

COME ESPLORARE LA RESILIENZA NEI SISTEMI URBANI E TERRITORIALI? UNA PANORAMICA SUI MODELLI DINAMICI

V. Assumma¹, M. Bottero², G. Datola³, E. De Angelis⁴, R. Monaco⁵

SOMMARIO

Il presente paper offre un'indagine sui modelli dinamici nel supportare i processi decisionali relativi a politiche e azioni per rendere le città più resilienti. Il concetto resilienza urbana è stato recentemente riconosciuto come una questione importante nella pianificazione territoriale e urbana. La resilienza urbana è definita come la capacità del sistema urbano e delle sue dimensioni di cambiare, adattarsi e trasformarsi a perturbazioni e shock. In questo senso, l'impiego di strumenti di valutazione a supporto dei pianificatori e dei Decision Makers è utile per valutare la natura dinamica e multidimensionale della resilienza e dei suoi effetti sulle performance di scenari di trasformazione urbana. Questo documento analizza la famiglia di modelli dinamici che consiste in una serie di metodi matematici che utilizzano un insieme di equazioni differenziali ordinarie per prevedere il comportamento evolutivo di sistemi complessi nel tempo. Questi modelli sono considerati utili per la valutazione di sistemi urbani complessi, soprattutto se integrati in quadri metodologici ampi per raggiungere obiettivi di resilienza urbana. Tra i diversi modelli dinamici, il presente contributo si focalizza su due modelli specifici: i System Dynamics Model, impiegati nella pianificazione e modellizzazione degli scenari, e i sistemi cooperativi Lotka-Volterra che sono adatti per prevedere future dinamiche territoriali a partire da un sistema di indicatori e indici.

¹ Politecnico di Torino, Viale Mattioli 39, 10125, Torino, e-mail: vanessa.assumma@polito.it

² Politecnico di Torino, Viale Mattioli 39, 10125, Torino, e-mail: marta.bottero@polito.it

³ Politecnico di Torino, Viale Mattioli 39, 10125, Torino, e-mail: giulia.datola@polito.it (corresponding author)

⁴ Politecnico di Torino, Viale Mattioli 39, 10125, Torino, e-mail: elena.deangelis@polito.it

⁵ Former Full Professor Politecnico di Torino, Viale Mattioli 39, 10125, Torino, e-mail: roberto.monaco@formerfaculty.polito.it

1. Introduzione

Nell'ottica del cambiamento climatico, la resilienza urbana è un concetto sempre più vicino alla pubblica amministrazione nella definizione di azioni e scenari di sviluppo futuri. La resilienza urbana definita da Meerow et al., 2016 come la capacità del sistema urbano in tutte le sue componenti socio-tecniche e socio-ecologiche di adattarsi, cambiare e trasformarsi in riferimento ad un disturbo, sia nella scala temporale che spaziale. A tal proposito si rende necessario costruire una fotografia del territorio, restituendo indici sintetici che tengano conto delle diverse dimensioni della città, da quella ambientale a quella sociale.

L'obiettivo del presente contributo è l'esplorazione della resilienza territoriale attraverso approcci di valutazione integrata, basati sull'impiego di due modelli dinamici, ovvero i Lotka-Volterra (LV) (Monaco and Rabino, 1984; Monaco, 2015) e i System Dynamics Model (SDM) (Forrester, 1961; Tan et al., 2018). Questo approccio è stato applicato ad un caso di studio reale, nel nord Italia, ovvero 18 comuni della provincia di Cuneo (CN). Questa applicazione ha lo scopo di indagare il loro livello di resilienza allo stato attuale e al contempo esplorare i possibili scenari futuri. In tal senso, questo approccio di valutazione integrata si ritiene utile nel supportare i processi decisionali nella risoluzione di problematiche complesse, quale la valutazione della resilienza urbana e la definizione di politiche e azioni resilienti e sostenibili.

2. Applicazione

2.1 Caso Studio

Il caso studio analizzato si localizza nel basso Piemonte, nello specifico nella provincia di Cuneo (CN). I confini meridionali ed occidentali del territorio analizzato comprendono le prime pendici delle valli alpine cuneesi con caratteristiche pedemontane e le valli che si diramano fino al confine con la Liguria e la Francia. Tale territorio è caratterizzato da una vocazione agricola, dal carattere intensivo ed estensivo e da una vocazione di attraversamento, in quanto direttrice di collegamento tra mare e montagna. Dal punto di vista geografico, il caso studio è attraversato da due torrenti, ovvero il Gesso e lo Stura, mentre i lati dell'altopiano cuneese sono caratterizzati da una fitta trama di canali, a vocazione agricola e industriale, di tracciamento antico e moderno. Il territorio offre una straordinaria varietà paesaggistica, culturale, artistica ed enogastronomica. Dei 247 comuni di cui è composta la provincia, la presente ricerca si focalizza su 18 comuni, per un'area di interesse di 70 mila ha, e una presenza di 150.000 abitanti. I 18 comuni oggetto di studio sono i seguenti: Beinette, Bernezzo, Borgo San Dalmazzo, Boves, Caraglio, Castelletto Stura, Centallo, Cervasca, Cuneo, Fossano, Margarita, Montanera, Marozzo, Peveragno, Roccavione, Sant'Albano Stura, Trinità, Vignolo.

2.2 Strutturazione del processo decisionale

3.2.1. Identificazione degli stakeholder

L'analisi degli stakeholder è stata utile per identificare i potenziali attori coinvolti nel processo di valutazione dell'indice di resilienza urbana (IRU). Nello specifico, è stata utilizzata la metodologia della social network analysis (SNA) che permette di analizzare le relazioni che intercorrono tra i diversi attori e di identificare le diverse tipologie di risorse scambiate tra questi ultimi all'interno del processo decisionale. Il tutto è descritto attraverso un network (Dente, 2011). La presente social network è stata completata con il calcolo dell'indice di densità che misura il grado di complessità del network in termini di relazioni scambiate e di relazioni potenziali tra gli attori identificati. La Figura 1 rappresenta il network degli attori considerati nella presente valutazione.

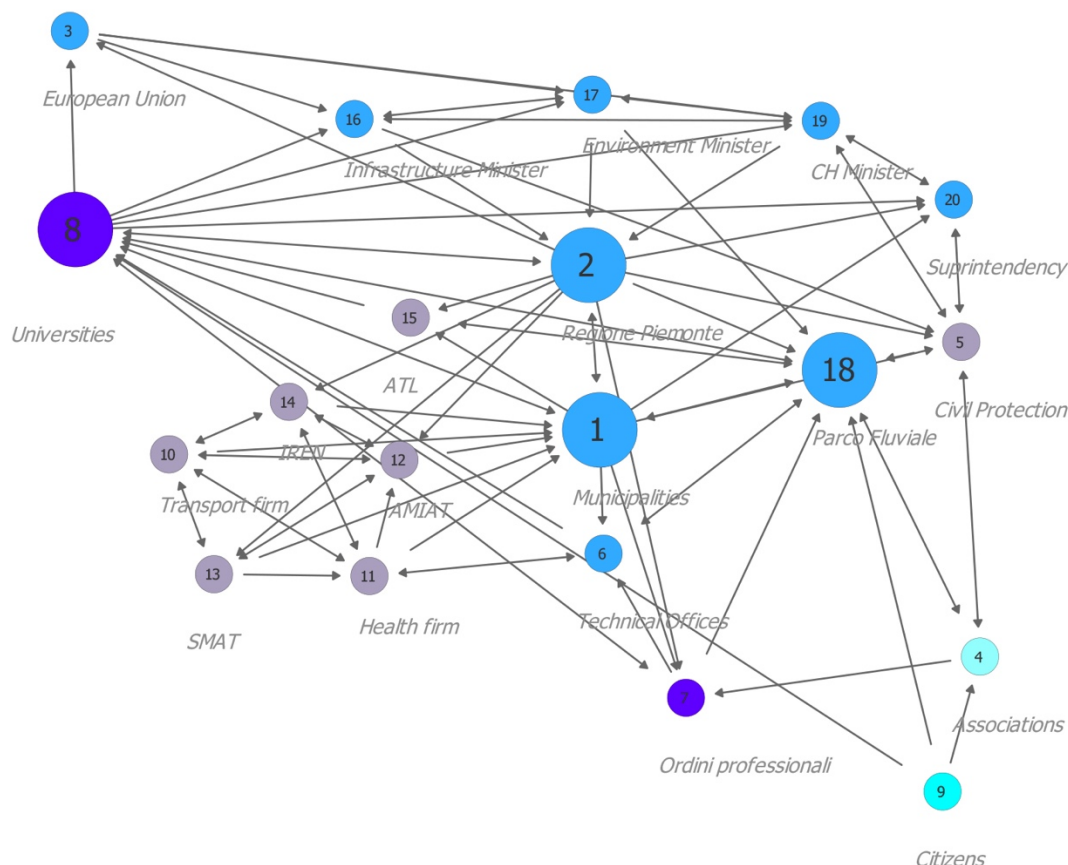


Figura 1 - Social Network Analysis provincia di Cuneo (Fonte: elaborazione degli autori)

3.2.2. Applicazione AHP

Sulla base di una ricerca bibliografica e di contributi di diversi autori (Saaty, 1970; Sharifi and Yamagata, 2016), sono stati identificati diversi indicatori per la valutazione della resilienza urbana. Gli indicatori presi in considerazione sono stati strutturati secondo l'albero dei valori (Figura 2) e successivamente utilizzati per calcolare un indice sintetico di resilienza urbana (IRU). L'albero decisionale si struttura nei seguenti elementi

- (1) Goal: valutazione della resilienza urbana;
- (2) Criteri: società, ambiente, economia, infrastruttura e governance;
- (3) Sottocriteri: ogni criterio prevede al suo interno al massimo 5 sottocriteri
- (4) Alternative: i 18 comuni facenti parte la provincia di Cuneo (P1: Beinette, P2: Bernezzo, P3: Borgo San Dalmazzo, P4: Boves, P5: Caraglio, P6: Castelletto Stura, P7: Centallo, P8: Cervasca, P9: Cuneo, P10: Fossano, P11: Margarita, P12: Montanera, P13: Morozzo, P14: Peveragno, P15: Roccavione, P16: Sant'Albano Stura, P17: Trinità, P18: Vignolo).

Alla fine del calcolo dell'indice sintetico IRU, è stato coinvolto nella valutazione un gruppo multidisciplinare di esperti, al fine di investigare l'importanza dei diversi criteri e sottocriteri. Successivamente, tali valutazioni sono state inserite nel software Expert Choice, ottenendo in tal modo il set di pesi utilizzato per la valutazione. La Figura 3 mostra il set di pesi assegnato ai diversi criteri.

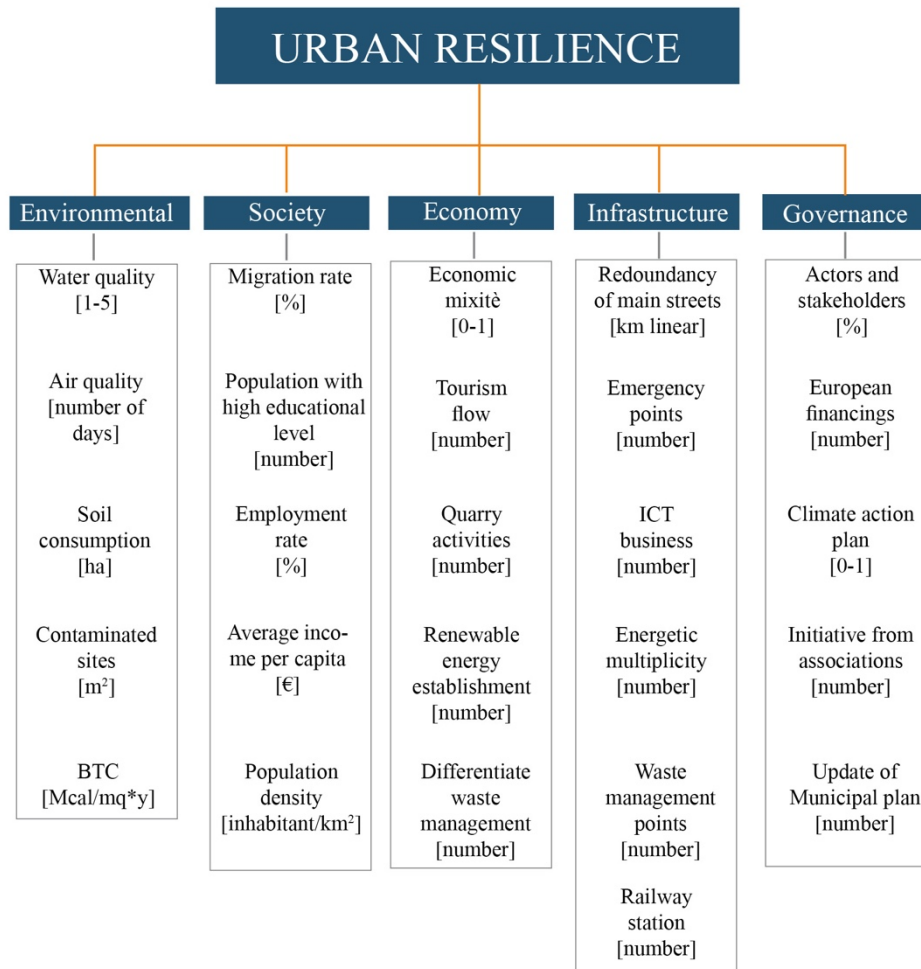


Figura 2 - Albero dei valori (Fonte: elaborazione degli autori)

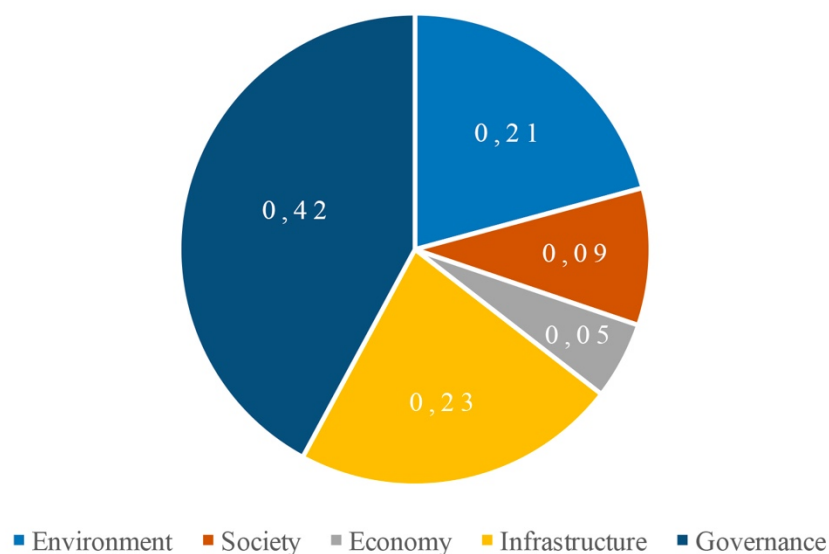


Figura 3 - Pesi assegnati ai diversi criteri (Fonte: elaborazione degli autori)

2.3 Applicazione dei modelli dinamici

Obiettivo è l'ibridazione dei modelli dinamici LV e SDM allo scopo di valutare scenari futuri di resilienza urbana. Questi due modelli hanno come aspetto comune il basarsi su equazioni differenziali, ma si differenziano in quanto i SDM sono strumenti per studiare modelli rappresentati dai LV. Obiettivo di questa applicazione è quindi sfruttare questa differenza al fine di simulare la possibile evoluzione dell'indice di resilienza urbana (IRU) dei 18 comuni analizzati.

3.3.1. Lotka-Volterra

Un modello matematico Lotka-Volterra è stato definito per esplorare le dinamiche evolutive delle popolazioni appartenenti alle 18 Municipalità della Provincia di Cuneo in relazione alla resilienza urbana. Tale modello rappresenta un'estensione del modello stocastico di Monaco e Rabino (1984) e che è stato ripreso in applicazioni più recenti nell'ambito di valutazione dei sistemi territoriali (Monaco 2015, Assumma et al., 2016 Assumma et al., 2018). Il modello assume la seguente forma

$$P'_i = R_i P_i(t) (1 - P_i(t)/S_i) + \sum_{n \neq i}^{18} \frac{R_i}{R_j} \left[1 - \left(\frac{d_{ij}}{d_M} \right) P_j(t) \right] \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad [1]$$

e definito dai parametri

R_i è l'indice di Resilienza Urbana e risultante dell'Analisi Multicriteri;

P_i e P_j sono le popolazioni appartenenti ai rispettivi comuni i e j ;

S_i è la superficie territoriale del comune i ;

d_{ij} è la distanza che intercorre tra i comuni i e j ;

d_M è la distanza massima rilevata nel sistema di comuni considerati;

Le simulazioni ottenute dal modello attraverso il software Mathematica evidenziano una forte crescita della popolazione del Comune di Borgo San Dalmazzo (P3), a discapito dei Comuni di Cuneo e Fossano (P9 e P10). Le popolazioni dei Comuni di Castelletto Stura e Cervasca (P5 e P7) sono interessate da una lieve crescita che tende a stabilizzarsi nel transitorio. Le popolazioni dei Comuni rimanenti sono caratterizzate da bassi flussi di mobilità e tendono a stabilizzarsi rapidamente (Figura 4).

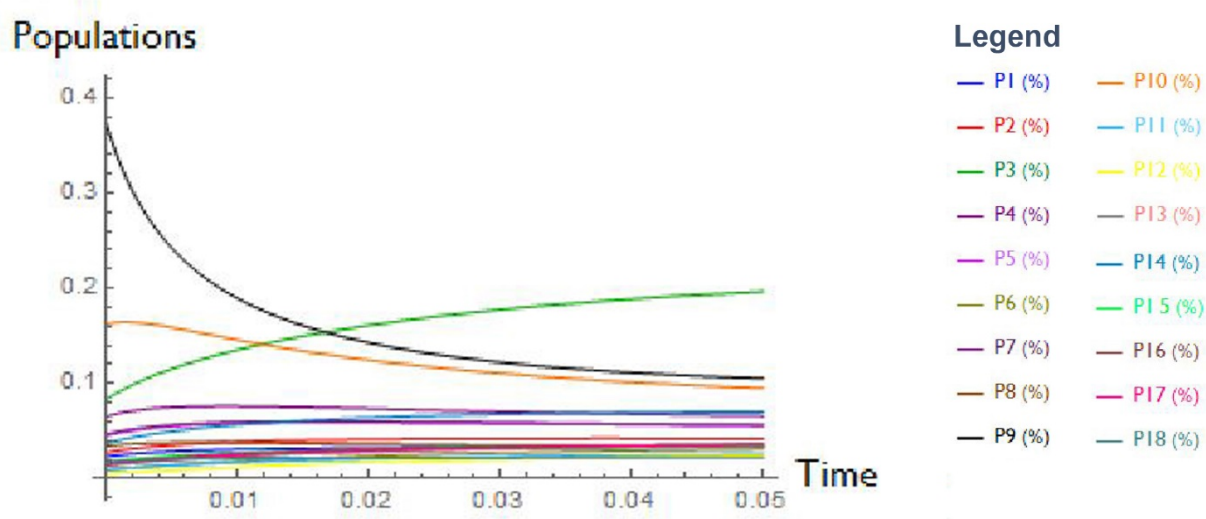


Figura 4. Simulazione delle dinamiche evolutive delle popolazioni legate alla resilienza urbana dei 18 Comuni della provincia Cuneese (Fonte: elaborazione degli autori).

3.3.2. System Dynamics Model

Identificati i 26 indicatori (Figura 2), è stato possibile procedere alla strutturazione del modello per la valutazione della resilienza urbana, per il quale è stato utilizzato il software STELLA Architect ISEE. La costruzione del modello è stata eseguita in due diverse fasi sequenziali. La prima fase ha previsto la costruzione del diagramma causale (Figura 5) con l'obiettivo di identificare le relazioni di causa-effetto che intercorrono tra i diversi criteri considerati.

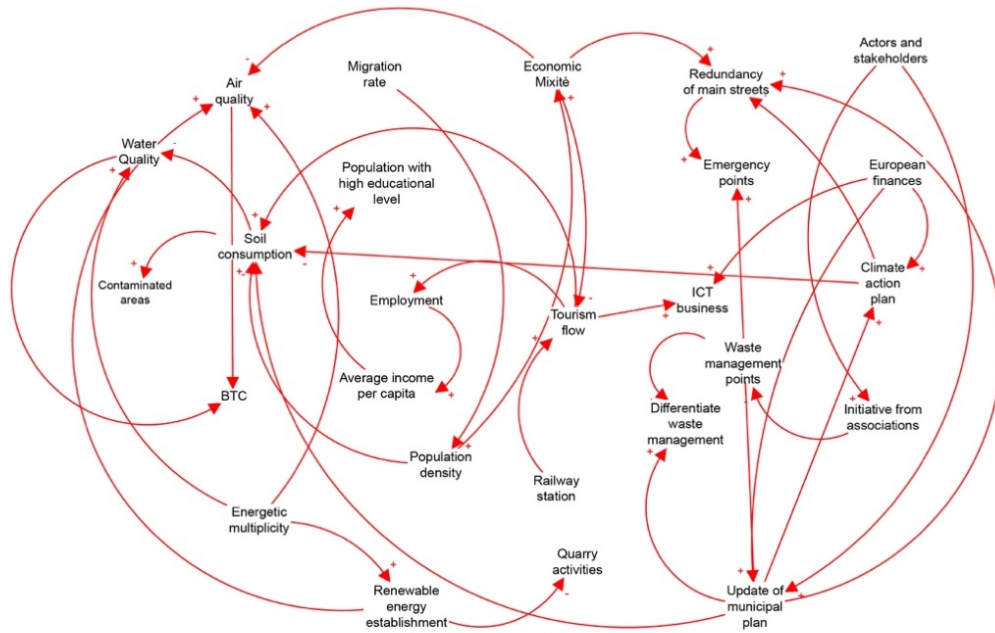


Figura 5 diagramma causale per la valutazione della resilienza urbana per la provincia di Cuneo (Fonte: elaborazione dell'autore)

La seconda fase ha previsto la traduzione del diagramma causale nel diagramma stock and flow (Forrester, 1961). Con particolare riferimento al fenomeno del consumo di suolo, seguendo la letteratura (Tan et al., 2018), alcuni indicatori sono stati tradotti in “stock”, altri in “flow” (Figura 6), al fine di esaminare come queste variabili potrebbero evolversi nel tempo, partendo dalle condizioni attuali, analizzando quindi la loro influenza sulla performance di resilienza urbana nel tempo.

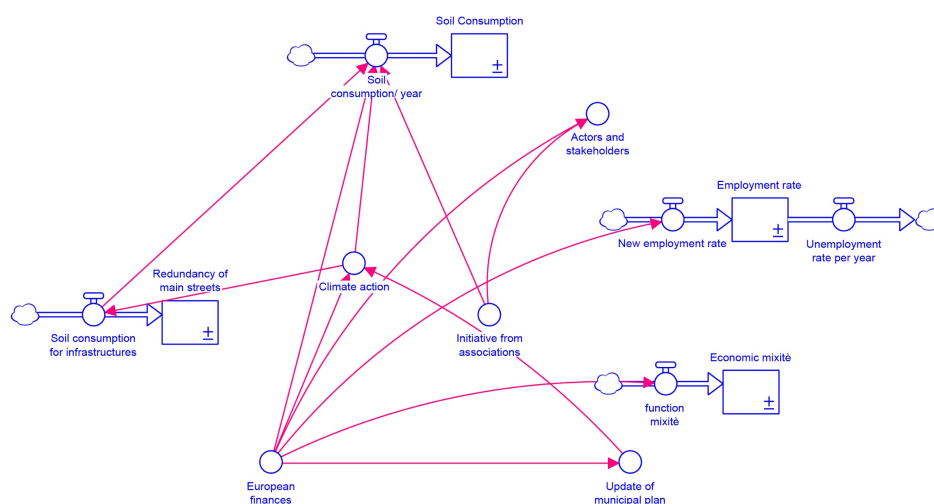


Figura 6 Esempio di Stock and Flow diagram per la valutazione della resilienza urbana della provincia di Cuneo (Fonte: elaborazione degli autori)

La simulazione è stata condotta per un intervallo temporale di 15 anni (medio-lungo periodo). Questa si basa sulla risoluzione di una serie equazioni differenziali. A titolo esemplificativo, la formula 2 riporta l'equazione riferita al consumo di suolo:

$$Soil\ Consumption(t) = Soil\ consumption(t - dt) + (Soil\ \frac{consumption}{year}) * dt \quad [2]$$

I risultati numerici ottenuti dalla simulazione sono stati in seguito impiegati per il calcolo dell'indice di resilienza urbana (IRU) al tempo t15 (Figura 7).

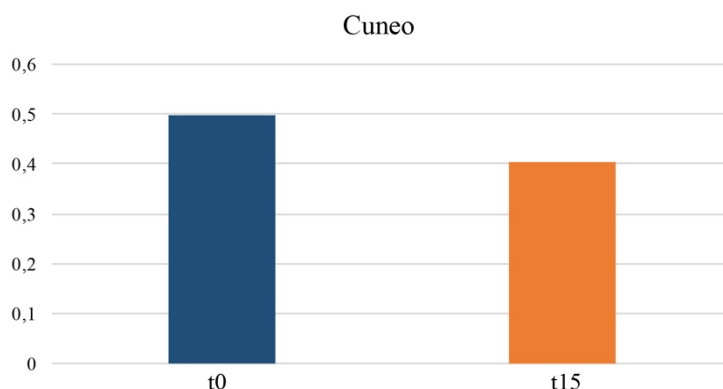


Figura 7 Resilienza urbana Cuneo (Fonte: elaborazione degli autori)

3. Discussione dei risultati e conclusioni

Seguendo la metodologia descritta nella sezione 2, sono stati ottenuti i seguenti risultati:

1. *Indice di resilienza urbana (IRU)*, ottenuto tramite l'applicazione della AHP (Saaty, 1970). Tale indice è stato calcolato per ciascuno dei 18 comuni della provincia di Cuneo. Questi indici restituiscono una fotografia del territorio al tempo t0, considerando contemporaneamente le dimensioni sociale, economica, ambientale, infrastrutturale e della governance. In particolare, i comuni di Cuneo e Fossano rappresentano i comuni più resilienti, con un indice IRU pari rispettivamente a 0,50 e 0,47. I rimanenti comuni mostrano una condizione di resilienza urbana medio, medio bassa, con un indice IRU che varia da 0,18 a 0,30. Questo indice oltre a "misurare" la performance di una città è utile anche per identificare

facilmente i comuni più critici in termini di resilienza urbana, identificando i luoghi che necessitano maggiormente di interventi rivolti al raggiungimento della resilienza urbana.

2. Risultati emersi dalle simulazioni di entrambi i modelli (LV e SDM). I risultati, se confrontati tra loro, restituiscono dei comportamenti che possono essere considerati sovrapponibili. Sia nei LV e nei SDM, è stato constatato che i comuni di Cuneo e di Fossano sono risultati come i più critici in termini di perdita di performance di resilienza e di flussi di popolazioni, nonostante rappresentino i comuni con una maggiore polarità. D'altro canto, i comuni di piccole – medie dimensioni si sono identificati come meno critici in termini di perdita di performance di resilienza urbana nel tempo, ad esempio nel caso del comune di Borgo San Dalmazzo si assiste ad una forte crescita dell'indice di resilienza urbana (IRU), nonostante la bassa popolazione e limitata polarità, determinata anche da una forte crescita della popolazione.

Considerata la similarità e congruenza dei risultati ottenuti, si evince che entrambi i modelli costituiscono un valido supporto, insieme all'analisi multicriteri, nel processo decisionale per la definizione di politiche atte al raggiungimento della resilienza urbana. In particolare, tale contributo metodologico è in grado di facilitare il lavoro di tecnici ed esperti nelle analisi e valutazioni territoriali, dando anche la possibilità di simulare possibili evoluzioni del territorio, partendo dalle condizioni iniziali. Allo stesso modo, possono supportare la definizione di strategie di trasformazione, inserendo elementi riferiti alle nuove politiche di attuazione, prevedendo i possibili risultati (Datola et al., 2019).

Partendo da queste considerazioni, nelle prospettive future di queste ricerche si prevede la validazione del set di pesi, coinvolgendo attori e stakeholder afferenti al territorio. Inoltre, gli autori intendono effettuare una spazializzazione dei risultati ottenuti con i modelli dinamici, utilizzando metodologie GIS, al fine di facilitare la comprensione dei risultati anche ai non esperti.

4. Ringraziamenti

Parte di questo lavoro si basa sui dati raccolti dagli studenti dell'atelier "Pianificare il territorio e il paesaggio", Politecnico di Torino, a.a. 2018/2019, Prof. : C. Cassatella, F. Larcher, M. Bottero

5. Bibliografia

- Assumma, V., Bottero, M., & Monaco, R. (2016), Landscape Economic Value for territorial scenarios of change: an application for the Unesco site of Langhe, Roero and Monferrato, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 223: 549-554. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.340>
- Assumma, V., Bottero, M., Monaco, R. & Soares, A.J. (2018), An integrated evaluation model for shaping future resilient scenarios in multi-pole territorial systems. In: A. Leone & C. Gargiulo (Eds.), *Environmental and territorial modelling for planning and design*. 52 – 55. Naples: FedOAPress. ISBN: 978-88-6887-048-5, doi: 10.6093/978-88-6887-048-5

- Datola G., Bottero M., De Angelis E. (2019), How Urban Resilience Can Change Cities: A System Dynamics Model Approach. In: Misra S. et al. (eds) Computational Science and Its Applications – ICCSA 2019. ICCSA 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol 11622. Springer, Cham. 108 – 122.
- Dente. B. (eds.) (2014), *Understanding Policy Decisions*. Berlin: Springer.
- Forrester, J.W. (1961) Lessons from system dynamics modelling, *Syst. Dyn. Rev.* 3(2)
- Meerow, S., Newell, J.P., Stults, M. (2016) Defining urban resilience: a review, *Landscape and Urban Planning* 147, 38–49 <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011>
- Monaco, R. & Rabino, G. (1984). A stochastic treatment of a dynamic model for an interacting cities system. In: X.J.R.Avula, R.E. Kalman, A.I. Liapis and E.Y. Rodin (Eds.), *Mathematical Modelling in Science and Technology*. 326-330. New York, USA: Pergamon Press.
- Monaco, R. (2015). A mathematical model for territorial integrated evaluation. In G. Brunetta (Ed.), *Smart evaluation and integrated design in regional development - Territorial scenarios in Trentino, Italy*. 97-106 London, UK and New York, USA: Routledge. ISBN: 9781472445834
- Saaty, T. L. (1970). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26. [http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-1](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-1)
- Sharifi, A., Yamagata, Y. (2016) Urban resilience assessment: multiple dimensions, criteria, and indicators. In: Yamagata, Y., Maruyama, H. (eds.) *Urban Resilience*. 259–276. Springer, Cham https://doi.org/10.1007/978-3-319-39812-9_13
- Tan, Y., Jiao, L., Shuai, C., Shen, L. (2018) A system dynamics model for simulating urban sustainability performance: a China case study. *Journal of Cleaner Production* 199, 1107–1115 (2018) <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.154>

ABSTRACT

This work focuses on the investigation of the role of Dynamic Models (DMs) in supporting decision-making processes related to policies and actions for making cities more resilient. The term urban resilience has been recently recognized as an important issue in territorial and urban planning. Urban resilience is defined as the ability of urban system and its dimensions to change, adapt and transform in response to disturbances and shocks. In this sense, the provision of evaluation tools to support planners and Decision Makers is particularly useful to assess the dynamic and multidimensional nature of resilience and its effects on the performance of urban transformation scenarios. This paper investigates the Dynamic Models family that consists of a series of mathematical methods that use set of ordinary differential equations (ODEs) to predict the behaviour of complex systems over time. These models are considered useful for the evaluation of complex urban systems, especially if integrated in wider frameworks for achieve urban resilience goals. Among the different Dynamic models, the present contribution deals with two specific models: the System Dynamics Models that are employed in scenario planning and modelling, and the Lotka-Volterra cooperative systems that are suitable for predicting future territorial dynamics by considering system of indicators and indices.