year since 2005 (Vitale and Meijerink, 2021). Recurrent flooding occurs against the sewer networks' limited capacity, which increases the hydraulic crisis (Busi, 2018). Regarding rainwater, to limit significant floods in urbanised areas, the Region has introduced the principle of hydraulic

and hydrological<sup>1</sup> invariance in its legislation. The invariance measures are calculated for interventions modifying soil permeability, indicating the previous natural state as a precautionary benchmark (Berteni *et al.*, 2020). The principle is commonly translated into lamination tanks, calculated for a 50-year return period, tested for 100, for the temporary containment of water, which is then disposed of via reuse, infiltration or discharge. Furthermore, the sub-basin project (Regione Lombardia and ERSAF, 2017) includes, in addition to the Northwest spillway canal that diverts part of the water and urban drainage interventions, a series of upstream expansion tanks and lamination tanks downstream to reduce the risk of flooding in Milan. Some of these municipalities oppose the project for multiple reasons, such as the discrepancy between the place of

|   | Field        | Scale          | Expertise  |
|---|--------------|----------------|--|
| A | Academia     | General        | Urban and flood resilience, governance   |
| B | Academia     | General        | Participatory decision-making, NBS   |
| C | Academia     | General, Local | Participation, decision-making, governance                                       |
| D | Academia     | General, Local | Participation, decision-making, governance                                       |
| E | Academia     | General, Local | Risk assessment  |
| F | Third sector | General, Local | Decision-making, participation, sustainability projects at supra-municipal scale |
| G | Public       | Local          | Urban resilience at municipal level  |
| H | Association  | Local          | Citizen association focused on park protection                                   |
| I | Public       | Local          | River Contracts- regional level  |

l'efficacia di una misura viene comunemente calcolata come danno evitato contro i suoi costi, rispetto a un evento di specifica portata. Riguardo all'adeguatezza spaziale e progettuale D2, gli aspetti di preferenza culturale e di qualità spaziale sono importanti per l'accettazione delle misure e il loro uso. Da un punto di vista tecnico, queste dimensioni fungono da filtro pre-

construction of the tanks and the actual area potentially exposed to risk; the location of the tanks in place of green spaces; the low water quality to be retained for a long time in the tanks; limited involvement in decision-making (Vitale and Meijerink, 2021).

#### Criteria for a systemic approach

The synthesis of criteria identified in the literature has led to the identification of 4 macro-dimensions: risk reduction, understood as performance of the measures – i.e. greater damage avoided against the costs – based on a risk analysis and evaluation of the event (D1); spatial and design suitability (D2); governance capacity (D3); provision of environmental, social and economic benefits – the so-called *co-benefits* (D4). The criteria corresponding to the dimensions were discussed and modified after the interviews and

divided into sub-criteria (Tab. 3, references Tab. 1, 2). Regarding risk reduction D1, the interviews confirmed that the effectiveness of measures is commonly calculated as damage avoided against its costs with respect to an event of a specific magnitude. Regarding spatial and design suitability D2, cultural preference and spatial quality are essential for accepting measures and their use. From a technical point of view, these dimensions act as a preliminary filter for selecting measures, followed by structural (temporariness, engineering characteristics and storage or infiltration capacity) characteristics or non-structural ones (understanding by the community, reliability, effective local response, evacuation rate). Governance capacity D3 concerns the appropriateness of a measure in specific contexts (Barquet and Cumiskey,

Tab. 03 | Lista dei criteri e sub-criteri, esito di letteratura e interviste  
*List of criteria and sub-criteria resulting from literature and interviews*

| Dimension  | Criteria  | Sub-criteria  |  |
|--|---|---|--|
| D1. Flood Reduction  | Cost  | Implementation Cost (3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 27, 35, 38, 43, 44, 45)                     |  |
|  |   | Maintenance Cost (3, 4, 5, 10, 33, 43, 44)  |  |
|  |   | Transaction Cost (31)   |  |
|  |   | Operation Cost (3, 4, 5, 31, 35, 38, 43, 44)  |  |
|  |   | Expected Avoided Damage   |  |
|  |   | Flood Hazard (12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 24, 27, 28, 31, 32, G, I)                     |  |
|  |   | People/Land/Buildings Exposure (13, 14, 15, 20, 24, 28, 30, G)                          |  |
|  |   | People/Land/Buildings Vulnerability (13, 14, 15, 20, 24, 28, 30, G)                     |  |
|  |   | Structural measures characteristics (8, 16, 18, 19, 26, 27, E, G)                       |  |
|  |   | Non-structural measures characteristics (18, 19, 26, 27, 30, 31, 36, E, G)              |  |
| D2. Spatial and design suitability                                 | Urban Planning suitability  | Current Land use (3, 4, 5, 10, 34, 42)  |  |
|  |   | Legal Protection Status (34, 42)  |  |
|  |   | Accessibility to required land (E)  |  |
|  |   | Urban planning and topography characteristics and constraints (3, 4, 5, 29, 35, 37, 42) |  |
|  |   | Building characteristics and constraints (3, 4, 5, 10, 13, 16, 20, 27, 32, 35, 46)      |  |
|  |   | Drainage system characteristics and constraints (3, 4, 5)                               |  |
|  | Spatial design quality  | Presence of shared design vision (A)  |  |
|  |   | User Value (A)  |  |
|  |   | Experience Value (A)  |  |
|  | Architecture Quality  | Future Value (A)  |  |
|  |   | Housing typology preference (A, I)  |  |
|  |   | Relocation willingness (A, I)   |  |
|  | D3. Governance Capacity   | Acceptability   | Acceptance among stakeholders (2, 6, 38) |
|  |   |   | Trust (6)                                |
|  |   | Accountability and procedural justice   | Opportunities to challenge decisions (2) |
| Equal access to appeal process (2)                                 |   |   |  |
| Fair dispute resolution mechanisms (2)                             |   |   |  |
| Costs and benefits distribution clearly communicated (2, 38, F, G) |   |   |  |
| Risk perception  |   | Risk awareness (36, 40)   |  |
|  |   | Level of worry or fear (36, 40)   |  |
|  |   | Coping capacity (36, 40)  |  |
|  |   | Recovery capacity (36, 40)  |  |
| Participation across Decision-Making process                       | Proper facilitation (D)   |   |  |
|  | Participation sought across decision-making phases (2, 39)                      |   |  |
|  | Inclusive range of stakeholders invited (2)                                     |   |  |
|  | Views of stakeholders are included (2)  |   |  |
| Feasibility of outcome   | Activation of actor-based mechanisms (18, 19, 39, F, G)                         |   |  |
|  | Activation of resource-based mechanisms (18, 19, F, G)                          |   |  |
|  | Activation of rule-based mechanisms (18, 19, F, G)                              |   |  |
|  | Synergy among mechanisms (36, C)  |   |  |
| Institutional feasibility  | Presence of shared long-term vision among institutions (36, A, G, H)            |   |  |
|  | Institutional correspondence with regulations and other goals (2, 6, 7, 37, 41) |   |  |
|  | Political will (A, H, 6, 41)  |   |  |
| Planning Adaptability  | Transformability of administrative system to new developments (2, 36)           |   |  |
|  | Opportunities for learning and experimentation (2)                              |   |  |
| Transparency   | Transparent decision-making process (2)   |   |  |
|  | Equal access to relevant information for stakeholders (2)                       |   |  |

2018). Interviewees highlighted the importance of political will combined with long-term vision and planning. Furthermore, public authorities seek economic feasibility in terms of construction and maintenance costs – the latter are hard to predict in the case of green solutions – and project applicability to investment calls. Although participatory processes are considered key to increasing the acceptability of

risk management projects, interviews mentioned the difficulty of undertaking inclusive and effective processes. Regarding co-benefits D4, the interviewees highlighted their contribution to achieving a systemic approach. Firstly, co-benefits are often decisive decision-making criteria, for example, in cases of urban redevelopment where water management is not the primary objective. With poor risk perception and

awareness, if a measure increases recreational areas or improves aesthetic value by raising land or building real estate value, this is an opportunity to integrate flood risk management solutions into the built environment. Interviews also highlighted that the effectiveness of sustainable drainage measures or similar solutions is challenging to understand in the face of small-scale fragmented interventions.

A widespread and systemic approach, coordinated with greater local awareness, could help dissolve this resistance. Secondly, some interviewees highlighted the importance of providing ecosystem services, defined as the benefits of ecosystems in terms of provisioning, regulation, support, and cultural value. These are a resource for risk management, if integrated into economic policies, recognising the val-

| Dimension                | Criteria  | Sub-criteria   |  |
|--------------------------|---|--|--|
| D4. Co-Benefit provision | Environmental co-benefits   | Rainwater harvesting (3, 4, 5, 32, 35, H)                                  |  |
|                          |   | Reduced loss of ecological and cultural values (3, 4, 5, 32)               |  |
|                          |   | Air, soil and water quality improvement (1, 3, 4, 5, 28, I)                |  |
|                          |   | Increase of water availability (21, 25, 41, I)                             |  |
|                          |   | Flora and fauna habitat improvement (1, 3, 4, 5, 7, 27, 32)                |  |
|                          |   | Groundwater recharge (3, 4, 5, 23, H)                                      |  |
|                          |   | Biodiversity and ecology conservation and improvement (1, 3, 4, 5, 35, 39) |  |
|                          |   | Socio-Economic co-benefits (E)   | Surface water charges reduction (33, 35) |
|                          |   |  | Real estate value variation (33, 39, F)  |
|                          |   |  | Reduced insurance claim (33)             |
|                          | Increased insurability of building (A)                                |  |  |
|                          | Reduced interruption to service/good production activities (1, 33, E) |  |  |
|                          | Reduced property content evacuation (33)                              |  |  |
|                          | Reduction in energy usage (33)  |  |  |
|                          | Reduction of health impacts (1, 23, 33)                               |  |  |
|                          | Reduced loss of life (1, 22, 33)                                      |  |  |
|                          | Reduction of temporary/permanent loss of employment (1, 33, E)        |  |  |
|                          | Ecosystem services provision  | Accessibility improvement (39)   |  |
|                          |   | Increase aesthetic value (28, 38, 39, I)                                   |  |
|                          |   | Increase recreational activities and amenities (7, 23, 32, 39)             |  |
|                          |   | Provisioning (B, E, F, I)  |  |
| Regulating (B, E, F, I)  |   |  |  |
| Cultural (B, E, F, I)    |   |  |  |
| Supporting (B, E, F, I)  |   |  |  |

liminare per la selezione di misure, seguita da caratteristiche strutturali (temporaneità, caratteristiche ingegneristiche e capacità di stoccaggio o infiltrazione) o non-strutturali (comprensione da parte della comunità, affidabilità, risposta efficace locale, tasso di evacuazione). La capacità di governance D3 riguarda l'adeguatezza di una misura in specifici contesti (Barquet and Cumiskey, 2018). Gli intervistati hanno sottolineato l'importanza del volere politico, combinato con una visione e pianificazione a lungo termine. Inoltre, le autorità pubbliche cercano sia una fattibilità economica sia come costi di costruzione e mantenimento – quest'ultimi difficili da prevedere in

ue of service and compensating owners, as in the case of owners of agricultural fields purposely flooded during an event (Hartmann *et al.*, 2022). Various experts mentioned the difficulties involved in defining and quantifying co-benefits, and in merging local knowledge into empirical methods, which can help choose the most effective solutions. From a methodological point of view, it is to be hoped that the inclusion of associations and citizens in designing and implementing the measures will underscore the social value of the measures, and help their proper contextualisation. In addition to commenting the dimensions, the interviews brought to light several trends in the Flood Risk Management field. To date, research focuses on impact forecasting methods capable of considering uncertainties and how to rely on different measures depending

on their period of effectiveness with progressive investments. Another focus concerns green solutions and ecosystem services, exploring operation over time in combination with infrastructure measures, guaranteed safety levels, criticalities, benefits, and financing. Focusing on the Lombardy case, what emerged from the interviews is a predominance of interventions led by public authorities or associations, while private actions remain in the background. Though, in the Municipality of Milan's Seveso flood-prone areas, the Territorial Management Plan requires a hydraulic feasibility check in case of new construction and renovation, thus contributing to lowering the danger of the area with flood-proofing measures, this regulation links risk management to individual urban redevelopment projects and not to a

caso di soluzioni verdi – che un'applicabilità progettuale a bandi di investimento. Benché i processi partecipativi siano considerati chiave per aumentare l'accettabilità di progetti di gestione di rischio, gli intervistati hanno menzionato la difficoltà di intraprendere processi inclusivi ed efficaci. In merito ai *co-benefits* D4, le interviste hanno evidenziato il loro contributo rispetto al conseguimento di un approccio sistemico. In primo luogo, i *co-benefits* sono criteri decisionali spesso determinanti, per esempio in casi di riqualificazioni urbane dove la gestione delle acque non è il principale obiettivo. Con scarsa percezione e consapevolezza del rischio, se una misura incrementa l'appa-

systemic strategy, thus resulting in fragmented benefits (Veerbeek *et al.*, 2012). The local interlocutors hoped to strengthen a collaborative vision between the different municipalities located in the sub-basin, and between the communities of residents. The interviews revealed concern for the river water quality, which, in the case of the Bresso lamination tank, local associations complained was not addressed in conjunction with the design and implementation of the tank. Other critical aspects are the frequency and intensity of drought periods, to which the tanks could contribute if designed as multifunctioning elements, and the limited application of the principle of hydraulic and hydrological invariance (LR 2016/4). Some interviewees expressed an interest in building a natural system around the Seveso River, inspired by the existing regional

experiences of river parks, reconquering currently built-up areas, and preserving existing natural ones. In addition, citizens' preparedness is a crucial aspect on which local authorities and civil protection are working in terms of risk perception and training on how to act in anticipation of an event. Finally, concerning the peri-urban scale, on one side, the theoretical potential of the distributed strategy has emerged from literature, meaning that the lower peri-urban density could allow for experimentation of a decentralised Flood Risk Management approach; on the other side, in the case of Seveso, the high residential and productive density limit the application of some measures, such as re-naturalisation of the banks. Lastly, the need to build networks between public bodies, citizens and associations to strengthen the supra-municipal governance level and

rato verde ricreativo, o migliora il valore estetico di un'area, alzandone il valore immobiliare, ciò rappresenta un'opportunità per integrare soluzioni per la gestione del rischio alluvionale nell'ambiente costruito. Si è inoltre evidenziato come l'efficacia di misure di drenaggio sostenibile o simili sia di difficile comprensione, a fronte di micro-interventi frammentati; un approccio diffuso e sistemico, coordinato a una maggior consapevolezza locale, potrebbe aiutare a sciogliere tale resistenza. In secondo luogo, alcuni intervistati hanno sottolineato l'importanza della fornitura di servizi ecosistemici, definiti come i benefici apportati dagli ecosistemi, in termini di approvvigionamento, regolazione, supporto e valore culturale. Questi rappresentano una risorsa per la gestione del rischio se integrati in politiche economiche, riconoscendo il valore di un servizio e compensando i proprietari, come nel caso di proprietari di campi agricoli allagabili in caso di alluvione (Hartmann *et al.*, 2022). Vari esperti hanno menzionato le difficoltà di definizione e quantificazione dei *co-benefits*, e di inclusione in metodi scientifici della conoscenza locale, che può aiutare nella scelta delle soluzioni più efficaci; si auspica che l'inclusione di associazioni e cittadini nel design e implementazione delle misure porti alla luce il valore sociale delle soluzioni e ne aiuti una corretta contestualizzazione. Oltre a commentare le dimensioni, le interviste hanno portato alla luce diverse tendenze del campo di gestione del rischio alluvionale. Ad oggi la ricerca si concentra su metodi di previsione di impatti in grado di tener conto di incertezze e su come affidarsi a diverse misure a seconda del loro periodo di efficacia con investimenti progressivi. Un altro focus riguarda le soluzioni verdi e i servizi ecosistemici, esplorando funzionamento nel tempo, combinazione con misure in-

manage the *Not-In-My-Backyard* rationale in the case of large-scale works was underlined. Although coordination between entities remains complex and centralised, the River Contract remains a good practice to encourage such organisation at a sub-basin scale.

### Conclusion

This paper analyses Flood Risk Management, advocating for a decentralised approach, both as spatial solutions and as governance models, looking at diversified measures across scales, increasing societal and territorial resilience. After introducing the systemic perspective proposed by the research project and the general methodology applied, this paper focuses on mapping multidisciplinary criteria suitable for defining combined, multi-scalar and decentralised measures, to be computed into a Multi-Criteria

Analysis, through literature review and interviews. In particular, the interviews delve deeper into the case of the Seveso Basin, which is emblematic of a problem of scale and of reliance on a predominant type of measures, with innovative governance attempts, such as the River Contract, without, however, completely breaking away from traditional decision-making processes. The interviewees also highlighted the replicability of this model in the case of other extreme events exacerbated by climate change, and the importance of including multidisciplinary criteria in decision-making processes. We can conclude that the complexity of the proposed analysis and the technical aspects of the topic imply necessary pre-selection of contextually relevant criteria and, from the perspective of a participatory Multi-Criteria Analysis, an interface with expert or trained actors,

frastrutturali, livelli di sicurezza garantiti, criticità, benefici e finanziamento.

Concentrandosi sul caso lombardo, dalle interviste è emersa una predominanza di interventi legati alle autorità pubbliche o associazioni di categoria, in cui l'azione privata resta però in secondo piano. Si riporta che, nelle aree esondabili del Seveso nel comune di Milano, il Piano di Governo del Territorio impone nelle nuove costruzioni e ristrutturazioni una verifica di fattibilità idraulica, contribuendo ad abbassare la pericolosità dell'area con misure di *flood-proofing*. Tuttavia, la gestione del rischio resta legata a riqualificazione urbana puntuale e non ad una strategia sistemica, risultando in benefici frammentati (Veerbeek *et al.*, 2012). Gli interlocutori locali hanno auspicato un rafforzamento di una visione collaborativa sia tra le diverse municipalità parte del sottobacino, che tra le comunità di residenti. Emerge anche una preoccupazione per la qualità dell'acqua del fiume, su cui nel caso della vasca di laminazione a Bresso le associazioni lamentano non si sia intervenuto in concomitanza con la progettazione e messa in opera. Altri aspetti critici sono la frequenza e l'intensità di periodi secchi, rispetto a cui le vasche potrebbero contribuire, se progettate come elementi multifunzionali, e la limitata applicazione del principio di invarianza idraulica e idrologica (LR 2016/4). Si è espresso un interesse nella costruzione di un sistema naturale attorno al fiume Seveso, prendendo spunto dalle esistenti esperienze lombarde dei Parchi Fluviali, riconquistando aree ora costruite e preservando aree naturali. In aggiunta, la preparazione dei cittadini è un aspetto su cui amministrazione locale e protezione civile stanno lavorando, sia come percezione del rischio che con la formazione su come agire in anticipazione di un evento.

in addition to the precise definition of the territorial system and of the system of measures that are intended to be applied. The following methodology development steps of the research will be to: i) identify which pre-selection criteria can be applied as preliminary constraints on the measures' suitability; ii) identify indicators and robust ways of weighing and evaluating these criteria; iii) test the criteria with interviews in other case studies.

### NOTES

<sup>1</sup>The flow rates of meteorological runoff (and volumes) discharged from urban areas to water bodies are not greater than those present prior to urbanisation (Busi, 2018).

### ATTRIBUTION

Conceptualisation, methodology, analysis, visualisation, writing, production

of tables: Francesca Vanelli; supervision and review: Monica Lavagna, Paul Minifie.

### ACKNOWLEDGMENTS

This research is conducted under the REDI Programme, a project that has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement no. 101034328. This paper reflects only the author's view, and the Research Executive Agency is not responsible for any use that may be made of the information it contains. The project is a collaboration between Italy and Australia. This paper only considers the Italian case.



Infine, rispetto alla scala peri-urbana, è emerso il potenziale teorico di distribuzione spaziale delle misure, grazie alla minore densità che permette una sperimentazione di un approccio di gestione del rischio decentralizzato. Rimane una criticità nel caso del Seveso urbano, in cui l'alta densità residenziale e produttiva limitano l'applicazione di alcune misure, come la rinaturalizzazione delle sponde. Si è sottolineato inoltre la necessità di costruire reti tra enti, cittadini e associazioni per rafforzare il livello di governance sovracomunale, e gestire la logica *Not-In-My-Backyard* in caso di grandi opere. Benché il coordinamento tra enti rimanga complesso e centralizzato, il Contratto di Fiume Seveso resta una buona pratica per favorire tale organizzazione a scala di sottobacino.

## Conclusione

L'articolo analizza la gestione del rischio di alluvioni attraverso un modello che integra misure multi-scalari distribuite a livello di sottobacino, auspicando un approccio decentralizzato sia per le soluzioni spaziali che per i modelli di governance, al fine di creare un sistema resiliente alle alluvioni. Dopo aver introdotto la prospettiva sistemica e la metodologia proposta dal progetto, il contributo si focalizza sulla mappatura di criteri valutativi multidisciplinari idonei per definire misure multi-scalari e decentralizzate, tramite una revisione della letteratura e interviste. In particolare, le interviste hanno permesso di approfondire il caso del Bacino del Seveso, emblematico di un problema di scala e di affidamento a un predominante tipo di misure, con tentativi di governance innovativi, come il Contratto di Fiume, senza riuscire a distaccarsi completamente da forme decisionali tradizionali. Dalle interviste è emersa anche la replicabilità del modello qui proposto e la rilevanza di includere criteri multidisciplinari nel processo decisionale. La matrice di criteri apre ad alcune sfide applicative: la complessità e la tecnicità dell'analisi proposta implicano un necessario lavoro di preselezione contestuale di criteri rilevanti e, nell'ottica di un processo partecipato, un interfacciarsi con attori esperti o formati, oltre alla chiara definizione del sistema territoriale e del sistema di misure che si intendono applicare. I successivi passi della ricerca di sviluppo della metodologia saranno i) identificare quali criteri posso essere applicati per una preselezione come vincoli di idoneità delle misure in uno specifico contesto; ii) identificare indicatori e robuste modalità di pesatura di questi criteri; iii) testare i criteri con interviste in altri casi studio.

## NOTE

<sup>1</sup>Le portate di deflusso meteorologico (e i volumi) scaricate dalle aree urbane ai corpi idrici non sono maggiori di quelli preesistenti all'urbanizzazione (Busi, 2018).

## ATTRIBUZIONE

Conceptualisation, methodology, analysis, visualisation, writing, tables production: Francesca Vanelli; supervision and review: Monica Lavagna, Paul Minifie.

## RICONOSCIMENTI

Questa ricerca è condotta nell'ambito del programma REDI, un progetto che ha ricevuto finanziamenti dal programma di ricerca e innovazione Horizon 2020 dell'Unione Europea nell'ambito della convenzione di sovvenzione Marie Skłodowska-Curie n. 101034328. Questo documento riflette solo il punto di vista dell'autore e l'Agenzia esecutiva per la ricerca non è responsabile per qualsiasi uso che possa essere fatto delle informazioni in esso contenute. Il progetto è in co-tutela tra Italia ed Australia; per questo articolo si considera solo il caso italiano.

## REFERENCES

- Adedeji, T., Proverbs, D., Xiao, H. and Oladokun, V.O. (2024), "The evolution of flood risk management strategies and the role of property flood resilience: Current research trends and directions", in Lamond, J., Proverbs, D., and Bhattacharya N. (Eds), *Research Handbook on Flood Risk Management*, Edward Elgar Publishing, pp. 132-142. Available at: <https://doi.org/10.4337/9781839102981.00017>.
- Alves, A., Gersonius, B., Kapelan, Z., Vojinovic, Z. and Sanchez, A. (2019), "Assessing the Co-Benefits of green-blue-grey infrastructure for sustainable urban flood risk management", *Journal of Environmental Management*, Vol. 239, pp. 244-254. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.036>.
- Alves, A., Patiño Gómez, J., Vojinovic, Z., Sánchez, A. and Weesakul, S. (2018), "Combining Co-Benefits and Stakeholders Perceptions into Green Infrastructure Selection for Flood Risk Reduction", *Environments*, Vol. 5, n. 2, p. 29. Available at: <https://doi.org/10.3390/environments5020029>.
- Barendrecht, M. H., Sairam, N., Cumiskey, L., Metin, A. D., Holz, F., Priest, S. J. and Kreibich, H. (2020), "Needed: A systems approach to improve flood risk mitigation through private precautionary measures", *Water Security*, vol. 11, 100080. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100080>.
- Barquet, K. and Cumiskey, L. (2018), "Using participatory Multi-Criteria Assessments for assessing disaster risk reduction measures", *Coastal Engineering*, Vol 134, pp. 93-102. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2017.08.006>.
- Berteni, F., Leoni, P., Pezzagno, M., Piro, P. and Grossi, G. (2020), "Confronto di Criteri di invarianza idraulica e idrologica applicati in Emilia-Romagna e Lombardia", *XXVII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Reggio Calabria, September 7-9, 2020. Available at: <https://hdl.handle.net/11379/545977> (Accessed on 10/06/2024).
- Busi, R. (2018), *Suolo, terreno, acqua ed ecosistema nel Piano regolatore*, Legislazione Tecnica.
- Dieperink, C., Hegger, D.L.T., Bakker, M.H.N., Kundzewicz, Z.W., Green, C. and Driessen, P.P.J. (2016), "Recurrent Governance Challenges in the Implementation and Alignment of Flood Risk Management Strategies: A Review", *Water Resources Management*, Vol. 30, n. 13, pp. 4467-4481. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1491-7>.

- European Commission (2007), *Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks*. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32007L0060> (Accessed on 10/06/2024).
- Hartmann, T., Slavíková, L. and Wilkinson, M. (2022), *Spatial Flood Risk Management*, Edward Elgar Publishing. Available at: <https://doi.org/10.4337/9781800379534>.
- Hegger, D.L.T., Driessen, P.P.J., Dieperink, C., Wiering, M., Raadgever, G.T.T. and van Rijswijk, H.F.M.W. (2014), "Assessing Stability and Dynamics in Flood Risk Governance: An Empirically Illustrated Research Approach", *Water Resources Management*, vol. 28, n. 12, pp. 4127-4142. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0732-x>.
- Ishiwatari, M. (2024), "Strategic governance – The challenges of integrated flood risk management", in Lamond, J., Proverbs, D., and Bhattacharya N. (Eds), *Research Handbook on Flood Risk Management*, Edward Elgar Publishing, pp. 291-303. Available at: <https://doi.org/10.4337/9781839102981.0030>.
- Kreibich, H., Bubeck, P., Van Vliet, M. and De Moel, H. (2015), "A review of damage-reducing measures to manage fluvial flood risks in a changing climate", *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 20, n. 6, pp. 967-989. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11027-014-9629-5>.
- Legge Regionale 4 (2016), Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d'acqua. Available at: [https://normelombardia.consiglio.regione.lombardia.it/NormeLombardia/Accessibile/main.aspx?exp\\_coll=lr002016031500004&view=showdoc&iddoc=lr002016031500004&selnode=lr002016031500004](https://normelombardia.consiglio.regione.lombardia.it/NormeLombardia/Accessibile/main.aspx?exp_coll=lr002016031500004&view=showdoc&iddoc=lr002016031500004&selnode=lr002016031500004) (Accessed on 10/06/2024).
- O'Donnell, E., Dolman, N., Everett, G., Kapetas, L., Ncube, S. and Thorne, C. (2024), "Managing flood risk in Blue-Green Cities", in Lamond, J., Proverbs, D., and Bhattacharya N. (Eds.), *Research Handbook on Flood Risk Management*, Edward Elgar Publishing, pp. 97-111. Available at: <https://doi.org/10.4337/9781839102981.00015>.
- Proverbs, D., Lamond, J., Bhattacharya Mis, N. and Rose, C. (2024), "Future research directions for flood risk management", in Lamond, J., Proverbs, D., and Bhattacharya N. (Eds), *Research Handbook on Flood Risk Management*, Edward Elgar Publishing, pp. 364-371. Available at: <https://doi.org/10.4337/9781839102981.00035>.
- Quyên, Đ.T.N. (2014), "Developing University Governance Indicators and their Weighting System Using a Modified Delphi Method", *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Vol.141, pp. 828-833. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.05.144>.
- Raikes, J., Smith, T.F., Jacobson, C. and Baldwin, C. (2019), "Pre-disaster planning and preparedness for floods and droughts: A systematic review", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol.38, 101207. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101207> (Accessed on 10/06/2024).
- Regione Lombardia and ERSAF (2017), *Progetto Strategico di Sottobacino del Torrente Seveso*. Available at: <https://www.contrattidifume.it/it/progetti/progetto-di-sottobacino-seveso/> (Accessed on 10/06/2024).
- Rehan, B. M. (2018), "An innovative micro-scale approach for vulnerability and flood risk assessment with the application to property-level protection adoptions", *Natural Hazards*, Vol. 91, n. 3, pp. 1039-1057. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3175-5>.
- Veerbeek, W., Ashley, R. M., Zevenbergen, C., Rijke, J. and Gersonius, B. (2012), "Building adaptive capacity for flood proofing in urban areas through synergistic interventions", *7th International Conference on water sensitive urban design*, Melbourne, February 21-23, 2012, Melbourne Cricket Ground, pp. 127-134. Engineers Australia. Available at: <https://search.informit.org/doi/10.3316/INFORMIT.827293532632171> (Accessed on 10/06/2024).
- Vitale, C. and Meijerink, S. (2021), "Understanding Inter-Municipal Conflict and Cooperation on Flood Risk Policies for the Metropolitan City of Milan", *Water Alternatives*, Vol.14, n.2, pp. 597-618. Available at: <https://doaj.org/article/fe44293b600845728e240c7178589c88>.