



Architettura e Innovazione/Built Environment Technologies and Healthy Architectures

Adattamento ai cambiamenti climatici di architetture e città *green*

Assi strategici, indirizzi, azioni d'intervento per la resilienza dell'ambiente costruito

Fabrizio Tucci, Valeria Cecafozzo, Alessia Caruso, Gaia Turchetti

FrancoAngeli

Informazioni per il lettore

Questo file PDF è una versione gratuita di sole 20 pagine ed è leggibile con



La versione completa dell'e-book (a pagamento) è leggibile con Adobe Digital Editions. Per tutte le informazioni sulle condizioni dei nostri e-book (con quali dispositivi leggerli e quali funzioni sono consentite) consulta [cliccando qui](#) le nostre F.A.Q.



Architettura e Innovazione

Built Environment Technologies and Healthy Architectures

Direction/Direzione:

Michele Di Sivo (Università di Chieti-Pescara)

Scientific-editorial coordination/Coordinamento scientifico-editoriale:

Filippo Angelucci (Università di Chieti-Pescara)

Scientific committee/Comitato scientifico:

Roberto Bologna (Università di Firenze), **Rui Braz Afonso** (Università di Porto), **Araldo Cecchini** (Università di Sassari), **Margherita Chang Ting Fa** (Università di Udine), **Michele Di Sivo** (Università di Chieti-Pescara), **Emilio Faroldi** (Politecnico di Milano), **Iliaria Garofolo** (Università di Trieste), **Daniela Ladiana** (Università di Chieti-Pescara), **Mario Losasso** (Università Federico II di Napoli), **Maria Teresa Lucarelli** (Università di Reggio Calabria), **Fausto Novi** (Università di Genova), **Gabriella Peretti** (Politecnico di Torino), **Massimo Perriccioli** (Università di Camerino), **Tjerk Reijenga** (BEAR-id Shanghai), **Thomas Spiegelhalter** (Florida University of Miami), **Fabrizio Tucci** (Università Sapienza di Roma).

Editorial committee/Comitato editoriale:

Filippo Angelucci, **Valeria Cecafozzo**, **Marialodovica Delendi**, **Paola Gallo**, **Francesca Giglio**, **Silvia Grion**, **Mattia Federico Leone**, **Chiara Piccardo**, **Roberto Ruggiero**, **Valentina Talu**, **Francesca Thiebat**, **Maria Pilar Vettori**

The *Built Environment Technologies and Healthy Architectures* series investigates the theoretical, methodological, and operational issues related to the effects of technological innovation into the design and management of quality of the built environment, in its various scales of intervention. The series aims to focus the inter and trans-disciplinary connections required to build up the living space as habitat in which interact proactively ecological, social, technical and economic components. Through a holistic and multi-scalar vision of living space, as a complex organism that can respond in a co-evolutionary manner to the individual and community needs, the built environment technologies are reinterpreted as relational and interfacing systems able to improve the liveability, vitality, and inclusiveness of the human habitat and to support health and bio-psycho-socio-physical abilities of its inhabitants.

La serie *Built Environment Technologies and Healthy Architectures* indaga le questioni teoriche, metodologiche e operative riguardanti le ricadute dei processi di innovazione tecnologica nella progettazione e gestione della qualità dell'ambiente costruito, alle sue varie scale di intervento, al fine di approfondirne le connessioni inter e transdisciplinari necessarie per configurare lo spazio abitativo come habitat in cui interagiscono proattivamente componenti ecologiche, sociali, tecniche ed economiche. Attraverso la concezione olistica e multiscale dello spazio dell'abitare come organismo complesso in grado di rispondere in modo coevolutivo alle esigenze di individui e comunità, le tecnologie per l'ambiente co-struito sono reinterpretate come sistemi di connessione e interfaccia in grado di migliorare la vivibilità, vitalità e inclusività dell'habitat umano e di favorire il mantenimento delle condizioni di salute e delle abilità bio-psycho-socio-fisiche dei suoi abitanti.

Books published in this series are peer-reviewed
I volumi pubblicati in questa serie sono soggetti a peer review

I lettori che desiderano informarsi sui libri e le riviste da noi pubblicati possono consultare il nostro sito Internet: www.francoangeli.it e iscriversi nella home page al servizio "Informatemi" per ricevere via e.mail le segnalazioni delle novità.

Adattamento ai cambiamenti climatici di architetture e città *green*

Assi strategici, indirizzi, azioni d'intervento per la resilienza dell'ambiente costruito

Fabrizio Tucci, Valeria Cecafosso, Alessia Caruso, Gaia Turchetti

FrancoAngeli

Il presente libro è il prodotto di quattro ricerche svolte in continuità nell'ambito della Sapienza Università di Roma, Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura:

Ricerca PRIN *"Adaptive Design. Innovazioni tecnologiche per la rigenerazione resiliente dei distretti urbani in regime di cambiamento climatico"* (2016-2019). Responsabile Scientifico per l'Unità di Roma Sapienza: Prof. F. Tucci. Gruppo di lavoro: Prof. S. Baiani, Prof. A. Battisti, Prof. D. D'Olimpio, Prof. R. Di Pietro, Prof. G. Piras; Ph.D. V. Cecafosso (Coordinamento Operativo per il Work-Package 3 fase sperimentale applicativa con sviluppo di progetti dimostratori), Ph.D. A. Caruso, Arch. M. Giampaolotti, Ph.D. G. Turchetti. Collaboratori: Arch. M. Fiorini, Arch. A. Malatesta, Arch. M. Paglia, Arch. G. Sciarretti, Arch. V. Tulelli, Arch. G. Vespa.

Ricerca di Ateneo di Grande Rilevanza Scientifica: *"Microclimatic Control, Adaptation and Mitigation in the Mediterranean Built Environment, from an Interdisciplinary and Multiscale Approach"* (2016-2017). Responsabile Scientifico: Prof. F. Tucci. Gruppo di lavoro: Ph.D. V. Cecafosso (Coordinamento Operativo), Ph.D. A. Caruso, Ph.D. G. Turchetti, Arch. M. Giampaolotti. Collaboratori: Arch. M. Fiorini, Arch. A. Malatesta, Arch. M. Paglia, Arch. G. Sciarretti, Arch. V. Tulelli, Arch. G. Vespa.

Ricerca di Ateneo *"Resilient Design: indirizzi progettuali e strategie tecnico-attuative per il controllo della qualità microclimatica ed energetica dell'ambiente urbano in Italia"* (2017-2019), Responsabile Scientifico: Prof. F. Tucci. Gruppo di lavoro: Ph.D. V. Cecafosso (Coordinamento Operativo), Ph.D. A. Caruso, Ph.D. G. Turchetti, Arch. M. Giampaolotti. Collaboratori: Arch. M. Fiorini, Arch. A. Malatesta, Arch. M. Paglia, Arch. G. Sciarretti, Arch. V. Tulelli, Arch. G. Vespa.

Ricerca Conto Terzi *"Attività di ricerca orientata al potenziamento dell'impiego dei fattori bioclimatici naturali e ibridi, e l'ottimizzazione delle loro ricadute sugli aspetti di comfort ed energetici, quale supporto allo sviluppo del progetto di infrastrutture e spazi pubblici nelle città"* (2017-2018). Committente: Italferr Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane. Responsabile Scientifico: Prof. F. Tucci. Gruppo di lavoro: Ph.D. V. Cecafosso (Coordinamento Operativo), Ph.D. A. Caruso, Ph.D. G. Turchetti, Arch. M. Giampaolotti. Collaboratori: Arch. M. Fiorini, Arch. A. Malatesta, Arch. M. Paglia, Arch. G. Sciarretti, Arch. V. Tulelli, Arch. G. Vespa.

Gli elaborati grafici presentati nel capitolo 6 sono stati redatti, sotto l'indirizzo scientifico e la supervisione del Prof. F. Tucci e il coordinamento operativo dell'arch. V. Cecafosso: dall'arch. G. Sciarretti (caso di studio del quartiere IACP di Primavalle); dall'arch. M. Fiorini (caso di studio del quartiere IACP di Torvecchia); dagli arch. V. Tulelli e M. Paglia (caso di studio del quartiere IACP di Quartaccio); dall'arch. M. Malatesta (caso di studio del quartiere IACP di Pineto-Valle Aurelia).

Le figure e tabelle alle pagine 39, 69, 90, 92, 96, 120, 121, 184, rappresentano quadri originali d'insieme delle minacce e vulnerabilità (pag. 39), dei potenziali di rischio e di sua riduzione (pag. 69), degli assi strategici e di indirizzo (pagg. 90, 92, 96) e delle azioni di intervento progettuale per le *green city* (pagg. 120, 121, 184) elaborati dal prof. F. Tucci nell'ambito delle suddette ricerche.

Il volume è stato stampato con il contributo di fondi di cui è responsabile scientifico il prof. Fabrizio Tucci, presso il Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura della Sapienza Università di Roma.

Impaginato: Valeria Cecafosso

Immagine di copertina: Una delle simulazioni fluidodinamiche condotte dal team di ricerca diretto dal prof. Fabrizio Tucci nell'ambito delle sperimentazioni di *adaptive design* su un distretto urbano del quadrante nord-ovest di Roma.

Copyright © 2020 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore. L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito www.francoangeli.it.

1. Inquadramento e approccio: cambiamenti climatici, strategie di adattamento e prospettive di resilienza nel futuro delle <i>green city</i>	pag. 11
<i>Fabrizio Tucci</i>	
1.1. Considerazioni di inquadramento	» 11
1.2. Presupposti teorici e approcci di metodo nell'interazione progettuale tra <i>green city, green economy, adaptive and resilient design</i>	» 14
1.3. Dall'approccio metodologico agli assi e indirizzi strategici d'intervento per l'adattamento e la resilienza	» 18
Note	» 20
Riferimenti bibliografici	» 27
2. Quadro delle minacce, vulnerabilità e rischi in regime di cambiamenti climatici e scarsità di risorse	» 33
<i>Fabrizio Tucci, Alessia Caruso, Valeria Cecafozzo</i>	
2.1. Vulnerabilità e rischi per le città in relazione alle minacce di aumento del livello del mare e di piene da tempeste	» 33
2.2. Vulnerabilità e rischi per le città in relazione alle minacce di precipitazioni estreme, alluvioni e piene/esondazioni dei fiumi	» 38

2.3. Vulnerabilità e rischi per le città in relazione alle minacce di siccità e aridità	pag. 44
2.4. Vulnerabilità e rischi per le città in relazione alle minacce di riscaldamento estremo e di variabilità del calore estremo	» 48
2.5. Vulnerabilità e rischi per le città in relazione alla combinazione di differenti minacce	» 56
2.6. Determinazione di rischi sistemici da parte delle nuove minacce	» 58
3. Dai rischi degli impatti dei cambiamenti climatici ai potenziali di riduzione derivanti dall'aumento delle capacità di adattamento nelle <i>green city</i>	» 63
<i>Fabrizio Tucci, Alessia Caruso, Valeria Cecafofso</i>	
3.1. Rischi associati ad alluvioni in zone costiere e di bacini fluviali in prossimità del mare	» 63
3.2. Rischi associati a difficoltà dei sistemi di gestione idrica e di approvvigionamento idrico	» 65
3.3. Rischi associati all'andamento della siccità	» 68
3.4. Rischi associati all'aumento delle isole di calore	» 73
3.5. Rischi associati all'aumento delle ondate di calore	» 76
3.6. Rischi associati a ventosità estreme, fino all'aumento di frequenza di cicloni, uragani, tifoni	» 79
3.7. Rischi associati ai sistemi di approvvigionamento energetico, aggravati dalla condizione di scarsità delle risorse	» 81
3.8. Rischi associati alle questioni abitative, aggravate dal regime di scarsità di risorse	» 83

4. Quadro degli assi strategici per l'aumento di resilienza negli indirizzi strutturali <i>grey</i>, infra-strutturali <i>green</i> e sovra-strutturali <i>soft</i>	pag. 87
<i>Fabrizio Tucci, Gaia Turchetti</i>	
4.1. Assi strategici di resilienza sul piano degli indirizzi strutturali <i>grey</i>	» 88
4.2. Assi strategici di resilienza sul piano degli indirizzi infra-strutturali <i>green</i>	» 90
4.3. Assi strategici di resilienza sul piano degli indirizzi sovra-strutturali <i>soft</i>	» 93
4.4. Possibili fattori di successo per le strategie e gli indirizzi di adattamento ai cambiamenti climatici	» 96
Riferimenti bibliografici	» 110
5. Adattamento ai cambiamenti climatici nelle <i>green city</i>: quadro delle azioni secondo i 4 prevalenti ambiti di rischio e le 3 possibili categorie di intervento	» 117
<i>Fabrizio Tucci, Gaia Turchetti</i>	
5.1. Un passaggio propedeutico: dalla individuazione dei prevalenti ambiti di rischio alla formulazione delle azioni	» 117
5.2. Azioni di adattamento ai rischi di isola di calore e di ondate di calore	» 122
5.3. Azioni di adattamento ai rischi di difficoltà di gestione idrica e di approvvigionamento idrico	» 127
5.4. Azioni di adattamento ai rischi di approvvigionamento idrico e alimentare associati alle minacce di siccità e aridità	» 134
5.5. Azioni di adattamento ai rischi associati alle minacce di ventosità estreme e di cicloni nelle forme di uragani e tifoni	» 140

6. Adattamento ai cambiamenti climatici nelle <i>green city</i>: sperimentazioni progettuali in quattro quartieri IACP di Roma	pag. 147
<i>Fabrizio Tucci, Valeria Cecafofso</i>	
6.1. Considerazioni di inquadramento	» 147
6.2. Quadro conoscitivo dell'aria di intervento	» 150
6.3. Obiettivi della sperimentazione	» 177
6.4. Metodologia adottata	» 179
6.5. Quadro strategico di <i>Climate Adaptive Design</i>	» 185
6.6. Risultati	» 198
Riferimenti bibliografici	» 218
Conclusioni	» 221
<i>Fabrizio Tucci, Valeria Cecafofso</i>	
Bibliografia generale	» 229

"Adattarsi o morire, ora e sempre, è l'inesorabile imperativo della natura"

H. G. Wells

Abstract

Over the past decade, the concept of resilience has been strategically and inextricably linked to the main aims of the Green Economy and 'process circularity' as applied to the field of the built environment and buildings, starting with the international policy documents published by UNEP in 2008 and by the OECD in 2010. This debate has only just been outlined and there is still plenty of research to be done, but the potential contribution of Environmental Technological Design in Architecture seems key. This paper critically analyses the principles, the method and design-based approaches and the structural strategic measures that can improve the resilience of the built environment, as requested by the European Commission, and considers the prospects for its development in this country, both at a national institutional level and at a local level, primarily gravitating around the strategic working axes that have been outlined – and continue to be pursued – in the last few years from research.

1. Inquadramento e approccio: cambiamenti climatici, strategie di adattamento e prospettive di resilienza nel futuro delle *green city*

Fabrizio Tucci

1.1. Considerazioni di inquadramento

Sebbene fin dagli anni '80-90 i concetti di adattamento e di resilienza siano stati introdotti sul piano teorico nella progettazione ambientale a livello internazionale¹, solo nell'ultimo decennio sono stati messi in stretta relazione strategica con l'innescò dei processi circolari e con le metodologie connesse alle economie *green* e *circular*.

Il rafforzamento delle capacità di resilienza quale obiettivo primario di un'economia *circular* e *green* applicata alla città, all'ambiente costruito e all'edilizia emerge a partire dai documenti programmatici internazionali *Global Green New Deal* della UNEP nel 2008 e *Towards Green Growth* dell'OECD nel 2010, fondativi del concetto di circolarità dei processi e di *Green Economy* (UNEP, 2008; OECD, 2010). I successivi, centrali documenti *Towards a Green Economy* e *Green Economy Coalition* presentati rispettivamente nel 2011 e nel 2012 dalla UNEP, hanno sottolineato che sono due gli ambiti nei quali il contributo della *green economy* e del connesso innescò di processi circolari incidono per il futuro del nostro ambiente costruito: la capacità di resilienza e adattamento ai mutamenti macroclimatici e ai loro impatti macro e microambientali² (UNEP, 2011) e quella di resilienza e adattamento ai problemi legati alla progressiva limitatezza e non rinnovabilità delle risorse naturali³ (UNEP, 2012).

La prima implica la riduzione della vulnerabilità dei sistemi urbani agli eventi atmosferici estremi, l'aumento della capacità di adattamento⁴ degli edifici, degli spazi aperti, delle città, con l'impiego dei sistemi bioclimatici, l'incremento di sicurezza e di *comfort* ambientale, fino — nel migliore dei casi — all'assunzione dello *status* di sistemi pienamente resilienti.

La seconda investe la capacità dell'ambiente costruito di reagire all'evolversi dell'impoverimento ecologico e del capitale naturale, del depauperamento delle risorse materiche e fisiche e della minaccia energetica, con le sue inefficienze e la non rinnovabilità delle sue fonti, a scapito, alla lunga, anche della qualità della vita.

Non mancano i riscontri sul piano intellettuale e scientifico di questo recente spostamento di ottica che privilegia l'attenzione all'indagine sulle potenzialità del ruolo che una economia *green* e *circular* può esercitare per l'elevazione delle capacità di resilienza di quel complesso sistema di sistemi che sinteticamente chiamiamo *built environment*⁵ (Cheshire, 2016; Capra, 2017).

Tali esigenze hanno alimentato — in particolare a livello europeo — studi, analisi ed elaborazioni sperimentali che hanno portato al *Green City Approach*: un approccio integrato e multisettoriale al benessere, all'inclusione sociale e allo sviluppo durevole delle città, basato sugli aspetti ormai decisivi della elevata qualità ambientale, dell'efficienza e della circolarità delle risorse, della mitigazione e dell'adattamento al cambiamento climatico. Un approccio integrato alla *green city* era già stato adottato, sin dal 2010, dalla Commissione Europea per l'*European Green Capital Award*: un riconoscimento assegnato alle città europee selezionate sulla base di indicatori che hanno contribuito a definire le *Policy* e le misure per le *green city*.

Il Simposio internazionale "Ecomondo", tenutosi a Rimini nel 2017 per gli Stati Generali della *Green Economy*⁶, ha sancito la improrogabilità e l'urgenza di una diffusa applicazione di tale visione: la "Città del futuro" in Italia, in linea con le sperimentazioni

più avanzate testimoniate dagli ultimi sviluppi del suo nominato *Green City Capital Award* della Commissione Europea⁷ e con le nuove direttive del *Directorate-General for the Environment of the European Commission*, dovrebbe essere oggetto (questa era la richiesta) di un Piano nazionale che ne promuova “l’aumento della resilienza, supportato con gli strumenti e gli indirizzi della *Green Economy*”⁸ (FSS, 2017).

Il dibattito sulla interazione tra *Green Economy*, *Green City Approach* e il binomio adattamento/mitigazione per una maggiore resilienza delle città — i luoghi dove al 2050 vivrà più del 70% della popolazione mondiale — agli impatti prodotti dai mutamenti climatici⁹ e agli effetti generati dalla progressiva scarsità delle risorse è ad oggi appena impostato, e la ricerca — e soprattutto la sperimentazione operativa e concreta nelle città — ancora tutta da sviluppare, ma il potenziale appare ormai evidente e la necessità di coglierlo improrogabile.

Può essere utile — cosa che si propone di fare il presente documento — dapprima operare una sintetica disamina critica delle principali implicazioni di approccio e delle relative innovazioni processuali utili per approfondire la portata dei principi-chiave che animano i temi del progettare adattivo e resiliente (che svilupperemo nelle prossime righe del presente capitolo introduttivo); poi ricostruire ed esaminare attentamente il quadro delle principali minacce, vulnerabilità e rischi per le nostre città derivanti dai cambiamenti climatici (a cui dedicheremo i capitoli 2 e 3); infine prefigurare e mettere a sistema le potenzialità di azione nelle future sperimentazioni sull’ambiente costruito urbano in termini di assi strategici, indirizzi e azioni ad essi correlati, che trovano premesse sostanziali nei documenti prodotti dal Gruppo di lavoro degli Stati Generali della *Green Economy in Architettura e Urbanistica*¹⁰ (SGGE, 2017a; CNGE, 2017; SGGE, 2017b; Antonini, Tucci, 2017) e dal Gruppo internazionale di Esperti del *Green City Network* (FSS, 2017; GCN, 2018).

1.2. Presupposti teorici e approcci di metodo nell'interazione progettuale tra *green city*, *green economy*, *adaptive and resilient design*

Con riferimento ai due ambiti tematici in oggetto, è centrale per lo sviluppo del primo dei due passi sopra richiamati porsi due domande-chiave: quali sono i principi-chiave che a livello internazionale si pongono come presupposti teorici dell'interazione tra *green city*, *green economy* e *adaptive and resilient design*? Quali gli approcci metodologici necessari per un efficace sviluppo progettuale?

In risposta alla prima questione possiamo individuare, tra i tanti connessi col concetto di adattività e resilienza (Tucci, 2013; 2018a), i 9 principi centrali anche per il *green city approach*, sui quali fa perno sia la necessità di acquisire la dimensione della "temporaneità" sul piano progettuale, sia quella di accettare la dimensione della "indeterminatezza" nell'indirizzo e controllo del momento valutativo ex ante ed ex post degli interventi. Sono quelli, organizzabili in tre triangolazioni, di: riflessività, auto-organizzazione e inclusività; robustezza, flessibilità e adattività; integrazione, connettività e reattività, ricorrenti in forme diverse sia nel *report Urban Adaptation to Climate Change in Europe* della *European Environmental Agency* (EEA, 2012); sia nel *City Resilience Framework* elaborato contestualmente all'iniziativa *100 Resilient Cities*¹¹ (Arup, 2015); sia, infine, nel fondamentale report della Commissione Europea *Implementation of the Circular Economy Action Plan* (EC, 2017).

Essi, ad una rilettura complessiva e sistemica, appaiono svolgere due funzioni strategiche, in quanto fattori in grado di innestare nei sistemi urbani la capacità in generale di "percepire cambiamenti e disturbi indotti dall'ambiente circostante adattando le proprie strutture e funzioni alle nuove condizioni, senza disturbare il naturale flusso della propria vita" (EEA, 2012), e in particolare di "rispondere dinamicamente ai processi di cambiamento in atto e agli effetti indotti dalle perturbazioni esogene o endogene quali i mutamenti climatici e la progressiva scarsità di risorse" (EC, 2017).

Sulle tre triangolazioni si poggiano i tre approcci di metodo e di progetto propri delle economie *green* e *circular* che, stagliandosi per la loro carica di innovatività non solo nell'impostazione ma nella visione stessa dei problemi, possiamo definire caratterizzanti l'interazione tra *Green Economy*, *Green City* e *Adaptive and Resilient Design*:

- *Self-reliant approach* (i cui principi di riferimento sono: riflessività, auto-organizzazione e inclusività), l'approccio dei tre più stratificato nel tempo ma ancora molto da sperimentare e da evolvere, per il quale l'ambiente costruito e la sua architettura devono diventare sistemi "autopoietici" (Schumacher, 2010) capaci di assicurarsi un'esistenza ininterrotta anche attraverso un'auto-rigenerazione sequenziale e funzionale delle loro componenti. Una indicazione di approccio, questa, molto importante per la cultura tecnologica del progetto¹²: "Le componenti vengono aggregate e scisse, ma l'intensità di questi processi è sempre in armonia con la conservazione dell'unità e dell'identità del sistema e della sua organizzazione" (Herzog, Steckeweh, 2000). È un approccio che potrebbe permettere ai più diversi sistemi degli ambienti costruiti di ridurre la dipendenza del loro destino dai meccanismi di accumulazione di risorse e dalle strutture di concentrazione del controllo delle accessibilità ai beni e servizi (ILO, 2016). È un approccio che, proiettato verso uno sviluppo caratterizzato da un alto grado di sostenibilità e di efficienza ecologica ed energetica con un elevato livello di organizzazione e di scambio tra le sue funzioni, spinge alla diversificazione autopoietica delle attività, degli usi, dei ruoli, e così facendo espone meno l'ambiente costruito che lo applica all'andamento globale dei mercati (GreenBiz Group, 2016) e ai *climatic change global trend*, facendogli anticipare ed evitare (o comunque attenuare) gli effetti potenzialmente devastanti legati all'impiego unidirezionale di quelle risorse fisiche, di quelle fonti energetiche, di quelle politiche economiche, piuttosto che di altre (EC, 2013).

- *Error-friendliness approach* (i cui principi di riferimento sono: robustezza, flessibilità e adattività), approccio che significa buona disposizione nei confronti degli errori, cioè non solo tolleranza degli errori ma anche cooperazione flessibile e amichevole con essi, che produca di errore in errore una progressiva robustezza adattiva del sistema. Si è visto come nella stessa teoria dell'evoluzione delle specie i processi evolutivi non comportino mai l'eliminazione degli errori e dei fallimenti che, anzi, ne sono un elemento indispensabile. Ed è un elemento che deve diventare imprescindibile anche in una visione *green* adattiva e resiliente del comportamento prestazionale dei sistemi tecnologici delle nostre architetture, delle nostre città e del nostro ambiente costruito¹³ (Hausladen, et al., 2011): nei processi evolutivi del *natural environment* il requisito-chiave è la inclinazione alla flessibilità mutazionale nel superamento del fallimento, chiave perché tale inclinazione si fa patrimonio genetico dell'intera specie e non del semplice individuo, diventando quella che potremmo chiamare "coscienza di specie" o, trasponendola al *built environment*, "codice genetico e mutazionale" di un ambiente costruito resiliente (Lakhtakia, Martin-Palma, 2013). Dunque una traccia importante da perseguire nella sperimentazione tecnologico-progettuale sulle architetture e le città, che spinge la ricerca scientifica a concepire la resilienza come, in fondo, la capacità del sistema di adeguarsi agli errori, di adattarsi ai malfunzionamenti e di superare i fallimenti derivanti da eventi nuovi o imprevisi, esogeni o cronicamente endogeni: in una parola, "resilienza come continua capacità di rettificazione dell'errore" (Armstrong, 2012).
- *Dynamic-responsive approach* (i cui principi di riferimento sono: integrazione, connettività e reattività), approccio per il quale la cultura tecnologica del progetto dev'essere capace di mettere in condizioni i sistemi ambientale e architettonico di rispondere alle costanti interazioni con le trasformazioni in atto in modo insieme sinergico, dinamico e appropriatamente reattivo.

Nella scienza contemporanea è chiamato anche “capacità di replica” nell’ambito di un “perenne disequilibrio dinamico” (Haken, 2003), che costituisce come noto un requisito fondamentale per l’esistenza stessa di tutti gli esseri viventi¹⁴ (Krusche, 2001; Sieverts, et al. 2005). È una gestione di tipo *green* dell’economia delle proprie interazioni — la più naturale e meno dispendiosa di risorse che esista — che si basa sulla specifica capacità dei caratteri tecnologici del sistema di “riorganizzarsi dinamicamente”¹⁵ (Hausladen, Tucci, 2017). Una sfida affascinante, su cui occorrerà lavorare ancora molto, è la necessità di permettere agli elementi componenti il sistema adattivo e, nel migliore dei casi, resiliente di de-intensificare o disaccoppiare quest’ultimo dai requisiti materiali del suo funzionamento o nel diversificare le risorse utili a svolgere un determinato compito, tanto più se queste versano in un regime di limitatezza. Il paradigma per tutti coloro che devono indirizzare, ideare, sviluppare e realizzare gli interventi è nelle caratteristiche prestazionali dei sistemi adattivo-resilienti in natura, che consentono loro 1) di riconfigurarsi in tempo reale qualora si verifichi un qualche sconvolgimento; 2) di impedire che i problemi di una parte si ripercuotano a cascata sulle altre; 3) di aumentare o diminuire la scala delle loro operazioni al momento opportuno e comunque ogni qualvolta si renda necessario (Zolli, Healy, 2017).

È importante sottolineare che i tre approcci non vanno visti in alternativa, ma in modo sinergico e interrelato nell’ambito di ogni indirizzo d’intervento strategico in tema di adattamento e resilienza, con accento sull’uno o sull’altro a seconda della natura degli interventi: si può dire che in questi anni si stiano progressivamente ricomponendo e mettendo a sistema proprio nel *Green City Approach* (Tucci, 2018b), ed è in questa nuova ottica che occorre lavorare.

1.3. Dall'approccio metodologico agli assi e indirizzi strategici d'intervento per l'adattamento e la resilienza

Giungiamo così alla terza domanda-chiave: come passare dalla codificazione di un quadro di presupposti teorici e di approcci metodologici propri del *Green City Approach* alla formulazione di possibili indirizzi strategici per una effettiva elevazione dei gradi delle capacità di adattamento e, in prospettiva, di resilienza delle città e dell'ambiente costruito?

È stato affermato che la questione della resilienza "non sembra essere oggetto propriamente progettabile e i suoi contorni non definiti ne rendono difficili i momenti dell'indirizzo prima e della misurazione poi, e per questo richiederebbe l'affiancamento di altre discipline per l'indirizzo e l'ausilio di indicatori di supporto per la misurazione"¹⁶ (Lisa, Schipper, Langston, 2015). E anche in questo caso offrono un'importante supporto la visione e la ricerca sviluppati in modo fortemente interdisciplinare dalla *Green Economy* in un'ottica di *Green City*.

Il *White Paper* della Commissione Europea *Towards a European framework for action* (European Commission, 2009), rafforzato dal successivo *report* della Un-Habitat *Saving Cities: Adaptation as part of Development* (Un-Habitat, 2011), afferma che le opzioni possibili di azione *green* per interventi volti ad innalzare le capacità di adattamento e resilienza dell'ambiente costruito (da integrare sempre, quanto più possibile, con quelle di mitigazione) possono essere classificate in tre principali categorie:

- azioni strategiche strutturali "grigie", ovvero categorie di interventi "fisici" (per questo "strutturali") nell'ambiente costruito che siano basate su servizi di progettazione tecnologica per realizzare operazioni di *deep renovation* di edifici e infrastrutture (scelti tra il patrimonio esistente in quanto essenziali per il benessere socioeconomico della società) che li rendano capaci di resistere auto-poieticamente a eventi estremi (azioni per le quali occor-

re sinergia dei tre approcci, con particolare accento su quello *Self-reliant*);

- azioni strategiche infra-strutturali “verdi”, cioè categorie di interventi “biofisici” nell’ambiente costruito che aiutino ad incrementare la resilienza degli ecosistemi e che, pur puntando ad arrestare la perdita di biodiversità e il degrado degli ecosistemi e a ripristinare i cicli dell’acqua, utilizzino allo stesso tempo le funzioni, i servizi e le risorse offerti dagli ecosistemi per realizzare soluzioni di resilienza e di adattamento più efficaci sotto il profilo economico, e a volte anche più praticabili, rispetto alle sole infrastrutture grigie, improntate su un’ottica di progressivo irrobustimento *nature-based* (azioni per le quali parimenti occorre sinergia dei tre approcci, in questo caso con particolare accento su quello *Error-friendliness*);
- azioni strategiche sovra-strutturali “soft”, ovvero la definizione e l’applicazione di politiche e procedure sull’ambiente costruito, di divulgazione delle informazioni e di incentivi di *Green Economy* volti a ridurre o a prevenire la vulnerabilità non solo degli elementi urbani oggetto di un intervento d’impronta grigia o verde ma dell’intero sistema sia ai mutamenti ambientali (cambiamenti climatici) che ai problemi cronici (scarsità delle risorse), nei loro impatti sotto forma di malfunzionamento dei sistemi, di eventi imprevisti, financo di catastrofi (azioni per le quali anche in questo caso occorre sinergia dei tre approcci, con particolare accento su quello *Dynamic-responsive*).

In quest’ottica si muovono i prossimi capitoli: dalla focalizzazione del principale quadro di minacce, vulnerabilità e rischi per le città prodotti dai cambiamenti climatici (capitoli 2 e 3) si passerà a un tentativo di formulazione-quadro degli assi strategici, degli indirizzi e delle principali azioni che (nei capitoli 4 e 5) verranno presentati in rapporto ai quattro principali ambiti di rischio rilevati, e secondo le tre possibili categorie d’intervento “strutturali *grey*”, “infra-strutturali *green*” e “sovra-strutturali *soft*”.