

Fuzzy Cognitive Maps: un approccio valutativo dinamico per la valutazione dei processi di rigenerazione urbana

Marta Bottero*, Giulia Datola**,
Roberto Monaco***

parole chiave: Fuzzy Cognitive Maps,
rigenerazione urbana, simulazione di scenari, scenario planning

Abstract

Le città sono sistemi complessi, dinamici e adattivi, in continua evoluzione. Il loro andamento è strettamente legato e influenzato dalle relazioni di tipo causa-effetto che intercorrono tra le loro diverse componenti sociali, politiche, economiche ed ambientali.

Analizzare e valutare le città come sistemi complessi e adattivi diventa di fondamentale importanza nell'affrontare processi di trasformazione e rigenerazione urbana. Questi ultimi, infatti, si configurano, per loro natura, come dei processi complessi e multidimensionali, caratterizzati da una molteplicità di variabili, obiettivi e interessi e dinamici rispetto alla scala spaziale e temporale. La loro natura complessa e dinamica, li rende processi decisionali contraddistinti da un elevato livello di incertezza, soprattutto nell'ottica di prevedere i possibili impatti futuri che queste trasformazioni potrebbero avere sulle componenti sociali, economiche ed ambientali.

Un approccio particolarmente promettente nell'ambito dello studio dei sistemi urbani e delle loro trasformazioni è la tecnica delle Fuzzy Cognitive Maps (FCMs). La peculiarità di questa metodologia consiste nella loro

capacità di descrivere e analizzare il funzionamento di sistemi complessi mediante una mappa cognitiva e di simulare la loro possibile evoluzione, a partire dalle condizioni iniziali. Per questa ragione le FCMs sono applicate ed utilizzate per lo studio e l'analisi dei sistemi complessi, riferiti a quei domini di conoscenza caratterizzati da un elevato livello di incertezza, come le città e le loro trasformazioni.

Il presente contributo illustra l'applicazione di un approccio integrato basato sulla tecnica delle FCMs a due casi studio, riferiti a due diversi programmi di rigenerazione urbana. Obiettivo di queste applicazioni è mettere in luce le potenzialità di questo strumento nel rappresentare e gestire la complessità dei processi di rigenerazione urbana, ponendo particolare attenzione all'analisi dei comportamenti dinamici delle diverse alternative progettuali, al fine di ridurre l'incertezza rispetto agli impatti futuri, e al tempo stesso evidenziare le criticità della metodologia per identificare gli aspetti da sviluppare nelle ricerche future.

1. INTRODUZIONE

Le città sono sistemi complessi e dinamici (Batty, 2008; Holing, 1973), caratterizzate da relazioni di tipo causale che

intercorrono tra le componenti sociali, economiche, politiche e ambientali, che sono alla base del loro funzionamento ed andamento. I processi di trasformazione urbana e territoriale sono problemi decisionali complessi, carat-

terizzati da una multidimensionalità di aspetti e da una molteplicità di obiettivi introdotti dai diversi stakeholder coinvolti (Dente, 2014; Angilella et al., 2016).

Oltre alla complessità, l'aspetto più difficile da gestire e controllare nell'ambito dei processi di trasformazione e rigenerazione urbana è l'elevato grado di incertezza (Roscelli, 2005) che contraddistingue il processo decisionale in questo contesto. Infatti, le trasformazioni della città e del territorio non sono statiche, ma caratterizzate da un'evoluzione, una diversificazione e dall'instabilità (Mondini, 2009).

Nello specifico, i casi studio trattati e analizzati in questo contributo fanno riferimento a programmi di rigenerazione urbana. Al fine di comprendere quali possono essere gli strumenti di supporto alla decisione da utilizzare per la gestione della complessità e per la riduzione dell'incertezza che contraddistingue questo processo, occorre innanzitutto comprendere cosa significhi realmente il concetto "rigenerazione urbana" (Garsia, 2015). Nel suo vero significato, il processo di rigenerazione urbana non va riferito al solo recupero edilizio in un'ottica di retrofit energetico, ma è un processo complesso e multidimensionale che auspica all'eliminazione del declino sociale, al miglioramento della qualità della vita degli abitanti, al supporto alla valorizzazione delle risorse culturali, alla protezione dell'ambiente e ad incentivare lo sviluppo economico (Roberts, 2000). Inoltre, il processo di rigenerazione urbana è da considerarsi come un processo strettamente legato al contesto, alle necessità dei cittadini, dinamico, continuo e a lungo termine (Garsia, 2015).

L'aspetto che meglio esplicita il grado di incertezza in cui si svolgono questi processi decisionali e sul quale è necessario focalizzarsi durante la fase di valutazione è il carattere a "lungo termine". Il processo di rigenerazione urbana, quindi, non produrrà effetti tangibili immediati; questo processo, infatti, non termina con la fine degli interventi di natura fisica ma implica effetti a lungo termine che si riscontreranno dopo qualche tempo (Giuffrida et al., 2017).

Considerando il processo di rigenerazione urbana nella sua complessità e dinamicità, si rende per tanto necessario, già nella fase di valutazione ex-ante (Mondini, 2009; Fattinanzi, 2018; Fattinanzi et al., 2018; Fregonara et al., 2018; Dell'anna et al., 2019), comprendere e prevedere quali potrebbero essere gli effetti di un'operazione il cui potenziale è determinato dalla simultanea coesistenza e influenza reciproca delle componenti fisica, economica, sociale e ambientale (Garsia, 2015; Roberts, 2000).

Pertanto, alla luce della consapevolezza dell'incertezza e della complessità che si deve affrontare e gestire nell'ambito della valutazione di processi di rigenerazione urbana, è opportuno prevedere l'utilizzo di uno strumento a supporto della decisione in grado di gestire la multidimensionalità del processo decisionale e al tempo stesso di comprendere e prevedere, seppur in modo debole, gli effetti di tali trasformazioni (Blecic, 2016). Si rendono, quindi, necessari strumenti capaci di misurare i progressi di una strategia verso il raggiungimento di obiettivi specifici e di moni-

torare la natura mutevole del processo nel corso del tempo, riconoscendo la realtà, ovvero dimostrare che i diversi elementi della strategia producono degli effetti e dei progressi a velocità differenti (Blecic, 2016).

Sulla base delle precedenti considerazioni, in questo contributo verrà illustrata l'applicazione di un approccio integrato basato sulla tecnica delle Fuzzy Cognitive Maps (FCMs) (Kosko, 1986) a due diversi programmi di rigenerazione urbana. Nello specifico, le FCMs sono state utilizzate come strumento di valutazione per scegliere la strategia migliore in termini di evoluzione dinamica ed effetti a lungo termine, compatibilmente con gli obiettivi iniziali del programma di rigenerazione. La scelta di applicare le FCMs come strumento di valutazione è dettata dalla loro capacità di rappresentare il funzionamento di un sistema complesso attraverso un network con interconnessioni pesate e di simulare la sua possibile evoluzione nel tempo. Obiettivo di queste applicazioni è mostrare la possibilità di utilizzare questa metodologia come supporto al processo decisionale, grazie alla sua capacità di mostrare l'evoluzione dinamica dei sistemi complessi, permettendo l'analisi dei loro possibili impatti futuri.

2 METODOLOGIA

Introdotta da Bart Kosko (1986), le Fuzzy Cognitive Maps (FCMs) sono una tecnica utilizzata per rappresentare e descrivere il funzionamento e il comportamento dinamico di sistemi complessi, riferiti a quei domini di conoscenza caratterizzati da un elevato grado di incertezza. Per le loro caratteristiche, si configurano e sono considerate la naturale estensione delle mappe cognitive (Axelrod, 1976).

Le FCMs rappresentano e descrivono il funzionamento dei sistemi complessi attraverso un "cognitive network", ovvero network aggregato composto da nodi e interconnessioni pesate (Fig. 1). Questa rappresentazione grafica, basandosi sul ragionamento causale (Kosko, 1986) permette di descrivere e analizzare un sistema complesso in modo semplificato, permettendone una maggiore comprensione. Inoltre, il cognitive network permette l'osservazione e annotazione delle conoscenze che diversi esperti hanno rispetto al comportamento di uno stesso sistema (Axelrod, 1976).

La maggiore peculiarità di questa tecnica, è la loro capacità di descrivere e analizzare il comportamento dinamico del sistema che rappresentano, identificandone i possibili stati futuri e la loro stabilità, sulla base del ragionamento causale e dell'influenza che le diverse variabili hanno fra loro.

Per queste ragioni, l'approccio delle FCMs è considerato uno strumento adatto all'analisi dell'evoluzione di scenari alternativi (Jetter e Kok, 2014). Infatti, attraverso l'applicazione di analisi complementari (Kok, 2008) le FCMs possono supportare il processo decisionale, specialmente in quei contesti incerti e complessi, caratterizzati da fattori che si influenzano a vicenda (Olazabal, 2015).

Le FCMs sono tecniche molto flessibili applicate in conte-

sti molto diversi (Papageorgiou, 2013), tra cui la valutazione ambientale (Ozemi e Ozemi, 2003; Ozemi e Ozemi, 2004; Mithos et al., 2017), l'ingegneria, il management (Jetter, 2006) e la pianificazione energetica (Jetter e Scheweinfurt, 2010).

2.1 Proprietà

Principale peculiarità della tecnica delle FCMs è la loro capacità di descrivere i sistemi complessi attraverso due diverse modalità di rappresentazione:

- 1 Rappresentazione grafica, composta da nodi e da frecce orientate e pesate. Questi elementi strutturano il "cognitive network" (Fig. 1);
- 2 Rappresentazione matematica, costituita dal vettore di stato A e dalla matrice di adiacenza E .

Considerando queste due diverse modalità di rappresentazione, gli elementi che compongono le FCMs nella loro completezza sono:

- **Nodi:** C_1, C_2, \dots, C_n , che rappresentano le diverse variabili costituenti il sistema rappresentato;
- **Il vettore di stato:** $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ dove a_i indica lo stato iniziale del nodo generale C_i con valori compresi nell'intervallo $[0;1]$;
- **Frecce direzionate e pesate** rappresentanti le relazioni di causa-effetto che intercorrono tra le diverse variabili e il loro grado di influenza. Come mostrato nella Figura 1, le relazioni di causa-effetto possono essere di natura positiva o negativa. La relazione positiva implica che all'aumentare di C_4 anche C_5 aumenti, quella negativa invece all'aumentare di C_2 genera una diminuzione di C_3 (Fig. 1);
- **Matrice di Adiacenza** $E = \{e_{ij}\}$ dove e_{ij} è il peso della freccia orientata. I valori assegnati alle relazioni di causa effetto sono compresi nell'intervallo $[-1;1]$. Il valore 0 significa che tra i concetti generali C_i e C_j non sono presenti relazioni causali.

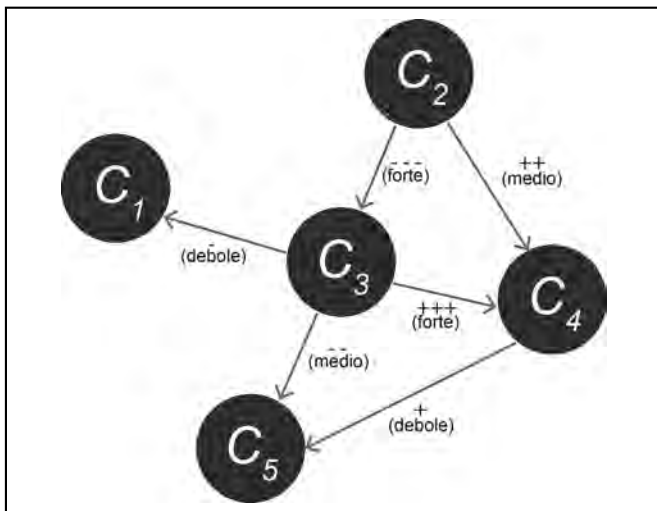


Figura 1 - Fuzzy Cognitive Maps rappresentazione grafica "cognitive network" (Fonte: Bottero et al., 2017)

2.2 Rappresentazione matematica e simulazione del comportamento dinamico

Come descritto nel paragrafo precedente, la caratteristica peculiare che contraddistingue le FCMs è loro capacità di descrivere il comportamento dinamico del sistema che rappresentano e fornirne un'analisi, identificando possibili stati e stabilità futuri, partendo dalle relazioni di causa-effetto.

L'analisi dell'evoluzione del comportamento dinamico del sistema è reso possibile attraverso la rappresentazione matematica. La simulazione, infatti, è il risultato del processo di iterazione tra il vettore di stato A e la matrice di adiacenza E .

Tale processo è ottenuto attraverso la seguente formula:

$$A_i^{(t+1)} = f(A_i^{(t)} \cdot E) \quad (1)$$

Dove:

$A_i^{(t+1)}$ è il valore della variabile C_i al momento $t+1$;

$A_i^{(t)}$ è il valore della variabile C_i al momento t ;

f è la funzione di soglia (Olazabal et al., 2015; Jetter e Kok, 2014; Kok, 2008; Tsadiras, 2008), utilizzata per normalizzare i valori assunti dalle diverse variabili alle diverse iterazioni nell'intervallo $[-1;1]$.

In letteratura (Kok, 2008; Olazabal, 2008; Olazabal et al., 2015; Jetter e Kok, 2014; Kok, 2008; Tsadiras, 2008), viene consigliato di ripetere il processo di iterazione $2 \times n$ volte, dove n è il numero totale delle variabili che rappresentano il sistema analizzato. Nella pratica, invece, il comportamento dinamico del sistema può emergere dopo 20-30 iterazioni.

È importante sottolineare che la simulazione non deve essere intesa come una predizione esatta di dati quantitativi e dati certi ma deve essere intesa come una rappresentazione generale di quello che potrebbe essere il comportamento dinamico del sistema nel futuro (Kok, 2008; Blečić, 2016).

Da questo processo iterativo si ottengono, quindi, le proiezioni del possibile comportamento dinamico dello scenario.

I comportamenti che possono essere ottenuti attraverso questo processo, sono classificati nella letteratura in:

1. **Convergenza ad un valore finito.** I concetti dopo varie fluttuazioni convergono ad un valore finito. Questo valore può essere zero o un numero diverso da zero (Fig. 2a);
2. **Continua ricerca di equilibrio:** i concetti continuano ad aumentare e diminuire, assumendo valori diversi ad ogni iterazione (Fig. 2b);
3. **"Limit cycle",** i criteri assumono alternativamente gli stessi due valori C_t e C_{t+1} (Fig. 2c);
4. **Tutti i concetti si possono stabilizzare ad un valore costante o rimanere invariati** (Fig. 4c).

COMPORAMENTI DINAMICI

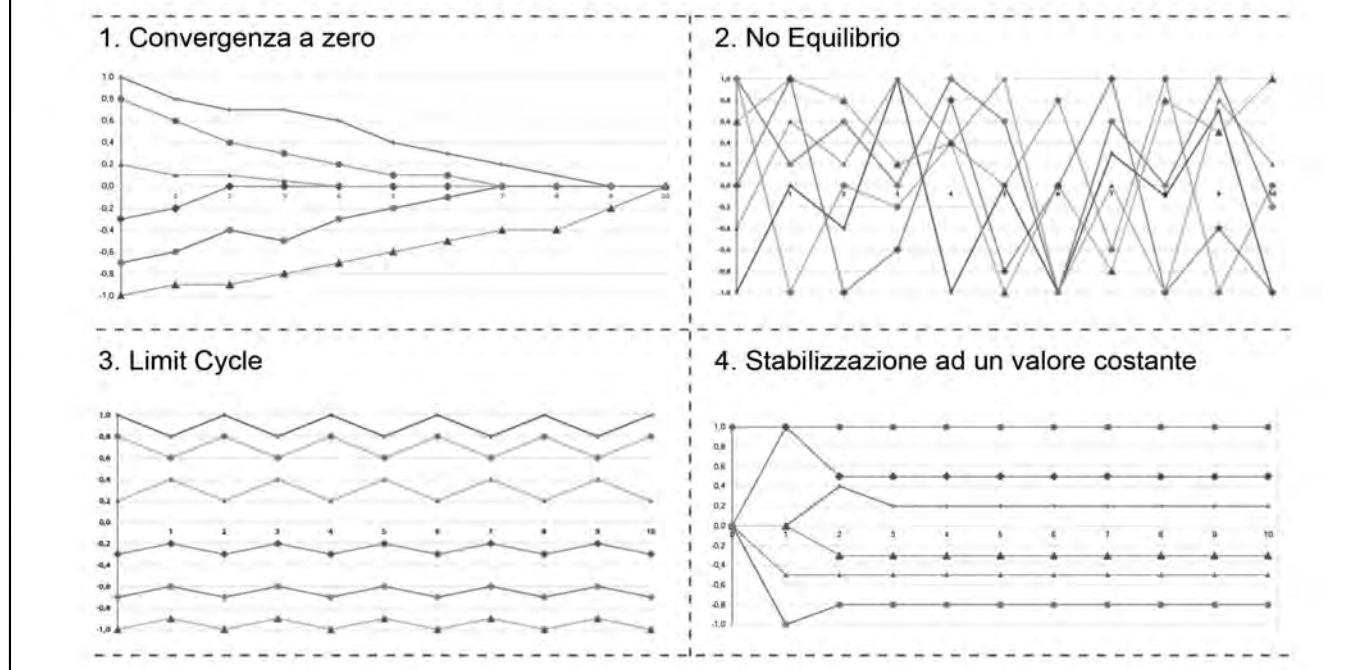


Figura 2 - Possibili comportamenti dinamici (Fonte: Bottero et al., 2017)

3. APPLICAZIONE

In questa sezione verranno illustrati i due casi studio relativi a due diversi programmi di rigenerazione urbana (paragrafo 4.1 e 4.2), per i quali le FCMs sono state utilizzate come strumento per la valutazione e confronto di diverse alternative progettuali (Bottero, 2017; 2019). La peculiarità che caratterizza la valutazione svolta in entrambe le applicazioni è l'analizzare e valutare il comportamento dinamico delle diverse strategie di rigenerazione, sulla base dei seguenti criteri:

1. Resilienza e adattamento, che indica la capacità del sistema urbano di cambiare, adattarsi e trasformarsi in risposta a stress e shock (Desouza, 2013). Nello specifico, per queste valutazioni sono stati considerati il numero delle oscillazioni e la loro ampiezza;
2. Numero di iterazioni necessarie per raggiungere uno stato di equilibrio;
3. Valore finale delle diverse variabili, in relazione agli obiettivi iniziali del programma

3.1 Strutturazione del problema decisionale

La strutturazione del problema decisionale e del modello di valutazione è stata eseguita, per entrambe le applicazioni, seguendo un approccio multi-metodologico (Fig. 3) che combina:

1. **L'Analisi SWOT**, tecnica utilizzata per supportare la scelta e la definizione di strategie nei contesti caratterizzati da complessità ed incertezza (Storti, 2009; Mondini,

2009). Nello specifico, nelle applicazioni trattate in questo articolo, l'analisi SWOT è stata utilizzata per analizzare e descrivere il contesto urbano, mettendo in luce le potenzialità, debolezze, opportunità e minacce. Pertanto, questa analisi ha contribuito alla definizione dei principali obiettivi da perseguire e nella formulazione delle diverse alternative progettuali.

2. **L'analisi degli Stakeholder** (Dente, 2014; Yang, 2014), tecnica che permette di identificare tutti i portatori di interesse coinvolti e influenzati dal processo di trasformazione. La peculiarità di questa tecnica è l'identificazione di tutti gli attori coinvolti, sia quelli che possono intervenire direttamente e in modo tangibile nel processo decisionale, sia quelli che sono solamente influenzati dallo stesso, senza la possibilità di poter agire in modo tangibile. Nell'ambito delle trasformazioni urbane, l'analisi degli stakeholder è di fondamentale importanza (Yang, 2014), perché permette di identificare chi parteciperà al processo decisionale e quali risorse ed obiettivi porteranno all'interno del processo, mostrando i possibili conflitti di interesse.

3. **Fuzzy Cognitive Maps (FCMs)** (Kosko, 1986; Jetter e Kok, 2014), come spiegato nel paragrafo precedente, sono una tecnica utilizzata per analizzare e descrivere il funzionamento di un sistema complesso e simularne l'evoluzione. Nelle applicazioni trattate in questo contributo, le FCMs sono state utilizzate per mappare il funzionamento del processo di rigenerazione urbana, per simulare il comportamento delle diverse alternative, basandosi sulla rappresentazione matematica.

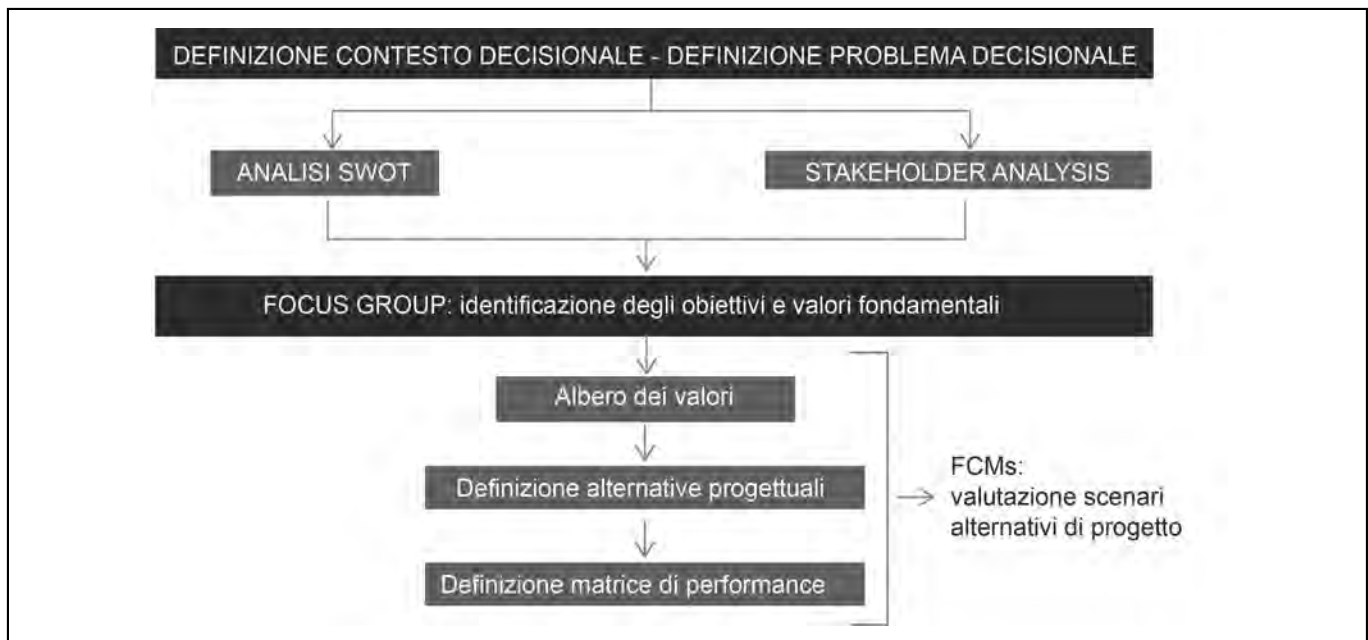


Figura 3 - Schema strutturazione problema decisionale (Fonte: elaborazione dell'autore)

4. CASI DI STUDIO CONSIDERATI

4.1 Il programma di rigenerazione urbana "Collegno Rigenera"

Il primo caso studio analizzato fa riferimento al programma di rigenerazione sviluppato per la città di Collegno (TO). Il progetto, promosso dall'amministrazione comunale auspica a trovare soluzioni concrete a necessità economiche e sociali che affliggono il territorio comunale; caratterizzato da un irregolare sviluppo urbano e da un'elevata presenza di aree industriali dismesse. In questo contesto, le FCMs sono state applicate per la valutazione di sei diverse strategie di rigenerazione urbana (Fig. 4). L'utilizzo di questo approccio multi-metodologico basato sulle FCMs ha permesso di valutare le diverse alternative progettuali basandosi sull'analisi dei loro possibili effetti futuri al fine di scegliere la strategia che mostrasse un'evoluzione più stabile nel tempo e con effetti maggiormente efficaci e coerenti in relazione agli obiettivi iniziali del programma di rigenerazione (Bottero et al., 2017; Datola, 2017).

4.1.1 Identificazione dei concetti

Strutturato il processo decisionale ed identificati gli stakeholder (Bottero et al., 2017) e i diversi obiettivi da perseguire, è stato possibile identificare attraverso il supporto delle analisi multicriteri (Keen, 1980; Roy, 1991; Figueira, 2005) un set multidimensionale di criteri che fanno riferimento alla dimensione sociale, economica, ambientale, dei servizi, di rigenerazione e relativa alla mobilità. Questi criteri, elencati nella Tabella 1, rappresentano i nodi della FCM (Fig. 6)

4.1.2 Strategie progettuali

Le sei diverse strategie progettuali (Fig. 4) che sono state valutate attraverso l'approccio multi-metodologico, possono essere brevemente descritte, come segue:

- 1 Distretto Culturale.** Questa strategia si basa sulla creazione di nuovi servizi culturali nell'area di intervento, tra cui una nuova biblioteca e nuove residenze universitarie;
- 2 Smart City.** L'obiettivo principale di questa strategia è collegare l'area oggetto di intervento con il tessuto urbano circostante. Priorità di questa strategia è lavorare sulla viabilità, con l'obiettivo di creare nuove piste ciclo-pedonali, con particolare attenzione alla mobilità lenta e sostenibile.
- 3 Start-Up.** Questa strategia si pone come obiettivo la creazione di un nuovo polo di attrazione, di centralità e riconoscibilità dell'area rispetto al tessuto urbano circostante. I maggiori interventi previsti sono il recupero e la riqualificazione di edifici dismessi, industriali e non, al fine di limitare il consumo di suolo.
- 4 City and Craft.** Questa strategia si fonda sulla creazione di un nuovo parco urbano, situato ai margini dell'area di intervento. Obiettivo di questa strategia è infatti mettere a disposizione della cittadinanza un nuovo parco urbano multifunzionale.
- 5 Sharing city.** Questa strategia si basa su interventi di ricucitura del tessuto urbano, prevenendo interventi di recupero dell'esistente e inserimenti ex-novo. L'obiettivo è costruire una città a misura d'uomo.
- 6 Le nuove arterie verdi.** Il principale intento di questa strategia è quella di migliorare la vivibilità dell'area di intervento, attraverso la creazione ed inserimento di quei servizi mancanti e necessari, quali: creazione di spazi verdi, servizi alla mobilità lenta.

Tabella 1 - Descrizione dei criteri per il programma di rigenerazione urbana di Collegno
(Fonte: elaborazione dell'autore)

C ₁ : Rapporto spazio pubblico/spazio privato	Indice rappresentante la sup. destinata al pubblico impiego rispetto a quella destinata ad uso privato
C ₂ : Spazi coworking	Strutture che mettono a disposizione i loro spazi per riunioni, workshop, mostre, corsi di formazione
C ₃ : Abitanti cohousing	Numero nuovi residenti nelle nuove residenze
C ₄ : Sup. permeabile / sup. territoriale (tot)	Rapporto tra la sup. permeabile creata rispetto alla superficie totale disponibile in fase di progetto
C ₅ : Sup. orti urbani	Totale superficie adibita alla coltivazione urbana, condivisa e privata
C ₆ : Rifiuti prodotti	Quantità di rifiuti prodotti, in un anno, dalle attività commerciali e dalle residenze
C ₇ : Residenza	Superficie destinata alla funzione residenziale in fase di progetto, comprendente quella di nuova edificazione e quella recuperata
C ₈ : Aree commerciali	Superficie aree progettate ed adibite a funzione commerciale
C ₉ : Aree sportive + aree culturali	Quantità di aree destinate allo svolgimento di attività sportive e culturali
C ₁₀ : Indice di mixitè	Indicatore del mix funzionale realizzato nell'area di progetto, evitando lo zoning funzionale e sociale
C ₁₁ : Mobilità lenta	Rilevanza attribuita alla circolazione pedonale e ciclabile, riducendo il traffico automobilistico
C ₁₂ : n. nuovi posti auto	Posti auto realizzati in relazione alle nuove residenze e aree commerciali e metropolitana, previste dal progetto
C ₁₃ : n. punti bike – car sharing	Numero punti bike / car sharing, previsti nell'area di progetto
C ₁₄ : VET	Valutazione benefici sociali generati dall'intervento in termini monetari
C ₁₅ : Costo realizzazione	Costo totale di realizzazione del progetto (residenze, aree commerciali, aree verdi, parcheggi, strade, piste ciclabili, ecc..)
C ₁₆ : Nuovi posti di lavoro	Numero posti lavoro creati in relazione alla realizzazione di nuove aree commerciali, aree culturali, sportive, ecc...
C ₁₇ : Rigenerazione	Superficie rigenerata: recupero di edifici in disuso da tempo, evitandone la demolizione e riducendo la costruzione ex novo
C ₁₈ : Rigenerazione via De Amicis	Previsione di interventi sull'arteria per renderla il cuore della trasformazione, attraverso: arredo urbano, piste ciclabili, marciapiedi, zona 30, aree verdi
C ₁₉ : Indice territoriale	Rapporto tra il volume (V) massimo realizzabile in una determinata zona e la sup. territoriale (ST) della zona stessa

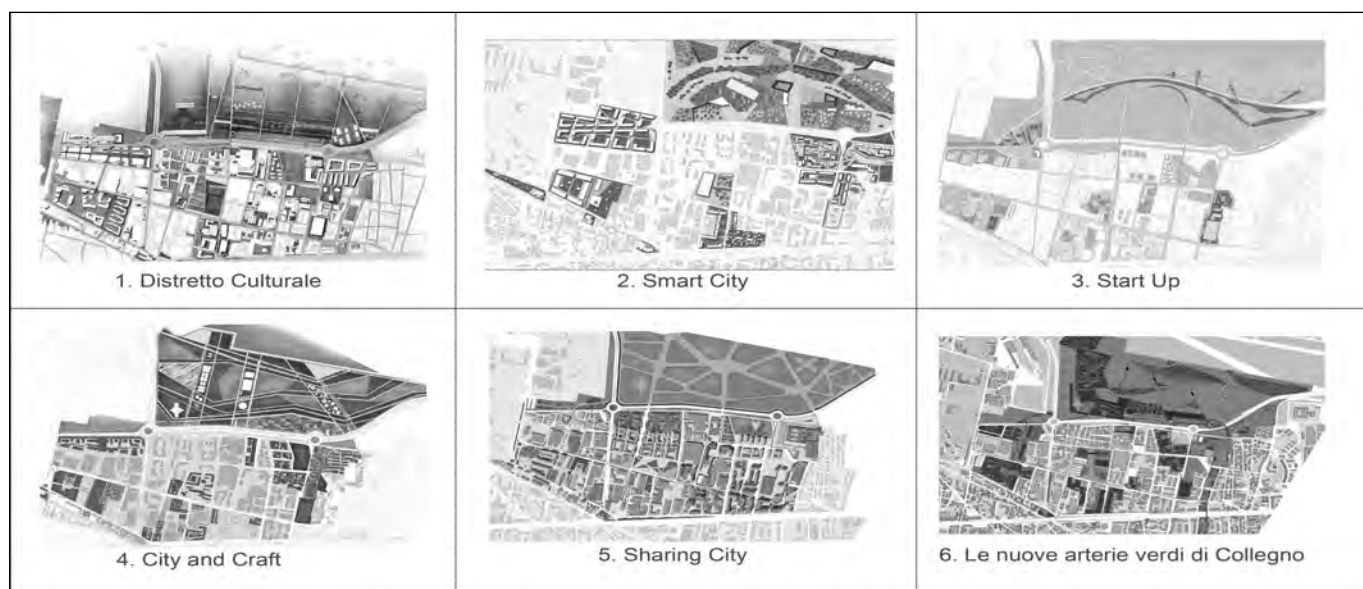


Figura 4 - Masterplan delle sei alternative progettuali per il programma di rigenerazione urbana di Collegno (Fonte: elaborazione dell'autore)

4.2 La riqualificazione della caserma Bochard di San Vitale a Pinerolo

Il secondo caso studio presentato riguarda il programma per la riqualificazione dell'ex caserma militare Bochard di Pinerolo (TO). Questo progetto nasce con l'obiettivo di trovare una soluzione progettuale al grande vuoto urbano, creatosi dopo la dismissione della caserma e per dare risposte concrete a fragilità economiche e sociali che affliggono il territorio comunale. Come per il caso studio di Collegno, le FCMs sono state utilizzate per valutare, analizzare e confrontare le diverse alternative progettuali sulla base della loro evoluzione dinamica ed effetti nel tempo rispetto alla sfera sociale, ambientale ed economica (Bottero et al., 2019).

4.2.1 Identificazione dei concetti

Come per il caso studio di Collegno, anche per il programma di riqualificazione della Caserma, l'analisi SWOT e l'analisi degli stakeholder sono state fondamentali per identificare obiettivi, attori e interessi che devono essere presi in considerazione e analizzati nel processo decisionale. Il risultato è l'identificazione di un set multidimensionale di criteri che caratterizzano la trasformazione e fanno riferimento alla dimensione sociale, economica, ambientale, gestionale e architettonica (Tabella 2).

4.2.2 Strategie progettuali

Le cinque alternative progettuali sviluppate per la riqualificazione dell'ex caserma Bochard, possono essere descritte, come segue:

- 1 Scenario produttivo.** Questa strategia si basa sulla creazione di negozi per la vendita di prodotti locali, spazi dedicati al coworking e ai workshops;
- 2 Scenario culturale.** Questo progetto si fonda sulla creazione di spazi per il coworking, aule studio e una biblioteca all'interno degli spazi dismessi della caserma militare;
- 3 Scenario artistico.** Questo intervento prevede la realizzazione di un teatro, di una scuola di musica, di atelier artistici e di sale concerto e sale espositive;
- 4 Scenario produttivo 2.0.** Questa strategia prevede la demolizione di alcune parti della caserma e il recupero di quelle meno danneggiate dalla dismissione per dedicarle a punti vendita di prodotti locali e spazi per coworking.
- 5 Scenario culturale 2.0.** Questo intervento prevede la demolizione di alcune parti della caserma militare e il recupero di quelle meno danneggiate dalla dismissione per dedicarle a spazi per il co-working, aule studio e una biblioteca.

Tabella 2 - Descrizione dei criteri per il progetto di riqualificazione della caserma di Pinerolo
(Fonte: elaborazione dell'autore)

Aspetti socio-ambientali	C ₁ Funzioni culturali	Inserimento all'interno dell'area di progetto di funzioni prevalentemente orientate agli aspetti culturali
	C ₂ Indice di Mixità	Indicatore del mix funzionale realizzato nell'area di progetto, evitando lo zoning funzionale e sociale
	C ₃ Attenzione alle politiche smart	Rilevanza delle politiche di natura ambientale, quali utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, depurazione di acque meteoriche per il loro riutilizzo, ecc..
	C ₄ Aree verdi	Sup. destinata ad aree verdi
Aspetti gestionali	C ₅ Costo di gestione	Costo da sostenere annualmente per il mantenimento delle strutture e per la sopravvivenza economica dell'intervento
	C ₆ Orario di apertura	Orario di apertura dell'area
Aspetti economici	C ₇ Investimento totale	Quantità di denaro necessaria per la realizzazione di tutta la riqualificazione dell'area
	C ₈ Nuovi posti di lavoro	Quantità di posti di lavoro che si creano con le nuove funzioni
	C ₉ Redditività	Rapporto tra i ricavi e le spese annue dell'intero lotto di progetto
Aspetti architettonici	C ₁₀ Qualità architettonica	Qualità dei materiali di intervento
	C ₁₁ Flessibilità dello spazio	Possibilità di flessibilità degli spazi a seconda del tipo di attività svolta
	C ₁₂ Accessibilità	Facilità di raggiungere l'area con diversi mezzi di trasporto, soprattutto lo studio di percorsi pedonabili e ciclopedonabili, ed il relativo accesso all'area d'intervento.

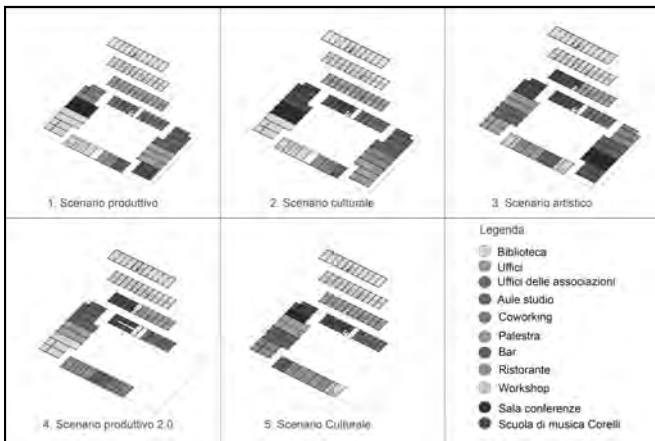


Figura 5 - Strategie progettuali elaborate per l'ex caserma militare (Fonte: rielaborazione dell'autore Damiano e Djarov, 2017)

5. APPLICAZIONE DELLE FUZZY COGNITIVE MAPS (FCMS)

Definito e strutturato il processo decisionale attraverso l'analisi swot e l'analisi degli stakeholder e individuati i criteri di valutazione (Fig. 3), si è potuto procedere all'applicazione delle FCMS per la valutazione dei diversi scenari di trasformazione, sviluppati per i due programmi di rigenerazione.

Le due fasi principali, che verranno illustrate nella presente dissertazione sono:

1. Identificazione delle relazioni causa-effetto e redazione delle FCMS;
2. Esplorazione degli scenari dinamici.

5.1 Identificazione delle relazioni causa-effetto e redazione delle FCMS

Il primo passaggio nell'applicazione delle FCMS consiste nell'identificazione delle relazioni di causa – effetto che

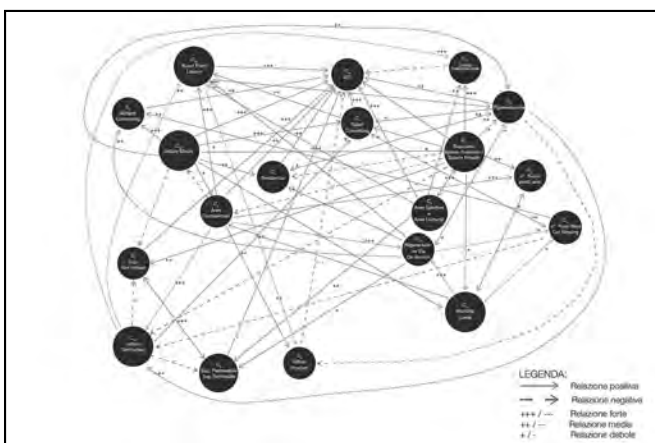


Figura 6 - Fuzzy Cognitive Maps per il programma "Collegno Rigenera" (Fonte: Bottero et al., 2017)

intercorrono tra i criteri precedentemente individuati e nella redazione delle rispettive FCMS.

In entrambe le applicazioni, le FCMS sono state redatte da un panel multidisciplinare di esperti, composto da esperti nel campo della valutazione economica, della progettazione architettonica e della pianificazione urbana. In questo modo, le FCMS risultanti integrano insieme il parere di tre diversi esperti, dando una lettura e un'analisi multidisciplinare del problema decisionale.

Nello specifico, la Figura 6 rappresenta la FCMS redatta per il programma Collegno Rigenera; la Figura 7, invece, mostra quella strutturata per l'analisi del programma di riqualificazione dell'ex caserma Bouchard.

Entrambe le FCMS sono caratterizzate da un network all'interno del quale sono state identificate relazioni sia positive che negative, con il relativo peso di influenza (debole, medio, forte).

Analizzando la struttura delle due diverse FCM, si può notare che i due network hanno complessità diversa. Infatti, quella riferita al programma Collegno Rigenera presenta una complessità più elevata. È importante sottolineare come questo strumento possa illustrare anche graficamente il livello di complessità del processo decisionale che si sta affrontando. I due casi studio, sono infatti caratterizzati da una scala di intervento diversa e quindi da complessità diverse.

5.2 Esplorazione degli scenari dinamici

Il passaggio successivo prevede l'applicazione delle FCMS per l'esplorazione dinamica degli scenari, combinando il vettore di stato A con la matrice di adiacenza E attraverso l'utilizzo della formula (1). È importante ricordare che in queste applicazioni il vettore di stato rappresenta la configurazione iniziale delle diverse alternative progettuali. Per ottenere dei vettori di stato che descrivessero e confrontassero lo stato iniziale delle diverse alternative progettate per Collegno e Pinerolo, le rispettive matrici di perfor-

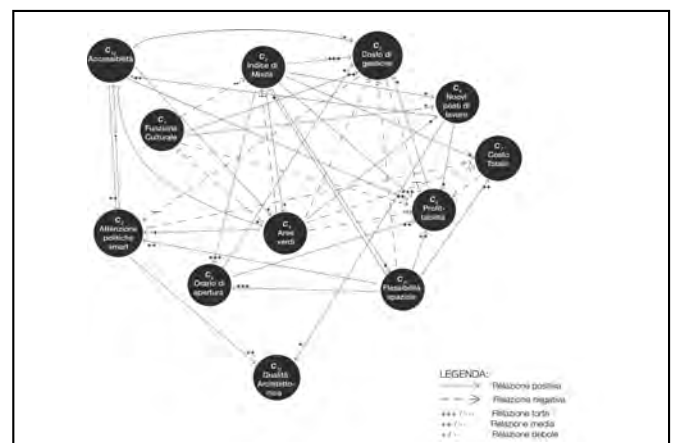


Figura 7 - Fuzzy Cognitive Maps per la riqualificazione della Caserma Bochar (Fonte: Bottero et al., 2019)

mance sono state normalizzate per ottenere valori compresi nell'intervallo [0;1] mediante la seguente formula:

$$a_i = (x_i - x_{min}) / (x_{max} - x_{min}) \quad (2)$$

dove:

x_i è il valore iniziale del criterio;

x_{min} e x_{max} sono rispettivamente il valore minimo e massimo ricoperto dai criteri

La Figura 8 illustra i risultati della simulazione delle sei alternative sviluppate per il programma Collegno Rigenera, mentre la Figura 9 mostra il comportamento dinamico dei cinque scenari di riqualificazione della caserma Bochara a Pinerolo. In dettaglio, i grafici rappresentano sull'asse delle x il numero delle iterazioni, e sull'asse y il valore dei diversi criteri considerati.

In entrambi i casi, l'evoluzione dei diversi scenari è stata analizzata e valutata, al fine di selezionare la soluzione preferibile, utilizzando i seguenti criteri:

1. Numero di iterazioni richieste dal sistema per la ricezione dell'equilibrio;
2. Stabilità del sistema, frequenza e ampiezza delle iterazioni;
3. Valori finali dei singoli criteri.

6. DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Le simulazioni di scenario rappresentate in Figura 8 e Figura 9 evidenziano la possibile evoluzione delle diverse strategie progettuali, mostrando il comportamento dinamico

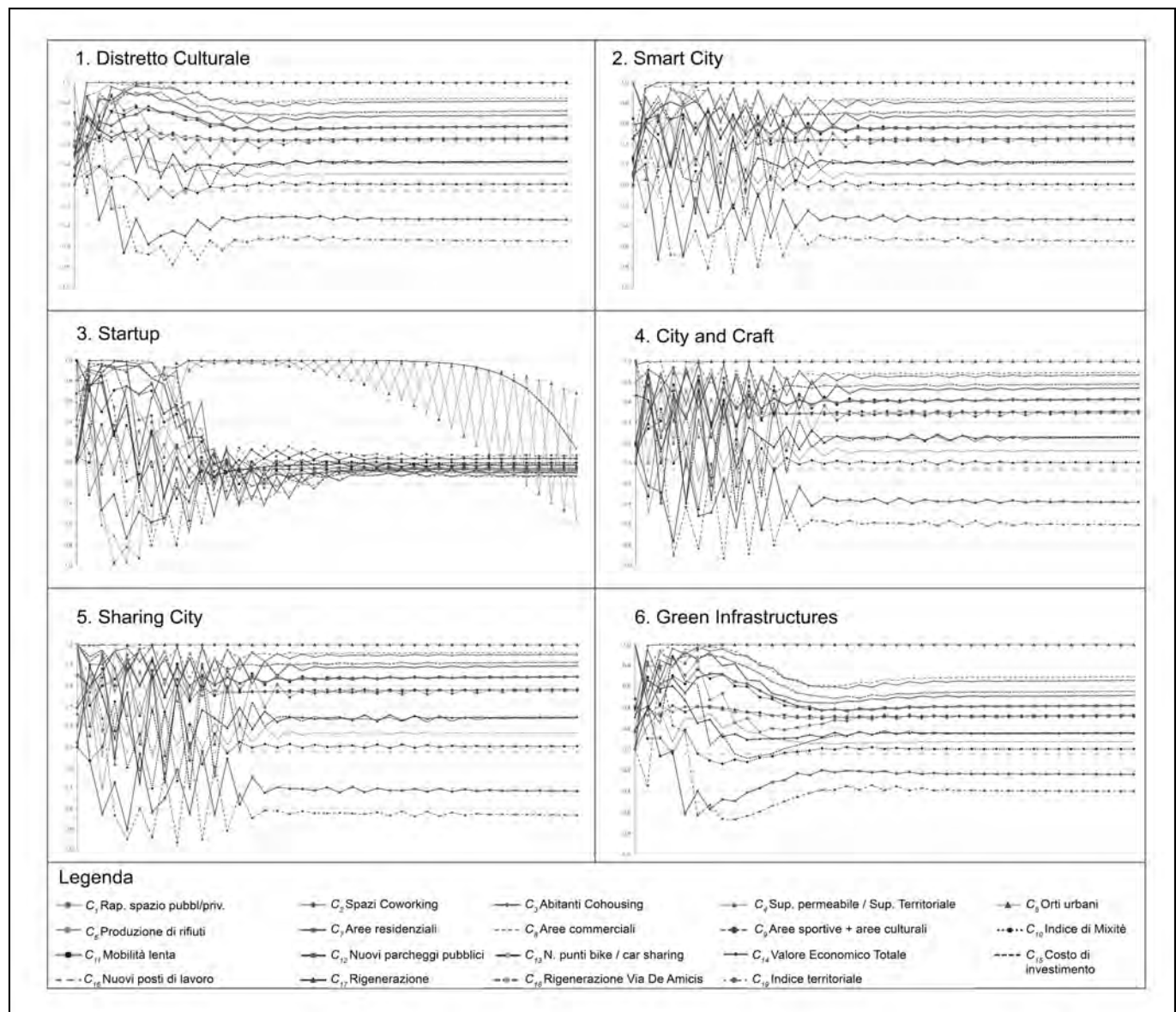


Figura 8 - Simulazione scenari delle sei alternative progettuali per Collegno Rigenera (Fonte: Bottero et al., 2017)

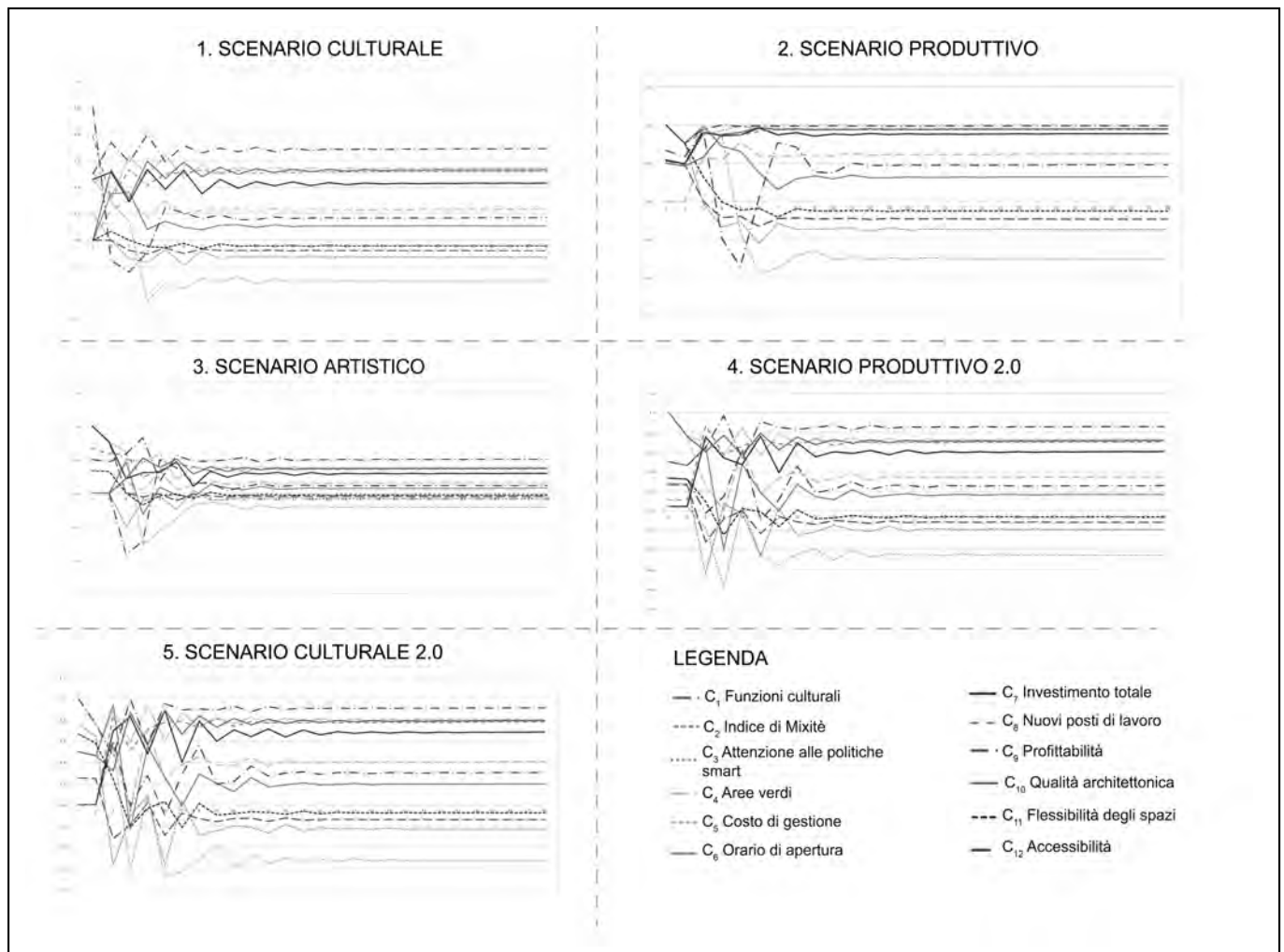


Figura 9 - Simulazione scenari delle sei alternative progettuali per l'ex caserma di Pinerolo (Fonte: Bottero et al., 2019)

e lo sviluppo di tutti i criteri che le descrivono e rappresentano. In questo modo, è possibile prevedere e conoscere, seppur in maniera debole (Blecic, 2016) i loro possibili effetti e impatti a lungo termine, a partire dalle loro condizioni iniziali.

Prendendo in considerazione i criteri di valutazione elencati nel paragrafo 5.2; in entrambi i casi gli scenari ritenuti preferibili, il "Distretto Culturale" e le "Infrastrutture verdi" per Collegno, e lo "Scenario produttivo" e "lo Scenario culturale" per Pinerolo, hanno un comportamento tra loro molto simile. Per questa ragione, in entrambi i casi, è stata svolta un'ulteriore valutazione; ovvero il confrontare questi scenari sulla base dei loro effetti a lungo termine. Obiettivo di questa ulteriore valutazione era determinare quali conseguenze potrebbero provocare queste strategie e in quale entità, coerentemente con gli obiettivi iniziali del programma.

Questa valutazione è stata effettuata attraverso l'elaborazione di grafici radar (Fig. 10 e Fig. 11) per rappresentare i valori assunti da ciascun criterio al termine del processo iterativo.

Mediante quest'ultima analisi, è stato possibile scegliere il "Distretto culturale" per Collegno e lo "Scenario Culturale" per Pinerolo. La scelta finale della strategia da adottare è data quindi dalla combinazione dell'analisi dell'evoluzione degli scenari con la valutazione degli effetti a lungo termine, considerando la loro coerenza rispetto agli obiettivi iniziali dei due programmi di rigenerazione. Per esempio, per il programma "Collegno Rigenera", a parità di comportamento dinamico lo scenario "Distretto culturale" incrementerà maggiormente il rapporto spazio pubblico/privato rispetto allo scenario "Infrastrutture verdi" (Fig. 10). Allo stesso modo, per la riqualificazione della caserma Bochard, la strategia "Scenario produttivo", a parità di comportamento dinamico permetterà di avere sul medio-lungo periodo un costo di gestione più basso, una maggiore profittabilità e un maggior numero di nuovi posti di lavoro, rispetto alla strategia "Scenario culturale" (Fig. 11).

7. CONCLUSIONI

Questo articolo mette a confronto l'applicazione dell'ap-

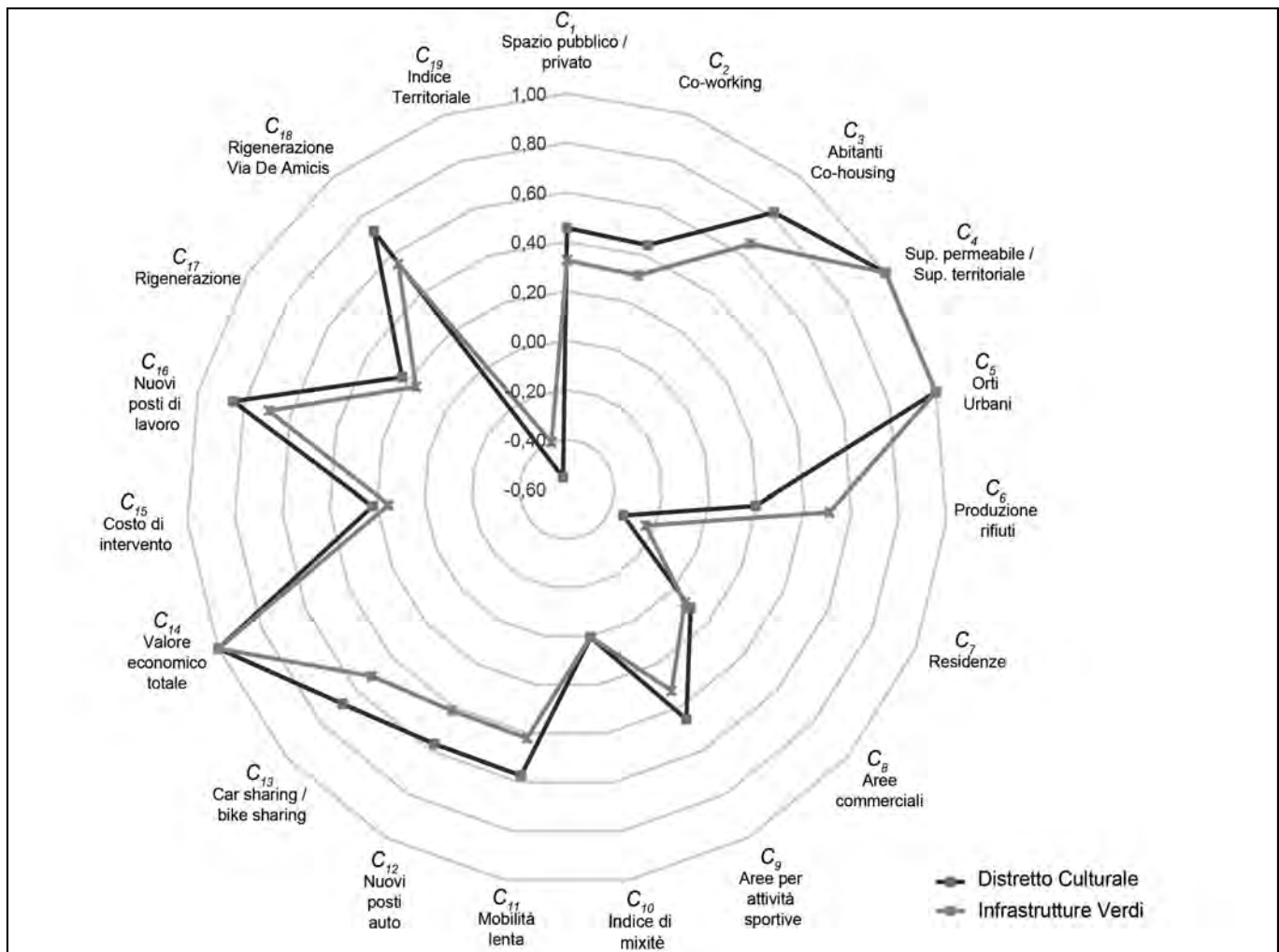


Figura 10 - Grafico radar per confronto "Distretto culturale" e "Infrastrutture verdi", programma "Collegno Rigenera" (Fonte: Bottero et al., 2017)

proccio multi-metodologico basato sulle FCMs per la valutazione di strategie alternative di rigenerazione riferite a due programmi di rigenerazione, diversi per contesto e scala di intervento. Questo confronto ha permesso di evidenziare i punti di forza e contemporaneamente mettere in luce le criticità di questa metodologia.

La maggiore potenzialità emersa è la versatilità e ripetibilità di questo approccio a diversi processi decisionali, aventi caratteristiche diverse e distinti da una diversa scala di intervento (Bottero et al., 2018). Queste applicazioni hanno inoltre dimostrato l'efficacia di questo approccio nell'affrontare e gestire la complessità dei processi decisionali riferiti ai programmi di rigenerazione urbana. Infatti, le FCMs grazie alla loro rappresentazione grafica hanno permesso di aggregare insieme punti di vista di diversi esperti, permettendo e favorendo una lettura multidimensionale e multidisciplinare del problema decisionale. Inoltre, la redazione delle FCMs e l'identificazione delle relazioni di tipo causa-effetto hanno contribuito ad aumentare la consapevolezza e conoscenza rispetto al funzionamento del sistema stesso.

Attraverso l'indagine dei comportamenti dinamici delle strategie è stato inoltre possibile mostrare la natura stessa del processo di rigenerazione urbana ovvero un processo che si inserisce in un contesto urbano già consolidato e con un suo equilibrio (Saporiti, 2012). Infatti, nelle simulazioni di scenario è stato evidenziato, in entrambe le applicazioni, che i diversi scenari hanno complessivamente un andamento simile tra loro.

Oltre all'evidenziare queste potenzialità, entrambe le applicazioni hanno messo in luce le lacune delle FCMs. La maggiore criticità riscontrata è l'impossibilità di tradurre le iterazioni della simulazione in una scala temporale definita. Per tale ragione, considerando le numerose potenzialità di questi modelli dinamici applicati alla valutazione dei processi di trasformazione urbana e territoriale, le nuove ricerche sono direzionate nell'applicazione dei System Dynamics Model (SDM) (Forrester, 1961; Forrester, 1968) come strumento di simulazione dell'evoluzione di diverse strategie di sviluppo urbano, al fine di supportare il processo decisionale in questo contesto (Guan, 2011; Tan, 2018). Questa scelta è stata dettata dalla capacità dei SDM di identifi-

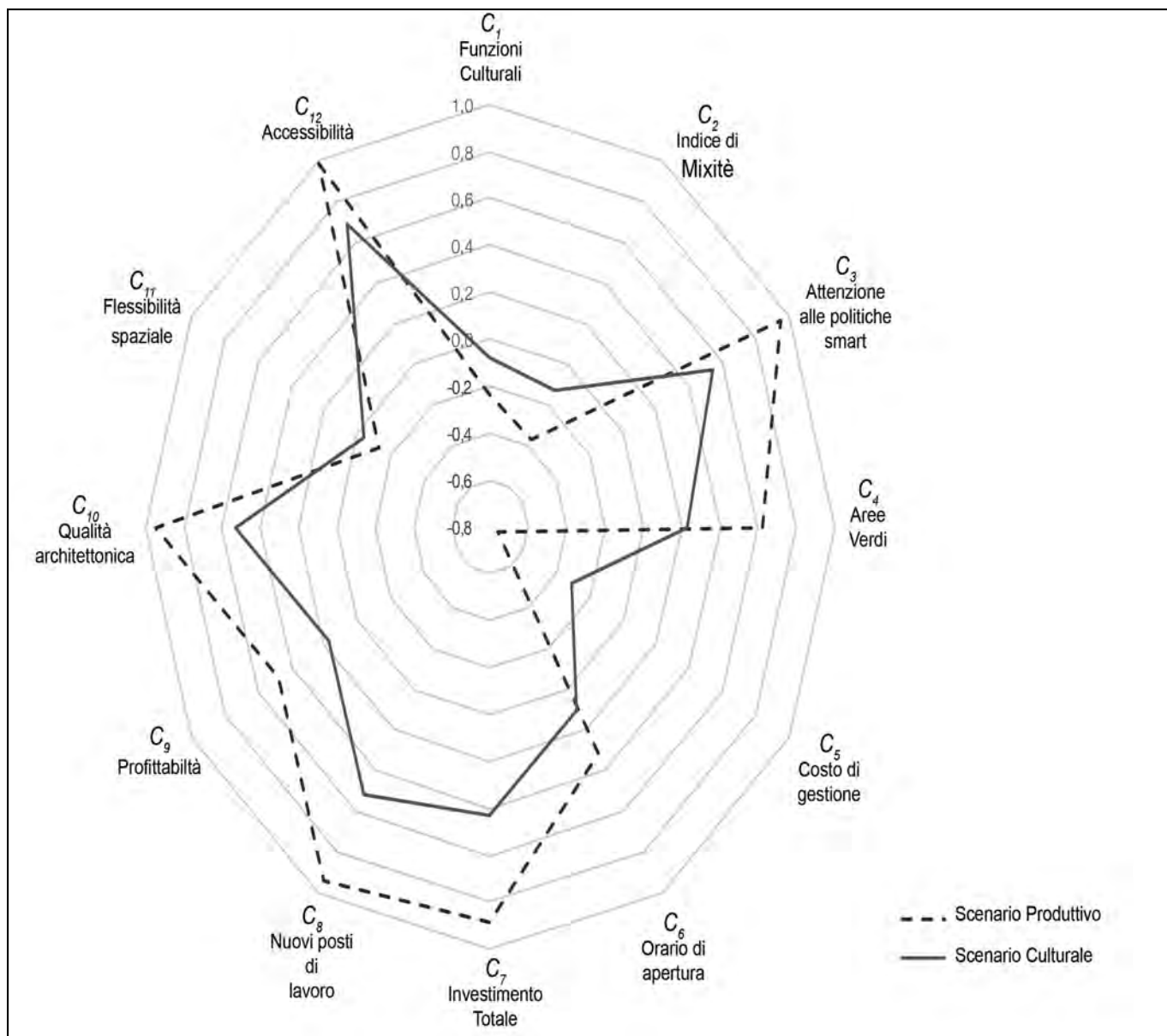


Figura 11 - Grafico radar per confronto "Scenario produttivo" e "Scenario culturale" per la riqualificazione dell'ex Caserma Bochard (Fonte: Bottero et al., 2019).

care le relazioni causali che intercorrono tra le diversi componenti del sistema urbano e simulare l'evoluzione dello stesso in una scala temporale definita. Un ulteriore campo di ricerca è l'integrazione di questi modelli dinamici (SDM) con il GIS, al fine di simulare l'evoluzione delle strategie e monitorarne gli impatti anche nella scala spaziale (Guan, 2011), così da rendere più facile la comprensione di queste valutazioni anche dai non esperti, al fine di poter supportare i Decision-Makers nella definizione delle strategie di trasformazione, considerando i loro effetti ed impatti a lungo termine rispetto alla scala spaziale e temporale, soprattutto nell'ottica di creare città resilienti (Brunetta et al., 2018; Datola et al., 2019; Pagano et al., 2017; Romagnoli, 2014).

RINGRAZIAMENTI

Le alternative progettuali valutate per il caso studio "Collegno Rigenera" sono state sviluppate nell'ambito dell'Unità di Progetto "Architettura ed Economia Urbana" (docenti: professori Mauro Berta, Marta Bottero, Edoardo Piccoli, Francesca Bagliani, Laurea Magistrale in Architettura Costruzione Città, Politecnico di Torino) mentre i progetti esaminati per il caso studio della riqualificazione dell'ex caserma militare Bochard sono stati redatti nell'ambito della tesi di laurea "Scenari di riuso per la caserma Bochard a Pinerolo" (candidati: Damiano S., Boyanov Djarov, G., relatori: professori Antonio De Rossi, Marta Bottero, Francesca Governa, Laurea Magistrale in Architettura Costruzione Città, Politecnico di Torino).

* **Marta Bottero**, *Interuniversity Department of Regional and Urban Studies and Planning, Politecnico di Torino*

e-mail: marta.bottero@polito.it

** **Giulia Datola**, *Interuniversity Department of Regional and Urban Studies and Planning, Politecnico di Torino*

e-mail: giulia.datola@polito.it

*** **Roberto Monaco**, *Politecnico di Torino*

e-mail: roberto.monaco@formerfaculty.polito.it

Bibliografia

ANGILELLA S., BOTTERO M., CORRENTE S., FERRETTI V., GRECO S., LAMI I.M., *Non Additive Robust Ordinal Regression for urban and territorial planning: an application for siting an urban waste landfill*, *Annals of Operations Research*, Vol. 245, n. 1-2, 2016, pp. 427-456. doi: 10.1007/s10479-015-1787-7.

AXELROD R., *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites*, Princeton University Press, Princeton, 1976.

BATTY M., *The size, scale and shape of cities*, *Science*, Vol. 319, 2008, pp. 769-771.

BLECIC I., CECCHINI A., *Verso una pianificazione antifragile. Come pensare al futuro senza prevederlo*, Franco Angeli editore, Milano, 2016.

BOTTERO M., DATOLA G., MONACO R., *Exploring the resilience of urban systems using fuzzy cognitive maps*, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 10406, 2017, pp. 338-353.

BOTTERO M., MONDINI G., DATOLA G., *Decision-making Tools for Urban Regeneration Processes: from Stakeholders Analysis to Stated Preference Methods*. Tema., *Journal of Land Use, Mobility and Environment*, Vol. 10, n. 2, 2017, pp. 193-212. doi: <http://dx.doi.org/10.6092/1970-9870/5163>

BOTTERO M., DATOLA G., MONACO R., *The use of fuzzy cognitive maps for evaluating the reuse project of military barracks in Northern Italy*, Calabrò, F., Della Spina, L., Bevilacqua, C. (eds.) ISHT 2018. SIST, Springer, Vol. 100, Cham, 2019, pp. 691-699. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92099-3_77

BOTTERO M., BRAVI M., DELL'ANNA F., MONDINI G., *Valutazione dell'efficienza energetica degli edifici con il metodo dei prezzi edonici: gli effetti spaziali sono rilevanti?*, *Valori e Valutazioni*, Vol. 21, 2018, pp. 27-39.

BRUNETTA G., SALIZZONI E., BOTTERO M., MONACO R., ASSUMMA V., *Misurare la resilienza per la valorizzazione dei territori: una sperimentazione in Trentino*, *Valori e Valutazioni*, Vol. 20, 2018, pp. 69-78.

DAMIANO S., BOYANOV DJAROV, G., *Scenari di riuso per la caserma Bochara a Pinerolo*, Master thesis, Politecnico di Torino (Supervisors: professors Antonio De Rossi, Marta Bottero, Francesca Governa), 2017.

DATOLA G., *Fuzzy cognitive maps: un approccio integrato per la valutazione di scenari di rigenerazione urbana* (Relatori: Marta Bottero, Roberto Monaco), 2017.

DATOLA G., BOTTERO M., DE ANGELIS E., *How Urban Resilience Can Change Cities: A System Dynamics Model Approach*, Misra S. et al. (eds) *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2019*. ICCSA 2019, *Lecture Notes in Computer Science*, Springer, Vol. 11622, Cham, 2019.

DELL'ANNA F., VERGERIO G., CORGNATI S., MONDINI G., *Un nuovo prezario per la valutazione di interventi di retrofit su archetipi di edifici*, *Valori e Valutazioni*, Vol. 22, 2019, pp. 3-17.

DENTE B., *Understanding Policy Decisions*, Springer, Berlin, 2014.

DESOUZA K.C., FLANERY T.H., *Designing, planning, and managing resilient cities: A conceptual framework*, *Cities*, Vol. 35, 2013, pp. 89-99.

FATTINNANZI E., *La qualità della città. Il ruolo della valutazione nelle metodologie di redazione di piani e progetti*, *Valori e Valutazioni*, Vol. 20, 2018, pp. 3-12.

FATTINNANZI E., ACAMPA G., FORTE F., ROCCA F., *La valutazione complessiva della qualità nel progetto di architettura*, *Valori e Valutazioni*, Vol. 21, 2018, pp. 3-14.

FIGUEIRA J., GRECO S., EHRGOTT M., *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, *International Series in Operations Research and Management Science*, Vol. 78, Springer-Verlag, Boston, MA, 2005.

FORRESTER J.W., *Industrial Dynamics*, The MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1961.

FORRESTER J.W., *Principles of Systems*, Productivity, Portland, 1968.

FREGONARA E., CARBONARO C., PASQUARELLA O., *LCC Analysis per valutare la sostenibilità economica di scenari tecnologici alla scala del district*, *Valori e Valutazioni*, Vol. 21, 2018, pp. 59-73.

GIUFFRIDA S., VENTURA V., TROVATO M.R., NAPOLI G., *Assiologia della città storica e saggio di capitalizzazione. Il caso del Centro storico di Ragusa Superiore*, *Valori e Valutazioni*, Vol. 18, 2017, pp. 41-55.

GUAN D., GAO W., LI H., HOKAO K., *Modeling and dynamic assessment of urban economy-resource-environment system with a coupled system dynamics – geographic information system model*, *Ecological Indicators*, Vol. 11, 2011, pp. 1333-1344.

GARSIA L., *Abitare la rigenerazione urbana. La misura della città e della casa nel XXI secolo*, Gangemi editore, Roma, 2015.

HOLLING C. S., *Resilience and stability of ecological systems*, *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol. 4, 1973, pp. 1-23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>

JETTER A., *Fuzzy Cognitive Maps for Engineering and Technology Management: What Works in Practice?*, *PICMET Proceedings*, 2006.

JETTER A., SCHWEINFORT W., *Building scenarios with Fuzzy Cognitive Maps: An exploratory study of solar energy*, *Futures*, Vol. 43, 2010, pp. 52-66.

- JETTER A. J., KOK K., *Fuzzy Cognitive Maps For Futures Studies – A methodological assessment of concepts and methods*, *Futures*, Vol. 61, 2014, pp. 45-57.
- KEEN P.G.W., *Decision support systems: A research perspective*, G. Fick and R.H. Sprague, Eds.: *Decision Support Systems: Issues and Challenges*, pp. 23-44, Pergamon Press, New York, 1980.
- KOK K., *The potential of Fuzzy Cognitive Maps for semi-quantitative scenario development, with an example from Brasil*, *Global Environmental Change*, Vol. 19, 2008, pp. 122-133.
- KOSKO B., *Fuzzy Cognitive Maps*, *Int. J. Man. Mach. Stud.* 24, 1986, pp. 65-875.
- MISTHOS L. S., MESSARIS G., DAMIGOS D., MENEGAKI M., *Exploring the perceived intrusion of mining into the landscape using the fuzzy cognitive mapping approach*, *Ecological Engineering*, Vol. 101, 2017, pp. 60-74.
- MONDINI G., BOTTERO M., *Valutazione e sostenibilità. Piani, programmi e progetti*, Celid, Torino, 2009.
- ÖZESMI U., ÖZESMI S., *A participatory approach to ecosystem conservation: fuzzy cognitive maps and stakeholder group analysis in Uluabat Lake, Turkey*, *Environmental Management*, Vol. 31, n. 4, 2003, pp. 518-531.
- OZEMI U., OZEMI S.L., *Ecological models based on people knowledge: a multy-step fuzzy cognitive mapping approach*, *Ecological Modelling*, Vol. 176, 2004, pp. 43-64.
- OLAZABAL M., PASCUAL U., *Use of fuzzy cognitive maps to study urban resilience and transformation*, *Environmental Innovation and Societal Transitions*, Vol. 18, 2015, pp. 18-40.
- PAPAGEORGIU E. I., SALMERON J. L., *A Review of Fuzzy Cognitive Maps Research During the Last Decade*, *IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS*, Vol. 21, n. 1, 2013, pp. 69-79.
- PAGANO A., PLUCHINOTTA I., GIORDANO R., VURRO M., *Drinking water supply in resilient cities: Notes from L'aquila earthquake case study*, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 28, 2017, pp. 435-449.
- ROBERTS P., SYKES H. (a cura di), *Urban regeneration: an handbook*, SAGE Publications, London, 2000.
- ROSCELLI R., *Misurare nell'incertezza valutazione e trasformazioni territoriali*, Celid, Torino, 2005.
- ROMAGNOLI F., *System Dynamics approach within the context of city resilience and urban metabolism*, *The 9th International Conference "ENVIRONMENTAL ENGINEERING"*, 2014.
- ROY B., *The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods*, *Theory and Decision*, Vol. 31, n. 1, 1991, pp. 49-73.
- SAPORITI G., SCUDO, G., ECHAVE, C. F., *Strumenti di valutazione della resilienza urbana*, *TeMa journal and Land Use, Mobility and Environment*, n. 2, 2012, p.120.
- STORTI D., *L'analisi SWOT*, Working paper. Istituto Nazionale di Economia Agraria, Roma, 2009.
- TSADIRAS A. K., *Comparing the inference capabilities of binary, trivalent and sigmoid fuzzy cognitive maps*, *Information Sciences*, Vol. 178, 2008, pp. 3880-3894.
- TAN Y., JIAO L., SHUAI C., SHEN L., *A system dynamics model for simulating urban sustainability performance: A China case study*, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 199, 2018, pp. 107-113 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.15>
- YANG J. R., *An investigation of stakeholder analysis in urban development projects: Empirical or rationalistic perspectives*, *International Journal of Project Management*, Vol. 32, 2014, pp. 838-849.