



**Carmela Apreda**

**ADATTAMENTO AL CAMBIAMENTO  
CLIMATICO IN AMBITO URBANO**  
**La Progettazione Ambientale per la  
riduzione della vulnerabilità del  
sistema urbano al *pluvial flood***





neaPòlis

DiARC D.ARC

---

**Università degli Studi di Napoli Federico II | Scuola Politecnica e delle Scienze di Base  
DiARC – Dipartimento di Architettura**

**D.ARC – Dottorato in Architettura XXX Ciclo**

**Area tematica** | Tecnologie sostenibili, recupero e rappresentazione dell'architettura e dell'ambiente

**Dottoranda** | Carmela Apreda

**Tutor** | prof. arch. Valeria D'Ambrosio

**Co-tutor** | prof. ing. Francesco De Paola

**Supporto aspetti GIS** | dott. Ferdinando Di Martino

**Il Coordinatore** | prof. arch. Michelangelo Russo

**ADATTAMENTO AL CAMBIAMENTO  
CLIMATICO IN AMBITO URBANO  
La Progettazione Ambientale per la  
riduzione della vulnerabilità del  
sistema urbano al *pluvial flood***

**Università degli Studi di Napoli Federico II | Scuola Politecnica e delle Scienze di Base**  
**DiARC – Dipartimento di Architettura**

**D.ARC – Dottorato in Architettura XXX Ciclo**

**Area tematica** | Tecnologie sostenibili, recupero e rappresentazione dell'architettura e dell'ambiente

**Coordinatore del dottorato di ricerca** | prof. arch. Michelangelo Russo

**Collegio dei docenti**

Roberta Amirante	Dora Francese	Renata Picone
Aldo Aveta	Luigi Fusco Girard	Antonietta Piemontese
Alfredo Buccaro	Carlo Gasparrini	Maria Rita Pinto
Massimiliano Campi	Laura Lieto	Carmine Piscopo
Renato Capozzi	Mario Losasso	Sergio Pone
Maria Cerreta	Andrea Maglio	Michelangelo Russo (coordinatore)
Loreto Colombo	Fabio Mangone	Valentina Russo
Valeria D'Ambrosio	Pasquale Miano	Maria Rosaria Santangelo
Antonella di Luggo	Francesco Domenico Moccia	Paola Scala
Leonardo Di Mauro	Lilia Pagano	Federica Visconti
Riccardo Florio		



<b>ELENCO DELLE FIGURE</b>	<b>I</b>
<b>ELENCO DELLE TABELLE</b>	<b>III</b>
<b>ELENCO DELLE ABBREVIAZIONI</b>	<b>IV</b>
<b>INTRODUZIONE: RESEARCH FRAMEWORK</b>	<b>V</b>
<i>RESEARCH CONTEXT</i>	VI
SCENARIO DI RIFERIMENTO	VII
Oggetto della ricerca: cambiamento climatico globale e adattamento ai fenomeni di <i>pluvial flood</i> alla scala locale	VII
Definizione del problema di ricerca: gap conoscitivi	XI
DOMANDE E OBIETTIVI DI RICERCA	XII
METODOLOGIA DI RICERCA: APPROCCIO, METODO E STRUMENTI	XIII
STRUTTURA DELLA TESI	XIV
<b>PARTE I   PROGETTAZIONE AMBIENTALE E ADATTAMENTO AL CAMBIAMENTO CLIMATICO</b>	<b>1</b>
<b>CAPITOLO 1 LE NUOVE SFIDE CLIMATICHE PER IL SISTEMA URBANO</b>	<b>3</b>
1.1 IL SISTEMA URBANO IN UN CLIMA CHE CAMBIA	4
1.1.1 La complessità interpretativa della realtà urbana	4
1.1.2 <i>Why urban system?</i> La necessità di un approccio sistemico e locale al cambiamento	8
1.1.3 Il clima come sistema complesso	15
1.2 IL PROGETTO ADATTIVO COME RISPOSTA AL CAMBIAMENTO CLIMATICO	23
1.2.1 Il ruolo della Progettazione Tecnologica in uno scenario di cambiamento	23
1.2.2 Caratteristiche e tipologie di adattamento climatico	25
1.2.3 Le politiche europee e nazionali a supporto dell’adattamento urbano	31
<b>CAPITOLO 2 APPROCCI PER LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ CLIMATICA</b>	<b>37</b>
2.1 <i>CITY CLIMATE HAZARD</i> E VALUTAZIONE CLIMATICA	38
2.1.1 Il contributo antropico nella determinazione degli impatti climatici	38
2.1.2 <i>Framework</i> di valutazione climatica per l’adattamento	41
2.2 VULNERABILITÀ CLIMATICA	45
2.2.1 Difficoltà di interpretazione del concetto di vulnerabilità	46
2.2.2 Gli approcci alla vulnerabilità: Disaster Risk Reduction e Climate Change Adaptation	51
<b>PARTE II VULNERABILITÀ E ADATTAMENTO AL PLUVIAL FLOOD IN AMBITO URBANO</b>	<b>57</b>
<b>CAPITOLO 3 IL FENOMENO <i>PLUVIAL FLOOD</i></b>	<b>58</b>
3.1 CAMBIAMENTO CLIMATICO E FENOMENI DI <i>FLOOD</i>	59
3.1.1 Gli effetti del cambiamento climatico sul ciclo dell’acqua	59
3.1.2 Cambiamenti osservati nelle precipitazioni e proiezioni per le aree euro-mediterranee	64
3.1.3 <i>Flood hazard</i> : la risorsa acqua come minaccia per l’uomo	66
3.2 COMPRENDERE IL <i>PLUVIAL FLOOD</i> : CARATTERISTICHE E CONSEGUENZE	72

3.2.1	Urbanizzazione e alterazione dei processi idrologici	72
3.2.2	Tipologie ed impatti dei fenomeni di <i>pluvial flood</i> in ambito urbano	76
<b>CAPITOLO 4 LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ CLIMATICA DEL SISTEMA URBANO</b>		<b>80</b>
4.1	DAL MODELLO CONCETTUALE AL MODELLO OPERATIVO	81
4.1.1	<i>Framework</i> concettuale	81
4.1.2	Indicazioni per una metodologia di valutazione della vulnerabilità climatica	83
4.1.3	Proposta di una metodologia di valutazione	88
4.1.4	I processi di analisi spaziale per la costruzione del modello operativo	93
4.2	APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA IN RELAZIONE AL <i>PLUVIAL FLOOD</i>	96
4.2.1	Costruzione del modello di valutazione	97
4.2.2	Costruzione del set di indicatori	104
4.2.2.1	Capacità di smaltimento del sistema fognario	106
4.2.3	Schede di sintesi	113
4.2.3.1	Edifici	114
4.2.3.2	Spazi aperti	122
4.2.3.3	Popolazione	131
4.3	OLTRE LA VULNERABILITÀ: GLI IMPATTI DEL <i>PLUVIAL FLOOD</i>	137
4.3.1	La valutazione degli impatti sul sistema urbano	137
4.3.2	Il <i>cellular automata approach</i> per la caratterizzazione dell' <i>hazard</i>	138
<b>CAPITOLO 5 AZIONI E SOLUZIONI TECNICHE PER L'ADATTAMENTO ALLA SCALA LOCALE</b>		<b>144</b>
5.1	<i>DESIGN WITH WATER: L'ACQUA DA MINACCIA A RISORSA</i>	145
5.1.1	<i>Flood adaptive design vs flood resistant design</i>	145
5.2	INDIRIZZI PER IL PROGETTO DI ADATTAMENTO	150
5.2.1	Classi di soluzioni tecniche adattive	151
5.2.2	Incidenza delle soluzioni sul set di indicatori	156
<b>PARTE III CASO APPLICATIVO</b>		<b>160</b>
<b>CAPITOLO 6 SPERIMENTAZIONE SU UN CASO STUDIO: IL PLUVIAL FLOOD A NAPOLI EST</b>		<b>161</b>
6.1	INTRODUZIONE: L'AREA STUDIO	162
6.2	LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ INTRINSECA	162
6.2.1	Preparare la valutazione	162
6.2.2	Eeguire e presentare la valutazione: risultati	165
6.2.2.4	Edifici	166
6.2.2.5	Spazi aperti	168
6.2.2.6	Popolazione	173
6.3	LA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DEL <i>PLUVIAL FLOOD</i>	174
6.4	L'ADATTAMENTO PER LA RIDUZIONE DELLA VULNERABILITÀ E DEGLI IMPATTI	177
6.4.1	Criteri di selezione delle soluzioni adattive	177
<b>CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE DI RICERCA</b>		<b>181</b>
<b>ALLEGATI</b>		<b>184</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>		<b>187</b>

## Elenco delle figure

Figura I:	<i>Research context</i> .....	VI
Figura II:	Banksy, <i>"I don't believe in global warming"</i> . Regent's Canal nei pressi dell'Oval bridge a Camden, a nord di Londra. © Martin/Flickr, 2010 .....	VII
Figura III:	Processo di ricerca .....	XV
Figura 1.	Città metropolitana di Napoli – confini amministrativi (area est) .....	6
Figura 2.	Il sistema urbano e i suoi sotto-sistemi .....	9
Figura 3.	Forzanti e alterazioni del sistema climatico .....	17
Figura 4.	Variazioni dei valori di temperatura media superficiale e precipitazione relativi al periodo 2081-2100 rispetto al periodo 1986-2005 per gli scenari RCP2.6 e RCP 8.5 .....	21
Figura 5.	Correlazione tra aumento della temperatura superficiale globale, principali alterazioni nei sottosistemi climatici e conseguenze in ambito urbano. ....	22
Figura 6.	Ruoli e responsabilità istituzionali nell'adattamento climatico nel quadro della multilevel governance .....	34
Figura 7.	Classificazione degli <i>hazard</i> che possono minacciare il sistema urbano.....	39
Figura 8.	Confronto tra i due approcci di valutazione della vulnerabilità proposti dall'IPCC.....	54
Figura 9.	Variazioni medie stagionali delle precipitazioni relative al periodo 2016-2035 rispetto al periodo 1986-2005 - scenario RCP4.5 .....	62
Figura 10.	Variazioni medie annuali del ciclo idrologico relative al periodo 2081-2100 rispetto al periodo 1986-2005 - scenario RCP8.5 .....	63
Figura 11.	Cambiamenti previsti nel clima euro-mediterraneo relativi al periodo 2070-2100 rispetto al periodo 1979-2005 .....	65
Figura 12.	Variazioni previste nel regime annuale delle precipitazioni relative al periodo 2071-2100 rispetto al periodo di riferimento 1971-2000 – scenario RCP8.5.....	66
Figura 13.	Variazioni previste delle precipitazioni intense in inverno e in estate relative al periodo 2071-2100 rispetto al periodo di riferimento 1971-2000 – scenario RCP8.5 .....	66
Figura 14.	Numero totale di disastri naturali per categoria all'anno dal 1960 al 2016.....	67
Figura 15.	Numero totale di persone colpite per categoria di disastro all'anno dal 1960 al 2016.....	67
Figura 16.	Numero totale di disastri da inondazione all'anno dal 1900 al 1959 .....	68
Figura 17.	Numero totale di disastri da inondazione all'anno dal 1960 al 2016.....	68
Figura 18.	Numero totale di persone colpite da inondazione all'anno dal 1960 al 2016 .....	69
Figura 19.	Numero totale di morti per inondazione all'anno dal 1960 al 2016 .....	69
Figura 20.	Danni economici totali per inondazione all'anno dal 1960 al 2016 .....	69
Figura 21.	Mappatura delle principali cause di fenomeni di inondazione avvenuti dal 1985 al 2002.70	
Figura 22.	Numero di eventi di inondazione, persone colpite (feriti, senz'altro), morti e danni economici totali (€) in ambito euro-mediterraneo dal 1900 al 2016.....	71
Figura 23.	Relazione tra incremento di superfici impermeabili e deflusso superficiale .....	73
Figura 24.	Impatti idraulici dell'urbanizzazione .....	74
Figura 25.	Principali conseguenze dell'urbanizzazione sul ciclo idrologico .....	75
Figura 26.	Framework concettuale .....	82
Figura 27.	Approcci <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i> .....	85
Figura 28.	Metodologia per la valutazione della vulnerabilità climatica del sistema urbano .....	88
Figura 29.	Sottosistemi .....	89

Figura 30.	Entità spaziali di base dei sottosistemi: unità minime di misurazione.....	94
Figura 31.	Modello gerarchico per la valutazione della vulnerabilità climatica del sistema urbano...	95
Figura 32.	Modello gerarchico per la valutazione della vulnerabilità del sistema urbano al <i>pluvial flood</i> .....	104
Figura 33.	Dati di input e caratteristiche necessarie al calcolo dell'indicatore "Capacità di smaltimento del sistema fognario" .....	107
Figura 34.	Modello per la valutazione degli impatti al <i>pluvial flood</i> .....	138
Figura 35.	Processo per la caratterizzazione dell'hazard <i>pluvial flood</i> .....	141
Figura 36.	Scenari di pericolosità al <i>pluvial flood</i> secondo il modello di previsione RCP 8.5 al 2100 nell'area del centro storico di Ponticelli (Napoli) .....	143
Figura 37.	Modello per la riduzione della vulnerabilità e degli impatti attraverso l'adattamento....	145
Figura 38.	<i>Flood adaptive urban design</i> .....	149
Figura 39.	Processo metodologico per la determinazione della riduzione della vulnerabilità intrinseca.....	151
Figura 40.	<i>Framework</i> concettuale: vulnerabilità intrinseca .....	162
Figura 41.	Ambiti urbani omogenei .....	165
Figura 42.	Vulnerabilità intrinseca sottosistema "Edifici" .....	167
Figura 43.	Vulnerabilità intrinseca sottosistema "Edifici" per Ambiti Urbani Omogenei .....	167
Figura 44.	Vulnerabilità intrinseca sottosistema "Spazi aperti" .....	168
Figura 45.	Bacini scolanti individuati nell'area studio .....	169
Figura 46.	Portata delle condotte per poligono bacino scolante .....	170
Figura 47.	Portata pluviale per poligono bacino scolante .....	171
Figura 48.	Capacità di smaltimento del sistema fognario per poligono "Bacino scolante" .....	172
Figura 49.	Capacità di smaltimento del sistema fognario per poligono "Spazio aperto" .....	172
Figura 50.	Vulnerabilità intrinseca sottosistema "Popolazione" .....	173
Figura 51.	<i>Framework</i> concettuale: impatti .....	174
Figura 52.	Impatti del <i>pluvial flood</i> sul sottosistema edifici .....	176
Figura 53.	<i>Framework</i> concettuale: strategie e misure di adattamento.....	177
Figura 54.	Impatti del <i>pluvial flood</i> sul sottosistema edifici in seguito all'applicazione delle soluzioni adattive .....	180



## Elenco delle tabelle

Tabella 1.	Conseguenze del cambiamento climatico previste sui sistemi urbani.....	10
Tabella 2.	Principali caratteristiche del sistema urbano.....	12
Tabella 3.	Principali <i>city-network</i> nazionali e internazionali .....	12
Tabella 4.	Variazioni future di temperatura superficiale media globale (GMST) in °C .....	21
Tabella 5.	Variazioni al 2100 di temperatura superficiale media terrestre (LST) e oceanica (SST) in °C .....	21
Tabella 6.	Classificazione dei diversi tipi di adattamento.....	29
Tabella 7.	Caratteristiche dei differenti approcci di adattamento.....	31
Tabella 8.	Caratteristiche delle diverse metodologie di valutazione climatica.....	42
Tabella 9.	Classificazione delle caratteristiche di vulnerabilità .....	47
Tabella 10.	Confronto tra due principali interpretazioni della vulnerabilità: <i>outcome</i> e <i>contextual</i> ....	48
Tabella 11.	Differenze concettuali ed elementi caratterizzanti i tre approcci.....	51
Tabella 12.	Confronto tra le definizioni adottate nel DRR e nel CCA.....	54
Tabella 13.	Confronto tra i due approcci DRR e CCA: differenze e sinergie .....	55
Tabella 14.	Cause principali dei fenomeni di <i>pluvial flood</i> in ambito urbano .....	78
Tabella 15.	Impatti principali del <i>pluvial flood</i> sul sistema costruito e la popolazione.....	79
Tabella 16.	Principali caratteristiche dei metodi di valutazione della vulnerabilità.....	86
Tabella 17.	Descrizione delle attività finalizzate alla valutazione della vulnerabilità climatica del sistema urbano .....	91
Tabella 18.	Principali indicatori di vulnerabilità del sistema urbano ai fenomeni di <i>flood</i> rilevati in letteratura .....	99
Tabella 19.	Caratteristiche e dati necessari alla costruzione degli indicatori .....	102
Tabella 20.	Metodi di classificazione tematica per intervalli di valori.....	106
Tabella 21.	Valori ed etichette degli indicatori.....	106
Tabella 22.	Indicatori di vulnerabilità del sistema urbano al <i>pluvial flood</i> .....	113
Tabella 23.	Alcune azioni di <i>coping</i> , <i>incremental</i> e <i>transformational adaptation</i> ai fenomeni di <i>flood</i> .....	147
Tabella 24.	Soluzioni tecniche di " <i>flood adaptive design</i> " e " <i>flood resistant design</i> " e relativa scala di applicazione.....	148
Tabella 25.	Soluzioni tecniche di adattamento al <i>pluvial flood</i> .....	152
Tabella 26.	Classificazione delle soluzioni adattive al <i>pluvial flood</i> .....	155
Tabella 27.	Variabili tecniche di progetto.....	156
Tabella 28.	Matrice di corrispondenza tra soluzioni tecniche ed indicatori .....	157
Tabella 29.	Incidenza delle soluzioni sul set di indicatori.....	158
Tabella 30.	Pesi attribuiti agli indicatori di vulnerabilità .....	165
Tabella 31.	Parametri per il calcolo della vulnerabilità integrata.....	175
Tabella 32.	Elenco dei vincoli per i sottosistemi "Edifici" e "Spazi Aperti" .....	178
Tabella 33.	Percentuale massima di applicabilità di ciascuna soluzione tecnica .....	179

## **Elenco delle abbreviazioni**

AR4 – IPCC 4th Assessment Report (published in 2007)  
AR5 – IPCC 5th Assessment Report (published in 2014)  
AUO – Ambiti Urbani Omogenei  
CCA – Climate Change Adaptation  
CCIAV – Climate Change Impact, Adaptation and Vulnerability assessment  
CMCC – Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici  
COP – Conference of Parties  
CTR – Carta Tecnica Regionale  
DRR – Disaster Risk Reduction  
DSM – Digital Surface Model  
DTM – Digital Terrain Model  
DTR – Database Topografico Regionale  
EC – European Commission  
EEA – European Environment Agency  
FHR – Flood Hazard Rating  
GIS – Geographic Information System  
IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change  
LiDAR – Light Detection and Ranging (survey system)  
NAP – National Adaptation Plan  
NAS – National Adaptation Strategy  
PNACC – Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici  
RCP – Representative Concentration Pathway  
SNACC - Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici  
SuDS – Sustainable Drainage Systems  
VA – Vulnerability Assessment  
UN – United Nations  
UNFCCC – United Framework Convention on Climate Change  
WMO – World Meteorological Organization

## **Introduzione: research framework**

Tra i molteplici eventi naturali che possono colpire negativamente l'ecosistema urbano i fenomeni connessi alle variazioni meteo-climatiche rappresentano sicuramente una minaccia importante, sebbene non nuova per gli insediamenti umani, che da sempre si confrontano con le mutevoli condizioni ambientali e climatiche. Eventi estremi accompagnano la storia degli insediamenti fin dall'antichità e si ripetono secondo modalità e forme diverse (terremoti, alluvioni, uragani, etc.), generando ingenti danni sul patrimonio costruito sia alla scala urbana sia a quella architettonica.

Tuttavia, l'espansione della città da parte dell'uomo avvenuta negli ultimi due secoli, lo spostamento della popolazione verso i centri urbani e la conseguente elevata concentrazione di persone e attività rendono ancora più urgente che in passato la definizione di una risposta progettuale adeguata. Tale azione di disturbo per il sistema naturale ha mutato i processi caratterizzanti il sistema idrologico, con un incremento dei volumi di deflusso superficiale delle acque causato dall'elevata impermeabilità dei suoli e la conseguente formazione di fenomeni di *pluvial flood*. Parallelamente, si registra un aumento di frequenza e intensità degli eventi di precipitazione estrema (*heavy rainfall*) che, sommati alle caratteristiche dell'ambiente urbano, determinano impatti negativi sull'ambiente costruito e sulla popolazione.

Oltre a caratterizzarsi come fattori di pressione sul sistema climatico-ambientale locale (e globale), le città si configurano come gli insediamenti umani maggiormente vulnerabili agli impatti generati dagli eventi climatici estremi: la combinazione con specifiche caratteristiche dell'ambiente urbano (geografiche, morfologiche, tipologiche, tecnico-costruttive, culturali, socio-economiche, etc.) determina effetti sul patrimonio costruito e sulla popolazione di notevole entità, caratterizzando tali eventi come *hazard*.

Gli impatti generati, oltre che dipendenti dalla pericolosità dell'evento, sono diretta conseguenza di fattori intrinseci al sistema colpito, sia fisici che sociali. Infatti, come dimostrato purtroppo da disastri ambientali ed eventi calamitosi anche di altra natura (terremoti, tsunami, uragani, etc.), a parità di evento (intensità, magnitudo, frequenza) è il parametro vulnerabilità ad incidere maggiormente sulla tipologia e intensità degli effetti, variabile a seconda del contesto.

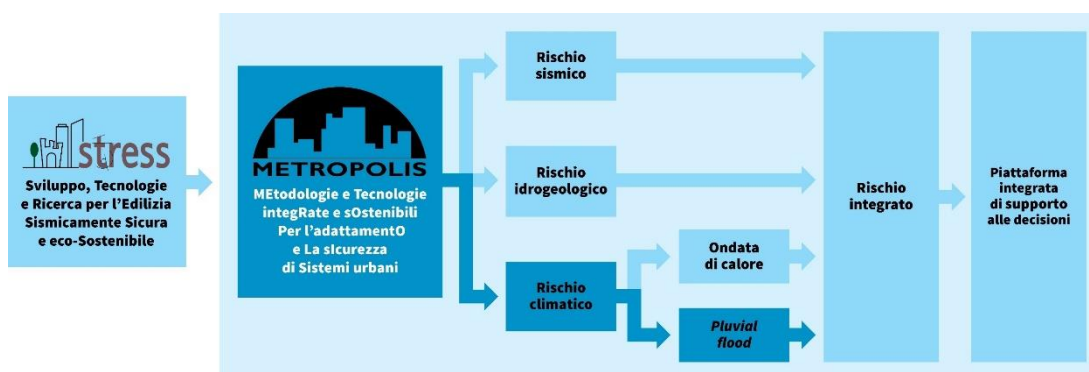
Se le catastrofi climatiche sono prima di tutto disastri sociali (Acot, 2007), dovute ad un insieme di deliberate azioni compiute dall'uomo, allora è necessario agire concretamente attraverso opportune scelte progettuali, al fine di orientare gli insediamenti umani verso uno sviluppo adattivo al cambiamento climatico.

## Research context

Il presente lavoro nasce dal contributo all'attività di ricerca condotta nell'ultimo triennio nell'ambito del progetto METROPOLIS - *MEtologie e Tecnologie integRate e sOstenibili Per l'adattamentO e La sicurezza di Sistemi urbani*, portato avanti dal gruppo di ricerca del DiARC - Dipartimento di Architettura dell'Università di Napoli Federico II.

Il progetto, attuato nell'ambito del Distretto STRESS S.c.a.r.l. su finanziamento del PON Ricerca e Competitività 2007-2013<sup>1</sup>, ha l'obiettivo di definire metodologie e sviluppare tecnologie innovative e sostenibili per la valutazione e la gestione dei rischi naturali ed antropici in ambiente urbano, con particolare riferimento al rischio sismico, idrogeologico e climatico. Articolato in diversi obiettivi realizzativi (OR), il progetto è finalizzato alla realizzazione di uno strumento integrato di supporto alle decisioni capace di indirizzare le strategie di mitigazione e adattamento<sup>2</sup>. L'approccio innovativo che lo caratterizza consiste nella valutazione del rischio integrato tra diverse fonti di *hazard* e i diversi sotto-sistemi che compongono il sistema urbano, tenendo conto dei fenomeni di interazione che si esplicano in virtù delle intra/inter-connessioni funzionali tra componenti e sotto-sistemi.

Figura I: Research context



Il lavoro condotto dal gruppo di ricerca del DiARC<sup>3</sup> in relazione agli *hazard* climatici di ondata di calore e *pluvial flood* è stato orientato alla conoscenza del sistema fisico e delle sue

<sup>1</sup> Ente finanziatore del progetto: MIUR-PON-STRESS S.c.a.r.l. (Società consortile STRESS S.c.a.r.l. - Sviluppo, Tecnologie e Ricerca per l'Edilizia Sismicamente Sicura e eco-Sostenibile). Coordinamento scientifico generale: G. Verderame (DIST – Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura). Responsabile del progetto per STRESS Scarl: V. James. Responsabile scientifico DiARC: Valeria D'Ambrosio. Partner: AMRA Scarl, D'APPOLONIA SpA., ICIE Soc. Coop., Calcestruzzi Irpini SpA., ETT SpA, Geoslab SRL, Tecnoin SpA., Tecnosistem SpA, Università degli Studi di Napoli "Federico II", Università degli Studi del Sannio.

<sup>2</sup> Gli OR, articolati in diverse attività svolte dai vari partner, sono: OR1 Conoscenza del sistema urbano; OR2 Disruption del sistema; OR3 Vulnerabilità del sistema fisico; OR4 Vulnerabilità del sistema socio-economico; OR5 Rischio integrato del sistema urbano; OR6 Strategie e tecnologie per un sistema urbano sostenibile; OR7 Dimostratore. Il gruppo di ricerca DiARC ha lavorato ad alcune attività di OR1, OR2, OR3, OR6 e OR7. Per maggiori informazioni sul progetto si veda: <https://goo.gl/LrW1Gs>.

<sup>3</sup> Componenti del gruppo di ricerca DiARC: V. D'Ambrosio (responsabile scientifico), M. Cerreta, R. A. Genovese, M. Losasso, A. Maglio, F. D. Moccia, F. Palestino, M. Rigillo, S. Sessa, A. Sgobbo, F. Visconti; L. Boccia, F. Di Martino, C. Filagrossi Ambrosino, M. F. Leone, C. Aprea, A. Arena, A. Capolupo, E. Bassolino, B. Cardone, R. Mele, G. Poli, C. Sansò, C. Visconti. Con il contributo di: F. Abbamonte, C. Carifi, L. Conte, A. De Chiara, L. Lenoci, E. Mastroianni, V. Miraglia, R. Ruocco, M. Santaniello (DiARC); Castagna E., Castagna M., Catanese R., Lace F., Nappi N., Scandurra S., Ventre F. (formandi Metropolis).



componenti ambientali e antropiche, alla definizione di criteri metodologici per la valutazione degli *hazard* e di linee guida per la conoscenza e la caratterizzazione della vulnerabilità del sistema urbano e allo sviluppo di strategie per la riduzione degli impatti climatici (D'Ambrosio & Leone, 2015; D'Ambrosio & Di Martino, 2016).

In tale quadro di riferimento, il presente lavoro di ricerca contribuisce al processo di sviluppo del modello di conoscenza della vulnerabilità del sistema urbano finalizzato alla definizione di scenari di impatto da *pluvial flood* sul sistema fisico e sociale e delle relative soluzioni adattive (fig. I). Nello specifico, ci si è concentrati sulla possibilità di condurre una valutazione a scala molto dettagliata, che restituisse il “comportamento” dei diversi elementi urbani integrando le competenze dei diversi ambiti disciplinari della progettazione tecnologico-ambientale e idraulica.

### **Scenario di riferimento**

*Oggetto della ricerca: cambiamento climatico globale e adattamento ai fenomeni di pluvial flood alla scala locale*

Lo street artist Banksy, con una tag parzialmente sommersa realizzata su un edificio posto lungo un canale a nord di Londra, afferma chiaramente: “Io non credo nel riscaldamento globale” (fig. II)<sup>4</sup>. Pur rappresentando una evidente provocazione, tale opera consente di effettuare una riflessione in merito alla consapevolezza della comunità internazionale riguardo la “questione climatica” e alla difficoltà di attuare politiche globali tese a contrastare il *climate change*.

Figura II: Banksy, “I don't believe in global warming”. Regent's Canal nei pressi dell'Oval bridge a Camden, a nord di Londra. © Martin/Flickr, 2010



<sup>4</sup> L'opera nasce a seguito della 15th UN Climate Conference tenutasi a Copenhagen nel 2009 come protesta per i risultati della conferenza, conclusasi senza un trattato giuridicamente vincolante per i paesi membri della convenzione UNFCCC.

Lo scarso impegno politico di alcuni paesi nella stipula di accordi globali condivisi e nello sviluppo di strategie e piani nazionali determina evidenti ripercussioni a livello locale. Sebbene il cambiamento climatico rappresenti una problematica dall'importanza ampiamente riconosciuta nel mondo scientifico da circa due secoli, la difficoltà di coniugare gli interessi di crescita economica e produttiva di alcuni paesi con gli obiettivi di sostenibilità ambientale ha spesso ostacolato lo sviluppo e l'implementazione di strategie concrete di riduzione delle emissioni a livello globale, vanificando gli sforzi politici orientati in tal senso. La consapevolezza del mondo politico e della società civile è arrivata molto in ritardo rispetto a quanto dichiarato dagli studi scientifici, e spesso con posizioni ambigue e contrastanti.

A partire dalla prima Conferenza delle Parti (COP) tenutasi nel 1995 a Berlino, i diversi paesi aderenti alla United Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) hanno cominciato a discutere e confrontarsi sulla "questione climatica", individuando gli obiettivi necessari alla riduzione delle concentrazioni atmosferiche di gas serra e analizzando i progressi effettuati. Gli incontri annuali hanno evidenziato la difficoltà di raggiungere accordi condivisi dai paesi partecipanti, con alcuni risultati importanti e diversi insuccessi. Dal protocollo di Kyoto del 1997 (COP3), primo importante successo, ne è stata fatta di strada verso il recente accordo di Parigi (COP21) che rappresenta il primo vero patto climatico globale, con il consenso di ben 196 paesi. Tuttavia, a dimostrazione di come gli interessi politici ed economici individuali possano minacciare accordi globali, la possibile uscita degli Stati Uniti dall'accordo di Parigi annunciata a giugno 2017, rappresenta un importante passo indietro rispetto al lavoro condotto negli ultimi 25 anni da UNFCCC<sup>5</sup>.

Le evidenze scientifiche storiche e gli scenari futuri non consentono di ignorare le questioni climatiche, le cui conseguenze sono purtroppo evidenti. Il riscaldamento globale, in quanto prima manifestazione diretta del cambiamento climatico, determina ulteriori alterazioni nei vari sottosistemi climatici, con fenomeni di scioglimento dei ghiacciai, innalzamento del livello mare, variazioni nel regime delle precipitazioni e nel ciclo idrologico che, a loro volta, causano ulteriori impatti sui sistemi antropici e naturali locali. I cambiamenti globali hanno ripercussioni che devono essere affrontate localmente<sup>6</sup>. La stipula di accordi globali è fondamentale per far sì che tutti i paesi del mondo si impegnino a ridurre le emissioni e sviluppino le politiche di mitigazione e adattamento. Tuttavia, spetta all'intervento locale tradurre gli obiettivi globali in strategie e azioni concrete in grado di ridurre gli impatti di uno

---

<sup>5</sup> A settembre 2017, gli USA hanno affermato la possibilità di rientrare nell'accordo solo in presenza di condizioni più favorevoli per lo sviluppo economico e occupazionale del paese. Sebbene ciò da un lato potrebbe rappresentare un vantaggio per la comunità internazionale, in quanto gli USA, restando nell'accordo e condividendone i principi di fondo, non creerebbero precedenti per l'uscita di altri paesi, dall'altro costituirebbe un notevole passo indietro, in quanto il governo statunitense punterebbe ad aumentare i tetti delle emissioni.

<sup>6</sup> Secondo molti autori, tra cui Georgiadis e Mariani (2006), chi vive in città (cioè oltre la metà della popolazione mondiale) deve fare i conti più con l'effetto urbano che con il cambiamento climatico globale: se il *global warming* ha comportato un aumento delle temperature medie di 0.5-0.6 °C in un secolo, nello stesso periodo l'effetto nelle grandi realtà urbane è stato in molti casi superiore. Di conseguenza, anche tutti gli altri fenomeni di alterazione climatica connessi all'incremento delle temperature comporteranno effetti a livello più urbano più rilevanti che in altri contesti.

o più fenomeni, sviluppate a partire dalla conoscenza delle caratteristiche del territorio interessato.

Strettamente correlata alla questione climatica è la tematica relativa all'adattamento, inteso come un aggiustamento delle caratteristiche e del comportamento del sistema, al fine di migliorare la sua capacità di far fronte agli stress climatici esterni (Brooks, 2003) e quindi ridurre la sua vulnerabilità (Pielke, 1998; IPCC, 2001). Tale strategia a livello locale può essere declinata in modi diversi (*coping, incremental, transformative adaptation*) a seconda degli obiettivi prefissati: nel definire le azioni adattive è necessario partire dalla criticità già note dell'area studio per approfondire la conoscenza di quelle caratteristiche che incidono in maniera negativa sulla generazione degli impatti climatici. L'adattamento è quindi strettamente legato al concetto di vulnerabilità, intesa come la propensione o predisposizione di un sistema ad essere affetto in maniera negativa a causa di caratteristiche interne al sistema stesso (IPCC, 2012; IPCC, 2014b). Di conseguenza, nello studio dei fenomeni connessi al cambiamento climatico, non si può prescindere dallo studio dei concetti di adattamento e vulnerabilità e delle implicazioni che da essi derivano nella definizione di strategie e misure di riduzione degli impatti a breve e lungo termine.

Tra i molteplici sistemi naturali e antropici sui quali si ripercuotono gli effetti del cambiamento climatico e che necessitano di intervento, gli insediamenti urbani rappresentano, al tempo stesso, una delle sfide e delle opportunità più importanti del XXI secolo. Essi giocano un ruolo chiave sia nello sviluppo sociale ed economico sia nel cambiamento a scala globale, regionale, nazionale e locale (Birkmann et al., 2010).

I fenomeni determinati da alterazioni climatiche con conseguenze negative per gli insediamenti umani sono spesso in relazione reciproca. I fenomeni di *flood* sono annoverati tra gli *hazard*<sup>7</sup> che determinano i maggiori impatti sugli esseri umani (Blaikie et al., 1994) in particolare nelle aree urbane, frequentemente esposte a tali fenomeni. Secondo Smith & Petley (2009), annualmente, inondazioni e allagamenti causano la perdita di più di 20.000 vite, interessando circa 20 milioni di persone in tutto il mondo. In relazione al contesto europeo, essi rappresentano il tipo di disastro naturale più comune a partire dall'inizio del secolo scorso, con il numero di persone coinvolte (ferite, morte, senza casa) e i danni economici più elevati<sup>8</sup> (CRED, 2017). Nel panorama europeo, l'Italia si colloca tra i paesi con il numero più alto di eventi, posizionandosi al primo posto per numero di persone totali coinvolte e che hanno subito la perdita della casa (CRED, 2017).

Tali dati, già preoccupanti, non includono gli impatti relativi al danneggiamento o alla

<sup>7</sup> L'hazard è definito come un fenomeno distruttivo in grado di costituire una potenziale minaccia per il sistema naturali e antropico.

<sup>8</sup> Secondo i dati raccolti dal Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) per la costituzione del Emergency Events Database (EM-DAT), in Europa nel periodo 1900-2017 sono stati registrati 597 fenomeni di *flood* contro 239 eventi di temperature estreme e 470 eventi di tempeste (essi rappresentano i disastri di origine naturale più frequenti). Nello stesso periodo, gli eventi di *flood* hanno determinato danni economici per un importo superiore a 120 miliardi di euro, con il numero più alto di persone interessate, quasi 17 milioni, sebbene con un numero minore di morti ("solo" 9383) rispetto ad altri eventi di origine naturale quali siccità, temperature estreme e terremoti (EM-DAT, 2017).

perdita del patrimonio costruito nella sua totalità (residenze, attrezzature, infrastrutture, etc.) e dei beni di proprietà pubblica o privata. La portata reale degli impatti connessi ai fenomeni di *flood* è molto maggiore di quanto è possibile desumere da studi e statistiche ufficiali, in quanto tali fenomeni sono spesso collegati ad altri processi ambientali che rendono difficile una stima complessiva dei danni e soprattutto l'individuazione di una causa univoca. Ad esempio, in determinati territori, le piogge intense possono provocare fenomeni franosi e smottamenti oppure esondazione di fiumi e canali con conseguente possibile crollo di edifici e infrastrutture e/o perdita della vita della popolazione. In altri territori, un evento meteorico di uguale portata genererà impatti diversi per magnitudo e tipologia, risultato delle particolari caratteristiche connotanti l'area.

La molteplicità di tali caratteristiche consente di differenziare i fenomeni di *flood* in relazione alla causa scatenante principale: gli eventi di *coastal*, *riverine*, *groundwater*, *sewer* e *pluvial flood* possono talvolta sommarsi tra loro o ad altri eventi, generando impatti a cascata.

A prescindere dalla vicinanza a fiumi e mari, a livello urbano il fenomeno di inondazione più frequente è il *pluvial flood*, in quanto le particolari caratteristiche di impermeabilità dei suoli favoriscono la formazione di elevati volumi di deflusso superficiale derivanti direttamente dalle acque di pioggia. Se a ciò si aggiungono l'incremento di intensità degli eventi meteorici, talvolta di breve durata, e l'inadeguatezza di sistemi fognari progettati per eventi meno intensi, spesso anche obsoleti e scarsamente mantenuti, risulta evidente la situazione di emergenza che interessa gli insediamenti urbani di qualsiasi parte del mondo.

L'elevata concentrazione di attività produttive e di popolazione in aree relativamente piccole ha comportato la modifica della copertura del suolo, che ha un'influenza diretta sui processi del ciclo idrologico. Evaporazione, infiltrazione e scorrimento superficiale derivanti da eventi di precipitazione sono regolati dal tasso di evaporazione e dalla capacità di infiltrazione del suolo e delle superfici. Quando l'intensità della pioggia eccede tali valori, oppure quando essa precipita su superfici impermeabili, si verificano episodi di scorrimento superficiale. In ambito urbano, l'acqua scorre al di sopra delle superfici impervie come flusso confinato oppure non confinato. Come flusso libero, l'acqua scorre su superfici ampie, provocando possibile erosione superficiale, cattura e trasporto degli inquinanti e allagamento di zone depresse o poste a quote inferiori. Come flusso confinato, l'acqua che raggiunge i sistemi di drenaggio naturali o artificiali scorre all'interno di canali, condotte o piccole depressioni appositamente realizzate (*swale*) allontanando le acque in eccesso dai centri urbani. Ovviamente, se le condizioni di tali sistemi sono inadeguate ad accogliere tutta l'acqua in eccesso, possono verificarsi problemi di allagamento locale di spazi aperti ed edifici, derivanti anche da esondazione delle fognature.

Risulta evidente, quindi, che una strategia efficace di riduzione della vulnerabilità ai fenomeni di *pluvial flood* deve prevedere azioni mirate sia a favorire l'evaporazione e l'infiltrazione nel sottosuolo, per ridurre la quantità di flusso libero diretto verso i sistemi di drenaggio, sia a potenziare il sistema di drenaggio stesso, per garantire un trasporto efficace verso i corpi recettori finali.

Accanto all'analisi delle caratteristiche urbane che favoriscono la formazione di tali



fenomeni e che determinano la vulnerabilità dei sistemi coinvolti, è necessario considerare anche gli scenari di breve e lungo periodo relativi all'alterazione del regime delle precipitazioni, che restituiscono dati di intensità e frequenza fondamentali per la previsione degli impatti futuri e per il progetto adattivo. Azioni di riduzione degli impatti che possano ritenersi efficaci non devono solo dare una risposta immediata, ma agire anche nel lungo periodo, garantendo il progressivo adattamento del sistema colpito alle mutate condizioni ambientali. Pertanto, tali azioni vanno individuate in relazione ad eventi di precipitazione specifici, desunti da previsioni climatiche effettuate su trend storici.

#### *Definizione del problema di ricerca: gap conoscitivi*

Alla luce di quanto esposto, le tre tematiche relative al cambiamento climatico, all'adattamento e alla vulnerabilità sono tra loro strettamente interrelate. L'adattamento rappresenta la risposta attualmente più valida per ridurre gli impatti degli *hazard* climatici alla scala locale nel breve e nel lungo periodo, agendo su quelle caratteristiche fisiche e sociali degli insediamenti urbani che ne determinano la vulnerabilità. Di conseguenza, la valutazione della vulnerabilità rappresenta il punto di partenza per qualsiasi azione di riduzione degli impatti, in quanto costituisce una base di conoscenza fondamentale su cui sviluppare gli interventi.

Lo studio degli impatti connessi ai fenomeni di *pluvial flood*, pertanto, non può prescindere da una conoscenza approfondita del contesto: tuttavia, le operazioni necessarie a tale scopo sono tutt'altro che semplici. Gli insediamenti urbani, indagabili attraverso il paradigma sistemico che ne consente la scomposizione in più sotto-sistemi facilitando la lettura delle reciproche interazioni, si presentano come sistemi estremamente complessi da un punto di vista sia costitutivo che interpretativo. Spesso risulta complicato identificare e comprendere l'origine esatta e le cause scatenanti determinati fenomeni e processi di allagamento e inondazione, evidenziando la necessità di un approccio integrato alla conoscenza che tenga insieme campi disciplinari diversi.

In relazione a tali aspetti, dalla letteratura analizzata, è stata riscontrata la presenza di alcuni **gap**:

- assenza di una base conoscitiva adeguata alla valutazione della vulnerabilità del sistema urbano, ovvero disponibile ad una scala di analisi tale da non consentire una caratterizzazione dettagliata degli elementi costituenti il sistema (elementi costruiti e non);
- assenza di integrazione tra aspetti relativi a campi disciplinari diversi (progettazione architettonica e tecnologica, geofisica, ingegneria idraulica, etc.), ovvero mancanza di una visione d'insieme riguardo i diversi elementi e interazioni in gioco nelle dinamiche scatenanti i fenomeni di *pluvial flood*;
- carenza di applicazioni in grado di restituire una valutazione della vulnerabilità e degli impatti di tipo quantitativo, fondata sulla misurazione di prestazioni e fenomeni.

Le scienze naturali e ingegneristiche hanno fornito e stanno continuando a fornire un enorme contributo alla comprensione degli impatti connessi al *flood* e allo sviluppo di politiche di gestione e riduzione del rischio. Così come le scienze sociali ed economiche si stanno occupando della risposta dei sistemi socio-economici alle interazioni con il cambiamento climatico, evidenziando le situazioni di disuguaglianza, ingiustizia e vulnerabilità sociale. La sfida attuale consiste, pertanto, nell'approfondimento di quegli aspetti fisici legati al costruito che determinano il verificarsi dei fenomeni di *pluvial flood* attraverso l'adozione di un approccio multiscalare e infradisciplinare.

### **Domande e obiettivi di ricerca**

Da quanto evidenziato nello scenario di riferimento, l'oggetto della ricerca è lo studio della vulnerabilità del sistema urbano al *pluvial flood* finalizzato allo sviluppo di soluzioni adattive.

A partire dall'osservazione dei reali fenomeni di inondazione avvenuti nelle aree urbane (ad esempio, di Napoli e Genova) a seguito di eventi di diversa intensità, è stata effettuata una generalizzazione del problema di ricerca attraverso la formulazione di un'**ipotesi** rispetto alle origini di tali fenomeni. Si ritiene che particolari caratteristiche fisiche predispongano il sistema urbano e gli elementi che lo costituiscono a subire gli effetti negativi degli eventi di precipitazione, amplificandone la portata. A tali caratteristiche, che determinano la vulnerabilità del sistema urbano, è ascrivibile una parte rilevante di responsabilità riguardo i livelli estremi di impatto connessi ad eventi estremi e non.

Alla luce di quanto esposto finora, è stata individuata la seguente **domanda di ricerca**: in che modo è possibile valutare la vulnerabilità al *pluvial flood* del sistema urbano tenendo in considerazione la sua duplice complessità al fine di sviluppare uno strumento efficace per supportare e indirizzare politiche di intervento adattive?

La domanda di ricerca nasce da istanze globali che devono trovare una risposta a livello locale. Di conseguenza, la ricerca aspira a fornire un contributo sia teorico sia operativo finalizzato all'arricchimento della conoscenza locale e al supporto politico per lo sviluppo di strategie e soluzioni di adattamento. Il progetto mira a superare il gap esistente riguardo la conoscenza delle caratteristiche determinanti la vulnerabilità attraverso l'adozione di un approccio multiscalare e infradisciplinare, tipico della Progettazione Tecnologica.

Pertanto, il **principale obiettivo** della ricerca è rivolto alla costruzione di un modello di valutazione della vulnerabilità al *pluvial flood* che tenga conto della complessità del sistema urbano, che sia trasferibile e applicabile in contesti diversi e che individui dei livelli di vulnerabilità (soglie) da cui partire per sviluppare soluzioni adattive efficaci. Attraverso tale modello si punta a creare una connessione facilmente comprensibile tra i concetti teorici di vulnerabilità e i processi decisionali, al fine di convertire la conoscenza scientifica in azione concreta. In tal modo si intende affermare l'importanza, per la Progettazione Tecnologica, di occuparsi delle questioni climatiche e delle relative ripercussioni in ambito urbano, in quanto tale disciplina può fornire un contributo fondamentale alla comprensione delle interazioni sistema climatico-sistema urbano, sviluppando e gestendo le varie fasi di un processo di

valutazione integrato che necessita di apporti pluridisciplinari.

L'obiettivo principale include i seguenti **obiettivi specifici**:

- Individuare un approccio concettuale alla valutazione della vulnerabilità climatica;
- Individuare un modello operativo di valutazione che, coerentemente con l'approccio concettuale, consenta la quantificazione della vulnerabilità;
- Individuare azioni di riduzione della vulnerabilità del sistema costruito, idonee a garantire uno sviluppo adattivo del territorio;
- Verificare la validità del modello attraverso l'applicazione su un caso studio.

Gli obiettivi specifici individuano gli aspetti chiave del lavoro, che possono essere assunti come tappe intermedie nella costruzione dell'intero percorso di ricerca. Tali obiettivi, determinano infatti la struttura principale della dissertazione: l'individuazione di un approccio concettuale, la costruzione di una metodologia operativa e la sperimentazione su un caso applicativo.

### **Metodologia di ricerca: approccio, metodo e strumenti**

La complessità delle tematiche introdotte e dell'elemento rispetto al quale vengono approfondite, l'insediamento urbano, necessita l'adozione di una visione ampia che, includendo punti di vista diversi, cerchi di integrare molteplici scale e dimensioni.

L'**approccio sistemico** consente di guardare all'insieme urbano attraverso l'analisi delle caratteristiche e delle relazioni che avvengono tra le singole parti, arricchendo progressivamente la "visione" di nuovi elementi laddove necessario. L'introduzione di nuovi elementi può derivare dalla necessità di approfondire la scala spaziale di analisi o di integrare contributi disciplinari diversi. Attraverso tale approccio è possibile individuare infiniti sottosistemi: tuttavia, nel presente lavoro si propone una "caratterizzazione minima" del sistema urbano necessaria per la valutazione della vulnerabilità al *pluvial flood*, suscettibile di integrazioni e modifiche in relazione a nuovi obiettivi. Consapevole della necessità di integrare i punti di vista di molteplici campi disciplinari differenti per ottenere una valutazione esaustiva (geologia, geofisica, etc.), il presente lavoro di ricerca punta sull'integrazione tra aspetti di Progettazione Tecnologica e Costruzioni idrauliche e marittime e idrologia, evidenziando la possibilità di successivi apporti disciplinari.

In base all'approccio sistemico, la vulnerabilità del sistema urbano è interpretata come un concetto integrato, che contempla caratteristiche sia fisiche sia sociali (vedi cap. 2). Sebbene, in base all'ipotesi formulata, si ponga maggiore enfasi sul contributo delle prime nella determinazione della vulnerabilità, non è possibile ignorare quelle caratteristiche socio-economiche che, a parità di evento e di condizioni del sistema costruito, rendono alcune aree più vulnerabili di altre. Di conseguenza, mentre le caratteristiche fisiche sono indagate per comprendere la propensione del costruito a subire fenomeni di allagamento, le caratteristiche socio-economiche sono finalizzate alla comprensione della possibile "risposta" della popolazione a tali fenomeni.

La metodologia adottata per la valutazione, al fine di restituire dati misurabili

oggettivamente e utilizzabili per le successive valutazioni degli impatti o per lo sviluppo di soluzioni adattive, si avvale di un **metodo quantitativo indicator-based**. In base a tale metodo, ogni caratteristica del sistema urbano, previa elaborazione, è utilizzata da sola o insieme ad altre per il calcolo di uno specifico indicatore di vulnerabilità riferito ad uno specifico sotto-sistema. Ciascun indicatore concorre insieme ad altri al calcolo della vulnerabilità intrinseca del sotto-sistema cui si riferisce. Tale metodo, che prevede la classificazione dei diversi elementi costituenti il sistema urbano in base ai rispettivi livelli di vulnerabilità, è adottato anche per la valutazione degli impatti e della riduzione della vulnerabilità tramite soluzioni adattive.

Con la metodologia proposta è possibile controllare l'intero processo di valutazione a partire dalla definizione dell'approccio fino al calcolo degli indicatori. Essa si inserisce nell'ambito di un processo di ricerca più ampio che, a partire dalla costruzione di un *framework* concettuale che metta in relazione i *research topics*, individua, attraverso l'applicazione del modello operativo, i contributi teorici, metodologici e pratici forniti alla ricerca scientifica (fig. III).

### **Struttura della tesi**

La tesi è strutturata in 3 parti principali articolate in 6 capitoli. Nella **prima parte** analitico conoscitiva, il lavoro di ricerca, dopo aver esaminato l'attuale scenario di forte criticità connesso al *climate change* e alle ripercussioni in ambito urbano, approfondisce il ruolo della Progettazione Tecnologica in uno scenario di cambiamento (cap. 1).

Successivamente, partendo dall'analisi dei diversi approcci di valutazione climatica per l'adattamento presenti in letteratura, si indaga il concetto di vulnerabilità e le sue diverse declinazioni individuando, a livello concettuale, l'approccio più adeguato per la valutazione della vulnerabilità di un sistema complesso quale quello urbano (cap. 2)

Nella **seconda parte** di sviluppo critico della ricerca, si approfondisce il fenomeno *pluvial flood*, con le relative cause e impatti (cap.3), e si definisce una metodologia per la valutazione della vulnerabilità finalizzata alla costruzione e applicazione di un modello operativo basato su un set di indicatori appositamente costruiti per tale fenomeno (cap. 4). Il modello, adoperabile in relazione a qualsiasi fenomeno climatico, si inserisce nell'ambito di un *framework* concettuale che mette in relazione impatti, vulnerabilità e adattamento: la vulnerabilità così valutata rappresenta il punto di partenza per successive valutazioni degli impatti (cap. 4) e per lo sviluppo di soluzioni adattive (cap. 5).

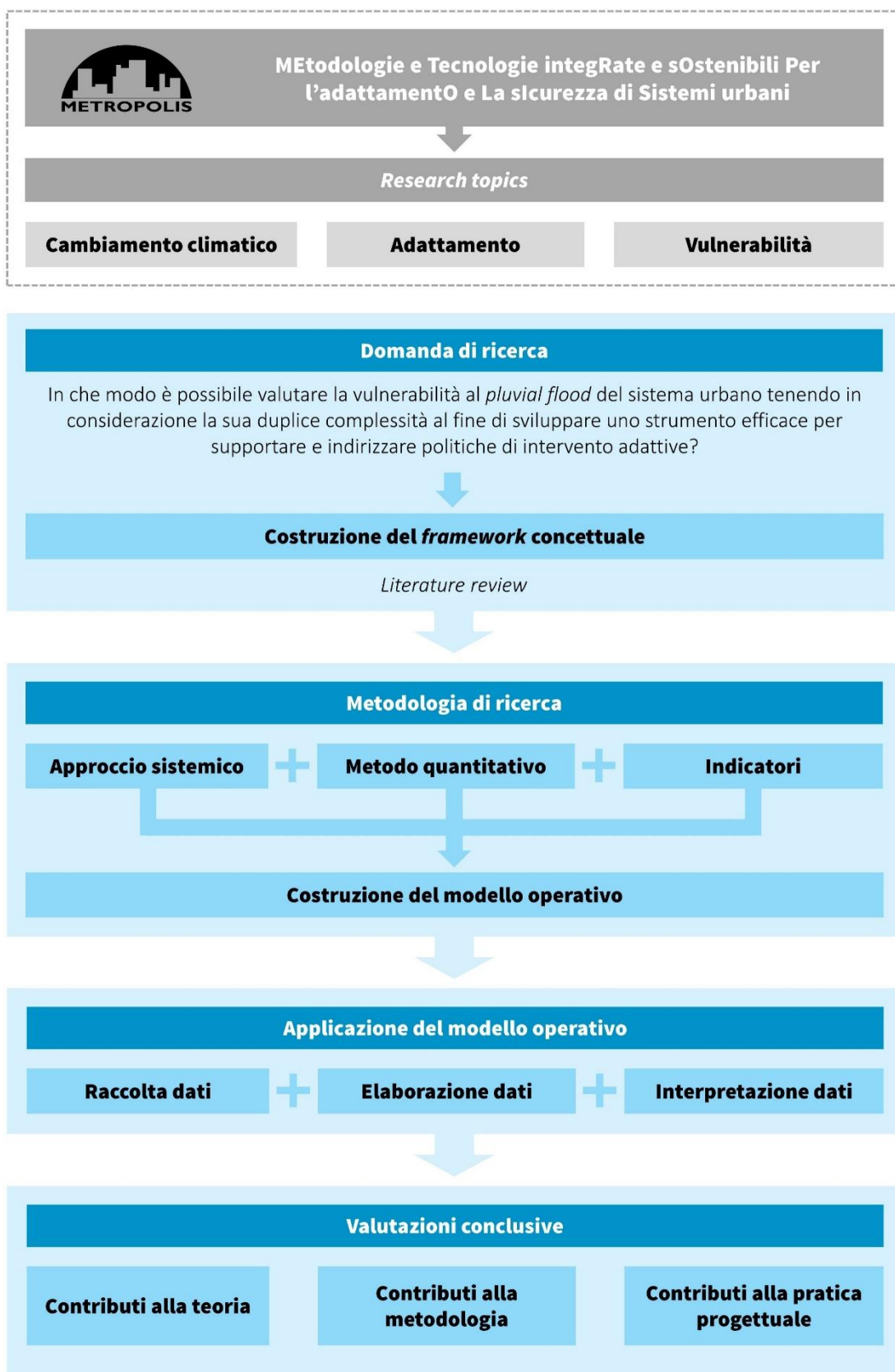
Nella **terza** e ultima parte si applica la metodologia precedentemente individuata al caso studio di Napoli est al fine di verificarne la validità (cap. 6). Si illustrano e interpretano i risultati in modo tale da evidenziare le potenzialità della ricerca in termini di contributi teorici, metodologici e pratici forniti alla ricerca scientifica e i limiti della stessa.

La terza parte si conclude con un paragrafo relativo alle prospettive future di ricerca, in cui, a partire dalle potenzialità e dai limiti precedentemente individuati, si evidenziano i possibili avanzamenti connessi all'integrazione di ulteriori apporti disciplinari e allo sviluppo di tool GIS



che consentano di automatizzare completamente tutto il processo di calcolo adoperato.

Figura III: Processo di ricerca



# parte I

## **PROGETTAZIONE AMBIENTALE E ADATTAMENTO AL CAMBIAMENTO CLIMATICO**

Le nuove sfide climatiche per il sistema urbano | **1**  
Approcci per la valutazione della vulnerabilità climatica | **2**

# 1

## Le nuove sfide climatiche per il sistema urbano

Il clima terrestre, nel corso delle ere che si sono succedute, è sempre stato soggetto a cambiamenti intensi e repentini, ai quali gli esseri viventi spesso si sono adattati. Tuttavia, attualmente il sistema climatico sta subendo cambiamenti molto più rapidi di quanto non sia accaduto in passato, risultato dell'attività antropica avvenuta a partire dall'inizio dell'era industriale. Tutto ciò mette a dura prova la capacità di adattamento e sopravvivenza dell'uomo e degli esseri viventi in generale, rendendo necessaria una conoscenza adeguata dell'interazione tra attività umane e clima e delle relative conseguenze.

In particolare, in ambito urbano tali cambiamenti generano conseguenze, spesso imprevedute, di portata maggiore che in altri contesti; l'elevata concentrazione di popolazione, attività economiche, servizi e edifici aggrava l'impatto dei fenomeni climatici, rendendo prioritario l'intervento sulle città e i centri urbani. Tuttavia, le città destano interesse in ambito politico e scientifico non solo per le minacce cui sono sottoposte, ma anche per le opportunità che possono offrire in termini di sviluppo urbano sostenibile attraverso iniziative e azioni finalizzate alla riduzione delle emissioni e all'adattamento dal cambiamento climatico.

Le aree urbane, oltre a giocare un ruolo chiave in quanto *driver* del riscaldamento globale, possono essere considerate come *hotspot* delle minacce connesse al clima e come occasione di intervento finalizzato all'incremento della capacità di fronteggiare i fenomeni climatici. Rappresentando l'oggetto principale di indagine della presente ricerca in relazione agli effetti prodotti del cambiamento climatico, con questo capitolo si intende individuare innanzitutto una definizione di ciò che si intende oggi per sistema urbano. Ciò consente di approfondire, successivamente, il ruolo delle città e dell'uomo sia nel cambiamento già avvenuto sia in quello previsto e il contributo offerto dal progetto adattivo nella riduzione a breve e lungo termine della portata degli impatti attesi sul sistema urbano.

## 1.1 Il sistema urbano in un clima che cambia

Lo studio dei fenomeni climatici e delle relative implicazioni in ambito urbano necessita di una fondamentale premessa finalizzata a chiarire cosa si intende oggi con i concetti di sistema urbano e di cambiamento climatico, tracciando, senza nessuna pretesa di esaustività, un quadro di riferimento sintetico per comprendere le relazioni esistenti tra essi.

### 1.1.1 La complessità interpretativa della realtà urbana

La città, definita da molti studiosi come il luogo della complessità (Fistola, n.d.; Secchi, 2000; Batty, 2009), richiede livelli di conoscenza e controllo sempre maggiori. I cambiamenti che rapidamente investono la realtà urbana su molteplici dimensioni (economica, sociale, ambientale), dipendenti da fattori antropici e naturali, necessitano la costruzione di un modello interpretativo capace di descriverne il comportamento e i trend evolutivi. In particolare, in relazione al cambiamento climatico, è necessario analizzarne fenomeni e conseguenze in relazione alle peculiarità locali. Pertanto, a partire dalla definizione del termine urbano, si cerca di comprendere quali siano i fattori caratterizzanti la realtà urbana, i modi per interpretarli e descriverli e le ragioni che la rendono uno dei principali elementi di interesse nello studio del cambiamento climatico.

La biosfera, ovvero quella parte della Terra in cui le condizioni ambientali permettono lo sviluppo della vita, è costituita da due ambienti con caratteristiche opposte ma fra loro complementari: l'ambiente naturale e quello umano (o antropico). Superando l'accezione puramente ecologica, con ambiente si intende *"l'insieme delle condizioni in cui si svolge la vita degli organismi [...] un sistema complesso di fattori fisici, chimici e biologici, di elementi viventi e non viventi e di relazioni in cui sono immersi tutti gli organismi che abitano il Pianeta"* (Cogliati Dezza, 2005), assumendo connotazioni diverse in relazione alle condizioni geografiche e naturali. Nel momento in cui l'uomo ha cominciato a creare un proprio ambiente ha trasformato quello naturale, determinandone il progressivo assorbimento nella propria sfera d'azione. Di conseguenza, attualmente, buona parte del pianeta risulta inglobato nell'ambiente umano (o antroposfera), a sua volta composto da due ambienti strettamente connessi fra loro, dei quali molto spesso risulta difficile individuare il confine: ambiente rurale, o campagna, e ambiente urbano, o città (Bertello, 2010). Sebbene entrambi abbiano un fondamento naturale, con elementi la cui condizione originaria sembra non aver subito alterazioni (suolo, acqua, atmosfera, etc.) o di origine apparentemente spontanea (alberi, coltivazioni, aree verdi, etc.), tali ambienti sono comunque un prodotto dell'attività umana, che utilizza la natura come risorsa produttiva e di consumo.

Il riconoscimento del tipo di ambiente avviene attraverso la valutazione del grado di antropizzazione del territorio, ovvero del livello di modificazione subito a causa dell'azione dell'uomo. L'ambiente urbano è quindi definibile come quella parte di ambiente umano in cui prevalgono i manufatti abiotici, ovvero elementi non viventi. Riguardo la sua individuazione esistono definizioni discordanti, rendendo necessaria una corretta interpretazione di tutte le

componenti che concorrono alla sua formazione.

Il termine “urbano” assume connotazioni diverse a seconda dell’ambito di applicazione, ed è spesso utilizzato per identificare un elemento o un territorio di tipo non rurale. Sebbene sia riconosciuta l’assenza di una concezione comune, la sua definizione è associata solitamente alla quantità di popolazione residente in un determinato territorio, variando a seconda del contesto considerato. Il libro bianco sul futuro delle città redatto dal governo britannico definisce urbane le aree in cui sono insediate più di 10.000 persone (ODPM, 2000); anche altri paesi adottano un criterio simile, utilizzando soglie diverse (variabili da 200 a 50.000 abitanti), determinando un’elevata variabilità spaziale globale nella definizione delle aree urbane<sup>9</sup> (UN, 2014; UN, 2015b).

Sebbene molti studi individuino le aree urbane esclusivamente sulla base della quantità di popolazione insediata, talvolta a causa di problematiche legate alla reperibilità dei dati o alla velocità e facilità di esecuzione, esistono numerosi fattori caratterizzanti da considerare (Weeks, 2008). Inoltre, bisogna fare attenzione nell’adoperare definizioni fondate esclusivamente sulla crescita di popolazione, in quanto non è possibile effettuare una correlazione diretta tra espansione delle aree urbane e crescita demografica. L’espansione urbana è avvenuta anche in condizioni di stabilità o decrescita della popolazione residente; mentre invece è possibile effettuare una correlazione con la crescita economica<sup>10</sup> (ISTAT, 2017). Di conseguenza, i centri urbani non possono più essere definiti solo in relazione alla concentrazione di popolazione e funzioni in un determinato territorio dotato di strutture stabili. La città post-industriale sta cambiando rapidamente nella struttura amministrativa e sociale e nella morfologia, assumendo caratteristiche di complessità e incompiutezza (ISTAT, 2017). La sua natura policentrica, densa o diffusa rende impossibile individuare dei confini definiti entro cui delimitare le aree urbane.

Considerando l’urbanizzazione come il processo di modificazione artificiale dell’uso del suolo nel tempo (Andjelkovic, 2001), si ritiene ormai superato il dualismo urbano-rurale, poiché anche le campagne si sono urbanizzate, diventando parte integrante della città e contribuendo alla formazione di un agglomerato di edifici senza soluzione di continuità sempre più esteso. Parallelamente, il fenomeno dell’*urban sprawl* ha generato un’espansione urbana disordinata e incontrollata verso zone periferiche un tempo agricole, determinando lo sparpagliamento di edifici, strade e attrezzature sui territori contigui alle città che li hanno generati (ISTAT, 2017). Di conseguenza, anche i limiti amministrativi, spesso utilizzati negli studi sulle analisi della struttura delle città per identificare le aree urbane, rappresentano un parametro non sempre valido (ISTAT, 2017). Costituendo un limite artificiale con grande

---

<sup>9</sup> Uno studio condotto dalle Nazioni Unite sull’urbanizzazione globale ha effettuato una catalogazione delle definizioni di area urbana utilizzate nei censimenti di 232 paesi. I criteri utilizzati includono sempre una soglia di popolazione (quantità totale o densità), eventualmente in aggiunta ad altri fattori (attività economiche, infrastrutture, caratteristiche fisiche) (UN, 2014; UN, 2015b).

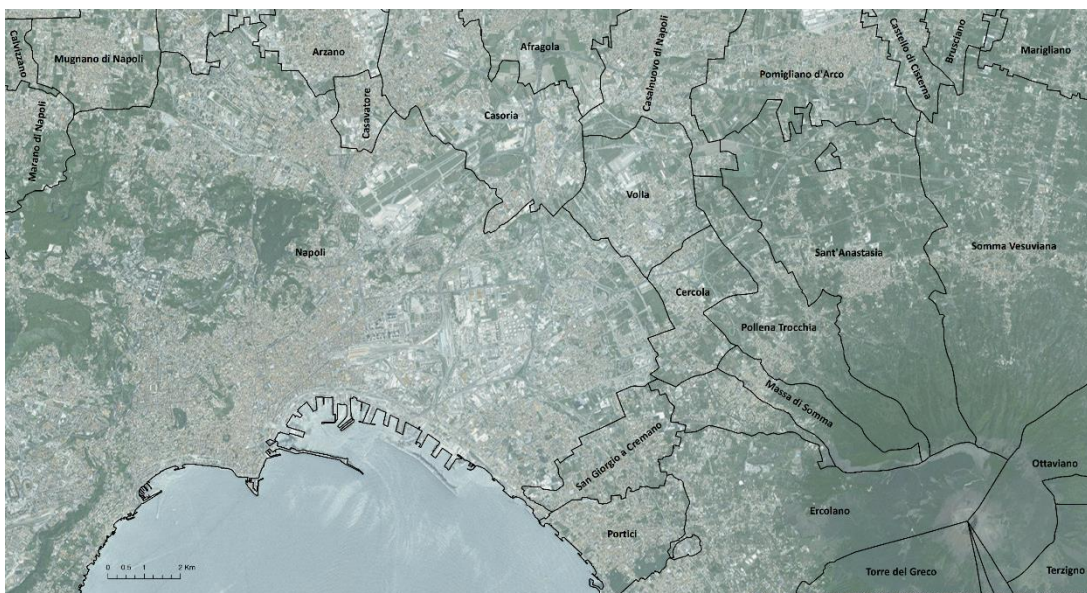
<sup>10</sup> In Europa le aree urbane si espandono ad una velocità maggiore rispetto alla crescita della popolazione. Negli ultimi venti anni l’incremento delle aree edificate è arrivato al 20% con una crescita demografica del 6% (Di Iacovo et al., 2010). Anche in Italia il rapporto tra i due fattori è inversamente proporzionale, con molte città (tra cui Napoli, Genova, e Catania) che hanno registrato un calo di popolazione nel 2016 (ISTAT, 2017).



inerzia al cambiamento, non sono in grado di restituire la vastità e soprattutto la complessità di aree urbane che travalicano i confini comunali, provinciali o regionali.

I fenomeni che interessano le aree urbane vanno quindi indagati introducendo nuovi approcci e parametri che, al di là delle soglie di popolazione urbanizzata, tengano conto anche della forma, dimensione ed eterogeneità degli insediamenti. L’European Environment Agency - EEA (2009) propone una definizione fondata su tre tipologie di aree urbane, in relazione fra loro: l’area amministrativa, l’area morfologica e l’area funzionale urbana<sup>11</sup>. La proposta formulata dell’EEA tenta di rispondere all’esigenza di analizzare agglomerati urbani che, ignorando i confini disegnati sulle carte, si espandono in maniera incontrollata determinando un continuum edilizio-abitativo che annulla la separazione tra urbano, suburbano e campagna, come nel caso della città metropolitana di Napoli (fig. 1).

Figura 1. Città metropolitana di Napoli – confini amministrativi (area est)



L’aggettivo urbano, definendo una “*place-based characteristic*”, include al suo interno non solo i fattori relativi alla quantità e densità di popolazione, ma anche quelli connessi all’organizzazione economica e sociale e alla trasformazione dell’ambiente naturale in ambiente costruito (Weeks, 2008; Weeks, 2010). L’area urbana si arricchisce di una pluralità di elementi molto diversi tra loro, ma in stretta relazione tramite molteplici connessioni. Ciò determina una complessità tale da non poter più pensare ad essa come ad un oggetto

<sup>11</sup> L’area amministrativa è l’espressione territoriale della struttura politica e tecnica di governo, rappresenta il framework entro cui implementare politiche di sviluppo sostenibile e di miglioramento della qualità della vita. L’area morfologica, indipendentemente dai confini amministrativi, definisce la dimensione spaziale e la forma della città in termini fisici, comprendendo il tessuto urbano con edifici, rete viaria, aree industriali e commerciali, aree verdi interne al tessuto urbano e aree portuali, aeroportuali, attrezzature per lo sport e il tempo libero se incluse nello spazio urbano o contigue ad esso. L’area funzionale urbana rappresenta la realtà socio-economica della città espressa in termini di influenza territoriale sull’hinterland. È l’elemento propulsore delle forze socio-economiche e ambientali che modellano lo sviluppo urbano. Comprende spazi molto diversi tra loro, città, sobborghi, aree rurali, estendendosi oltre i confini amministrativi (EEA, 2009).

semplificabile, scomponibile e concettualizzabile come una mera somma di singole parti, rendendo necessario un nuovo modello interpretativo che faciliti la comprensione delle leggi di organizzazione e comportamento dell'insieme urbano (Fistola, n.d.).

È possibile pensare a tale insieme come ad uno spazio a più dimensioni, le cui componenti sono in relazione reciproca mediante un rapporto gerarchico in continua evoluzione nel tempo e nello spazio: tutte queste caratteristiche rendono l'insieme urbano un organismo estremamente complesso, interpretabile attraverso l'**approccio sistemico**.

Tra le varie teorie interpretative che si sono succedute nel corso del tempo<sup>12</sup>, la visione sistemica rappresenta oggi il principale quadro di riferimento concettuale, secondo cui è possibile pensare all'insieme urbano come ad un sistema dinamicamente complesso (Papa et al., 1995). La complessità costitutiva del sistema urbano deriva dal numero di elementi, dal tipo e grado di relazioni, spaziali e a-spaziali, che tra essi si stabiliscono, dal numero di livelli gerarchici in cui è strutturato e dalle leggi e dalla velocità del mutamento (Losasso, 1991; Gargiulo & Papa, 1993; Papa et al., 1995), mentre la dinamicità è connessa alla sua capacità di evolversi continuamente in nuove configurazioni.

Il passaggio da un approccio "fisico", che guarda esclusivamente agli elementi costruiti che caratterizzano l'area urbana, ad un approccio sistemico genera una nuova interpretazione della realtà, la cui complessità emerge anche nello studio delle implicazioni reciproche e degli effetti che i vari processi di trasformazione antropica hanno su di essa (Archibugi, 1985; Losasso, 1991). Alla complessità costitutiva corrisponde pertanto una complessità interpretativa, che necessita di un adeguato supporto di conoscenze scientifiche multidisciplinari (Losasso, 1991).

Il **sistema urbano**, pertanto, è definibile come un insieme strutturato di elementi (ad es. quartieri), caratterizzati da particolari attributi (ad es. popolazione residente), dotato di relazioni che connettono gli elementi costitutivi secondo una logica o un'idea (Losasso, 1991).

Il paradigma sistemico consente di pensare in termini pluri-sistemici: ogni sistema, le cui parti rappresentano dei sistemi più piccoli (sottosistemi), può essere considerato parte di un sistema più grande, il meta-sistema (Losasso, 1991; Fistola, 2008; Batty, 2009). Lo studio delle interconnessioni esistenti tra sistemi e sotto-sistemi su scale temporali e spaziali diverse necessita di un processo di astrazione, che consenta di guardare all'insieme attraverso le singole componenti. Ad esempio, l'EEA (2015) identifica tre sotto-sistemi interagenti all'interno del sistema urbano (ambientale, tecnico e sociale), mentre Da Silva et al. (2012) percepisce la città come un sistema dinamico e poroso, aperto all'interazione con l'ambiente circostante. Attraverso il concetto di "*enabling environment*" vengono considerate le interazioni e interdipendenze che vanno oltre i confini amministrativi, ovvero tutte quelle

---

<sup>12</sup> L'evoluzione urbana ha visto susseguirsi numerose teorie interpretative che hanno tentato di descrivere la realtà urbana e di formalizzarne le leggi attraverso modellizzazioni che hanno spesso risentito dell'influenza dell'orientamento scientifico predominante nell'epoca. Tra i principali modelli si ricordano il modello meccanicistico, espressione del determinismo, in cui la realtà urbana è assimilata ad una macchina alimentata da processi in grado di far funzionare gli "ingranaggi", e il modello dinamico-evolutivo, sviluppatosi con l'avvento della visione quantistica-relativistica, che assimila la città ad un sistema (Fistola, 2008).

dinamiche spaziali e a-spaziali essenziali per il funzionamento urbano<sup>13</sup> (Da Silva et al., 2012).

Fistola (2008) considera il sistema urbano come costituito da due sotto-sistemi principali, il sistema fisico e il sistema funzionale. Il primo comprende l'insieme degli spazi costruiti all'interno dei quali si insediano le attività, e a sua volta si compone di una serie di elementi (edifici, aree stradali, etc.). Il secondo è costituito dall'insieme delle attività urbane (produzione, istruzione, commercio, etc.) che si concentrano in specifici ambiti del sistema fisico. Risulta evidente quindi come entrambi i sistemi siano relazionati direttamente tra loro; ogni evoluzione in uno dei due sottosistemi implica modificazioni nell'altro.

Le possibilità offerte dall'approccio sistemico per l'interpretazione del sistema urbano sono molteplici, e nessuna si può dire valida in senso assoluto: i sottosistemi da estrapolare e il livello di approfondimento da considerare dipendono dallo studio da effettuare e dagli obiettivi prefissati. Definita una strutturazione di base del sistema, è possibile individuare infiniti sottosistemi, ognuno in relazione con gli altri dello stesso livello o di livello maggiore. Di volta in volta, è necessario definire il sistema da considerare individuandone i confini, che possono essere di varia natura (fisica, amministrativa, morfologica, tipologica, etc.). In relazione all'oggetto principale di studio e al tipo e quantità di relazioni che si intende approfondire, ciò consente di specificare il livello superiore o inferiore dei sistemi oggetto di analisi e la scala di dettaglio alla quale si opera, pur sussistendo infinite possibilità di modellizzazione e gerarchizzazione per uno stesso sistema. Di conseguenza, uno studio centrato sul sistema urbano può comprendere molteplici sistemi o meta-sistemi (altri sistemi urbani, sistema infrastrutturale regionale, etc.) e sottosistemi con cui esso si rapporta, i quali costituiscono ovviamente un'astrazione rispetto alla realtà fisica. Le relazioni che caratterizzano il sistema, pertanto, sono anche di tipo extraurbano, laddove esse interessino l'ambiente in cui il sistema è inserito, interferendo con altri sistemi, anche naturali. Tra queste, le relazioni con il sistema climatico rappresentano l'oggetto di interesse principale della presente ricerca, delle quali si evidenzia la complessità connessa ai driver di cambiamento e agli impatti risultanti (fig. 2).

Alla luce di tali considerazioni, al fine comprendere la natura sistemica del cambiamento climatico (EEA, 2016) e quali siano i fenomeni che il sistema urbano dovrà affrontare, appare utile definire gli scenari di cambiamento attesi a livello globale, le relative responsabilità dell'uomo e le implicazioni per il sistema urbano.

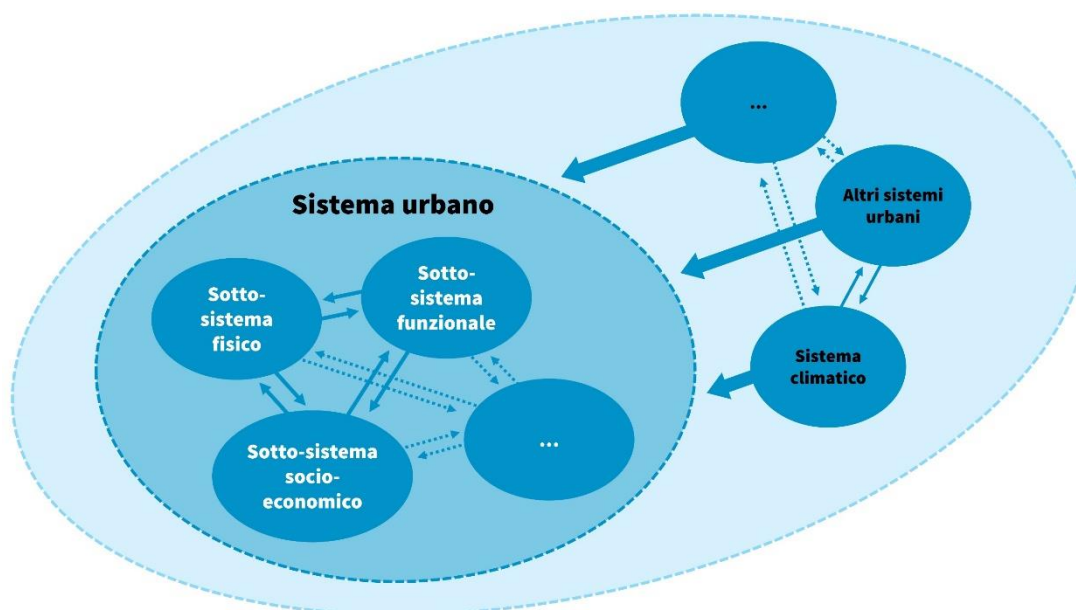
### *1.1.2 Why urban system? La necessità di un approccio sistemico e locale al cambiamento*

Da quanto esposto emerge che il cambiamento climatico e gli eventi ad esso correlati interessano, in maniera diversificata, tutte le aree del pianeta. La portata dei relativi effetti è influenzata dalle caratteristiche intrinseche dei sistemi ed elementi colpiti, determinando

---

<sup>13</sup> Possono interessare sia dimensioni fisiche (ad es., ecosistemi vicini e lontani, insediamenti limitrofi, industrie) sia dimensioni sociali (ad es., politiche regionali e nazionali, network di conoscenza nazionali e globali) (Da Silva et al., 2012).

Figura 2. Il sistema urbano e i suoi sotto-sistemi



un'elevata variabilità spaziale tra le varie regioni terrestri. Di conseguenza, nell'analisi e valutazione degli effetti del cambiamento climatico su uno specifico territorio, è fondamentale la conoscenza preliminare dei fattori caratterizzanti il territorio stesso, al fine di indirizzare in maniera opportuna le azioni di risposta. Pur essendo ormai note numerose strategie e misure di carattere generale, la cui efficacia nella riduzione degli effetti è ampiamente riconosciuta in ambito scientifico, è indispensabile declinare localmente qualsiasi intervento, tenendo conto delle complessità e delle potenzialità che contraddistinguono il contesto specifico.






La situazione di crisi che attualmente le città stanno vivendo dimostra che molto spesso le relazioni tra sistema antropico e naturale sono causa di trasformazione degli equilibri naturali. Il processo di espansione dei centri urbani, che ha portato alla creazione di città metropolitane e *megacity*, ha progressivamente aggravato la condizione di sfruttamento del sistema naturale, attraverso il prelievo di risorse e l'immissione di scarti e rifiuti, con conseguente alterazione dei cicli naturali. Il perdurare di tali condizioni nel tempo ha favorito l'insorgere di svariati rischi per gli esseri viventi in generale, tramutati in sfide da affrontare estremamente complesse, tra cui quelle connesse ai fenomeni climatici. Tale complessità è determinata dalla presenza di molteplici interdipendenze tra driver ed impatti, relative a contesti molto più ampi rispetto a quello urbano (EEA, 2015). Gli impatti determinati dall'espansione urbana si estendono oltre i confini della città, influenzando altri sistemi (contaminazione dei suoli, dell'aria e dell'acqua, riduzione delle risorse idriche e della biodiversità, alterazioni microclimatiche, etc.) e aggravando ulteriormente la portata delle conseguenze connesse al cambiamento climatico.

Sebbene, come visto precedentemente, il riscaldamento climatico sia una tematica di interesse globale, le relative cause ed effetti vanno analizzati a livello locale. Le molteplici conseguenze del cambiamento climatico sono ampiamente visibili a livello urbano, con



ripercussioni su diversi settori (risorse idriche, ecosistemi terrestri, attività antropiche, etc.) e sulla qualità della vita in generale (tab. 1).

Tabella 1. Conseguenze del cambiamento climatico previste sui sistemi urbani

Stressor climatico e probabilità	Evento indotto	Principali conseguenze previste sulle attività urbane		
		Vivere	Lavorare	Spostarsi
 <p>Giorni e notti più caldi e/o meno freddi Giorni e notti più caldi e/o caldi più frequentemente</p> <p><i>Virtualmente certo</i></p>	Riscaldamento aree urbane	<p>Riduzione domanda energetica per riscaldamento e incremento per raffreddamento</p> <p>Problemi di salute Peggioramento qualità dell'aria</p>	<p>Riduzione domanda energetica per riscaldamento e incremento per raffreddamento</p> <p>Riduzione produttività lavorativa</p>	<p>Riduzione domanda energetica per riscaldamento e incremento per raffreddamento</p> <p>Discomfort sui mezzi di trasporto pubblico</p>
 <p>Eventi estremi di temperatura Aumento della frequenza e/o della durata</p> <p><i>Molto probabile</i></p>	Ondate di calore esacerbate da effetto UHI	<p>Problemi di salute (particolarmente gravi per anziani, bambini e poveri)</p> <p>Riduzione dell'uso di spazi pubblici e della vita sociale</p> <p>incremento domanda energetica raffreddamento</p>	<p>Incremento domanda energetica raffreddamento</p> <p>Riduzione produttività lavorativa e fornitura beni e servizi</p>	<p>Incremento domanda energetica per raffreddamento</p> <p>Discomfort sui mezzi di trasporto pubblico</p> <p>Interruzione reti ferroviarie</p>
 <p>Eventi di precipitazione intensa: incremento della frequenza</p> <p><i>Molto probabile</i></p>	Alluvioni e allagamenti urbani	<p>Danni e perdite al patrimonio immobiliare (anche storico-culturale)</p> <p>Danni alle reti infrastrutturali (ad es. idriche, energetiche)</p> <p>Pericoli per la vita e la salute</p>	<p>Danni e perdite di beni economici</p> <p>Danni alle reti infrastrutturali (ad es. idriche, energetiche)</p> <p>Incremento costi assicurativi</p>	<p>Pressioni sulle infrastrutture</p> <p>Interruzione circolazione viaria e ferroviaria</p>
 <p>Riduzione media delle precipitazioni</p> <p><i>Probabile</i></p>	Siccità/Scarsità idrica	<p>Competizione per l'utilizzo dell'acqua con altri settori (agricoltura, turismo)</p> <p>Diminuzione fornitura d'acqua per le famiglie</p> <p>Rischi da contaminazione acque</p>	<p>Competizione per l'utilizzo dell'acqua con altri settori (agricoltura, turismo)</p> <p>Diminuzione fornitura d'acqua per industrie e servizi</p> <p>Riduzione produttività</p>	Limiti alle spedizioni
 <p>Aumento dell'incidenza e/o grandezza del livello massimo del mare</p> <p><i>Probabile</i></p>	Erosione costiera e inondazioni	<p>Perdita del patrimonio privato di proprietà della comunità</p> <p>Riduzione della disponibilità di acqua dolce per intrusione di acqua salata</p> <p>Potenziale spostamento della popolazione</p>	<p>Perdita del patrimonio privato di proprietà della comunità</p> <p>Potenziale spostamento della attività produttive e dei servizi</p>	<p>Interruzione circolazione viaria, ferroviaria e marittima</p> <p>Potenziale spostamento delle infrastrutture</p>

Fonte: IPCC, 2013; IPCC, 2014a; EEA, 2016; CMCC, 2017

Gli *stressor* climatici, pertanto, a livello urbano non fanno altro che evidenziare problematiche già esistenti, accentuando criticità relative sia al mondo antropico sia al mondo naturale. In relazione a tale complessità, la realtà urbana rappresenta un elemento di grande interesse in ambito scientifico e politico, testimoniato dal numero crescente di studi, linee guida e progetti di rilevanza internazionale riguardanti tematiche connesse al cambiamento climatico. Ciò è dovuto innanzitutto alle perdite potenziali che i fenomeni climatici possono provocare a livello urbano, sia in termini economici sia di vite umane. Inoltre, l'elevata concentrazione di persone in un'area relativamente limitata consente di implementare strategie e azioni di risposta più efficaci che non su insediamenti sparsi. Di conseguenza, gli insediamenti urbani rappresentano al tempo stesso una delle sfide e delle opportunità più importanti del XXI secolo, rivestendo un ruolo chiave sia nello sviluppo sociale ed economico sia nel cambiamento a scala globale, regionale, nazionale e locale (Birkmann et al., 2010).

Con più della metà della popolazione mondiale attualmente urbanizzata<sup>14</sup> (Worldometers, 2017), le città rappresentano una delle cause principali del cambiamento climatico (*driver*) subendone a loro volta le conseguenze su molteplici dimensioni (economica, socio-culturale, politica e ambientale). Considerando le previsioni riguardanti i futuri scenari climatici e di incremento della popolazione urbanizzata<sup>15</sup> è evidente l'importanza di garantire un corretto "funzionamento" delle città, rendendole capaci di fronteggiare gli effetti climatici su diversi livelli e dimensioni, nel breve e nel lungo periodo.

Oltre a generare criticità dovute alla presenza di un numero elevato di elementi e persone estremamente vulnerabili, il sistema urbano può favorire anche importanti occasioni di cambiamento su larga scala. Variazioni apportate nel suo assetto fisico e nel suo funzionamento mirate a fronteggiare i fenomeni climatici possono avere ripercussioni positive molto più ampie rispetto al raggio di azione. Il sistema urbano rappresenta pertanto anche un'importante opportunità per attuare politiche e azioni di risposta al cambiamento climatico di successo, finalizzate all'utilizzo razionale delle risorse e al miglioramento della qualità della vita, grazie alla possibilità di agire su più livelli e dimensioni, coinvolgendo un numero elevato di persone. In tabella 2 si sintetizzano alcune caratteristiche possedute dal sistema urbano, evidenziandone l'eventuale condizione di criticità o opportunità (Birkmann et al., 2010; Revi & Rosenzweig, 2013).

Nonostante l'importanza della "questione climatica" sia riconosciuta da circa due secoli, solo recentemente l'attenzione del mondo politico e scientifico si sta focalizzando sulle conseguenze che il *climate change* può avere sui sistemi urbani (tab. 1) e sulle modalità per gestirle (Birkmann et al., 2010). A partire dagli anni '90 sono state promosse diverse iniziative mirate a creare un network transnazionale e subnazionale tra diverse città del pianeta impegnate nel fronteggiare localmente il cambiamento climatico (tab. 3).

Tuttavia, se da un lato numerose città in tutto il mondo hanno introdotto tematiche relative al clima nelle proprie politiche urbane attraverso l'adozione di particolari strumenti pianificatori, quali i piani di adattamento climatico (New York, Rotterdam, Toronto, Londra, etc.), dall'altro molto meno diffuse sono le esperienze di progettazione urbana e architettonica con specifici obiettivi di riduzione degli effetti negativi del *climate change*.

Accanto alla strutturazione di strategie ed azioni ad ampio raggio, bisogna prevedere interventi puntuali ma diffusi sul territorio, che tengano opportunamente in considerazione non solo le caratteristiche delle entità costituenti il sistema urbano ma anche le relazioni che tra esse si stabiliscono.

---

<sup>14</sup> In Europa circa il 73% della popolazione vive in aree urbane (EEA, 2015) mentre in Italia nel 2014 il 69% della popolazione risulta urbanizzata (UN, 2015b).






<sup>15</sup> Uno studio del Worldwatch Institute prevede un rilevante incremento della popolazione mondiale urbanizzata al 2050 rispetto al 2011. Nei paesi industrializzati, tale incremento si aggira intorno al 10% circa, con l'86% della popolazione urbanizzata al 2050, mentre nei paesi in via di sviluppo l'incremento è quasi il doppio, con il 64% della popolazione urbanizzata al 2050 (Potter, 2012). In Europa si prevede che entro il 2050 la popolazione urbanizzata raggiungerà l'82% (EEA, 2015). Se nel resto del mondo il fenomeno è in continua crescita, in Italia presenta dinamiche meno lineari, con periodi di forte incremento seguiti da rallentamenti (ISTAT, 2017). Il livello di urbanizzazione previsto al 2050 è del 77,7% (UN, 2015b).



Tabella 2. Principali caratteristiche del sistema urbano

Caratteristiche del sistema urbano	Criticità	Opportunità
Elevata concentrazione di popolazione e attività	Elevata esposizione e vulnerabilità agli impatti negativi Elevata velocità di diffusione di eventuali malattie (ad es. SARS)	Ampio coinvolgimento pubblico e collaborazione Possibilità di implementare azioni di risposta efficaci a costi più contenuti Riduzione spostamenti con mezzi privati Riduzione consumo di suolo
Interconnessione con le aree rurali e l'ambiente naturale	Prelievo di risorse (acqua, alimenti, etc.) Immissione di scarti e rifiuti	Implementazione di strategie e azioni urbane con impatti significativi anche sull'ambiente naturale (ad es. riduzione emissioni gas serra)
Interconnessione di molteplici processi e flussi (amministrativi, finanziari, economici, sociali, politici, etc.)	Possibilità di innescare fenomeni di crisi oltre i confini del sistema urbano	Possibilità di apportare innovazioni (in qualsiasi campo) con ricadute positive su larga scala
Rapidità di crescita ed espansione	Incremento di attività informali, assenza di infrastrutture e servizi (ad es. rete fognaria), difficoltà di controllo e governo e riduzione della capacità degli enti locali di implementare strategie di sviluppo	-
Elevata concentrazione di edifici residenziali	Elevata esposizione e vulnerabilità agli impatti negativi	Coinvolgimento di attori privati

Tabella 3. Principali city-network nazionali e internazionali

Denominazione iniziativa	Anno di istituzione	Finalità	Scala di azione	Enti coinvolti
 <b>ICLEI</b> International Council for Local Environmental Initiatives <a href="http://www.iclei.org/">http://www.iclei.org/</a>	1990	Fornire servizi di consulenza, formazione e informazione per sviluppare capacità, condividere le conoscenze e supportare i governi locali nell'implementazione dello sviluppo sostenibile. Tali finalità si fondano sull'assunto che iniziative progettate e gestite localmente possono essere un modo efficace ed economico per raggiungere obiettivi di sostenibilità locali.	Globale	Più di 1500 città
 <b>Climate Alliance</b> <a href="http://www.climatealliance.org/">http://www.climatealliance.org/</a>	1990	Preservare il clima globale attraverso un duplice meccanismo: riduzione delle emissioni di gas serra da parte dei paesi ad alto reddito e conservazione delle foreste nei paesi a medio e basso reddito	Europea	Più di 1700 (città, municipalità, province, ONG)
 <b>C40 Cities</b> Large Cities Climate Leadership Group <a href="http://www.c40.org/">http://www.c40.org/</a>	2005	Promuovere un'azione locale e collaborativa tra le città coinvolte per ridurre globalmente le emissioni e i rischi climatici. L'organizzazione offre un forum dove le città possono collaborare, condividere le conoscenze e condurre azioni significative, misurabili e sostenibili sui cambiamenti climatici	Globale	91 megacity
 <b>Compact of Mayors</b> <a href="https://www.compactofmayors.org/">https://www.compactofmayors.org/</a>	2014	Nata su iniziativa di ICLEI, C40 Cities e UCLG con il supporto di UN-Habitat, la coalizione dei sindaci dei comuni a livello globale mira a creare una piattaforma comune per monitorare il rischio climatico e l'impatto delle città attraverso la misurazione standardizzata delle emissioni.	Globale	680 città
 <b>Climate Mayors</b> Mayors National Climate Action Agenda <a href="http://climatemayors.org/">http://climatemayors.org/</a>	2014	Adottare, onorare e sostenere gli obiettivi dell'accordo sul clima di Parigi.	Nazionale	369 città

L'elevata concentrazione di persone con peculiarità diverse (ad es. età, abilità, cultura, reddito), di numerose attività (ad es. commercio, industrie, servizi) e la grande quantità di

interazioni tra gli elementi (entità) che compongono il sistema urbano, rendono le città dei sistemi complessi dinamici in cui, così come nel sistema climatico, l'alterazione anche di una sola piccola componente può innescare conseguenze sull'intero sistema. Queste ed altre particolari caratteristiche delle aree urbane (ad es. l'elevata impermeabilità dei suoli) comportano alterazioni nel sistema tali da "amplificare" ulteriormente gli effetti dei fenomeni correlati al cambiamento climatico<sup>16</sup>.

È evidente, quindi, come le conseguenze sugli insediamenti urbani, e l'entità con cui esse si manifestano, siano direttamente influenzate da variabili relative non solo alla natura dei mutamenti climatici (variazioni dei valori estremi di temperatura, variazioni nel regime delle precipitazioni, innalzamento del livello del mare) ma anche all'insediamento stesso (forma, dimensione, localizzazione, struttura sociale, etc.) (Filpa, 2013). La portata degli effetti risultanti dagli eventi meteorologici dipende soprattutto dalle modalità con cui gli agglomerati urbani si sviluppano, dalla disponibilità e accessibilità delle risorse e, in generale, dagli standard di vita della popolazione (Viola Poesello, 2013). Gli effetti che scaturiscono dalla combinazione di caratteristiche naturali e antropiche sono, quindi, il risultato dell'inasprimento di criticità già esistenti nelle aree urbane, incapaci di affrontare fenomeni sempre più intensi e frequenti.

In generale, gli effetti che i mutamenti climatici possono determinare sugli insediamenti urbani, diversificati in relazione alle specificità locali, possono interessare la salute dei cittadini, la fruibilità degli spazi aperti, l'agibilità dei fabbricati, il depauperamento delle risorse, l'efficienza delle reti tecnologiche e delle infrastrutture per la mobilità o la redditività/produzione delle attività economiche, con una progressiva riduzione della qualità della vita dei cittadini (Filpa, 2013).

Le sfide poste dai fenomeni climatici si scontrano con una serie di difficoltà di notevole importanza. Se il presupposto principale per avviare un'azione progettuale è la conoscenza dei fenomeni climatici attesi a livello locale e delle caratteristiche dei sistemi ed elementi interessati, bisogna tenere in considerazione due questioni fondamentali: le incertezze insite nelle proiezioni climatiche, solitamente di lungo periodo, e la necessità di operare un approfondimento di scala sia delle già citate proiezioni (*downscaling*)<sup>17</sup> sia delle informazioni relative al patrimonio costruito e alla popolazione.

L'introduzione della variabile climatica nel progetto urbano e architettonico modifica lo sguardo al territorio e l'approccio necessari alla risoluzione dei problemi: l'imprevedibilità che caratterizza il progetto urbano attento ai mutamenti climatici implica una visione dinamica, dove il territorio e la città non sono più considerati come un qualcosa di inerte, stabile, dati una volta e per sempre. La condizione di continuo cambiamento ed evoluzione cui la città è e

---

<sup>16</sup> Ad esempio, le criticità di periodi caratterizzati da temperature eccessivamente elevate (ondate di calore) sono esacerbate in ambito urbano dal fenomeno di isola di calore (*Urban Heat Island – UHI*) che, a causa dell'alterazione del livello di permeabilità delle superfici, acuisce localmente i picchi di temperatura.

<sup>17</sup> Poiché i modelli climatici attualmente disponibili operano a piccola scala interessando regioni molto ampie (ad es. sud-Italia), al fine di ottenere previsioni attendibili a livello locale è necessario effettuare operazioni di "scalatura" che consentano di aumentare la risoluzione spaziale dei modelli regionali (solitamente intorno ai 10-20 km).

sarà soggetta rappresenta la normalità, mentre i fenomeni che tendono alla stabilità devono essere considerati un pericolo (Manigrasso, 2012). Tale stato di incertezza rende ancora più importante la conoscenza approfondita di tutti gli elementi e i processi caratterizzanti il sistema urbano: quanto più la base di informazioni è solida e aggiornata tanto più le previsioni relative alle possibili conseguenze saranno attendibili. Inoltre, una banca dati ben strutturata, attraverso l'aggiornamento delle informazioni nel corso del tempo, è capace di descrivere le evoluzioni delle caratteristiche fisiche e sociali del sistema urbano, consentendo il controllo e monitoraggio costanti delle ricadute locali dei fenomeni meteorologici e degli interventi intrapresi.

In uno scenario fortemente mutevole, l'approccio locale alla conoscenza e analisi degli effetti dei fenomeni climatici sul sistema urbano è fondamentale per evitare che le variazioni meteorologiche si tramutino ogni volta in un disastro. Il processo da adottare deve dare vita ad un "sistema aperto" in grado di accogliere i cambiamenti che di volta in volta si presentano e le nuove informazioni, mettendo in relazione problemi e soluzioni al fine di anticipare le possibili variazioni del contesto ed essere preparati ad eventi inattesi. Di conseguenza, anche il progetto deve essere in grado di convivere con la mutazione, senza determinare configurazioni fisse ma "*processi aperti capaci di metabolizzare il cambiamento dettato da sollecitazioni esterne*" (Manigrasso, 2012), riconoscendo le opportunità che possono derivare da esso. Ad esempio, il verificarsi di particolari impatti climatici (discomfort termico, allagamenti, etc.), aggravati dalle elevate densità urbane, evidenzia la necessità di una maggiore quantità di spazi verdi che contribuiscono ad incrementare la qualità della vita urbana su molteplici livelli e dimensioni (Shaw et al., 2007).

Il progetto urbano attento alle questioni climatiche, che alcuni studi definiscono *climate-sensitive*, interviene su molteplici scale spaziali e in relazione a differenti obiettivi. Le già citate caratteristiche degli insediamenti urbani possono costituire al tempo stesso delle opportunità o criticità in relazione agli obiettivi prefissati. Ad esempio, strade e spazi aperti caratterizzati da una sezione ridotta e delimitati da edifici molto alti, sebbene riducano gli effetti negativi del caldo durante i periodi estivi attraverso l'ombreggiatura, possono determinare problematiche connesse alla luminosità indoor durante i periodi invernali. Di conseguenza, il progetto *climate-sensitive* dovrà tenere conto di una grande varietà di obiettivi e riconoscere la relazione esistente tra le diverse scale di intervento. Una scala di azione esclusivamente cittadina non riesce a controllare ciò che accade a livello di quartiere o di edificio; allo stesso modo, un approccio locale non supportato da politiche e indirizzi di livello superiore ha maggiori difficoltà nell'inquadrare le strategie più opportune, a causa della mancanza di coordinamento tra le attività intraprese in diverse città.

Alla luce di tali considerazioni, risulta fondamentale specificare la declinazione che l'aggettivo locale assume nella presente ricerca, ponendosi su un livello diverso rispetto a quanto indicato in molti documenti nazionali e internazionali.

L'IPCC adotta il termine "locale" per riferirsi ad un qualsiasi contesto, condizione o esperienza di livello inferiore rispetto a quello nazionale. Identifica a livello amministrativo,

insediamenti molto diversi fra loro (villaggi, distretti, città, aree metropolitane, province, regioni), ma anche istituzioni, pubbliche e private, con ruoli di controllo amministrativo su determinate aree e risorse o di protezione delle persone (IPCC, 2012). Il significato del termine è correlato alla conoscenza tradizionale e all'esperienza degli attori locali rispetto ai fenomeni climatici che interessano l'area e alle azioni necessarie per fronteggiarli, spesso intraprese in maniera indipendente rispetto agli organi di governo sovraordinati.

A partire dal Libro bianco sulla *governance* europea (EC, 2001) fino a ai più recenti documenti relativi alle politiche connesse al cambiamento climatico (EC, 2013; EEA, 2016) si afferma l'importanza di stabilire delle relazioni tra i vari organi di governo riguardo le politiche da adottare rispetto a particolari tematiche, climatiche e non. Nell'ambito della *governance* multilivello (*multilevel governance*), le responsabilità sono differenziate secondo un criterio di tipo amministrativo (europeo, nazionale, regionale, locale), e l'aggettivo "locale" individua un livello di azione comunale, corrispondente all'intero sistema urbano. Esso assume un ruolo centrale nell'implementazione di buone pratiche, relazionandosi con gli altri livelli amministrativi (coordinamento verticale) e con differenti settori e realtà urbane (coordinamento orizzontale) (EEA, 2016).

Da quanto esposto emerge chiaramente l'importanza della città e del sistema urbano nella messa a punto di azioni finalizzate a contrastare il cambiamento climatico in uno scenario più ampio di intervento integrato tra più livelli e dimensioni. Tuttavia, è necessario approfondire lo sguardo all'interno della realtà locale precedentemente definita andando oltre il livello amministrativo, per individuare le specificità sub-locali che differenziano le varie parti della città. Di conseguenza, nella presente ricerca, il termine "locale" si riferisce ad un livello di conoscenza, analisi e intervento più dettagliato, a scala sub-cittadina o distrettuale, che indaga caratteristiche fisiche e sociali rispetto ai singoli elementi urbani quali, ad esempio, edifici o spazi aperti.

Secondo un approccio locale di questo tipo si può caratterizzare in maniera *fine-grained* non solo il fenomeno climatico e le ricadute nei diversi ambiti cittadini, individuando gli *hotspot*, ma soprattutto le azioni, che potranno essere previste là dove necessario e calibrate in relazione alle effettive esigenze.

### 1.1.3 Il clima come sistema complesso

Il clima può essere inteso come un sistema costituito da cinque componenti principali, o sottosistemi, (atmosfera, criosfera, idrosfera, litosfera, biosfera)<sup>18</sup> interagenti fra loro, che ha subito nel corso del tempo continue variazioni. Inteso come l'insieme delle condizioni meteorologiche e ambientali che caratterizzano una regione geografica abbastanza vasta per

---

<sup>18</sup> I sottosistemi climatici sono concatenati tra loro attraverso complessi scambi di energia e materia. L'atmosfera rappresenta lo strato di gas che circonda la superficie terrestre; la criosfera è l'insieme di tutte le masse di ghiaccio e accumuli neve presenti sulla Terra; l'idrosfera è l'insieme dell'acqua allo stato liquido che si trova sulla Terra (oceani, mari, laghi, fiumi e acque sotterranee); la litosfera comprende tutte le terre emerse, più il fondo degli oceani e i primi strati dell'interno del pianeta e infine la biosfera include la totalità degli esseri viventi, vegetali o animali, presenti sulla Terra, compreso l'uomo e la materia organica non ancora decomposta (Paesano, 2006).

un periodo di tempo piuttosto lungo (solitamente 30 anni)<sup>19</sup>, il clima sul medio-lungo periodo non è statico. La storia climatica terrestre è infatti un susseguirsi caotico di ere glaciali e interglaciali, frutto di una variabilità intrinseca al sistema Terra, le cui componenti e le relative interazioni non sono state ancora comprese del tutto.

Il clima descrive l'andamento a lungo termine dei parametri che caratterizzano il tempo meteorologico (di breve periodo, giornaliero) nel corso delle stagioni, tra cui le temperature, la quantità e la distribuzione (spaziale e temporale) delle precipitazioni, l'umidità e il regime dei venti (dette anche variabili climatiche). Il clima, oltre a rappresentare una media del tempo meteorologico su un ampio intervallo temporale e/o su una estesa area spaziale, definisce anche l'occorrenza degli **eventi meteoclimatici estremi**, intesi come eventi sia intensi sia rari<sup>20</sup> (Bertolin, 2015). Pertanto, si parla di cambiamento climatico riferendosi a variazioni del tempo meteorologico sul lungo periodo, ovvero agli spostamenti dalla media della distribuzione statistica dei diversi parametri climatici.

Tali variazioni sono il frutto dei processi che avvengono tra i sottosistemi. Il sistema climatico nella sua totalità può considerarsi un sistema chiuso con l'esterno in relazione allo scambio di materia (con lo spazio interstellare), ma aperto per scambio di energia (Paesano, 2006), elemento regolatore dell'equilibrio generale. I sottosistemi che lo compongono, invece, sono aperti, non isolati, e collegati tra loro da processi fisici che implicano scambi di energia, di materia e di quantità di moto. Tale apertura verso l'esterno del sistema (e dei relativi sottosistemi) rende la variabilità climatica dipendente da numerosi fattori, quali l'azione delle forzanti esterne<sup>21</sup> (*external forcings*), naturali o antropiche, e i meccanismi di interazione interni al sistema climatico stesso, denominati *feedback* (fig. 3).

---

<sup>19</sup> Il clima (dal greco *klima*, ovvero inclinazione) rappresenta una generalizzazione statistica delle condizioni atmosferico-meteorologiche che in maniera ricorrente e ciclica si manifestano in determinate regioni in funzione delle interazioni di differenti fattori geografici (caratteristiche localizzative), geomorfologici (caratteristiche fisico-costitutive) e astronomici (movimenti della terra). Il concetto di clima non va confuso con quello di meteo, o tempo meteorologico, che, invece, indica lo stato atmosferico di una zona in un preciso momento, definendo le condizioni a breve termine dell'atmosfera (giornaliere). Il clima, che caratterizza a larga scala ampie regioni e porzioni territoriali, può essere classificato in due modi:

- In base alla distribuzione geografica, ovvero in funzione della suddivisione della superficie terrestre in ampie zone caratterizzate da valori omogenei dei parametri climatici fondamentali (radiazione solare, umidità, pressione, vento, precipitazioni);
- In base alla scala di riferimento, e quindi in relazione all'estensione territoriale. In tal caso si possono avere quattro livelli, il macroclima, il mesoclima, il topoclima e il microclima.

<sup>20</sup> Nonostante siano abbastanza semplici da riconoscere, gli eventi estremi correlati al clima sono difficili da definire. Non esiste una definizione univoca per il termine "estremo", dipendente dal contesto analizzato. Inoltre, nella letteratura scientifica internazionale diversi altri termini, come *rare*, *severe* e *high-impact* sono utilizzati come sinonimi di "extreme" (Stephenson, 2008). In generale, sono eventi i cui valori di una o più variabili (ad es. valore min o max) sono agli estremi della distribuzione storica, avvicinandosi o superando uno o più valori soglia che definiscono il range dei valori osservati per un determinato periodo in una specifica regione. Pertanto, possono essere considerati come eventi inusuali e particolarmente gravi che includono eventi come ondate di calore, cicloni, inondazioni.

<sup>21</sup> Con il termine forzante si indica una forza persistente nel tempo che impone un cambiamento al sistema climatico (o ad un sotto-sistema), proveniente dall'esterno del sistema stesso (o dagli altri sottosistemi). Può essere radiativa, diretta o indiretta, in relazione all'influenza sul budget radiativo del pianeta, o non radiativa, se non coinvolge direttamente la radiazione (National Research Council, 2005).

Figura 3. Forzanti e alterazioni del sistema climatico



Fonte: ridisegnata da National Research Council (2005)

In relazione all'intensità delle forzanti, il sistema climatico riesce a modificare il suo equilibrio termico, e pertanto può essere considerato in equilibrio dinamico. Tra le **forzanti esterne naturali** rientrano quelle caratteristiche che, esercitando un'influenza sul clima, non subiscono modifiche da parte degli altri sottosistemi (fattori astronomici, ad es. cicli solari e dell'orbita terrestre).

Il sole può essere considerato come la forzante esterna naturale primaria, in quanto i processi che avvengono tra i sottosistemi comportano principalmente scambi di energia dipendenti dalle variazioni dei cicli solari. Il sistema climatico è regolato dalla radiazione solare che i vari elementi che compongono i sottosistemi assorbono, trasformano e rielaborano, rimettendo successivamente nello spazio la frazione energetica non utilizzata. Tale radiazione non arriva sulla Terra in maniera uniforme, e soprattutto non è recepita allo stesso modo da tutti gli elementi che compongono i vari sottosistemi, per cui è necessaria una redistribuzione energetica, al fine di consentire il mantenimento dell'equilibrio termico terrestre. In tal senso, alcuni elementi, ad es. l'oceano e gli strati dell'atmosfera, svolgono un ruolo chiave, senza i quali la temperatura media superficiale globale (*global mean surface temperature* - GMST) sarebbe molto bassa, circa  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Corti et al., 2009). Nel momento in cui, per un qualsiasi motivo, alcune proprietà fondamentali a garantire tale riequilibrio vengono alterate (ad es. alterazione delle concentrazioni di gas atmosferici) si possono generare effetti a catena in tutti gli altri sottosistemi climatici. Un qualsiasi fattore che alteri la quantità di energia che la Terra riceve come radiazione solare o che emette come radiazione termica può alterare il bilancio termico, influenzando drasticamente il clima terrestre (Gualdi e Navarra, 2005).

Se fino a qualche secolo fa era possibile attribuire le variazioni climatiche alle sole forzanti naturali, a partire dell'età industriale una **forzante esterna antropica** si aggiunge a tale complesso sistema. L'antroposfera, parte dell'ambiente fisico e risultato dell'attività umana relativa soprattutto agli insediamenti urbani e alle strutture ad essi connesse, è causa di alterazioni in diversi sotto-sistemi, primi fra tutti l'atmosfera e l'idrosfera.

L'azione delle forzanti esterne sulle componenti del sistema climatico può comportare



fenomeni di raffreddamento o riscaldamento, generando all'interno dello stesso sistema meccanismi di **feedback** che possono avere un duplice effetto, di grande amplificazione (feedback positivo) o di drastico smorzamento (feedback negativo) della risposta del sistema alle variazioni imposte (Corti et al., 2009). I processi di feedback sono probabilmente la fonte di maggiore incertezza nelle previsioni climatiche, poiché agiscono in maniera spesso controintuitiva e imprevedibile<sup>22</sup>. In virtù di tali meccanismi interni, una variazione relativa anche ad un solo sottosistema innesca modifiche in uno o più sottosistemi (Paesano, 2006). È evidente quindi come l'azione antropica che abbia conseguenze dirette, ad esempio, sull'atmosfera, possa innescare effetti a catena anche sugli altri sottosistemi, di portata anche molto maggiore rispetto alla causa scatenante.

La scomposizione in sottosistemi non consente una ricostruzione certa e univoca dell'intero sistema climatico, per il quale non vale il principio di sovrapposizione, secondo cui l'effetto finale di due cause è la somma degli effetti di ciascuna causa presa singolarmente (Pasini, 2012). Il sistema climatico è quindi un sistema complesso, dinamico non lineare, di cui non è possibile tracciare con precisione le evoluzioni. Ciò a causa delle molteplici catene circolari causa-effetto che si sovrappongono tra loro, in cui l'ultimo effetto di una catena modifica la causa primaria da cui è partita la catena stessa, modificandola (Pasini, 2012; Barone, 2014).

Tale complessità rende particolarmente difficile lo studio e la comprensione dell'evoluzione dell'equilibrio complessivo rispetto a una qualsiasi causa perturbante, come ad esempio l'influenza dell'attività umana sul sistema climatico e le relative conseguenze in termini di cambiamento. Nonostante ciò, le evidenze climatiche venute alla luce a partire dalla metà del XIX secolo grazie alle prime osservazioni su scala globale e al confronto quantitativo con le ricostruzioni storiche e paleoclimatiche hanno rilevato un cambiamento di natura diversa, per scala temporale e attribuzione, rispetto ai cambiamenti registrati nel passato. Se la storia climatica terrestre è caratterizzata da alterazioni dovute principalmente a processi di tipo astronomico (variazioni orbitali) e geologico (moti dei continenti) avvenuti in un periodo di centinaia di migliaia di anni, il cambiamento recente è riconducibile a processi chimico-radiativi avvenuti nell'arco di decenni, al massimo di secoli (Lentini, 2012).

Negli ultimi 150 anni, la comunità scientifica ha cominciato ad accostare il clima alla parola cambiamento o mutamento riferendosi non più solo ai cambiamenti naturali, ma anche a quelli antropogenici.

La definizione di **cambiamento climatico** si riferisce ad una modificazione nello stato del clima, dovuta a forzanti antropiche o naturali, che persiste per un periodo di tempo

---

<sup>22</sup> Un esempio di feedback positivo, che ha un effetto destabilizzante, può derivare da un basso livello di radiazioni solari, e quindi da temperature ridotte che possono incrementare la superficie terrestre coperta da ghiacci. Il colore chiaro (albedo alto) che caratterizza le superfici ghiacciate comporta una maggiore riflessione della radiazione e un ulteriore calo delle temperature. Al contrario, un esempio di feedback negativo, che comporta maggiore stabilità, può essere un aumento del livello di radiazione solare e il relativo incremento delle temperature dell'aria e dei mari, che favoriscono la crescita delle alghe capaci di assorbire la CO<sub>2</sub>, con l'effetto finale di abbassare le temperature.

prolungato, solitamente alcuni decenni o più, e che può essere identificata e analizzata, ad esempio attraverso test statistici (IPCC, 2013; EEA, 2017). La Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (*United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC*), all'articolo 1, definisce il cambiamento climatico come *“un cambiamento del clima, attribuibile direttamente o indirettamente all'attività umana, che altera la composizione dell'atmosfera globale e che si somma alla variabilità climatica naturale osservata nel corso di periodi di tempo confrontabili”* (UN, 1992).

Tali affermazioni contengono due concetti fondamentali. Il primo è relativo alla misurabilità del fenomeno; il cambiamento climatico deve essere misurabile *“attraverso variazioni sistematiche nelle grandezze statistiche delle variabili meteorologiche [...] calcolate in un intervallo di tempo [...] di norma almeno trentennale”* (Lentini, 2012). Il secondo, conferma l'esistenza di una naturale variabilità climatica, relativa a processi naturali esterni e interni al pianeta, alterata dalle attività umane che apportano modifiche alla composizione atmosferica.

Ormai il consenso scientifico riguardo l'attribuzione antropica delle cause del cambiamento climatico è molto ampio, con il 97 % delle ricerche in accordo con tale posizione (Cook et al., 2013; Cook et al., 2016). Tali studi, attraverso la realizzazione di modelli numerici, fondati sulla rappresentazione matematica dei processi e delle interazioni che interessano il sistema climatico, sono riusciti a simulare la variabilità climatica (Gualdi & Navarra, 2005). Le proiezioni ottenute con tali modelli sono di tipo probabilistico e, nonostante i margini di incertezza, consentono di stimare quantitativamente l'evoluzione climatica globale, passata e futura (Corti et al., 2009).

Secondo le **osservazioni** e le elaborazioni dei dati effettuate dal Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (IPCC), l'azione antropica è stata la causa principale dei cambiamenti esaminati dalla metà del XX secolo, relativi al riscaldamento dell'atmosfera e degli oceani, alla riduzione delle coperture di neve e ghiaccio e all'innalzamento del livello medio del mare.

Tra i vari contributi antropici al cambiamento climatico, l'utilizzo di combustibili fossili ha favorito l'incremento della concentrazione di gas serra nell'atmosfera, che ha come effetto diretto l'innalzamento delle temperature superficiali medie globali. In relazione all'incremento delle temperature globali medie superficiali registrate dal 1951 al 2010, l'attività umana ha avuto un'influenza consistente (molto probabilmente più della metà dell'incremento ha origini antropiche). I gas serra hanno contribuito a tale riscaldamento in un range di 0,5 °C - 1,3 °C, confermandosi come la principale forzante antropica di cambiamento climatico (IPCC, 2013). Tuttavia, anche altre attività umane hanno contribuito, direttamente o indirettamente, al cambiamento climatico. La trasformazione dell'uso e della gestione del suolo dovuto all'urbanizzazione e alla deforestazione, ad esempio, ha provocato alterazioni nelle superfici tali da influenzare il clima attraverso variazioni di radiazione, nuvolosità e temperatura superficiale. Tutto ciò ha favorito la formazione di eventi meteo-climatici estremi, le cui variabili di intensità e frequenza sono destinate ad aumentare entro la fine del secolo.

Lo studio dei cambiamenti già avvenuti ha consentito la realizzazione di **proiezioni**

**climatiche**, più o meno attendibili, riguardo possibili variazioni future collegate a scenari di emissione differenti. A tal proposito, i quattro scenari ipotizzati dall'IPCC, i *Representative Concentration Pathways* (RCPs) illustrano quattro differenti probabili variazioni entro il 2100, basate sui futuri livelli di concentrazione di gas serra, più alte rispetto ai livelli attuali per effetto di un ulteriore aumento delle emissioni cumulative di CO<sub>2</sub>. Tali proiezioni riguardano cambiamenti su scala globale e regionale, e includono stime sulla probabilità che i cambiamenti si manifestino<sup>23</sup>. Il numero che li contraddistingue indica il forzante radiativo (calore immagazzinato dalla Terra quale risultato delle emissioni), espresso in W/m<sup>2</sup>, che si prevede venga raggiunto entro il 2100<sup>24</sup>. L'aumento delle concentrazioni ha effetti sia sui singoli sottosistemi climatici, quali atmosfera (incremento delle temperature, qualità dell'aria), idrosfera (innalzamento delle temperature e del livello degli oceani) e criosfera (riduzione della copertura dei ghiacci e della neve), sia sui cicli biogeochimici, ovvero sui percorsi di determinati elementi chimici attraverso i vari sottosistemi (ad es. ciclo del carbonio, dell'azoto, dell'acqua).

L'effetto principale è relativo alla variazione delle temperature superficiali globali (tab. 4) cui sono collegati altri cambiamenti, ad esempio nel regime delle precipitazioni (fig. 4). In relazione alle temperature, tutti gli scenari, eccetto RCP2.6, prevedono un probabile incremento della GMST entro la fine del XXI secolo rispetto al periodo preindustriale oltre 1,5°C. Per gli scenari RCP8.5 e RCP6.0 è probabile che superi i 2°C e per RCP4.5 è tanto probabile quanto no che superi i 2°C. Inoltre, per tutti gli scenari tranne RCP2.6 il riscaldamento continuerà oltre il 2100 (IPCC, 2013). Entro la fine del secolo l'incremento medio di temperatura sarà più elevato per la superficie terrestre (*land surface temperature – LST*) che per le acque dei mari e degli oceani (*sea surface temperature – SST*) (tab. 5).

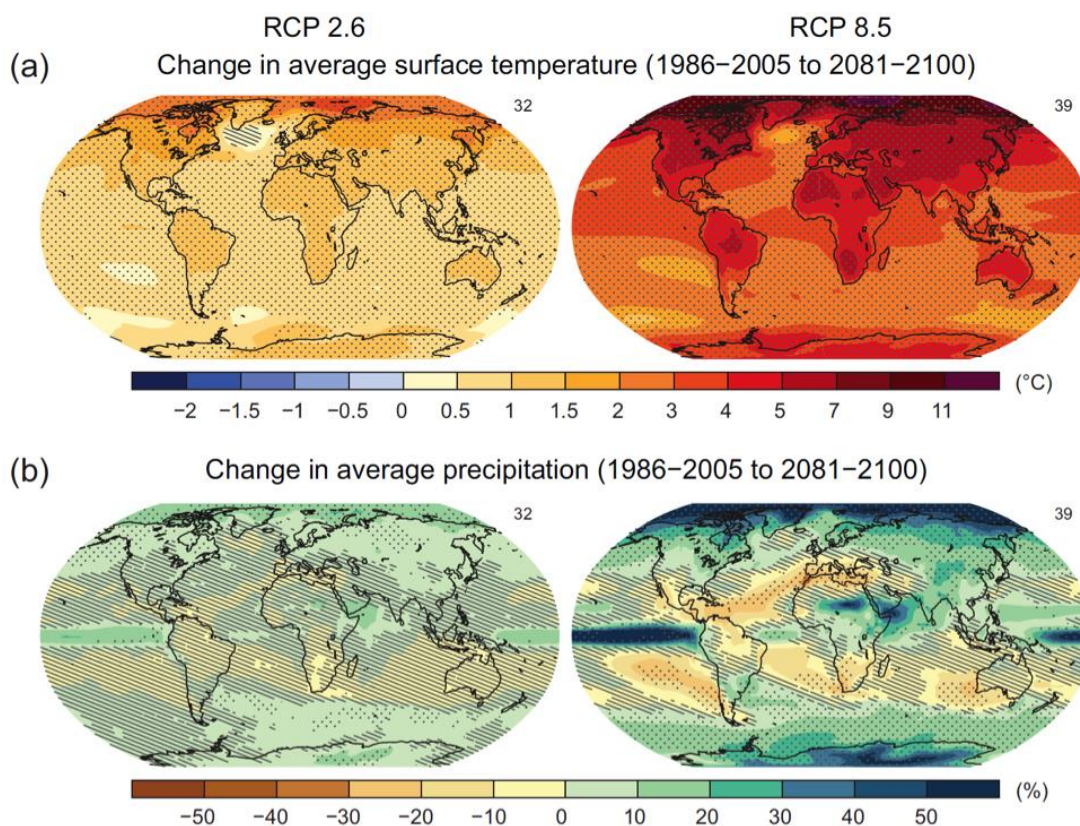
All'aumentare della temperatura superficiale media globale, rispetto al periodo 1986-2005, si rileva una grande probabilità di incremento al 2100 di aree terrestri interessate da eventi di precipitazione più frequenti e più intensi, soprattutto alle medie latitudini e nelle regioni umide tropicali (IPCC, 2013).

---

<sup>23</sup> Nel V rapporto IPCC la probabilità è espressa in termini percentuali: virtualmente certo, probabilità al 99-100%, molto probabile 90-100%, probabile 66-100%, tanto probabile quanto no 33-66%, improbabile 0-33%, molto improbabile 0-10%, eccezionalmente improbabile 0-1%. Ulteriori termini: estremamente probabile: 95-100%, più probabile che no >50-100% ed estremamente improbabile 0-5% (IPCC, 2013).

<sup>24</sup> Ogni scenario descrive una diversa entità di cambiamento climatico prodotto dalle attività umane, prevedendo un'ampia gamma di possibili azioni mitigatorie. Lo scenario RCP2.6 assume le strategie di mitigazione più aggressive, per cui le emissioni diminuiscono dopo circa un decennio, annullandosi quasi del tutto in 60 anni a partire da oggi, i due scenari intermedi RCP4.5 e RCP6.0 assumono che si intraprendano alcune iniziative di controllo delle emissioni al fine di ottenere un effetto stabilizzante, con concentrazioni entro il 2100 a circa il doppio dei livelli preindustriali. Infine lo scenario RCP8.5 denominato *Business As Usual*, è lo scenario peggiore, che non prevede l'adozione di misure mitigatorie, con concentrazioni di CO<sub>2</sub> triplicate o quadruplicate entro il 2100 rispetto ai livelli preindustriali (IPCC, 2013).

Figura 4. Variazioni dei valori di temperatura media superficiale e precipitazione relativi al periodo 2081-2100 rispetto al periodo 1986-2005 per gli scenari RCP2.6 e RCP 8.5



Fonte: IPCC, 2013

Tabella 4. Variazioni future di temperatura superficiale media globale (GMST) in °C

SCENARIO	GMST (2046–2065)		GMST (2081–2100)	
	Media	Intervallo probabile	Media	Intervallo probabile
RCP2.6	1	da 0.4 a 1.6	1	da 0.3 a 1.7
RCP4.5	1.4	da 0.9 a 2.0	1.8	da 1.1 a 2.6
RCP6.0	1.3	da 0.8 a 1.8	2.2	da 1.4 a 3.1
RCP8.5	2	da 1.4 a 2.6	3.7	da 2.6 a 4.8

Fonte: IPCC, 2013

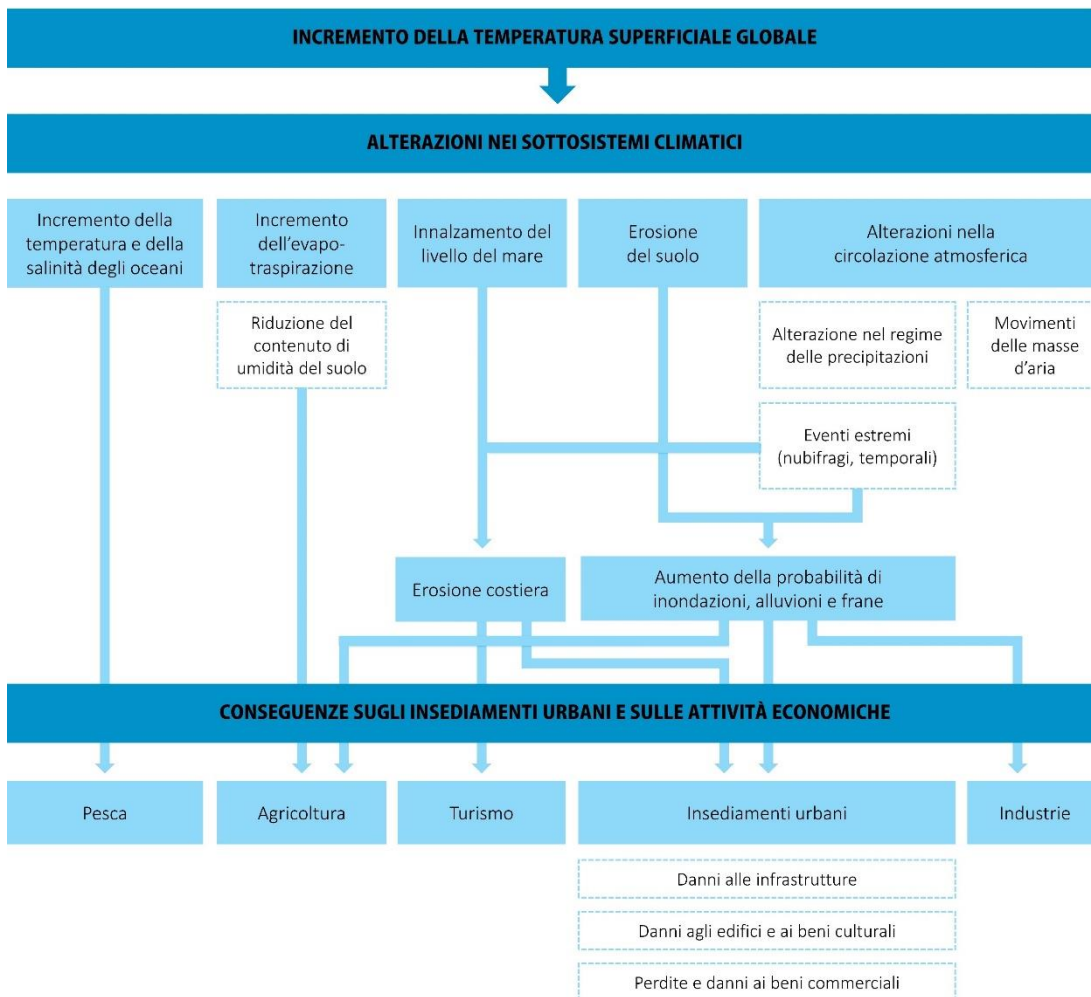
Tabella 5. Variazioni al 2100 di temperatura superficiale media terrestre (LST) e oceanica (SST) in °C

SCENARIO	LST (2081–2100)		SST (2081–2100)	
	Media	Intervallo probabile	Media	Intervallo probabile
RCP2.6	1.2	da 0.3 a 2.2	0.8	da 0.2 a 1.4
RCP4.5	2.4	da 1.3 a 3.4	1.5	da 0.9 a 2.2
RCP6.0	3.0	da 1.8 a 4.1	1.9	da 1.1 a 2.6
RCP8.5	4.8	da 3.4 a 6.2	3.1	da 2.1 a 4.0

Fonte: IPCC, 2013

Le variazioni di temperatura rappresentano il parametro climatico principale da tenere sotto controllo sia per il loro effetto diretto sull'incremento dei periodi di caldo estremo, sia per la loro influenza su altri eventuali cambiamenti nei sottosistemi (fig. 5).

Figura 5. Correlazione tra aumento della temperatura superficiale globale, principali alterazioni nei sottosistemi climatici e conseguenze in ambito urbano.



I processi e i sistemi che hanno un ruolo nelle variazioni climatiche, e che possono essere interessati da tale cambiamento in termini di impatti, sono molteplici, e la comprensione di tutte le interazioni è complicata in relazione alle numerose discipline coinvolte. Inoltre, sebbene il cambiamento climatico generalmente sia presentato come un fenomeno globale, possono verificarsi variazioni regionali o locali rispetto alle medie globali con effetti diversi nelle varie parti del mondo e sui vari sistemi, naturali e antropici. Di conseguenza, nell'interesse della presente ricerca, si evidenzia, nell'ampio scenario globale, l'esigenza di un approccio locale che approfondisca la conoscenza e l'analisi dei fenomeni e del contesto, e individui azioni di risposta *context-specific*.



## 1.2 Il progetto adattivo come risposta al cambiamento climatico

Le strategie e azioni possibili per fronteggiare gli effetti del cambiamento climatico sono molteplici e molto diverse tra loro per obiettivi, scala di applicazione spaziale e temporale e forma. Lo studio dei fenomeni descritti nel paragrafo precedente e delle implicazioni sul sistema urbano va affrontato secondo un approccio che sappia agire su più livelli in maniera ricorsiva, integrando contributi e apporti disciplinari di diversa natura. Ciò consente di arricchire il progetto di molteplici punti di vista, evitando derive esclusivamente tecnicistiche che agiscono secondo un principio di resistenza che non considera il cambiamento un dato di progetto. L'incapacità di gestire gli effetti dei fenomeni climatici nel lungo periodo talvolta può determinare un incremento del livello di impatto; di conseguenza, un approccio maggiormente flessibile, capace di "adattarsi" ai cambiamenti in atto ma anche a quelli futuri, rappresenta la strada più efficace per raggiungere non solo gli obiettivi connessi alla riduzione degli impatti climatici ma anche quelli relativi ad un miglioramento della qualità della vita su una scala più ampia.

In relazione a tali obiettivi, la Progettazione Ambientale Adattiva (*Environmental Adaptive Design*), grazie alla capacità di interagire con altri settori e con differenti contributi teorici e di operare su molteplici scale dimensionali, può dare un contributo significativo allo sviluppo *climate-adaptive* del sistema urbano.

### 1.2.1 Il ruolo della Progettazione Tecnologica in uno scenario di cambiamento

I cambiamenti in atto e previsti rendono inevitabile una revisione delle forme e modalità tipiche della Progettazione Tecnologica, chiamata a gestire il complesso rapporto tra uomo e ambiente e ad affrontare la questione ambientale con una visione sistemica, dando risposte adeguate al frequente insorgere di situazioni d'emergenza (Tucci, 2013).

In relazione agli eventi connessi al cambiamento climatico, la **Progettazione Tecnologica** punta alla riduzione degli effetti negativi sul sistema urbano attraverso azioni progettuali puntuali, mirate sul costruito, ovvero su quelle caratteristiche di spazi aperti ed edifici (morfologiche, tipologiche, costruttive, etc.) responsabili di conseguenze negative in termini economici, sociali ed ambientali. Tale riduzione può avvenire attraverso due differenti approcci:

- Mitigatorio, se agisce sulle cause, prevedendo la riduzione, da parte dell'uomo, delle fonti (*sources*) di rilascio o il potenziamento delle fonti di assorbimento (*sinks*) di gas serra (IPCC, 2014b);
- Adattivo, se agisce sugli effetti, prevedendo un processo di adeguamento al clima in atto o atteso ed ai suoi effetti (IPCC, 2014a).

Mentre nel primo caso si cerca di ridurre o eliminare la causa principale del cambiamento climatico, con risultati attesi nel lungo periodo, nel secondo caso si interviene nell'immediato, a cambiamenti già avvenuti, per ridurre la predisposizione di sistemi umani e naturali a subire effetti negativi. Le due strategie, pur differendo per costi, scala temporale e spaziale (Füssel,

2007) non sono alternative, ma complementari, così come sottolineato dall'IPCC e dall'UE (IPCC, 2014a; 2014b; EU, 2009; 2013).

In generale, le azioni di mitigazione hanno ricevuto più attenzione sia da un punto di vista scientifico che politico per svariati motivi, quali la capacità di ridurre gli impatti su ampia scala in tutti i sistemi *climate-sensitive*, la certezza e la facilità di monitoraggio dei risultati, l'applicazione del principio di causalità (Füssel, 2007). Tuttavia, bisogna considerare che le emissioni hanno già provocato cambiamenti nel clima, che continuerà a cambiare nel futuro, e che la loro concreta riduzione può essere misurata solo nel lungo periodo. Inoltre, i relativi effetti si ripercuotono localmente sull'ambiente fisico artificiale, sui servizi e sulle persone, oltre che sulle risorse naturali. Data l'elevata concentrazione in ambito urbano di popolazione, beni e servizi potenzialmente esposti e vulnerabili, è necessario che *“i sistemi urbani siano pronti a reagire di fronte al verificarsi di eventi climatici improvvisi o continui nel tempo”* (Nguyen Xuan, 2012).

Le misure di adattamento, seppur associate per un certo periodo di tempo all'accettazione passiva degli effetti dell'uomo sull'ambiente (Pielke, 1998), attualmente rappresentano una misura dalla validità ampiamente riconosciuta. Grazie alla capacità di agire localmente anche nel breve periodo e di apportare benefici ausiliari, si auspica l'integrazione di tali misure in tutte le politiche a qualsiasi livello. L'urgenza è confermata dalla rapidità con cui i cambiamenti, non solo climatici, avvengono, interessando intere comunità e territori. In tale quadro, la definizione di uno stato di equilibrio dinamico rappresenta la strada da perseguire più realistica e più efficace rispetto allo stato di perfetto equilibrio auspicato dalla sostenibilità (Angelucci et al., 2013). Tale condizione è raggiungibile solo attraverso un approccio che sappia affrontare i problemi connessi al cambiamento climatico in maniera interscalare, garantendo al contempo un uso efficiente delle risorse, la salvaguardia ambientale, la gestione ottimale dei flussi e cicli ambientali e il benessere e la salute dell'individuo.

Alla luce di tali considerazioni, la **Progettazione Ambientale**, che rientra nel più ampio campo disciplinare relativo alla Tecnologia dell'Architettura, si configura come una disciplina capace di tenere insieme tali aspetti, chiamata non solo ad attuare interventi ambientalmente consapevoli, capaci di rispettare o ripristinare i cicli naturali, ma anche ad operare contemporaneamente su molteplici dimensioni e livelli, esaltando le differenze e la complessità del sistema insediativo.

Il lungo percorso evolutivo che ha riguardato la cultura tecnologica nel secolo scorso ha visto affermarsi l'esigenza di un approccio progettuale sempre più adattivo, capace di dar vita ad un *“progetto continuo e flessibile, negli obiettivi e nelle risposte”* (Angelucci et al., 2013), finalizzato al miglioramento della qualità ambientale del sistema urbano su tre dimensioni: ecologico-ambientale, organizzativo-procedurale e tecnologico-spaziale. Il **progetto adattivo** opera altresì su diversi livelli, o scale spaziali, mettendo a sistema tutte le azioni previste, dalla città all'edificio, concepite a partire dal riconoscimento delle criticità e fragilità proprie del contesto. Tale conoscenza rappresenta un indispensabile punto di partenza per poter individuare, in relazione al fenomeno climatico oggetto di studio, le zone sensibili,



ovvero gli *hotspot* sui quali indirizzare prioritariamente l'intervento. Avendo come obiettivo principale la riduzione degli impatti sul sistema urbano, il progetto adattivo interviene soprattutto per ridurre le vulnerabilità (ad es. migliorando le prestazioni offerte dagli edifici rispetto ad uno specifico evento meteorologico) piuttosto che l'esposizione degli elementi colpiti (ad es. delocalizzando popolazione, comunità o particolari funzioni)<sup>25</sup> in quanto punta a migliorare quelle caratteristiche fisiche riconosciute come criticità. In aggiunta, il progetto adattivo va anche oltre gli obiettivi strettamente connessi alle questioni climatiche, garantendo numerosi co-benefit per la salvaguardia del benessere e della sicurezza della popolazione e il miglioramento della qualità dei sistemi insediativi. Ciò implica trasformazioni sostanziali sia nei comportamenti degli utenti sia nel patrimonio fisico, strettamente dipendenti dalle caratteristiche intrinseche di ciascun elemento e dalle relazioni esistenti tra essi.

Un progetto adattivo efficace non guarda alla singola soluzione o intervento su uno specifico elemento, ma all'insieme. Introducendo nuove relazioni e processi tra gli elementi che costituiscono il sistema urbano, o modificando quelli esistenti, ne determina il funzionamento, indirizzandolo verso uno sviluppo *climate-friendly* (Ministry of Interior, Hungary, 2011). A tal proposito, un sistema urbano che possa ritenersi adattivo deve possedere alcune caratteristiche che il progetto tecnologico ambientale non può ignorare. Flessibilità, intraprendenza, capacità di imparare e dinamismo sono solo alcune proprietà "adattive", riassumibili con il concetto di capacità adattiva<sup>26</sup> e traducibili in specifici requisiti progettuali. Esse presumono una co-evoluzione adattiva dell'interno sistema urbano, che va oltre le potenzialità ecologiche o tecniche, in cui il ruolo della popolazione nel processo di trasformazione è determinante (Angelucci et al., 2013). L'individuazione di caratteristiche "adattive", interpretabili come variabili *proxy* per successive misurazioni, consente di verificare l'efficacia del progetto e delle singole misure adottate in relazione all'ambito di intervento.

L'inquadramento di operazioni puntuali nell'ambito di una strategia diffusa può avere ripercussioni positive non solo a livello locale, ma anche su una scala più ampia, che travalica i confini geografici o amministrativi. Al di là delle specificità locali che lo caratterizzano, il progetto adattivo ha come obiettivo ultimo la trasferibilità e ripetibilità dei metodi e processi attuati localmente in contesti diversi, offrendo così un fondamentale contributo all'adattamento globale.

### 1.2.2 Caratteristiche e tipologie di adattamento climatico

In relazione agli scenari globali e regionali delineati da enti nazionali e internazionali che si occupano di cambiamento climatico (IPCC, WMO, CMCC), la maggior parte delle città è in estremo ritardo riguardo l'adozione di strategie e azioni volte a fronteggiare nel breve termine e alla scala locale gli impatti di fenomeni meteo-climatici, estremi e non, sull'ambiente

<sup>25</sup> Per approfondimenti riguardo i concetti di esposizione e vulnerabilità, si veda il capitolo 2.

<sup>26</sup> Per approfondimenti sul concetto di capacità adattiva (*adaptive capacity*), si veda il sotto-par. 1.2.2.

costruito e la popolazione. È opportuno individuare, nell'ambito di strategie ampiamente condivise da indirizzi e linee guida internazionali, misure e soluzioni tecniche mirate a favorire l'adattamento dei singoli elementi colpiti e del sistema urbano nella sua totalità.

Il termine **adattamento**, così come utilizzato nel campo dei cambiamenti globali, ha origine nell'ambito delle scienze naturali, in particolare dell'ecologia e della biologia evolutiva, per definire le caratteristiche comportamentali o genetiche che consentono agli organismi o ai sistemi di far fronte ai cambiamenti ambientali in maniera tale da sopravvivere e riprodursi<sup>27</sup> (Smit & Wandel, 2006). Successivamente, ad opera di antropologi, ecologi culturali ed archeologi, il termine è stato applicato anche ai sistemi umani in relazione al concetto di selezione naturale: coloro i quali riescono ad attuare processi di adattamento, aggiungono metodi nuovi e perfezionati al loro repertorio culturale per fronteggiare i cambiamenti (O'Brien & Holland, 1992).

In relazione ai cambiamenti climatici esistono numerose definizioni di adattamento (box 1.1): in generale, è possibile definirlo come quel processo, azione o risultato che consente ad un sistema colpito negativamente (famiglia, comunità, gruppo, settore, regione, paese) di affrontare, gestire o regolare meglio le condizioni di cambiamento, stress, pericolo, rischio o opportunità (Smit & Wandel, 2006). Come specificato dal V rapporto IPCC, l'adattamento, nei sistemi umani, cerca di limitare o evitare i danni o di sfruttare le opportunità favorevoli (IPCC, 2014a), rappresentando un aggiustamento delle caratteristiche e del comportamento del sistema stesso, al fine di migliorare la sua capacità di far fronte agli stress climatici esterni (Brooks, 2003) e quindi ridurre la sua vulnerabilità (Pielke, 1998; IPCC, 2001).

#### BOX 1.1 Definizioni di adattamento climatico

L'adattamento climatico è il processo attraverso il quale le persone riducono gli effetti avversi del clima sulla loro salute e benessere, e traggono vantaggio dalle opportunità che il loro ambiente climatico fornisce.	Burton, 1992
L'adattamento al cambiamento climatico include tutti gli aggiustamenti nei comportamenti o nella struttura economica che riducono la vulnerabilità della società ai cambiamenti del sistema climatico.	Smit et al., 1996
Aggiustamento nel comportamento individuale, di gruppo e istituzionale al fine di ridurre la vulnerabilità della società al clima.	Pielke, 1998
Aggiustamento nei sistemi ecologici, sociali o economici in risposta a stimoli attuali o attesi e ai loro effetti o impatti. Tale termine si riferisce a cambiamenti nei processi, nelle pratiche e nelle strutture per moderare i potenziali danni o trarre beneficio dalle opportunità associate al cambiamento climatico.	Smit & Pilifosova, 2001 (IPCC - TAR)
Tutti i cambiamenti in un sistema che riducono gli effetti avversi del cambiamento climatico.	Füssel & Klein, 2003
Processo o risultato di un processo che conduce alla riduzione del danno o del rischio di danno o alla realizzazione di benefici, associati alla variabilità climatica e al cambiamento climatico.	Willows & Connell, 2003 (UKCIP)

<sup>27</sup> Nell'ambito delle scienze naturali gli organismi e i sistemi possono adattarsi ai cambiamenti attuali e futuri con cambiamenti nella morfologia (adattamento strutturale), nelle funzioni svolte (adattamento fisiologici) o nei comportamenti (adattamento comportamentali), talvolta in combinazione tra loro.

Aggiustamenti nel comportamento e nelle caratteristiche del sistema tali da migliorare la sua abilità di fronteggiare gli stress esterni.	Adger et al., 2004
Processo con il quale vengono migliorate, sviluppate e implementate strategie per moderare, fronteggiare e trarre vantaggio dalle conseguenze degli eventi climatici.	Lim et al., 2005 (UNDP)
Aggiustamento nei sistemi umani o naturali in risposta a stimoli climatici attuali o attesi o ai loro effetti, il quale modera il danno o sfrutta opportunità favorevoli. Si possono distinguere diversi tipi di adattamento, anticipatorio, autonomo e pianificato.	IPCC, 2007
Processo di aggiustamento ai cambiamenti climatici attuali e attesi, o agli effetti del cambiamento climatico sui sistemi sociali ed ecologici. L'adattamento mira a moderare il danno al benessere umano associato a tali cambiamenti e a sfruttare le potenziali opportunità favorevoli.	Spearman & McGray, 2011
Processo di aggiustamento al clima attuale o atteso e ai suoi effetti. Nei sistemi umani, l'adattamento cerca di moderare o evitare il danno o sfruttare le opportunità favorevoli. Le principali tipologie di adattamento sono di tipo incrementale e trasformativo.	IPCC, 2014b

Sebbene presentino alcuni aspetti in comune, dalle definizioni illustrate nel box 1.1 emerge la relatività del concetto di adattamento. In generale, la definizione di tale concetto richiede l'individuazione del fenomeno a cui adattarsi (*adaptation to what?*, ad es., stress climatici), del sistema di interesse (*who or what adapts?*, ad es., sistema urbano, popolazione) e dei processi e tipologie coinvolte (*how does adaptation occur?*) (Smit et al., 2000; Smit & Pilifosova, 2001). Le definizioni proposte si riferiscono tutte a processi di aggiustamento in risposta a variazioni climatiche, ma presentano differenze in relazione agli scopi, all'applicazione e all'interpretazione del termine adattamento. Ad esempio, in relazione al primo interrogativo, alcuni autori si riferiscono al cambiamento climatico in generale, altri alla variabilità o solamente al clima. Inoltre, anche in relazione alla scala temporale c'è disaccordo, con riferimenti a condizioni passate, attuali o future (Smit et al., 2000). Altre differenze riguardano la definizione di chi e cosa necessita di adattamento (persone, settori e attività sociali ed economiche e sistemi naturali ed ecologici oppure pratiche, processi e strutture dei sistemi) e delle relative caratteristiche, che ne influenzano la propensione all'adattamento<sup>28</sup>. Tra queste ultime, particolare attenzione merita la **capacità adattiva** (*adaptive capacity*) che, a seguito delle progressive evoluzioni teoriche e concettuali, si configura attualmente come un fattore determinante, propedeutico all'individuazione di opportune misure di adattamento. È definita come l'abilità dell'elemento o sistema considerato di adattarsi, ovvero come la capacità di adeguarsi, di sfruttare le opportunità o di far fronte alle conseguenze. Relativa all'ambito di intervento, è una caratteristica intrinseca del sistema relativa alla capacità di modificare o cambiare le proprie caratteristiche o comportamenti in maniera da fronteggiare meglio gli stress climatici esterni esistenti o futuri (Adger et al., 2004). Dipendente al set di risorse disponibili, dalla capacità di usarle in maniera efficace, dall'abilità di apprendimento e dalle

<sup>28</sup> Tra le caratteristiche citate da Smit et al. (2000): sensitività, suscettibilità, vulnerabilità, impatto potenziale, stabilità, robustezza, resilienza, resistenza, flessibilità, *coping ability*, reattività, capacità adattiva, adattabilità.

misure di *governance* previste, la capacità adattiva è direttamente correlata al concetto di vulnerabilità, mirando alla sua riduzione attraverso uno sviluppo sostenibile (Smit & Pilifosova, 2001; Lim et al., 2005; Smit & Wandel, 2006). In termini pratici, rappresenta l'abilità di progettare e implementare strategie di adattamento efficaci, o di reagire ad *hazard* e stress mutevoli, così da ridurre la probabilità di occorrenza e/o la magnitudo di effetti negativi risultanti dagli *hazard* climatici (Brooks & Adger, 2005).

I fattori determinanti, *driver*, che influenzano la capacità adattiva di un sistema o di un singolo elemento sono relativi a condizioni di contesto più ampie; l'adattamento avviene in una dimensione sociale, economica, ecologica, biofisica e politica dinamica, che varia in relazione al tempo, al luogo e al settore (Smit & Pilifosova, 2001; Smit & Wandel, 2006). Le principali caratteristiche che influenzano la capacità adattiva sono la capacità gestionale, le risorse economiche, la tecnologia, l'informazione, le competenze, le infrastrutture, le istituzioni e l'equità. Tali fattori, variabili nel tempo, sono interdipendenti, e l'*adaptive capacity* è il risultato di una combinazione dinamica tra essi (Smit & Pilifosova, 2001; Smit & Wandel, 2006).

Così individuata, la capacità adattiva consente di determinare i mezzi per implementare iniziative di adattamento: le modalità e forme con cui esso si manifesta sono strettamente correlate al contesto e variabili nel tempo in relazione alle mutevoli condizioni locali (Füssel, 2007). L'adattamento non comprende un set di attività già definite, in quanto dipende da molteplici variabili (*climate-sensitive domains*, tipo di *hazard* climatico, prevedibilità, condizioni non climatiche, attori coinvolti, orizzonte temporale, intenzionalità, etc.) (Füssel, 2007), in relazione alle quali è possibile individuare i **tipi di adattamento** esposti in tabella 6. Essi possono riferirsi sia al processo da intraprendere sia ai risultati.

L'adattamento può essere quindi classificato in base a molteplici variabili e le tipologie che ne scaturiscono possono talvolta coesistere: ad esempio, è possibile ritrovare azioni di adattamento proattivo che sono il risultato di processi di pianificazione strategici, e quindi scaturite da una premeditazione con obiettivi a lungo termine.

Tuttavia, la distinzione più rilevante ai fini della presente ricerca è tra adattamento reattivo e proattivo: si differenziano in relazione al momento in cui avviene (*timing*), agli obiettivi e alla durata (Klein, 2003). L'adattamento reattivo affronta impatti già presenti ed inevitabili, con azioni a breve termine, mirando alla riduzione degli stessi nell'immediato (ad es. fornendo assistenza d'emergenza alle vittime di inondazioni).

Tabella 6. Classificazione dei diversi tipi di adattamento

Variabili e caratteristiche dell'adattamento		Tipi di adattamento
Intenzionalità ( <i>Purposefulness</i> )	Spontaneo	Autonomo
	Premeditato	Pianificato
Temporalità ( <i>Timing</i> )	Anticipatorio	Proattivo
	Simultaneo	Simultaneo
	Responsivo	Reattivo
Scala temporale ( <i>Duration</i> )	Breve termine	Tattico
	Lungo termine	Strategico
Scala spaziale/intenzione istituzionale	Scala locale	Localizzato
	Scala regionale/nazionale	Diffuso
Responsabilità	Famiglie, Produttori, Aziende	Privato
	Comunità, Governo locale	Pubblico
Forma		Tecnologico
		Comportamentale
		Finanziario
		Istituzionale
		Gestionale/organizzativo
		Strutturale

Fonti: Smit et al., 2000; Smit & Pilifosova, 2001; Smit & Skinner, 2002; Füssel, 2007

Nonostante le istituzioni preposte al controllo e alla gestione degli impatti climatici abbiano fondato le relative politiche di intervento quasi esclusivamente su una risposta reattiva, le istanze poste dal cambiamento climatico richiedono il superamento di tale approccio, attraverso la ricerca di nuovi modi per anticipare e gestire gli impatti ad esso collegati. Ciò rende necessari l'accettazione di un livello di impatti residuali e la comprensione della natura dinamica degli impatti, non dipendenti solo dai parametri climatici. I rapidi cambiamenti avvenuti negli ultimi decenni connessi alla crescita socio-economica, ai movimenti di popolazione su vasta scala e alla progressiva alterazione degli usi del suolo e degli ecosistemi hanno reso inadeguate le strategie reattive. Definite molto tempo prima per un territorio completamente diverso, sono ora incapaci di rispondere efficacemente agli impatti avvenuti.

Al contrario, l'adattamento proattivo avviene prima che gli impatti siano evidenti. Le azioni a medio-lungo termine che lo caratterizzano sono finalizzate alla riduzione degli impatti futuri, ovvero dell'esposizione e della vulnerabilità dei sistemi potenzialmente colpiti (ad es. evitando lo sviluppo su aree a rischio inondazione) (Klein, 2003; Burton et al., 2006), rivelandosi più efficaci nonostante un maggiore investimento iniziale. La natura anticipatoria rende preferibili le strategie di adattamento proattive; tuttavia, il verificarsi di impatti residuali richiede approcci reattivi per consentire la ripresa degli elementi colpiti (Klein, 2003). Di conseguenza un approccio combinato rappresenta la risposta più adeguata per contrastare gli effetti prodotti dai fenomeni relativi al cambiamento climatico sul sistema urbano.





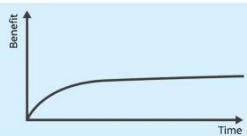
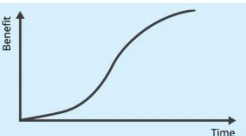
Al di là della soluzione ideale, le amministrazioni si ritrovano ad adottare approcci differenti a seconda delle circostanze, degli attori coinvolti e del livello di partenza in termini di conoscenza e applicazione. La gestione degli impatti attraverso un adattamento di tipo reattivo o proattivo ha portato all'identificazione di tre approcci differenti per livello di lungimiranza, capacità di prevenzione e integrazione:  ***coping*** ,  ***incremental***  e  ***transformational adaptation***  (EEA, 2016). I primi due approcci si caratterizzano per un'azione reattiva di risposta immediata all'impatto: mentre il primo prevede esclusivamente misure passive volte a ripristinare le condizioni di vita correnti, il secondo, in aggiunta, comprende anche l'ottimizzazione e il miglioramento di misure già esistenti con finalità di protezione e prevenzione degli impatti negativi futuri (EEA, 2016). In alternativa, il terzo approccio prevede un intervento più radicale di trasformazione che, attraverso soluzioni innovative, miri a migliorare le condizioni e la qualità della vita trasformando gli impatti in opportunità (EEA, 2016).

I tre approcci si sovrappongono e la presenza di vantaggi e svantaggi di natura diversa richiede un'attenta valutazione da parte dei decisori pubblici delle rispettive caratteristiche, al fine di individuare la combinazione ottimale di misure da adottare in relazione al caso specifico (EEA, 2016). Considerato l'incremento a lungo termine di intensità e frequenza di eventi estremi  *climate-driven* , in molte città europee gli approcci  *coping*  e  *incremental*  potrebbero non essere sufficienti a fronteggiare gli impatti risultanti. Nella progettazione e implementazione di strategie trasformative bisogna considerare che, sebbene più efficaci, esse richiedono capacità, risorse e tempi di realizzazione elevati, con effetti visibili nel lungo periodo. L'esplorazione di nuove tecnologie e metodi per risolvere le sfide di adattamento in maniera "trasformativa" comporta costi e tempi di sviluppo maggiori che negli altri due casi. Tuttavia, esse presentano anche un'elevata flessibilità, che rendono le misure adattabili a sopraggiunti imprevisti (EEA, 2016). Di conseguenza, nel breve periodo, solitamente prevalgono misure di  *coping*  e  *incremental adaptation* , in quanto in molte città non ci sono condizioni politiche e socio-economiche tali da consentire una trasformazione su larga scala.

Le caratteristiche evidenziate in tabella 7 rivelano una certa complementarità tra i tre approcci: sebbene non efficaci nel lungo periodo, le misure di  *coping*  e  *incremental adaptation* , utilizzate per fronteggiare nell'immediato gli impatti, si rivelano utili anche per preparare il terreno verso un successivo adattamento trasformativo, in maniera tale da guadagnare tempo necessario alla preparazione dei cambiamenti previsti (EEA, 2016).



Tabella 7. Caratteristiche dei differenti approcci di adattamento

	<b>Coping</b>	<b>Incremental</b>	<b>Transformational</b>
<b>Finalità</b>	 <p>Ristabilire le condizioni di vita prima del disastro Ridurre gli impatti negativi del disastro</p>	 <p>Ristabilire le condizioni di vita prima del disastro Ridurre gli impatti negativi del disastro Proteggere la qualità della vita in condizioni esterne mutevoli Prevenire gli impatti negativi dei disastri</p>	 <p>Ristabilire le condizioni di vita prima del disastro Ridurre gli impatti negativi del disastro Proteggere la qualità della vita in condizioni esterne mutevoli Prevenire gli impatti negativi dei disastri Migliorare/cambiare le modalità e la qualità della vita in condizioni esterne mutevoli</p>
<b>Management</b>	Gestione reattiva del cambiamento, focalizzata sulle condizioni attuali	Gestione reattiva del cambiamento, focalizzata sulle condizioni attuali La gestione del cambiamento mira a trovare modi per rimettere in attività il sistema	Gestione pianificata del cambiamento La gestione del cambiamento si interroga sull'efficacia di processi e sistemi esistenti
<b>Orizzonte temporale</b>	Fronteggia il disastro nel presente Considera i livelli di rischio presenti	Lungimirante, da breve a medio-termine: focus sulle condizioni presenti e sui cambiamenti a breve-termine; le incertezze future non sono considerate Sufficiente per bassi livelli di cambiamento (ad es., 1,5-2 °C)	Lungimirante, visione a lungo-termine: focus sui cambiamenti futuri e a lungo-termine; le incertezze future sono integrate nei processi decisionali Preparazione per livelli di cambiamento più alti (ad es., 4-6 °C)
<b>Pianificazione</b>	<i>Disaster driven</i> : fronteggia le conseguenze Budget per finanziare le emergenze Coinvolgimento di stakeholder finalizzato all'azione (soprattutto professionisti) Strumento prevalente: piano di gestione del rischio	Implementazione centrata su opportunità e necessità Assegnazione di budget regolare ma limitato Coinvolgimento di stakeholder finalizzato al progetto Strumenti prevalenti: piano di zonizzazione, regolamento edilizio	Implementazione centrata sui programmi Strategica, in accordo con la prospettiva sistemica a lungo termine Sostenuta sul lungo periodo da programmi di sviluppo e gestione Sviluppo di finanziamenti e flussi finanziari collegati a politiche di pianificazione a lungo termine Coinvolgimento ampio e integrato degli stakeholder Strumento prevalente: programma di sviluppo urbano sostenibile
<b>Scala/integrazione</b>	Orientamento settoriale e locale, con piccole connessioni all'area più vasta (ad es., bacino, regione) Rischio elevato di <i>mal-adaptation</i>	Cambiamento piccoli, discreti e interni al sistema Orientamento principalmente settoriale e locale con modeste connessioni all'area più vasta (ad es., bacino, regione) Rischio elevato di <i>mal-adaptation</i>	Prospettiva multi-sistemica e integrazione di adattamento e mitigazione Integrazione tra settori ambientali e socio-economici e tra differenti livelli di <i>governance</i> Basso rischio di <i>mal-adaptation</i>
<b>Visione del cambiamento</b>	Cambiamento visto come un rischio Applica tecnologie e approcci noti Lezioni apprese da esperienze passate	Cambiamento visto come un rischio Applica e incrementa l'efficienza di tecnologie e metodi noti	Cambiamento visto come opportunità Cambiamenti strutturali fondamentali Esplora soluzioni alternative e innovative per sostituire o integrare soluzioni tradizionali
<b>Benefici nel tempo</b>			

Fonte: rielaborata da EEA (2016)

### 1.2.3 Le politiche europee e nazionali a supporto dell'adattamento urbano

L'importanza degli enti locali nei processi decisionali che riguardano l'adattamento alla scala locale è ampiamente riconosciuta a livello europeo (EEA, 2012; EEA, 2016) e supportata attraverso iniziative e politiche specifiche, ricerche e finanziamenti. A partire dal **Patto dei Sindaci** (Covenant of Mayors), iniziativa lanciata nel 2008 dalla Commissione Europea (EC)<sup>29</sup>,

<sup>29</sup> L'iniziativa ha l'obiettivo di riunire gli enti locali che volontariamente si impegnano a raggiungere e superare gli obiettivi comunitari in materia di clima ed energia stabiliti con il Pacchetto europeo per il clima e l'energia EU 2020



inizialmente centrata su obiettivi di mitigazione a livello europeo che si è progressivamente estesa ai nuovi obiettivi di adattamento<sup>30</sup> e ad altri paesi<sup>31</sup>, coinvolgendo la maggior parte delle città in tutto il mondo. Parallelamente, la Commissione Europea ha lavorato molto per favorire l'inserimento nelle politiche comunitarie e nazionali delle iniziative di adattamento la cui importanza, a differenza della mitigazione, è stata compresa solo di recente. La EC ha lavorato parallelamente su più fronti, attraverso documenti strategici di indirizzo per gli stati membri, finanziamenti pubblici e piattaforme divulgative.

In relazione all'obiettivo più generale di costruzione di un'Europa resiliente, la **Strategia Europea di Adattamento ai Cambiamenti Climatici** approvata nel 2013 (EU Adaptation Strategy) si articola in 3 obiettivi principali: 1) incoraggiare gli stati membri a dotarsi di una propria strategia nazionale (National Adaptation Strategy – NAS); 2) garantire processi decisionali di adattamento consapevoli; 3) integrare l'adattamento nelle politiche settoriali. Riguardo al primo punto, l'azione istituzionale è incoraggiata soprattutto nei casi in cui si tocchino tematiche trasversali, transfrontaliere o intersettoriali. Pur non avendo specifiche responsabilità verso le città, la Commissione conferisce un ruolo di primo piano ai governi locali, chiamati ad impegnarsi secondo il modello del Patto dei Sindaci (EC, 2013a). La promozione dell'azione nazionale e locale è supportata da apposite linee guida che individuano un processo, composto di 6 fasi, raccomandato agli stati membri per sviluppare e attuare tramite piani d'azione (National Adaptation Plan – NAP) le proprie strategie di adattamento<sup>32</sup> (EC, 2013b). In relazione al secondo obiettivo, la EC prevede il rafforzamento della conoscenza (box 1.2) attraverso il programma di finanziamento dedicato alla ricerca e all'innovazione Horizon 2020 e l'aggiornamento della piattaforma Climate-ADAPT (European Climate Adaptation Platform) per consentire un migliore accesso alle informazioni e una maggiore interazione con le altre piattaforme online (EC, 2013a). Infine, rispetto al terzo obiettivo la Commissione punta all'integrazione dell'adattamento nei programmi e politiche comunitarie relativi a diversi settori (agricoltura e foreste, pianificazione spaziale marittima e

---

approvato nel 2008 (riduzione di oltre il 20% delle emissioni entro il 2020, redazione di un piano d'azione per l'energia sostenibile).

<sup>30</sup> Dopo il lancio nel 2014 da parte della Commissione Europea dell'iniziativa Mayors Adapt, focalizzata su obiettivi di adattamento al cambiamento climatico e fondata sui medesimi principi e sullo stesso modello di governance del Covenant of Mayors, nel 2015 si ha una fusione tra le due iniziative, che dà vita al nuovo **Patto integrato dei Sindaci per il Clima e l'Energia** (Covenant of Mayors for Climate and Energy). Il programma è più ampio e ambizioso del precedente patto: i nuovi firmatari si impegnano a ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> di almeno il 40% entro il 2030 e ad adottare un approccio integrato per affrontare la mitigazione e l'adattamento (per maggiori informazioni: <https://goo.gl/GAQ5po>).

<sup>31</sup> Il 1° gennaio 2017 è stato lanciato ufficialmente il **Patto Globale dei Sindaci per il Clima e l'Energia** risultato della fusione tra Covenant of Mayors e Compact of Mayors. Il nuovo Patto comprende, attualmente, oltre 7,000 enti locali e regionali in 57 paesi in tutto il mondo che possono sfruttare la forza di un movimento multi-stakeholder a livello mondiale e il supporto tecnico e metodologico offerto da diversi uffici dedicati (Patto dei Sindaci, n.d.).

<sup>32</sup> Le 6 fasi previste dalla EU Adaptation Strategy sono: 1) preparare il terreno per l'adattamento attraverso la creazione di una serie di assetti istituzionali e attività organizzative (come la realizzazione di una piattaforma nazionale sull'adattamento ai cambiamenti climatici); 2) valutare i rischi e le vulnerabilità ai cambiamenti climatici; 3) identificare le opzioni di adattamento; 4) valutare le opzioni di adattamento tra cui la valutazione costi-benefici delle misure di adattamento, e lo sviluppo e l'adozione di una strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici; 5) attuare la strategia che implica lo sviluppo di un piano di azione e/o di un piano di settore con l'assegnazione dei ruoli e delle responsabilità, assicurando le risorse umane e finanziarie nel lungo termine; 6. monitorare e valutare l'attuazione della strategia (piano di azione e/o piano di settore) (EC, 2013b).

gestione costiera integrata, energia, gestione e prevenzione del rischio di disastro, trasporti, ricerca, salute e ambiente).

### **BOX 1.2** Indirizzi europei per il rafforzamento della *knowledge base* a supporto del progetto adattivo

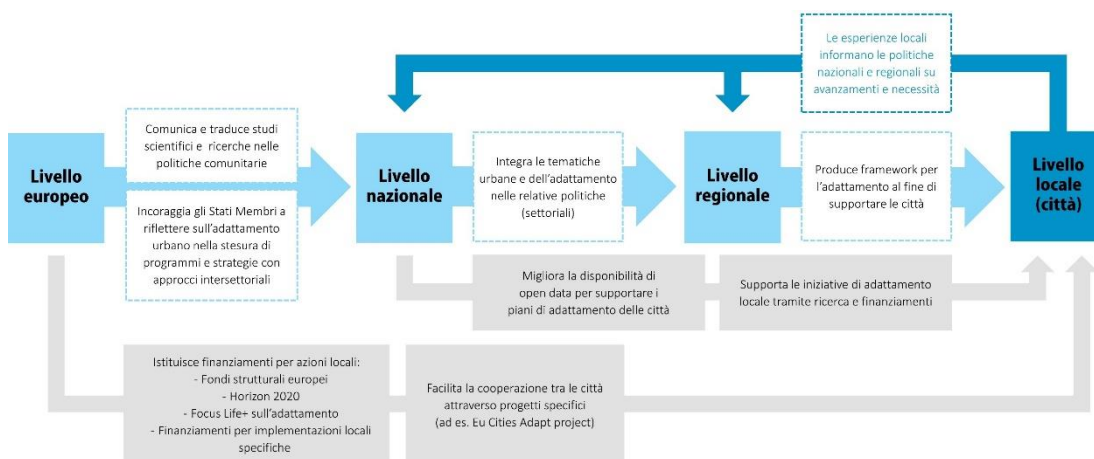
La strategia europea di adattamento e le relative linee guida, nell'affermare la necessità di sviluppare piani di adattamento a livello locale, pongono grande rilevanza alle questioni riguardanti sia la conoscenza dei fenomeni climatici, delle vulnerabilità e degli impatti risultanti sia le modalità di verifica e monitoraggio delle azioni intraprese (EC, 2013a, EC, 2013b). Già nel *framework* sull'adattamento proposto nel *White Paper* del 2009, la Commissione Europea individua tra gli obiettivi fondamentali lo sviluppo della conoscenza di base, fondata su dati attendibili, in relazione agli impatti climatici, alla vulnerabilità e ai costi e benefici delle misure di adattamento (EC, 2009). Gli obiettivi e le azioni programmate a livello europeo derivano dal riconoscimento di una serie lacune in ambito scientifico, di cui si auspica il superamento attraverso nuove modalità di condivisione globale (*web-platform*) e lo sviluppo di metodi, modelli e strumenti di previsione, valutazione e stima, al fine di consentire l'integrazione effettiva dell'adattamento nelle politiche di qualsiasi livello.

I principali *knowledge gaps* a livello di competenze individuati dalla Commissione Europea riguardano: 1) informazioni su danni, costi e vantaggi dell'adattamento; 2) analisi e valutazioni del rischio a livello regionale e locale; 3) quadri di riferimento, modelli e strumenti a sostegno del processo decisionale e della valutazione dell'efficacia delle varie misure di adattamento; 4) strumenti di monitoraggio e valutazione delle iniziative di adattamento già realizzate (EC, 2013a). Parallelamente, l'EEA individua 8 ambiti che necessitano di un miglioramento delle conoscenze, tra cui: 1) esperienze di adattamento già realizzate; 2) adattamento locale e regionale (regione Mediterranea e aree urbane e territori circostanti); 3) strumenti e sistemi di monitoraggio delle vulnerabilità, degli impatti e dell'adattamento (EEA, 2017). Si riscontra quindi la necessità di rafforzare la *knowledge base* (base di conoscenza) al fine di informare le politiche di settore e arricchire i progetti locali tramite processi decisionali consapevoli. Ciò richiede la combinazione di ricerca ed esperienza progettuale nell'implementazione delle politiche e azioni di adattamento, anche attraverso progetti dimostrativi che possano ampliare i casi studio disponibili (EEA, 2017). Ancora una volta emerge l'importanza del progetto locale che, nello studio dei fenomeni climatici, delle vulnerabilità e degli impatti specifici sul territorio, può determinare un significativo aggiornamento delle politiche, generali o di settore, informando anche quelle di livello superiore secondo il modello di *multilevel governance* già descritto (fig. 7). Le esperienze condotte in tutta Europa, insieme a innovazioni e nuove ricerche, possono migliorare la conoscenza anche in relazione all'efficacia delle azioni di adattamento condotte o previste.

Da quanto indicato a livello europeo, uno degli obiettivi prioritari del progetto di adattamento al cambiamento climatico è la definizione di appropriate metodologie di conoscenza del sistema urbano e di verifica e monitoraggio dei risultati ottenuti. La duplice complessità del sistema urbano determina una serie di problematiche relative ai modi per conoscere, spiegare e interpretare la realtà, in relazione sia alle sue caratteristiche intrinseche sia all'interazione con determinati fenomeni climatici. La quantità e varietà di informazioni necessarie a descrivere i rapidi cambiamenti cui le città sono soggette (fisici, culturali, sociali, climatici, etc.) richiedono la costruzione di una *knowledge base* strutturata a livello locale, che comprenda un insieme complesso di dati e informazioni di varia natura (ad es., dati statistici, indicatori, modellazioni, valutazioni integrate, valutazioni politiche, casi studio, *best practice*) aggiornabile nel corso del tempo e disponibile pubblicamente per favorire la diffusione della conoscenza e consentire ulteriori elaborazioni.

Al fine di consentire il raggiungimento degli obiettivi di adattamento, la strategia afferma l'importanza di garantire un opportuno coordinamento tra i diversi livelli di governo, da articolare secondo il concetto di *multilevel governance* (EEA, 2012; EEA, 2016). Attraverso un'azione coordinata, illustrata in figura 6, la comunità europea e le nazioni che la costituiscono devono supportare regioni e comuni nell'implementazione di misure di adattamento *place-based*, attraverso un processo di interazione che mira alla risoluzione collettiva dei problemi climatici (EEA, 2012; EEA, 2016).

Figura 6. Ruoli e responsabilità istituzionali nell'adattamento climatico nel quadro della multilevel governance



Fonte: ridisegnata da Kazmierczak et al. (2013)

In tal modo si garantisce un duplice contributo, dagli enti sovraordinati verso gli enti locali e viceversa. Laddove gli enti locali riscontrino difficoltà e limitazioni dovute alla scala di intervento, alle risorse economiche o al potere giurisdizionale, possono fare ricorso a forme di cooperazione orizzontale con altre municipalità, o verticale con enti regionali e statali (EEA, 2012; EEA, 2016). In aggiunta, le esperienze condotte a livello locale possono costituire un avanzamento tale da aggiornare le politiche nazionali e regionali (EEA, 2016) o da rappresentare un esempio per altre città che stanno avviando azioni di adattamento. Ciò consente di colmare il vuoto rispetto a quelle città che hanno avviato pionieristicamente azioni di adattamento già da diversi anni.

Oltre la definizione di politiche di indirizzo, il contributo europeo all'adattamento delle città si è esplicitato anche attraverso l'erogazione di numerosi finanziamenti attraverso programmi creati ad hoc<sup>33</sup> (LIFE, URBACT, Interreg, etc.) e la diffusione di studi e ricerche attraverso la già citata piattaforma web **Climate-ADAPT**<sup>34</sup>. Inaugurata nel 2011, nasce per diffondere la conoscenza dei fenomeni climatici attesi e delle vulnerabilità di determinate regioni e settori<sup>35</sup>

<sup>33</sup> Per approfondimenti riguardo 11 città europee che hanno avviato azioni di adattamento, e sulle relative forme di finanziamento, si veda il report n.2/2017 dell'EEA, *Financing urban adaptation to climate change*, disponibile al seguente indirizzo: <https://goo.gl/TGmqeG>.

<sup>34</sup> La piattaforma è il risultato di una partnership tra la European Commission (DG CLIMA, DG Joint Research Centre e altre DGs) e la European Environment Agency.

<sup>35</sup> Per maggiori informazioni: <https://goo.gl/X88RdL>.

e favorire la condivisione di esperienze di adattamento europee (strategie nazionali, piani di adattamento, progetti locali)<sup>36</sup>. Inoltre fornisce diversi documenti e tool di supporto liberamente accessibili rivolti ad utenti coinvolti in politiche di adattamento, professionisti e non, che forniscono la conoscenza di base per avviare azioni di adattamento urbano e approfondire la conoscenza di impatti, vulnerabilità e azioni di adattamento nelle città europee<sup>37</sup>.

In tale contesto, l'Italia, pur essendosi mossa in ritardo rispetto ad altri paesi europei, risulta attualmente allineata con quanto indicato nella EU Adaptation Strategy (EC, 2013a). L'approvazione nel 2015 della **Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici** (SNAC) è stata un passaggio fondamentale per la successiva elaborazione del relativo Piano operativo (PNACC), la cui prima stesura redatta nel luglio 2017 ha terminato la fase di consultazione pubblica lo scorso ottobre<sup>38</sup>.

In aggiunta ai principi globali e nazionali affermati con le citate Strategie, l'implementazione dei contenuti del PNACC e l'attuazione dell'adattamento a livello locale richiede la collaborazione delle regioni, chiamate a loro volta a definire nei propri territori strategie e piani specifici (Pernice et al., 2017). Attualmente, in Italia, solo la Lombardia e l'Abruzzo sono provviste di un piano regionale di adattamento (PACC), sebbene altre 10 regioni abbiano avviato un percorso verso una strategia o abbiano approvato un documento di indirizzo in materia di adattamento (ISPRA, 2016). Tale disomogeneità è dovuta ad una serie di fattori, tra cui la scarsa consapevolezza della possibilità di attuare percorsi di adattamento a partire da strumenti di pianificazione e programmazione europei, nazionali e regionali e la carenza di dialogo tra regioni e collettività locali e di esperienze di adattamento a livello locale (Pernice et al., 2017). Quest'ultimo aspetto merita particolare attenzione poiché, sebbene circa il 46% dei comuni italiani abbia aderito al Patto dei Sindaci (coinvolgendo il 68% della popolazione) di cui il 93% si è dotato di un Piano di Azione (PAES), solo il 18% ha effettuato il monitoraggio dei risultati. Inoltre, meno del 3% dei comuni italiani ha aderito agli obiettivi di adattamento, anche se più della metà dei 189 comuni firmatari è in fase di sottomissione del piano o di monitoraggio dei risultati<sup>39</sup>. Ciò evidenzia che nonostante la volontà di promuovere iniziative di riduzione delle emissioni, a livello nazionale permangono importanti criticità relative sia agli strumenti per attuare i piani e verificarne l'efficacia sia al mancato recepimento degli indirizzi riguardanti l'adattamento nei piani di livello comunale.

<sup>36</sup> Per maggiori informazioni: <https://goo.gl/Tg7DQ4>; <https://goo.gl/5LbvrX>.

<sup>37</sup> In particolare, si segnala lo strumento denominato Urban Adaptation Support Tool, destinato ai comuni firmatari del Mayors Adapt e del più recente Covenant of Mayors for Climate and Energy, e lo Urban Vulnerability Map Book. Il primo espone le linee guida per le politiche di adattamento locali articolate nelle 6 fasi già accennate (nota 21). Il tool fornisce un supporto dalla fase di iniziale di preparazione del processo (ricerca risorse finanziarie, umane, tecniche) fino al monitoraggio e valutazione delle misure adottate. Il secondo tool fornisce mappe relative ai fattori di vulnerabilità calcolati per le maggiori città europee rispetto a diversi fenomeni *climate-driven*. Per maggiori informazioni: <https://goo.gl/15ZrMW>.

<sup>38</sup> In relazione alle 6 fasi suggerite dalla EU Adaptation Strategy, con l'approvazione del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, in Italia le prime 5 sono state in gran parte attuate (in relazione alla prima fase manca solo la realizzazione di una piattaforma nazionale sull'adattamento ai cambiamenti climatici).

<sup>39</sup> Per visualizzare l'elenco dei firmatari del Patto dei Sindaci e del Patto integrato dei Sindaci per il Clima e l'Energia, si veda <https://goo.gl/GXVKWN>.

Tuttavia, se da un lato si riscontra scarsa adesione agli indirizzi della strategia europea da parte degli enti locali, dall'altro va evidenziato il coinvolgimento di pubbliche amministrazioni (regioni, province, comuni), enti di ricerca, università e settore privato in numerosi progetti di ricerca finanziati con i diversi programmi europei, talvolta frutto della collaborazione tra più paesi. Tra i progetti di ricerca più interessanti, presenti anche sulle piattaforme web di condivisione, si segnalano<sup>40</sup>: **GRaBS** - GRGreen and Blue Space adaptation for urban areas and eco towns, **LifeACT** - Adapting to climate Change in Time, **BlueAp** - Bologna Local Urban Environment Adaptation Plan e **MASTER ADAPT** - Mainstreaming Experiences at Regional and Local level for ADAPTation to climate change. I primi tre progetti, tra i vari obiettivi, mirano alla realizzazione di piani di adattamento locali nelle diverse città coinvolte e all'attuazione di progetti-pilota, mentre l'ultimo è finalizzato a sviluppare una metodologia operativa e integrata di supporto a Regioni, città metropolitane e consorzi di città per l'inserimento nei propri piani e programmi delle tematiche relative all'adattamento ai cambiamenti climatici.

Ciò dimostra che nonostante l'Italia abbia cominciato ad affrontare il problema dell'adattamento in maniera coordinata solo da pochi anni, sta in breve tempo cercando di recuperare il tempo perduto soprattutto attraverso il confronto con altre esperienze di adattamento e la collaborazione con numerosi partner in tutta Europa, allineandosi a quanto già fatto dagli altri paesi europei.

---

<sup>40</sup> Le piattaforme consultate sono Climate-ADAPT sviluppata in maniera congiunta dall'EC e dall'EEA (<https://goo.gl/kVMGnA>), weADAPT sviluppata dallo Stockholm Environment Institute - SEI (<https://goo.gl/VLRYWL>), Best Climate Practices, progetto nato nell'ambito dell'Initiative on Climate Change policy and Governance – ICCG (<https://goo.gl/1ykPne>) e la Piattaforma delle Conoscenze elaborata dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (<https://goo.gl/UrfHR2>).

# 2

## **Approcci per la valutazione della vulnerabilità climatica**

La principale sfida determinata dal cambiamento climatico è connessa alla riduzione degli impatti sui sistemi ed elementi colpiti. Gli studi inerenti tale problematica hanno determinato nel corso del tempo un cambio di paradigma nella valutazione climatica, che dalla quantificazione dell'*hazard* si è evoluto verso l'identificazione e la valutazione della vulnerabilità quale componente intrinseca dei sistemi colpiti.

L'azione umana che mira alla riduzione degli impatti, data l'impossibilità di intervenire direttamente sui fenomeni che determinano la potenziale minaccia (*hazard*), dovrà concentrarsi sulle cause antropiche che li determinano, andando a modificare caratteristiche e processi responsabili della vulnerabilità degli elementi del sistema urbano. Nell'analisi degli impatti climatici sull'ambiente costruito e la popolazione, non è sufficiente conoscere intensità, frequenza e durata dell'evento meteorico, ma vanno indagate le caratteristiche interne al sistema colpito che definiscono la sua organizzazione strutturale e quindi la sua capacità di fronteggiare, gestire, recuperare in seguito ad un evento estremo, ovvero la sua vulnerabilità. La significatività dell'intervento è connessa alle possibilità di trasformazione dell'assetto costruito e delle relazioni esistenti con altri sistemi e sub-sistemi (sociale, naturale, etc.). In tale ottica, si approfondisce il ruolo dell'uomo nella determinazione degli impatti e il relativo rapporto con la vulnerabilità, evidenziando, tra i molteplici approcci esistenti, un possibile modello di riferimento che ne consenta la valutazione considerando la complessità del sistema oggetto di analisi.



## 2.1 City climate hazard e valutazione climatica

Nell'analisi degli impatti sul sistema urbano il fenomeno climatico riveste un ruolo importante in relazione ai possibili eventi a catena che da esso possono scaturire. Esso può configurarsi come *hazard*, ovvero come potenziale evento distruttivo, a seconda delle caratteristiche del sistema colpito che ne influenzano la predisposizione a subire effetti negativi. Sebbene il focus della presente ricerca sia lo studio della vulnerabilità finalizzata all'individuazione di soluzioni adattive, si ritiene opportuno inquadrare gli eventi meteo-climatici nello scenario più ampio degli *hazard* di origine naturale e antropica che possono colpire il sistema urbano, evidenziando le possibili relazioni tra i vari *climate hazard*. Ciò rappresenta un elemento utile ai fini della comprensione delle influenze che ciascun *hazard* può avere sull'innescare di altri fenomeni, in cui il contributo antropico rappresenta spesso la causa principale. A tal proposito, nel corso del tempo sono stati sviluppati numerosi *framework* di valutazione climatica, caratterizzati da approcci diversi a seconda degli interessi e obiettivi degli stakeholder coinvolti. La ricerca nell'ambito del "Climate Change Impact, Adaptation and Vulnerability assessment" (CCIAV) si è molto evoluta nel corso degli ultimi vent'anni, passando da un approccio *science/research-driven* ad un approccio *policy-driven*. Tale cambio di prospettiva ha determinato un progressivo interesse verso la valutazione della vulnerabilità, quale componente in grado sia di restituire il "comportamento" del sistema sottoposto a stress climatici sia di indirizzare le misure di adattamento. Pertanto, individuati i fenomeni climatici oggetto di tale valutazione, si illustrano brevemente alcuni *framework* sviluppati in ambito scientifico finalizzati all'individuazione di opzioni di adattamento attraverso metodi e strumenti differenti.

### 2.1.1 Il contributo antropico nella determinazione degli impatti climatici

Pur essendo riconosciuto come una delle principali sfide ambientali che si pongono all'umanità, lo studio del cambiamento climatico e delle relative misure e soluzioni tecniche per la riduzione degli impatti, non può essere condotto da una prospettiva esclusivamente ecologico-ambientale, che non tenga conto dell'interazione con i sistemi antropici. Alcuni dei più recenti eventi climatici riconosciuti come "disastri naturali" (ondata di calore, Europa, 2003; uragano Katrina, Stati Uniti, 2005; ecc.) (EM-DAT, 2017) non sono riconducibili esclusivamente a variazioni naturali e vanno letti considerando gli impatti che possono avere sul sistema urbano.

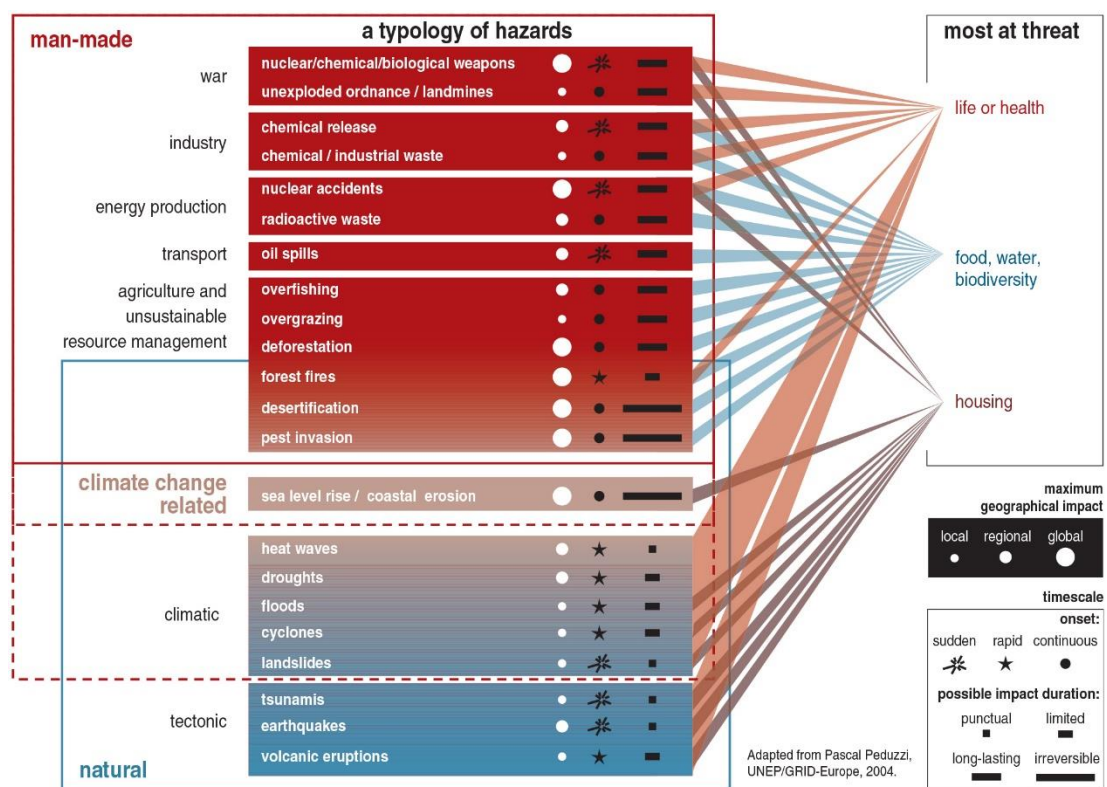
Con il termine **impatto** si indicano genericamente gli effetti sui sistemi naturali o antropici provocati da particolari fenomeni fisici. In relazione al cambiamento climatico, si riferisce agli effetti provocati da eventi estremi, climatici o meteorologici, sulla vita, la salute, i mezzi di sussistenza, gli ecosistemi e l'economia. Tali effetti sono il risultato dell'interazione tra gli eventi estremi e la vulnerabilità del sistema esposto (IPCC, 2014b), ovvero una combinazione tra eventi naturali e "caratteristiche politiche, economiche, territoriali, sociali e culturali, frutto sia delle condizioni di contesto che delle scelte fatte da una determinata società nel corso del tempo" (Nguyen Xuan, 2012), spesso sottovalutate dalle comunità e dai governi (Bankoff,

2010).

Gli impatti relativi ad eventi climatici e meteorologici, di conseguenza, sono legati più alle peculiarità degli elementi e sistemi colpiti che non all'evento in sé, che può portare alla formazione di disastri se esistono condizioni tali da trasformarlo in una minaccia concreta. Pertanto, un evento estremo è definibile come **hazard**<sup>41</sup>, ovvero come un fenomeno distruttivo in grado di costituire una potenziale minaccia, che può interessare qualsiasi zona della Terra, sia essa abitata o meno. Fenomeni di questo tipo avvengono in maniera indifferenziata, senza nessuna relazione con la presenza effettiva dell'uomo in un dato territorio; l'eventuale sussistenza di particolari caratteristiche contestuali può "attivare" il pericolo, trasformando l'hazard in disastro.

L'origine della minaccia, naturale o antropica, che da potenziale nell'hazard diventa effettiva con il disastro, consente di classificare tali fenomeni in varie categorie (fig. 7).

Figura 7. Classificazione degli hazard che possono minacciare il sistema urbano



Fonte: Bournay, 2006

Tra i vari hazard che possono interessare un sistema urbano, i **natural hazard** costituiscono un fenomeno importante in relazione alle potenziali conseguenze su molteplici

<sup>41</sup> Il V rapporto IPCC definisce l'hazard come il potenziale accadimento di un evento fisico naturale o provocato dall'uomo, di un trend o di un impatto fisico, che potrebbe causare la perdita della vita, ferite o altri impatti sulla salute, così come il danneggiamento e la perdita di proprietà, infrastrutture, mezzi di sostentamento, fornitura di servizi, ecosistemi e risorse ambientali (IPCC, 2014a). Tale evento minaccioso è definito per un determinato periodo di tempo e in una data area (Schauser et al., 2010).

sistemi antropici e naturali, a causa della loro propensione all'innescare di eventi a catena, che possono avvenire simultaneamente o a distanza di tempo. Tali eventi avvengono in maniera spontanea al di sotto (eruzioni vulcaniche, terremoti), al di sopra (cicloni, tornado) o sulla (inondazioni) superficie della Terra.

L'origine naturale di questi eventi non deve ingannare riguardo le cause degli eventuali impatti, di origine antropica. Ad esempio, terremoti ed eruzioni vulcaniche avvengono di continuo, e nei posti più disparati del pianeta. Tuttavia, nel momento in cui l'area colpita da uno di questi fenomeni presenti un'elevata densità abitativa e sia caratterizzata da abitazioni non adeguatamente progettate, si determina una significativa perdita della vita umana e/o danni ambientali o alle proprietà, con una trasformazione dell'*hazard* in disastro.

Alla luce di tali considerazioni, è evidente che riferirsi agli eventi climatici come a fenomeni capaci di provocare disastri e catastrofi causati esclusivamente dalla magnitudo dell'evento è, sotto vari punti di vista, un errore. Specifici fattori di origine antropica, a parità di condizioni di *hazard*, determinano il livello di danno degli elementi colpiti: l'alterazione degli equilibri naturali, l'incremento demografico, l'incontrollato consumo di suolo e di sfruttamento delle risorse sono tra le principali cause di formazione di disastri convenzionalmente definiti naturali, ma che in realtà hanno una radice antropica, caratterizzandosi come disastri di tipo sociale (Acot, 2007; Kelman, 2010; Marotta & Zirilli, 2015).

*The vulnerable state of populations and settlements is as much a contributor to the cause of 'natural' disasters as are the physical phenomena with which they are associated. What are called 'earthquakes' and 'hurricanes' are the natural forces; what are seen afterwards are the results of the impact of those forces on human settlements (where) damage destruction and death are conditioned by the decisions and actions of society over time.*

James Lewis, 1999

*Natural hazards are a part of life. But hazards only become disasters when people's lives and livelihoods are swept away. The vulnerability of communities is growing due to human activities that lead to increased poverty, greater urban density, environmental degradation and climate change.*

Kofi Annan, 2003

Tali affermazioni mettono in evidenza il rapporto tra *hazard* "naturali" e caratteristiche delle società e comunità colpite: l'uomo con le proprie azioni ha compromesso gli equilibri naturali e ha reso difficile l'individuazione delle cause di disastro naturale, mettendone in discussione l'effettiva "naturalità" (Marotta & Zirilli, 2015). Come affermato da diversi autori, i disastri naturali non esistono, poiché un evento pericoloso si caratterizza come tale a causa delle scelte e delle azioni umane che avvengono prima, durante o dopo l'evento e che determinano una serie di effetti negativi sulle comunità (Marotta & Zirilli, 2015). Di conseguenza, eventi pericolosi (*hazard*) diventano disastri quando una determinata comunità

è esposta ad eventi potenzialmente pericolosi e quando tale esposizione si combina con un elevato livello di vulnerabilità (Lavell et al., 2012). In tal caso, la vita e i mezzi di sussistenza delle persone vengono minacciati a causa di quelle attività umane che rendono le comunità maggiormente predisposte a subire perdite o danni (Lewis, 1999; Annan, 2003). In relazione a ciò, le due definizioni più diffuse sono quelle di “*unnatural disasters*” (Tiranti, 1977; Abramovitz, 2001) e “*unnatural hazards*” (Hewitt, 1983; Kelman, 2010; 2011) che identificano fenomeni di origine naturale le cui caratteristiche di pericolosità sono il risultato di scelte compiute dalla società e che si ripercuotono sulla società stessa.

Nell’ambito degli *hazard* convenzionalmente definiti naturali, l’interesse della presente ricerca si focalizza principalmente su quelli che hanno origine a partire da modificazioni climatiche nel regime delle precipitazioni. Nei ***climate-related hazard*** (o anche *city climate hazard*) rientra qualsiasi evento influenzato da un singolo cambiamento nel clima oppure da una combinazione di variazioni di parametri climatici (Agnew e Goodess, 2009). Nello specifico, gli eventi di precipitazione estrema quali temporali e nubifragi rientrano tra gli *hazard* di tipo meteorologico, causati da condizioni atmosferiche estreme di breve durata (da pochi minuti a pochi giorni) e piccola o media scala (Below, 2009; IRDR, 2014). Tali fenomeni, in relazione a particolari condizioni di contesto, possono provocare altri *hazard* simultaneamente (nello stesso momento) o attraverso una relazione a cascata (come risultato finale dell’*hazard* principale) (C40, 2015). Tra i *related natural hazard* sono compresi gli *hazard* di tipo idrologico, che si manifestano in seguito all’alterazione del normale ciclo idrologico e/o allo straripamento dei corpi idrici, e possono avere come risultato un peggioramento della qualità dell’acqua (cambiamento chimico) o lo scorrimento di acque superficiali e sotterranee (inondazione, azione delle onde) (Below, 2009; IRDR, 2014).

### 2.1.2 Framework di valutazione climatica per l’adattamento

Lo studio degli impatti determinati dagli *hazard* climatici è affrontato in maniera diversa in relazione al contesto e agli stakeholder coinvolti, motivati da interessi e obiettivi differenti. Sebbene la riduzione degli impatti rappresenti da sempre l’obiettivo principale sia della ricerca scientifica sia delle politiche generali e settoriali, nel corso del tempo il punto di vista adottato si è progressivamente evoluto attraverso l’elaborazione di numerosi *framework* di valutazione climatica finalizzati all’adattamento. Ciascuno dei *framework* individuati individua un processo di valutazione climatica caratterizzato da approccio (*top-down/bottom-up*), metodi e strumenti specifici. L’intero processo si articola in vari *tasks* composti da una sequenza di azioni (step): la risoluzione di ogni *task* richiede l’adozione di uno o più metodi, avvalendosi di precisi strumenti (UNFCCC, 2004; UNFCCC, 2005).

Il ***Climate Change Assessment*** rappresenta il principale mezzo per indirizzare le strategie di adattamento e la selezione e valutazione (*evaluation*)<sup>42</sup> delle relative misure e azioni

<sup>42</sup> Si ritiene opportuno sottolineare la differenza di significato tra i termini *assessment* ed *evaluation*, cui in italiano corrisponde la medesima traduzione “valutazione”. Mentre il primo si riferisce ad un processo di valutazione di qualcosa che comprende diverse fasi di raccolta, revisione ed elaborazione dati, il secondo è relativo alla stima valori

(Preston & Smith, 2009). A tal proposito, nel corso del tempo sono stati sviluppati numerosi *framework* di valutazione climatica: la ricerca nell’ambito del “Climate Change Impact, Adaptation and Vulnerability assessment” (CCIAV) si è molto evoluta negli ultimi vent’anni, passando da un approccio *science/research-driven* ad un approccio *policy-driven*. Tale cambio di prospettiva ha determinato il crescente interesse verso l’analisi delle caratteristiche fisiche e sociali dei sistemi colpiti, considerate come causa principale degli impatti e dei rischi risultanti dagli *hazard* climatici.

In base allo scopo della valutazione, al focus e ai metodi disponibili è possibile individuare quattro categorie diverse di “CCIAV assessment” che, a partire dagli inizi degli anni ’90, hanno caratterizzato la ricerca scientifica a supporto dell’adattamento climatico con lo sviluppo di numerosi modelli. Nel IV Rapporto (AR4) l’IPCC individua le categorie illustrate in tabella 8: Climate Impact Assessment (CIA), Vulnerability Assessment (VA), Adaptation Assessment (AA) e Integrated Assessment (IA) (Carter et al., 2007). Tali tipi di valutazione possono essere ulteriormente classificati in *top-down (scenario-driven)* o *bottom-up (vulnerability-driven)* in relazione alla scala e al punto di partenza dell’analisi (ad es., da stress climatici a impatti ad azioni di risposta) e alla direzione delle politiche (ad es., nazionale verso locale) (UNFCCC, 2004; Carter et al., 2007).

Tabella 8. Caratteristiche delle diverse metodologie di valutazione climatica

	<b>Climate Impact Assessment - CIA</b>	<b>Vulnerability Assessment VA</b>	<b>Adaptation Assessment AA</b>
<b>Obiettivi scientifici</b>	Impatti e rischi in condizioni di cambiamento climatico futuro	Processi che influenzano la vulnerabilità al cambiamento climatico	Processi che influenzano l’adattamento e la capacità adattiva
<b>Obiettivi concreti</b>	Azioni per ridurre i rischi	Azioni per ridurre la vulnerabilità	Azioni per migliorare l’adattamento
<b>Domande di ricerca</b>	Quali sono i potenziali impatti biofisici del cambiamento climatico?	Qual è la vulnerabilità al cambiamento climatico, considerando gli adattamenti possibili?	Quali sono gli adattamenti raccomandati per ridurre la vulnerabilità al cambiamento climatico?
<b>Metodi e strumenti di ricerca principali</b>	Modelli climatici Metodo DPSIR Sviluppo di scenari Tecniche di <i>downscaling</i>	Indicatori di vulnerabilità Analisi di mezzi di sussistenza Metodi <i>agent-based</i> <i>Decision support tool</i>	
<b>Approccio/dominio spaziale</b>	<i>Top-down</i> Globale → locale	<i>Bottom-up</i> Locale → regionale	
<b>Grado di coinvolgimento degli stakeholder</b>	Basso - <i>Research-driven</i>	Medio - <i>Research/stakeholder driven</i>	Alto - <i>Stakeholder/research driven</i>
<b>Esempi</b>	IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations (1994)	UNDP Adaptation Policy Framework - APF (2004)	Guidelines for the Preparation of National Adaptation Programmes of Action – NAPA (2002)

Fonti: rielaborata da UNFCCC (2004); UNFCCC (2005); Füssel & Klein (2006); Carter et al. (2007)

Il primo *framework* ad emergere nella ricerca sul *climate change* è il **Climate Impact**

o prestazioni. L’*assessment* è finalizzato alla diagnosi, l’*evaluation* al giudizio (Surbhi, 2016). Di conseguenza, nel seguito, il termine valutazione sarà utilizzato con il significato attribuito all’assessment, salvo casi diversi in cui sarà accompagnato dal termine *evaluation* posto tra parentesi.

**Assessment**, dominante nei primi tre report IPCC, che si sviluppa a partire dal *seven step analytical framework* presentato alla prima UNFCCC Conference of Parties (COP) nel 1995 (Carter & Mäkinen, 2011). L'approccio segue un processo sequenziale caratterizzato da sette fasi: 1) definizione del problema; 2) selezione dei metodi (qualitativo/descrittivo o quantitativo/predittivo); 3) test del metodo; 4) sviluppo degli scenari; 5) valutazione dei potenziali impatti; 6) valutazione degli adattamenti spontanei; 7) valutazione (*evaluation*) delle strategie di adattamento (IPCC, 1994). Lo scopo principale del CIA è la valutazione dei potenziali impatti climatici in relazione ad uno specifico scenario e delle necessità di adattamento e/o mitigazione per ridurre le vulnerabilità risultanti (Carter et al., 2007). Spesso citato come approccio standard, *scenario-oriented* o di prima generazione, è definibile anche come approccio *top-down*, in quanto procede da proiezioni climatiche globali successivamente ridimensionate (*downscaled*) per la valutazione degli impatti a scala regionale. Sebbene abbia caratterizzato un gran numero di valutazioni per oltre 15 anni, a partire dall'AR4 si delinea la necessità di nuove prospettive che superino il principale limite del CIA, ovvero l'incapacità di comprendere la complessità dei contesti locali analizzati. Il CIA, oltre ad essere eccessivamente centrato sugli scenari climatici, a discapito dei processi socioeconomici e biofisici che contribuiscono agli effetti negativi, semplifica il ruolo dell'adattamento, considerandolo come un qualcosa di residuale che resta dopo il verificarsi degli impatti, ovvero la differenza tra impatti potenziali e residuali (Smit et al., 1999; Preston & Smith, 2009; Carter & Mäkinen, 2011).

Con il **Vulnerability Assessment** il focus della valutazione si sposta dagli impatti alla vulnerabilità dei sistemi sociali ed ecologici. Attraverso un approccio *bottom-up*, il VA mira a identificare i fattori che determinano la vulnerabilità dei sistemi, individuando soglie critiche che possano determinarne il fallimento o la rottura (Preston & Smith, 2009). Accanto ai fattori climatici, che rappresentano una componente importante del concetto di vulnerabilità nella sua prima formulazione teorica<sup>43</sup>, vengono introdotti nella valutazione diversi fattori non climatici (ambientali, economici, sociali, tecnologici, politici, etc.) che possono fornire un contributo positivo o negativo, individuando aree critiche su cui avviare gli interventi (Füssel & Klein, 2006). Tuttavia, molti autori concordano sul carattere relativo e soggettivo della vulnerabilità: l'introduzione di nuove variabili consente di effettuare una valutazione che non può essere espressa in termini assoluti in quanto dipendente da molteplici incertezze (Füssel & Klein, 2006; Preston & Smith, 2009). Di conseguenza, i risultati del VA non sempre sono adatti ad indirizzare i decisori pubblici sulle politiche di adattamento da adottare. Il VA potrebbe non essere in grado di indicare precise misure di adattamento da implementare e relativi costi e benefici. In una prima fase dello sviluppo dei VA la componente "capacità adattiva" non è ancora considerata, introdotta successivamente. La seconda stagione dei VA è caratterizzata da una valutazione più approfondita dell'abilità della popolazione e delle comunità di rispondere efficacemente attraverso vari tipi di adattamento. La capacità adattiva considera sia fattori endogeni, relativi alle caratteristiche e al comportamento della

---

<sup>43</sup> Per approfondimenti riguardo il concetto di vulnerabilità e le relative componenti, si veda il paragrafo 2.2.



popolazione, sia esogeni, inerenti al contesto economico e geopolitico più ampio (Füssel & Klein, 2006). La natura interscalare di tale componente e la necessità di integrare la valutazione con nuove informazioni determina un maggior coinvolgimento di esperti di scienze sociali rispetto alla prima stagione dei VA. Tuttavia, tale sforzo si rivela ancora insufficiente a colmare alcune lacune, che rendono complicato se non impossibile l'adozione dei risultati della valutazione in ambito politico.

L'**Adaptation Assessment**, pur basandosi sulla valutazione della vulnerabilità sociale presente, ha come obiettivo principale il contributo politico attraverso specifiche indicazioni ai pianificatori e ai decisori pubblici sulle modalità per incrementare la capacità adattiva (Füssel & Klein, 2006). A tal proposito, gli enti locali hanno bisogno di informazioni molto specifiche per progettare e implementare misure adattive efficaci: ciò richiede, più che nei casi precedenti, una grande collaborazione tra figure con differente formazione scientifica (ad es., climatologi, matematici, economisti) (Füssel & Klein, 2006; Soares et al., 2012).

L'AA facilita e indirizza il lavoro dei *decision-maker* indicando strategie e misure di adattamento a partire dalle politiche e misure già esistenti (Füssel & Klein, 2006; Carter & Mäkinen, 2011). Il contributo offerto dall'AA si esplica in due fasi fondamentali: 1) identificazione e 2) valutazione (*evaluation*) delle misure di adattamento. Mentre l'individuazione può avvenire selezionando le misure di adattamento nell'ambito delle tipologie indicate nel sub-par. 1.2.2, la valutazione, intesa come stima della fattibilità in relazione a diversi aspetti, deve tener conto di una serie di criteri di tipo economico, ambientale e sociale<sup>44</sup>. Tale processo consente di classificare le opzioni di adattamento in livelli di "rimpianto" (*levels of regret*), ovvero in relazione alle possibili conseguenze negative, in base alle quali sono state individuate opzioni *win-win*, *no-regret*, *low-regret* e *high-regret* (Carter & Mäkinen, 2011). Tale tipo di valutazione restituisce risultati più oggettivi, in quanto molti strumenti e tecniche disponibili per effettuare la stima delle opzioni comprendono una larga partecipazione degli stakeholder (ad es., focus group)<sup>45</sup>.

Nonostante l'approfondimento degli aspetti riguardanti la capacità adattiva delle comunità e le misure di adattamento, l'esistenza di alcuni aspetti in comune tra VA e AA rende alquanto forzata la distinzione tra i due *framework*, che condividono l'utilizzo dell'approccio *bottom-up* e alcuni metodi e strumenti.

Alla luce di quanto esposto, bisogna tener presente che nessuna tipologia di valutazione esclude a priori le altre; non vanno considerate come reciprocamente esclusive in quanto presentano alcuni aspetti complementari che ne consentono l'integrazione (UNFCCC, 2004). Un'ulteriore prospettiva emersa già da alcuni anni ha dato vita a svariati **Integrated Assessment**: tale *framework* aspira all'integrazione tra discipline, scale temporali e spaziali e

---

<sup>44</sup> Due documenti redatti da World Resources Institute e World Bank definiscono una lista di criteri di valutazione per verificare l'idoneità delle misure di adattamento in relazione ad uno specifico obiettivo. Tra i criteri individuati si evidenziano: costi, implicazioni ambientali, impatti secondari o intersettoriali, implicazioni sociali, efficacia a breve, medio e lungo termine, efficacia in relazione a differenti scenari di cambiamento, flessibilità (WRI, 2009; World Bank, 2009).

<sup>45</sup> Per un elenco maggiormente esaustivo di strumenti e tecniche adoperati per la stima delle opzioni di adattamento, si vedano Lim et al. (2005, pg. 86) e Carter & Mäkinen (2011).

settori diversi attraverso la combinazione, laddove possibile, di differenti metodi e strumenti per la valutazione (Carter et al., 2007). La molteplicità di driver e processi considerati può determinare tre tipi di integrazione, distinti in base agli elementi coinvolti: 1) fattori e processi; 2) discipline e gruppi di persone; 3) tipi di analisi. Nel primo caso, l'utilizzo di fattori di natura diversa (climatici, ambientali, sociali, economici, politici, etc.) determina un'integrazione dei modelli da adottare per effettuare la valutazione in un unico modello che tenta di rappresentare tutti i processi in gioco (*integrated assessment models* - IAMs). Nel secondo caso l'integrazione avviene in una fase successiva: i vari modelli utilizzati per valutazioni in differenti settori lavorano in maniera indipendente ma parallela. L'integrazione avviene quando gli output di un modello vengono utilizzati come input in un altro, al fine di esplorare le relazioni tra le varie componenti del sistema (*model-based integrated analysis*). Infine nel terzo, si prevede l'integrazione di analisi qualitative laddove non sia possibile applicare approcci quantitativi (*qualitative integrated assessment*) (Carter & Mäkinen, 2011).

Se da un lato l'approccio integrato consente di rappresentare con maggiore accuratezza la complessità del sistema urbano, dall'altro la grande mole di informazioni da reperire, elaborare e analizzare richiede maggiori sforzi economici, tempi di realizzazione e competenze rispetto agli altri approcci. Di conseguenza, ben lungi dall'aver definito un unico approccio universalmente valido, gli studiosi affermano l'importanza di considerare caso per caso il tipo di valutazione più adatta in relazione agli obiettivi prefissati, alle risorse (sia umane sia economiche) e ai tempi a disposizione.

## 2.2 Vulnerabilità climatica

Da quanto esposto precedentemente, emerge l'importanza che la vulnerabilità ha progressivamente assunto nel corso del tempo all'interno delle valutazioni climatiche, quale componente in grado sia di restituire il "comportamento" del sistema sottoposto a stress climatici sia di indirizzare le misure di adattamento. Tale duplice natura rende la vulnerabilità una delle componenti di interesse principale nell'analisi degli impatti che uno o più *hazard* possono avere su determinati sistemi ed elementi.

Il suo utilizzo scientifico ha origine in ambito geografico ma è attualmente un tema centrale in diversi contesti di ricerca (ad es., ecologia, salute pubblica, povertà e sviluppo, cambiamento climatico). Tuttavia, all'interno delle varie comunità scientifiche non vi è consenso unanime riguardo il suo significato, applicazione e misurazione, assumendo connotati diversi a seconda del campo di indagine e delle discipline coinvolte, creando non poca confusione in relazione agli approcci da utilizzare per la comprensione della vulnerabilità di un particolare sistema o elemento agli *hazard* naturali.

Pertanto, una parte fondamentale del presente lavoro di ricerca riguarda l'individuazione di una definizione appropriata di vulnerabilità del sistema urbano agli *hazard* climatici, attraverso lo studio dei principali approcci e *framework* per la valutazione della vulnerabilità climatica rintracciati nell'ampia letteratura scientifica.

### 2.2.1 Difficoltà di interpretazione del concetto di vulnerabilità

Lo stato dell'arte brevemente esposto nel seguito ha consentito l'allineamento dell'approccio adottato nel presente lavoro con quanto formulato dall'IPCC nel V Rapporto di Valutazione (AR5) e nell'ultimo Rapporto Speciale pubblicato nel 2012 (SREX). L'IPCC definisce la **vulnerabilità** come la propensione o predisposizione di un sistema ad essere affetto in maniera negativa a causa di caratteristiche interne al sistema stesso (IPCC, 2012; IPCC, 2014b). Tale definizione generica va declinata in relazione al sistema oggetto di analisi, e quindi alle componenti che lo caratterizzano. Di conseguenza, è fondamentale comprendere quali siano i fattori che caratterizzano la vulnerabilità (*driver*) adottando una prospettiva chiara e consapevole. Tale scelta influenza non solo l'interpretazione del termine vulnerabilità, ma l'approccio complessivo da adottare rispetto alle questioni legate al cambiamento climatico (valutazione degli impatti e sviluppo di strategie e soluzioni di adattamento).

Il grande interesse riguardo la determinazione della vulnerabilità di sistemi ed elementi naturali ed antropici rispetto a particolari *hazard* ha determinato nel corso del tempo il proliferare di approcci e modelli di valutazione, che assumono connotati diversi a seconda del campo di indagine e delle discipline coinvolte (Adger, 2006). È possibile, infatti, classificare i vari approcci in base a diversi fattori (Cutter, 1996):

- Orientamento epistemologico e pratiche metodologiche conseguenti (scienze fisiche, scienze umane, approccio integrato);
- *Focus research* (probabilità di esposizione, probabilità di conseguenze negative o combinazione di entrambi);
- Tipo di *hazard* indagato (carestia, eventi sismici, siccità, allagamento, etc.);
- Regione (aree sviluppate o sottosviluppate);

*"We are still dealing with a paradox: we aim to measure vulnerability, yet we cannot define it precisely"* (Birkmann, 2006): il risultato di tale molteplicità di concezioni è una confusione generale riguardo i significati e gli approcci da utilizzare per la comprensione della vulnerabilità agli *hazard* naturali, con svariati tentativi di classificazione che si sono succeduti nel corso degli anni.

Diversi autori distinguono la vulnerabilità in due o più dimensioni coesistenti e interagenti, senza un preciso accordo sul significato dei relativi termini. Si può distinguere tra una dimensione interna ed esterna<sup>46</sup> (Chambers, 1989; Bohle, 2001), biofisica (o naturale) e sociale (o socioeconomica)<sup>47</sup> (Cutter, 1996; Klein & Nicholls, 1999; Brooks, 2003) o fisico-ambientale, socio-economica e di assistenza esterna (Moss et al., 2001). Altri studi individuano la

---

<sup>46</sup> Tale distinzione non è sempre considerata allo stesso modo. Alcuni autori, come Chambers, distinguono tra una dimensione esterna relativa a fattori cui il sistema è esposto e una interna che relativa agli effetti sul sistema. Altri invece, come Bohle, distinguono tra una dimensione socioeconomica strutturale esterna relativa all'esposizione ai rischi e una dimensione interna relativa alla capacità di anticipare, fronteggiare, resistere e recuperare dagli impatti (Füssel, 2005; Ciurean et al., 2013).

<sup>47</sup> Klein e Nicholls intendono la vulnerabilità naturale come una dei fattori determinanti la vulnerabilità socioeconomica, a differenza di Cutter, che si riferisce alle due dimensioni sociale e biofisica come indipendenti. Brooks infine intende la vulnerabilità biofisica come dipendente da quella sociale (Füssel, 2005).

vulnerabilità come l'interazione di caratteristiche fisiche, economiche, sociali e ambientali (UNISDR, 2004).

Con l'intento di migliorare e ampliare le conoscenze, nel corso degli anni si sono succeduti svariati tentativi di classificazione degli approcci per la valutazione della vulnerabilità climatica, in continua evoluzione. Al di là delle differenze di settore e applicazione, è possibile ricondurre i vari approcci ad una classificazione minima, che effettua una distinzione tra due dimensioni indipendenti tra loro ma fondamentali, ovvero la scala di analisi (*sphere*) e il dominio di conoscenza (*knowledge domain*) (Füssel, 2005; 2007), all'interno delle quali ricadono le diverse caratteristiche di vulnerabilità (tab. 9).

Tabella 9. Classificazione delle caratteristiche di vulnerabilità

		DOMINIO DI CONOSCENZA	
		Socioeconomico	Biofisico
SCALA DI ANALISI	Interna	Reddito familiare, reti sociali, accesso alle informazioni, etc.	Topografia, condizioni ambientali, <i>land cover</i> , etc.
	Esterna	Politiche nazionali, aiuti internazionali, globalizzazione economica, etc.	Eventi estremi, terremoti, innalzamento del livello del mare, etc.

Fonte: ridisegnata da Füssel (2007)

Rispetto alla scala di analisi, si può distinguere tra caratteristiche interne (endogene) che si riferiscono alle proprietà intrinseche del sistema colpito, ed esterne, che possono influire sul sistema, ma non ne fanno parte. In relazione al dominio di conoscenza la distinzione è tra caratteristiche socio-economiche, relative a pratiche culturali, alla distribuzione del potere e delle risorse e a tutti quei fattori indagati dalle scienze sociali ed umane, e caratteristiche biofisiche, relative alle proprietà del sistema indagate dalle scienze fisiche.

Tale classificazione consente di descrivere le diverse concezioni di vulnerabilità presenti in letteratura, cui corrispondono definizioni, applicazioni e strumenti differenti. In generale, esistono due orientamenti prevalenti, uno che vede la vulnerabilità come il livello di danno (potenziale) provocato da un *hazard* su un determinato sistema (vulnerabilità biofisica), l'altro che la considera come uno stato esistente all'interno del sistema prima di incontrare l'*hazard* (vulnerabilità socio-economica) (Brooks, 2003; Ciurean et al., 2013). In relazione a tali interpretazioni, è possibile distinguere tra *outcome vulnerability* e *contextual vulnerability*. Nel primo caso, la vulnerabilità è intesa come il risultato degli impatti netti del cambiamento climatico su una specifica unità (elemento o sistema), dopo che sono state intraprese specifiche misure di adattamento (Fellmann, 2012). È considerata come il punto finale (*end-point*) di una serie di analisi relative alle proiezioni delle emissioni future, allo sviluppo degli scenari climatici, allo studio degli impatti sul sistema biofisico e all'identificazione delle opzioni adattive. Pur combinando informazioni relative ai potenziali impatti biofisici con informazioni relative alla capacità socio-economica di adattamento, si focalizza principalmente sui

cambiamenti biofisici e sulla capacità di tali caratteristiche di influenzare la vulnerabilità risultante (Fellmann, 2012). Nel secondo caso, la vulnerabilità è interpretata come l'incapacità del sistema nel presente di fronteggiare le condizioni climatiche. Pur essendo influenzata da condizioni fisiche, ambientali, sociali, economiche, politiche e istituzionali, i principali *driver* della vulnerabilità sono di tipo socio-economico. Intesi come caratteristiche intrinseche del sistema, rappresentano come il punto di partenza (*starting-point*) per le successive valutazioni degli impatti (e dell'adattamento) (tab. 10).

Tabella 10. Confronto tra due principali interpretazioni della vulnerabilità: *outcome* e *contextual*

	<b>Outcome vulnerability</b>	<b>Contextual vulnerability</b>
<b>Sistema di interesse</b>	Biofisico (sistema chiuso o ben definito)	Natura-società (sistemi aperti)
<b>Ambito disciplinare</b>	Scienze naturali	Scienze sociali
<b>Domande di ricerca</b>	Quali sono gli impatti netti attesi del cambiamento climatico?	Perché alcuni gruppi sono più colpiti di altri dagli <i>hazard</i> climatici? Chi è vulnerabile al cambiamento climatico e perché?
<b>Questioni politiche</b>	Quali sono i benefici della mitigazione al cambiamento climatico?	Come è possibile ridurre la vulnerabilità della comunità agli <i>hazard</i> climatici?
<b>Punto di partenza dell'analisi</b>	Scenari di cambiamento climatico futuro	Vulnerabilità presente agli stress climatici
<b>Significato della vulnerabilità</b>	Danno netto atteso per un dato livello di cambiamento climatico globale	Suscettibilità al cambiamento climatico determinata da caratteristiche socioeconomiche
<b>Rapporto tra vulnerabilità e capacità adattiva</b>	La capacità adattiva determina la vulnerabilità	La vulnerabilità determina la capacità adattiva
<b>Approccio utilizzato per informare le politiche di adattamento</b>	<i>Top-down</i>	<i>Bottom-up</i>
<b>Dominio spaziale</b>	Globale → locale	Locale → regionale
<b>Metodo di valutazione</b>	Quantitativo	Qualitativo
<b>Scala temporale</b>	Vulnerabilità futura	Vulnerabilità presente
<b>Risultati</b>	<i>Technologically focused</i> : centrati su strategie di adattamento e mitigazione	<i>Socially-focused</i> : centrati sull'incremento della capacità adattiva e sull'individuazione di percorsi di sviluppo alternativi attraverso tematiche di equità e potere

Fonti: Füssel, 2007; O'Brien et al., 2007; Pearson et al., 2011; Fellmann, 2012

Le diversità esposte evidenziano come il concetto di vulnerabilità sia fortemente dipendente dal contesto e dallo scopo; di conseguenza, nessuno dei due orientamenti prevale sull'altro. Invece, come evidenziato in tabella 11, la loro complementarietà ne favorisce l'integrazione: il riconoscimento della complessità costitutiva del sistema urbano, caratterizzato da molteplici variabili di natura diversa, richiede la comprensione dei fenomeni climatici attraverso un approccio integrato e multidimensionale (O'Brien et al., 2007; Fellmann, 2012).

In base alla suddivisione esposta precedentemente, molti autori hanno cercato di inquadrare le diverse definizioni e di classificare i vari modelli interpretativi (*framework*)

presenti in letteratura (Cutter, 1996; Brooks, 2003; Füssel, 2007; Johnson et al. 2013; Tahmasebi, 2013), rispetto ai quali è possibile rintracciare tre orientamenti principali corrispondenti a tre ambiti di ricerca differenti: *hazard-oriented*, *people-oriented*, integrato.

La prospettiva **hazard-oriented** nasce e si evolve a partire dalle numerose ricerche sugli *hazard* naturali e sui rischi da essi derivanti condotte negli anni '40 da geografi come White, Burton e altri. Tipica di un approccio economico-tecnico-ingegneristico dominante nel *disaster risk perception*, enfatizza la valutazione dell'evento naturale e dei suoi impatti, in cui il ruolo dell'uomo come elemento capace di mediarne i risultati è ampiamente sottovalutato (Brooks, 2003; Ciurean et al., 2013). L'obiettivo principale è l'analisi dei danni e delle perdite provocati da un particolare *hazard* su un determinato sistema, effettuata attraverso la descrizione delle minacce, delle relative conseguenze (*what*) e della specifica esposizione spaziale e temporale (*where, when*) (Eakin & Luers, 2006). La vulnerabilità è valutata in termini di esposizione (*exposure*), spaziale e temporale, degli elementi a un particolare *hazard*, ed è considerata esclusivamente come funzione della prossimità a un luogo pericoloso e delle caratteristiche dell'*hazard* stesso (intensità, durata, probabilità di occorrenza) (Füssel, 2007; Tahmasebi, 2013).

Il concetto di vulnerabilità utilizzato in tale prospettiva attiene ad una vulnerabilità interna biofisica e la relativa definizione (tab. 11), che si riferisce principalmente ai sistemi fisici (edifici, spazi aperti, infrastrutture), è difficilmente applicabile al sistema sociale, la cui esposizione dipende anche da caratteristiche comportamentali, culturali, socioeconomici (Füssel, 2007; Tahmasebi, 2013). Per tale ragione, la vulnerabilità della popolazione è trattata semplicemente come esposizione all'*hazard*, o come "l'essere nel posto sbagliato al momento sbagliato" (Füssel, 2007; Bankoff, 2010), elemento che costituisce una delle principali ragioni di critica a tale approccio. Le persone, le cui capacità di adattarsi al cambiamento non vengono riconosciute, sono considerate come incapaci di effettuare scelte adeguate di fronte a situazioni di rischio (Johnson et al., 2013) e di conseguenza è sottostimata l'importanza delle componenti socio-economiche e politiche nella produzione e distribuzione del rischio e della vulnerabilità (Pelling, 2003). Inoltre, la valutazione della vulnerabilità è di tipo statico, essendo considerata come il risultato (*end-point*) di un evento e non un processo, in cui spesso l'*hazard* è considerato come un evento raro, noto e fisso (Füssel, 2007).

Tale orientamento prevale per circa un trentennio, soprattutto nella letteratura tecnica sui disastri, fino a quando gli studiosi cominciano a mettere in discussione la validità di un metodo che pone al centro l'evento naturale senza considerare le componenti sociali (Cutter et al., 2009). Tale circostanza, insieme alla critica di Hewitt all'eccessiva enfasi tecnocratica caratterizzante la ricerca tradizionale (Hewitt, 1983) porta, a partire dagli anni '70, a considerare anche altri aspetti della vulnerabilità. A partire dalle ricerche sulla sicurezza alimentare, si focalizza l'attenzione su quei processi e caratteristiche socio-economiche che descrivono lo stato interno del sistema e che rendono le comunità suscettibili ai danni provocati dagli *hazard* (O'Keefe et al., 1976; Brooks, 2003; Cutter et al., 2009). Nella prospettiva denominata **people-oriented**, la vulnerabilità è vista come una proprietà interna al sistema, che esiste indipendentemente dall'*hazard*, considerato come componente



esterna, ed è costruita valutando caratteristiche sociali, culturali, politiche ed economiche (età, etnia, reddito, istruzione, stato di salute, ecc.) in un'ottica multiscalarare (Brooks, 2003; Johnson et al., 2013; Tahmasebi, 2013). Tale orientamento è definito in maniera differente da diversi autori, secondo modalità rispetto alle quali è possibile rintracciare alcune caratteristiche comuni. I modelli *human ecology* (Kates, 1971), *political economy* (Füssel, 2007), *political ecology* (Franklin, 2004), *social response* (Cutter, 1996) o *social vulnerability* (Adger, 1999; Kelly & Adger, 2000), a differenza del *hazard-oriented*, adottano una prospettiva antropocentrica finalizzata a individuare le popolazioni e i luoghi maggiormente vulnerabili (*who*), le cause (*why*) e le conseguenze e le modalità con cui si manifesta tale vulnerabilità (*how*) (Eakin & Luers, 2006).

La vulnerabilità è vista come l'inabilità della popolazione di fronteggiare o adattarsi agli stress esterni (Kelly & Adger, 2000); di conseguenza l'indagine dei fattori socio-economici e politici che influenzano tale capacità è centrale in tutti i diversi orientamenti disciplinari (Tahmasebi, 2013). La vulnerabilità non è considerata come un risultato, ma come uno *starting point*, una condizione esistente dinamica, influenzata dalle ineguaglianze esistenti riguardanti la distribuzione e l'accesso alle risorse, i diritti, le opportunità e la consapevolezza della popolazione riguardo i rischi derivanti da particolari *hazard* (Kelly & Adger, 2000; O'Brien et al., 2004; Eakin & Luers, 2006). L'orientamento mette in evidenza le diversità e i conflitti interni alla società, ovvero la vulnerabilità interna socioeconomica che, combinata con l'*hazard*, determina un risultato misurato in termini di danno fisico o economico o mortalità/morbilità umana (Brooks, 2003). Con tale tipo di lavoro, si è dimostrato che la prospettiva esclusivamente scientifico-tecnologica non è sufficiente per comprendere la vulnerabilità, in quanto singoli individui, azioni collettive e politiche nazionali e internazionali sono determinanti per la mitigazione degli impatti (Tian, 2011).

I due orientamenti descritti rappresentano le due concezioni tradizionali della vulnerabilità, rispettivamente nelle scienze naturali e ingegneristiche e nelle scienze sociali. È possibile ricondurli ad un approccio geocentrico o antropocentrico (Kasperson et al., 1995) oppure diretto o "*adjoint*" (Parry et al., 1988) a seconda dei casi. Sono stati combinati in una prospettiva **integrata**, caratterizzata da diversi modelli, di cui i più rilevanti sono l'*hazard-of-place model* (Cutter, 1996; Cutter et al., 2000) e il *coupled vulnerability framework* (Turner II et al., 2003), nati dagli studi sugli *hazard* ambientali e poi applicati in ambito climatico. Il primo concepisce la vulnerabilità in funzione di caratteristiche socio-economiche (capacità di risposta della popolazione, consapevolezza ed esperienza con l'*hazard*, ecc.) e geografiche, relative al contesto (esposizione, ad es. prossimità all'*hazard*) (Cutter, 1996; Tahmasebi, 2013) considerate indipendenti l'una dall'altra, e valutate mediante processi paralleli. Al contrario, Turner II et al. (2003) suggerisce un modello in cui la vulnerabilità è concepita relativamente al sistema accoppiato uomo-ambiente, esposto all'*hazard*, ed è funzione delle componenti di esposizione, sensibilità e resilienza. Il modello integra caratteristiche biofisiche e socio-economiche, interdipendenti, nella valutazione di ogni singola componente (Tahmasebi, 2013).

L'esigenza di integrazione degli aspetti biofisici e socio-economici emerge anche

nell'ambito degli studi sul cambiamento climatico, inizialmente focalizzati sulla determinazione dei danni e degli impatti associati all'azione antropica climalterante. Tuttavia, nel tempo matura la consapevolezza che gli impatti climatici dipendono anche da altri fattori e, a partire dal 2001, l'IPCC sposta la prospettiva *impact-oriented* verso una prospettiva maggiormente integrata (IPCC, 2001; Füssel & Klein, 2006).

Tabella 11. Differenze concettuali ed elementi caratterizzanti i tre approcci

	<b>Hazard-oriented</b>	<b>People-oriented</b>	<b>Integrato</b>
<b>Definizioni di vulnerabilità</b>	Relazione tra la severità dell' <i>hazard</i> e il livello di danno prodotto (Coburn et al., 1994).	La capacità di una o più persone di anticipare, far fronte, recuperare e resistere agli impatti di un <i>hazard</i> naturale (Blaikie et al., 1994). L'abilità di individui, gruppi o comunità di fronteggiare o adattarsi a qualsiasi stress esterno basandosi sui loro mezzi di sussistenza. È determinata dalla disponibilità di risorse ed essenzialmente dai diritti degli individui di disporre di tali risorse (Adger & Kelly, 1999).	Probabilità che un individuo o un gruppo sarà esposto o interessato negativamente da un <i>hazard</i> . È il risultato dell'interazione tra l' <i>hazard-of-place</i> e il profilo sociale della comunità (Cutter, 1993). È il grado in cui il sistema è suscettibile, o incapace di fronteggiare, gli effetti negativi del cambiamento climatico, tra cui la variabilità del clima e gli estremi. È funzione del carattere, magnitudo e del livello di cambiamento climatico e variazione cui il sistema è esposto, della sua sensitività e della sua capacità di risposta (ETC-CCA, 2012).
<b>Ambito disciplinare</b>	Scienze naturali, economiche ed ingegneristiche	Scienze umane e sociali	Scienze naturali, economiche, ingegneristiche, umane e sociali
<b>Oggetto di analisi</b>	<i>Hazard</i> e condizioni biofisiche	Sistemi e condizioni sociali	Sistemi biofisici e sociali
<b>Domande di ricerca</b>	Che cos'è l' <i>hazard</i> ? Dove e quando si verificano gli <i>hazard</i> e con quali conseguenze? Quali sono gli impatti? Come è possibile mitigare gli impatti?	Chi e cosa è vulnerabile e perché? In che modo la popolazione e i luoghi sono interessati da eventi avversi? Quali sono le cause e le conseguenze di tale differente suscettibilità? Come può essere ridotta la vulnerabilità?	Perché e in che modo il sistema cambia? Qual è la capacità del sistema di rispondere al cambiamento? Quali sono i processi che definiscono l'abilità di fronteggiare e di adattarsi?
<b>Componenti chiave</b>	<i>Exposure</i> , <i>Sensitivity</i>	<i>Exposure</i> , <i>Sensitivity</i> , <i>Coping capacity</i>	<i>Exposure</i> , <i>Sensitivity</i> , <i>Response capacity</i> , <i>Coping capacity</i> , <i>Adaptive capacity</i>
<b>Elementi considerati</b>	Edifici, spazi aperti e infrastrutture, luoghi, attività, paesaggi, regioni	Individui, famiglie, gruppi sociali, comunità, mezzi di sussistenza	Ecosistemi, <i>coupled human-environmental systems</i>

Fonti: rielaborata da Eakin & Luers (2007) e Soares et al. (2012)

In uno scenario interpretativo e valutativo così variegato, gli enti impegnati a livello internazionale nel definire politiche e strategie per fronteggiare gli impatti climatici o degli eventi di disastro in generale (ad es. IPCC, UNFCCC, UNISDR) hanno realizzato dei propri modelli di valutazione cercando di rielaborare e sintetizzare quanto sviluppato dalla comunità scientifica globale. Il percorso di progressivo affinamento, in continua evoluzione, ha portato alla formulazione di due approcci appartenenti ai differenti ambiti del Disaster Risk Reduction e del Climate Change Adaptation, dei quali si sta attualmente promuovendo l'integrazione a livello globale ed europeo.

### 2.2.2 Gli approcci alla vulnerabilità: Disaster Risk Reduction e Climate Change Adaptation

I due approcci attualmente più diffusi per l'interpretazione e la valutazione della vulnerabilità derivano dagli ambiti Disaster Risk Reduction (DRR) e Climate Change Adaptation (CCA) che, pur avendo obiettivi comuni e benefici reciproci, hanno spesso lavorato separatamente. Negli ultimi anni sta emergendo la necessità di integrare i lavori di entrambe

le comunità (decisori politici, esperti, accademici, professionisti) per promuovere azioni di riduzione della vulnerabilità e sviluppo sostenibile. L'integrazione tra i due approcci e la collaborazione tra gli attori coinvolti è auspicata sia a livello globale (UN, 2015a; UN, 2015c; UNFCCC, 2016) sia europeo (EC, 2013a) attraverso le principali strategie e accordi per lo sviluppo sostenibile dei territori soggetti al cambiamento climatico ed eventi di disastro (Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030, Accordo di Parigi sul clima, EU Adaptation Strategy, etc.).

Nonostante l'ampia condivisione scientifica e politica riguardo il superamento di tale dicotomia e lo sforzo dell'Europa in tale direzione (UNISDR-EUR, COE, EUR-OPA, 2011) esiste ancora un "gap di attuazione" dovuto alla mancanza di coordinamento e di comunicazione tra le due comunità<sup>48</sup> (Venton & La Trobe, 2008). Il principale motivo di tale frammentazione risiede nella non adeguata comprensione delle similarità e delle differenze tra i due approcci, generando confusione riguardo l'attivazione di possibili sinergie (Venton & La Trobe, 2008).

L'appartenenza ad ambiti disciplinari diversi – gestione delle emergenze e assistenza umanitaria per il DRR, scienze della terra e del clima per il CCA – ha limitato finora la costituzione di un approccio metodologico integrato e multidisciplinare, lasciando che le organizzazioni interessate se ne occupassero in maniera separata. Tuttavia, negli ultimi anni ci sono stati molteplici sforzi di integrazione, testimoniati dal Rapporto Speciale dell'IPCC "Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation" (SREX) del 2012 e dal European Forum for Disaster Risk Reduction 2017 (EFDRR) promosso dall'UNISDR. Il rapporto SREX evidenzia l'importanza della multidimensionalità del *risk assessment*, che deve includere analisi relative alle modalità di cambiamento degli *hazard*, e alle attività umane che comportano cambiamenti ambientali e la formazione di nuovi *hazard* (IPCC, 2012). Dagli esiti del EFDRR, invece, si evince chiaramente che il Climate Change Adaptation è parte dell'approccio Disaster Risk Reduction (UNISDR, 2017a). Tale convinzione nasce anche dalla consapevolezza del livello di progresso raggiunto a livello europeo in relazione alla definizione di strategie di adattamento, con circa la metà dei paesi dotati di una National Adaptation Strategy al 2017 (vedi all. 1). In tal caso, l'opportuna integrazione dei due approcci nel più ampio scenario dello sviluppo sostenibile consente di ottenere mutui benefici concentrando gli sforzi in un'unica direzione.

Pertanto, al fine di consentire l'individuazione di un approccio adeguato per l'interpretazione e la valutazione della vulnerabilità del sistema urbano ai fenomeni relativi al cambiamento climatico, è opportuno delineare brevemente il processo di progressivo avvicinamento dei modelli di valutazione proposti dall'IPCC a quello delineato dall'UNISDR.

---

<sup>48</sup> Diversi studi focalizzati sull'integrazione tra DRR e CCA hanno effettuato le seguenti osservazioni: 1) i framework istituzionali, i processi politici, i meccanismi di finanziamento, lo scambio di informazioni e le comunità di professionisti relative ai due approcci si sono sviluppate in maniera separata e tendono a restare tali; 2) non c'è un'evidente integrazione tra i due approcci in attività progettuali reali; 3) i dipartimenti governativi che si occupano di questioni climatiche e povertà/gestione del rischio sono diversi, e pur essendo consapevoli dell'esistenza di tali problematiche non hanno i mezzi per coordinarsi, determinando lo sviluppo di sforzi paralleli in tutte e tre le aree (Few et al., 2006; Thomalla et al., 2006; Venton & La Trobe, 2008).

A partire dagli studi relativi ai disastri e agli *hazard* in generale sono stati elaborati diversi modelli per la valutazione degli impatti climatici, di cui i più rilevanti sono quelli proposti dall'IPCC negli ultimi due Rapporti di Valutazione (AR4 e AR5), che cercano di mettere ordine nella miriade di approcci in continua evoluzione. Nel l'AR4 del 2007 la vulnerabilità è espressa come il grado di suscettibilità del sistema o come l'incapacità di fronteggiare gli effetti avversi del cambiamento climatico. Pertanto, la vulnerabilità è considerata il risultato non solo del tipo e della magnitudo della variazione climatica cui il sistema è esposto (esposizione/*exposure*), ma anche del grado con cui il sistema risulta interessato dall'evento, dipendente dai suoi attributi fisici e/o naturali (sensività/*sensitivity*), e della sua abilità di recuperare dal danno potenziale e trarre vantaggio dalle opportunità (capacità adattiva/*adaptive capacity*) (IPCC, 2007).

$$Vulnerabilità = f(Esposizione, Sensività, Capacità adattiva)$$

La definizione delle componenti di *sensitivity* e *adaptive capacity* fornita dall'AR4 si avvicina molto al significato attribuito alla vulnerabilità nell'ambito del **Disaster Risk Reduction**, dove è definita come l'insieme delle condizioni determinate da caratteristiche o processi fisici, sociali, economici ed ambientali che incrementano la suscettibilità di individui, comunità, risorse o sistemi agli impatti degli *hazard* (Fritzsche et al., 2014; UNISDR, 2017b).

In coerenza con le crescenti spinte da parte delle Nazioni Unite nel promuovere l'integrazione tra DRR e CCA, nell'AR5 l'IPCC adotta un nuovo approccio e una nuova terminologia, avvicinandosi al framework tipico del DRR. Sebbene i termini adottati per descrivere la vulnerabilità siano diversi, le ipotesi di base seguono una logica simile (Fritzsche et al., 2014). Considerato un qualsiasi sistema di interesse (ad es. sistema urbano) affetto da un evento climatico potenzialmente pericoloso (in AR4, *exposure* - E; in AR5, *hazard* - H), lo stress cui è sottoposto provoca una minaccia (in AR4, *vulnerability* - V; in AR5, *impatto/impact* o *rischio/risk* - I/R) che può essere ridimensionata grazie a particolari attributi fisici o socio-economici (in AR4, *sensitivity*, *adaptive capacity*; in AR5, *exposure*, *vulnerability*). Appare evidente che i termini di *exposure* e *vulnerability* sono adoperati nei due documenti con un significato completamente diverso. L'esposizione, considerata nell'AR4 parte della vulnerabilità, nell'AR5 è intesa come una componente esterna, che concorre insieme ad essa e all'*hazard* nel determinare gli impatti (fig. 8) secondo la formula seguente:

$$Impatto/Rischio = f(Hazard, Esposizione, Vulnerabilità)$$

Pertanto, appare fondamentale chiarire il significato di ciascun termine nel relativo campo di applicazione, al fine di evidenziare similarità e differenze tra i vari approcci (tabb. 12-13).

Figura 8. Confronto tra i due approcci di valutazione della vulnerabilità proposti dall'IPCC

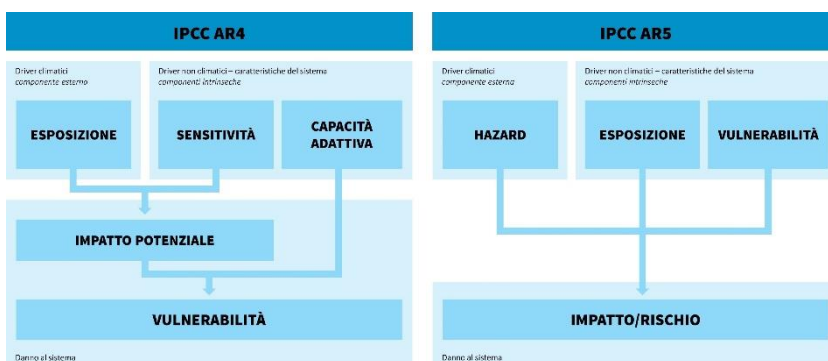


Tabella 12. Confronto tra le definizioni adottate nel DRR e nel CCA

	Disaster Risk Reduction DRR	Climate Change Adaptation - CCA	
		IPCC AR4	IPCC AR5
<b>Vulnerabilità</b>	Condizioni determinate da fattori o processi fisici, sociali, economici ed ambientali i quali incrementano la suscettibilità individuale, di una comunità, di beni e sistemi agli impatti degli hazard.	Grado con cui un sistema è suscettibile a, e incapace di fronteggiare, gli effetti avversi del cambiamento climatico, compresi la variabilità climatica e gli estremi. La vulnerabilità è funzione del tipo, magnitudo e tasso di cambiamento climatico e di variazioni cui il sistema è esposto, della sua sensitività e della sua capacità adattiva.	Propensione o predisposizione a essere influenzati sfavorevolmente. Il termine vulnerabilità abbraccia una molteplicità di concetti, tra cui la sensitività o suscettibilità al danno, e la mancanza di capacità a resistere e adattarsi.
<b>Hazard</b>	Un processo, fenomeno o attività umana che può causare perdita della vita, ferite o altri impatti sulla salute, danni alle proprietà, disruption economiche e sociali o peggioramento ambientale.	n.a.	Potenziale occorrenza di un evento fisico naturale o provocato dall'uomo o di un trend o impatto fisico che può causare perdita della vita, ferite, o altri impatti sulla salute, così come danni e perdita di proprietà, infrastrutture, mezzi di sussistenza, fornitura di servizi, ecosistemi e risorse ambientali.
<b>Esposizione</b>	Situazione in cui persone, infrastrutture, residenze, attività produttive e altri beni umani tangibili sono localizzati in aree soggette agli hazard.	<b>Componenti della vulnerabilità</b> La natura e il grado con cui un sistema è esposto a variazioni climatiche significative (IPCC, 2001).	Presenza di persone, mezzi di sussistenza, specie o ecosistemi, funzioni ambientali, servizi, risorse, infrastrutture, o beni economici, sociali o culturali in luoghi o configurazioni che potrebbero essere influenzati negativamente. <b>Componenti della vulnerabilità</b>
<b>Sensitività</b>	n.a.	Il grado con cui un sistema è influenzato, sia sfavorevolmente che in modo benefico, dalla variabilità climatica o dal cambiamento climatico. L'effetto può essere diretto (per esempio, un cambiamento nella resa dei raccolti in risposta a un cambiamento della media, del range e della variabilità della temperatura), o indiretto (per esempio, i danni causati da un aumento della frequenza di inondazioni costiere, dovute all'innalzamento del livello del mare).	Il grado con cui un sistema o una specie sono influenzati, sia sfavorevolmente che in modo benefico, dalla variabilità climatica o dai cambiamenti climatici. L'effetto può essere diretto (per esempio, un cambiamento nella resa dei raccolti in risposta a un cambiamento della media, del range e della variabilità della temperatura), o indiretto (per esempio, i danni causati da un aumento della frequenza di inondazioni costiere, dovute all'innalzamento del livello del mare).
<b>Capacità adattiva/ Coping capacity</b>	<i>Coping capacity</i> : abilità di persone, organizzazioni e sistemi di gestire diverse condizioni di rischio o disastro usando le risorse e le capacità disponibili. La capacità di fronteggiare richiede continua consapevolezza, risorse e una buona gestione sia durante i periodi normali così come durante i disastri o condizioni avverse. La <i>coping capacity</i> contribuisce a ridurre il rischio da disastro.	Capacità adattiva: abilità di un sistema di regolarsi in relazione al cambiamento climatico (compresi variabilità climatica ed estremi) al fine di moderare potenziali danni, trarre vantaggio dalle opportunità o fronteggiare le conseguenze.	Capacità adattiva: abilità dei sistemi, istituzioni, uomini e altri organismi di regolarsi al potenziale danno, di trarre vantaggio dalle opportunità, o di reagire alle conseguenze. <i>Coping capacity</i> : abilità di persone, istituzioni, organizzazioni e sistemi di affrontare, gestire e superare condizioni avverse nel breve e nel medio termine utilizzando capacità, valori, risorse e opportunità.
<b>Riferimenti</b>	UNISDR, 2017b	IPCC, 2007	IPCC, 2014



Da alcune differenze esposte in tabella 13 emerge la possibilità di attuare nuove sinergie. Ad esempio, rispetto alla scala temporale, il DRR non considera solitamente le variazioni future dei fenomeni estremi, includendo anche altri *hazard* oltre quelli climatici. D'altra parte, il CCA, pur occupandosi dei fenomeni climatici e delle variazioni connesse agli eventi estremi, si focalizza principalmente sulla prevenzione e la protezione, mentre il DRR si occupa dell'intero ciclo di gestione del rischio (*prevention, preparedness, response/coping, recovery*). Ciò evidenzia una certa complementarità tra i due approcci che, se usati in maniera integrata, possono avere un effetto cumulativo e contribuire alla costruzione di comunità resilienti attraverso il supporto reciproco, riducendo i costi dell'intervento, migliorando il processo decisionale e incrementando l'efficacia delle azioni. Inoltre, una loro integrazione consentirebbe di migliorare la base di conoscenza a supporto di politiche più efficaci, rafforzando la collaborazione tra comunità scientifica e politica.

Tabella 13. Confronto tra i due approcci DRR e CCA: differenze e sinergie

	Disaster Risk Reduction - DRR	Climate Change Adaptation - CCA
<b>Differenze</b>		
<b>Origine</b>	Gestione delle emergenze e assistenza umanitaria in seguito ad eventi di disastro	Scienze della terra e del clima
<b>Tipo di hazard</b>	Tutte le tipologie di <i>hazard</i>	<i>Climate-related hazard</i>
<b>Processo</b>	<i>Community-based</i> , derivante dall'esperienza e conoscenza locale	<i>Top-down</i> , derivante dall'agenda politica
<b>Scala temporale</b>	Breve termine → presente/affronta rischi esistenti	Medio-lungo termine → prospettiva futura/affronta incertezze e nuovi rischi
<b>Scala spaziale</b>	Prevalentemente locale	Globale/regionale
<b>Focus</b>	Riduzione e preparazione al rischio	Misure di adattamento per la riduzione della vulnerabilità
<b>Organizzazioni e istituzioni</b>	United Nations - UN ProVention Consortium (World Bank) International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies - IFRC Organizzazioni società civile locali, nazionali, internazionali Autorità nazionali per la difesa civile	United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC Autorità nazionali per l'ambiente e l'energia
<b>Conferenze internazionali</b>	World Conference on Disaster Reduction	Conference of the Parties (COP)
<b>Strategie</b>	UN International Decade for Natural Disaster Reduction - IDNDR UN International Strategy for Disaster Reduction – ISDR Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030	Cancun Adaptation Framework (UNFCCC) National Adaptation Plans of Action (NAPA) for Least Developed Countries EU Adaptation Strategy (EU)
<b>Misure</b>	Ampia varietà di misure consolidate e in via di sviluppo	Gamma limitata di misure in via di sviluppo
<b>Sinergie</b>		
<b>Scopo</b>	Fronteggiare gli <i>hazard</i> attraverso lo sviluppo della resilienza	
<b>Tematiche</b>	La valutazione del rischio/impatto è influenzata dalle condizioni di povertà e di vulnerabilità della popolazione	
<b>Possibili integrazioni</b>	Piani e politiche di soccorso, recupero e sviluppo (richiedono la partecipazione di più stakeholder)	

Fonti: Thomalla et al., 2006; UNISRD, 2008; Venton & La Trobe, 2008; Shamsuddoha et al., 2013



In relazione agli approcci appena presentati, l'analisi di alcuni tra i più importanti progetti europei relativi allo studio degli impatti del cambiamento climatico in ambito urbano ha evidenziato un'ampia adozione del framework precedente all'AR5. Il progetto **ESPON** utilizza la definizione di vulnerabilità tipica dell'AR4, valutata in funzione di *exposure*, *sensitivity* e *adaptive capacity* (Greiving et al., 2011). Allo stesso modo la **Urban Vulnerability Map** elaborata dall'EEA utilizza indicatori di *exposure*, *sensitivity* e *response capacity* per la valutazione della vulnerabilità potenziale (*multi-hazard*) delle maggiori città europee al cambiamento climatico (Timmermann et al., 2017). Il **Vulnerability Sourcebook**, delineando un processo di valutazione della vulnerabilità applicabile a molteplici settori e livelli, adotta l'approccio dell'AR4 con la consapevolezza dell'imminente aggiornamento dell'AR5, affermando la possibilità di successivi adattamenti (Fritzsche et al., 2014). È importante considerare che, alla data di pubblicazione dei progetti citati, l'AR5 era in fase di realizzazione, o i concetti in esso formulati non erano ancora stati adottati in maniera sistematica data l'ampia diffusione dell'approccio precedente. Il recente progetto **RESIN**, al contrario, si propone di aggiornare la metodologia per la valutazione della vulnerabilità del Vulnerability Sourcebook, rendendola compatibile con l'approccio dell'AR5 (Connelly et al., 2015; Carter et al. 2016). Infine, il progetto **RAMSES** adotta l'AR5, differenziando le caratteristiche di vulnerabilità nelle due componenti di sensibilità e capacità adattiva (Tapia et al., 2016).

Il principale vantaggio legato allo sviluppo di modelli di vulnerabilità climatica coerenti con l'approccio AR5 risiede nella possibilità di proporre un approccio integrato alla modellazione degli hazard geofisici e climatici, essendo la relazione  $R = H \times E \times V$  più che consolidata nel campo della valutazione del rischio sismico, idrogeologico e vulcanico.

Alla luce di tali considerazioni, e in rapporto all'obiettivo di una valutazione del rischio integrato per il sistema urbano proposto dal progetto METROPOLIS, nella valutazione della vulnerabilità del sistema urbano all'*hazard pluvial flood* oggetto del presente studio, appare necessario allinearsi con quanto affermato nell'AR5, al fine di consentire una valutazione adeguata della complessità del sistema oggetto di analisi.

# parte II

## **VULNERABILITÀ E ADATTAMENTO AL *PLUVIAL FLOOD* IN AMBITO URBANO**

Il fenomeno *pluvial flood* | **3**

La valutazione della vulnerabilità climatica del sistema urbano | **4**

Azioni e soluzioni tecniche per l'adattamento alla scala locale | **5**

# 3

## Il fenomeno *pluvial flood*

Tra i *climate-related hazard* che possono interessare il sistema urbano, la presente ricerca si focalizza su quei fenomeni urbani di inondazione e allagamento originati direttamente dalle acque di pioggia che prendono il nome di *pluvial flood*.

Da quanto esposto nel capitolo 1, il regime delle precipitazioni ha subito profonde alterazioni durante il XX secolo a causa degli incrementi di temperatura, ed è destinato ad ulteriori cambiamenti nel futuro. Il significativo incremento di frequenza e intensità degli eventi estremi di precipitazione riscontrato negli ultimi 100 anni in diverse regioni del pianeta ha avuto conseguenze importanti sui centri urbani, determinando la formazione di fenomeni di *flood* di varia natura. Gli impatti generati sulla popolazione e sul sistema costruito, talvolta devastanti, possono essere il risultato dalla sovrapposizione di fenomeni diversi. I fenomeni di inondazione originati dagli eventi di precipitazione si differenziano a seconda delle caratteristiche del territorio interessato (costiero, fluviale, pluviale, etc.), sommandosi tra loro e/o innescando meccanismi di movimento delle masse (frane, valanghe, etc.).

Al fine di comprendere la complessità dei meccanismi di formazione e delle conseguenze di tali fenomeni, si approfondisce il contributo del riscaldamento globale nelle alterazioni al ciclo dell'acqua, delineando gli scenari attesi per le aree euro-mediterranee al 2100. Successivamente, dall'analisi dei dati relativi agli eventi di disastro registrati nel secolo scorso, si evidenzia la rilevanza dei fenomeni di *flood*, sia a livello globale sia europeo, in relazione al numero di eventi, alla quantità di persone coinvolte e ai danni economici provocati. Sebbene i disastri da inondazione considerati nei vari database globali (EM-DAT, DFO) siano determinati da cause diverse (tempeste tropicali, esondazione fiumi, rottura dighe, alluvioni, etc.), essi sono riconducibili, nella maggioranza dei casi, ad eventi di precipitazione intensa che, a livello urbano, formano fenomeni di *pluvial flood* a causa di particolari condizioni fisiche del territorio interessato. Ciò consente di predisporre un quadro di conoscenza di base del fenomeno e delle relative ripercussioni in ambito urbano finalizzato al successivo approfondimento delle caratteristiche urbane che concorrono alla formazione della vulnerabilità intrinseca.

### 3.1 Cambiamento climatico e fenomeni di *flood*

Propedeutica allo studio dei fenomeni di *pluvial flood* e delle relative implicazioni in ambito urbano è la comprensione del ruolo del riscaldamento climatico nelle alterazioni al ciclo globale dell'acqua. Gli scenari attesi per il prossimo secolo e lo studio dei fenomeni di *flood* avvenuti nel passato evidenzia una situazione di particolare criticità per il sistema urbano, dove ai fenomeni globali si somma il contributo locale determinato dalle alterazioni antropiche del sistema fisico.

#### 3.1.1 Gli effetti del cambiamento climatico sul ciclo dell'acqua

Tra i numerosi processi che compongono il ciclo dell'acqua, la presente ricerca si focalizza principalmente sugli **eventi estremi di precipitazione**, in relazione sia alle dinamiche che ne favoriscono la formazione sia agli effetti che possono determinare su determinati sistemi antropici e naturali. Così come per gli eventi meteorologici in generale, la definizione degli eventi di precipitazione estrema, essendo correlata ai trend statistici, varia in relazione al contesto analizzato, alla stagione e alle osservazioni storiche disponibili. Di conseguenza è possibile definirli come eventi anomali, spesso rari, i cui valori estremi variano sia spazialmente che temporalmente<sup>49</sup>.

La precipitazione è uno dei fenomeni che costituiscono il ciclo dell'acqua (o idrologico), che rappresenta l'insieme dei processi che regolano la circolazione continua dell'acqua sotto forma liquida, solida o aeriforme attraverso tutte le componenti del sistema climatico terrestre: idrosfera, atmosfera, litosfera, criosfera e biosfera.

Il Sole costituisce il motore principale di tale ciclo, alimentato costantemente dall'energia proveniente dalle radiazioni solari. Tale apporto energetico consente il movimento dell'acqua nei vari sottosistemi attraverso i cambiamenti di stato fisico dell'acqua stessa. Il Sole riscalda le acque superficiali dei corpi idrici terrestri provocandone l'evaporazione. Le ingenti quantità di vapore prodotte si raccolgono nell'atmosfera, che è in grado di contenerne una misura limitata, in un rapporto inversamente proporzionale con la temperatura. Nel momento in cui l'atmosfera risulta satura, il vapore si condensa formando le nuvole (**condensazione**), dando luogo a **precipitazioni** liquide o solide che ridistribuiscono le acque sulla superficie globale, precipitando direttamente nei corpi idrici o raggiungendo le terre emerse (Catino, 2007). Al fine

---

<sup>49</sup> Nella letteratura scientifica diversi termini sono spesso usati come sinonimi per identificare gli eventi estremi di precipitazione: *heavy precipitation*, *heavy rain*, *severe storm* o *torrential rain*. Il fenomeno dell'*heavy rainfall* (precipitazione intensa) rientra tra gli eventi di *severe weather* definiti dal WMO come fenomeni meteorologici o idro-meteorologici pericolosi di varia durata, che possono causare danni importanti, disruption sociali e perdita di vite umane, e che richiedono misure per minimizzare le perdite, azioni di mitigazione e informazioni dettagliate circa il fenomeno (area o regione interessata, tempo, durata, intensità ed evoluzione) (WMO, 2004). Le precipitazioni intense sono definite dal WMO-SWIC come quegli eventi di pioggia superiori o uguali a 50 mm registrati nelle ultime 24 ore (WMO-SWIC, 2015). L'American Meteorological Society, invece, associa la definizione ad un valore specifico, dipendente dalle coordinate geografiche (AMS, 2012). L'identificazione di tali eventi è correlata al raggiungimento o superamento di un valore di intensità oraria (mm/h) misurato per una durata assegnata (giorni, mesi, anni). Pertanto, diverse classificazioni sono state adottate dai vari paesi, suscettibili di modifiche in relazione alle future osservazioni statistiche. Ad esempio, una classificazione valida in Italia è la seguente: pioviggine < 1 mm/h; pioggia debole, da 1 a 2 mm/h; pioggia leggera, da 2 a 4 mm/h, pioggia moderata, da 4 a 6 mm/h; pioggia forte > 6 mm/h; rovescio > 10 mm/h; nubifraggio > 30 mm/h (Corazzon e Giuliacci, 2008).

di chiudere il ciclo, attraverso il ritorno negli oceani e nei mari, il surplus idrico (liquido o solido) costituito dalle acque precipitate sulle aree continentali (afflusso) si ridistribuisce, seguendo due percorsi diversi per modalità e tempi di scorrimento. Una parte del deflusso è convogliata direttamente nel reticolo idrografico e raggiunge il mare in pochi giorni (**deflusso superficiale**), mentre la parte restante penetra nel terreno, andando ad alimentare le falde idriche. A tale **infiltrazione** sotterranea segue un deflusso molto più lento di quello superficiale, che termina con l'affioramento dell'acqua attraverso le sorgenti (Catino, 2007). A ciò va aggiunta una quota di acqua che viene restituita all'atmosfera attraverso i **processi evapotraspirativi** tipici degli organismi vegetali<sup>50</sup>.

Le quattro fasi del ciclo brevemente descritte (condensazione, precipitazione, infiltrazione ed evapotraspirazione) si compiono in tempi differenti, con intensità variabili a seconda della fascia climatica, e quindi della latitudine<sup>51</sup>. Considerando il ciclo idrologico globale come un sistema chiuso, è possibile tradurlo in termini quantitativi attraverso il calcolo del **bilancio idrologico**, che tiene conto delle entrate e delle uscite dell'acqua che si verificano in un dato territorio in un determinato periodo di tempo. Riferendosi all'intero territorio terrestre, il bilancio è di tipo globale ed è espresso dalla formula seguente:

$$P = D + I + Et$$

con P= precipitazione, D=deflusso superficiale, I=infiltrazione ed Et=evapotraspirazione.

In base a tale equazione, la quantità totale di precipitazioni (entrate) che cade in un determinato territorio può seguire tre strade (uscite): scorrere in superficie, infiltrarsi nel terreno o tornare in atmosfera come vapore acqueo tramite le piante. Il bilancio si definisce attivo se la quantità di pioggia (P) è superiore alla quantità di acqua rilasciata tramite evapotraspirazione (Et), per cui la differenza D + I viene immagazzinata come riserva nel terreno. In caso contrario, il bilancio si considera passivo in quando l'acqua proveniente dalle precipitazioni non è sufficiente alle esigenze della vegetazione, che pertanto attinge alla riserva presente nel terreno. Di conseguenza, in base all'andamento degli eventi meteorologici, il bilancio idrologico subisce variazioni da regione a regione e durante il corso dell'anno; tuttavia, nei suoi valori medi annuali può considerarsi in equilibrio naturale, presentando variazioni di anno in anno.

Le fasi che regolano il ciclo idrologico sono caratterizzate da processi di trasferimento e conversione di energia fondamentali per la regolazione del clima. Il processo più importante per il mantenimento dell'equilibrio climatico è l'evaporazione che, generando vapore acqueo, consente il mantenimento della GMST in un range di valori tale da favorire la vita sul pianeta. Direttamente dipendente dalle temperature dell'aria e dei corpi idrici superficiali, il vapore acqueo può avere un duplice effetto sulle temperature stesse, come risultato di meccanismi di feedback positivi o negativi. Temperature elevate favoriscono l'incremento del vapore

<sup>50</sup> L'evapotraspirazione (ET) consiste nella cessione di una determinata quantità d'acqua (riferita all'unità di tempo) all'atmosfera sotto forma di vapore acqueo da una superficie di terreno coperta da vegetazione, grazie ai processi di traspirazione della vegetazione e di evaporazione dalla superficie del suolo (Allen et al., 1998).

<sup>51</sup> In aree con clima desertico arido, ad esempio, prevarrà la fase di evaporazione, con conseguente scarsità di acque superficiali.

nell'atmosfera, che assorbe parte della radiazione infrarossa emessa dalla superficie terrestre, riflettendola nuovamente su di essa (effetto serra naturale). Ciò rappresenta un importante contributo in termini di feedback positivo nei confronti del sistema climatico, amplificando notevolmente eventuali incrementi di temperatura (Soden & Held, 2006). D'altra parte però, l'eccessiva evaporazione di grandi masse d'acqua satura l'atmosfera: la condensazione del vapore interviene per diminuire il contenuto di umidità atmosferica attraverso la formazione di nuvole che, dando luogo ad eventi piovosi, riducono l'effetto serra abbassando le temperature (feedback negativo). Inoltre, una maggiore presenza di vapore acqueo in atmosfera può avere anche un ulteriore effetto attenuante, dovuto all'incremento dell'albedo<sup>52</sup>, favorendo la riflessione della radiazione solare incidente (Catino, 2007).

Tra i gas serra di cui fa parte, il vapore acqueo è quello che si forma più rapidamente (evaporazione da corpi idrici superficiali) e che altrettanto rapidamente viene scartato dall'atmosfera (precipitazioni). Nonostante ciò, le concentrazioni di vapore, pur essendo variabili nello spazio e nel tempo, se valutate nel lungo periodo si possono considerare mediamente costanti. Sono quindi molto importanti per la determinazione dei cicli giornalieri e stagionali, contribuendo nel lungo periodo all'equilibrio climatico. Tuttavia, l'eventuale aumento della concentrazione di gas serra nell'atmosfera può minacciare tale equilibrio, a causa dell'aumento della quantità di calore intrappolato e riflesso. Di conseguenza, gli oceani e i mari si riscalderebbero più velocemente, liberando vapore acqueo che a sua volta potrebbe incrementare sia l'effetto serra sia gli eventi di precipitazione.

Le considerazioni fatte finora evidenziano l'estrema variabilità relativa al movimento e allo stoccaggio dell'acqua nei vari sottosistemi, dipendente da fattori naturali cui si sono aggiunti negli ultimi due secoli anche fattori antropici (IPCC, 2013). L'influenza del surriscaldamento globale sul ciclo idrologico è ormai ampiamente riconosciuta; l'aumento delle temperature ha un'influenza diretta sul ciclo delle acque poiché, determinando un maggior riscaldamento delle masse d'acqua provoca anche un aumento dell'evaporazione delle stesse, con rovesci sempre più intensi.

Dalle **osservazioni** e analisi effettuate a partire dai dati disponibili dall'inizio del '900, sono state rilevate notevoli influenze antropogeniche sulle variazioni del ciclo globale dell'acqua; in particolare, a partire dal 1960, esse hanno determinato un aumento del contenuto di umidità atmosferica, variazioni su scala globale dei pattern delle precipitazioni e intensificazione degli eventi di pioggia (IPCC, 2013).

Alla luce delle proiezioni a breve e a lungo termine realizzate dall'IPCC, si prevede un'accelerazione dei processi caratterizzanti il ciclo idrologico, che tuttavia si manifesteranno in modo diverso nelle varie parti del mondo. In generale, le variazioni della quantità di

---

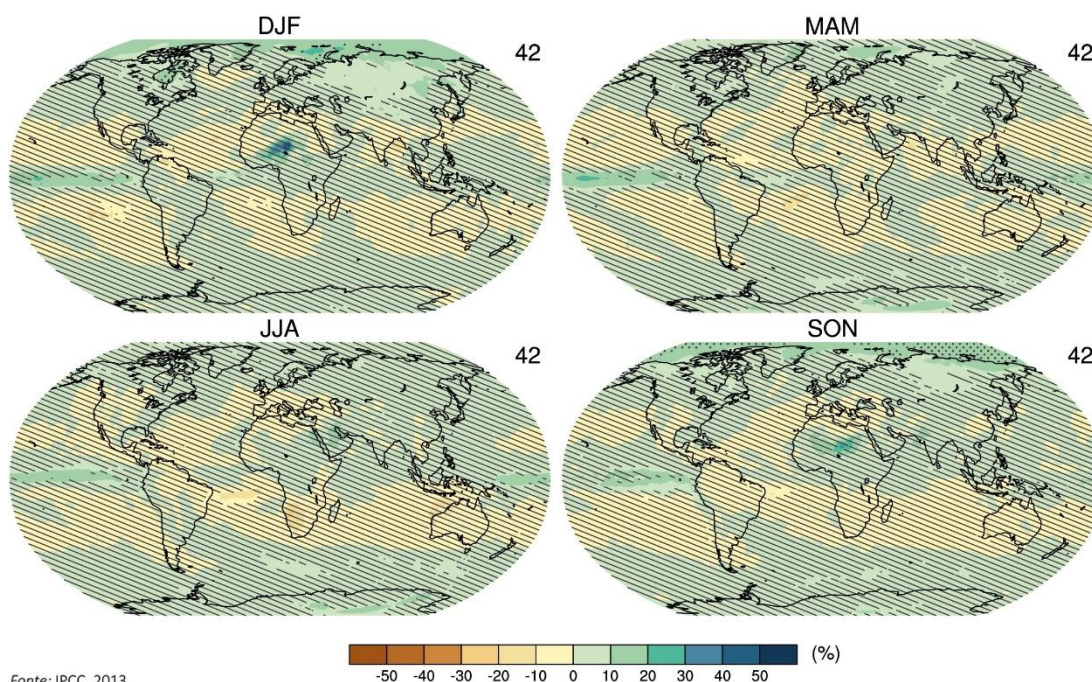
<sup>52</sup> Con il termine albedo (detto anche coefficiente di riflessione solare) si indica il potere riflettente delle superfici, ovvero la frazione di luce o di radiazione incidente, che viene riflessa in tutte le direzioni. Si misura quindi come rapporto tra l'energia solare riflessa su una superficie ( $I_r$ ) e l'energia incidente su di essa ( $I_i$ ). Può assumere valori compresi fra 0 e 1, dove 0 indica il massimo assorbimento di radiazione (oggetto perfettamente nero), mentre 1 il massimo potere riflettente (oggetto perfettamente bianco). Ad esempio la neve, che ha come valore di albedo 0,9, è in grado di riflettere il 90 % della radiazione solare e di assorbire il restante 10 % (Iqbal, 1983; Paolicchi, 2008).



precipitazione comporteranno variazioni anche negli altri processi del ciclo. Inoltre, va considerato che l'evapotraspirazione, che dovrebbe aumentare all'incremento delle precipitazioni, è influenzata anche dal comportamento della vegetazione all'incremento delle concentrazioni di CO<sub>2</sub><sup>53</sup>.

Dalle **proiezioni a breve termine** (2016-2035) emergono variazioni nel regime delle precipitazioni stagionali globali tali da inasprire la condizione di piovosità o aridità delle varie zone della Terra (fig. 9).

Figura 9. Variazioni medie stagionali delle precipitazioni relative al periodo 2016-2035 rispetto al periodo 1986-2005 - scenario RCP4.5



Fonte: IPCC, 2013

Le variazioni relative ai processi di evaporazione sono prevalentemente positive, comprese per la maggior parte entro un range del 15 %; il delta dato dalla differenza tra evaporazione e precipitazione (E-P) è invece prevalentemente negativo laddove si registrano incrementi di precipitazione, con un bilancio idrologico di tipo attivo. Coerentemente con l'incremento di evaporazione, in molte aree si rileva una diminuzione della percentuale di umidità nel suolo, mentre i valori di deflusso superficiale (*runoff*) risultano essere direttamente correlati ai valori di precipitazione. Infine, in relazione ai valori di umidità le proiezioni mostrano un incremento significativo di umidità specifica<sup>54</sup>, maggiore alle alte latitudini a nord dell'emisfero, e variazioni minori di umidità relativa<sup>55</sup>, di pochi punti percentuali, con decrementi soprattutto

<sup>53</sup> La presenza di anidride carbonica nell'atmosfera può avere due effetti opposti, di chiusura stomatica delle piante, con conseguente riduzione di Et, o di maggiore crescita delle piante e della superficie fogliare e quindi di incremento di Et (IPCC, 2013).

<sup>54</sup> L'umidità specifica è il rapporto tra la massa di acqua e la massa di aria secca contenute in un determinato volume d'aria.

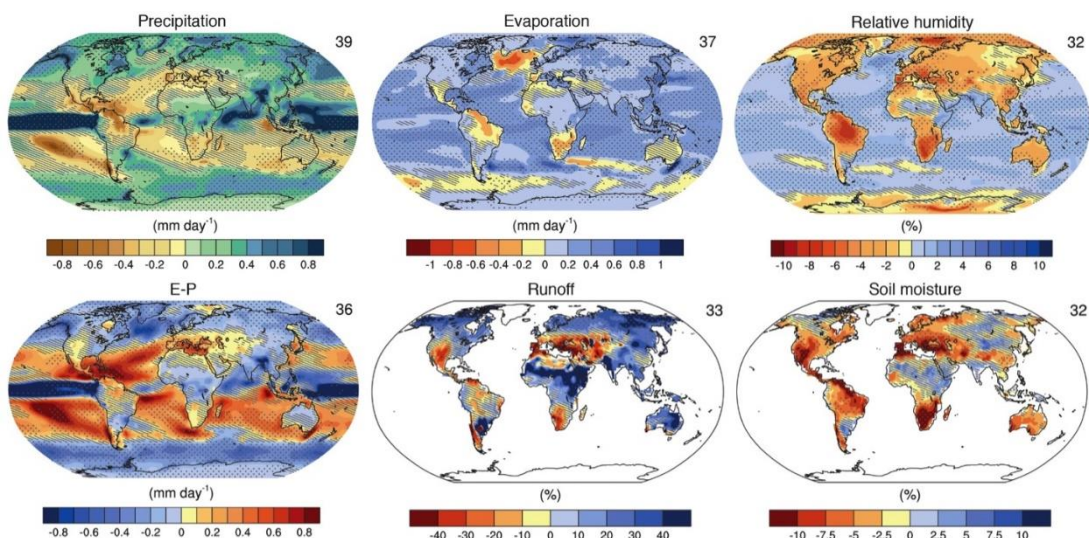
<sup>55</sup> L'umidità relativa è il rapporto percentuale tra la quantità di vapore contenuta in una massa d'aria e la quantità massima (cioè a saturazione) che il volume d'aria può contenere nelle stesse condizioni di temperatura e pressione.

sulle aree terrestri e incrementi sugli oceani (IPCC, 2013).

Le **proiezioni a lungo termine** (2081-2100) evidenziano un andamento simile alle proiezioni al 2035, con un'intensificazione ancora maggiore dei processi caratterizzanti il ciclo idrologico rispetto al periodo 1986-2005 a causa dell'ulteriore incremento di emissioni antropiche (fig. 10).

In relazione alle precipitazioni, si registra un possibile aumento oltre il 50% ai tropici entro il 2100, mentre altre aree subtropicali potrebbero subire una riduzione anche oltre il 30% (IPCC, 2013). In generale, gli incrementi di precipitazione sono direttamente collegati all'aumento di vapore acqueo nell'atmosfera, che entro la fine del XXI secolo potrà subire variazioni dal 5 al 25% in relazione alla quantità di emissioni di gas serra (IPCC, 2013). A livello globale le variazioni di precipitazione non saranno uniformi, così come quelle connesse agli altri processi idrologici; la differenza tra regioni (e stagioni) umide e asciutte tenderà ad acuirsi sempre di più.

Figura 10. Variazioni medie annuali del ciclo idrologico relative al periodo 2081-2100 rispetto al periodo 1986-2005 - scenario RCP8.5



Fonte: IPCC, 2013

Anche se il rapporto tra cambiamento climatico e formazione degli eventi meteo climatici estremi è stato definito già da tempo dall'IPCC, diversi studi negli ultimi anni sono riusciti a quantificare la relazione tra aumento medio della temperatura, alterazioni del ciclo delle acque e aumento di intensità e frequenza dei fenomeni piovosi. Uno studio relativo alle variazioni della salinità degli oceani e una ricerca condotta dall'Università di Tel Aviv sulla frequenza e intensità di temporali e fulmini hanno stimato, rispettivamente, che ogni °C in più di temperatura può velocizzare dell'8% circa il ciclo di evaporazione e precipitazione (Durack, 2015) e può generare approssimativamente un incremento del 10% dell'intensità di eventi di precipitazione estrema (American Friends of Tel Aviv University, 2012). Se a tali risultati si aggiungono le proiezioni dell'IPCC di incremento della temperatura media globale al 2100 pari a 1 °C (scenario RCP2.6) e 3,7° C (scenario RCP8.5) si evidenzia una rilevante intensificazione

del ciclo dell'acqua (dall'8% al 30 % circa) e degli eventi piovosi estremi (fino al 40 % circa) entro la fine del XXI secolo.

Le alterazioni al ciclo idrologico globale causate dal cambiamento climatico hanno determinato e determineranno in futuro problematiche di notevole rilevanza ambientale e sociale. Le regioni piovose diventeranno ancora più piovose e potranno essere interessate da alluvioni e inondazioni, e quelle aride si inaridiranno ancora di più. A ciò va aggiunta l'ulteriore azione antropica di alterazione del piccolo ciclo dell'acqua relativo alla circolazione idrica locale. L'uomo, attraverso l'ampliamento delle superfici impermeabili, ha causato un incremento dei volumi e dei picchi di deflusso superficiale delle acque, determinando, anche in presenza di eventi meteorologici non estremi, impatti notevoli sull'ambiente costruito e sulla popolazione.

### *3.1.2 Cambiamenti osservati nelle precipitazioni e proiezioni per le aree euro-mediterranee*

Dagli studi condotti sul cambiamento climatico globale emerge un aspetto fondamentale: sia le osservazioni che le proiezioni di temperatura e precipitazione presentano caratteri disomogenei nelle varie regioni terrestri. Se si approfondisce lo studio alle caratteristiche del ciclo idrologico che interessano la regione euro-mediterranea e l'Italia, la situazione si complica ulteriormente. Innanzitutto, l'eterogeneità spaziale e temporale dei fenomeni di precipitazione è maggiore rispetto a quella delle temperature; i cambiamenti stagionali e regionali dipendono dalle variazioni di circolazione atmosferica che avvengono su larga scala. Inoltre, la regione mediterranea è localizzata in un'area di transizione tra due regimi climatici molto diversi tra loro, rispetto ai quali i fenomeni si fanno più evidenti (Gualdi & Navarra, 2005). La posizione di confine tra il regime più piovoso dell'Europa Centrale e quello arido del Nord Africa rende il clima e il ciclo idrologico dell'area euro-mediterranea particolarmente sensibili alle variazioni di tali regimi (Gualdi & Navarra, 2005; Portoghesi et al., 2009).

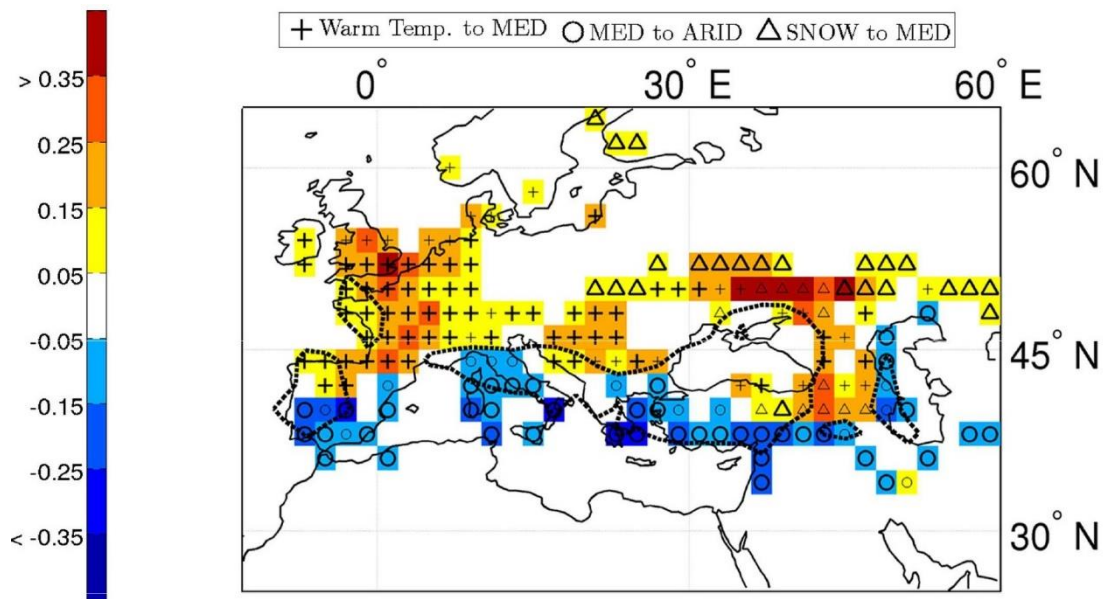
L'aumento di temperatura registrato durante il XX secolo è associato a variazioni in diverse componenti del ciclo idrologico. Dall'**osservazione** delle serie temporali di precipitazione relative alla regione euro-mediterranea è emerso un trend di progressiva diminuzione dei valori medi annuali durante il XX secolo, con valori ridotti anche fino al 20%, in contrasto con gli incrementi dal 10 al 40% registrati per il nord-Europa (EEA, 2008). Parallelamente, l'intensità degli eventi estremi come temporali e nubifragi è aumentata negli ultimi 50 anni, con una tendenza ad ulteriori incrementi (EEA, 2008; IPCC, 2013).

In particolare, in Italia è stato rilevato un notevole cambiamento nella distribuzione temporale delle precipitazioni, con influenza sia sui valori medi che sui massimi/estremi. La diminuzione dei valori medi si è accompagnata ad una diminuzione del numero di giorni piovosi e ad un aumento della durata massima dei periodi privi di precipitazione. Inoltre, è stato riscontrato anche un aumento dell'intensità, con una frequente formazione di eventi estremi di precipitazione, il cui periodo di ritorno si è ridotto. Tali considerazioni evidenziano sia una tendenza all'incremento delle condizioni di siccità, verificata a partire dagli anni '50 (Bordi & Sutera, 2002; Mariotti et al., 2008) sia una tendenza alla formazione di eventi estremi,

sempre più frequenti (Alpert et al., 2002; Brunetti et al., 2004).

Molti studi concordano sulla propensione ad una crescente aridità del clima mediterraneo, che sarà interessato nel corso del XXI secolo da un peggioramento di tale condizione (Alessandri et al., 2014). L'area euro-mediterranea è considerata particolarmente suscettibile ai cambiamenti climatici in atto (*climate-change hot spot*) (Giorgi, 2006), e la tendenza emergente prevede uno "spostamento" del clima mediterraneo (*MED-climate*) verso le regioni del Nord e del Nord Est europeo (fig. 11).

Figura 11. Cambiamenti previsti nel clima euro-mediterraneo relativi al periodo 2070-2100 rispetto al periodo 1979-2005



Fonte: Alessandri et al., 2014

Le **proiezioni** al 2100 evidenziano un inasprimento degli andamenti rilevati per il XX secolo, all'interno dei quali spicca l'ulteriore riduzione della precipitazione media annuale del 20% ed estiva del 30% (fig. 12) (Portoghese et al., 2009). Oltre ai cambiamenti nei valori medi, le proiezioni indicano alterazioni dei valori massimi delle precipitazioni, che possono determinare sia un aumento della probabilità di occorrenza di eventi estremi (Castellari et al., 2014) di circa il 30% in inverno o una riduzione degli stessi del 20% in estate (fig. 13).

Il progressivo miglioramento della risoluzione spaziale e temporale dei modelli climatici regionali ha consentito la rappresentazione di eventi di precipitazione intensa sub-giornalieri locali, per i quali è stato evidenziato un incremento di intensità del 7% circa per ogni °C di riscaldamento, soprattutto durante il periodo estivo (Ban et al., 2015; EEA, 2017).

Gli scenari appena delineati prefigurano impatti notevoli sull'ambiente costruito e sulla popolazione in relazione alla formazione di fenomeni di allagamento e inondazione cui possono collegarsi anche fenomeni franosi e di trasporto di detriti. Di conseguenza, l'aumento delle temperature medie e massime estive e degli eventi di precipitazione brevi ma intensi accentua le criticità già presenti negli insediamenti urbani, con ripercussioni molto negative



su economia e qualità della vita, in particolare nelle zone a maggiore densità abitativa, dove le caratteristiche dell'ambiente costruito amplificano gli impatti degli eventi estremi descritti.

Figura 12. Variazioni previste nel regime annuale delle precipitazioni relative al periodo 2071-2100 rispetto al periodo di riferimento 1971-2000 – scenario RCP8.5

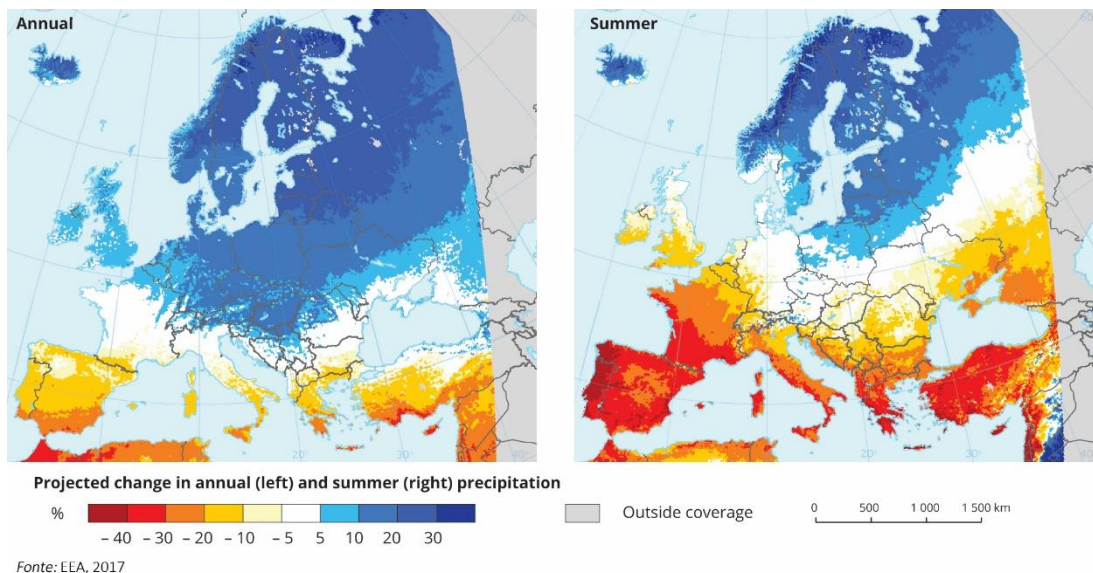
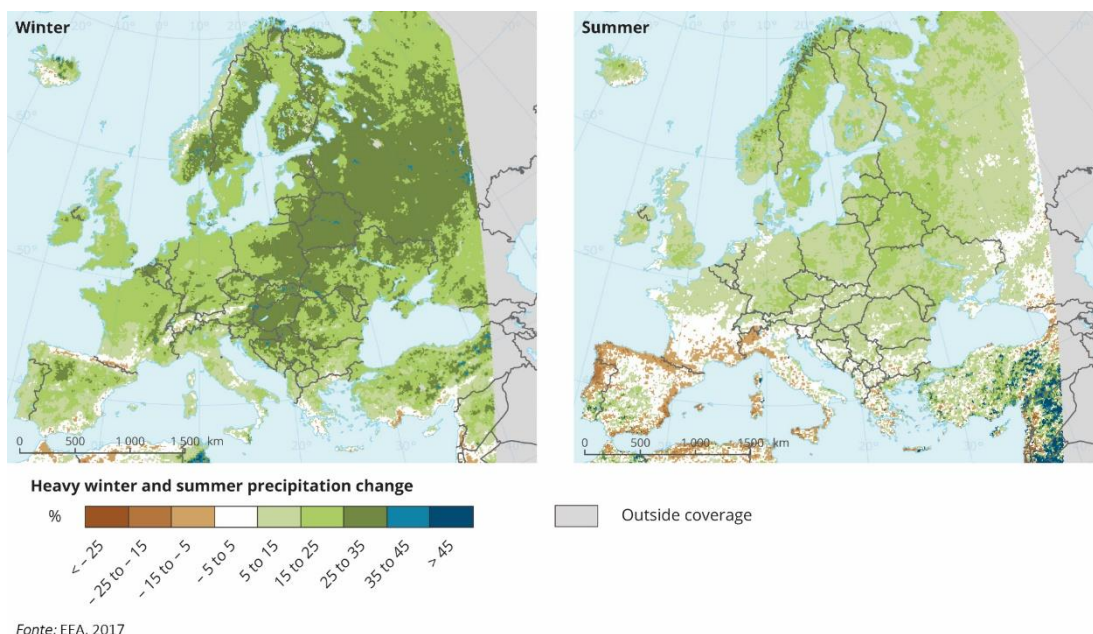


Figura 13. Variazioni previste delle precipitazioni intense in inverno e in estate relative al periodo 2071-2100 rispetto al periodo di riferimento 1971-2000 – scenario RCP8.5

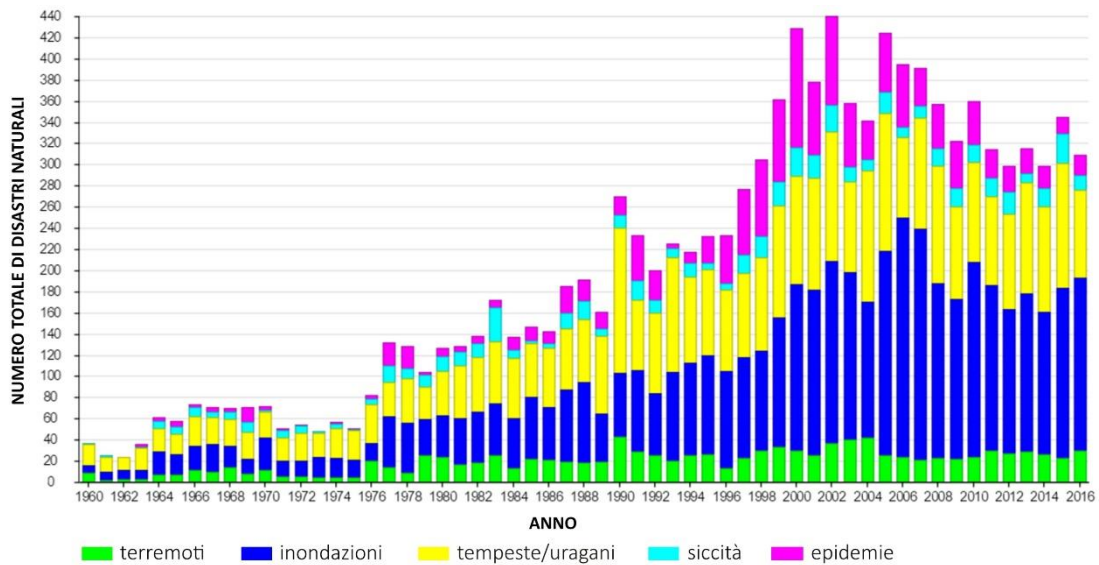


### 3.1.3 Flood hazard: la risorsa acqua come minaccia per l'uomo

I fenomeni di inondazione rappresentano una delle calamità più diffuse a livello mondiale, con devastazioni ingenti, perdite economiche e impatti sulla salute delle persone. Secondo i trend globali elaborati dal Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) nell'ambito del progetto "Emergency Events Database (EM-DAT)", rispetto ad altri disastri

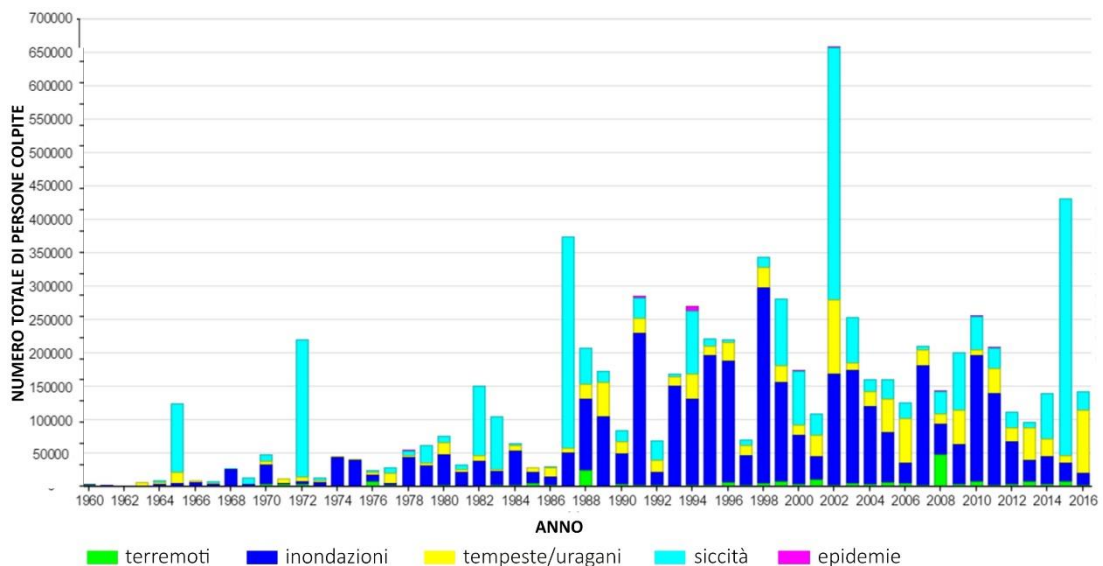
naturali (terremoti, tempeste, siccità, epidemie), le inondazioni rappresentano uno degli eventi che si è manifestato con maggiore frequenza dal 1960 al 2016, insieme agli eventi di precipitazione, quasi ugualmente presenti (fig.14). Sempre dal confronto con altri disastri, emerge anche che il numero di persone coinvolte durante episodi di inondazione è maggiore, tranne che in alcuni casi di fenomeni di siccità (fig.15).

Figura 14. Numero totale di disastri naturali per categoria all'anno dal 1960 al 2016



Fonte: CRED, 2017

Figura 15. Numero totale di persone colpite per categoria di disastro all'anno dal 1960 al 2016



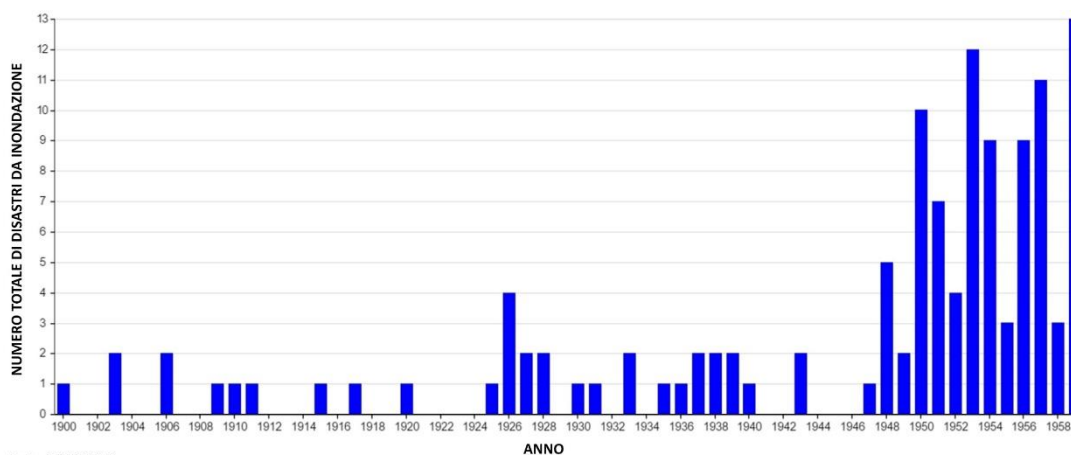
Fonte: CRED, 2017

Dall'analisi a livello globale del solo fenomeno di inondazione, si riscontra un incremento significativo dal 1960 al 2016 rispetto ai 60 anni precedenti, con valori quasi sempre superiori ai 150 eventi all'anno a partire dal 2000 (figg. 16-17). Tale crescita del numero di eventi corrisponde anche ad un aumento della quantità di persone interessate dal fenomeno, con un



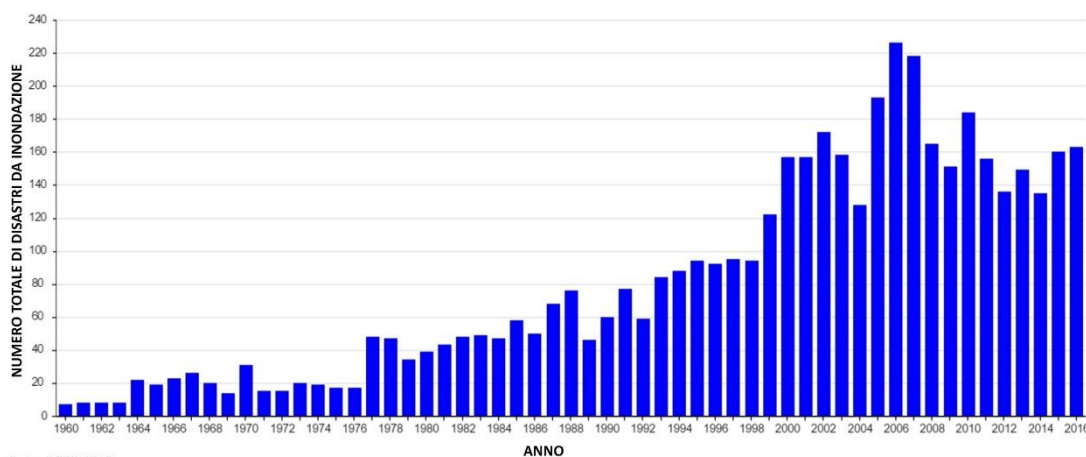
totale di più di 3 milioni e mezzo di persone coinvolte (feriti, colpiti, senz'altro) dal 1960 al 2016 (contro le circa 30.000 totali dei 60 anni precedenti), di cui 1 milione e mezzo solo dal 2000 al 2016 (in media circa 90.000 persone all'anno) (fig. 18). Gli impatti risultanti in termini di mortalità e danni economici sono ingenti: migliaia di persone sono morte ogni anno a causa di inondazioni di varia natura (fig. 19) e dal 1960 si sono registrate perdite per un valore totale di circa 690 miliardi di euro, con un incremento totale dal 1990 al 2016 di oltre il 120% rispetto ai 30 anni precedenti (fig. 20).

Figura 16. Numero totale di disastri da inondazione all'anno dal 1900 al 1959



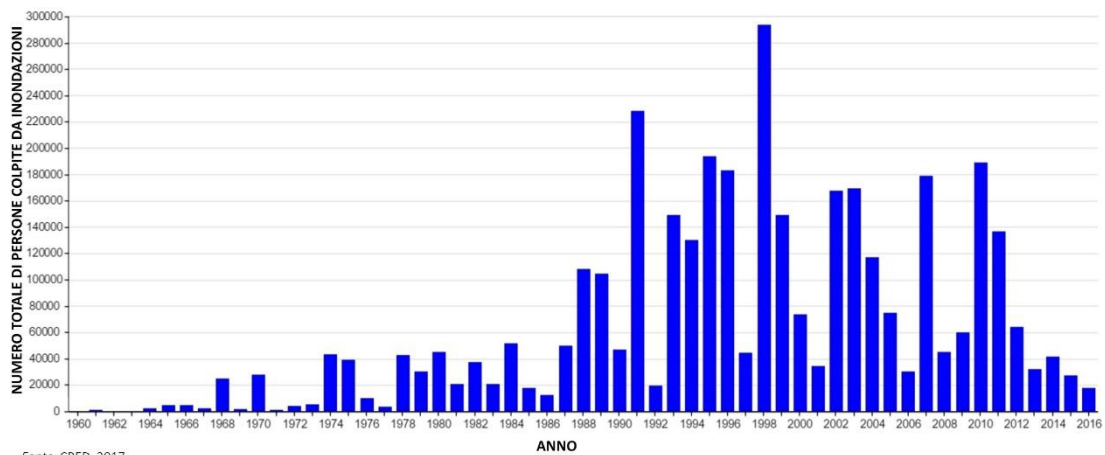
Fonte: CRED, 2017

Figura 17. Numero totale di disastri da inondazione all'anno dal 1960 al 2016



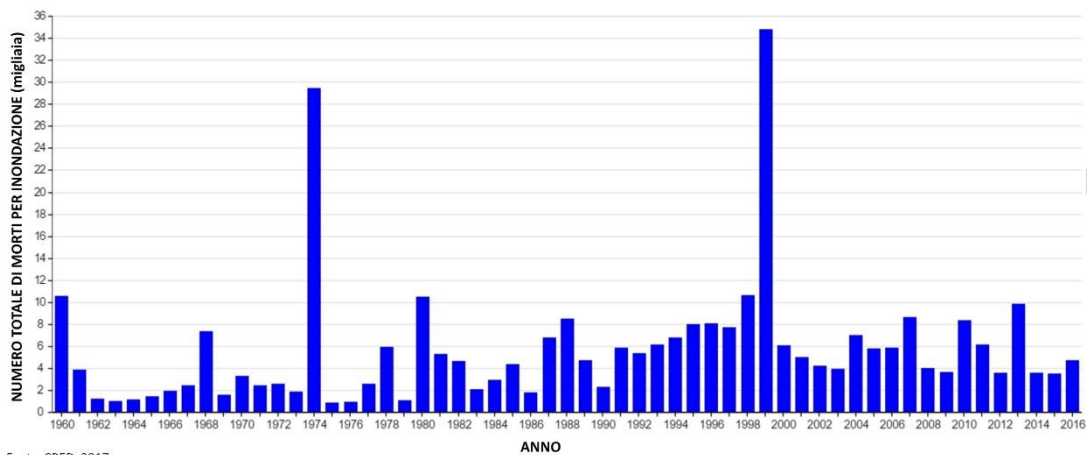
Fonte: CRED, 2017

Figura 18. Numero totale di persone colpite da inondazione all'anno dal 1960 al 2016



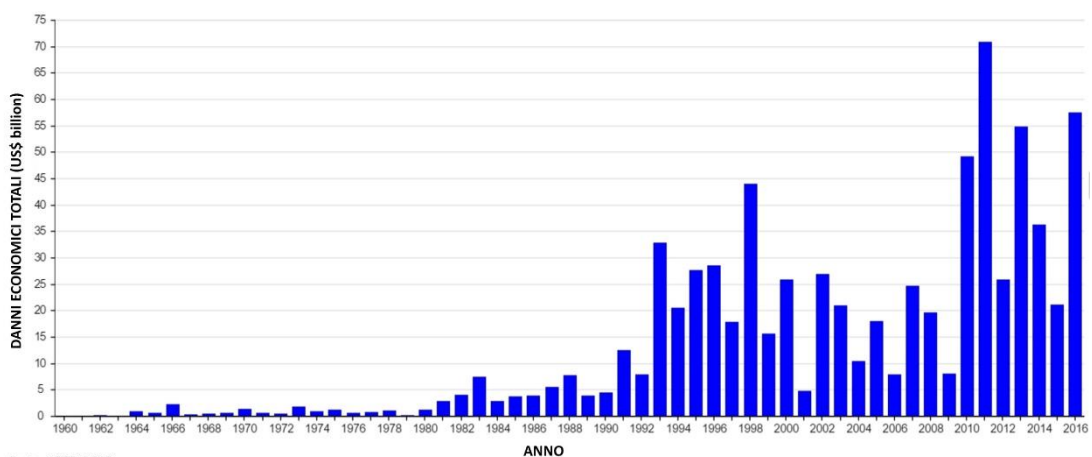
Fonte: CRED, 2017

Figura 19. Numero totale di morti per inondazione all'anno dal 1960 al 2016



Fonte: CRED, 2017

Figura 20. Danni economici totali per inondazione all'anno dal 1960 al 2016

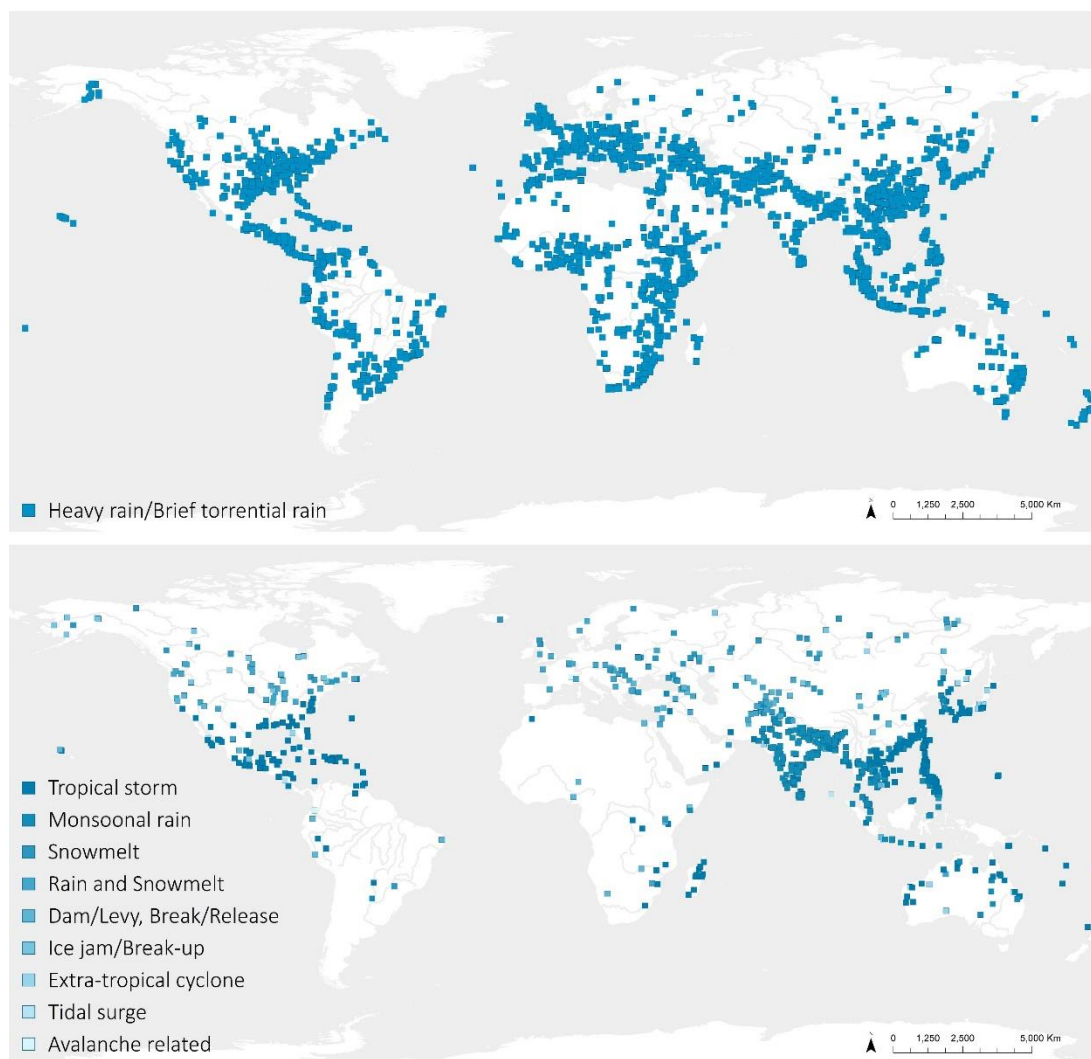


Fonte: CRED, 2017

Secondo uno studio effettuato dal Dartmouth Flood Observatory (DFO) su eventi di inondazione verificatisi in tutto il mondo tra il 1985 e il 2002 e mirato alla creazione di un

archivio globale<sup>56</sup>, le piogge torrenziali (brevi e intense, definite *brief torrential rain*, o prolungate, definite *heavy rain*) rappresentano la causa principale di innesco di fenomeni di inondazione. Ciò risulta evidente soprattutto nelle regioni europee, a differenza delle aree del sud-est asiatico, dove prevalgono piogge monsoniche e tropicali (fig. 21) (DFO, 2004a).

Figura 21. Mappatura delle principali cause di fenomeni di inondazione avvenuti dal 1985 al 2002



Elaborazione dell'autrice - Fonte dei dati: DFO 2004a

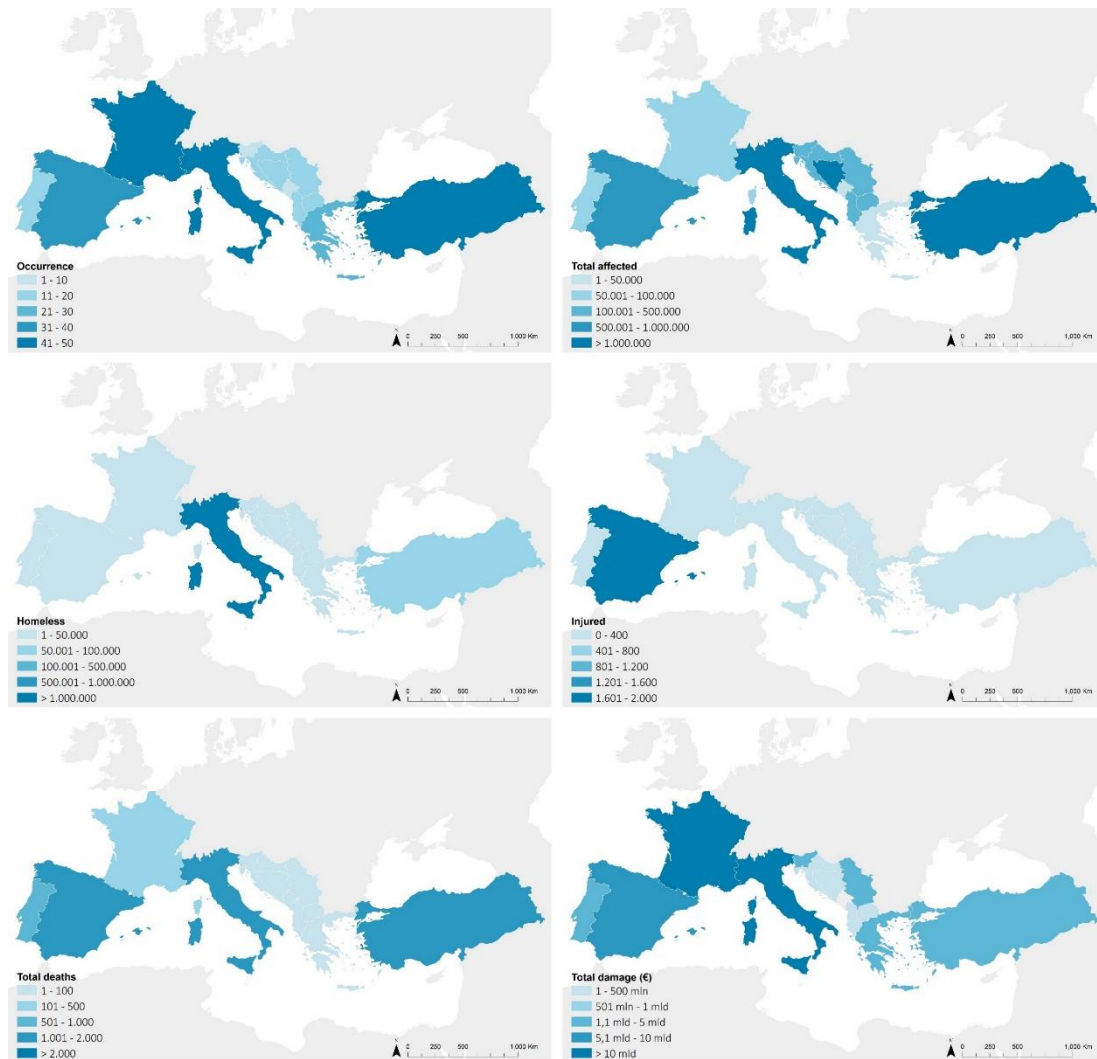
Tali considerazioni evidenziano la rilevanza globale del fenomeno, che assume aspetti ancora più preoccupanti se si approfondisce l'analisi al contesto mediterraneo e italiano. La compresenza di alcuni fattori, quali l'esistenza di numerosi centri urbani ad elevata densità abitativa, la crescente impermeabilità dei suoli e la vicinanza ai corpi idrici superficiali, può aggravare gli effetti risultanti dagli eventi di precipitazione.

Dal confronto di alcuni dati tra i paesi dell'area euro-mediterranea emerge che l'Italia è tra

<sup>56</sup> Il *World Atlas of Large Flood Events 1985-2002* raccoglie eventi di inondazione accaduti in qualsiasi parte del mondo tra il 1985 e il 2002, che abbiano avuto impatti significativi (mortalità, danni agli edifici, alle infrastrutture e all'agricoltura) e/o che si siano verificati dopo diversi decenni dall'ultimo evento simile (DFO, 2004b).

quelli con il numero più alto di eventi di inondazione totali dal 1900 al 2016, con quasi 3 milioni di persone colpite, di cui 1 milione e mezzo circa rimaste senza casa (CRED, 2017). Anche il numero di decessi è tra i più elevati, con più di mille persone morte nel periodo di riferimento, così come i danni economici, per un valore complessivo di poco superiore ai 23 miliardi di euro (fig. 22) (CRED, 2017).

Figura 22. Numero di eventi di inondazione, persone colpite (feriti, senzatetto), morti e danni economici totali (€) in ambito euro-mediterraneo dal 1900 al 2016



Elaborazione dell'autrice - Fonte dei dati: CRED, 2017

La situazione appena descritta evidenzia una nazione a forte rischio, che ha subito danni notevoli e che necessita di azioni mirate ma diffuse sul territorio, soprattutto laddove particolari caratteristiche antropiche e naturali hanno trasformato gli eventi di pioggia del passato in disastri.

Approfondendo l'analisi degli eventi di inondazione al territorio italiano, emerge un significativo aumento nel corso degli anni della frequenza di accadimento e una maggiore concentrazione degli eventi di inondazione in centri urbani medio-grandi. Inoltre, si assiste

anche una diminuzione dei morti dovuta principalmente al cambiamento degli stili di vita e al modo di vivere il territorio. Nonostante ciò, il danno materiale ed economico prodotto da tali eventi tende ad aumentare a causa dell'elevato valore intrinseco (economico, sociale o ambientale) e dell'incremento del numero degli elementi colpiti, quali edifici residenziali, attività industriali, commerciali o agricole, spesso realizzati in aree non idonee e in assenza degli opportuni adempimenti amministrativi (Rodriguez, 2012). Ciò ovviamente comporta un incremento della spesa pubblica per l'intervento di soccorso post-evento, che comprende non solo l'assistenza agli sfollati, ma anche il supporto e il risarcimento ai cittadini e alle attività produttive per la perdita di beni, proprietà e produzioni industriali o agricole.

### **3.2 Comprendere il *pluvial flood*: caratteristiche e conseguenze**

L'origine dei fenomeni di *flood* è direttamente correlata ad alterazioni del normale ciclo dell'acqua può portare al verificarsi di fenomeni di inondazione (o *flood*), intesi come il risultato di processi di allagamento caratterizzati dal raggiungimento di un livello significativo delle acque di scorrimento superficiale in aree normalmente asciutte. Tale definizione generica può essere declinata in modi diversi in relazione all'origine delle acque di scorrimento. Esse possono derivare dallo straripamento di corsi d'acqua (inondazione fluviale o *riverine flood*), dall'innalzamento anomalo del livello del mare o dei laghi lungo le coste (inondazione costiera o *coastal flood*), dall'emergenza di acque sotterranee (inondazione da acque sotterranee o *groundwater flood*) o direttamente dalle acque di pioggia nei punti di caduta (inondazione superficiale, *pluvial flood*) (Below, 2009; IRDR, 2014). Tali fenomeni, approfonditi nel sotto-paragrafo 3.2.2, si verificano solitamente in occasione di eventi eccezionali; tuttavia, in ambito urbano, oltre ad essere molto frequente una loro combinazione, è possibile la creazione di disagi o di veri e propri disastri anche con eventi di breve intensità o durata. In aggiunta, in determinati territori, essi possono provocare l'attivazione di particolari meccanismi di movimento delle masse, con la formazione di fenomeni franosi o di sprofondamento del suolo (subsidenza). Pertanto, si approfondiscono le conseguenze in ambito urbano dell'alterazione dei processi idrologici e gli impatti connessi ai fenomeni di *pluvial flood*.

#### *3.2.1 Urbanizzazione e alterazione dei processi idrologici*

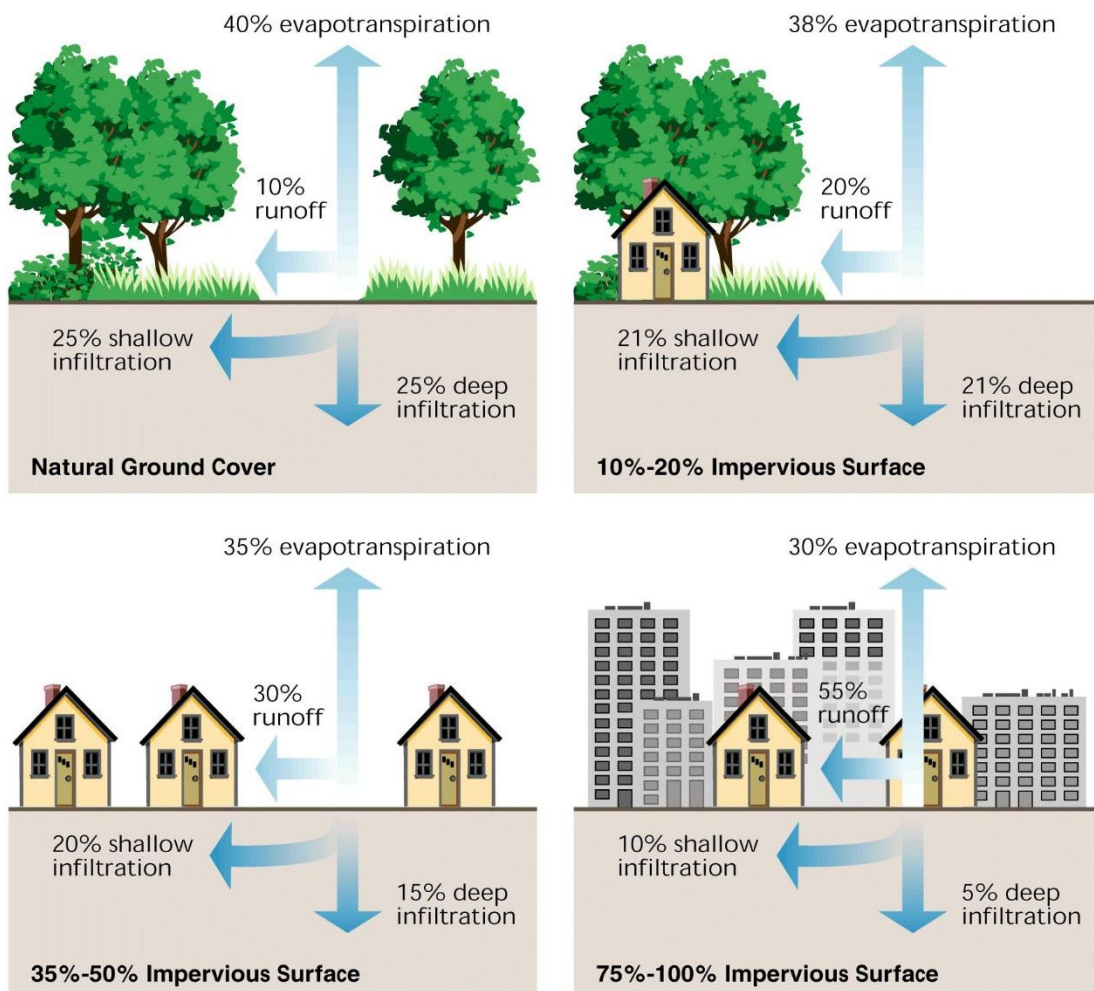
Il ciclo dell'acqua precedentemente descritto (sotto-par. 3.1.1) assume connotati diversi in relazione al contesto di riferimento. In ambito urbano, il movimento dell'acqua è fortemente influenzato dalle attività antropiche che, a vario titolo, interferiscono con i processi naturali di intercezione, evapotraspirazione, infiltrazione e deflusso. L'espansione delle città avvenuta negli ultimi due secoli e la crescente urbanizzazione hanno comportato l'alterazione degli usi del suolo di ampi territori, al fine di consentire la realizzazione di residenze, infrastrutture, e di tutte le attività e i servizi necessari alla vita cittadina. Ciò ha causato, innanzitutto, la conversione delle superfici naturali permeabili (terreni, aree a verde, boschi, ecc.) in superfici con un livello di permeabilità inferiore o nullo ed un appiattamento degli avvallamenti



naturalmente presenti nei contesti naturali. Tali modificazioni hanno rallentato o addirittura inibito i processi idrologici, determinando una rapida trasformazione delle acque di pioggia in flussi di scorrimento superficiale, l'effetto più significativo dell'urbanizzazione sul ciclo idrologico naturale (Marsalek et al., 2006; Nigro et al., 2014).

Le acque di pioggia, che in un contesto non antropizzato seguono principalmente un percorso di infiltrazione sotterranea ed evapotraspirazione, con tassi variabili in relazione alle condizioni meteorologiche e alle caratteristiche della vegetazione e dei suoli, in ambito urbano danno vita a importanti volumi di deflusso superficiale (*runoff*) utilizzando le strade e gli spazi aperti come percorsi preferenziali. L'attività antropica ha quindi alterato la formazione del deflusso incrementandone sia i volumi, attraverso la riduzione dell'evapotraspirazione e dell'infiltrazione superficiale e profonda delle acque di pioggia (fig. 23), sia la velocità, grazie alla realizzazione dei sistemi di canalizzazione idraulica (Marsalek et al., 2006; Trovati, 2016).

Figura 23. Relazione tra incremento di superfici impermeabili e deflusso superficiale



Fonte: FISRWG, 1998

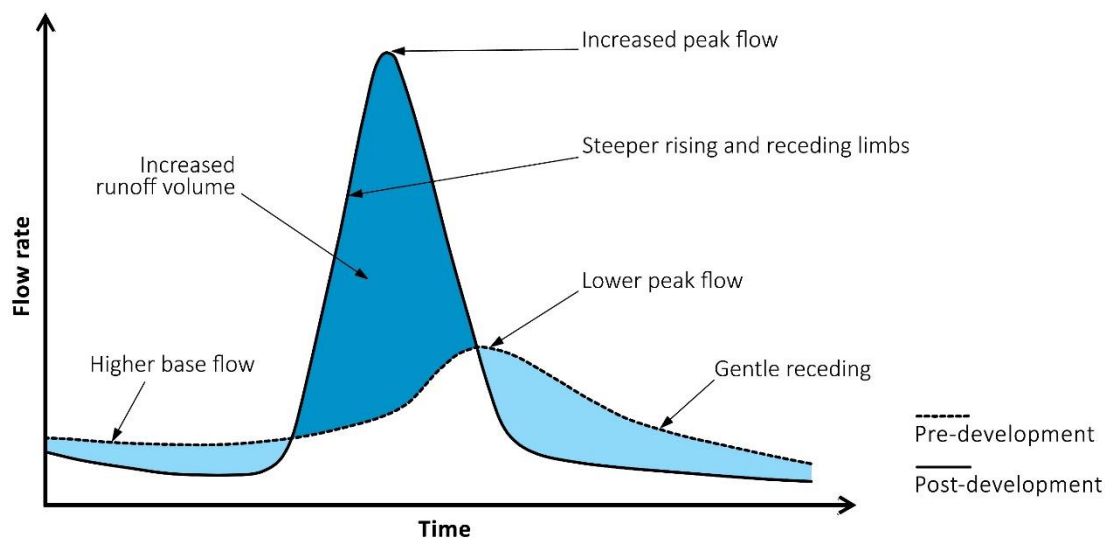
A differenza delle aree vegetate, le superfici impermeabili generano episodi di runoff quasi immediatamente dopo l'inizio dell'evento meteorico, la cui intensità e durata ne influenzano



velocità, tempo di percorrenza/permanenza negli spazi, picco massimo e volume totale (Watson & Adams, 2011). L'incremento di tali parametri dipende anche dalla scarsa presenza di alberi e arbusti, che, grazie al processo di intercezione, riescono a ridurre notevolmente la quantità d'acqua che raggiunge il suolo, ritornando direttamente in atmosfera per evaporazione e traspirazione (Smith & Smith, 2006). Parallelamente, l'impermeabilità superficiale ha anche ridotto la capacità del sottosuolo di stoccare le acque, comportando una notevole riduzione della ricarica di falda e delle riserve di acqua sotterranea disponibili per le esigenze della vegetazione e come fornitura idrica per la popolazione (Andjelkovic, 2001).

Il cambiamento di uso dei suoli, in aggiunta agli incrementi di temperatura registrati, ha accelerato il piccolo ciclo dell'acqua, con effetti indesiderati sull'andamento delle precipitazioni locali, più intense e imprevedibili. La drastica alterazione della capacità drenante, tipica dei suoli naturali, provocata dalle azioni antropiche e la conseguente rapida trasformazione delle acque di pioggia in deflusso superficiale si traduce in un aumento dei picchi e dei volumi delle portate (fig. 24), il cui smaltimento è completamente a carico delle infrastrutture idrauliche per il drenaggio urbano (Nigro et al., 2014).

Figura 24. Impatti idraulici dell'urbanizzazione



Fonte: SuDS Principles, n.d

L'uomo ha quindi cercato di dare una risposta attraverso la realizzazione di sistemi di drenaggio artificiali in grado di raccogliere il deflusso, convogliandolo verso i corpi idrici superficiali. Tuttavia, la velocità con cui il flusso arriva alle condotte per poi confluire nei corpi idrici recettori ha reso spesso inefficaci tali sistemi, soprattutto in occasione di eventi intensi ed improvvisi. Frequentemente il volume di *runoff* supera la capacità di carico della rete a causa di alcuni fattori talvolta concomitanti, quali piogge intense e scarsa pulizia delle condotte, con conseguenti episodi di ristagno e allagamento superficiale (U.S. Army Engineer Institute for Water Resources, 2013).

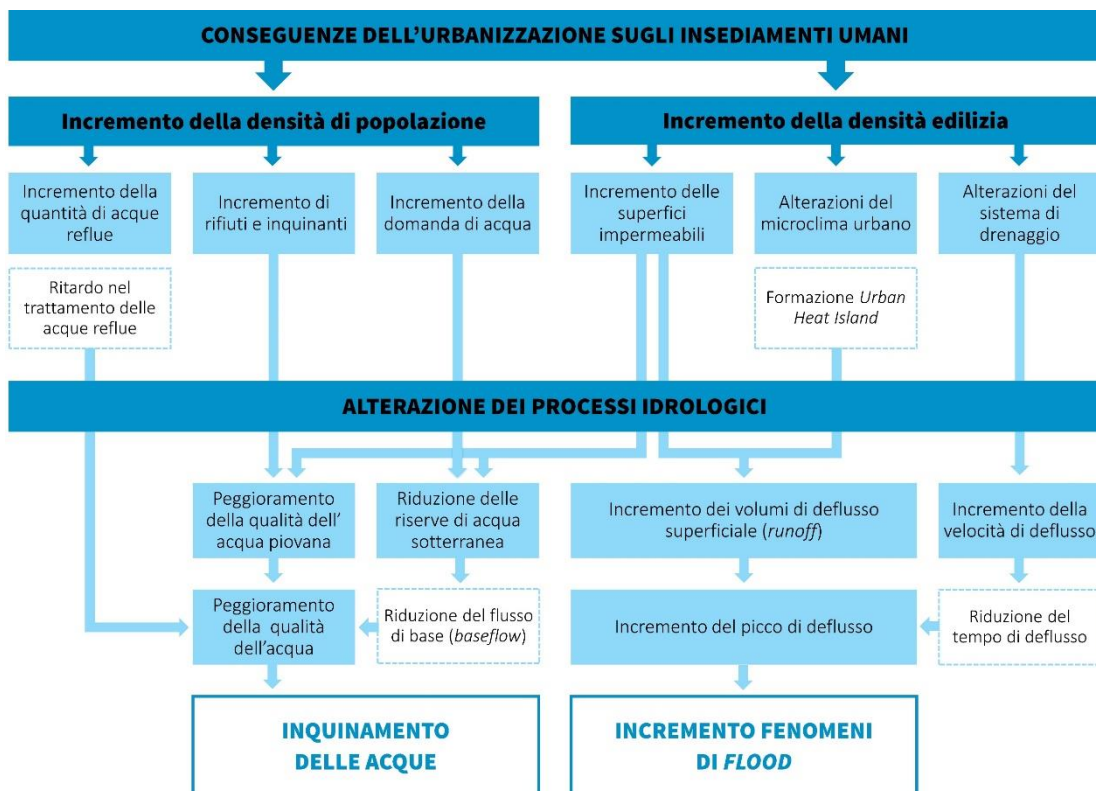
Il contributo antropico alla modifica dei processi idrologici si completa con l'insediamento dei centri abitati in prossimità di fiumi, torrenti e ruscelli e con gli interventi di regimazione e

sistemazione artificiale degli stessi attraverso opere finalizzate al contenimento, alla copertura o all'aumento della portata convogliabile, quali dighe e argini. Tali opere, se in alcuni casi hanno protetto gli insediamenti urbani localizzati in aree originariamente inondabili (*floodplain*) da portate eccezionali ma comunque non eccedenti la loro sommità, in altri, quando il flusso idrico è aumentato improvvisamente, hanno provocato veri e propri disastri, dimostrandosi inadeguate (Marsalek et al., 2006).

Un'ulteriore non trascurabile conseguenza correlata alla modificazione del sistema di drenaggio è relativa alla contaminazione idrica. Il *runoff*, infatti, è responsabile di un preoccupante incremento degli agenti inquinanti nelle acque: rifiuti organici, metalli pesanti, oli, residui dei gas di scarico dei veicoli, prodotti chimici usati in agricoltura e simili vengono trasportati, tramite il deflusso immesso nelle reti fognarie, verso i corpi idrici naturali superficiali e sotterranei anche da località molto lontane, contaminando le riserve di acqua potabile e i terreni coltivabili (Andjelkovic, 2001). Inoltre, va considerato anche che le reti urbane, soprattutto quelle di vecchia realizzazione, sono di tipo unitario, con sistemi di depurazione spesso non funzionanti o inefficienti e conseguente immissione diretta degli inquinanti in mari, fiumi e laghi.

Il consumo e l'impermeabilizzazione dei suoli, la costrizione dei flussi idrici in alvei troppo stretti, la copertura di alcuni torrenti minori e l'edificazione in aree inondabili, alterando il ciclo idrologico locale, hanno determinato un aumento dell'occorrenza dei fenomeni di *flood* e l'inquinamento delle acque (fig. 25).

Figura 25. Principali conseguenze dell'urbanizzazione sul ciclo idrologico



Fonte: rielaborata da Andjelkovic (2001)

### 3.2.2 Tipologie ed impatti dei fenomeni di pluvial flood in ambito urbano

La presenza di deflusso superficiale in ambito urbano può portare alla formazione di diversi tipi di fenomeni di allagamento che, in determinate condizioni (climatiche, geografiche, orografiche, infrastrutturali, ecc.), possono anche avvenire contemporaneamente. Tali fenomeni sono classificabili in base alla durata dell'evento e alla velocità di insorgenza (*speed of onset*) o secondo la causa principale da cui scaturiscono. In relazione alla prima tipologia di eventi, è possibile distinguere tra:

- *slow-onset flood*: ha solitamente una durata relativamente lunga, di una o più settimane, o addirittura mesi;
- *rapid-onset flood*: ha solitamente una durata breve, di uno o due giorni, ma nonostante ciò può provocare danni più importanti rispetto al fenomeno precedente a causa del poco tempo a disposizione delle comunità per intraprendere azioni di risposta efficaci;
- *flash flood*: ha durata ancora più breve, di minuti o poche ore, e la sua intensità e imprevedibilità lo rendono il fenomeno più pericoloso tra i tre.

In relazione alle peculiarità dell'area interessata, si possono individuare due macro-categorie entro cui definire i diversi fenomeni: *coastal flood* e *inland flood*. Mentre il primo è causato da un improvviso innalzamento del livello del mare, che provoca l'inondazione delle zone costiere grazie all'azione congiunta di tempeste violente e vento, il secondo è causato da precipitazioni intense e/o prolungate e, a seconda delle peculiarità dell'entroterra, può assumere connotati diversi (Prinos et al., 2008; Watson & Adams, 2011):

- *riverine flood (o fluvial flood)*: fenomeno di inondazione naturale che interessa le pianure alluvionali, provocato da variazioni temporali e spaziali di precipitazione e deflusso nel bacino idrografico<sup>57</sup>. È causato dall'insufficiente portata dei corpi d'acqua superficiali, naturali o artificiali, che non riescono ad accogliere tutto il flusso proveniente dai territori circostanti e da eventuali affluenti, con conseguente esondazione. La velocità del successivo allagamento, oltre che all'intensità e alla durata dell'evento meteorico, è strettamente collegata alla grandezza del fiume (o canale); con fiumi abbastanza grandi il processo è relativamente lento e spesso è possibile prevedere la piena, adottando opportune misure precauzionali (Prinos et al., 2008). L'allagamento che interessa l'alveo maggiore è un processo naturale che diventa pericoloso laddove l'area inondabile è popolata (Tucci, 2007);
- *groundwater flood*: fenomeno causato dall'emergenza delle acque sotterranee, avviene

---

<sup>57</sup> Si definisce bacino idrografico (o imbrifero), rispetto ad un determinato punto o sezione attraverso cui si considera il deflusso, la porzione di territorio che raccoglie tutte le acque di pioggia, le quali, trasformandosi in portate nella rete idrografica, defluiscono attraverso una assegnata sezione di chiusura di un corso d'acqua. È individuato da due elementi: sezione di chiusura e linea spartiacque (o displuviale), ovvero luogo dei punti da cui hanno origine le linee di massima pendenza che finiscono con il raggiungere la sezione di chiusura e che determina il confine idraulico del bacino. Fissata una sezione di chiusura di un corso d'acqua, il bacino idrografico superficiale relativo a tale sezione è considerato come il luogo geometrico definito dalla displuviale dove le precipitazioni meteoriche vengono raccolte e trasformate in deflussi superficiali o sotterranei alla sezione di chiusura (Ippolito, 1995; Moisélo, 1998). Con le opportune modifiche, è possibile estendere il concetto di bacino idrografico alla rete di drenaggio artificiale.

solitamente dopo prolungati periodi di pioggia intensa che, provocando un'eccessiva infiltrazione nel sottosuolo, ne comportano la saturazione, con conseguente emergenza superficiale delle acque (Kent County Council, 2014; Collier, 2016);

- *sewer flood*: fenomeno provocato dall'esonazione delle fognature, a causa dell'insufficiente portata delle stesse (Collier, 2016);
- *pluvial flood*: fenomeno provocato solitamente da piogge intense (>20-25 mm/h) e/o prolungate, può verificarsi anche con neve sciolta, precipitazioni meno intense (~10 mm/h) e/o di breve durata laddove il terreno è congelato, completamente impregnato o ha una bassa permeabilità (Falconer, 2009; Houston et al., 2011; Maksimovic & Saul, 2017). È definibile come un'inondazione di tipo pluviale, che si forma nel punto in cui l'acqua di pioggia cade. Essa comporta la formazione di elevati volumi di deflusso superficiale (*runoff*) eccedenti la portata dei sistemi di drenaggio (Ochoa-Rodríguez et al., 2013; SEPA, 2015).

Generalmente, tutti i fenomeni elencati scaturiscono da eventi estremi di precipitazione i quali, combinandosi con le caratteristiche del contesto di riferimento, possono determinare anche una sovrapposizione di più fenomeni tra loro, interessando sia aree rurali che urbane.

Tuttavia, nell'ambito della presente ricerca, l'interesse è rivolto al fenomeno ***pluvial flood*** (detto anche *urban pluvial flood*), rispetto al quale è ancora in atto il dibattito riguardo la denominazione, il significato e le caratteristiche. In particolare, esistono opinioni differenti relative alla sua formazione, se generata solo dal deflusso diretto e dai ristagni superficiali derivanti dalle acque meteoriche (DEFRA, 2010; Parker et al., 2011; SEPA, 2015) o anche dal deflusso provocato da fognature e corsi d'acqua minori la cui capacità è stata superata in seguito all'evento estremo (Schmitt et al., 2004; Pitt, 2008). Il secondo approccio è quello più adottato, assumendo la denominazione di *surface water flood* per indicare fenomeni di allagamento risultanti da deflussi diretti (*pluvial flood*) e indiretti (*flash flood*, *sewer flood*, *groundwater flood*) (Pitt, 2008; Falconer, 2009; Local Government Association, 2014; FRC, n.d.).

Da tali considerazioni emerge che le cause principali del fenomeno risiedono nella combinazione tra quantità e tipo di precipitazione e cambiamenti nell'uso del suolo (Watson & Adams, 2011). Tuttavia, molto spesso sono le specifiche proprietà fisiche, sociali e morfologiche dell'ambiente urbano a determinare situazioni di pericolo e di danno, connesse più all'azione antropica che a quella naturale (Falconer, 2009; Houston et al., 2011; Queensland Government, 2011).

Tabella 14. Cause principali dei fenomeni di pluvial flood in ambito urbano

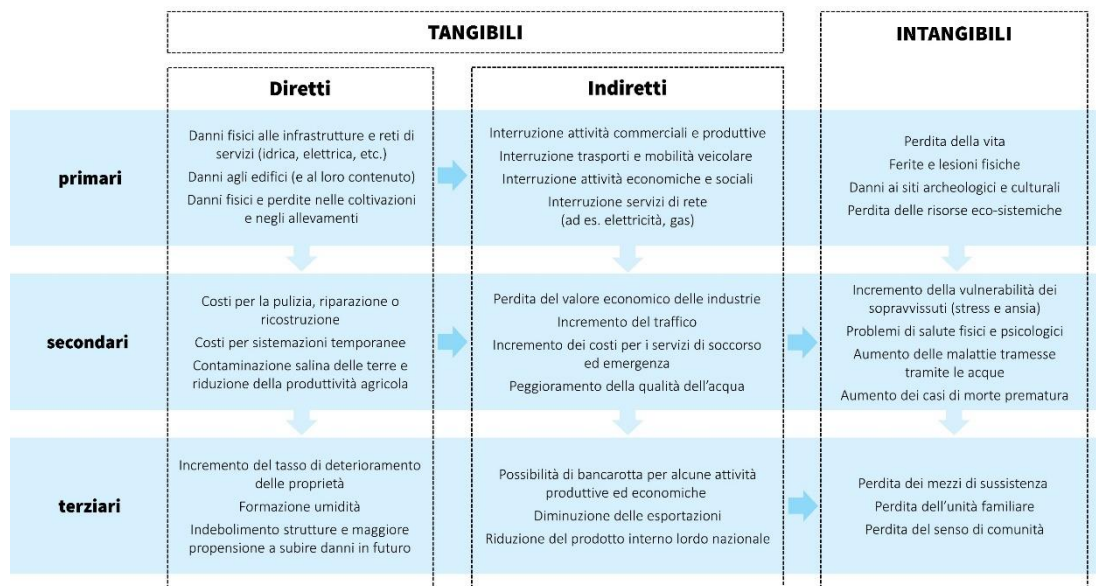
CARATTERISTICHE METEOCLIMATICHE	CARATTERISTICHE DEL SISTEMA COSTRUITO			
	Caratteristiche infrastrutturali	Caratteristiche del sistema di drenaggio	Caratteristiche topografiche	Caratteristiche idrologiche
Precipitazioni Tempeste cicloniche Neve	Presenza di rilevati stradali o ferroviari Restrizione o chiusura di canali naturali esistenti Presenza di sottopassaggi stradali o ferroviari	Portata insufficiente delle condotte Scarsa manutenzione e pulizia delle canalizzazioni e delle caditoie stradali	Strade e spazi aperti ad elevata pendenza	Permeabilità ridotta Livello elevato di umidità del suolo

Fonti: Andjelkovic, 2001; Falconer, 2009; Houston et al., 2011; EEA, 2012

Da quanto esposto in tabella 14, la formazione di fenomeni di *pluvial flood* in ambito urbano è dovuta principalmente all’incremento di superfici sigillate e all’insufficiente portata e nella scarsa manutenzione e pulizia del sistema di drenaggio (canalizzazioni e caditoie stradali). Tuttavia, anche la realizzazione di opere di canalizzazione o di restrizione dei canali esistenti, la presenza di spazi caratterizzati da elevate pendenze o di suoli con terreno congelato o impregnato può provocare fenomeni di scorrimento ad elevata velocità, di ristagno e di esondazione delle fognature (Andjelkovic, 2001; Nott, 2006; Tucci, 2007; Falconer, 2009; Houston et al., 2011; Maguire & Falconer, 2011).

Gli impatti generati possono essere classificati secondo diverse categorie: una prima distinzione fondamentale è relativa alla remunerabilità delle eventuali perdite, che individua impatti tangibili e intangibili. Tra questi, è possibile riconoscere anche impatti diretti, se comportano nel luogo interessato dal fenomeno e nell’immediato danni o perdite dovuti al contatto diretto con l’acqua, o indiretti, se a distanza dal luogo colpito e nel lungo periodo, sono il risultato dei disagi provocati dalle inondazioni (World Meteorological Organization and Global Water Partnership, 2008; Houston et al., 2011; U.S. Army Engineer Institute for Water Resources, 2013). Tra gli impatti diretti rientrano i danni fisici agli edifici (elementi strutturali o di finitura) e alle infrastrutture, le conseguenti spese per il ripristino o la ricostruzione e i problemi di salute alle persone colpite (morte, traumi fisici e/o mentali). Tra gli impatti indiretti, più duraturi, rientrano l’interruzione delle attività economiche e sociali (perdita della produzione industriale e agricola) o dei servizi (infrastrutture di trasporto, attività scolastiche, assistenza sanitaria, ecc.) e la maggiore vulnerabilità dei sopravvissuti (Houston et al., 2011; U.S. Army Engineer Institute for Water Resources, 2013; Michelozzi & de’ Donato, 2014). Inoltre, possono comportare anche il peggioramento della qualità dell’acqua, in quanto il deflusso superficiale può provocare il trasporto verso i corpi idrici (superficiali e sotterranei) degli inquinanti presenti sul territorio, sia urbano (residui organici e delle emissioni di autoveicoli) che rurale (nutrienti e pesticidi). Infine, la possibilità che alcuni degli impatti citati generino, a cascata, ulteriori effetti consente di distinguere tra primari, secondari e terziari (tab. 15) (Parker, 2000).

Tabella 15. Impatti principali del pluvial flood sul sistema costruito e la popolazione



Fonti: Parker, 2000; Houston et al., 2011; van Riel, 2011; NED, 2013

Nel valutare gli impatti sul sistema costruito e sulla popolazione, ulteriori elementi devono essere presi in considerazione, quali l'incontrollata crescita delle città determinata da episodi di abusivismo o urbanizzazione spontanea che, data l'incapacità delle amministrazioni locali di pianificare e programmare interventi sul territorio, determinano l'incremento di aree ad alto rischio dovute alla carenza di infrastrutture e controllo (Tucci, 2007). Ciò acuisce ulteriormente gli impatti già descritti, soprattutto su quella parte di popolazione in condizioni disagiate che spesso occupa tali aree.



# 4

## La valutazione della vulnerabilità climatica del sistema urbano

In relazione a quanto esposto nei capitoli precedenti, la valutazione della vulnerabilità del sistema urbano rappresenta un'attività fondamentale per comprendere le caratteristiche dei territori determinanti impatti negativi e per indirizzare gli interventi. In particolare, la vulnerabilità del sistema fisico (edifici, spazi aperti) costituisce un tema importante sebbene ancora poco affrontato in ambito climatico rispetto alla vulnerabilità del sistema sociale. Le due tematiche sono strettamente interrelate, e nel presente capitolo si delinea una metodologia finalizzata alla valutazione della vulnerabilità intrinseca del sistema urbano, intesa come componente degli impatti determinata dalle caratteristiche proprie del sistema (o sottosistema), indipendentemente dalla portata del fenomeno considerato.

La valutazione della vulnerabilità climatica del sistema urbano necessita l'individuazione di un processo che consenta il passaggio da un modello teorico/concettuale ad un modello operativo di quantificazione e misurazione della vulnerabilità. Le molteplici interpretazioni di vulnerabilità esposte nel par. 2.2 hanno dato vita a numerosi modelli di valutazione, differenziati in relazione ai processi e strumenti adottati.

Ai fini della presente ricerca, il modello adottato segue l'approccio individuato nell'AR5, in cui la vulnerabilità è vista come una componente intrinseca del sistema urbano, finalizzata insieme all'esposizione e all'*hazard* alla valutazione degli impatti. Il passaggio ad un modello operativo richiede un'interpretazione dei *driver* di vulnerabilità (caratteristiche biofisiche e socio-economiche) tale da restituire informazioni misurabili che migliorino la conoscenza del sistema interessato. A tal proposito, gli indicatori si configurano come gli strumenti maggiormente utilizzati per interpretare il sistema urbano e le relazioni intercorrenti tra i relativi sotto-sistemi e il sistema climatico.

Tale operazione è tutt'altro che semplice, e deve essere inquadrata nell'ambito di un *framework* generale di riferimento, articolato in precise fasi di lavoro (*task*) e finalizzato alla comprensione del fenomeno climatico e delle caratteristiche che determinano la vulnerabilità del sistema. La sperimentazione della metodologia in relazione al fenomeno *pluvial flood* ha consentito di specificare ulteriormente le diverse fasi e attività, evidenziando i processi e gli strumenti necessari alla costruzione del modello operativo.

## 4.1 Dal modello concettuale al modello operativo

Nello sviluppo dei modelli e dei relativi strumenti per la valutazione della vulnerabilità climatica, uno degli obiettivi principali è la creazione di una connessione tra i concetti teorici e i processi decisionali. Il riconoscimento da parte della comunità internazionale della necessità di avviare a livello locale attività di conoscenza e misurazione della vulnerabilità dei sistemi antropici da implementare nelle politiche urbane con finalità di riduzione del rischio ha determinato nuove sfide da affrontare, connesse alla necessità di “rendere operativo” il concetto di vulnerabilità. I metodi e gli strumenti disponibili a tale scopo sono numerosi e, proprio in relazione a tale molteplicità, bisogna prestare particolare attenzione allo sviluppo di una metodologia di valutazione adeguata. Essa deve prioritariamente definire gli obiettivi e l’oggetto della valutazione a partire dalla conoscenza preliminare del contesto, al fine di individuare l’approccio teorico, i metodi e gli strumenti più adatti a raggiungere gli scopi prefissati.

A partire dal modello proposto nell’AR5, in cui la vulnerabilità è considerata come una componente intrinseca del sistema colpito che, insieme all’esposizione e all’*hazard*, consente la valutazione degli impatti e del rischio climatico, si propone una metodologia finalizzata alla conoscenza e alla valutazione della vulnerabilità del sistema urbano, che permette di “operativizzare” tale concetto, rendendolo quantificabile e misurabile. In tutte le fasi di cui si compone, è indispensabile il ricorso all’analisi spaziale che, effettuando operazioni e calcoli tra entità e attributi, si configura come il metodo principale per estrarre informazioni dai dati geografici rappresentativi del sistema urbano in relazione alla quantificazione della vulnerabilità e del contributo offerto dalle soluzioni adattive alla sua riduzione.

### 4.1.1 Framework concettuale

La valutazione della vulnerabilità del sistema urbano si inserisce nell’ambito di un *framework* concettuale che comprende diversi livelli di conoscenza e azione a partire dagli impatti prodotti dal *climate hazard* (in questo caso il *pluvial flood*) fino allo sviluppo di strategie e misure di adattamento.

Il *framework* concettuale adottato nella ricerca (fig. 26) considera la città come un “sistema dei sistemi”: il sistema urbano, inteso quale astrazione per rappresentare e interpretare la città, è composto da molteplici sottosistemi che si sovrappongono e interagiscono tra loro. Nel presente studio si propone una “caratterizzazione minima” del sistema urbano necessaria alla valutazione della vulnerabilità, e successivamente degli impatti, eventualmente integrabile con altri sotto-sistemi in relazione a nuovi obiettivi di ricerca. Attraverso l’approccio sistemico vengono quindi riconosciuti, tra i tanti, i sottosistemi “Edifici”, “Spazi aperti” e “Popolazione”, espressione della dimensione fisica e socioeconomica del sistema urbano. Le relazioni che tra essi si stabiliscono avvengono a tutti i livelli, interessando sia la determinazione di particolari condizioni e caratteristiche fisiche e sociali (*driver*) che influenzano la portata degli impatti, sia la possibilità di sviluppare e implementare misure di adattamento finalizzate alla loro riduzione/eliminazione attraverso la modifica di tali *driver*.

Figura 26. Framework concettuale



In tale quadro, la vulnerabilità rappresenta una delle componenti chiave per la valutazione degli impatti, fondamentale per la comprensione di quelle peculiarità fisiche e sociali caratterizzanti il sistema urbano e responsabili di impatti negativi. La **vulnerabilità intrinseca** descrive quelle caratteristiche che, indipendentemente dalla portata del fenomeno climatico considerato e dalle interazioni tra i sottosistemi, determinano la propensione di ogni singolo elemento appartenente al sistema urbano a subire effetti negativi. La successiva integrazione con la componente di esposizione consente di estendere la valutazione, considerando anche le relazioni che si stabiliscono tra i diversi sottosistemi. La **vulnerabilità integrata** così valutata, insieme alla caratterizzazione dell'*hazard*, consente di definire uno o più scenari di impatto.

Le possibilità di intervento determinate dalla Progettazione Ambientale finalizzate alla modifica delle caratteristiche fisiche del costruito in chiave adattiva rendono la vulnerabilità una componente di primario interesse nello sviluppo di strategie e misure di adattamento. La valutazione della vulnerabilità consente quindi di individuare un punto di partenza rispetto al quale sviluppare gli interventi, configurandosi come attività necessaria per l'avvio di processi di adattamento. Pertanto, la presente ricerca si focalizza sulle modalità con le quali è possibile condurre tale valutazione, evidenziando il contributo di tipo quantitativo offerto alla valutazione degli impatti.

#### 4.1.2 Indicazioni per una metodologia di valutazione della vulnerabilità climatica

Dalla varietà di approcci illustrati nel capitolo 2, risulta evidente che i diversi tentativi per sviluppare una sola definizione di vulnerabilità valida in tutti i campi non sono andati a buon fine. Molti ricercatori ritengono sia più importante definire il termine vulnerabilità in relazione al contesto specifico di analisi piuttosto che ottenere un'unica definizione teorica universale (Hammill et al., 2013). Alla grande varietà di definizioni presenti in letteratura corrisponde quindi una grande quantità di metodologie di valutazione, diversificate in relazione all'approccio teorico, alle variabili considerate e ai metodi e strumenti adottati<sup>58</sup>.

In generale, la valutazione della vulnerabilità (*vulnerability assessment* – VA) è utilizzata per comprendere in che misura sistemi ed elementi possano essere interessati da una minaccia. Nel contesto del CCA, il **vulnerability assessment** consente di comprendere come, in relazione ai fenomeni connessi al cambiamento climatico, un dato sistema possa essere soggetto a perdite o danneggiamenti, fornendo una base per la progettazione di misure finalizzate a minimizzare o evitare gli impatti negativi.

In relazione ai differenti approcci esistenti, diversi autori hanno rintracciato delle invarianti, ovvero degli aspetti in comune che consentono di identificare situazioni di vulnerabilità a prescindere dall'approccio adottato. Brooks (2003) afferma che si può parlare di vulnerabilità solo rispetto ad uno specifico *hazard* (o un set di più *hazard*) che interessa un dato sistema, distinguendo tra vulnerabilità presente e futura. Pertanto, il punto di partenza di qualsiasi modello di valutazione è la definizione del **“cosa”**, ovvero dell'oggetto di cui si sta valutando la vulnerabilità (*vulnerability of what?*, ad es., persone, ecosistemi) e dell'evento rispetto al quale si sta effettuando il VA (*vulnerability to what?*, ad es., temperature estreme, precipitazioni intense). Füssel (2007) identifica quattro aspetti fondamentali da definire per descrivere una situazione vulnerabile: 1) sistema di analisi minacciato dall'*hazard* (ad es., regione geografica, comunità, sistema naturale); 2) attributo di interesse, ovvero un attributo del sistema che risulti minacciato dalla sua esposizione all'*hazard* (ad es., vita umana, salute, biodiversità); 3) *hazard*, ovvero un fenomeno potenzialmente distruttivo che eserciti la sua influenza sull'attributo del sistema analizzato; 4) riferimento temporale, ovvero il periodo di tempo di interesse presente o futuro (o un momento specifico nel tempo). Ad esempio, una situazione di vulnerabilità correttamente impostata per una successiva valutazione, oggetto anche del presente studio, potrebbe essere: “vulnerabilità attuale degli edifici del sistema urbano di Napoli est al *pluvial flood*” (vedi cap. 6). In aggiunta all'individuazione del **“cosa”** è necessario definire il **“perché”** della valutazione (*why*), ovvero lo scopo e gli obiettivi che ci si prefigge di raggiungere, in quanto ne influenzano fortemente la struttura e l'esecuzione. Generalmente, lo scopo principale di una valutazione di vulnerabilità al cambiamento climatico è indirizzare le politiche sulle questioni relative all'adattamento, ad esempio

---

<sup>58</sup> Con il termine metodologia si intende un *framework* completo che prescrive un intero processo di valutazione della vulnerabilità attraverso l'individuazione di un approccio specifico (*top-down*, *bottom-up*, integrato). Il processo si articola in una sequenza di fasi di lavoro (*task*) che possono essere completate con metodi diversi (quantitativo, qualitativo, integrato) attraverso l'utilizzo di svariati strumenti o *tools* (UNFCCC, 2004; 2005).

individuando aree di intervento di particolare interesse (*hotspot*). Tuttavia, possono essere definiti anche altri obiettivi, i cui confini sono talvolta talmente labili da consentire il perseguimento di più di un obiettivo con la medesima valutazione<sup>59</sup>. I VAs finalizzati allo sviluppo di politiche di adattamento sono quindi caratterizzati da due processi distinti ma correlati, relativi alla definizione e comprensione del problema (*problem orientation*) e al supporto decisionale (*decision-support*). Inoltre, i decisori politici sono sempre più interessati alla misurazione dell'efficacia delle azioni intraprese (*what works*), determinando lo sviluppo di modelli e strumenti di monitoraggio e valutazione (M&E) (Hammill et al., 2013). Il supporto del VA in tal senso è evidente, in quanto fornisce una *baseline* rispetto alla quale verificare l'efficacia dell'adattamento: la vulnerabilità misurata prima e dopo l'intervento consente di verificare il successo dell'iniziativa (Spearman & McGray, 2011). Per il decisore pubblico tale processo è fondamentale, in quanto consente di gestire il lavoro nel breve periodo, aggiornando eventualmente azioni di adattamento inadeguate o rispetto a imprevisti e nuove sfide, garantendo nel lungo periodo il raggiungimento dei risultati previsti (Spearman & McGray, 2011).

La valutazione della vulnerabilità finalizzata all'adattamento si configura quindi come un processo di apprendimento, che necessita di una misurazione delle variabili in gioco al fine di monitorarne l'evoluzione nel corso del tempo. A tal proposito, nel definire la metodologia appropriata è opportuno individuare i metodi e gli strumenti a supporto della valutazione, tenendo sempre presente che la vulnerabilità e l'adattamento sono fenomeni complessi non direttamente osservabili o misurabili.

L'esigenza di misurare la vulnerabilità si scontra pertanto con l'impossibilità di effettuare una misurazione diretta e oggettiva del fenomeno, per cui si ricorre spesso all'utilizzo di variabili *proxy*<sup>60</sup>, ovvero di variabili che consentano di rappresentare le diverse dimensioni della vulnerabilità ritenute rilevanti, "catturando" così il fenomeno principale. La scelta di tali variabili dipende dal punto di vista adottato e dall'obiettivo della valutazione, rendendo spesso difficilmente confrontabili i risultati derivanti da valutazioni diverse. Il carattere soggettivo della vulnerabilità si accompagna spesso ad analisi di natura qualitativa, tipiche di alcuni aspetti sociali non restituibili mediante numeri.

La definizione del **"come"** effettuare la valutazione dipende fortemente dagli obiettivi prefissati, con implicazioni su metodi, strumenti e dati necessari. Dagli orientamenti esposti nel sub-par. 2.2.1 e dalle relative interpretazioni di vulnerabilità adottate, è possibile riconoscere due differenti modalità di valutazione che informano le politiche di adattamento climatico: *top-down* e *bottom-up*. I modelli fondati sul concetto di *outcome vulnerability* seguono un metodo di valutazione di tipo *topdown*; al contrario, i modelli che adottano il

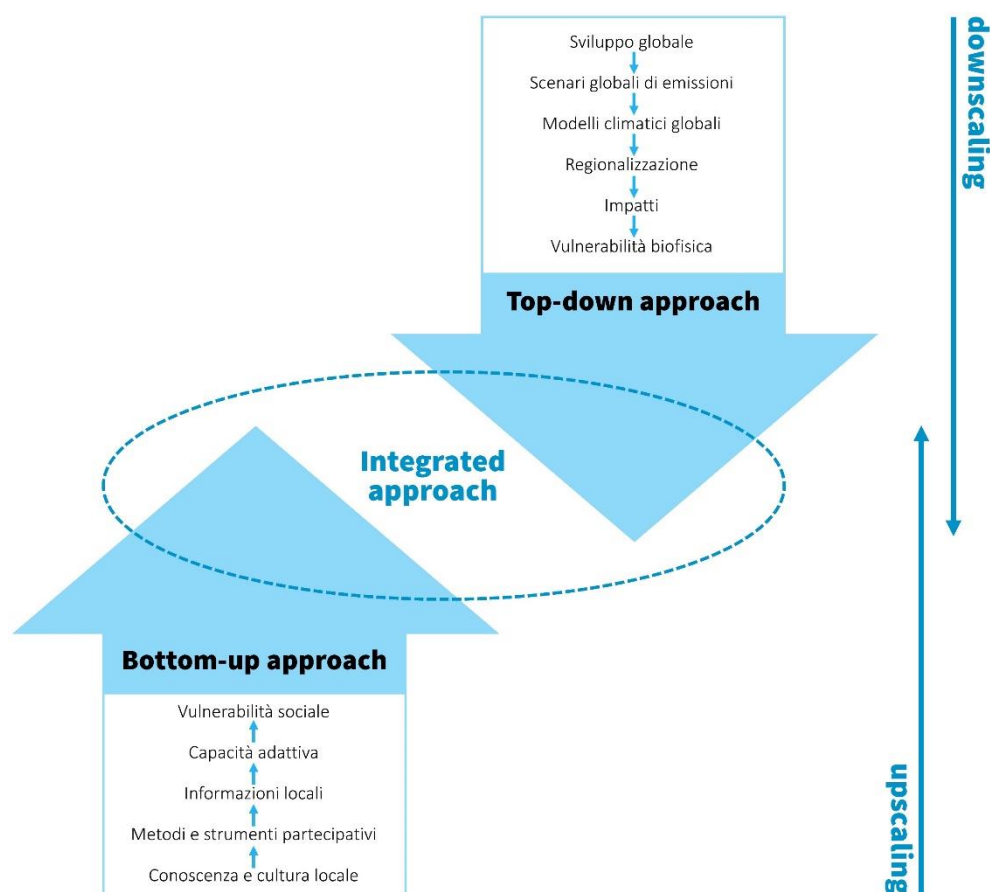
<sup>59</sup> A tal proposito, Füssel e Klein (2006) e Patt et al. (2009) individuano i seguenti obiettivi: 1) incrementare la conoscenza scientifica dei sistemi *climate-sensitive*; 2) indirizzare i target per la mitigazione; 3) indirizzare gli sforzi politici e di ricerca verso particolari settori o regioni, stanziando risorse specifiche per popolazione, luoghi e settori colpiti; 4) incrementare la consapevolezza riguardo le questioni climatiche.

<sup>60</sup> È definibile come una variabile statistica che descrive il comportamento di un determinato fenomeno non osservabile direttamente. È utilizzata per dare una rappresentazione quantitativa approssimata di un fenomeno correlato alla variabile stessa, ma non direttamente misurabile in maniera oggettiva.

concetto di *contextual vulnerability* seguono un approccio *bottom-up*.

Come evidenziato in figura 27, l'approccio *top-down* parte da proiezioni climatiche globali che, ai fini della valutazione degli impatti regionali, subiscono un processo di *downscaling*. Al contrario, l'approccio *bottom-up* è condotto a livello locale (ad es., comunità, famiglie) a partire dal coinvolgimento della popolazione e degli stakeholder nell'identificazione degli stress climatici, degli impatti e delle strategie adattive (Fellmann, 2012; Kalisch et al., 2014).

Figura 27. Approcci *top-down* e *bottom-up*



Fonti: rielaborata da Dessai & Hulme (2004) e Kalisch et al. (2014)

I due approcci sono riconducibili a due differenti modalità di interpretazione dei dati, quantitativa e qualitativa. I metodi quantitativi interpretano i fenomeni della realtà attraverso l'utilizzo di numeri, consentendo di eseguire valutazioni multiscalarari e multidimensionali che quantificano la vulnerabilità dei sistemi. Sono tipici di un approccio *top-down* (ad es., *hazard-oriented*) che, considerando la vulnerabilità come conseguenza o impatto (*outcome o endpoint vulnerability*), utilizzano proiezioni climatiche, modelli di impatto e indicatori in grado di interpretare i dati derivati principalmente da caratteristiche biofisiche (Hammill et al., 2013; Kalisch et al., 2014; Connelly et al., 2015). Al contrario, i metodi qualitativi non restituiscono output misurabili o convertibili in numeri. Adoperati per la descrizione delle condizioni di vulnerabilità di uno specifico gruppo di persone o comunità, utilizzano dati meteorologici storici e indicatori in grado di interpretare informazioni di carattere socio-economico ottenute



coinvolgendo la popolazione nella valutazione. È un metodo tipico di approcci *bottom-up* (ad es., *people oriented*) utilizzato su scale spaziali locali (Hammill et al., 2013; Kalisch et al., 2014; Connelly et al., 2015). Da tali considerazioni emerge chiaramente la complementarità dei due metodi, di cui si auspica l'integrazione (Kalisch et al., 2014; Connelly et al., 2015).

Come evidenziato in tabella 16, le differenze che caratterizzano i due metodi si riflettono negli strumenti adottati, con gli indicatori unico strumento in comune, sebbene adoperati in maniera diversa.

Tabella 16. Principali caratteristiche dei metodi di valutazione della vulnerabilità

	<b>Quantitativo</b>	<b>Qualitativo</b>	
<b>Topic</b>	Quali sono le aree (o i settori) maggiormente vulnerabili?	Cosa causa la vulnerabilità della popolazione?	
<b>Input</b>	Caratteristiche biofisiche Giudizi esperti	Caratteristiche socio-economiche <i>Local knowledge</i>	
<b>Strumenti</b>	Misurazioni Modellazioni Analisi statistiche Indicatori (con scale metriche)	Osservazione diretta Indagini sulle famiglie Intervista singola Intervista di gruppo ( <i>focus group</i> ) Indicatori (con scale qualitative)	
<b>Scala spaziale</b>	Prevalentemente nazionale e regionale	Prevalentemente locale	
<b>Scala temporale</b>	Futura (medio-lungo periodo)	Presente	
<b>Progetti</b>	ESPON Climate (2009-2011) RAMSES (2012-2017) ENHANCE (2012-2016)	Fazey et al., 2010 Jonsson et al., 2012	<b>Integrato</b> GraBS (2008-2011) Weather (2009-2012) Climate Just (2013) Baltadapt (2010-2013)

Fonti: Fritzsche et al., 2014; Kalisch et al., 2014; Connelly et al., 2015

La classificazione dei metodi precedentemente esposti può essere effettuata anche in relazione agli strumenti utilizzati, rispetto ai quali si può distinguere tra metodi *indicator-based*, *model-based* e *participatory*. Si è già accennato al crescente interesse verso la quantificazione della vulnerabilità in relazione all'adattamento climatico: attualmente, gli strumenti più utilizzati a tale scopo sono gli indicatori, con un proliferare di metodi *indicator-based*, supportati sia a livello globale sia europeo. Già con l'Hyogo Framework for Action 2005-2015 si era stabilita l'importanza di sviluppare sistemi di indicatori di vulnerabilità al fine di facilitare il lavoro dei decisori politici nella valutazione degli impatti, ribadita recentemente con il Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030 (UN, 2005; 2015a). Parallelamente, anche la Commissione Europea, nel processo di sviluppo di una strategia di adattamento, ha sostenuto più volte tale necessità al fine di rafforzare la *knowledge base* (EC, 2009).

La complessità e la non diretta percepibilità dei fenomeni collegati alla vulnerabilità richiede la definizione di uno strumento in grado di sintetizzare e semplificare le caratteristiche (attributi) del sistema analizzato, rendendo visibili i fenomeni di interesse.

Inoltre, deve essere in grado di quantificare, misurare e comunicare le informazioni derivanti dall'interpretazione di tali caratteristiche. Sebbene non vi sia una definizione condivisa (Gallopín, 1996), è possibile descrivere un **indicatore** come *“una misura sintetica, in genere espressa in forma quantitativa, coincidente con una variabile o composta da più variabili, in grado di riassumere l'andamento del fenomeno cui è riferito”* (Vecchi, n.d.). Pertanto, nella semplificazione che il suo utilizzo comporta, l'indicatore non è il fenomeno, ma un'interpretazione dello stesso attraverso la sintesi delle variabili scelte per rappresentare gli attributi del sistema analizzato. L'indicatore fornisce quindi informazioni riguardo specifiche condizioni del sistema non direttamente misurabili (Fritzsche et al., 2014). Di conseguenza, un indicatore di vulnerabilità può essere definito come una rappresentazione operativa di una caratteristica o qualità del sistema capace di fornire informazioni sulla sua suscettibilità, resilienza e capacità di fronteggiare un impatto determinato da un *hazard* (Birkmann, 2006).

Gli indicatori si configurano pertanto come lo strumento chiave per la valutazione della vulnerabilità del sistema urbano ai fenomeni climatici. Sono finalizzati a costruire un dataset di informazioni strutturate per la comprensione della distribuzione territoriale e settoriale della vulnerabilità, valutata sia per l'intero sistema sia per i sottosistemi che lo compongono.

La complessità costitutiva del sistema urbano richiede l'utilizzo di molteplici indicatori. La definizione di un core set di indicatori adeguato al fenomeno analizzato rappresenta una sfida importante poiché richiede una scelta consapevole delle caratteristiche da utilizzare per la loro costruzione, influenzata da diversi fattori. I criteri che solitamente vengono utilizzati come guida per la costruzione di un indicatore efficace sono: 1) significatività; 2) pertinenza; 3) affidabilità; 4) comprensibilità; 5) fattibilità; 6) accuratezza; 7) misurabilità. In base a tali criteri, un indicatore deve rappresentare informazioni importanti, rispondendo agli obiettivi stabiliti, consentendo anche l'acquisizione e l'aggiornamento dei dati in futuro. Deve essere costruito a partire da una fonte dati attendibile e accessibile, rispettando la risoluzione spaziale e temporale della valutazione. Infine, deve rilevare in maniera precisa il fenomeno consentendone la misurazione e la diffusione per futuri utilizzi (Maggino, 2006; Fritzsche et al., 2014). L'indicatore così costruito si configura come uno strumento in grado di orientare le scelte, avvicinando il mondo accademico a quello politico (Kalisch et al., 2014).

La complessità interpretativa del sistema urbano richiede l'adozione di un processo chiaro e comprensibile per la costruzione degli indicatori, articolato in diverse fasi di lavoro e specifico per il caso in esame. A tale scopo, sono disponibili diversi documenti di indirizzo e linee guida che possono costituire un valido supporto nella definizione di tale processo<sup>61</sup>.

Tuttavia, va sottolineato che gli indicatori rappresentano solo uno dei tanti strumenti disponibili per la valutazione della vulnerabilità climatica e, pertanto, il processo per la loro costruzione va inquadrato nell'ambito di una metodologia che metta in relazione scopo

---

<sup>61</sup> Si vedano: *“Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide”* (OECD, 2008), *“The Vulnerability Sourcebook Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments”* (Fritzsche et al., 2014), *“A Framework for Climate Change Vulnerability Assessments”* (Kalisch et al., 2014), entrambi elaborati dall'agenzia tedesca per la cooperazione internazionale (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit - GIZ), e *“Guidelines for Climate Impact and Vulnerability Assessments”* (Buth et al., 2017).

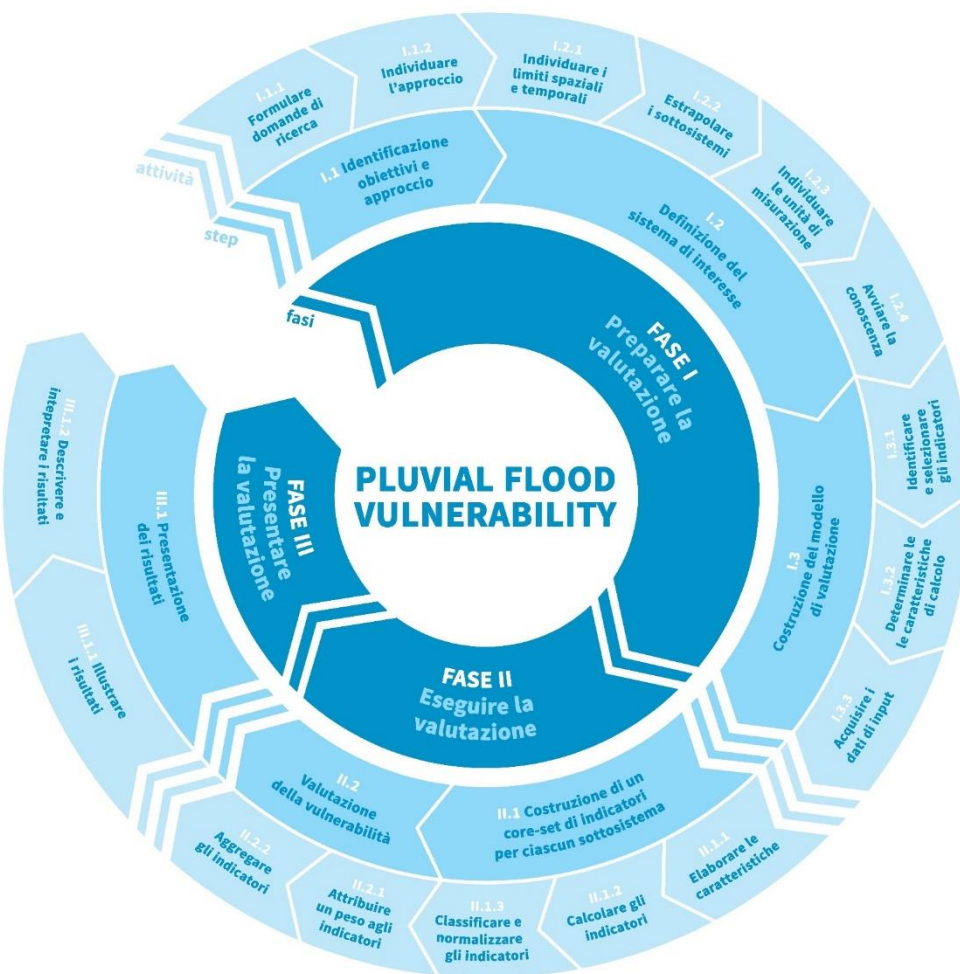
generale, obiettivi specifici della valutazione e approccio teorico con i metodi e gli strumenti operativi necessari. Inoltre, nella definizione della metodologia, bisogna tenere in considerazione le sfide che il VA si trova ad affrontare, ovvero la difficoltà di interpretare e descrivere la complessità del sistema urbano e di ottenere dati rilevanti per rappresentare i differenti driver di vulnerabilità (Kalisch et al., 2014).

In virtù di tali considerazioni, la metodologia proposta nel seguito definisce in via prioritaria gli obiettivi, l’approccio teorico e l’oggetto della valutazione al fine di individuare i metodi e gli strumenti più adatti alla costruzione di un modello di valutazione facilmente implementabile, aggiornabile e trasferibile in contesti diversi.

4.1.3 Proposta di una metodologia di valutazione

La metodologia individuata, che tiene conto della complessità del sistema urbano determinata dai molteplici attributi e relazioni che lo caratterizzano, si compone di 3 fasi di lavoro (task), articolate in diversi step e attività. Si configura come una metodologia generale adottabile per la valutazione di qualsiasi fenomeno climatico: nella presente ricerca è stata sperimentata in relazione al *pluvial flood* (fig. 28).

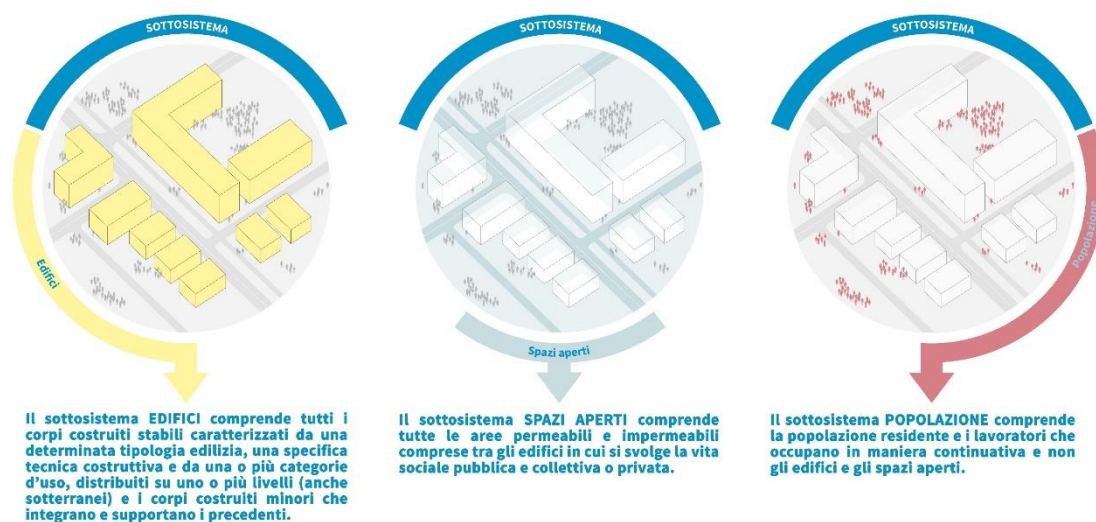
Figura 28. Metodologia per la valutazione della vulnerabilità climatica del sistema urbano



La prima fase riguarda la **preparazione della valutazione**, in cui è necessario individuare obiettivi generali e specifici della valutazione (*why*), definendo l'approccio sistemico quale approccio generale da adottare per comprendere e analizzare il contesto in relazione a diversi aspetti (fisici, politici, economici, sociali, etc.) e scale spaziali. L'esplorazione di caratteristiche, risorse e processi in atto consente di definire l'ambito di intervento, ovvero il sistema urbano, individuando le criticità esistenti e il fenomeno (o i fenomeni) da valutare (*vulnerability to what?*). Inoltre, tale fase comprende la selezione dei possibili portatori di interesse, che potrebbero trarre beneficio dal VA e/o apportare il proprio contributo. In tal modo, la valutazione può creare sinergie inserendosi nei processi di valutazione eventualmente in corso relativi ad altri fenomeni e/o settori (ad es., impatti della siccità sull'agricoltura) o nelle politiche locali di adattamento e sviluppo sostenibile. Tali attività sono propedeutiche alla definizione del sistema di interesse (*vulnerability of what?*), che prevede una delimitazione spaziale e temporale della valutazione, l'estrapolazione dei sottosistemi e l'individuazione delle relative unità minime di misurazione. L'approccio sistemico consente di estrapolare diversi sottosistemi di analisi, mettendo in luce alcune dimensioni e caratteristiche rilevanti in relazione al fenomeno analizzato. Le possibilità di "estrazione" dei sotto-sistemi sono infinite e correlate agli specifici obiettivi di valutazione.

Se il sistema urbano si può considerare composto da due dimensioni principali (fisica e socio-economica), a partire da esse è possibile estrarre infiniti sotto-sistemi caratterizzati da specifici attributi e relazioni. Ai fini della presente ricerca, si considerano i sottosistemi "Edifici" e "Spazi aperti" in relazione alla dimensione fisica e il sottosistema "Popolazione" in relazione alla dimensione socio-economica (fig. 29).

Figura 29. Sottosistemi



Pertanto, la metodologia proposta segue tale struttura in tutte le fasi di lavoro (*task*) sequenziali che la compongono, restituendo i risultati sulla base di unità minime di

misurazione dipendenti dai sottosistemi considerati<sup>62</sup>. Ciò determina una scala di analisi ben precisa, che caratterizzerà la successiva valutazione e i risultati ottenuti. Ovviamente, in relazione alle esigenze e agli obiettivi che ci si propone, la struttura sistemica proposta è modificabile e integrabile con altri sottosistemi (ad es., sistema infrastrutturale, sistema delle aree produttive), comportando modifiche nelle unità minime e nella scala spaziale. Di conseguenza, è molto importante stabilire in questa fase l'oggetto della valutazione, che verrà eseguita successivamente.

Preliminarmente alla fase di esecuzione va definito il modello di valutazione da adottare: coerentemente con l'approccio e la struttura sistemica definiti in precedenza, vanno individuati gli indicatori da utilizzare e le relative caratteristiche di calcolo. La costruzione del modello avviene a partire dall'identificazione degli indicatori maggiormente utilizzati nella letteratura scientifica, in base ai quali si selezionano quelli da utilizzare secondo i seguenti criteri: 1) significatività e rilevanza nella letteratura scientifica; 2) accessibilità delle fonti di dati; 3) semplicità di elaborazione; 4) necessità di integrazione di alcuni aspetti ritenuti fondamentali e non considerati nei casi studio analizzati. Le attività successive prevedono l'individuazione delle caratteristiche necessarie al calcolo degli indicatori. Esse si ottengono a partire dall'acquisizione dei dati di input maggiormente rilevanti rispetto all'*hazard* considerato, i quali formano quella *knowledge base* fondamentale per intraprendere qualsiasi attività di valutazione, di cui gli organi di governo internazionali promuovono il rafforzamento a livello locale.

La fase di **esecuzione della valutazione** rappresenta il momento in cui definire i metodi e gli strumenti da adoperare (*how*), coerentemente con l'approccio adottato nella fase precedente. Si è già detto riguardo l'esigenza di sviluppare indicatori con finalità di indirizzo delle politiche di adattamento; pertanto, tale fase si articola in due step centrati sulla costruzione del set di indicatori e sulla valutazione della vulnerabilità di ciascun sottosistema. La costruzione del set avviene a partire dall'elaborazione alle caratteristiche fisiche e sociali del sistema urbano. I dati acquisiti devono essere elaborati al fine di consentire lo sviluppo dell'indicatore, i cui valori saranno successivamente classificati e normalizzati per facilitarne la comprensione e consentirne il successivo confronto e aggregazione.

Gli indicatori così preparati sono pronti per il successivo step di valutazione della vulnerabilità dei tre sottosistemi. L'attribuzione di opportuni pesi a ciascun indicatore consente di calcolare la vulnerabilità di ciascun sottosistema come media aritmetica pesata aggregando i diversi indicatori che lo caratterizzano, ognuno dei quali fornisce un proprio contributo alla vulnerabilità finale. La rilevanza di tale contributo è valutata attraverso l'attribuzione di un peso determinato grazie all'ausilio di letteratura scientifica, processi di taratura e valutazioni degli esperti. I pesi attribuiti ( $w_n$ ) consentono di aggregare i diversi indicatori ( $I_n$ ) per ogni sottosistema e valutarne la vulnerabilità intrinseca (VI) secondo diverse

---

<sup>62</sup> Per i sottosistemi relativi agli edifici e agli spazi aperti si possono utilizzare le unità minime di misurazione costituite dai poligoni presenti nelle carte tecniche regionali (CTR), mentre per il sottosistema popolazione ci si può riferire ai poligoni relativi alle sezioni di censimento ISTAT. Per approfondimenti, si vedano il sotto-paragrafo 4.1.4 e il capitolo 6.

formule e modalità aggregative.

L'ultima fase di **presentazione della valutazione** prevede la rappresentazione grafica dei risultati ottenuti al fine di consentirne la descrizione e interpretazione. I risultati ottenuti dalla valutazione possono essere sintetizzati e illustrati con varie modalità, che comprendono la realizzazione di mappe, grafici e diagrammi. La valutazione della vulnerabilità di entità spaziali (poligoni edifici, spazi aperti, sezioni censuarie), sia rispetto ai singoli indicatori sia rispetto all'indicatore composito, è rappresentata principalmente mediante mappe, che consentono di effettuare confronti diretti tra i valori di ogni singola unità spaziale. Tuttavia, l'utilizzo di grafici aggiuntivi (a torta, a barre, radar, lineari, etc.) consente di approfondire la conoscenza su aspetti considerati rilevanti (ad es., la frequenza con cui una variabile ricade nelle differenti classi di vulnerabilità, oppure il contributo di ciascun indicatore alla vulnerabilità intrinseca dei sottosistemi).

L'interpretazione dei risultati rappresenta un punto fondamentale della valutazione in quanto costituisce il punto di partenza per successive valutazioni degli impatti o per sviluppare e implementare strategie di adattamento. A partire dalla realizzazione di mappe e grafici, si correla la distribuzione dei valori di vulnerabilità sull'area studio con particolari caratteristiche fisiche e sociali rilevate, evidenziando le aree più critiche e gli indicatori che contribuiscono maggiormente all'incremento della vulnerabilità.

La metodologia esposta in tabella 17 individua per ogni attività una descrizione generale, valida per la valutazione di un qualsiasi *climate hazard*, che nel seguito verrà ulteriormente specificata in relazione al fenomeno *pluvial flood* analizzato nella presente ricerca<sup>63</sup>.

Tabella 17. Descrizione delle attività finalizzate alla valutazione della vulnerabilità climatica del sistema urbano

FASE/TASK	STEP	ATTIVITÀ	DESCRIZIONE ATTIVITÀ
<b>Fase I Preparare la valutazione</b>	<b>I.1</b> Identificazione obiettivi e approccio generali	<b>I.1.1</b> Formulare le domande di ricerca	Gli obiettivi generali del VA identificano le questioni aperte cui la valutazione deve dare una risposta. Le domande di ricerca, individuando il fenomeno di interesse ( <i>climate hazard</i> ), specificano: <ul style="list-style-type: none"> <li>cosa si vuole ottenere dal VA (ad es., identificazione <i>hotspot</i> di una determinata area e/o soluzioni adattive in grado di ridurre la vulnerabilità);</li> <li>per quale fine si vuole utilizzare tale conoscenza (ad es., implementazione politica, pianificazione misure adattive locali, sviluppo strategia di adattamento nazionale);</li> <li>gli output attesi (ad es., mappatura spaziale della vulnerabilità, classificazione della vulnerabilità di vari settori o sistemi, analisi descrittiva).</li> </ul>
		<b>I.1.2</b> Individuare l'approccio	Si individua l'approccio più adatto agli obiettivi prefissati, selezionando tra approcci <i>top-down</i> , <i>bottom-up</i> e integrati.
	<b>I.2</b> Definizione del sistema di interesse	<b>I.2.1</b> Individuare i limiti spaziali e temporali	Si individuano i confini fisici e non della valutazione, ovvero l'area di studio e l'oggetto (ad es., particolari settori, gruppi di popolazione e/o componenti fisiche del sistema urbano). Inoltre, si definisce la scala temporale cui il VA si riferisce (passato, presente o futuro).
		<b>I.2.2</b> Estrapolare i sottosistemi	Definito il sistema urbano quale oggetto di studio, si individuano i sottosistemi rispetto ai quali effettuare la valutazione, estraendo, tra i tanti possibili, quelli maggiormente rilevanti in relazione agli obiettivi individuati al punto I.1. Una caratterizzazione minima del sistema urbano può essere fatta considerando i sottosistemi "Edifici", "Spazi aperti" e "Popolazione".

<sup>63</sup> Per l'elaborazione della metodologia è stato fondamentale il supporto dei seguenti documenti: OECD (2008), Fritzsche et al. (2014) e Kalisch et al. (2014).



<p><b>Fase II</b> <b>Eeguire la valutazione</b></p>	<p><b>I.3</b> Costruzione del modello di valutazione</p>	<p><b>I.2.3</b> Individuare le unità di misurazione</p>	<p>Ciascuno dei sottosistemi individuati deve far riferimento ad un'unità minima di misurazione (entità poligonale) che determina anche la scala di analisi della valutazione. I sottosistemi "Edifici" e "Spazi aperti" possono essere riferiti ad unità di misurazione individuate a partire dall'estrazione di opportuni tematismi contenuti nel Database Topografico Regionale, mentre il sottosistema "Popolazione" può far riferimento alle sezioni di censimento ISTAT.</p>
		<p><b>I.2.4</b> Avviare la conoscenza</p>	<p>Si avvia lo studio dell'area selezionata in relazione all'evoluzione storica e tipomorfologica del sistema urbano, evidenziando le componenti ambientali, tecnologiche e sociali che lo caratterizzano, gli eventi meteo-climatici storici e i relativi impatti prodotti.</p>
		<p><b>I.3.1</b> Identificare e selezionare gli indicatori</p>	<p>A partire dall'analisi dei casi studio, si identificano gli indicatori maggiormente utilizzati. Gli indicatori da utilizzare sono selezionati in base ai seguenti criteri: 1) significatività e rilevanza nella letteratura scientifica; 2) accessibilità delle fonti di dati; 3) semplicità di elaborazione; 4) necessità di integrazione di alcuni aspetti ritenuti fondamentali e non considerati nei casi studio analizzati. Gli indicatori sono selezionati in relazione ai sottosistemi individuati al punto I.2.2.</p>
	<p><b>I.3.2</b> Determinare le caratteristiche di calcolo</p>	<p>Il calcolo degli indicatori è subordinato all'individuazione di specifiche caratteristiche fisiche e sociali rappresentative dei sottosistemi. Tale attività è fondamentale per poter individuare le fonti da cui reperire i dati necessari all'elaborazione.</p>	
	<p><b>I.3.3</b> Acquisire i dati di input</p>	<p>Si raccolgono i dati finalizzati alla determinazione delle caratteristiche fisiche e sociali del sistema urbano maggiormente rilevanti rispetto all'<i>hazard</i> climatico considerato.</p>	
	<p><b>II.1</b> Costruzione del set di indicatori per ciascun sottosistema</p>	<p><b>II.1.1</b> Elaborare le caratteristiche</p>	<p>L'elaborazione delle caratteristiche necessita di una normalizzazione preliminare (<b>preprocessing</b>) al fine di rendere omogenei dati provenienti da fonti e/o processi di acquisizione diversi (ad es., carte tecniche regionali, rilievi diretti, immagini satellitari). successivamente, a partire da due o più dati di input si determinano le caratteristiche mediante formule di calcolo e/o processi di analisi spaziale.</p>
<p><b>II.2</b> Valutazione della vulnerabilità di ciascun sottosistema</p>	<p><b>II.1.2</b> Calcolare gli indicatori</p>	<p>A partire dalle caratteristiche elaborate con l'attività II.1.1 si calcolano gli indicatori mediante formule specifiche appositamente individuate. Tale calcolo restituisce, per ogni singola unità di misurazione dei tre sottosistemi, un valore numerico rappresentativo di una prestazione o comportamento dell'unità considerata.</p>	
	<p><b>II.1.3</b> Classificare e normalizzare gli indicatori</p>	<p>Ogni indicatore sintetizza il contributo di una o più caratteristiche elaborate al punto II.1.1; esso è ottenuto mediante processi di analisi spaziale che assegnano determinati valori alle unità minime di misurazione di ciascun sottosistema. Al fine di rendere confrontabili gli indicatori tra loro e prepararli alle successive fasi, è necessario classificare tali valori.</p> <p>La <b>classificazione</b> dei valori assunti dall'indicatore è effettuata attraverso un partizionamento in "n" classi mediante un opportuno metodo di classificazione tematica per intervalli di valori (ad es., manuale, <i>equal interval</i>, quantile, <i>natural breaks</i>, <i>standard deviation</i>). Ogni classe è identificata dagli estremi inferiore e superiore dell'intervallo di valori dell'attributo, detti <i>break</i>. Ad ogni classe è assegnata un'etichetta e un simbolo di visualizzazione su mappa.</p> <p>Al fine di rendere confrontabili i valori assunti dagli indicatori, è necessario applicare un processo di <b>normalizzazione</b> che li renda omogenei attraverso l'uniformazione delle scale di misura. I processi di normalizzazione sono diversi (<i>ranking</i>, <i>z-score</i>, min-max, distanza da una misura di riferimento, punteggi su scala categoriale basati sui percentili delle distribuzioni, distanza dalla media, metodi per indicatori individuali ciclici, bilancio di opinioni) e la scelta deve tener conto del quadro teorico e delle proprietà dei dati. Attraverso tale processo è possibile assegnare un livello di vulnerabilità ad ogni classe precedentemente individuata. È importante individuare la direzione del range di valori, assegnando un livello di vulnerabilità coerente (ad es., in relazione al reddito, valori alti dell'indicatore determinano una bassa vulnerabilità, mentre valori bassi determinano alta vulnerabilità; al contrario, in relazione alla densità di popolazione, valori alti sono connessi ad un incremento della vulnerabilità e valori bassi ad un decremento).</p>	
	<p><b>II.2.1</b> Attribuire un peso agli indicatori</p>	<p>Si attribuiscono dei pesi (<math>w_i</math>) a ciascun indicatore (<math>I_i</math>) al fine di stimarne il contributo alla vulnerabilità finale. Tale attribuzione può essere effettuata mediante procedure statistiche (ad es., analisi fattoriale - FA, <i>principal component analysis</i> - PCA), metodi partecipativi (<i>budget allocation process</i>, coinvolgimento esperti, cittadini, politici), letteratura scientifica, processi di taratura.</p>	
<p><b>II.2.2</b> Aggregare gli indicatori</p>	<p>Sulla base dei pesi attribuiti (<math>w_i</math>), si aggregano i diversi indicatori (<math>I_i</math>) per ogni sottosistema al fine di valutarne la vulnerabilità intrinseca (VI). Le modalità aggregative sono diverse, differenziate principalmente in base all'eventuale possibilità di compensazione tra indicatori con livelli di vulnerabilità differenti. Tra i principali metodi si annoverano il PCA e l'AHP, ma anche modalità più semplici, che consentono di effettuare una somma o moltiplicazione pesata degli indicatori al fine di ottenere un unico indicatore composito di sintesi (rispettivamente, aggregazione aritmetica pesata e aggregazione geometrica pesata). La scelta del tipo di aggregazione condiziona l'impatto che il sistema di pesi prescelto ha sul punteggio finale dell'indicatore composito.</p>		

<b>Fase III</b> <b>Presentare</b> <b>la</b> <b>valutazione</b>	<b>III.1</b> Presentazione dei risultati	<b>III.1.1</b> Illustrare i risultati	I risultati ottenuti dalla valutazione possono essere sintetizzati e illustrati con varie modalità, che comprendono la realizzazione di mappe, grafici e diagrammi. La valutazione della vulnerabilità di entità spaziali (poligoni edifici, spazi aperti, sezioni censuarie), sia rispetto ai singoli indicatori sia rispetto all'indicatore composito, è rappresentata principalmente mediante mappe, che consentono di effettuare confronti diretti tra i valori di ogni singola unità spaziale. Tuttavia, l'utilizzo di grafici aggiuntivi (a torta, a barre, radar, lineari, etc.) consente di approfondire la conoscenza su aspetti considerati rilevanti (ad es., la frequenza con cui una variabile ricade nelle differenti classi di vulnerabilità, oppure il contributo di ciascun indicatore alla vulnerabilità intrinseca dei sottosistemi).
		<b>III.1.2</b> Descrivere e interpretare i risultati	L'interpretazione dei risultati rappresenta un punto fondamentale della valutazione in quanto costituisce il punto di partenza per successive valutazioni degli impatti o per sviluppare e implementare strategie di adattamento. A partire dalle mappe e dai grafici realizzati al punto III.1.1, si correla la distribuzione dei valori di vulnerabilità sull'area studio con particolari caratteristiche fisiche e sociali rilevate, evidenziando le aree più critiche e gli indicatori che contribuiscono maggiormente all'incremento della vulnerabilità.

La metodologia presentata prevede la costruzione di un modello di valutazione della vulnerabilità climatica caratterizzato da possibilità di revisione e aggiornamento futuri e di trasferibilità in contesti differenti. Un ruolo fondamentale in tal senso è svolto dai processi di analisi spaziale che consentono l'esecuzione delle singole attività e il passaggio allo step successivo. Nella presente ricerca tale metodologia è stata sperimentata per la costruzione del modello illustrato nel sotto-paragrafo 4.1.4 (fig. 31), applicato per la valutazione della vulnerabilità del sistema urbano al *pluvial flood* nell'area studio di Napoli est (fig. 32), i cui risultati sono esposti nel capitolo 6.

#### 4.1.4 I processi di analisi spaziale per la costruzione del modello operativo

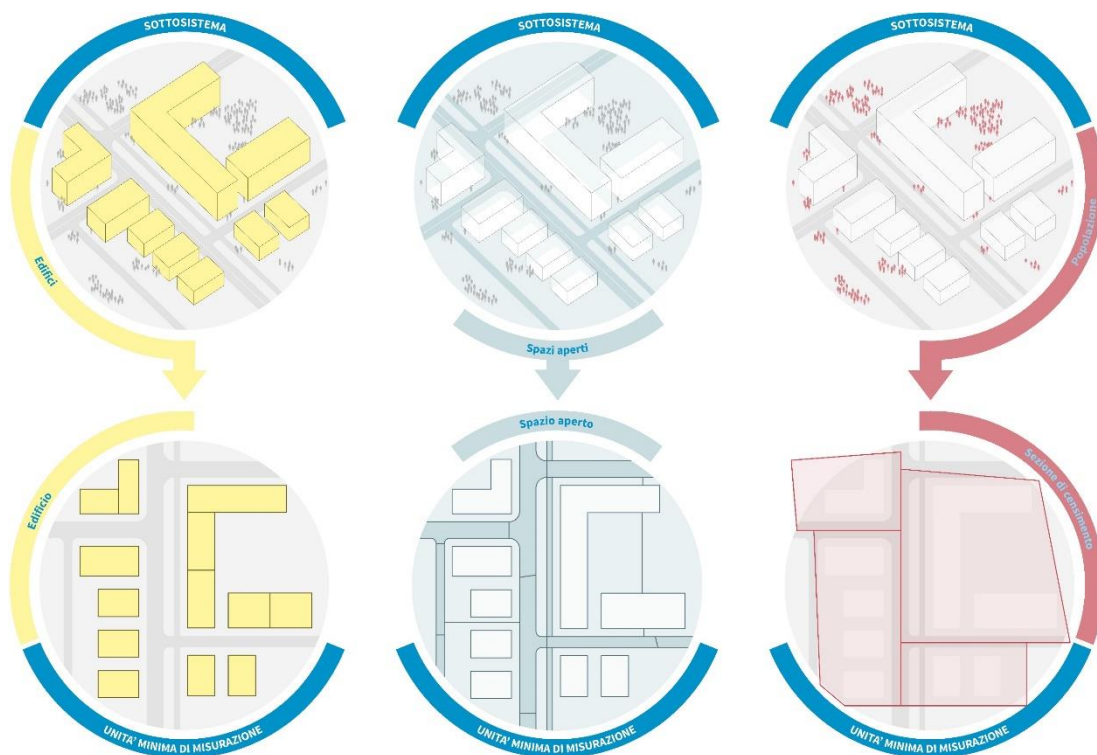
La metodologia appena esposta e finalizzata alla valutazione della vulnerabilità climatica del sistema urbano, necessita del supporto di processi di analisi spaziale (*spatial analysis*) per la costruzione di un modello operativo che consenta di gestire la conoscenza ed elaborare le mappe di vulnerabilità. L'individuazione dei livelli di vulnerabilità delle singole entità spaziali che costituiscono i sottosistemi richiede l'utilizzo di uno strumento in grado di supportare tutte le fasi di creazione di una *knowledge base* composta da dati e informazioni di natura diversa.

I dati necessari all'individuazione delle caratteristiche fisiche e sociali in base alle quali costruire gli indicatori di vulnerabilità del sistema urbano sono molteplici, derivanti da fonti e processi di acquisizione diversi e caratterizzati da scale spaziali, coordinate e forme differenti (ad es., carte tematiche, rilievi diretti, immagini satellitari). Pertanto, l'estrazione delle caratteristiche richiede la definizione e la sperimentazione di processi di analisi spaziale che consentano, attraverso gli strumenti e le funzioni proprie dei sistemi informativi geografici (GIS), di ricondurre i dati di partenza a coordinate omogenee, normalizzandoli in relazione ad unità minime di misurazione di tipo geografico (entità spaziali) in grado di rappresentare spazialmente i sottosistemi individuati per la valutazione. Attraverso *tool* GIS avanzati è possibile elaborare, analizzare, gestire e rappresentare i dati integrando informazioni spaziali e alfanumeriche, consentendo l'associazione di una o più caratteristiche fisiche e/o sociali (di tipo numerico o descrittivo) ad ogni entità spaziale.

Il supporto dei *tool* GIS è fondamentale fin dalla definizione del sistema di interesse (step

l.2): la definizione dei sottosistemi “Edifici”, “Spazi aperti” e “Popolazione” necessita l’individuazione di entità spaziali poligonali di base che ne rappresentino le unità minime di misurazione in base alle quali elaborare i dati raccolti ed effettuare tutte le successive operazioni di costruzione degli indicatori e valutazione della vulnerabilità. A tal proposito, considerando anche l’obiettivo di trasferibilità e replicabilità del modello in fig. 38, sono state individuate due fonti istituzionali principali, reperibili su tutto il territorio nazionale, da cui estrarre tali entità: il Database Topografico Regionale (DTR) e il 15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni ISTAT 2011. Dal **DTR**, elaborato in scala 1:5000 e strutturato per strati ad ognuno dei quali si riferiscono gerarchicamente più temi e ad ogni tema più classi<sup>64</sup>, possono essere individuati ed estratti i tematismi che concorrono alla formazione delle entità poligonali (*feature class*) che costituiscono le unità minime di misurazione “Edificio” e “Spazio aperto”. In relazione ai tematismi sviluppati dalle diverse regioni italiane, l’unità di misurazione finale può essere il risultato dell’estrazione di tematismi differenti a seconda dell’area studio considerata<sup>65</sup>. Parallelamente, tra le basi territoriali rese disponibili dall’**ISTAT**<sup>66</sup> si considerano quelle denominate “Sezioni di censimento”: selezionando solo quelle incluse nell’area studio si definiscono le unità di misurazione per il sottosistema “Popolazione” (fig. 30).

Figura 30. Entità spaziali di base dei sottosistemi: unità minime di misurazione



<sup>64</sup> La struttura gerarchica del DTR è stabilita a livello nazionale dal DM 10 novembre 2011 “Regole tecniche per la definizione delle specifiche di contenuto dei database geotopografici”, contenuto nella Gazzetta Ufficiale n. 48 del 27/02/2012 - Supplemento ordinario n. 37, allegato 1 e disponibile al seguente indirizzo: <https://goo.gl/NcUvmK>.

<sup>65</sup> Per approfondimenti sui tematismi specifici utilizzati nel presente studio per la definizione delle unità di misurazione “Edificio” e “Spazio aperto”, si veda il capitolo 6.

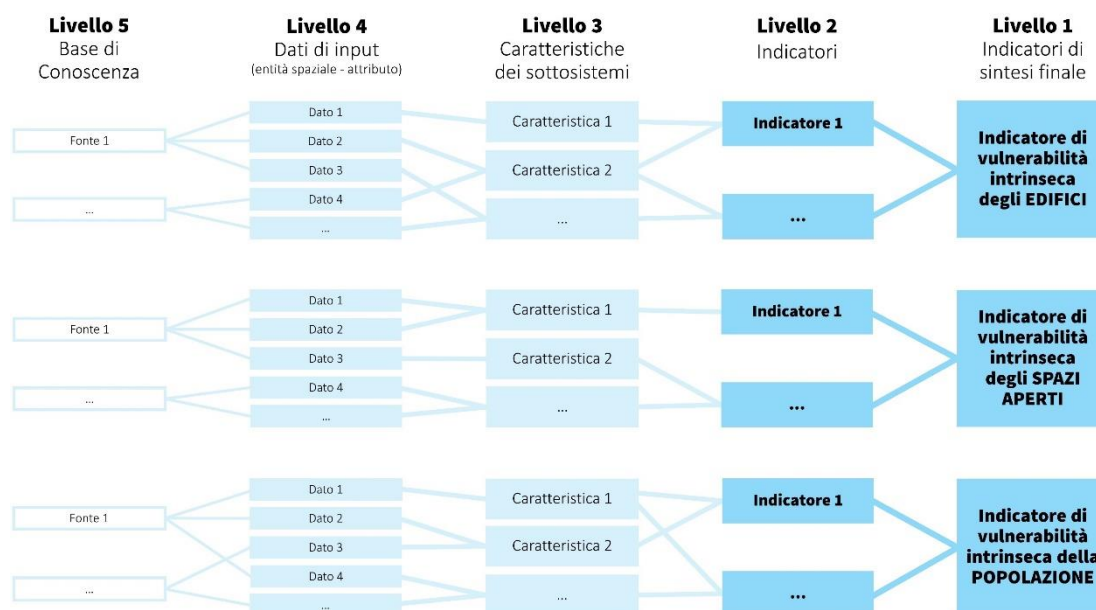
<sup>66</sup> Le basi territoriali ISTAT 2011 sono disponibili all’indirizzo <https://goo.gl/6qv62y>.

L'utilizzo di unità di misurazione provenienti da fonti diverse richiede la verifica dell'omogeneità delle coordinate geografiche dei dati acquisiti, al fine di poter procedere con la successiva elaborazione attraverso le attività caratterizzanti lo step II.1. Analogamente, tutti i dati raccolti in seguito dovranno essere riferiti allo stesso sistema di coordinate precedentemente stabilito per le unità di misurazione.

L'omogeneità delle coordinate spaziali consente di procedere con le successive elaborazioni dei dati, sia per associarli alle rispettive entità spaziali sia per determinare le diverse caratteristiche fisiche e sociali dei sottosistemi. In tal modo è possibile calcolare gli indicatori di vulnerabilità dei sottosistemi (indicatori di sintesi o composti) attraverso un approccio gerarchico strutturato in più livelli, secondo cui ogni informazione che costituisce un nodo in uno specifico livello rappresenta una sintesi informativa costruita a partire da informazioni più dettagliate associate ai nodi del livello gerarchicamente inferiore.

Il **modello gerarchico** proposto in figura 31 è strutturato in cinque livelli secondo uno schema ad albero in cui l'elemento radice della gerarchia è costituito dall'indicatore sintetico di vulnerabilità del sottosistema (livello 1). Esso è determinato attraverso processi di analisi spaziale, rappresentati mediante linee di collegamento tra i nodi ai vari livelli, che consentono di sintetizzare progressivamente le informazioni dal livello 5 (inferiore) al livello 1 (superiore).

Figura 31. Modello gerarchico per la valutazione della vulnerabilità climatica del sistema urbano



L'articolazione della struttura gerarchica brevemente esposta nel seguito è valida per valutazioni riferite a qualsiasi evento climatico; al contrario, i dati, le caratteristiche e gli indicatori individuati sono specifici, sebbene non esaustivi, per il fenomeno *pluvial flood*.

Le foglie dell'albero (ovvero i nodi del livello 5 che non presentano linee entranti) rappresentano la base di conoscenza dei relativi sottosistemi e sono composte da dati provenienti da fonti diverse, disomogenei e non normalizzati. Nel livello successivo vengono riconciliati in un insieme di informazioni più sintetico ed omogeneo e associati a specifiche

entità spaziali, costituendo i dati di input per l'elaborazione delle caratteristiche dei sottosistemi (attività II.1.1). Sebbene siano state già individuate le unità minime di misurazione dei sottosistemi, alcuni dati di input del livello 4 potrebbero far riferimento a diverse entità spaziali (ad es., entità poligonali come “corti e cortili”, “marciapiedi” e “bacini scolanti” ed entità polilineari come la “rete fognaria”). Tuttavia, tali dati sono comunque relativi ad uno specifico sottosistema, per cui nella successiva elaborazione delle caratteristiche, essi dovranno essere associati alle rispettive unità di misurazione mediante operazioni di intersezione spaziale. In tal modo è possibile ottenere le caratteristiche presenti al livello 3, restituite in relazione ai tre sottosistemi. Ogni caratteristica concorre al calcolo di uno o più indicatori secondo una formula appositamente individuata atta a restituire una particolare prestazione o comportamento del relativo sottosistema. Il passaggio dal livello 3 al livello 2 comporta un'ulteriore sintesi, necessaria per ottenere il set di indicatori attraverso le modalità e i processi di calcolo descritti nelle schede di approfondimento esposte nel sotto-paragrafo 4.2.2 (attività II.1.2). Il calcolo della vulnerabilità intrinseca dei sottosistemi è possibile solo previa classificazione e normalizzazione degli indicatori del livello 2 (attività II.1.3): attraverso operazioni di riclassificazione è possibile rendere omogenei i valori assunti da ogni singolo indicatore uniformando la scala di misura. L'attribuzione dei pesi consente l'aggregazione degli indicatori singoli e il calcolo dell'indicatore di sintesi finale di livello 1 per ogni sottosistema (attività II.2.1 e II.2.2.).

#### **4.2 Applicazione della metodologia in relazione al *pluvial flood***

Come già accennato, la metodologia esposta nel paragrafo 4.1, applicabile in relazione a qualsiasi fenomeno climatico, è stata sperimentata per la valutazione della vulnerabilità attuale del sistema urbano al *pluvial flood* nell'area studio di Napoli est. Ciò ha consentito di verificarne il corretto “funzionamento”, evidenziandone potenzialità e limiti. Nel seguito, si descrivono in maniera dettagliata quelle attività che assumono particolare rilevanza in relazione al fenomeno considerato, in questo caso il *pluvial flood*. Se le attività caratterizzanti la fase I, relative all'identificazione degli obiettivi e dell'approccio da adottare (step I.1) e alla definizione del sistema di interesse (step I.2), restituiscono risultati che possono considerarsi validi per qualsiasi fenomeno<sup>67</sup> ma specifici rispetto all'area studio considerata<sup>68</sup>, a partire dallo step I.3 di costruzione del modello di valutazione le attività vanno necessariamente declinate rispetto al fenomeno considerato oltre che rispetto al contesto locale. Di conseguenza, si approfondiscono le attività relative agli step I.3 e II.1, rimandando alla sperimentazione esposta nel capitolo 6 la descrizione delle attività relative agli step I.1, I.2 e II.2 e l'esposizione e interpretazione dei risultati ottenuti dalla fase II.

Nello specifico, si descrivono le attività condotte per il completamento degli step I.3 “Costruzione del modello di valutazione” e II.1 “Costruzione del set di indicatori per ciascun

<sup>67</sup> Ad esempio, i sottosistemi e le unità di misurazione ricavati per il *pluvial flood* possono essere utilizzati anche come base per la valutazione della vulnerabilità all'*heatwave* o ad altri *climate hazard*.

<sup>68</sup> Ad esempio, le unità di misurazione potrebbero essere costruite in maniera diversa in relazione alle fonti disponibili localmente.

sottosistema". L'identificazione degli indicatori maggiormente utilizzati nella letteratura scientifica consente di selezionare quelli da utilizzare nella ricerca, i quali comprendono anche indicatori costruiti appositamente e di cui non si è trovata traccia nella letteratura scientifica analizzata. La costruzione di ciascun indicatore è subordinata alla determinazione delle caratteristiche fisiche e sociali necessarie al calcolo, risultanti dall'elaborazione dei dati di input. Al fine di rendere maggiormente chiari processi di elaborazione e calcolo adoperati, sono state predisposte opportune schede di sintesi. Gli indicatori così determinati, adoperabili in qualsiasi contesto in quanto costruiti a partire da banche dati presenti su tutto il territorio nazionale, accessibili pubblicamente o per scopi di ricerca, concorrono alla valutazione della vulnerabilità intrinseca dei singoli sottosistemi mediante l'attribuzione di opportuni pesi e la successiva aggregazione.

#### 4.2.1 Costruzione del modello di valutazione

Nell' step I.3 si costruisce il modello a partire da una preliminare identificazione, dalla letteratura scientifica disponibile, degli indicatori maggiormente utilizzati, evidenziando eventuali aspetti non considerati ma fondamentali per il fenomeno *pluvial flood*. La successiva determinazione delle caratteristiche necessarie al calcolo consente di avviare la ricerca delle fonti dei dati, comportandone l'eventuale ridefinizione nel caso in cui non fossero disponibili fonti attendibili e/o accessibili.

L'**identificazione degli indicatori** (attività I.3.1) deriva da riferimenti bibliografici, nazionali e internazionali, di diversa natura, ovvero da documenti di indirizzo e linee guida elaborati da enti sovranazionali e da report tecnici e articoli relativi a progetti di ricerca condotti in ambito accademico o per conto di governi locali. Dall'analisi dello stato dell'arte sono emerse alcune caratteristiche necessarie per la valutazione della vulnerabilità. Tuttavia, gran parte degli studi, finalizzati alla valutazione degli impatti sulla popolazione e sulle comunità si focalizzano principalmente sui fattori connessi al sistema sociale, con pochi riferimenti riscontrati in relazione alle caratteristiche fisiche del costruito.

Nonostante la varietà dei *framework* utilizzati nelle ricerche analizzate, con differenti terminologie per la selezione degli indicatori e l'individuazione delle componenti di vulnerabilità secondo gli approcci definiti nel capitolo 2, si propone una sintesi delle variabili di interesse e degli indicatori rilevati in letteratura per la valutazione della vulnerabilità del sistema urbano al *pluvial flood*, evidenziando la possibile afferenza ad uno dei tre sotto-sistemi oggetto di studio (edifici, spazi aperti, popolazione).

Negli ultimi anni, a livello internazionale, sono stati redatti numerosi documenti con carattere di indirizzo e linea guida per la valutazione della vulnerabilità urbana ai fenomeni di *flood*. Tra gli enti maggiormente impegnati a livello mondiale vi è l'Institute for Water Education (IHE), dal 2003 parte integrante dell'UNESCO, che individua per il sistema di analisi relativo alle risorse idriche un set di indicatori per ognuna delle quattro componenti che lo caratterizzano (ambientale, fisica, sociale ed economica) (Balica, 2012). Parallelamente, a livello europeo, l'Agenzia per l'ambiente (*European Environment Agency* - EEA), nello studio di



vari *climate-hazard* (*heat waves, water scarcity and droughts, forest fires*), ha lavorato molto per l'individuazione delle cause dei fenomeni di *flood* e la definizione di un set di indicatori *hazard-specific*, anche tramite uno dei suoi centri tematici, l'European Topic Centre on Climate Change Impacts, Vulnerability and Adaptation (ETC-CCA). I diversi report e relazioni tecniche pubblicati affermano che il livello di impatto relativo ai fenomeni di allagamento in ambito urbano dipende dall'esistenza congiunta di una complessa gamma di fattori, correlati agli eventi di precipitazione, alla presenza di popolazione, alla topografia, alla pendenza dei bacini e alle proprietà fisiche di superfici e sistemi di drenaggio urbano (EEA, 2012a; EEA, 2012b). Di conseguenza, vengono individuati indicatori specifici per descrivere tali caratteristiche climatiche, fisiche e sociali, quali l'incremento di frequenza e intensità delle precipitazioni, il livello di umidità e di impermeabilizzazione dei suoli, la scarsità di aree verdi, la presenza di attività commerciali e servizi in aree potenzialmente esposte ai fenomeni di *flood*, lo stato socio-economico e il coinvolgimento della comunità (Swart et al., 2012; Timmerman et al., 2017).

Indicatori di questo tipo sono ampiamente presenti nella maggioranza delle ricerche analizzate, cui di volta in volta se ne aggiungono di nuovi in relazione agli obiettivi prefissati e al sistema analizzato. Ovviamente, al variare dell'ambito e della scala di analisi cambia anche la scala di applicazione dell'indicatore e il livello di dettaglio necessario per la sua misurazione. Di conseguenza, uno studio mirato a valutare la vulnerabilità di un'ampia regione o di una città, operando a scale molto piccole, utilizzerà indicatori costruiti prevalentemente tramite banche dati di tipo statistico (ad es. banche dati nazionali come l'ISTAT). Viceversa, uno studio condotto a scala maggiore e finalizzato a valutare la vulnerabilità di un particolare elemento (ad es. una particolare categoria di edifici o di infrastrutture) necessiterà di dati più dettagliati, spesso non disponibili nelle banche dati accessibili pubblicamente, e quindi da rilevare appositamente sul posto.

Nelle ricerche appartenenti alla prima categoria, con obiettivi di valutazione della vulnerabilità di intere città, e talvolta di nazioni, la sfera socio-economica è spesso descritta con un gran numero di indicatori (età della popolazione, condizioni di salute, struttura familiare, reti sociali, presenza di strutture di assistenza, occupazione, etnia, livello di educazione, esperienza pregressa con i fenomeni di *flood*, popolazione in aree soggette a fenomeni di *flood*), a differenza del sistema fisico-ambientale, la cui caratterizzazione è solitamente affidata a pochi indicatori (quantità di aree verdi, reti stradali e di trasporto, tipologia costruttiva, condizioni strutturali dell'edificio) (Apan et al., 2011; Muller et al., 2011; Birkmann et al., 2013; Lindley & O'Neill, 2013; Tapia et al., 2016; Salami et al., 2017). Tuttavia, nonostante l'area vasta, in alcuni casi si registra il tentativo di descrivere in maniera più dettagliata il patrimonio costruito urbano, attraverso indicatori relativi all'età dell'edificio, alla posizione dell'edificio/unità familiare rispetto al livello stradale e ai materiali costruttivi utilizzati per le varie parti (strutture orizzontali, verticali, di fondazione) (Muller et al., 2011; Lindley & O'Neill, 2013; Salami et al., 2017).

Le ricerche condotte con finalità di valutazione di singoli edifici, oltre a considerare indicatori relativi all'età, alla tipologia costruttiva e alle condizioni generali attinenti la qualità

dell'edificio, scendono maggiormente nel dettaglio, misurando anche il valore culturale, il numero di piani, il numero di aperture, il tipo di struttura di fondazione, i materiali costruttivi, la presenza di basamento, la presenza di crepe strutturali, lo stato di manutenzione dell'edificio (Stephenson & D'Ayala, 2014; Godfrey et al., 2015).

La tabella 18 sintetizza quanto precedentemente esposto in relazione ai principali indicatori rilevati in letteratura, evidenziando la scala di applicazione adottata nei vari studi.

Tabella 18. Principali indicatori di vulnerabilità del sistema urbano ai fenomeni di flood rilevati in letteratura

DIMENSIONI	SOTTO-SISTEMI	INDICATORI	SCALA DI APPLICAZIONE			FONTI
			Nazionale/ Sovranaz.	Città	Edificio	
Sociale	Popolazione	Età della popolazione/ Popolazione con età $\leq 4$ e $\geq 75$ anni	•	•		Apan et al., 2010; Muller et al., 2011; Lindley & O'Neill, 2013; Salami et al., 2017; Timmerman et al., 2017; Tapia et al., 2016
		Densità di popolazione		•		Balica, 2012; Birkmann et al., 2013
		Condizioni di salute	•	•		Apan et al., 2010; Balica, 2012; Lindley & O'Neill, 2013
		Struttura familiare		•		Apan et al., 2010; Muller et al., 2011; Salami et al., 2017
		Reti sociali	•	•		Apan et al., 2010; Lindley & O'Neill, 2013
		Presenza di strutture di assistenza		•		Apan et al., 2010; Balica, 2012; Birkmann et al., 2013; Salami et al., 2017
		Occupazione	•	•		Apan et al., 2010; Muller et al., 2011; Balica, 2012; Tapia et al., 2016; Salami et al., 2017
		Reddito	•	•		Apan et al., 2010; Balica, 2012; Lindley & O'Neill, 2013; Tapia et al., 2016; Salami et al., 2017; Timmerman et al., 2017
		Etnia		•		Apan et al., 2010; Salami et al., 2017
		Livello di educazione	•	•		Muller et al., 2011; Balica, 2012; Swart et al., 2012; Salami et al., 2017; Timmerman et al., 2017
	Esperienza pregressa con i fenomeni di flood	•	•		Muller et al., 2011; Balica, 2012; Birkmann et al., 2013; Lindley & O'Neill, 2013; Salami et al., 2017	
	Popolazione in aree soggette a fenomeni di flood	•	•		Balica, 2012; Swart et al., 2012; Birkmann et al., 2013; Timmerman et al., 2017	
	Attività economiche e produttive	Attività economiche e produttive in aree soggette a fenomeni di flood	•	•		Swart et al., 2012; Timmerman et al., 2017
Fisica	Spazi aperti	Impermeabilizzazione dei suoli	•	•		Swart et al., 2012; Tapia et al., 2016; Timmerman et al., 2017

Edifici	Quantità di aree verdi	•	•	Muller et al., 2011; Timmerman et al., 2017	
	Umidità del suolo		•	Balica, 2012	
	Land Cover/Land Use		•	Balica, 2012; Salami et al., 2017	
	Reti stradali e di trasporto		•	Salami et al., 2017	
	Età dell'edificio		•	•	Stephenson & D'Ayala, 2014; Salami et al., 2017
	Posizione dell'edificio/unità familiare rispetto al livello stradale		•		Muller et al., 2011; Lindley & O'Neill, 2013
	Materiali costruttivi/ Tipologia costruttiva		•	•	Muller et al., 2011; Stephenson & D'Ayala, 2014; Godfrey et al., 2015; Salami et al., 2017
	Qualità del patrimonio edilizio/ Condizioni strutturali		•	•	Apan et al., 2010; Lindley & O'Neill, 2013; Stephenson & D'Ayala, 2014; Salami et al., 2017
	Valore culturale			•	Stephenson & D'Ayala, 2014
	Numero di piani			•	Stephenson & D'Ayala, 2014; Godfrey et al., 2015
	Numero di aperture			•	Godfrey et al., 2015
	Presenza di basamento			•	Godfrey et al., 2015
	Presenza di crepe strutturali			•	Godfrey et al., 2015
	Stato di manutenzione			•	Godfrey et al., 2015

A partire dalla *literature review* sono stati selezionati gli indicatori da utilizzare nella presente ricerca secondo un approccio interscalare tale da misurare le caratteristiche del sistema urbano sia a livello cittadino/di quartiere sia di edificio. In tale **selezione**, si sono tenute in considerazione la rilevanza degli indicatori rispetto agli obiettivi del progetto e la facilità di costruzione (anche in relazione alla reperibilità del dato). Gli indicatori sono stati declinati a livello locale e in relazione agli impatti che si è scelto di valutare. Di conseguenza, considerando l'applicazione effettuata in ambiti urbani in cui i fenomeni di *flood* analizzati scaturiscono prevalentemente da eventi di pioggia brevi ma intensi, provocando deflussi e ristagni superficiali (anche da esondazione delle fognature), senza fenomeni di *fluvial* o *coastal flood*, gli indicatori proposti sono mirati principalmente alla valutazione degli impatti connessi alla potenziale perdita dei beni relativi alle attività ubicate ai piani terra degli edifici e all'interruzione dei flussi di mobilità. In tal caso, non sono quindi considerati gli impatti connessi alla mortalità della popolazione o al crollo di edifici ed infrastrutture.

Inoltre, si è valutata anche la necessità di misurare alcune caratteristiche tramite indicatori non rilevati nella letteratura indicata, e di cui si è proposto l'inserimento nel modello presentato in fig. 32. Infine, l'obiettivo di replicabilità del modello di valutazione anche in altri contesti, ha reso necessario l'utilizzo di indicatori costruiti su banche dati ampiamente

disponibili tramite un processo di calcolo facilmente replicabile, esposto nelle schede di approfondimento elaborate per ogni indicatore.

Gli indicatori proposti per la valutazione della vulnerabilità del sistema urbano al fenomeno *pluvial flood* hanno tenuto conto delle indicazioni fornite da linee guida europee (EEA), del loro utilizzo in studi e ricerche ma anche dell'eventuale assenza: la maggioranza degli studi analizzati ha finalità diverse rispetto alla presente ricerca, evidenziando maggiormente gli aspetti socio-economici a discapito di quelli relativi al sistema costruito. Inoltre, in tali studi la valutazione è spesso effettuata a scale abbastanza piccole (circa 1:25.000), impedendo l'approfondimento di caratteristiche che necessitano di maggiore dettaglio, come quelle relative a spazi aperti ed edifici.

Alla luce di tali considerazioni, gli indicatori inseriti nel modello mirano innanzitutto a caratterizzare il sistema fognario attraverso indicatori in grado di descriverne l'efficienza (capacità di smaltimento del sistema fognario, grado di manutenzione del sistema fognario), in quanto essa ha effetti immediati sugli spazi aperti e, successivamente, anche sugli edifici e la popolazione. Si introducono, quindi, indicatori in grado di descrivere ad una scala maggiore (1:5000) la vulnerabilità degli edifici, connessa a caratteristiche funzionali e morfologiche (attività piani terra, rapporto di copertura, percentuale di edificio su marciapiede, tipologia di copertura), e della popolazione, connessa alla potenziale concentrazione di persone in determinate aree (capacità attrattiva). Il set si completa con indicatori ampiamente utilizzati, rintracciati anche nella letteratura scientifica analizzata (superficie spazi aperti, permeabilità dei suoli, densità di popolazione, fasce deboli).

La **determinazione delle caratteristiche di calcolo** (attività I.3.2) è fondamentale per avviare la ricerca delle fonti dei dati di input. La definizione in questa fase è fondamentale poiché potrebbe essere necessaria una loro eventuale ridefinizione nel caso in cui non fossero disponibili fonti attendibili e/o accessibili. Inoltre, ciò potrebbe comportare anche una revisione degli indicatori inizialmente selezionati. Una volta stabiliti in via definitiva le caratteristiche, si procede all'**acquisizione dei dati di input** (attività I.3.3).

È possibile raccogliere dati relativi alle caratteristiche fisiche di edifici e spazi aperti e socio-economiche della popolazione a partire da banche dati già esistenti, accessibili pubblicamente o per scopi di ricerca. La maggioranza dei dati derivano infatti dai già citati DTR 2004 e censimento della popolazione 2011. In relazione al sottosistema "Edifici", dal DTR è possibile ricavare dati relativi all'area totale e scoperta per il calcolo dell'indicatore "Rapporto di copertura" e al perimetro complessivo e alla presenza di marciapiede per il calcolo della "Percentuale di edificio su marciapiede". Da immagini satellitari è possibile distinguere i tipi di copertura a falde da quelli piani utili per il calcolo dell'indicatore "Tipologia di copertura". Per il sottosistema "Spazi aperti" il DTR fornisce esclusivamente dati relativi all'area dell'entità poligonale determinata precedentemente ("Superficie spazi aperti"). La determinazione degli altri indicatori dello spazio aperto richiede l'acquisizione dei dati da fonti diverse rispetto a quelle già citate. Il dato di *Landcover*, ottenibile a partire dall'elaborazione di immagini satellitari ad alta e altissima risoluzione (Rapideye a 5 m e Pleiades a 0.5 m) con il supporto di DSM (*Digital Surface Model*) e DTM (*Digital Terrain Model*) che consentono di classificare gli

elementi territoriali in base alla differenza di altezza, può essere utilizzato, con ulteriori elaborazioni, per la costruzione dell'indicatore "Permeabilità dei suoli". Per l'indicatore "Capacità di smaltimento del sistema fognario" sono necessari dati relativi alle dimensioni interne della sezione (larghezza, altezza, diametro) e alla pendenza della rete fognaria, entrambi ottenibili dall'Amministrazione comunale e dall'Autorità di Bacino, al coefficiente di afflusso, derivabile da letteratura scientifica (ad es., valori utilizzati dalla città di Bolzano per il calcolo del RIE<sup>69</sup>), all'intensità di pioggia, ricavabile da eventi storici presenti negli Annali Idrologici, e all'area del bacino scolante, entità da costruire appositamente sull'area studio<sup>70</sup>. Infine, l'ultimo indicatore "Grado di manutenzione del sistema fognario" può essere calcolato a partire dalla quantificazione del numero di caditoie totali e otturate da immagini satellitari ad alta definizione e rilievo diretto sull'area studio.

In relazione al sottosistema "Popolazione", dal 15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni ISTAT 2011 è possibile ricavare dati relativi alla popolazione residente totale ("Densità di popolazione residente") e alle fasce d'età ("Fasce deboli"), mentre dal 9° Censimento generale dell'industria e dei servizi ISTAT 2011 possono essere estratti dati relativi al numero di lavoratori in aziende pubbliche, private e no profit ("Capacità attrattiva")<sup>71</sup>.

In tabella 19 sono sintetizzati, per ogni indicatore, caratteristiche e relativi dati di input, con riferimento alla fonte o alla modalità di acquisizione (rilievo diretto, elaborazione dell'autrice).

Tabella 19. Caratteristiche e dati necessari alla costruzione degli indicatori

SOTTO-SISTEMI	INDICATORI	CARATTERISTICHE	DATI DI INPUT		FONTI DEI DATI/ MODALITÀ DI ACQUISIZIONE
			Entità	Attributo	
Edifici	E-RCOP Rapporto di copertura	Area totale edificio - $A_{TOT}$	Edificio	Area - $A_{ED}$	DTR 2004
			Edificio	Area - $A_{ED}$	DTR 2004
		Superficie coperta - $S_C$	Corti e cortili	Area superfici scoperte interne - $A_{CC}$	DTR 2004
	E-PEM Percentuale di edificio su marciapiede	Perimetro totale edificio - $P_{TOT}$	Edificio	Perimetro - $P_{ED}$	DTR 2004
		Perimetro di edificio adiacente al marciapiede - $P_{MAR}$	Edificio	Perimetro - $P_{ED}$	DTR 2004
			Marciapiede	Presenza marciapiede - $P_M$	DTR 2004
	E-UPT Attività piani terra	Area totale edificio - $A_{TOT}$	Edificio	Area - $A_{ED}$	DTR 2004
			Edificio	Numero attività commerciali al piano terra - $NA_{PT}$	Rilievo diretto
		Numero di attività al piano terra - $N_A$	Edificio	Numero altre attività al piano terra - $NAU_{PT}$	Rilievo diretto
	E-TCOP Tipologia di	Area totale edificio - $A_{TOT}$	Edificio	Area - $A_{ED}$	DTR 2004

<sup>69</sup> I valori di coefficiente di afflusso utilizzati dalla città di Bolzano per il calcolo del RIE sono disponibili al seguente indirizzo: <https://goo.gl/5uyusq>.

<sup>70</sup> Per approfondimenti sull'elaborazione delle caratteristiche necessarie al calcolo di tale indicatore, si veda il sottoparagrafo 4.2.2.1.

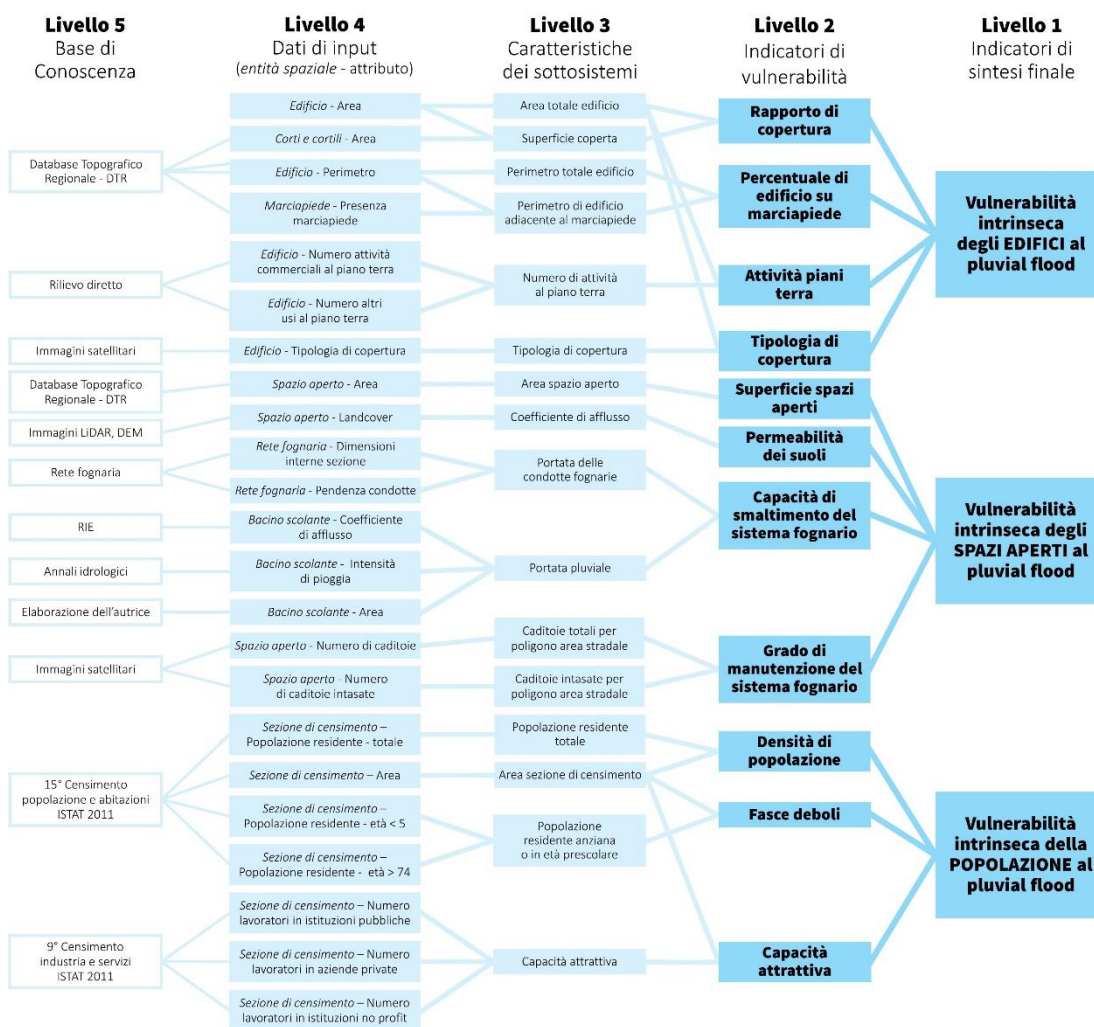
<sup>71</sup> I dati relativi al 9° Censimento generale dell'industria e dei servizi ISTAT 2011 sono disponibili al seguente indirizzo: <https://goo.gl/N1HhTp>.

	copertura	Tipologia di copertura - $T_C$	Edificio	Tipologia di copertura	Immagini satellitari
<b>Spazi aperti</b>	<b>S-SUP</b> Superficie spazi aperti	Area spazio aperto - $A_S$	Spazio aperto	Area - $A_{SA}$	DTR 2004
	<b>S-PS</b> Permeabilità dei suoli	Coefficiente di afflusso - $\varphi$	Spazio aperto	Landcover	Rapideye, Pleiades, DSM, DTM
	<b>S-CFOG</b> Capacità di smaltimento del sistema fognario	Portata delle condotte - $Q_C$	Rete fognaria	Dimensioni interne sezione - d, H, L	Comune, Autorità di Bacino
			Rete fognaria	Pendenza - I	Comune, Autorità di Bacino
		Portata pluviale - $Q_P$	Bacino scolante	Coefficiente di afflusso - $\varphi$	RIE Bolzano
			Bacino scolante	Intensità di pioggia - i	Annali Idrologici
<b>S-MFOG</b> Grado di manutenzione del sistema fognario	Caditoie totali per poligono "Area stradale" - $C_{TOT}$	Spazio aperto - poligoni "Area stradale"	Numero di caditoie - $N_C$	Immagini satellitari	
	Caditoie intasate per poligono "Area stradale" - $C_{INT}$	Spazio aperto - poligoni "Area stradale"	Numero di caditoie intasate - $N_{CI}$	Immagini satellitari	
<b>Popolazione</b>	<b>P-DP</b> Densità di popolazione residente	Popolazione residente totale - $P_R$	Sezione di censimento	Popolazione residente totale	15° Censimento popolazione e abitazioni ISTAT 2011
		Area sezione di censimento - $A_{SC}$	Sezione di censimento	Area	15° Censimento popolazione e abitazioni ISTAT 2011
	<b>P-FD</b> Fasce deboli	Popolazione residente anziana o in età prescolare - $P_{FD}$	Sezione di censimento	Popolazione residente - età < 5	15° Censimento popolazione e abitazioni ISTAT 2011
			Sezione di censimento	Popolazione residente - età > 74 anni	15° Censimento popolazione e abitazioni ISTAT 2011
		Area sezione di censimento - $A_{SC}$	Sezione di censimento	Area	15° Censimento popolazione e abitazioni ISTAT 2011
	<b>P-CA</b> Capacità attrattiva	Capacità attrattiva - ATT	Sezione di censimento	Lavoratori in imprese private	9° Censimento industria e servizi ISTAT 2011
			Sezione di censimento	Lavoratori in istituzioni pubbliche	9° Censimento industria e servizi ISTAT 2011
			Sezione di censimento	Lavoratori in istituzioni non profit	9° Censimento industria e servizi ISTAT 2011
Area sezione di censimento - $A_{SC}$		Sezione di censimento	Area	15° Censimento popolazione e abitazioni ISTAT 2011	

Il modello di valutazione che risulta dall'esecuzione di tali attività è strutturato secondo quanto già esposto nel sotto-paragrafo 4.1.4: gli indicatori, le caratteristiche e i dati di input del modello in figura 32 rappresentano i nodi dell'albero, collegati da linee che simboleggiano i processi di analisi spaziale necessari per il passaggio da un livello inferiore ad uno superiore (ad es. da 4 a 3).



Figura 32. Modello gerarchico per la valutazione della vulnerabilità del sistema urbano al pluvial flood



#### 4.2.2 Costruzione del set di indicatori

Definiti gli obiettivi, l’approccio e il modello di valutazione, è possibile procedere con la fase esecutiva (fase II), costruendo un set di indicatori capace di descrivere il “comportamento” di edifici, spazi aperti e popolazione in relazione ai fenomeni di *pluvial flood* (step II.1).

La molteplicità dei dati acquisiti e la diversità delle fonti ha reso necessaria una preliminare attività di elaborazione (*preprocessing*) allo scopo di rendere omogenei i dati grezzi che costituiscono la base di conoscenza per andare a formare i dati di input, e che si colloca tra i livelli 5 e 4 del modello in fig. 34. Tale omogeneizzazione riguarda sia il sistema di coordinate di riferimento sia le unità di misurazione. Considerato il DTR quale fonte principale dei dati, forniti con coordinate geografiche WGS 84 UTM Zona 33n, è necessario ricondurre tutti i dati a tale sistema di coordinate. Inoltre, sebbene i dati di input siano finalizzati a rappresentare le caratteristiche dei tre sottosistemi, al momento dell’acquisizione potrebbero fare riferimento ad entità spaziali diverse rispetto a quelle individuate precedentemente per i sottosistemi, oppure derivare da fonti o processi di acquisizione tali da non essere riferiti ad alcuna entità spaziale (ad es., rilievo diretto, immagini raster). Tuttavia, può accadere che con questa attività

non sia possibile riferire tutti i dati ad una delle tre unità di misurazione “Edificio”, “Spazio aperto” e “Sezione di censimento”, rimandando tale associazione ad un momento successivo di calcolo degli indicatori.

L’**elaborazione** delle caratteristiche (attività II.1.1) in alcuni casi è immediata e avviene a partire da un unico dato di input (ad es., area totale edificio, area spazio aperto), mentre in altri casi necessita di due o più dati in input e di un apposito processo di calcolo. Inoltre, come già accennato, alcuni dati, grazie alle attività di *preprocessing*, fanno già riferimento alle unità di misurazione dei sottosistemi, mentre per gli altri è necessario intervenire successivamente all’elaborazione.

Tutte le caratteristiche sono determinate in riferimento all’unità di misurazione del rispettivo sottosistema, tranne “Portata delle condotte” e “Portata pluviale” calcolate per bacino scolante, e finalizzate al calcolo dell’indicatore “Capacità di smaltimento del sistema fognario” effettuato sempre per bacino scolante, i cui valori sono poi successivamente associati ai poligoni spazi aperti prima di essere classificati, secondo quanto indicato nella relativa scheda esposta nel sotto-paragrafo 4.2.3.

Gli indicatori sono calcolati a partire da una o più caratteristiche su una scala di misura di tipo metrico. La maggioranza dei dati di input sono di tipo numerico, tranne i dati di tipologia di copertura e *Landcover*, forniti su scala nominale. Nel primo caso, alla differenza tra tetto piano e a falde si è aggiunto il dato relativo all’area della superficie coperta in maniera tale da associare al dato qualitativo uno di tipo quantitativo che potesse individuare una caratteristica capace di quantificare la maggiore o minore predisposizione alla vulnerabilità dell’edificio considerato. Nel secondo caso, l’elaborazione della relativa caratteristica ha reso necessario individuare un parametro capace di tradurre in termini numerici le classi di copertura del suolo, ovvero il coefficiente di afflusso, in base al quale è stata calcolata la permeabilità dei suoli.

Ogni indicatore sintetizza il contributo di una o più caratteristiche; esso è ottenuto mediante opportuni processi di **calcolo** effettuati mediante operazioni di analisi spaziale e di taratura (attività II.1.2). Al fine di utilizzare efficacemente il contributo degli indicatori nel calcolo della vulnerabilità del relativo sottosistema, ogni indicatore è **classificato** (attività II.1.3) eseguendo un partizionamento dei valori in 5 classi mediante un opportuno metodo di classificazione tematica per intervalli di valori<sup>72</sup>. Ogni classe è identificata dagli estremi inferiore e superiore dell’intervallo di valori dell’attributo, detti *break*. Ad ogni classe è poi assegnata una etichetta e un simbolo di visualizzazione su mappa. Attraverso il metodo di classificazione tematica per intervalli di valori si determinano in maniera opportuna i *break* di ogni classe. In tabella 20 sono riportati i metodi utilizzati nel lavoro di ricerca.

---

<sup>72</sup> Una classificazione tematica per intervalli di valori è un partizionamento in “n” classi di equivalenza di un insieme di elementi tematici (ad esempio poligoni edifici del tematismo “Edifici”) prendendo in considerazione uno specifico attributo o campo numerico del tematismo.

Tabella 20. Metodi di classificazione tematica per intervalli di valori

METODO	DESCRIZIONE	MOTIVAZIONE DELLA SCELTA
<b>Manuale</b>	I <i>break</i> di ogni classe sono specificati dall'operatore.	Il metodo è adottato quando i <i>break</i> di ogni classe sono determinati in letteratura scientifica, da normativa o mediante opportuni processi di taratura.
<b>Equal interval</b>	Il dominio dei valori dell'indicatore è suddiviso in intervalli di uguale ampiezza.	Il metodo è adottato quando ad ogni classe si intende far corrispondere un intervallo di pari ampiezza, indipendentemente dal numero di elementi tematici appartenenti alla classe.
<b>Quantile</b>	I <i>break</i> di ogni classe sono determinati in modo che ad ogni classe appartenga mediamente lo stesso numero di elementi.	Il metodo è adottato laddove sia necessario che il numero di elementi appartenenti ad ogni classe sia approssimativamente identico.

La classificazione consente di assegnare ad ogni entità “Edificio”, “Spazio aperto” e Sezione di censimento” uno specifico valore numerico rappresentativo del livello di vulnerabilità associato a ciascun indicatore. Gli indicatori sono **normalizzati** assegnando ad ogni classe un valore da 1 a 5 (scala categoriale), dove al valore minore corrisponde un contributo maggiore alla vulnerabilità secondo quanto indicato in tabella 21 (attività II.1.3).

Tabella 21. Valori ed etichette degli indicatori

VALORE INDICATORE	ETICHETTA
<b>1</b>	Alto
<b>2</b>	Medio-alto
<b>3</b>	Medio
<b>4</b>	Medio-basso
<b>5</b>	Basso

Tutte le operazioni di *preprocessing* ed elaborazione dei dati necessarie al passaggio dal livello 5 al 3, le formule di calcolo degli indicatori (passaggio da livello 3 a livello 2) e le classi adottate sono descritte nelle schede di sintesi esposte nel sotto-paragrafo 4.2.2 realizzate per ciascun indicatore.

#### 4.2.2.1 Capacità di smaltimento del sistema fognario

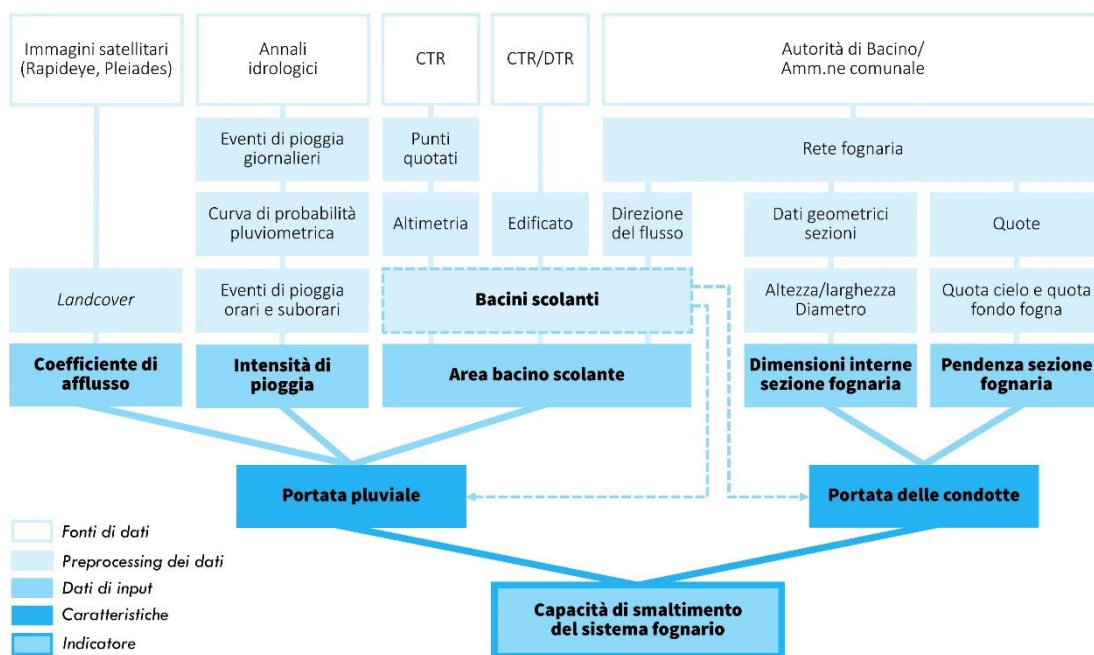
Come già accennato, alcuni degli undici indicatori proposti nel modello in fig. 32 derivano da riferimenti bibliografici mentre altri sono stati costruiti appositamente per descrivere ad una scala maggiore caratteristiche fisiche e sociali fondamentali nella determinazione della vulnerabilità del sistema urbano al *pluvial flood*. Nello specifico, anche se non sono stati rintracciati riferimenti nella letteratura analizzata, si ritiene indispensabile valutare il comportamento del sistema fognario in relazione ad uno specifico evento di pioggia preso in esame, allo scopo di verificarne l'efficienza e le possibili conseguenze su edifici, spazi aperti e popolazione. Il calcolo dell'indicatore “Capacità di smaltimento del sistema fognario” consente di verificare localmente la risposta della rete pluviale e, a differenza di altri indicatori elaborati

quali contributo originale alla valutazione della vulnerabilità (ad es., grado di manutenzione del sistema fognario), necessita di un processo di calcolo estremamente articolato, solo parzialmente automatizzato. Oltre la scheda di sintesi esposta in seguito, si ritiene opportuno descrivere in maniera più approfondita i passaggi necessari al calcolo dell'indicatore, frutto di un notevole sforzo di integrazione di conoscenze relative a campi disciplinari differenti.

Individuate le formule di calcolo dell'indicatore e delle relative caratteristiche di portata delle condotte  $Q_C$  e portata pluviale  $Q_P$  (che saranno esposte nel seguito), una parte sostanziale delle attività riguarda il *preprocessing* dei dati di input necessari all'elaborazione delle caratteristiche (attività II.1.1), derivanti da fonti diverse e disponibili in formati disomogenei. Inoltre, a differenza degli altri indicatori, l'entità spaziale di base rispetto alla quale effettuare il calcolo non corrisponde all'entità "Spazio aperto", ma all'entità "Bacini scolanti", da costruire manualmente a partire da una serie di dati di input, opportunamente pre-elaborati. Successivamente, i valori dell'indicatore possono essere attribuiti ai poligoni spazio aperto mediante un'operazione di intersezione spaziale, al fine di rendere confrontabili e aggregabili i risultati ottenuti dal calcolo dei diversi indicatori relativi al sottosistema "Spazi aperti".

A tal proposito, si ritiene necessario approfondire le varie attività che caratterizzano le quattro fasi principali del calcolo dell'indicatore "S-CFOG -Capacità di smaltimento del sistema fognario": 1) Perimetrazione dei bacini scolanti; 2) Elaborazione della portata delle condotte  $Q_C$ ; 3) Elaborazione della portata pluviale  $Q_P$ ; 4) Calcolo dell'indicatore S-CFOG. Preliminarmente, è necessario predisporre tutti i dati di input finalizzati alla perimetrazione dei bacini e all'elaborazione delle caratteristiche di portata (fase 0), secondo quanto indicato in figura 33. Tale processo è stato applicato all'area studio di Napoli est (cap. 6).

Figura 33. Dati di input e caratteristiche necessarie al calcolo dell'indicatore "Capacità di smaltimento del sistema fognario"



*Fase 0: Pre-processing dei dati di input*

Acquisiti i dati di input necessari all’elaborazione delle caratteristiche, secondo quanto definito in tab. 20, è fondamentale procedere con la pre-elaborazione e l’omogeneizzazione degli stessi al fine di consentire il completamento delle fasi successive. Non sempre i dati disponibili presentano formati tali da consentire direttamente l’esecuzione di determinate operazioni di analisi spaziale (ad es., carte, dati tabellari, database topografici): in presenza di dati forniti sotto forma di carta in formato raster o non direttamente compatibili con applicativi GIS (ad es., .dwg), è necessario importare i dati utili alle elaborazioni successive riferendoli a specifiche entità spaziali.

La perimetrazione dei bacini scolanti, ovvero delle aree sottese alle sezioni di chiusura (sezioni delle condotte fognarie), va effettuata sulla base dei dati relativi all’altimetria, all’edificato e alla rete fognaria della zona di interesse. Sebbene si configurino quali dati di partenza per la costruzione dei bacini, essi vanno a loro volta costruiti a partire da dati grezzi derivanti da fonti differenti (i primi due da Carta Tecnica Regionale - CTR - e il terzo da mappe comunali o di Autorità di Bacino). Dai punti quotati presenti nella CTR è possibile elaborare l’**altimetria** mediante applicativi GIS, utilizzando diversi metodi di interpolazione spaziale (ad es., IDW, trend, kriging). Dalla stessa CTR, o Dal Database Topografico Regionale (DTR) ad essa associato, estraendo gli opportuni tematismi, è possibile ottenere le entità spaziali costituenti l’**edificato**. Infine, dalle carte relative alla rete fognaria disponibili presso gli enti locali competenti (ad es., autorità comunale, Autorità di Bacino), si possono estrapolare numerosi dati relativi alla geometria della sezione (quali altezza, larghezza, diametro, tipologia), alle quote (quota cielo e quota fondo fogna) e alla **direzione del flusso** per ogni tratto della rete pluviale. In quest’ultimo caso, una parte dei dati relativi alla rete fognaria acquisiti saranno finalizzati alla perimetrazione dei bacini (direzione del flusso) mentre gli altri verranno utilizzati per il calcolo della portata delle condotte  $Q_c$  (dimensioni interne della sezione e quote del tratto).

Come evidenziato dal modello in fig. 32, la caratteristica di portata delle condotte  $Q_c$  è calcolata a partire dai dati geometrici della sezione e dalla pendenza di ciascun tratto, ottenibili dai dati ricavati precedentemente. A seconda della tipologia di sezione (circolare, rettangolare, ovoidale, etc.) vanno considerati i dati di **altezza e larghezza** o **diametro interno**. La **pendenza I** di ciascun tratto fognario è ottenibile come rapporto tra dislivello e lunghezza, secondo la formula seguente:

$$I = \frac{\Delta}{L} \quad \left[ \frac{m}{m} \right]$$

con  $\Delta$ : dislivello [m]

L: lunghezza del tratto [m]

Il dislivello può essere calcolato come differenza tra il valore massimo e il valore minimo della quota cielo fogna rilevati all’inizio e alla fine del tratto fognario considerato.

Sempre dal modello in fig. 32 si rileva la necessità di acquisire ed elaborare tre dati di input per il calcolo della portata pluviale  $Q_p$ : coefficiente di afflusso, intensità di pioggia e area del

bacino scolante. Il **coefficiente di afflusso  $\phi$**  è attribuito alle superfici urbane (tetti e spazi aperti) a partire dall'individuazione delle classi di copertura del suolo (*Landcover*) secondo il processo utilizzato per il calcolo dell'indicatore "Permeabilità dei suoli". Attribuiti i valori del coefficiente di afflusso a ciascuna classe di *Landcover*, si procede alla mappatura delle superfici dell'area di interesse. Successivamente, si attribuisce al poligono bacino scolante un valore di  $\phi$  medio (relativo sia alle superfici dei tetti sia a quelle degli spazi aperti), pesato rispetto all'area totale o parziale di ciascuna superficie ricadente all'interno del bacino considerato e caratterizzata da un determinato valore di  $\phi$ . I valori di riferimento utilizzati per il coefficiente di afflusso sono quelli individuati per l'indicatore "Permeabilità dei suoli" (vedi all. 2).

Il dato di **intensità di pioggia  $i$** , utile anche per la caratterizzazione dell'*hazard* (vedi par. 4.3), può essere relativo ad un evento realmente accaduto, oppure derivare da un'analisi storica o di previsione futura. Dagli Annali Idrologici<sup>73</sup> è possibile ricavare tutti i dati necessari all'individuazione di specifici eventi di pioggia (osservazioni pluviometriche giornaliere, precipitazioni di notevole intensità e breve durata) o all'analisi di serie storiche per effettuare previsioni di eventi futuri di precipitazione (anche in relazione agli scenari IPCC). Nel secondo caso, è necessario costruire la curva di probabilità pluviometrica che, a partire da una serie di dati significativi (solitamente trentennale), consente di determinare potenziali eventi futuri caratterizzati da specifici periodi di ritorno (ad es., 2, 5, 10 anni) e durate (ad es., 1h, 6 h, 12h)<sup>74</sup>.

L'ultimo dato di input necessario al calcolo della portata pluviale, ovvero l'**area del bacino scolante**, è predisposto a valle della fase I di perimetrazione dei bacini.

Ottenuti il raster dell'altimetria e i file vettoriali relativi all'edificato e alla rete fognaria pluviale (con tutti i dati associati a ciascun tratto), è possibile procedere con la perimetrazione manuale dei bacini.

---

#### *Fase 1: Perimetrazione dei bacini scolanti*

Precedentemente al calcolo delle portate è necessario individuare i **bacini scolanti**, ovvero le aree sottese alle sezioni di chiusura, rispetto alle quali calcolare  $Q_c$  e  $Q_p$  e verificare la capacità del sistema fognario. Pertanto, ai fini della perimetrazione manuale dei bacini, bisogna considerare quali caratteristiche di base:

- Rete fognaria pluviale
- Edificato
- Altimetria

A partire da tali fattori, è possibile perimetrare i bacini tenendo in considerazione la

---

<sup>73</sup> Gli Annali Idrologici, elaborati dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, a partire dalla versione "consolidata" del 1951, raccolgono i dati relativi alle osservazioni pluviometriche, idrometriche e termometriche giornaliere, oltre i dati relativi ai bilanci idrologici, alla freaticimetria, al trasporto solido in sospensione e alla mareografia. Gli Annali Idrologici disponibili per diverse città italiane sono consultabili al seguente link: <http://www.acq.isprambiente.it/annalipdf/>.

<sup>74</sup> Per maggiori approfondimenti, si vedano il sotto-paragrafo 4.3.2 e il paragrafo 6.2.



differenza tra la rete primaria e secondaria, la pendenza dei tratti, le dimensioni delle sezioni e la direzione del flusso. Il bacino sarà quindi determinato a partire dall'individuazione della sezione di chiusura, corrispondente al tratto uscente dal bacino, e della displuviale, ovvero del limite idraulico luogo dei punti da cui hanno origine le linee di massima pendenza (Moisello, 1998). In questa fase è opportuno evidenziare la differenza tra bacini primari e secondari, o non confluenti e confluenti, in quanto tale distinzione è fondamentale nel successivo calcolo della portata pluviale. Perimetrati i bacini, si procede al calcolo delle portate.

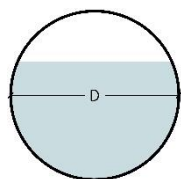
*Fase 2: Elaborazione della portata delle condotte Q<sub>C</sub>*

Il calcolo della **portata della condotta Q<sub>C</sub>** [m<sup>3</sup>/s] è effettuato a partire da alcune ipotesi semplificative:

- Condotta a pelo libero e moto uniforme
- Grado di riempimento della sezione pari al 70%

La portata Q<sub>C</sub> è calcolata per ogni singolo tratto della rete fognaria tenendo in considerazione la geometria della sezione relativamente ai dati di altezza, larghezza e diametro interno, in base al quale si adottano differenti formule di calcolo (Mantica, 1994; Ippolito, 1995).

**Sezione circolare**



La portata Q<sub>C</sub> è data dalla formula seguente:

$$Q_C = K_{ST} * D^{8/3} * I^{1/2} * 0.26 \quad \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

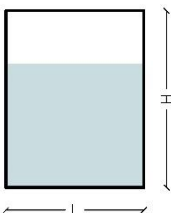
con K<sub>ST</sub>: coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler (dipendente dal materiale con cui è realizzata la condotta: si adotta un valore pari a 60, che tiene in considerazione la presenza di depositi sul fondo e di eventuali irregolarità) [m<sup>1/3</sup>/s]

D: diametro interno della condotta [m]

I: pendenza [m/m]

0,26: costante dipendente dalla geometria della sezione e dal grado di riempimento

**Sezione rettangolare**



La portata Q<sub>C</sub> è data dalla formula seguente:

$$Q_C = K_{ST} * \frac{(0.7 * L * H)^{5/3}}{(L + 1.4 * H)^{2/3}} * I^{1/2} \quad \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

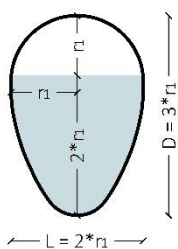
con K<sub>ST</sub>: coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler (dipendente dal materiale con cui è realizzata la condotta: si adotta un valore pari a 60, che tiene in considerazione la presenza di depositi sul fondo e di eventuali irregolarità) [m<sup>1/3</sup>/s]

L: larghezza sezione [m]

H: altezza sezione [m]

l: pendenza [m/m]

**Sezione ovoidale**



La portata  $Q_C$  è data dalla formula seguente:

$$Q_C = K_{ST} * D^{8/3} * l^{1/2} * 0.128 \quad \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

con  $K_{ST}$ : coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler (dipendente dal materiale con cui è realizzata la condotta: si adotta un valore pari a 60, che tiene in considerazione la presenza di depositi sul fondo e di eventuali irregolarità) [ $m^{1/3}/s$ ]

D: altezza della sezione [m]

l: pendenza [m/m]

0,128: costante dipendente dalla geometria della sezione e dal grado di riempimento

Una volta calcolata la portata di ciascun tratto della rete fognaria, la portata  $Q_C$  associata al poligono bacino è pari al valore della portata del tratto uscente dal bacino; nel caso in cui fossero presenti due o più tratti uscenti (i), il valore di  $Q_C$  da associare al bacino è pari alla somma dei valori  $Q_{Ci}$  dei singoli tratti uscenti.

*Fase 3: Elaborazione della portata pluviale  $Q_p$*

La **portata pluviale  $Q_p$**  [ $m^3/s$ ] è calcolata per ogni poligono bacino secondo la formula (Mantica, 1994; Ippolito, 1995):

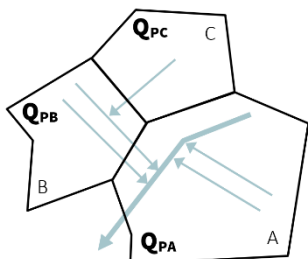
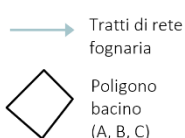
$$Q_p = \frac{\varphi * A * i}{360} \quad \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

con  $\varphi$ : coefficiente di afflusso

i: intensità di pioggia relativa ad uno specifico evento di precipitazione [mm/h]

A: area totale sottesa alla sezione di calcolo (bacino scolante) [ha]

Nell'attribuzione del valore di portata pluviale a ciascun poligono bacino va tenuta in considerazione la differenza tra bacini non confluenti e confluenti, ovvero la direzione del flusso, in quanto alcuni bacini ricevono le acque di pioggia anche di altre aree esterne al bacino stesso. Di conseguenza, la portata pluviale da assegnare a ciascun bacino sarà uguale alla portata calcolata per il bacino stesso ( $Q_{pi}$ ) più un'eventuale portata proveniente da uno o più bacini da cui esso risulta dipendente, secondo l'esempio seguente.



$$Q_{PA} = Q_{PA}^* + Q_{PB}$$

$$Q_{PB} = Q_{PB}^* + Q_{PC}$$

$$Q_{PC} = Q_{PC}^*$$

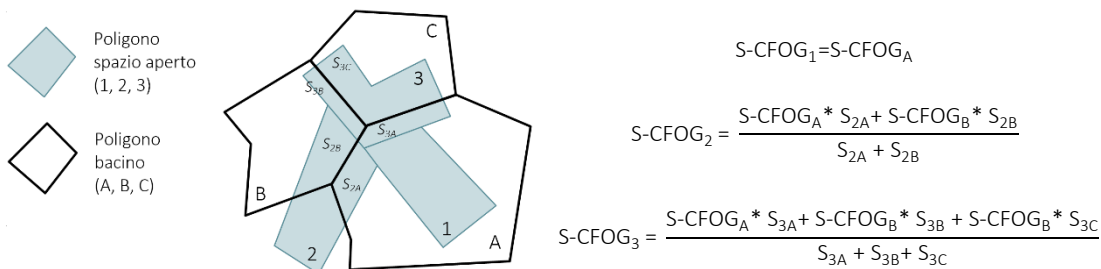
Fase 4: Calcolo dell'indicatore S-CFOG

Successivamente all'elaborazione delle portate si calcola l'indicatore S-CFOG per poligono bacino secondo la seguente formula:

$$S-CFOG = \frac{Q_c}{Q_p} \left[ \frac{m^3/s}{m^3/s} \right]$$

I cui valori risultanti dal calcolo saranno poi successivamente attribuiti ai poligoni spazio aperto. Tale attribuzione avviene attraverso la sovrapposizione delle due tipologie di poligoni, verificando l'eventuale intersezione di alcuni poligoni relativi allo spazio aperto con più poligoni bacino. Nel caso in cui i poligoni spazio aperto siano interni al poligono bacino, il valore dell'indicatore da attribuire allo spazio aperto coinciderà con quello calcolato per il bacino.

Nel caso in cui un unico poligono spazio aperto intersechi due o più poligoni bacino, il valore dell'indicatore S-CFOG da attribuire al poligono spazio aperto (1, 2, 3, ..., i) sarà calcolato come media dei valori individuati per i diversi poligoni bacino (A, B, C, ..., n), ognuno pesato rispetto all'area della porzione di spazio aperto intersecata con il relativo bacino ( $S_{in}$ ), secondo l'esempio riportato nella figura seguente.



## 4.2.3 Schede di sintesi

In tabella 22 è sintetizzato il set di indicatori con riferimento al metodo di classificazione e al range utilizzato nel calcolo di ciascun indicatore (manuale, *equal interval*, quantile).

Tabella 22. Indicatori di vulnerabilità del sistema urbano al *pluvial flood*

FENOMENO METEO-CLIMATICO	SOTTO-SISTEMI	INDICATORE	METODO DI CLASSIFICAZIONE	RANGE	
<i>Pluvial flood</i>	Edifici	<b>E-RCOP</b>	Rapporto di copertura	Manuale	1-5
		<b>E-PEM</b>	Percentuale di edificio su marciapiede	Manuale	1-5
		<b>E-APT</b>	Attività piani terra	Manuale	1-5
		<b>E-TCOP</b>	Tipologia di copertura	Manuale	1-5
	Spazi aperti	<b>S-SUP</b>	Superficie spazi aperti	Manuale	1-5
		<b>S-PS</b>	Permeabilità dei suoli	<i>Equal interval</i>	1-5
		<b>S-CFOG</b>	Capacità di smaltimento del sistema fognario	Manuale	1-5
		<b>M-FOG</b>	Grado di manutenzione del sistema fognario	<i>Equal interval</i>	1-5
	Popolazione	<b>P-DP</b>	Densità di popolazione	Quantile	1-5
		<b>P-FD</b>	Fasce deboli	Quantile	1-5
		<b>P-CA</b>	Capacità attrattiva	<i>Equal interval</i>	1-5

Gli indicatori presentati nelle schede seguenti sono tutti adimensionali e normalizzati al fine di consentire le successive operazioni di valutazione della vulnerabilità intrinseca, rendendoli confrontabili tra loro. Tutti gli indicatori proposti prevedono un partizionamento in 5 classi. I valori assunti da ogni classe di ciascun indicatore sono tarati a livello locale; di conseguenza, in altri contesti, al variare dei valori assunti dall'indicatore, potrebbero variare anche gli intervalli di valori attribuiti alle 5 classi. La scheda di sintesi realizzata per ogni indicatore è suddivisa in due sezioni: la prima contiene una sintesi delle informazioni relative all'indicatore, mentre la seconda un approfondimento sul processo di calcolo adoperato per la costruzione dell'indicatore.

Nella prima sezione, l'intestazione superiore presenta la denominazione dell'indicatore, il sottosistema di appartenenza e il fenomeno meteorologico cui si riferisce. Nella parte centrale presenta una breve descrizione dell'indicatore, la finalità in relazione al fenomeno *pluvial flood*, le caratteristiche degli elementi urbani utilizzate per la sua costruzione (con eventuali unità di misura), gli intervalli di rappresentazione del dato con le rispettive classi e il metodo di classificazione utilizzato per il partizionamento. Infine, a completamento della sezione, sono indicate le fonti utilizzate per reperire i dati di input. Nella seconda sezione sono esposte le modalità di calcolo dell'indicatore a partire dall'individuazione della relativa formula (laddove presente) e dei processi di elaborazione delle caratteristiche, schematizzati con un diagramma di flusso.

## 4.2.3.1 Edifici

Il sistema di indicatori per la valutazione delle prestazioni degli edifici al *pluvial flood* misura le caratteristiche fisiche che influenzano la “risposta” dell’edificato in relazione alla quantità di perimetro esposto ad eventuali fenomeni di allagamento (rapporto di copertura, percentuale di edificio su marciapiede), all’ubicazione di attività di piani terra (usi piani terra) e alla tipologia ed estensione della copertura (tipologia di copertura).

<b>E-RCOP</b>	Sottosistema: <b>EDIFICI</b>	
	Indicatore: <b>RAPPORTO DI COPERTURA</b>	

**DESCRIZIONE INDICATORE**

L’indicatore misura il rapporto, per singolo poligono edificio, tra superficie effettivamente coperta e superficie totale del poligono.

**FINALITÀ DELL’INDICATORE**

L’indicatore è finalizzato ad individuare la quantità di perimetro dell’edificio potenzialmente esposto ad episodi di allagamento in virtù della presenza di eventuali corti, cortili e spazi aperti interni all’edificio stesso.

**CARATTERISTICHE**
**UNITÀ DI MISURA**

Area totale edificio ( $A_{TOT}$ )

$m^2$

Superficie coperta ( $S_C$ )

$m^2$

**RAPPRESENTAZIONE DEL DATO**
**CLASSI**
**METODO DI CLASSIFICAZIONE**

**E-RCOP** < 0,68

1 - Alta

$0,68 \leq \mathbf{E-RCOP} < 0,76$

2 - Medio-alta

$0,76 \leq \mathbf{E-RCOP} < 0,84$

3 - Media

$0,84 \leq \mathbf{E-RCOP} < 0,92$

4 - Medio-bassa

**E-RCOP**  $\geq 0,92$

5 - Bassa

Manuale

**FONTI DEI DATI**

Database Topografico Regionale - DTR (2004)

**PROCESSO DI CALCOLO DELL’INDICATORE**

## FORMULA DI CALCOLO

L’indicatore è calcolato a partire dal rapporto tra superficie coperta ( $S_C$ ) e area totale del poligono edificio ( $A_{TOT}$ ), secondo la formula seguente:

$$\mathbf{E-RCOP} = \frac{S_C}{A_{TOT}} \left[ \frac{m^2}{m^2} \right]$$

## ELABORAZIONE DELLE CARATTERISTICHE

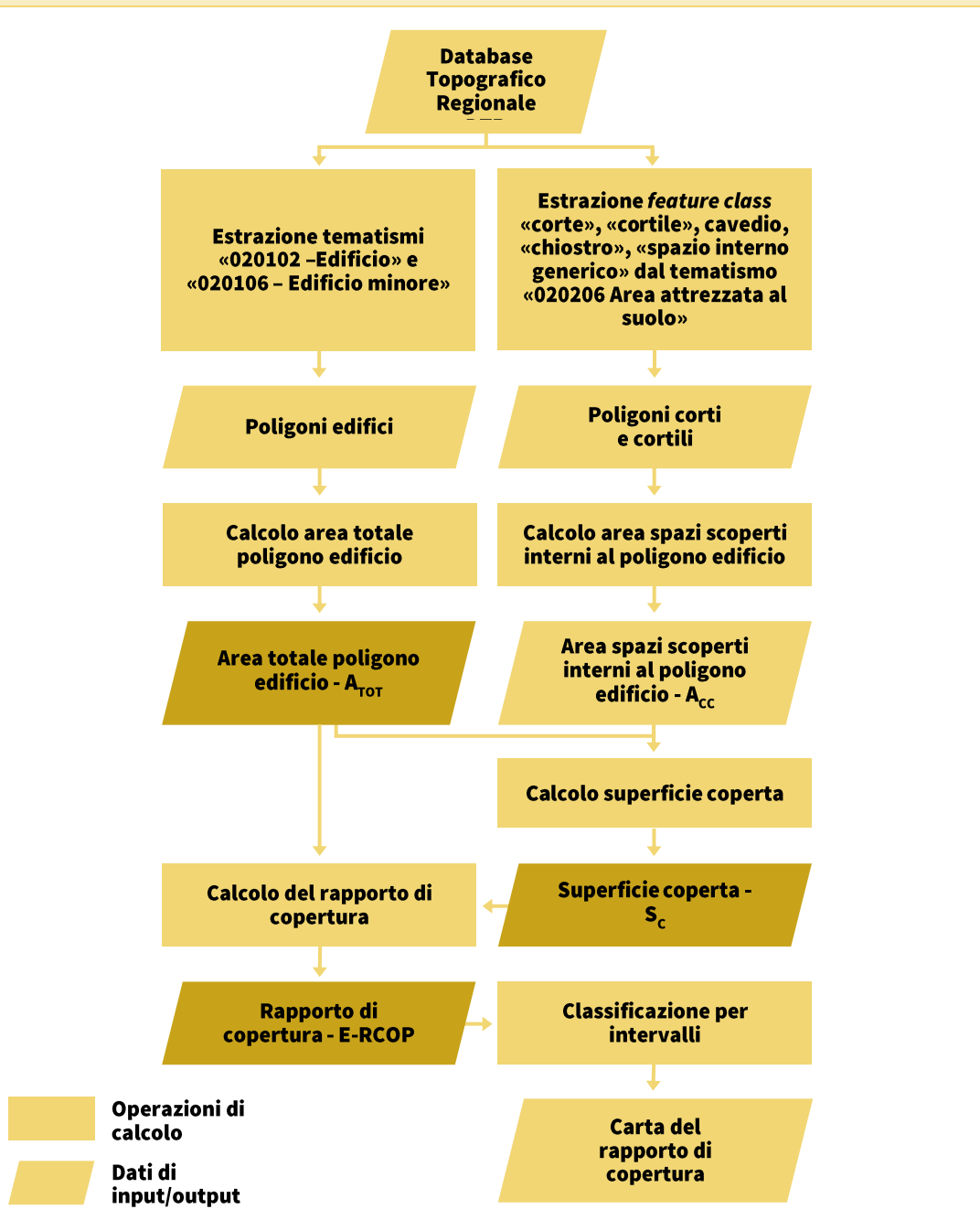
L’area totale dell’edificio  $A_{TOT}$  è determinata direttamente dal calcolo dell’area del poligono edificio ( $A_{ED}$ ) presente nella base cartografica vettoriale (DTR). Le entità poligonali considerate sono determinate dall’estrazione dei tematismi “020102 – Edificio” e “020106 – Edificio minore”.

La superficie coperta  $S_c$  deriva dalla sottrazione dell'area di eventuali spazi scoperti interni all'edificio (corti e cortili -  $A_{CC}$ ) dall'area del poligono edificio complessivo ( $A_{ED}$ ) secondo la formula seguente:

$$S_c = A_{ED} - A_{CC} \quad [m^2]$$

Il dato di area delle superfici scoperte interne al poligono edificio ( $A_{CC}$ ) necessario a determinare la caratteristica "Superficie coperta" del sottosistema "Edifici", fa riferimento all'entità poligonale denominata "Corti e cortili", ricavata dalla classe "020206 - Area attrezzata al suolo" del DTR (strato 02 - Immobili ed antropizzazioni, tema 0202 - Manufatti) della quale sono state considerate le *feature class* con i seguenti attributi: corte, cortile, cavedio, chiostro, spazio interno generico. Nel calcolo della caratteristica "Superficie coperta", il dato è stato ricondotto al poligono edificio decurtando l'area scoperta dall'area totale dell'edificio.

DIAGRAMMA DI FLUSSO





**E-PEM**

 Sottosistema: **EDIFICI**

 Indicatore: **PERCENTUALE DI EDIFICIO SU MARCIAPIEDE**

**DESCRIZIONE INDICATORE**

L'indicatore misura la percentuale di perimetro edificato in adiacenza ai marciapiedi.

**FINALITÀ DELL'INDICATORE**

L'indicatore è finalizzato ad individuare la quantità di perimetro dell'edificio potenzialmente esposta ad episodi di allagamento in virtù dell'assenza di marciapiedi.

**CARATTERISTICHE**
**UNITÀ DI MISURA**

 Perimetro totale edificio ( $P_{TOT}$ )

m

 Perimetro di edificio adiacente al marciapiede ( $P_{MAR}$ )

m

**RAPPRESENTAZIONE DEL DATO**
**CLASSI**
**METODO DI CLASSIFICAZIONE**
**E-PEM** = 0

1 - Alta

 $0 < \mathbf{E-PEM} < 0,25$ 

2 - Medio-alta

 $0,25 \leq \mathbf{E-PEM} < 0,50$ 

3 - Media

 $0,50 \leq \mathbf{E-PEM} < 0,75$ 

4 - Medio-bassa

**E-PEM**  $\geq 0,75$ 

5 - Bassa

Manuale

**FONTI DEI DATI**

Database Topografico Regionale - DTR (2004)

**PROCESSO DI CALCOLO DELL'INDICATORE**
**FORMULA DI CALCOLO**

L'indicatore è calcolato a partire dal rapporto tra la sommatoria dei tratti di perimetro di ciascun poligono edificio adiacente ai marciapiedi ( $P_{MAR}$ ) e il perimetro dell'edificio stesso ( $P_{TOT}$ ), secondo la formula seguente:

$$\mathbf{E-PEM} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{MARI}}{P_{TOT}} \quad \left[ \frac{m}{m} \right]$$

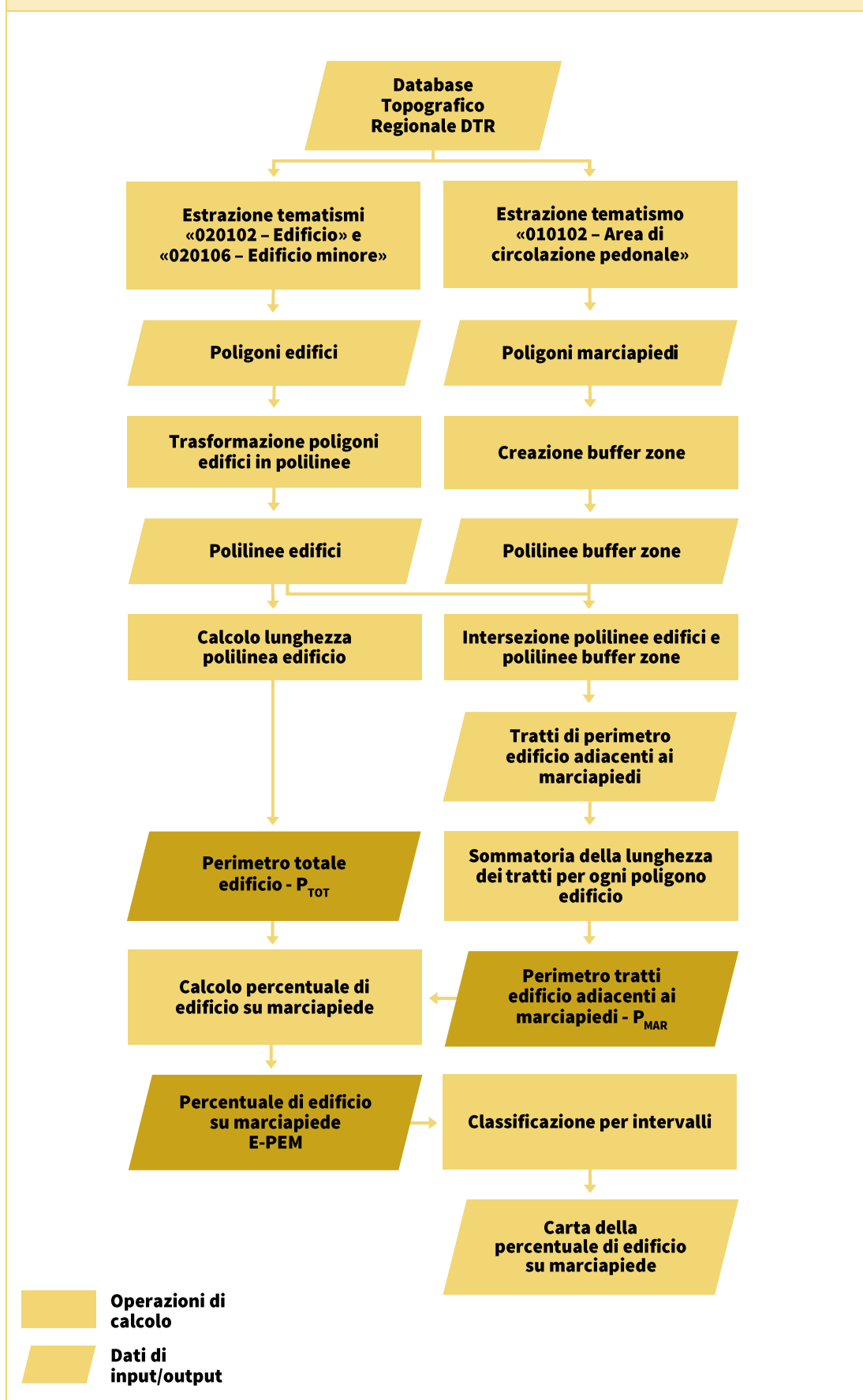
**ELABORAZIONE DELLE CARATTERISTICHE**

Il perimetro totale dell'edificio  $P_{TOT}$  è determinato dal calcolo del perimetro del poligono edificio  $P_{ED}$  presente nella base cartografica vettoriale (DTR) previa trasformazione dei poligoni edificio in polilinee al fine di consentire la misurazione lineare del perimetro.

Il perimetro di edificio adiacente al marciapiede  $P_{MAR}$  è calcolato a partire da due dati di input, il perimetro del poligono edificio  $P_{ED}$  già definito e la presenza di marciapiede  $P_M$ . Quest'ultimo dato fa riferimento all'entità "Marciapiede" ricavata dalla classe 010102 – Area di circolazione pedonale (strato 01 – Viabilità, mobilità e trasporti, tema 0101 – Strade).

Per ogni poligono marciapiede precedentemente acquisito come dato di input, si individua una *buffer zone* da utilizzare per il calcolo della porzione di edificio adiacente ai marciapiedi. Il raggio di tale area buffer è individuato in m 5. Attraverso un'operazione di intersezione tra le polilinee corrispondenti alla *buffer zone* e agli edifici si ottengono i tratti di perimetro edificio adiacenti ai marciapiedi. Al fine di determinare la percentuale totale di edificio adiacente ai marciapiedi, si effettua la sommatoria della lunghezza di tutti i tratti risultanti dall'intersezione.

DIAGRAMMA DI FLUSSO



**E-APT**

 Sottosistema: **EDIFICI**

 Indicatore: **ATTIVITÀ PIANI TERRA**

**DESCRIZIONE INDICATORE**

L'indicatore misura il numero delle attività ubicate al piano terra rispetto alla superficie dell'edificio.

**FINALITÀ DELL'INDICATORE**

L'indicatore è finalizzato ad individuare la quantità di usi al piano terra posti lungo il perimetro esterno dell'edificio che potrebbero essere interessati da fenomeni di allagamento.

**CARATTERISTICHE**
**UNITÀ DI MISURA**

 Area totale edificio ( $A_{TOT}$ )

 $m^2$ 

 Numero di attività al piano terra ( $N_A$ )

-

**RAPPRESENTAZIONE DEL DATO**
**CLASSI**
**METODO DI CLASSIFICAZIONE**
 $E-APT > 0,01500$ 

1 - Alta

 $0,00500 < E-APT \leq 0,01500$ 

2 - Medio-alta

 $0,00100 < E-APT \leq 0,00500$ 

3 - Media

 $0,00025 < E-APT \leq 0,00100$ 

4 - Medio-bassa

 $0 < E-APT \leq 0,00025$ 

5 - Bassa

Manuale

**FONTI DEI DATI**

Database Topografico Regionale - DTR (2004)  
Rilievo diretto/Immagini satellitari

**PROCESSO DI CALCOLO INDICATORE**
**FORMULA DI CALCOLO**

L'indicatore è calcolato a partire dal rapporto tra il numero delle attività ubicate al piano terra ( $N_A$ ) e l'area totale del poligono edificio ( $A_{TOT}$ ), secondo la formula seguente:

$$E-APT = \frac{N_A}{A_{TOT}}$$

**ELABORAZIONE DELLE CARATTERISTICHE**

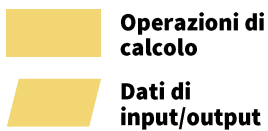
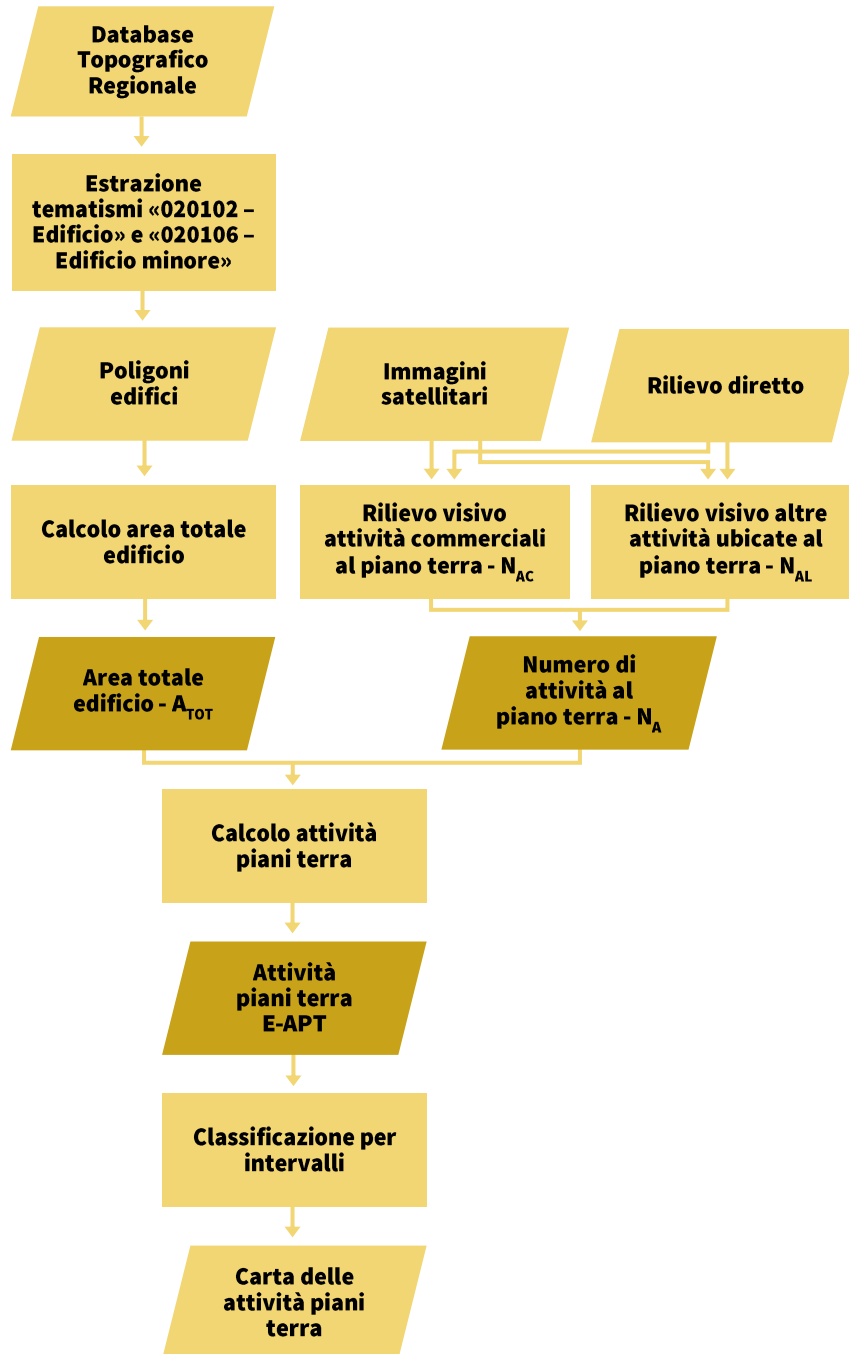
Il numero di attività al piano terra  $N_A$  è determinato secondo la seguente formula:

$$N_A = N_{AC} + N_{AL}$$

I dati di input sono ricavati a partire dal rilievo diretto del numero di attività presenti ai piani terra, distinguendo tra attività commerciali  $N_{AC}$  e altre attività  $N_{AL}$ .

L'area totale dell'edificio  $A_{TOT}$  è determinata direttamente dal calcolo dell'area del poligono edificio ( $A_{ED}$ ) presente nella base cartografica vettoriale (DTR).

DIAGRAMMA DI FLUSSO



<b>E-TCOP</b>	Sottosistema: <b>EDIFICI</b>	
	Indicatore: <b>TIPOLOGIA DI COPERTURA</b>	

### DESCRIZIONE INDICATORE

L'indicatore valuta le caratteristiche fisiche delle coperture in relazione all'inclinazione e all'estensione superficiale.

### FINALITÀ DELL'INDICATORE

L'indicatore è finalizzato ad individuare la maggiore o minore propensione delle coperture a favorire il deflusso superficiale delle acque.

### CARATTERISTICHE

### UNITÀ DI MISURA

Area totale edificio ( $A_{TOT}$ )

$m^2$

Tipologia di copertura ( $T_C$ )

Inclinata/piana

### RAPPRESENTAZIONE DEL DATO

### CLASSI

### METODO DI CLASSIFICAZIONE

$T_C$  = piana e  $A_{TOT} \geq 1000$

1 - Alta

$T_C$  = piana e  $500 \leq A_{TOT} < 1000$

2 - Medio-alta

$T_C$  = piana e  $200 \leq A_{TOT} < 500$

3 - Media

$T_C$  = piana e  $0 \leq A_{TOT} < 200$

4 - Medio-bassa

$T_C$  = inclinata

5 - Bassa

Manuale

### FONTI DEI DATI

Database Topografico Regionale - DTR (2004)  
Immagini satellitari

### PROCESSO DI CALCOLO INDICATORE

#### MODALITÀ DI CALCOLO

L'indicatore è calcolato considerando la differenza tra due tipologie di copertura, piana e inclinata. Successivamente, alla tipologia piana è associato il dato di estensione di superficiale.

#### ELABORAZIONE DELLE CARATTERISTICHE

L'area totale dell'edificio  $A_{TOT}$  è determinata direttamente dal calcolo dell'area del poligono edificio ( $A_{ED}$ ) presente nella base cartografica vettoriale (DTR).

La tipologia di copertura  $T_C$  è determinata a partire dall'estrazione dei poligoni edificio dal DTR; successivamente è possibile procedere al rilievo diretto delle tipologie di copertura (inclinata, piana) attraverso immagini satellitari. La classificazione finale delle coperture piane è effettuata in base all'estensione superficiale ( $A_{TOT}$ ).

DIAGRAMMA DI FLUSSO





### 4.2.3.2 Spazi aperti

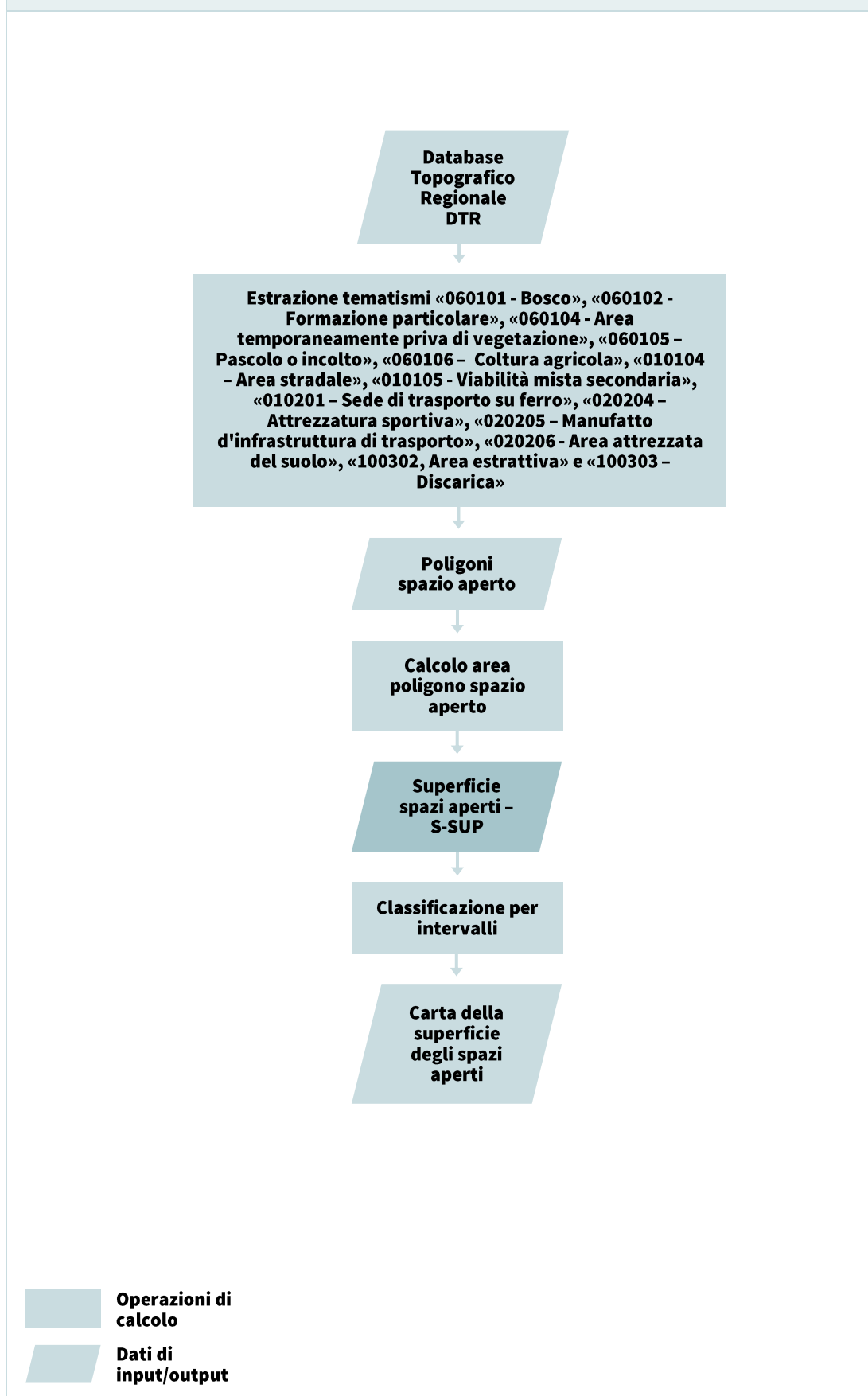
Il sistema di indicatori per la valutazione delle prestazioni degli spazi aperti al *pluvial flood* misura le caratteristiche fisiche che ne influenzano la “risposta” in relazione alla quantità di superficie esposta (superficie spazi aperti), alla capacità dei suoli di consentire l’assorbimento e l’infiltrazione delle acque superficiali (permeabilità dei suoli) e alla capacità delle reti fognarie di accogliere il deflusso (capacità di smaltimento del sistema fognario, grado di manutenzione del sistema fognario).

<b>S-SUP</b>	Sottosistema: <b>SPAZI APERTI</b>	
	Indicatore: <b>SUPERFICIE SPAZI APERTI</b>	

DESCRIZIONE INDICATORE		
L’indicatore misura l’area degli spazi aperti.		
FINALITÀ DELL’INDICATORE		
L’indicatore è finalizzato ad individuare l’area di spazio aperto potenzialmente esposta ai fenomeni di allagamento.		
CARATTERISTICHE		UNITÀ DI MISURA
Area spazio aperto ( $A_s$ )		$m^2$
RAPPRESENTAZIONE DEL DATO	CLASSI	METODO DI CLASSIFICAZIONE
$S-SUP > 50000$	1 - Alta	Manuale
$15000 \leq S-SUP < 50000$	2 - Medio-alta	
$5000 \leq S-SUP < 15000$	3 - Media	
$500 \leq S-SUP < 5000$	4 - Medio-bassa	
$SUP < S-SUP$	5 - Bassa	
FONTI DEI DATI		
Database Topografico Regionale - DTR (2004)		

PROCESSO DI CALCOLO DELL’INDICATORE
MODALITÀ DI CALCOLO
L’indicatore è misurato a partire dal calcolo dell’area dei poligoni spazio aperto ( $A_s$ ).
ELABORAZIONE DELLE CARATTERISTICHE
L’area dello spazio aperto $A_s$ è calcolata a partire dai poligoni spazio aperto ricavati mediante il <i>merging</i> di alcuni tematismi ricavati dal Database Topografico Regionale

## DIAGRAMMA DI FLUSSO



<b>S-PS</b>	Sottosistema: <b>SPAZI APERTI</b>	
	Indicatore: <b>PERMEABILITÀ DEI SUOLI</b>	

**DESCRIZIONE INDICATORE**

L'indicatore misura la permeabilità dei suoli attraverso la stima del coefficiente di afflusso determinato in relazione alla classe di copertura del suolo.

**FINALITÀ DELL'INDICATORE**

Il calcolo dell'indicatore è finalizzato a individuare la capacità dei suoli di consentire l'infiltrazione delle acque di scorrimento superficiale nel sottosuolo.

CARATTERISTICHE		UNITÀ DI MISURA
Coefficiente di afflusso ( $\varphi$ )		-
RAPPRESENTAZIONE DEL DATO	CLASSI	METODO DI CLASSIFICAZIONE
$0,80 \leq \mathbf{S-PS} < 1$	1 - Alta	Equal interval
$0,60 \leq \mathbf{S-PS} < 0,80$	2 - Medio-alta	
$0,40 \leq \mathbf{S-PS} < 0,60$	3 - Media	
$0,20 \leq \mathbf{S-PS} < 0,40$	4 - Medio-bassa	
$0 \leq \mathbf{S-PS} < 0,20$	5 - Bassa	

**FONTI DEI DATI**

RapidEye, Pleiades, DTM, DSM

**PROCESSO DI CALCOLO DELL'INDICATORE**

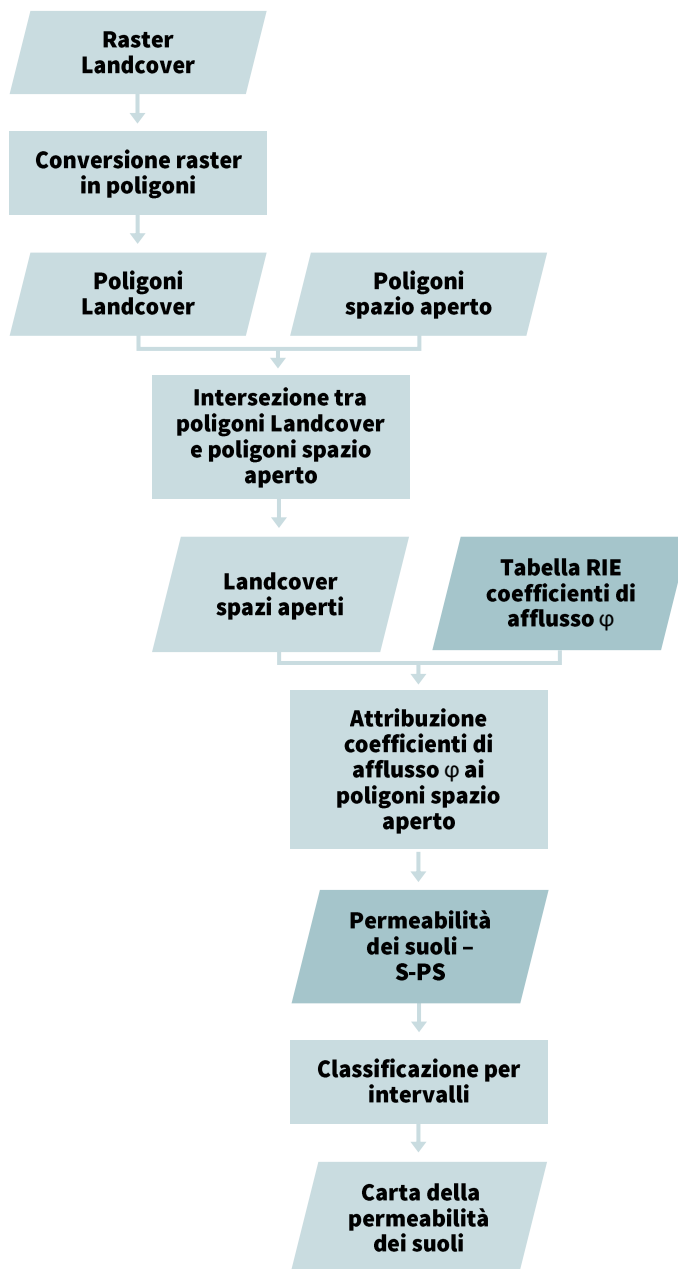
MODALITÀ DI CALCOLO

L'indicatore è determinato attraverso l'attribuzione dei valori di coefficienti di afflusso ai poligoni spazio aperto.

ELABORAZIONE DELLE CARATTERISTICHE

Il coefficiente di afflusso  $\varphi$  è assegnato ai poligoni spazio aperto in base alla relativa classe di copertura del suolo (*Landcover*). L'attribuzione di una specifica classe ad ogni poligono spazio aperto avviene a partire dalla conversione del raster della carta di *Landcover* in poligoni. Successivamente, l'intersezione con i poligoni spazio aperto consente di attribuire una specifica classe di *Landcover*, ad ognuna delle quali è assegnato una stima del valore medio del coefficiente di afflusso (all. 2).

DIAGRAMMA DI FLUSSO



Operazioni di calcolo  
 Dati di input/output

<b>S-CFOG</b>	Sottosistema: <b>SPAZI APERTI</b>	
	Indicatore: <b>CAPACITÀ DI SMALTIMENTO DEL SISTEMA FOGNARIO</b>	

### DESCRIZIONE INDICATORE

L'indicatore misura il rapporto di portata, ottenuto dal rapporto effettuato tra la portata della condotta  $Q_C$  e la portata pluviale  $Q_P$ .

### FINALITÀ DELL'INDICATORE

La finalità dell'indicatore è descrivere la capacità del sistema fognario di smaltire il deflusso superficiale derivante dalle acque meteoriche.

### CARATTERISTICHE

### UNITÀ DI MISURA

Portata della condotta ( $Q_C$ )

$m^3/s$

Portata pluviale ( $Q_P$ )

$m^3/s$

### RAPPRESENTAZIONE DEL DATO

### CLASSI

### METODO DI CLASSIFICAZIONE

**S-CFOG** < 0.25

1 - Alta

0.25 ≤ **S-CFOG** < 0.5

2 - Medio-alta

0.5 ≤ **S-CFOG** < 0.75

3 - Media

0.75 ≤ **S-CFOG** < 1

4 - Medio-bassa

**S-CFOG** ≥ 1

5 - Bassa

Manuale

### FONTI DEI DATI

Autorità di Bacino, Annali idrologici

### PROCESSO DI CALCOLO DELL'INDICATORE

#### FORMULA DI CALCOLO

L'indicatore è calcolato attraverso il rapporto di portata secondo la seguente formula:

$$\mathbf{S-CFOG} = \frac{Q_C}{Q_P} \left[ \frac{m^3/s}{m^3/s} \right]$$

#### ELABORAZIONE DELLE CARATTERISTICHE

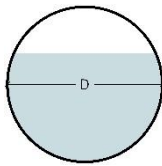
Le caratteristiche vanno elaborate in relazione all'entità spaziale "Bacino scolante", rispetto al quale va effettuato anche il calcolo dell'indicatore, i cui valori saranno riferiti ai poligoni spazio aperto solo in un secondo momento.

Il calcolo della portata della condotta  $Q_C$  [ $m^3/s$ ] è effettuato a partire da alcune ipotesi semplificative:

- Condotta a pelo libero e moto uniforme
- Grado di riempimento della sezione pari al 70%

La portata  $Q_C$  è calcolata per ogni singolo tratto della rete fognaria tenendo in considerazione la geometria della sezione relativamente ai dati di diametro interno, altezza e larghezza, in base ai quali si adottano differenti formule di calcolo.

*Sezione circolare*



La portata  $Q_C$  è data dalla formula seguente:

$$Q_C = K_{ST} * D^{8/3} * I^{1/2} * 0.26 \quad \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

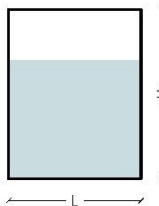
con  $K_{ST}$ : coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler (dipendente dal materiale con cui è realizzata la condotta: si adotta un valore pari a 60, che tiene in considerazione la presenza di depositi sul fondo e di eventuali irregolarità)  $[m^{1/3}/s]$

D: diametro interno della condotta [m]

I: pendenza [m/m]

0,26: costante dipendente dalla geometria della sezione e dal grado di riempimento

*Sezione rettangolare*



La portata  $Q_C$  è data dalla formula seguente:

$$Q_C = K_{ST} * \frac{(0.7 * L * H)^{5/3}}{(L + 1.4 * H)^{2/3}} * I^{1/2} \quad \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

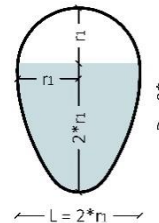
con  $K_{ST}$ : coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler (dipendente dal materiale con cui è realizzata la condotta: si adotta un valore pari a 60, che tiene in considerazione la presenza di depositi sul fondo e di eventuali irregolarità)  $[m^{1/3}/s]$

L: larghezza sezione [m]

H: altezza sezione [m]

I: pendenza [m/m]

*Sezione ovoidale*



La portata  $Q_C$  è data dalla formula seguente:

$$Q_C = K_{ST} * D^{8/3} * I^{1/2} * 0.128 \quad \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

con  $K_{ST}$ : coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler (dipendente dal materiale con cui è realizzata la condotta: si adotta un valore pari a 60, che tiene in considerazione la presenza di depositi sul fondo e di eventuali irregolarità)  $[m^{1/3}/s]$

D: altezza della sezione [m]

I: pendenza [m/m]

0,128: costante dipendente dalla geometria della sezione e dal grado di riempimento

Calcolata la portata di ciascun tratto della rete fognaria, la portata  $Q_C$  associata al poligono bacino è pari al valore della portata del tratto uscente dal bacino; nel caso in cui fossero presenti due o più tratti uscenti (i), il valore di  $Q_C$  da associare al bacino è pari alla somma dei valori  $Q_{Ci}$  dei singoli tratti uscenti.

La portata pluviale  $Q_P$   $[m^3/s]$  è calcolata per ogni poligono bacino secondo la formula:

$$Q_P = \frac{\varphi * A * i}{360} \quad \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

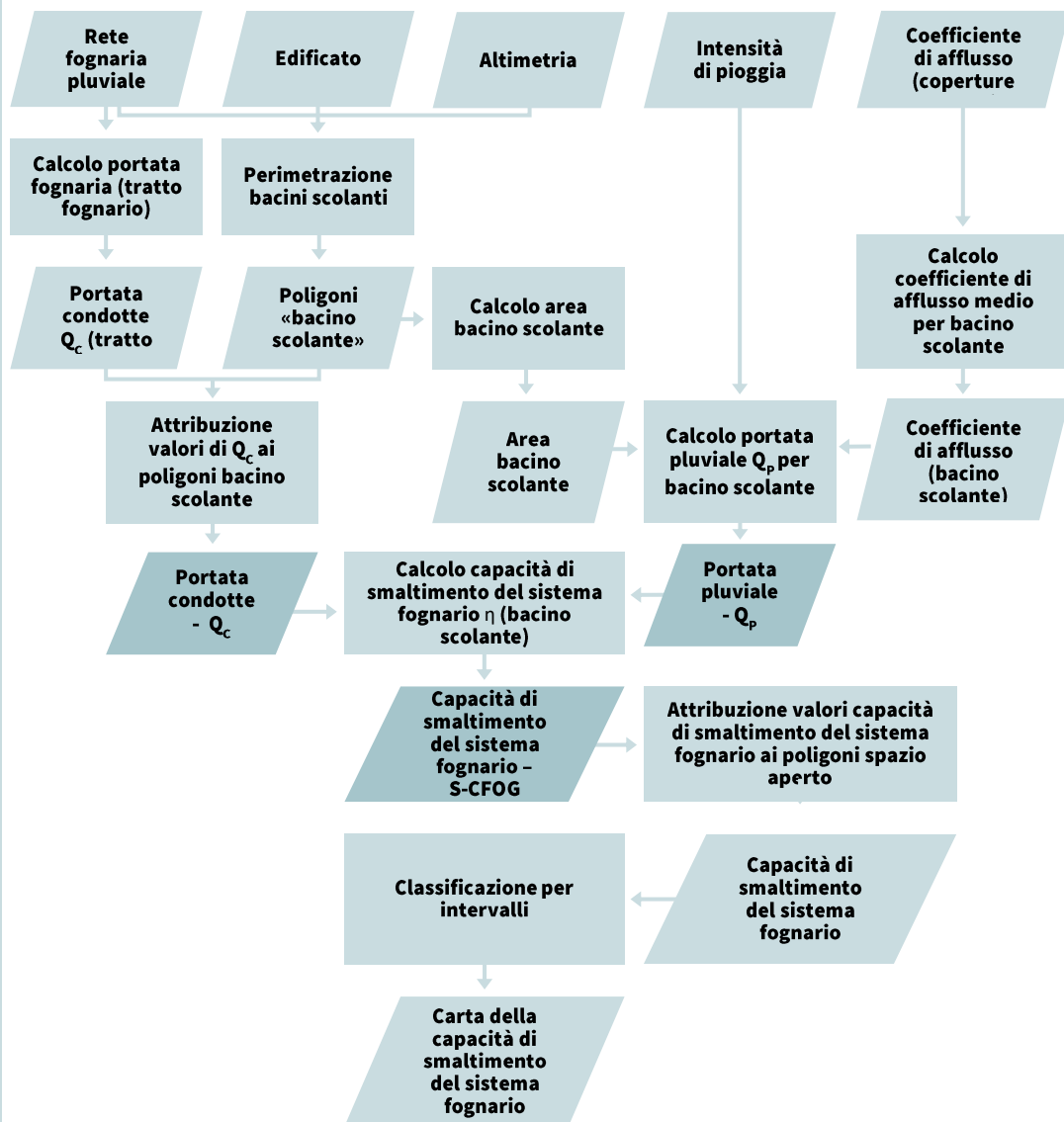
con  $\varphi$ : coefficiente di afflusso

i: intensità di pioggia relativa ad uno specifico evento di precipitazione [mm/h]

A: area totale sottesa alla sezione di calcolo (bacino scolante) [ha]



DIAGRAMMA DI FLUSSO



Operazioni di calcolo  
 Dati di input/output

<b>S-MFOG</b>	Sottosistema: <b>SPAZI APERTI</b>	
	Indicatore: <b>GRADO DI MANUNTEZIONE DEL SISTEMA FOGNARIO</b>	

**DESCRIZIONE INDICATORE**

L'indicatore misura l'efficacia di funzionamento del sistema di smaltimento costituito dalle caditoie stradali.

**FINALITÀ DELL'INDICATORE**

L'indicatore è finalizzato a verificare il contributo delle caditoie stradali al corretto funzionamento del sistema di smaltimento dell'acqua piovana.

**CARATTERISTICHE****UNITÀ DI MISURA**

Caditoie totali per poligono "Area stradale" ( $C_{TOT}$ )

-

Caditoie intasate per poligono "Area stradale" ( $C_{INT}$ )

-

**RAPPRESENTAZIONE DEL DATO****CLASSI****METODO DI CLASSIFICAZIONE**

$S-MFOG < 0,20$

1 - Alta

$0,20 \leq S-MFOG < 0,40$

2 - Medio-alta

$0,40 \leq S-MFOG < 0,60$

3 - Media

$0,60 \leq S-MFOG < 0,80$

4 - Medio-bassa

$S-MFOG \geq 0,80$

5 - Bassa

Equal interval

**FONTI DEI DATI**

Database Topografico Regionale - DTR (2004)

Google Maps

**PROCESSO DI CALCOLO DELL'INDICATORE**

## FORMULA DI CALCOLO

L'indicatore è calcolato considerando il rapporto tra numero di caditoie otturate e numero di caditoie totali rilevate per ciascun poligono spazio aperto di tipo "Area stradale", secondo la formula seguente:

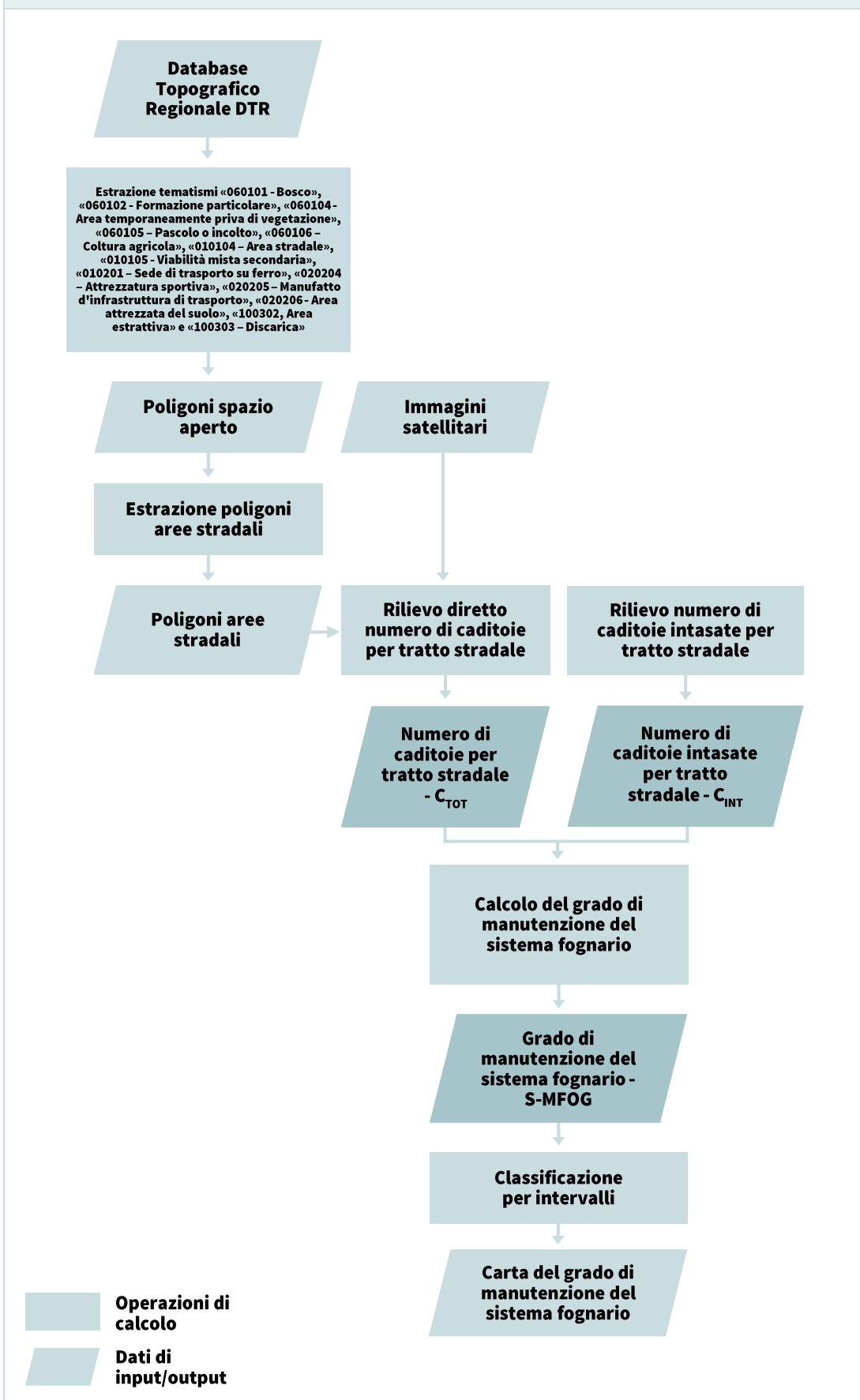
$$S-MFOG = \frac{C_{INT}}{C_{TOT}}$$

## ELABORAZIONE DELLE CARATTERISTICHE

Da immagini satellitari ad alta definizione è stato rilevato il numero di caditoie  $C_{TOT}$  per ogni elemento stradale, il cui valore è stato assegnato al poligono corrispondente all'area stradale (classe 010104 - DTR). Successivamente, è stato verificato il livello di otturazione delle caditoie stradali e il numero di caditoie otturate  $C_{INT}$ .

Nei casi di elevata estensione dell'area da analizzare o in presenza di ostacoli visivi tali da impedire il rilievo diretto, si è proceduto con un'operazione di distribuzione statistica dei dati rilevati per un'area ridotta, estendendo il dato anche ad altre aree. Attraverso la classificazione della tipologia di strada (primaria, secondaria, terziaria) e della lunghezza del tratto stradale, è stato possibile attribuire dei valori dell'indicatore ricavati statisticamente anche a poligoni di area stradale per i quali non è possibile effettuare il rilievo.

DIAGRAMMA DI FLUSSO



## 4.2.3.3 Popolazione

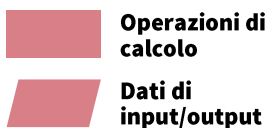
Il sistema di indicatori per la valutazione della vulnerabilità della popolazione al *pluvial flood* misura le caratteristiche della popolazione che ne influenzano la “risposta” in relazione alla quantità e all’età della popolazione esposta (densità di popolazione, fasce deboli) e alla concentrazione in luoghi di interesse particolari (capacità attrattiva).


<b>P-DP</b>	Sottosistema: <b>POPOLAZIONE</b>	
	Indicatore: <b>DENSITÀ DI POPOLAZIONE</b>	

<b>DESCRIZIONE INDICATORE</b>		
L’indicatore misura la quantità di popolazione residente nelle sezioni di censimento.		
<b>FINALITÀ DELL’INDICATORE</b>		
L’indicatore è finalizzato ad individuare la diffusione della popolazione sul territorio e ad evidenziare il grado di affollamento di un’area.		
<b>CARATTERISTICHE</b>		<b>UNITÀ DI MISURA</b>
Popolazione residente totale ( $P_R$ )		- (numero abitanti)
Area sezione di censimento ( $A_{SC}$ )		km <sup>2</sup>
<b>RAPPRESENTAZIONE DEL DATO</b>	<b>CLASSI</b>	<b>METODO DI CLASSIFICAZIONE</b>
<b>P-DP</b> ≥ 45000	1 - Alta	Quantile
25000 ≤ <b>P-DP</b> < 45000	2 - Medio-alta	
10000 ≤ <b>P-DP</b> < 25000	3 - Media	
1,000 ≤ <b>P-DP</b> < 10000	4 - Medio-bassa	
<b>P-DP</b> < 1000	5 - Bassa	
<b>FONTE DEI DATI</b>		
15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni ISTAT (2011)		

<b>PROCESSO DI CALCOLO DELL’INDICATORE</b>
<b>FORMULA DI CALCOLO</b>
L’indicatore è determinato attraverso la seguente formula:
$\mathbf{P-DP} = \frac{P_R}{A_{SC}} \left[ \frac{\text{ab.}}{\text{km}^2} \right]$
<b>ELABORAZIONE DELLE CARATTERISTICHE</b>
La popolazione residente totale $P_R$ è ricavata dall’estrazione dell’omonimo campo (campo P1) presente tra le variabili censuarie del 15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni ISTAT e riferita all’entità “Sezione di censimento”.
L’area della sezione di censimento $A_{SC}$ deriva dal calcolo dell’area dei poligoni estratti dalle basi territoriali “Sezioni di censimento” fornite dall’ISTAT.

DIAGRAMMA DI FLUSSO



<b>P-FD</b>	Sottosistema: <b>POPOLAZIONE</b>	
	Indicatore: <b>FASCE DEBOLI</b>	

**DESCRIZIONE INDICATORE**

L'indicatore individua la quantità di popolazione residente nelle sezioni di censimento con età  $\leq 5$  e  $\geq 65$  anni.

**FINALITÀ DELL'INDICATORE**

L'indicatore è finalizzato ad individuare la diffusione sul territorio della popolazione appartenente alle fasce deboli in relazione all'età (bambini e anziani) e il relativo affollamento in determinate sezioni di censimento.

**CARATTERISTICHE****UNITÀ DI MISURA**

Popolazione residente anziana o in età prescolare ( $P_{FD}$ )	- (numero abitanti)
Area sezione di censimento ( $A_{SC}$ )	km <sup>2</sup>

**RAPPRESENTAZIONE DEL DATO****CLASSI****METODO DI CLASSIFICAZIONE**

$P-FD \geq 10000$	1 - Alta	Quantile
$5000 \leq P-FD < 10000$	2 - Medio-alta	
$2500 \leq P-FD < 5000$	3 - Media	
$500 \leq P-FD < 2500$	4 - Medio-bassa	
$P-FD < 500$	5 - Bassa	

**FONTI DEI DATI**

15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni ISTAT (2011)

**PROCESSO DI CALCOLO DELL'INDICATORE**

## FORMULA DI CALCOLO

L'indicatore è determinato attraverso la seguente formula:

$$P-FD = \frac{P_{FD}}{A_{SC}} \left[ \frac{ab.}{km^2} \right]$$

## ELABORAZIONE DELLE CARATTERISTICHE

La popolazione residente anziana o in età prescolare  $P_{FD}$  è ricavata mediante la seguente formula:

$$P_{FD} = P_5 + P_{74}$$

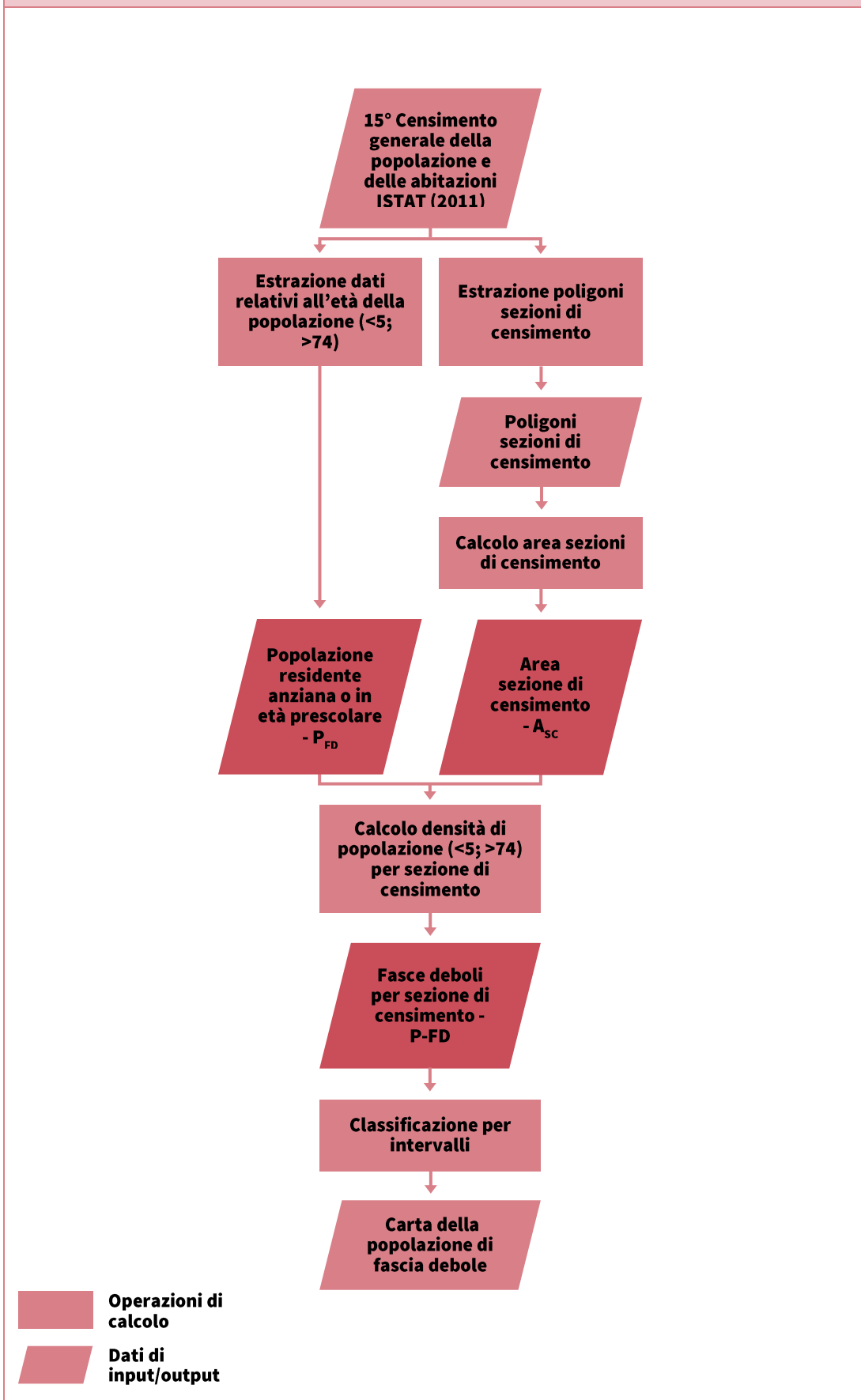
con  $P_5$ : Popolazione residente - età  $< 5$  anni (campo P14)

$P_{74}$ : Popolazione residente - età  $> 74$  anni (campo P29)

Tali dati sono estratti dalle omonime variabili censuarie del 15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni ISTAT del 2011 e riferiti all'entità "Sezione di censimento".

L'area della sezione di censimento  $A_{SC}$  deriva dal calcolo dell'area dei poligoni estratti dalle basi territoriali "Sezioni di censimento" fornite dall'ISTAT.

DIAGRAMMA DI FLUSSO





<b>P-CA</b>	Sottosistema: <b>POPOLAZIONE</b>	
	Indicatore: <b>CAPACITÀ ATTRATTIVA</b>	

**DESCRIZIONE INDICATORE**

L'indicatore misura il numero di lavoratori per ciascuna sezione di censimento.

**FINALITÀ DELL'INDICATORE**

L'indicatore è finalizzato ad individuare l'attrattività e l'affollamento delle sezioni di censimento in relazione alla presenza di determinate categorie di lavoratori.

**CARATTERISTICHE****UNITÀ DI MISURA**

Capacità attrattiva (ATT)

-

Area sezione di censimento ( $A_{SC}$ )

km<sup>2</sup>

**RAPPRESENTAZIONE DEL DATO****CLASSI****METODO DI CLASSIFICAZIONE**

**P-CA**  $\geq 0,45$

1 - Alta

$0,37 \leq \mathbf{P-CA} < 0,45$

2 - Medio-alta

$0,25 \leq \mathbf{P-CA} < 0,37$

3 - Media

$0,12 \leq \mathbf{P-CA} < 0,25$

4 - Medio-bassa

**P-CA**  $< 0,12$

5 - Bassa

Equal interval

**FONTI DEI DATI**

15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni ISTAT (2011)

9° Censimento industria e servizi ISTAT (2011)

**PROCESSO DI CALCOLO DELL'INDICATORE**

## FORMULA DI CALCOLO

L'indicatore è determinato attraverso la seguente formula:

$$\mathbf{P-CA} = \frac{ATT}{A_{SC}} \left[ \frac{ab.}{km^2} \right]$$

## ELABORAZIONE DELLE CARATTERISTICHE

La capacità attrattiva **ATT** è ricavata mediante la seguente formula:

$$ATT = \frac{LAV_{EQ}}{LAV_{TOT}} = \frac{LAV_{EQ}}{LAV_{PR} + LAV_{PU} + LAV_{NP}}$$

con LAV<sub>EQ</sub>: Lavoratori equivalenti

LAV<sub>TOT</sub>: Lavoratori totali

LAV<sub>PR</sub>: Lavoratori in imprese private

LAV<sub>PU</sub>: Lavoratori in istituzioni pubbliche

LAV<sub>NP</sub>: Lavoratori in istituzioni no-profit

I lavoratori equivalenti LAV<sub>EQ</sub> sono ricavati come media pesata del numero di lavoratori in imprese private, istituzioni pubbliche e non profit per sezione di censimento, in relazione alla possibile utenza che tali imprese ed istituzioni possono attrarre. Il dato LAV<sub>EQ</sub> è ottenuto mediante la seguente formula:

$$LAV_{EQ} = \frac{LAV_{PR} * W_{PR} + LAV_{PU} * W_{PU} + LAV_{NP} * W_{NP}}{W_{PR} + W_{PU} + W_{NP}}$$

con  $W_{PR}$ : peso attribuito ai lavoratori in imprese private

$W_{PU}$ : peso attribuito ai lavoratori in istituzioni pubbliche

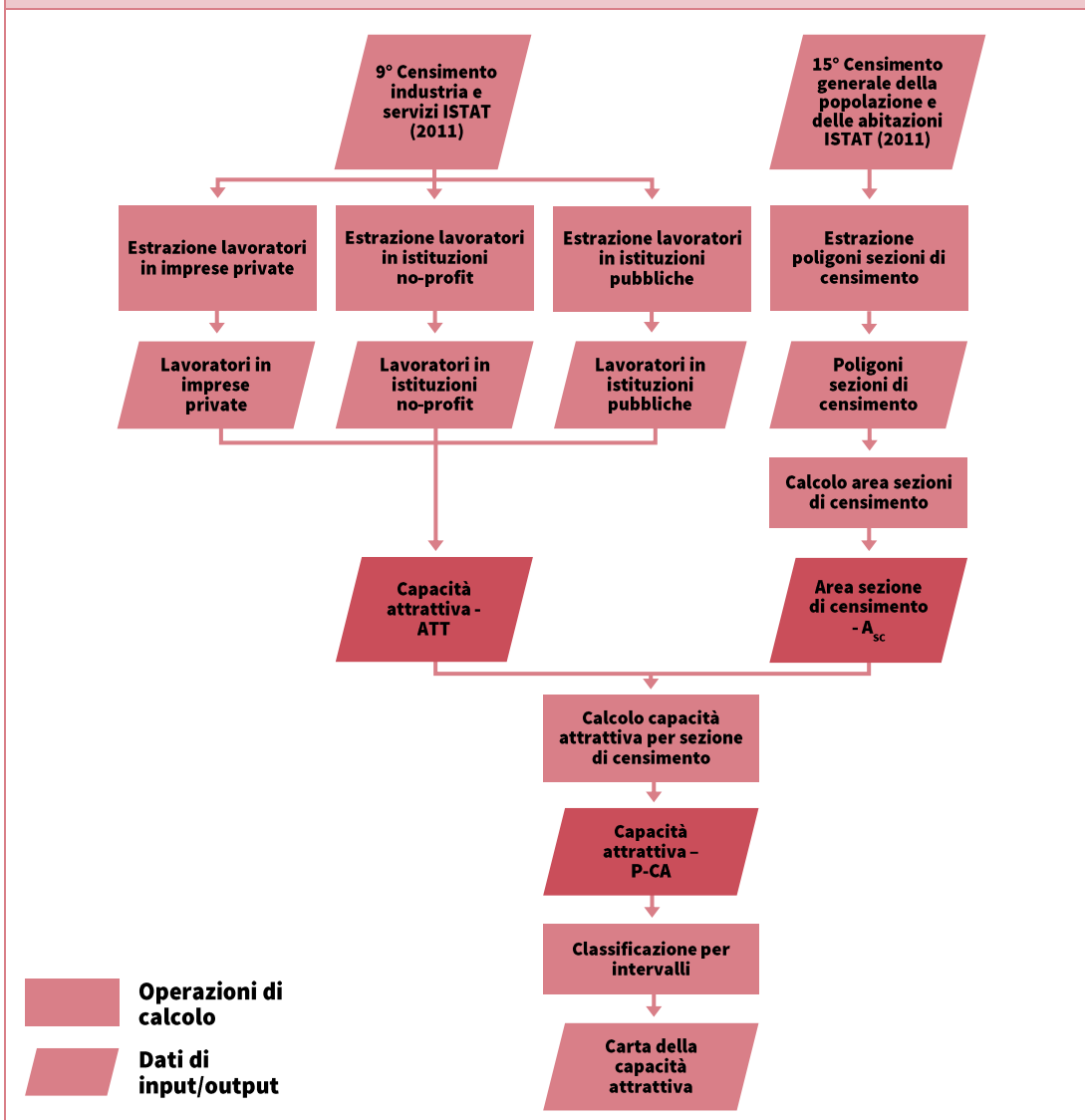
$W_{NP}$ : peso attribuito ai lavoratori in istituzioni no-profit

La sperimentazione è stata effettuata considerando che le istituzioni non profit e pubbliche possono attrarre un maggior numero di utenti e, soprattutto, particolari categorie in condizioni di disagio. Al contrario, le strutture private determinano una minore attrattività, e quindi un minor affollamento nella sezione di censimento, in quanto potrebbero anche non essere interessate da utenza esterna (ad es., attività manifatturiere, imprese edili). Di conseguenza, i pesi attribuiti sono:  $W_{PR} = 2$ ,  $W_{PU} = 4$ ,  $W_{NP} = 5$ .

I lavoratori appartenenti alle tre categorie  $LAV_{PR}$ ,  $LAV_{PU}$  e  $LAV_{NP}$  utilizzate per il calcolo della capacità attrattiva comprendono tutte le classi di addetti, indipendentemente dal settore e dal tipo di contratto di lavoro. Tutti i dati utilizzati sono estratti dal 9° Censimento industria e servizi ISTAT del 2011 e riferiti all'entità "Sezione di censimento".

L'area della sezione di censimento  $A_{sc}$  deriva dal calcolo dell'area dei poligoni estratti dalle basi territoriali "Sezioni di censimento" fornite dal 15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni ISTAT (2011).

DIAGRAMMA DI FLUSSO



### 4.3 Oltre la vulnerabilità: gli impatti del *pluvial flood*

La vulnerabilità valutata così come descritto nei paragrafi 4.1 e 4.2 rappresenta un input fondamentale per intraprendere ulteriori attività di valutazione degli impatti e del rischio climatico secondo il modello proposto nell'AR5. A sua volta, la valutazione degli impatti consente di individuare aree ed elementi sottoposti a stress e minacce rilevanti, da sottoporre a successivi interventi di adattamento. La mappatura sulla base di indicatori distribuiti spazialmente consente di individuare sull'area di studio gli **hotspot** che, così come per la vulnerabilità, possono essere individuati anche in relazione al rischio e agli impatti, assumendo un significato completamente diverso.

Il concetto di *hotspot* è utilizzato da varie discipline per indicare la concentrazione o l'intensità di un dato fenomeno in un contesto geografico limitato (Levine, 2002; Van Der Veen & Logtmeijer, 2005; Jalayer et al., 2014) e nell'ambito dei fenomeni di *flood* si riferisce a zone la cui probabilità di essere soggette ad allagamenti e inondazioni è molto alta e in cui gli impatti risultanti sono estremamente gravi. Un *hotspot* climatico è individuato a partire dalla variabilità spaziale connessa ai fenomeni climatici e alle caratteristiche biofisiche e socioeconomiche dei sistemi naturali e antropici. Di conseguenza, per la sua individuazione non basta la verifica del livello di vulnerabilità, ma è necessario introdurre ulteriori componenti nella valutazione, secondo il modello AR5: l'*hazard* e l'esposizione. Di conseguenza, una parte della ricerca ha riguardato la caratterizzazione dell'*hazard* e l'individuazione degli elementi esposti, al fine di mostrare una delle possibili applicazioni del *vulnerability assessment*.

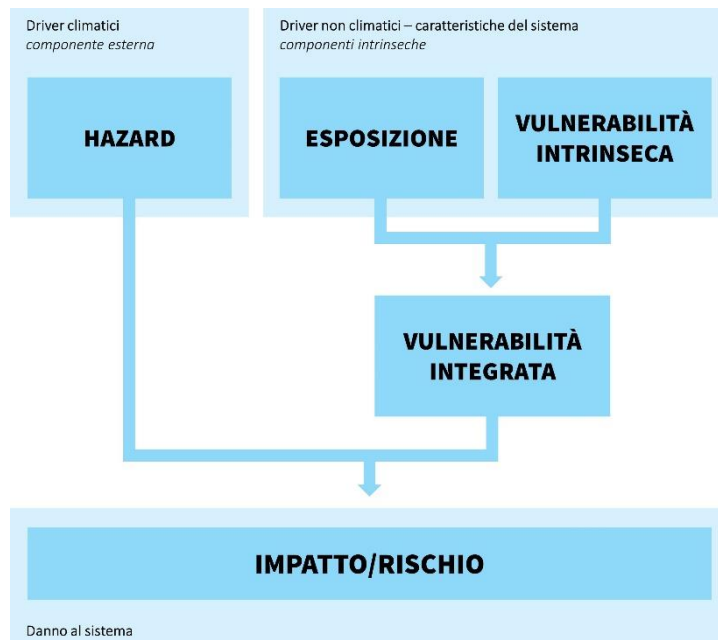
#### 4.3.1 La valutazione degli impatti sul sistema urbano

Secondo l'approccio AR5 (IPCC, 2014a; 2014b) la valutazione degli impatti risulta dal prodotto di *hazard*, esposizione e vulnerabilità. Nel *framework* concettuale adottato (fig. 33), che segue tale approccio, la vulnerabilità intrinseca concorre alla valutazione degli impatti attraverso la definizione della **vulnerabilità integrata**, intesa come la propensione di un elemento a subire effetti negativi connessa non solo alle sue caratteristiche intrinseche ma anche alla sua esposizione al fenomeno. La vulnerabilità integrata considera pertanto le relazioni che si stabiliscono tra i diversi sottosistemi, individuando le connessioni tra caratteristiche fisiche e socio-economiche e valori esposti al potenziale danno. In riferimento al fenomeno *pluvial flood*, l'**esposizione** è solitamente valutata in relazione alla quantità di popolazione residente (o particolari categorie, come bambini, malati e anziani) o di edifici situati in aree soggette a fenomeni di allagamento. Tuttavia, in aree dove tali fenomeni non raggiungono magnitudo tali da determinare danni connessi al crollo degli edifici o perdita di vite umane, l'esposizione può essere valutata in relazione alla perdita e al danneggiamento di beni ubicati ai piani terra o interrati degli edifici o all'interruzione dei flussi di mobilità pedonale e veicolare.

La caratterizzazione dell'**hazard** consente, invece, di individuare le aree maggiormente interessate da fenomeni di allagamento in relazione ai parametri di velocità di deflusso e altezza idrica e secondo uno o più scenari di evento. Coniugando *hazard* e vulnerabilità

integrata è possibile ottenere uno o più scenari di impatto al *pluvial flood* secondo il modello in figura 34.

Figura 34. Modello per la valutazione degli impatti al *pluvial flood*



Per eseguire una valutazione che riesca ad integrare tutte le componenti, è fondamentale adoperare i processi di analisi spaziale già descritti nei paragrafi precedenti per effettuare calcoli tra i valori assunti dalle singole unità spaziali in relazione alle tre componenti citate e per associare il relativo risultato ad ogni entità. La valutazione della vulnerabilità, pertanto, non è un’operazione fine a sé stessa, ma rappresenta il punto di partenza per molteplici operazioni di stima degli impatti e del rischio finalizzate a sviluppare strategie e misure di adattamento.

#### 4.3.2 *Il cellular automata approach per la caratterizzazione dell’hazard*

Il processo per la caratterizzazione dell’hazard ovvero della pericolosità cui il sistema urbano è soggetto dipende dal fenomeno considerato ed è mirato alla restituzione di mappe che identifichino le variazioni spaziali delle variabili caratterizzanti il fenomeno. Nel caso del *pluvial flood*, il processo può comprendere tre fasi principali secondo lo schema proposto in figura 38, in cui i dati di input e gli strumenti necessari alla modellazione dipendono dal modello di propagazione del deflusso prescelto.

La definizione del processo esposto in seguito ha richiesto uno studio preliminare riguardo i diversi modelli esistenti, al fine di individuare quello maggiormente adeguato al caso in esame. I fenomeni di allagamento e deflusso superficiale possono essere simulati attraverso numerosi modelli che consentono di analizzare la propagazione del deflusso lungo le strade e gli spazi aperti. Nell’ultimo decennio si è notevolmente consolidato l’approccio modellistico-numerico, che ha portato al proliferare di molteplici codici di simulazione e ad un loro diffuso

utilizzo anche tra soggetti istituzionali (ad es., enti locali, Autorità di Bacino, ARPA, Consorzi irrigui e di bonifica) e privati. Tale evoluzione è dovuta a tre fattori principali: la promozione di un approccio deterministico e quantitativo tramite gli indirizzi normativi nazionali ed europei, promotori, i progressi in ambito tecnico-scientifico e le innovazioni nel campo dell'informatica (DHI, n.d.).

Con i **modelli numerici** è possibile ottenere una stima più precisa delle grandezze tipiche dei fenomeni di allagamento e inondazione rispetto ai modelli speditivi (topografico, topologico, volumetrico), simulando la propagazione del flusso su tutta l'estensione del bacino oggetto di studio a partire dalla determinazione di opportune condizioni iniziali e al contorno. Lo sviluppo di tali modelli (e dei relativi codici di simulazione) ha favorito una quantificazione dettagliata dei fenomeni di *flood* da un punto di vista fisico (altezza e velocità del flusso), individuando le aree potenzialmente inondabili e consentendo il confronto di diversi scenari temporali ad un'elevata risoluzione spaziale. Tali modelli, in base allo schema geometrico considerato, inteso come numero di dimensioni spaziali in riferimento alle quali rappresentare i fenomeni (dominio), possono essere distinti in monodimensionali (1D), bidimensionali (2D) e integrati (1D2D). Il modello **1D**, più semplice, considera il deflusso lungo un'unica direzione predeterminata e il suo utilizzo consente di ridurre notevolmente i tempi di calcolo, a differenza del modello **2D**. Quest'ultimo, a partire da una rappresentazione in due dimensioni, simula più dettagliatamente il deflusso nelle due direzioni piane, differenziando altezza idrica, velocità e direzione della corrente in ogni punto del dominio di calcolo (DHI, n.d.). Infine, laddove sia necessario adoperare le potenzialità di entrambi i modelli, si può ricorrere al modello **1D2D** che, in relazione alle specifiche esigenze di simulazione e rappresentazione geometrica, fa intervenire uno dei due codici precedenti (1D per la descrizione del flusso unidirezionale attraverso strutture idrauliche e alvei caratterizzati da una particolare geometria, 2D per la rappresentazione di aree di espansione e/o condizioni di deflusso più complesse, non regolari).

Lo sviluppo di tali modelli nell'ambito dell'idraulica fluviale ha consentito la successiva applicazione in ambito urbano in relazione ai fenomeni di allagamento derivanti da eventi di pioggia, con i necessari accorgimenti. L'elevata complessità urbana rende particolarmente complicato effettuare una modellazione che sia accurata e veloce al tempo stesso. Inoltre, così come accade anche nel caso di percorsi fluviali non regolari, bisogna considerare le possibili deviazioni del flusso dovute alla presenza di eventuali ostacoli e/o di variazioni delle sezioni di scorrimento (che in ambito urbano sono rappresentate da strade e spazi aperti delimitati da edifici o elementi costruiti di vario genere, come muri e rilevati stradali o ferroviari). A tal proposito, risultano particolarmente adatti i modelli bidimensionali (2D), utilizzati solitamente per flussi poco confinati e non uniformi, che determinano inondazioni importanti su aree in cui la presenza di edifici o altre costruzioni artificiali genera direzioni di flusso preferenziali. Tali caratteristiche determinano un'elevata complessità nella modellazione, che può richiedere numerosi dati di input, elevati tempi di calcolo e ingenti prestazioni tecniche, limitando l'effettiva applicazione di svariati modelli 2D presenti in letteratura ad aree molto

ridotte. Tra i diversi tentativi di semplificazione del processo e di riduzione dei tempi di calcolo, i modelli fondati sull'approccio degli **automi cellulari** hanno apportato un significativo contributo allo sviluppo di processi di modellazione definiti “fast” (Ghimire et al., 2011; Guidolin et al., 2012; Ghimire et al., 2013). Mediante l'utilizzo di tale approccio è possibile ottenere una rappresentazione immediata dei fenomeni che avvengono in un determinato territorio attraverso la discretizzazione su una griglia di celle, ad ognuna delle quali sono associate delle proprietà che caratterizzano lo stato del sistema urbano<sup>75</sup>. L'evoluzione globale del fenomeno cui esso è soggetto dipende da leggi locali, ovvero da ciò che avviene in ogni singola cella e nelle celle ad essa adiacenti<sup>76</sup>: un automa, inteso quale sistema dinamico discreto, è quindi definito da un insieme di regole di transizione che determinano lo stato di ogni singola cella in relazione al sistema di celle adiacenti. Partendo da una configurazione iniziale in un istante  $t_0 = 0$  in cui gli stati delle celle possiedono determinati valori, l'evoluzione del sistema è determinata dal calcolo, ad ogni istante discreto del tempo  $t_n = 1, 2, \dots, n$ , dello stato delle celle in base alle regole dell'automa (Comincioli, 2005).

L'applicazione di tale teoria alla modellazione bidimensionale degli allagamenti in area urbana consente di valutare le variazioni spaziali assunte dai valori di altezza (m) e velocità idrica (m/s) che definiscono fisicamente il fenomeno *pluvial flood*. In particolare, il modello sviluppato dall'Università di Exeter (UK) nell'ambito del progetto CADDIES - Cellular Automata Dual-Drainage Simulation denominato **Weighted Cellular Automata 2D** (WCA2D) e la relativa applicazione denominata **caflood**, hanno come obiettivo la modellazione rapida dei fenomeni di allagamento urbano su ampia scala sfruttando le capacità di calcolo in parallelo degli hardware di ultima generazione (Guidolin et al., 2016). Nato come ulteriore semplificazione di un modello sviluppato pochi anni prima, il CA2D model (Ghimire et al., 2013), il WCA2D riduce l'utilizzo di equazioni e operazioni matematiche complesse nella definizione delle regole di transizione che determinano il movimento del flusso idrico, minimizzando il livello delle prestazioni computazionali necessarie al calcolo. La scelta del modello bidimensionale ad automi cellulari e dell'applicazione “caflood” nella presente ricerca non è motivata dalla necessità di sostituire i modelli complessi fisicamente basati, ma ottenere elevate prestazioni mantenendo un buon livello di accuratezza per analizzare velocemente il fenomeno *pluvial flood* su aree estese (Guidolin et al., 2016).

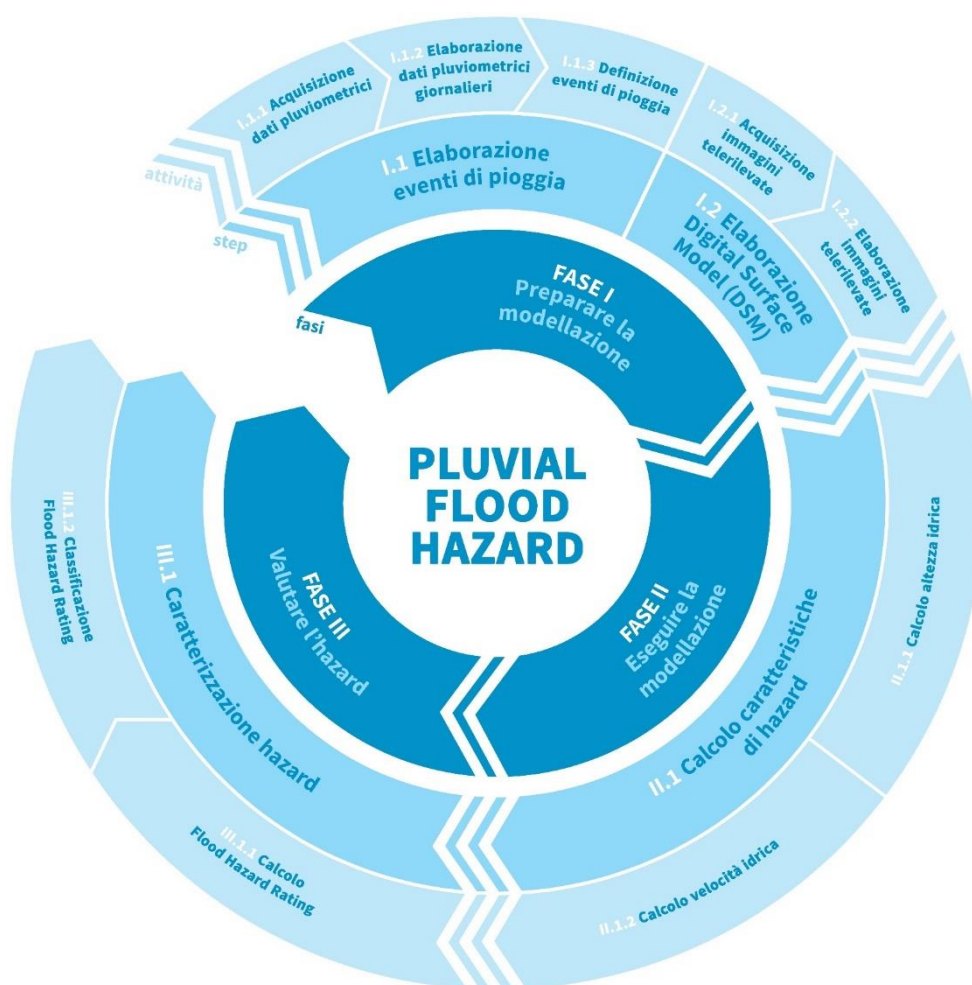
Come già accennato, la modellazione proposta e sperimentata nella presente ricerca si basa sulla teoria degli automi cellulari (*cellular automata approach*), ovvero sull'idea che da

<sup>75</sup> L'utilizzo della teoria degli automi cellulari nella simulazione delle trasformazioni che interessano i territori urbani è testimoniato da una vasta e variegata letteratura, tanto che alcuni autori hanno avanzato la proposta di costituire una disciplina a sé stante, identificata da Batty e Xie (1997) con il termine “*Urban Automata*”.

<sup>76</sup> Un automa cellulare è definito da: 1) un reticolo di celle elementari interagenti tra loro; 2) da una variabile di stato che assume un certo valore in ogni cella; 3) un sistema di intorno per le celle (sistema di celle adiacenti); 4) un insieme di regole che determina lo stato della cella in base al valore attuale della cella stessa e delle celle nell'intorno (Comincioli, 2005). È possibile pertanto considerare l'automa come un modello astratto di un sistema o un dispositivo che può assumere determinati stati e ricevere stimoli (input) dall'ambiente in cui è inserito secondo una scala temporale discreta, ai quali reagisce con una transizione di stato e una risposta (output) secondo regole prefissate (Bettelli, 2003).

interazioni locali semplici tra i vari elementi (celle) scaturiscano comportamenti globali complessi. Nel caso in esame ogni cella costituisce una porzione di territorio (rappresentato mediante un modello digitale di superficie elaborato da immagini telerilevate, nel seguito DSM) con una specifica risposta in relazione ad un determinato valore di intensità di pioggia fornito come dato di input. La simulazione del comportamento di ogni cellula restituisce i due parametri di altezza idrica (H) e velocità di deflusso (V), fondamentali per la caratterizzazione della pericolosità attraverso il calcolo di un indice di pericolo da allagamento, il Flood Hazard Rating (FHR). Il **processo** adoperato per la caratterizzazione del fenomeno *pluvial flood* alla scala locale si articola secondo le fasi di lavoro illustrate in figura 35.

Figura 35. Processo per la caratterizzazione dell'hazard pluvial flood



A partire dalla raccolta ed elaborazione dei dati pluviometrici forniti dalle stazioni pluviometriche locali è possibile ricavare gli eventi da utilizzare per la successiva fase di simulazione. A tal fine è necessario individuare la stazione di riferimento più vicina rispetto all'area di studio e procedere alla raccolta dei dati giornalieri di altezza di pioggia: affinché le successive deduzioni siano attendibili, è necessario che il periodo di osservazione sia abbastanza esteso, solitamente non inferiore ai 30 anni. L'elaborazione dei dati raccolti



consiste nel ricercare le relazioni esistenti tra l'altezza e la durata (D) delle precipitazioni per un assegnato valore del tempo di ritorno ( $T_R$ ), periodo nel quale un dato evento può essere eguagliato o superato. Tali relazioni sono stabilite mediante la costruzione della curva di probabilità pluviometrica (*Intensity-Duration-Frequency rainfall curve*), che può essere definita mediante diversi modelli di distribuzione probabilistica (GEV, Gumbel, TCEV, ecc.). Per la sua costruzione non è sufficiente il solo dato di pioggia giornaliera, ma occorre valutare i valori estremi delle precipitazioni anche in finestre temporali inferiori alle 24 ore. A tal fine, possono essere utilizzate diverse tecniche di disaggregazione dei dati, ottenendo una sequenza sintetica di precipitazioni, orarie e suborarie, per periodi di ritorno variabili da 2 a 100 anni.

Gli eventi così definiti (mm/h) sono utilizzati per la simulazione dei diversi scenari di allagamento urbano tramite il software *CADDIES-caflood application*<sup>77</sup>, che lavora applicando la teoria degli automi cellulari. Per simulare la distribuzione spaziale delle acque meteoriche, l'area di studio è discretizzata, a partire dal DSM, in una griglia di celle quadrate. Dalla cella centrale il flusso si distribuisce alle celle adiacenti, ed eventuali afflussi in una cella sono calcolati come deflussi da altre celle vicine (Ghimire et al., 2011). Tale approccio consente di modellare rapidamente la presenza di deflussi e ristagni superficiali (*fast flood 2d simulation*), restituendo per ogni evento definito da D e  $T_R$  due mappe relative ai due parametri che caratterizzano l'intensità del fenomeno, ovvero  $H$ <sup>78</sup> e  $V$ <sup>79</sup>. Essi sono rappresentabili spazialmente secondo le indicazioni proposte dall'ente di protezione ambientale del governo britannico (Ramsbottom et al., 2006a; 2006b; Barbano et al., 2012; EA, 2013). Il prodotto di tali variabili concorre alla definizione del *Flood Hazard Rating* ( $m^2/s$ ), secondo la formula  $FHR = H*(V + 0.5) + DF$  (con  $DF = Debris Factor$ ); tale indice restituisce il livello di pericolosità cui le aree urbane sono soggette (Ramsbottom et al., 2006a; 2006b).

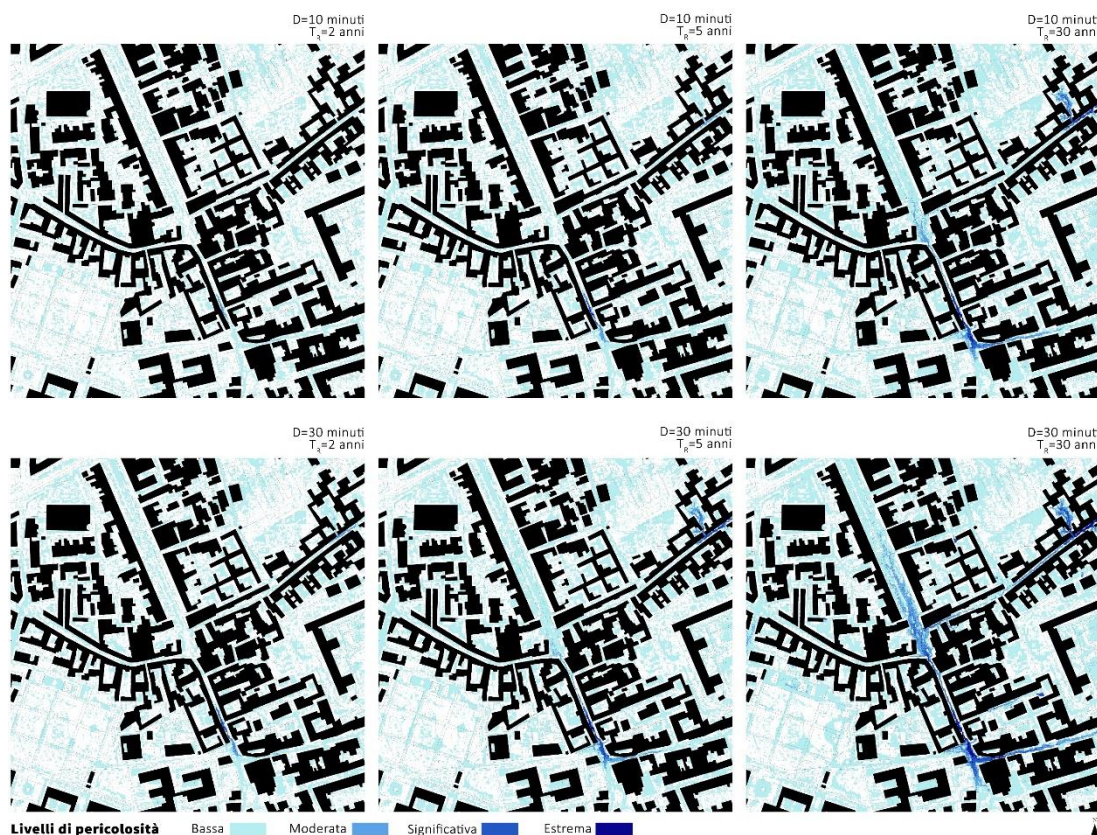
Il calcolo del FHR può essere effettuato mediante l'utilizzo di un software GIS capace di eseguire calcoli sulla base dei valori di H e V dei pixel delle mappe precedentemente elaborate mediante operatori di analisi spaziale, e di generare come risultato una nuova mappa. L'immagine così ottenuta (per ogni evento definito da D e  $T_R$ ) consente di evidenziare la presenza di zone ed elementi particolarmente suscettibili ad eventi di allagamento e valutare la pericolosità cui il sistema urbano è soggetto. A titolo esemplificativo, si riportano in figura 36 alcuni estratti di mappe di pericolosità elaborate per l'applicazione sul caso studio di Napoli est, approfondito nel capitolo 6.

<sup>77</sup> Il software è elaborato dai ricercatori del Centre for Water Systems dell'Università di Exeter in Inghilterra (scaricabile gratuitamente da: <https://goo.gl/Erwm2b>).

<sup>78</sup> La simulazione dell'altezza idrica (m) evidenzia le depressioni naturali e non del terreno entro le quali potrebbe convogliarsi la portata di piena.

<sup>79</sup> La simulazione della velocità (m/s) evidenzia la velocità di scorrimento delle acque meteoriche.

Figura 36. Scenari di pericolosità al pluvial flood secondo il modello di previsione RCP 8.5 al 2100 nell'area del centro storico di Ponticelli (Napoli)



Le mappe di *hazard* (o pericolosità) così elaborate possono essere utilizzate con finalità diverse. Come già accennato, oltre a costituire un supporto alla comprensione del fenomeno da parte della collettività mediante la predisposizione di sistemi informativi, possono essere utilizzate congiuntamente a mappe di vulnerabilità nella valutazione di scenari di impatto climatico. Esse rappresentano una base di conoscenza fondamentale per l'individuazione di aree prioritarie di intervento, consentendo l'elaborazione di opportune strategie di riduzione degli impatti da parte degli enti istituzionali competenti operanti sul territorio (ad es., Amministrazione Comunale, Autorità di Bacino, Protezione Civile). A tal fine, i dati spaziali che formano le mappe di pericolosità devono essere resi omogenei con quelli relativi alla vulnerabilità: per consentire il successivo calcolo degli impatti, tutti i dati devono essere riferiti alle medesime unità di misurazione stabilite in precedenza. Di conseguenza, i valori di pericolosità (FHR) vanno riferiti ai poligoni "Edificio" e "Spazio aperto" secondo due modalità differenti, esplicitate nella fase applicativa esposta nel capitolo 6.

# 5

## **Azioni e soluzioni tecniche per l'adattamento alla scala locale**

A partire dalla valutazione degli impatti condotta secondo quanto indicato nel capitolo precedente, è possibile procedere all'individuazione di azioni e soluzioni tecniche che favoriscano l'adattamento del sistema urbano. L'intervento adattivo interviene per ridurre la vulnerabilità intrinseca di edifici e spazi aperti, che a sua volta concorre alla riduzione della vulnerabilità integrata e quindi degli impatti. Per far sì che le azioni e soluzioni individuate siano efficaci e forniscano un contributo reale alla riduzione della vulnerabilità, è necessario che esse agiscano su quelle caratteristiche già individuate per la costruzione degli indicatori di vulnerabilità.

A partire dalla letteratura scientifica, nel presente capitolo si individuano le soluzioni comunemente utilizzate per fronteggiare eventi di *flood* in contesti diversi, classificate in soluzioni di "*adaptive design*" o "*resistant design*" in base al contributo offerto. Di questa prima individuazione si effettua una selezione finalizzata alla costruzione di un catalogo di soluzioni classificate in relazione a famiglie tecniche. Le soluzioni sono selezionate in base a criteri di adattività al *pluvial flood*, replicabilità, diffusione e multifunzionalità. Successivamente, le soluzioni tecniche sono state associate a ciascun indicatore in relazione al contributo offerto alla riduzione della vulnerabilità dei sottosistemi "Edifici" e "Spazi aperti" (attenuazione del deflusso, filtraggio, infiltrazione, trasporto, ritenzione, stoccaggio, barriera, delocalizzazione ed elevazione delle quote di calpestio). Ad ogni indicatore sono quindi associate una o più soluzioni, e tale operazione consente di ricalcolare ciascun indicatore di vulnerabilità in base alla caratteristica su cui la soluzione interviene.

Il ricalcolo dei singoli indicatori comporta, a cascata, il ricalcolo degli indicatori di vulnerabilità intrinseca dei due sottosistemi "Edifici" e "Spazi aperti" e di vulnerabilità integrata, la cui applicazione sul caso studio di Napoli est è esposta nel capitolo 6.

## 5.1 Design with water: l'acqua da minaccia a risorsa

La vulnerabilità valutata così come descritto nel capitolo precedente rappresenta un fondamentale punto di partenza per lo sviluppo di soluzioni adattive che intervengono per ridurre la vulnerabilità intrinseca del sistema urbano agendo sulle caratteristiche fisiche che la determinano. Secondo il modello in figura 37, tale riduzione della vulnerabilità intrinseca si ripercuote, a cascata, anche sulla vulnerabilità integrata e sugli impatti, attraverso il medesimo processo di calcolo adoperato precedentemente.

Figura 37. Modello per la riduzione della vulnerabilità e degli impatti attraverso l'adattamento



A tale scopo, è fondamentale individuare, nell'ampio panorama esistente, quelle soluzioni tecniche che agiscono modificando le caratteristiche di calcolo degli indicatori precedentemente individuate. Nel seguito, si definiscono e principali soluzioni tecniche rilevate in letteratura classificandole in base al principale contributo fornito all'adattamento.

### 5.1.1 Flood adaptive design vs flood resistant design

La scelta consapevole di un modello teorico di riferimento per la valutazione della vulnerabilità è un'operazione fondamentale, poiché ha ricadute notevoli in fase di definizione delle politiche di intervento. La differenza tra i vari approcci concettuali descritti nel capitolo 2 ha importanti ripercussioni anche sul modo di intendere l'adattamento e le relative azioni.

Come già esposto precedentemente, gli studi fondati sul concetto di *outcome vulnerability* (o *end-point*, ad es., approccio Risk-Hazard), considerano la vulnerabilità come il risultato finale di una serie di operazioni (proiezione delle emissioni future, sviluppo scenari climatici, studio impatti sul sistema biofisico e identificazione delle opzioni adattive), e quindi determinata da tutte le conseguenze residue che permangono dopo l'adattamento (Kelly &

Adger, 2000; O' Brien et al., 2004). In tal caso, è la capacità adattiva a determinare la vulnerabilità (futura), in quanto rappresenta una misura di come le soluzioni tecniche di adattamento possono essere adottate o implementate. Tale concezione dà luogo a politiche talvolta controproducenti, caratterizzate da una eccessiva dipendenza da strategie e soluzioni fondate sull'uso della tecnologia quale elemento in grado di aumentare la resistenza degli elementi colpiti (ad es., realizzazione di barriere protettive) che può comportare però un incremento di vulnerabilità degli stessi<sup>80</sup> (Pelling, 2001; Frerks et al., 2011; Johnson et al., 2013). Con una risposta di tipo esclusivamente reattivo, esito di una valutazione della vulnerabilità fondata solo su fattori biofisici, il rischio di *mal-adaptation* è elevato, con la possibilità che si perpetuino o aggravino situazioni di rischio (Burton et al., 2006; EEA, 2016).

Al contrario, la vulnerabilità intesa come *starting point* (o *contextual vulnerability*), rappresenta l'incapacità di fronteggiare cambiamenti o pressioni esterne nel presente (IPCC, 2014b). La vulnerabilità intrinseca del sistema (presente), dipendente da processi socio-economici, politici, istituzionali e tecnologici dinamici, ne determina la capacità adattiva, ovvero l'abilità di fronteggiare e rispondere agli stress, indirizzando le azioni di adattamento (O' Brien et al., 2004; O'Brien et al. 2007). Le misure previste sono di tipo più sociale che tecnico, finalizzate soprattutto alla riduzione della povertà, alla diversificazione dei mezzi di sussistenza, alla protezione delle risorse collettive e al rafforzamento dell'azione collettiva (Kelly & Adger, 2000; O' Brien et al., 2004). Tale approccio, che necessita di una programmazione delle azioni preventiva di tipo proattivo, consente l'adattamento a condizioni incerte e imprevedibili, quali quelle inerenti i cambiamenti climatico-ambientali.

La complementarietà dei due approcci già esposta nel capitolo 2 (Füssel, 2010; Fellmann, 2012) si ripropone anche in relazione allo sviluppo delle soluzioni adattive. Valutare la complessità del sistema urbano con un approccio integrato consente di individuare opportune strategie e misure tecnologico-ambientali adattive la cui applicazione concreta sul costruito dipende anche dalle caratteristiche della componente sociale (accesso alle risorse, capacità di gestione, informazione, consapevolezza, etc.). In tale ottica, non è più possibile pensare ad un intervento progettuale sul costruito che ignori le peculiarità del contesto locale e delle comunità: è necessario, invece, operare secondo una visione integrata che favorisca l'adattamento co-evolutivo dei sistemi insediativi e delle comunità con l'ambiente naturale (Angelucci et al., 2013).

Nell'ambito delle strategie di adattamento al cambiamento climatico per le città europee sviluppate dall'EEA (2016) ed esposte nel capitolo 1 (paragrafo 1.2), è possibile adottare molteplici misure di tipo reattivo o proattivo, da calibrare in relazione a numerosi fattori (tab. 23). Si è già detto riguardo l'importanza di combinare le diverse tipologie di misure in maniera opportuna, tenendo in considerazione le capacità e le risorse locali disponibili e i tempi di

---

<sup>80</sup> Come affermato da Pelling (2001), tale incremento può avvenire in quanto le risposte esclusivamente tecnologiche non tengono conto di fattori quali inuguaglianza e povertà, e il loro uso inadeguato può creare un falso senso di sicurezza, ad esempio incoraggiando le popolazioni a vivere in zone pericolose, favorendo la ricostruzione in una zona colpita e suscettibile alle inondazioni. Inoltre tali soluzioni spesso non sono aperte al controllo pubblico, a discapito di coloro che all'interno della società hanno potere economico, sociale o politico limitato o nullo.



realizzazione necessari. Tuttavia, nonostante l'efficacia a lungo termine della *transformational adaptation*, che potrebbe far preferire misure di *coping* e *incremental adaptation* meno invasive ma efficaci solo nell'immediato, è necessario lavorare sin da subito per preparare il terreno affinché sia possibile realizzare azioni trasformative e verificarne l'effettivo contributo.

Tabella 23. Alcune azioni di coping, incremental e transformational adaptation ai fenomeni di flood

COPING	INCREMENTAL	TRANSFORMATIONAL
Delocalizzazione momentanea della popolazione  Barriere temporanee smontabili o removibili	Costruzione di dighe e argini	Creazione di nuovi spazi di raccolta dell'acqua in eccesso (aree di ritenzione)
	Rinforzo di dighe esistenti	Riduzione impermeabilizzazione dei suoli per favorire il drenaggio naturale delle acque
	Pompaggio dell'acqua fuori dagli edifici	Posizionamento delle infrastrutture su livelli più elevati
	Barriere agli edifici	Ritiro da zone pianeggianti potenzialmente allagabili
		Realizzazione di edifici e infrastrutture galleggianti
		Realizzazione di edifici che possono accogliere temporaneamente allagati senza subire danni (usi non sensibili dei piani terra e interrati)

Fonti: EEA (2016)

In un'ottica di superamento della concezione attualmente più diffusa secondo la quale per rispondere agli eventi di *flood* in maniera efficace bisogna necessariamente allontanare il più possibile le acque dagli insediamenti urbani, evitando il contatto con il patrimonio costruito e la popolazione, è essenziale operare a livello locale per dare applicazione concreta all'idea che è possibile accogliere momentaneamente i fenomeni di *flood* anche in ambito urbano, attraverso la conoscenza e la gestione del cambiamento. È fondamentale quindi incentivare azioni di tipo adattivo che, sebbene comportino la trasformazione degli insediamenti richiedendo una necessaria fase di programmazione e progettazione preventiva (proattiva), considerano il cambiamento come un'opportunità per poter raggiungere ulteriori obiettivi di miglioramento della qualità della vita su più dimensioni in condizioni esterne variabili.

Alla luce di tali considerazioni, è possibile individuare due orientamenti prevalenti, potenzialmente integrabili, ai quali riferire alcune possibili soluzioni tecniche: il *flood adaptive design* e il *flood resistant design*. Mentre il primo, come già detto, persegue obiettivi di adattamento a medio-lungo termine a partire dalla convinzione che è possibile gestire localmente i volumi di acqua in eccesso generando ulteriori benefici (ad es., possibilità di stoccaggio e riuso delle acque, miglioramento della qualità degli spazi aperti), il secondo agisce prevalentemente attraverso il concetto di barriera e di allontanamento delle acque da beni, proprietà e persone. In base a tale differenziazione, è possibile classificare le principali soluzioni tecniche rintracciate in letteratura, evidenziando il contributo offerto all'adattamento e la relativa scala di applicazione (tab. 24).

Tabella 24. Soluzioni tecniche di “flood adaptive design” e “flood resistant design” e relativa scala di applicazione

CONTRIBUTO OFFERTO	SOLUZIONI TECNICHE	SCALA SPAZIALE		
		Città/ Bacino	Quartiere/ Spazi pubblici	Edificio/ Proprietà privata
<b>Flood adaptive design</b>				
<b>Attenuazione/ Source control</b>	Tetti verdi, pareti verdi, tetti blu			•
	Aree verdi, superfici non sigillate (superfici porose e permeabili – pavimentazioni a giunti aperti)	•	•	•
<b>Filtraggio</b>	<i>Filter strips</i> , trincee filtranti, aree di bioritenzione, aree umide artificiali	•	•	•
<b>Infiltrazione</b>	Bacini di infiltrazione	•	•	
	Pozzetti di scarico, trincee di infiltrazione <i>rain gardens</i>		•	•
<b>Trasporto e convogliamento</b>	<i>Swales</i> , canali, ruscelli	•	•	
	Caditoie, tubi forati, sbarramenti, orifici, dispositivi di controllo del vortice e canali di sfiato		•	•
<b>Ritenzione e detenzione</b>	Bacini di detenzione, <i>retention ponds</i> , drenaggio geocellulare	•	•	
<b>Riserva/ Stoccaggio</b>	<i>Water squares</i> , bacini artificiali di stoccaggio	•	•	
	Serbatoi sotterranei, cisterne, barili			•
<b>Galleggiamento</b>	Percorsi, piattaforme e isole galleggianti	•	•	
	Edifici galleggianti			•
<b>Sollevamento</b>	Percorsi e passeggiate sopraelevate		•	
<b>Flood resistant design</b>				
<b>Elevazione</b>	Elevazione di edifici e infrastrutture			•
<b>Trasferimento</b>	Trasferimento e ricollocazione di edifici e infrastrutture			•
<b>Barriera</b>	Dighe, scogliere	•		
	<i>Floodwalls</i> , barriere smontabili, argini, chiuse	•	•	•
<b>Flood-proofing</b>	<i>Wet-proofing</i> , <i>dry-proofing</i>			•
	Muri esterni e materiali di rivestimento impermeabili			•
	Misure di emergenza (dighe di sacchi di sabbia)		•	•

Fonti: Shaw et al. (2007); Watson & Adams, 2011; Silva & Costa (2016); Climateapp (n.d.); SuDS (n.d.)

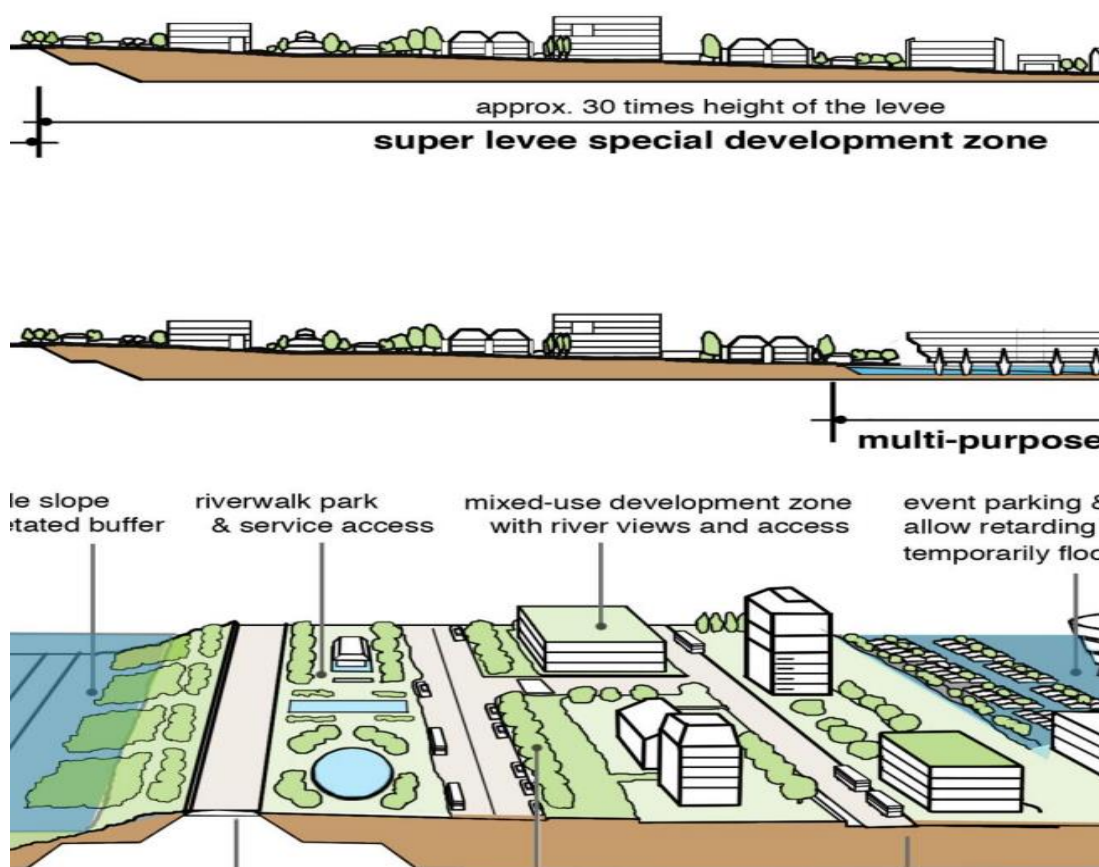
Tali soluzioni, in relazione al livello di vulnerabilità rilevata, possono essere attuate in maniera combinata e interscalare. Un approccio fondato esclusivamente sulla protezione del costruito (*resistant design*) risulta poco efficace, in quanto i continui cambiamenti cui le città sono soggette possono rendere tali misure, efficaci nel presente, inadeguate nel futuro. È fondamentale quindi, in aggiunta ad eventuali misure di *resistant design*, implementare misure di *adaptive design* al fine di decentralizzare quanto più possibile il deflusso superficiale, mediante azioni puntuali ma diffuse. Ferma restando la necessità di combinare i vari approcci, l'approccio adattivo di tipo trasformativo si rivela più efficace, seppure con qualche svantaggio. Prevedendo la risoluzione di sfide e problemi in maniera diversa rispetto al passato, può comportare alcuni rischi se le misure applicate non sono sufficientemente



testate e monitorate. Di conseguenza, l'*adaptive design* è fondato su un processo di apprendimento continuo, che avviene nel lungo periodo e che necessita di monitoraggio e valutazione dei risultati.

Un esempio di applicazione combinata di misure "*adaptive*" e "*resistant*" è illustrato in fig. 38, dove è mostrata una delle strategie adottate dal governo giapponese nell'ambito del programma nazionale di gestione dei fenomeni di *flood*. La realizzazione di un "super argine" lungo il fiume diventa occasione per lo sviluppo di nuove aree residenziali lungo le sponde, progettate in maniera tale da accogliere eventuali fenomeni di allagamento eccedenti gli argini attraverso l'incremento dell'area potenzialmente allagabile (*floodplain*). Ciò è possibile grazie alla presenza di molteplici piccole aree verdi sparse e alla presenza di un bacino di detenzione localizzato nell'area a quota più bassa, e pensato come uno spazio multifunzionale. Il bacino, in condizioni "bagnate", può accogliere il volume di acqua in eccesso grazie alla pendenza favorevole e alla presenza di strutture su pilotis destinate a funzioni non residenziali e quindi maggiormente controllabili in caso di emergenza (ad es., sport, terziario)<sup>81</sup>.

Figura 38. Flood adaptive urban design



Fonte: Watson & Adams (2011)

<sup>81</sup> Il concetto di *high standard levee* (*super levee*) è stato applicato per la costruzione degli argini lungo i sei fiumi principali delle aree metropolitane di Tokyo e Kinki, entrambe densamente popolate (Atsumi, 2009; Godou, n.d.).

Nonostante soluzioni così importanti da un punto di vista sia economico sia ambientale non siano applicabili in maniera indifferenziata in località diverse, esperienze di questo tipo sono molto utili per comprendere che è possibile integrare approcci diversi per raggiungere uno stesso obiettivo, ovvero la riduzione della vulnerabilità ai fenomeni di *flood* e dei relativi impatti. Inoltre, tale integrazione consente di raggiungere molteplici obiettivi “collaterali” connessi, ad esempio, all’incremento della sicurezza, alla fruibilità degli spazi e al miglioramento della qualità urbana e della vita in generale.

Riportando l’attenzione sul fenomeno oggetto di studio, ovvero il *pluvial flood* nel contesto euro-mediterraneo, è sempre opportuno calibrare misure da manuali e linee guida, esempi e buoni pratiche internazionali rispetto alla realtà locale. In un contesto urbano stratificato e densamente popolato, tipico delle città del sud Italia, le opzioni di protezione da eventi di allagamento, attraverso elementi che fungano da ostacolo al flusso, o di trasferimento di intere popolazioni non appaiono concretamente realizzabili. Attività di prevenzione tramite opportune prescrizioni normative che limitino lo sviluppo futuro sono più facilmente praticabili ma, ovviamente, non retroattive. Resta quindi da risolvere il problema sul già costruito con operazioni che, integrandosi nel preesistente, riescano ad accogliere gli eventi di piena senza apportare danni, o limitandoli quanto più possibile. La fattibilità di tali misure va opportunamente valutata non solo in relazione all’intensità dell’evento, ma anche rispetto alle caratteristiche del costruito, ai valori storico-culturali da esso posseduti, alla capacità organizzativa e disponibilità economica degli enti pubblici ma soprattutto dei privati, che possono configurarsi quali figure chiave nella realizzazione e gestione delle soluzioni adattive.

## 5.2 Indirizzi per il progetto di adattamento

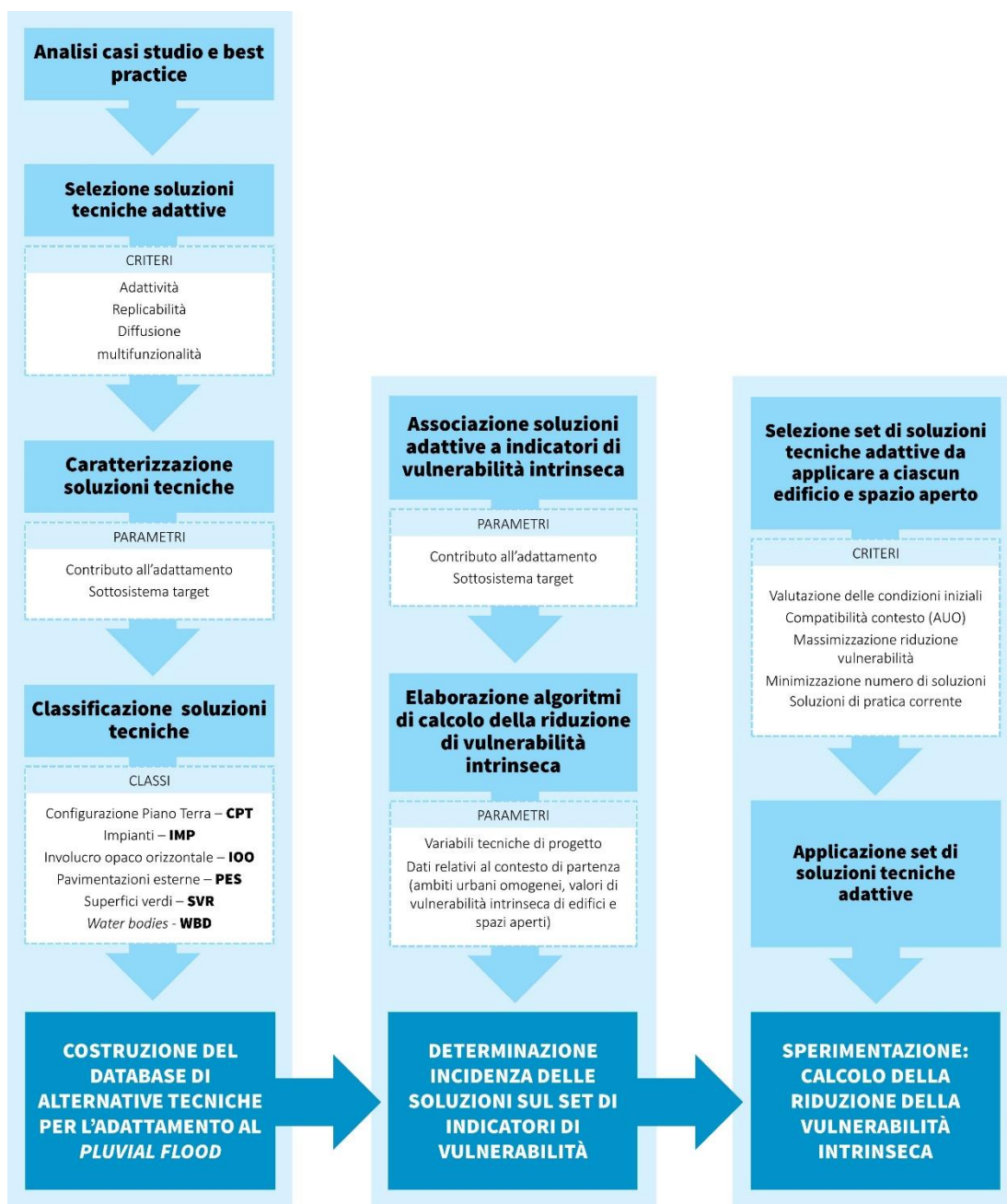
Le soluzioni tecniche precedentemente descritte non sono applicabili in maniera indifferenziata in contesti urbani diversi per localizzazione geografica, cultura e caratteristiche fisico-costruttive e socio-economiche. Inoltre, alcune soluzioni adattive idonee a ridurre la vulnerabilità del sistema urbano ad un particolare fenomeno, potrebbero apportare benefici anche in relazione ad altri *climate hazard* (ad es., ondate di calore, siccità). La molteplicità e diversità di tali soluzioni richiede una classificazione tale da consentirne l’opportuna selezione in relazione agli obiettivi di progetto.

Di conseguenza, per facilitare la scelta delle soluzioni tecniche da implementare per la riduzione della vulnerabilità al *pluvial flood*, sono stati individuati dei criteri di selezione e delle categorie di intervento in base a cui classificare le soluzioni e le eventuali varianti tecniche. Nei paragrafi seguenti si espongono i criteri individuati per la costituzione di un database di alternative tecniche per l’adattamento al cambiamento climatico strutturato in sei categorie di intervento e per la selezione dei set di soluzioni da utilizzare successivamente per la sperimentazione nel caso studio di Napoli est<sup>82</sup> (fig. 39).

---

<sup>82</sup> Il lavoro presentato nel paragrafo corrente è stato realizzato dall’arch. Cristian Filagrossi Ambrosino, assegnista di ricerca presso il DiARC per l’a.a. 2016-2017 nell’ambito del progetto Metropolis.

Figura 39. Processo metodologico per la determinazione della riduzione della vulnerabilità intrinseca



### 5.2.1 Classi di soluzioni tecniche adattive

Lo studio dello stato dell'arte delle ricerche internazionali relative alle soluzioni adattive e alle buone pratiche per l'adattamento ai fenomeni di *pluvial flood*, ha messo in evidenza un certo numero di soluzioni tecniche che, seppur efficaci nella riduzione della vulnerabilità del sistema urbano, non sono direttamente trasferibili e applicabili in contesti diversi. Ciò ha reso necessario individuare dei criteri con cui selezionare le soluzioni, da inserire poi in un catalogo di alternative tecniche per l'adattamento al cambiamento climatico. Tale database è strutturato in categorie di intervento (classi di soluzioni tecniche) che raggruppano le soluzioni in base al sottosistema "Edifici" o "Spazi aperti" su cui sono applicate, al contributo offerto e

al sottosistema su cui generano i relativi effetti di riduzione della vulnerabilità. Il processo adoperato per l'elaborazione del database è illustrato in fig. 43.




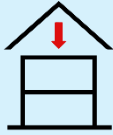
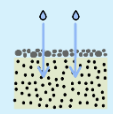
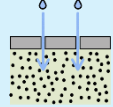
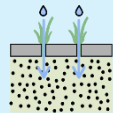
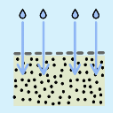

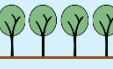
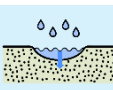
I **criteri di selezione** adottati per avviare l'attività di costruzione del database sono:




- adattività al *pluvial flood*: soluzioni che offrono risposte in termini prestazionali in grado di determinare una certa riduzione della vulnerabilità al fenomeno considerato;
- replicabilità: soluzioni caratterizzate dalla possibilità di poter essere utilizzate in contesti geografici e climatici differenti, mantenendo un buon livello prestazionale.
- diffusione: soluzioni diffuse nella pratica corrente e nel mercato edilizio;
- multifunzionalità: soluzioni che, oltre a offrire risposte prestazionali in termini di adattamento ai cambiamenti climatici, presentano altri benefici, legati ad aspetti ambientali (riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di gas serra, minimizzazione degli impatti) o sociali (miglioramento del comfort ambientale e della vivibilità).

Le soluzioni individuate in tabella 25 mostrano, oltre ad una breve descrizione, anche il contributo fornito all'adattamento del sistema urbano attraverso la riduzione della vulnerabilità intrinseca (e, di conseguenza, anche della vulnerabilità integrata e degli impatti) dei sottosistemi "Edifici" e "Spazi aperti", successivamente valutata mediante l'elaborazione di appositi algoritmi (vedi sotto-par. 5.2.2).

Tabella 25. Soluzioni tecniche di adattamento al *pluvial flood*

SOLUZIONE TECNICA	DESCRIZIONE	CONTRIBUTO ALL'ADATTAMENTO
 <p>Piano terra rialzato</p>	<p>L'intervento consiste nel rialzare il livello del piano terra degli edifici rispetto alla quota di calpestio della strada, da alcuni centimetri fino a pochi metri (a seconda del livello di acqua considerato). È più facilmente attuabile nelle nuove costruzioni che non sull'esistente. Il progetto deve porre particolare attenzione alla risoluzione di questioni inerenti l'accessibilità.</p>	<p>Rialzando il piano terra si limitano i danni fisici a edifici (elementi strutturali o di finitura) e a persone riducendo i fenomeni di allagamento che le acque meteoriche in eccesso, non riassorbite dal suolo e in caso di sovraccarico del sistema fognario, possono provocare a livello del piano di calpestio stradale e all'interno degli edifici.</p>
 <p>Realizzazione di marciapiedi</p>	<p>L'intervento consiste nel realizzare opportuni marciapiedi lungo i prospetti degli edifici che affacciano direttamente sul fronte strada.</p>	<p>In relazione al fenomeno <i>pluvial flood</i>, i marciapiedi si pongono come barriera al passaggio dell'acqua in caso di eventi intensi di precipitazione, consentendo di ritardare e/o evitare il verificarsi di fenomeni di allagamento all'interno degli edifici, con conseguenti danni a persone e/o cose ai piani terra e ai piani interrati. Inoltre, favoriscono la mobilità pedonale, riducendo i disagi per la popolazione che fruisce degli spazi aperti.</p>
 <p>Piano pilotis</p>	<p>L'intervento prevede la sottrazione volumetrica al piano terra (in caso di edifici esistenti).</p>	<p>La sottrazione di volumi ai piani terra degli edifici consente di eliminare la presenza di eventuali beni e persone esposte ai fenomeni di allagamento. Tale intervento comporta la delocalizzazione di funzioni e attività.</p>
 <p>Impianti di raccolta e riuso delle acque meteoriche</p>	<p>Impianto che prevede la raccolta delle acque meteoriche basato su tre elementi: sistema di intercettazione, serbatoio, sistema di sollevamento e distribuzione delle acque filtrate e depurate. Tutte le superfici impermeabili non sottoposte al transito degli autoveicoli sono adatte come aree di raccolta. L'acqua raccolta può essere riutilizzata per usi che non prevedono il consumo di acqua potabile (scarico del wc, irrigazione, usi esterni, lavatrice, pulizia della casa).</p>	<p>Questi impianti permettono di prevenire i danni provocati dal <i>pluvial flood</i> attraverso la riduzione del deflusso superficiale delle acque meteoriche che andrebbe a sovraccaricare il sistema fognario. Si vanno a ridurre/eliminare localmente i ristagni superficiali, l'esondazione delle fognature e le velocità elevate dei flussi di scorrimento.</p>

	<p><b>Caditoie</b> (manutenzione periodica)</p>	<p>L'intervento prevede il ripristino delle prestazioni funzionali delle caditoie, che costituiscono un importante elemento del sistema di drenaggio urbano avente la funzione di intercettare le acque meteoriche (o di lavaggio delle strade) che scorrono in superficie e a convogliarle nella rete fognaria.</p>	<p>L'attività di manutenzione è finalizzata alla pulizia di caditoie e pozzetti da accumuli di fango, depositi di materiali organici (foglie, rami di alberi, etc.) e/o di rifiuti urbani solidi. La pulizia deve essere effettuata regolarmente e comunque sempre dopo eventi meteorici intensi (soprattutto se si verificano dopo lunghi periodi di siccità e se accompagnati da forti raffiche di vento) che generalmente causano un consistente deposito di sabbie, polveri, fango, detriti, foglie e comunque materiale pesante che, se in eccesso, potrebbe ostruire il sifone ed impedire lo scarico.</p>
	<p><b>Tetto giardino estensivo</b></p>	<p>L'intervento prevede la realizzazione di un tetto giardino estensivo sia su tetti piani che inclinati. Ha una capacità di carico ridotta in quanto la sua vegetazione è di tipo superficiale, pari a 15/20 cm di profondità. Per le coperture estensive si usano specie erbacee, erbacee perenni ed arbusti copri-suolo (sedum).</p>	<p>I tetti giardino svolgono un'azione di drenaggio delle acque piovane che in parte vengono assorbite dal terreno e in parte vengono restituite al ciclo naturale mediante la traspirazione, garantendo quindi anche una riduzione del carico di acqua sulla rete di canalizzazione e smaltimento.</p>
	<p><b>Tetto giardino intensivo</b></p>	<p>L'intervento prevede la realizzazione di un tetto giardino intensivo su tetti piani. La portanza dei tetti deve essere superiore ai 150 kg poiché la grande varietà vegetativa prevede anche la piantumazione di alberi. Gli strati che costituiscono il pacchetto sono notevolmente più spessi del tetto estensivo.</p>	<p>I tetti giardino svolgono un'azione di drenaggio delle acque piovane che in parte vengono assorbite dal terreno e in parte vengono restituite al ciclo naturale mediante la traspirazione, garantendo quindi anche una riduzione del carico di acqua sulla rete di canalizzazione e smaltimento.</p>
	<p><b>Sovrapposizione di copertura inclinata</b></p>	<p>L'intervento prevede la realizzazione di una copertura a falde inclinate da sovrapporre ad una copertura piana esistente. La copertura inclinata considerata è un tetto ventilato.</p>	<p>L'inclinazione del tetto permette un migliore deflusso delle acque meteoriche verso le grondaie, evitando eventuali problemi di ristagno delle acque dovute al verificarsi di intensi eventi pluviali o ad errori nel calcolo delle pendenze del massetto del solaio di copertura.</p>
	<p><b>Aggregati naturali</b></p>	<p>L'intervento prevede la realizzazione di pavimentazioni per esterni con rivestimenti in materiali minerali granulari particellari grezzi, di origine naturale o artificiale (anche riciclati da materiali precedentemente usati nelle costruzioni). Gli aggregati più utilizzati per le pavimentazioni sono: sabbia, ghiaia, ciottoli, pietrisco.</p>	<p>Le superfici con rivestimenti in aggregati naturali sono caratterizzate, grazie alla loro struttura porosa, da alti valori di permeabilità all'acqua, consentendo di ridurre la quantità di acque meteoriche che raggiungono il sistema di smaltimento fognario.</p>
	<p><b>Pavimentazioni a giunto aperto</b></p>	<p>L'intervento prevede la realizzazione di pavimentazioni per esterni realizzate con lastre o cubetti di vari materiali con giunto non sigillato.</p>	<p>L'ampiezza e l'incidenza superficiale dei giunti e/o delle aperture, nonché la scelta del loro materiale di riempimento (terreno, ghiaia), consente di ridurre il livello di impermeabilità dei suoli aumentandone la capacità di assorbimento delle acque meteoriche.</p>
	<p><b>Pavimentazioni a giunto aperto inerbite</b></p>	<p>L'intervento prevede la realizzazione di pavimentazioni per esterni a giunto aperto in cui il riempimento dei giunti e/o delle aperture è realizzato con terreno di coltivo e in cui vengono seminate essenze erbacee.</p>	<p>La presenza del verde aumenta la permeabilità della pavimentazione e la capacità di assorbire e trattenere le acque meteoriche (direttamente proporzionale all'incidenza della superficie inerbite sull'area totale della pavimentazione). Per garantire le prestazioni connesse al maggior assorbimento delle acque meteoriche è necessaria una manutenzione frequente.</p>
	<p><b>Superfici porose</b></p>	<p>L'intervento prevede la realizzazione di pavimentazioni esterne costituite da materiali porosi, come asfalto o cemento porosi. Tali pavimentazioni consentono l'infiltrazione su tutta la loro superficie.</p>	<p>Le superfici porose presentano buone prestazioni in termini di assorbimento delle acque meteoriche, essendo caratterizzate da valori bassi di afflusso (e dunque buona permeabilità all'acqua).</p>
	<p><b>Aree verdi</b></p>	<p>L'intervento prevede la realizzazione di aree verdi all'interno di aree urbane.</p>	<p>La presenza di aree verdi incrementa la quantità di superfici permeabili che vanno a limitare il deflusso superficiale delle acque in caso di abbondanti piogge.</p>
	<p><b>Filari di alberi</b></p>	<p>L'intervento prevede la disposizione di alberi lungo le strade, nelle piazze e negli altri spazi aperti.</p>	<p>Seppur in misura ridotta rispetto a un'intera area verde, la presenza di filari di alberi permette di incrementare le superfici permeabili in grado di assorbire le acque piovane. Il contributo principale fornito dagli alberi è legato infatti all'aumento di infiltrazione sotterranea delle acque meteoriche in eccesso grazie alla presenza degli apparati radicali.</p>
	<p><b>Rain garden/ bioswale</b></p>	<p>L'intervento prevede la realizzazione di un sistema alternativo di drenaggio delle acque. È progettato come una fossa superficiale o come una piccola depressione nel terreno realizzata</p>	<p>Questo sistema permette di intercettare le acque piovane, di cui consente il filtraggio e l'infiltrazione, andando ad alleggerire il sistema fognario.</p>

		con materiali naturali come piante, rocce e terreno. Per gran parte dell'anno il <i>bioswale</i> rimane asciutto, riempiendosi d'acqua solo con grandi piogge.	
	Bacini di ritenzione	L'intervento prevede la realizzazione di bacini di raccolta e conservazione dell'acqua piovana, opportunamente progettati e dimensionati, costruiti con duplice funzione: ridurre l'impatto degli eventi di piena o immagazzinare acqua per i periodi di siccità. Oltre al controllo quantitativo delle acque meteoriche consentono anche una prima depurazione delle stesse, grazie alla sedimentazione naturale.	La presenza di bacini di ritenzione consente di limitare il carico di acqua nel sistema fognario e fenomeni di ristagno o deflusso superficiale nelle aree urbane. L'acqua accumulata può essere poi impiegata per usi non potabili (irrigazione, pulizia stradale, etc.).
	Vasche e fontane	L'intervento prevede la realizzazione di fontane, vasche, cascate e getti di acqua nebulizzata.	In caso di forti piogge, vasche e fontane si trasformano in piccoli bacini di raccolta e stoccaggio delle acque piovane, così da alleggerire la pressione sul sistema di smaltimento fognario.
	Water squares	L'intervento prevede la realizzazione di <i>water squares</i> , in luoghi strategici delle città. Sono spazi pubblici che nella maggior parte dei casi risultano essere "asciutte" ed utilizzabili come qualsiasi altro spazio pubblico tradizionale per il gioco e il tempo libero, mentre in alcuni casi e in base all'intensità delle piogge, potranno risultare più o meno "allagate" e quindi funzionare come bacini di raccolta e stoccaggio.	In caso di forti piogge ed inondazioni, si trasformano in bacini di raccolta e stoccaggio delle acque piovane, così da alleggerire la pressione sull'impianto fognario e favorirne il riutilizzo nei momenti di maggiore siccità e stress idrico.

Individuate le soluzioni, è stata effettuata una loro caratterizzazione secondo alcuni parametri che ne hanno consentito la successiva classificazione in categorie di intervento. La **caratterizzazione** ha preso in considerazione due parametri principali:

- Strategie di adattamento; si considera il contributo offerto alla riduzione della vulnerabilità al *pluvial flood* in termini di attenuazione del deflusso (*source control*), filtraggio, infiltrazione, trasporto, ritenzione, stoccaggio, barriera, delocalizzazione ed elevazione delle quote di calpestio.
- Sottosistema target; si considera se la soluzione fornisce il suo contributo di riduzione della vulnerabilità agendo sul sottosistema "Edifici", "Spazi Aperti" o su entrambi.

La **classificazione** è stata condotta individuando una serie di famiglie tecniche all'interno delle quali sono comprese una o più soluzioni alternative tra loro, non applicabili contemporaneamente alla stessa entità poligonale "Edificio" o "Spazio aperto". Le classi di soluzioni tecniche individuate sono (tab. 26):

- Configurazione piano terra (**CPT**): comprende le soluzioni riguardanti la sistemazione dei piani terra o interrati, che rappresentano la parte di edificio maggiormente vulnerabile.
- Impianti (**IMP**): comprende le soluzioni legate alla realizzazione di nuovi impianti o la manutenzione di quelli esistenti, sia sugli edifici, che negli spazi aperti.
- Involucro opaco orizzontale (**IOO**): comprende le soluzioni volte a migliorare le prestazioni delle coperture degli edifici attraverso il controllo locale del deflusso superficiale (tetto giardino) o l'allontanamento rapido del deflusso dalle coperture verso i sistemi di raccolta pluviale (sovrapposizione di copertura inclinata).
- Pavimentazioni esterne (**PES**): comprende le soluzioni che prevedono la realizzazione di superfici pavimentate caratterizzate da elevati valori di permeabilità, favorendo l'infiltrazione e riducendo l'afflusso in fogna.



- Superfici verdi (**SVR**): comprende le soluzioni inerenti l'utilizzo di sistemi di inverdimento per piazze, strade ed aree attrezzate, con la funzione di ridurre l'afflusso in fogna delle acque meteoriche, grazie all'incremento di permeabilità e assorbimento favorito dalla vegetazione.
- *Water bodies* (**WBD**): comprende le soluzioni che hanno come obiettivo principale quello di trattenerne le acque laminandole in piccoli volumi dispersi sul territorio urbano, riducendo l'afflusso in fogna e migliorandone al contempo la qualità.

Tabella 26. Classificazione delle soluzioni adattive al pluvial flood

SOTTOSISTEMA DI INTERVENTO	CLASSI DI SOLUZIONI TECNICHE	CODICE	SOLUZIONE TECNICA	STRATEGIA DI ADATTAMENTO	SOTTOSISTEMA TARGET
Edifici	<b>CPT</b> Configurazione piano terra	CPT01	Piano terra rialzato	Elevazione	Edifici
		CPT02	Realizzazione di marciapiedi	Elevazione	Edifici
		CPT03	Piano pilotis	Delocalizzazione	Edifici
Edifici	<b>IMP</b> Impianti	IMP01	Impianti di raccolta e riuso delle acque meteoriche	Stoccaggio	Spazi Aperti
Spazi aperti		IMP02	Caditoie (manutenzione periodica)	Trasporto	Spazi Aperti
Edifici	<b>IOO</b> Involucro opaco orizzontale	IOO01	Tetto giardino estensivo	Attenuazione del deflusso/ <i>Source control</i>	Spazi Aperti
		IOO02	Tetto giardino intensivo	Attenuazione del deflusso/ <i>Source control</i>	Spazi Aperti
		IOO03	Sovrapposizione di copertura inclinata	Barriera	Edifici
Spazi aperti	<b>PES</b> Pavimentazioni esterne	PES01	Aggregati naturali	Attenuazione del deflusso/ <i>Source control</i>	Spazi Aperti
		PES02	Pavimentazioni a giunto aperto	Attenuazione del deflusso/ <i>Source control</i>	Spazi Aperti
		PES03	Pavimentazioni a giunto aperto inerbite	Attenuazione del deflusso/ <i>Source control</i>	Spazi Aperti
		PES04	Superfici porose	Attenuazione del deflusso/ <i>Source control</i>	Spazi Aperti
	<b>SVR</b> Superfici a verde	SVR01	Aree verdi	Attenuazione del deflusso/ <i>Source control</i>	Spazi Aperti
		SVR02	Filari di alberi	Infiltrazione	Spazi Aperti
		SVR03	Rain garden/ <i>bioswale</i>	Infiltrazione	Spazi Aperti
	<b>WB –</b> Water bodies	WBD01	Bacini di ritenzione	Filtraggio Ritenzione	Spazi Aperti
		WBD02	Vasche e fontane	Stoccaggio	Spazi Aperti
		WBD03	Water squares	Stoccaggio	Spazi Aperti



Successivamente, è stata analizzata la possibilità di caratterizzare ulteriormente ciascuna soluzione introducendo una o più **variabili tecniche di progetto** che potessero determinare differenti livelli prestazionali in termini di riduzione della vulnerabilità intrinseca. Tali variabili sono state definite in funzione di specifici fattori, quali la percentuale di soluzione applicata e il materiale di rivestimento utilizzato. Nella presente ricerca ci si è limitati a considerare solo alcune delle principali variabili tecniche per le varie soluzioni (tab. 27), ma la struttura del database consente di poter implementare, in qualsiasi momento, nuove variabili.

Tabella 27. Variabili tecniche di progetto

CODICE	SOLUZIONE TECNICA	VARIABILI TECNICO-PROGETTUALI
CPT01	Piano terra rialzato	-
CPT02	Realizzazione di marciapiedi	Elevazione
CPT03	Piano pilotis	-
IMP01	Impianti di raccolta e riuso delle acque meteoriche	-
IMP02	Caditoie (manutenzione periodica)	-
IOO01	Tetto giardino estensivo	Materiale isolante (fibra di legno, lana di roccia, EPS) Spessore isolante (4 cm, 6 cm, 8 cm, 10 cm) Spessore strato di coltivo (20 cm) Percentuale di applicazione (30%, 50%, 70%, 100%)
IOO02	Tetto giardino intensivo	Materiale isolante (fibra di legno, lana di roccia, EPS) Spessore isolante (4 cm, 6 cm, 8 cm, 10 cm) Spessore strato di coltivo (50 cm) Percentuale di applicazione (30%, 50%, 70%, 100%)
IOO03	Sovrapposizione di copertura inclinata	-
PES01	Aggregati naturali	Materiale di rivestimento (Pietrisco) Percentuale di applicazione (15%, 30%, 45%, 60%)
PES02	Pavimentazioni a giunto aperto	Materiale di rivestimento (Masselli autobloccanti in cls, Masselli autobloccanti in pietra ricomposta, Masselli autobloccanti in UHPC) Percentuale di applicazione (30%, 50%, 70%, 100%)
PES03	Pavimentazioni a giunto aperto inerbite	Materiale di rivestimento (Masselli autobloccanti in cls, Masselli autobloccanti in pietra ricomposta, Masselli autobloccanti in UHPC) Percentuale di applicazione (30%, 50%, 70%, 100%)
PES04	Superfici porose	Materiale di rivestimento (Asfalto drenante) Percentuale di applicazione (30%, 50%, 70%, 100%)
SVR01	Aree verdi	Percentuale di applicazione (15%, 30%, 45%, 60%)
SVR02	Filari di alberi	Distanza tra gli alberi (2 m, 2,5 m, 3 m)
SVR03	Rain garden/bioswale	Percentuale di applicazione (3%, 5%, 8%, 10%)
WBD01	Bacini di ritenzione	Volume del bacino
WBD02	Vasche e fontane	Percentuale di applicazione (2%, 3%, 5%, 6%)
WBD03	Water squares	Percentuale di applicazione (5%, 10%, 15%, 20%)

### 5.2.2 Incidenza delle soluzioni sul set di indicatori

In base al processo di caratterizzazione, e quindi alla definizione delle combinazioni tra

contributo all'adattamento e sottosistema target, a ciascuna soluzione sono stati successivamente **associati** esclusivamente gli indicatori pertinenti per la valutazione della vulnerabilità. Ogni soluzione fornisce un contributo alla riduzione della vulnerabilità intrinseca in relazione ad uno o più indicatori. Tuttavia, non tutti gli indicatori sono associati ad una soluzione in grado di incidere sulla riduzione della vulnerabilità ad esso correlata: l'indicatore S-SUP "Superficie spazi aperti, infatti, non può essere modificato da nessuna delle soluzioni proposte. La corrispondenza tra soluzioni e indicatori è riportata in tabella 28.

Tabella 28. Matrice di corrispondenza tra soluzioni tecniche ed indicatori

SOTTO-SISTEMA	STRATEGIA DI ADATTAMENTO	SOLUZIONI TECNICHE	INDICATORI DI VULNERABILITÀ INTRINSECA
Edifici	Delocalizzazione	Piano pilotis	<b>E-RCOP</b> Rapporto di copertura
	Elevazione	Piano terra rialzato	<b>E-APT</b> Attività piani terra
	Delocalizzazione	Piano pilotis	
	Elevazione	Realizzazione di marciapiedi	<b>E-PEM</b> Percentuale di edificio su marciapiede
	Delocalizzazione	Piano pilotis	
	<b>Barriera</b>	Sovrapposizione di copertura inclinata	<b>E-TCOP</b> Tipologia di copertura
Spazi aperti	-	-	<b>S-SUP</b> Superficie spazi aperti
	Attenuazione del deflusso/ <i>Source control</i>	Aggregati naturali	<b>S-PS</b> Permeabilità dei suoli
		Pavimentazioni a giunto aperto	
		Pavimentazioni a giunto aperto inerbito	
		Superfici porose	
		Aree verdi	
	Infiltrazione	Filari di alberi	<b>S-CFOG</b> Capacità di smaltimento del sistema fognario
		Rain garden/ <i>Bioswale</i>	
	Stoccaggio	Impianti di raccolta e riuso delle acque meteoriche	
	Attenuazione del deflusso/ <i>Source control</i>	Tetto giardino (estensivo)	<b>S-CFOG</b> Capacità di smaltimento del sistema fognario
		Tetto giardino (intensivo)	
		Aggregati naturali	
		Pavimentazioni a giunto aperto	
		Pavimentazioni a giunto aperto inerbito	
		Superfici porose	
		Aree verdi	
	Infiltrazione	Filari di alberi	<b>S-CFOG</b> Capacità di smaltimento del sistema fognario
Rain garden/ <i>Bioswale</i>			

Filtraggio	Bacini di ritenzione	
Ritenzione	Vasche e fontane	
Stoccaggio	Water squares	
Trasporto	Caditoie (manutenzione periodica)	<b>S-MFOG</b> Grado di manutenzione del sistema fognario

Nella fase successiva sono stati **elaborati** per ciascuna soluzione una serie di algoritmi che, in funzione delle possibili variabili tecniche prese in considerazione nonché dei dati peculiari relativi al contesto di partenza (come ad esempio la tipologia di aggregato urbano, gli ambiti urbani omogenei, nonché i valori iniziali di ciascun indicatore di vulnerabilità), fossero in grado di restituire la modificazione che ciascuna combinazione di soluzione-variabile tecnica-contesto genera sui valori dei singoli indicatori di vulnerabilità sollecitati.

Gli algoritmi sono stati elaborati attraverso l'utilizzo di dati provenienti da fonti di diversa natura: informazioni tratte dalla letteratura scientifica, simulazioni e calcoli con software dedicati, simulazioni progettuali (ad esempio per l'aumento o l'incremento di volume, per l'incidenza dell'uso dei piani terra, etc).

La fase di conoscenza degli ambiti di studio ha permesso di raccogliere le informazioni necessarie allo svolgimento delle simulazioni software sulle condizioni ambientali, in modo che queste risultassero maggiormente rispondenti alle condizioni reali. Dati climatici e microclimatici, dati geometrici degli edifici, la presenza di vegetazione e le tipologie di materiali dello spazio aperto urbano costituiscono il bagaglio di informazioni necessarie affinché i software siano in grado di restituire dati affidabili.

In tabella 29 sono sintetizzate, per ogni indicatore, le modalità di ricalcolo della vulnerabilità intrinseca in relazione al contributo fornito dal set di soluzioni tecniche prescelto.

Tabella 29. Incidenza delle soluzioni sul set di indicatori

SOTTO-SISTEMI	INDICATORE	MODALITÀ DI CALCOLO	
Edifici	<b>E-RCOP</b> Rapporto di copertura	$E-RCOP = \frac{S_{COP}}{A_{TOT}} \left[ \frac{m^2}{m^2} \right]$	Il nuovo valore dell'indicatore, modificato per effetto della soluzione, viene ricalcolato nel caso essa apporti modifiche significative alla superficie coperta o totale dell'edificio.
	<b>E-PEM</b> Percentuale di edificio su marciapiede	$E-PEM = \frac{\sum_{i=1}^n P_{MARI}}{P_{EDI}} \left[ \frac{m}{m} \right]$	L'incidenza sull'indicatore è valutata elaborando un algoritmo che ricalcola il rapporto tra la sommatoria dei tratti di perimetro di edificio adiacente ai marciapiedi e il perimetro totale dell'edificio.
	<b>E-APT</b> Attività piani terra	$E-APT = \frac{N_A}{A_{TOT}}$	L'incidenza sull'indicatore è valutata elaborando un algoritmo che ricalcola il rapporto tra il numero delle attività ubicate al piano terra ( $N_A$ ) e l'area totale del poligono edificio ( $A_{TOT}$ ).
	<b>E-TCOP</b> Tipologia di copertura	Il nuovo valore dell'indicatore è calcolato attraverso un algoritmo che, nel caso in cui una soluzione determini un aumento o una diminuzione della superficie della copertura ( $S_C$ ) o un cambio di tipologia (piana o inclinata) restituisce automaticamente il nuovo valore e la corrispondente classe da assegnare all'indicatore.	
Spazi aperti	<b>S-SUP</b> Superficie spazi aperti	-	

**S-PS**

Permeabilità dei suoli

$$\mathbf{S-PS} = \frac{(A_{sa} \times \phi_{msa}) + (A_{sas} \times \phi_s)}{A_{sat}}$$

L'incidenza delle soluzioni sull'indicatore è calcolata associando, ad ogni combinazione di soluzione-variabile tecnica, un valore coefficiente di afflusso (tratto dalla letteratura scientifica) e successivamente elaborando un algoritmo basato sulla media ponderata tra l'estensione superficiale di spazio aperto su cui non interviene la soluzione (e per la quale il valore del coefficiente rimane immutato) e quella su cui la soluzione viene applicata (e che assume il valore del coefficiente di afflusso proprio della soluzione).

**S-CFOG**

Capacità di smaltimento del sistema fognario

$$\phi_n = \frac{[(\phi_{sa} \times A_{sa}) + (\phi_{sas} \times A_{sas})]}{A_{tot}} + \frac{(\phi_{ed} \times A_{ed}) + (\phi_{eds} \times A_{eds})}{A_{tot}}$$

$$Q_p = \frac{(\phi_n * A_{tot}) \times i}{360} \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

$$\mathbf{S-CFOG} = \frac{Q_c}{Q_p} \left[ \frac{m^3/s}{m^3/s} \right]$$

Tra le soluzioni adattive inserite nel database si è deciso di escludere quelle che determinano una modifica della portata delle condotte, dal momento che si tratta di interventi, per quel che riguarda azioni di riqualificazione urbana dell'esistente, caratterizzati da una bassa fattibilità economica e tecnica.

Per questo motivo le soluzioni considerate, in grado di incidere sulla modificazione dell'indicatore, agiscono esclusivamente sulla riduzione della portata pluviale, attraverso interventi di permeabilizzazione dei suoli o laminazione delle acque meteoriche.

Per il calcolo del nuovo valore dell'indicatore, a differenza degli altri, non è possibile procedere considerando le soluzioni applicate sui singoli spazi aperti, ma è necessario simulare la loro applicazione, stabilendo la percentuale superficiale di applicazione, sull'intero bacino.

Considerato che il valore di  $Q_c$  viene considerato costante, l'incidenza di ciascuna soluzione sull'indicatore è determinata calcolando innanzitutto la nuova permeabilità dei suoli, determinata dall'applicazione delle soluzioni scelte, secondo una media ponderata, e poi successivamente la portata pluviale. Infine, ottenuto il nuovo valore di  $Q_p$ , viene ricalcolato il valore dell'indicatore S-CFOG.

**S-MFOG**

Grado di manutenzione del sistema fognario

L'unica soluzione che interviene sull'indicatore è quella relativa alla corretta manutenzione delle caditoie e dei pozzetti del sistema fognario, la cui applicazione presuppone che il 100% delle caditoie siano liberate da eventuali otturazioni e dunque il valore dell'indicatore diventa automaticamente pari a uno (e dunque corrispondente alla classe di vulnerabilità 5).

# parte III

## CASO APPLICATIVO

# 6

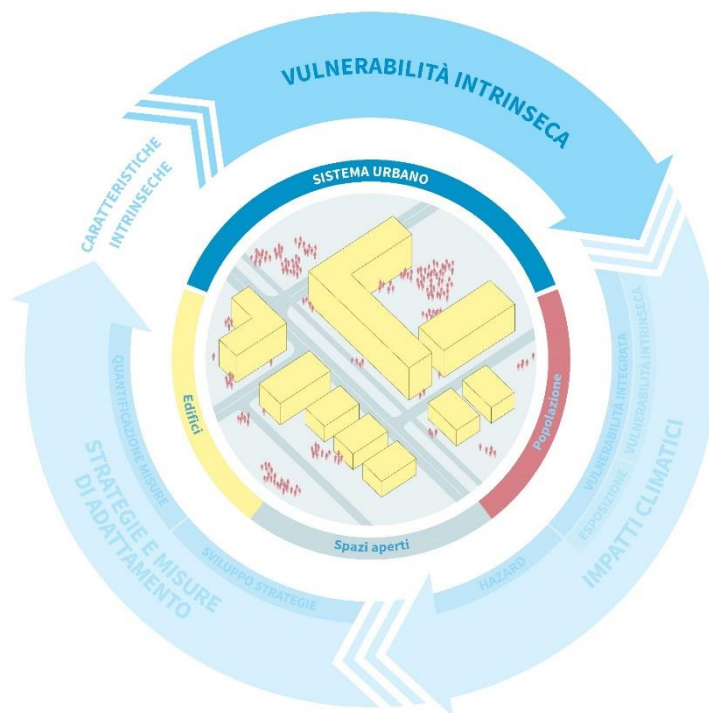
## **Sperimentazione su un caso studio: il *pluvial flood* a Napoli est**

Al fine di verificare la validità della metodologia di valutazione della vulnerabilità esposta nel capitolo 4 e l'effettiva riduzione secondo le modalità indicate nel capitolo 5, si è proceduto alla sperimentazione sul caso studio di Napoli est. L'elaborazione delle mappe ha consentito di testare l'efficacia del modello operativo proposto, e di verificare la presenza di eventuali criticità connesse alla reperibilità dei dati, alla necessità di rilevare informazioni di dettaglio non disponibili nelle banche dati ufficiali e all'esigenza di disporre di tempi di elaborazione lunghi per la costruzione e il rilievo di alcuni dati di input. In tal modo, si è potuto ricalibrare l'intero processo, individuando punti di forza e criticità da sviluppare ulteriormente in un percorso di ricerca futuro.

## 6.1 Introduzione: l'area studio

### 6.2 La valutazione della vulnerabilità intrinseca

Figura 40. Framework concettuale: vulnerabilità intrinseca



#### 6.2.1 Preparare la valutazione

La fase di preparazione ha riguardato inizialmente l'**identificazione degli obiettivi** generali della valutazione (step I.1): come già affermato, essa è finalizzata a fornire supporto alle politiche di adattamento locali attraverso la mappatura del livello di vulnerabilità delle entità caratterizzanti il sistema urbano. Tale obiettivo generale si articola in obiettivi specifici relativi alle modalità con cui condurre la valutazione e l'approccio da adottare. Di conseguenza, gli obiettivi principali della valutazione della vulnerabilità al *pluvial flood* sono (attività I.1.1):

- Quantificare la vulnerabilità degli elementi caratterizzanti il sistema urbano;
- Individuare livelli di vulnerabilità (soglie) per lo sviluppo di soluzioni di adattamento.

Negli obiettivi esposti è già dichiarato l'approccio adottato. La valutazione degli insediamenti urbani necessita di un approccio che tenga conto della loro complessità costitutiva e interpretativa, e che consenta di restituirne i caratteri a partire da una conoscenza dettagliata effettuata a livello locale e finalizzata ad informare le politiche di livello superiore. Attraverso l'approccio sistemico è possibile interpretare gli insediamenti urbani come sistemi, integrando nella valutazione caratteristiche e scale (sia spaziali sia temporali) differenti (attività I.1.2).

Con la successiva **definizione del sistema di interesse** (step I.2) sono stati individuati i



sottosistemi “Edifici”, “Spazi aperti” e “Popolazione” oggetto della valutazione, dei quali si valuta la vulnerabilità allo stato attuale in quanto non è possibile effettuare considerazioni e previsioni sulle trasformazioni fisiche e sull’evoluzione futura del carico insediativo (attività 1.2.1). Il paradigma sistemico consente di estrapolare i sottosistemi già dichiarati nel capitolo 4 (attività 1.2.2), le cui rispettive unità di misurazione potrebbero variare a seconda dei tematismi disponibili nel Database Topografico Regionale della regione in cui ricade l’area di studio e del censimento della popolazione cui si fa riferimento (attività 1.2.3). Per la determinazione delle unità di misurazione “Edificio” e “Spazio aperto”, sono stati estratti i seguenti tematismi (*feature class*) dal database della Regione Campania (edizione 2004-2005)<sup>83</sup>:

- “Edificio”: la costruzione di tale unità è effettuata a partire dalla classe “020102 – Edificio” (strato 02 – Immobili e antropizzazioni, tema 0201 – Edificato) che raggruppa tutte le costruzioni stabili tipizzate come edifici, intesi come costruzioni stabili, in muratura, legno, pannelli prefabbricati o altro materiale, coperti con un tetto, e destinati nella maggioranza dei casi all’abitazione o allo svolgimento di attività lavorative o ricreativo-sportive. Sono state inoltre prese in considerazione per una analisi completa del sistema edificato gli elementi della classe “020106 – Edificio minore” (strato 02 – Immobili e antropizzazioni, tema 0201 – Edificato), in cui sono inclusi gli edifici che partecipano alla definizione del territorio antropizzato in quanto costruzioni che integrano e supportano l’edificato e le attività dell’uomo, caratterizzati dalla permanenza non continuativa delle persone (ad es. baracche, torri, edifici cimiteriali, chioschi). Le entità poligonali “edificio” sono ottenute selezionando le *feature class* precedenti nel solo ambito dell’area studio di Napoli est.
- “Spazio aperto”: per le aree permeabili sono state considerate le seguenti classi: 060101 - Bosco; 060102 - Formazione particolare; 060104 – Area temporaneamente priva di vegetazione; 060105 – Pascolo o incolto; 060106 – Coltura agricola (strato 06 – Vegetazione, tema 0601 – Aree agro-forestali); 060401 – Area verde (strato 06 – Vegetazione, tema 0604 – Verde urbano). Per le aree impermeabili si considerano le seguenti classi: 010104 – Area stradale; 010105 - Viabilità mista secondaria (strato 01 – Viabilità, mobilità e trasporti, tema 0101 – Strade); 010201 – Sede di trasporto su ferro (strato 01 – Viabilità, mobilità e trasporti, tema 0102 – Ferrovie); 020204 – Attrezzatura sportiva; 020205 – Manufatto d’infrastruttura di trasporto; 020206 - Area attrezzata del suolo (strato 02- Immobili e antropizzazioni, tema 0202 - Manufatti); 100302 – Area estrattiva; 100303 – Discarica (Strato 10 – Aree di pertinenza, tema 1003 – Cave – discariche). I poligoni “spazio aperto” sono stati ottenuti attraverso la selezione delle *feature class* precedenti nel solo ambito dell’area studio e la successiva intersezione spaziale di ognuna delle *feature class* aree permeabili e impermeabili che partecipano alla formazione degli spazi aperti, mantenendo tutti gli attributi delle *feature* di origine.

<sup>83</sup> Il DTR della Regione Campania è attualmente accessibile solo per gli enti pubblici e di ricerca tramite le indicazioni presenti al seguente link: <https://goo.gl/kKVtkT>.

L'unità di misurazione "Sezione di censimento" è stata ottenuta a partire dalle sezioni di censimento secondo quanto già indicato nel sotto-paragrafo 4.1.4.

Le diverse coordinate geografiche delle fonti considerate hanno reso necessaria un'operazione di omogeneizzazione dei sistemi di riferimento. Il DTR è fornito in coordinate piane UTM WGS84 Zona 33n, mentre le sezioni di censimento ISTAT sono disponibili in coordinate piane UTM ED50 Zona 32n e UTM WGS84 Zona 32n. Considerata la grande quantità di dati reperiti dal DTR, si è proceduto alla conversione del sistema di coordinate delle sezioni di censimento da UTM WGS84 Zona 32n a UTM WGS84 Zona 33n. Anche tutti i dati acquisiti nella fase successiva sono stati ricondotti a tale sistema di coordinate.

Il lavoro condotto finora ha consentito di avviare una prima attività di conoscenza dell'area studio, al fine comprendere la caratterizzazione fisica e sociale del sistema urbano attraverso la realizzazione di mappe storiche, cartografie tematiche e schede descrittive che restituiscono la complessità costitutiva del sistema. Inoltre, lo studio di alcuni eventi estremi verificatisi nel recente passato ha consentito l'individuazione di alcune zone particolarmente problematiche (step 1.2; attività 1.2.4).

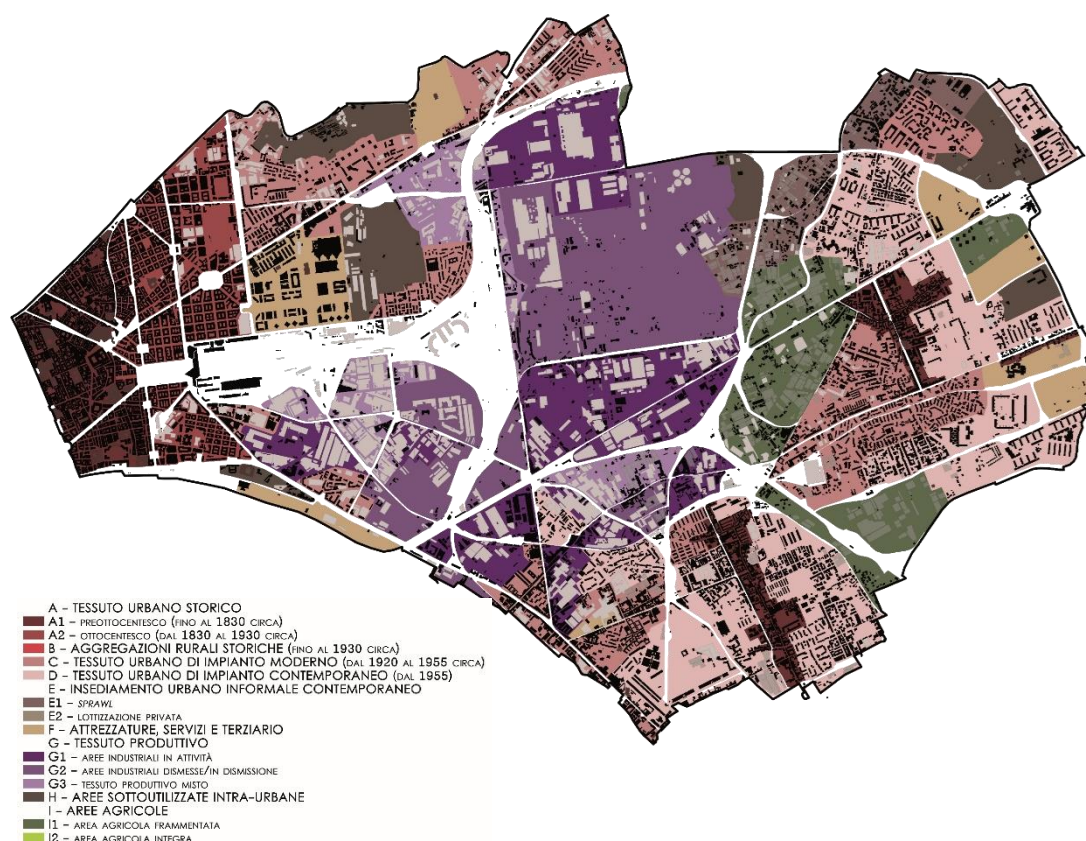
Tra le diverse mappe conoscitive realizzate, la più rilevante ai fini della restituzione dei risultati connessi alle carte di vulnerabilità è quella relativa agli ambiti urbani omogenei (fig. 41)<sup>84</sup>. A partire da una serie di parametri quali tipologia edilizia, tipologia costruttiva, epoca di costruzione, tipologia dei tracciati viari, funzioni prevalenti, densità del costruito e limiti infrastrutturali e fisici (ferrovie, rilevati stradali, etc.) sono stati perimetrati degli ambiti omogenei in grado di restituire una lettura morfologico-insediativa dell'area studio. Ciò ha consentito, successivamente, di rappresentare i risultati relativi alla vulnerabilità non semplicemente per poligono edificio ma, in maniera aggregata, per ambito, così da individuare le parti di città più vulnerabili e correlarle a determinati caratteri insediativi.

La costruzione del modello di valutazione (step 1.3), in base al quale sono stati calcolati gli indicatori esposti nel seguito, è stata già esposta nel capitolo 4.

---

<sup>84</sup> La carta è stata realizzata nell'ambito del corso di Progettazione Tecnologica Ambientale tenuto dal prof. arch. M. Losasso all'interno del corso di Laurea in Pianificazione Territoriale, Urbanistica, Paesaggistica-Ambientale (PTUPA), a.a. 2015-2016 (tutor: L. Ambrosini, C. Aprea, R. Scognamiglio). La perimetrazione degli ambiti è stata realizzata dagli studenti: Cardella C., Fasano A., Zucconi A., Pengue C., Zerella F., Stella S., Longobardi M., Ferramosca G., Prisco C., Spera S., Orefice R., Ambrosone R., Colarusso D., De Diego S.

Figura 41. Ambiti urbani omogenei



### 6.2.2 Eseguire e presentare la valutazione: risultati

La fase di esecuzione della valutazione oltre al calcolo degli indicatori, da effettuare secondo quanto già indicato nelle schede di sintesi (sotto-par. 4.2.3), comprende anche uno step relativo alla valutazione della vulnerabilità intrinseca dei sottosistemi (step II.2) articolato nelle attività di pesatura e aggregazione degli indicatori.

La sperimentazione ha previsto l'**attribuzione** di specifici pesi a ciascun indicatore (attività II.2.1), stabiliti con l'ausilio di una conoscenza esperta, i quali sono rappresentativi del contributo fornito alla vulnerabilità intrinseca del sottosistema (tab. 30).

Tabella 30. Pesi attribuiti agli indicatori di vulnerabilità

FENOMENO METEO-CLIMATICO	SOTTO-SISTEMI	INDICATORE DI VULNERABILITÀ	PESO
<i>Pluvial flood</i>	Edifici	Rapporto di copertura	1
		Percentuale di edificio su marciapiede	4
		Usi piani terra	5
		Tipologia di copertura	2
	Spazi aperti	Superficie spazi aperti	2
		Permeabilità dei suoli	4

	Capacità di smaltimento del sistema fognario	5
	Grado di manutenzione del sistema fognario	3
Popolazione	Densità di popolazione	2
	Fasce deboli	3
	Capacità attrattiva	1

La successiva **aggregazione** degli indicatori (attività II.2.2) è avvenuta attraverso l'utilizzo di una semplice media ponderata. Definiti con  $I_n$  gli indicatori e con  $w_n$  i relativi pesi, la vulnerabilità intrinseca ( $V_i$ ) di ciascun sottosistema è ottenuta attraverso la formula seguente:

$$V_i = \frac{I_1 \times w_1 + I_2 \times w_2 + \dots + I_n \times w_n}{\sum_1^n w}$$

#### 4.2.3.4 Edifici

La carta tematica in figura 42 evidenzia una prevalenza di edifici con vulnerabilità 2 (Medio-alta) e 3 (Media) nelle zone occidentale e centrale dell'area di studio; al contrario, nella zona orientale persistono in maggioranza edifici con vulnerabilità 4 (Medio-bassa). Dall'istogramma si evince che il 65% degli edifici nell'area di studio ha vulnerabilità Alta, Medio-alta o Media e solo il 34% degli edifici ha vulnerabilità trascurabile.

Inoltre, solo per il sottosistema "Edifici", i risultati sono stati rappresentati anche in relazione agli ambiti urbani omogenei, al fine di individuare il livello di vulnerabilità critico connesso ad aree urbane contraddistinte da particolari caratteristiche tipo-morfologiche.

Si sintetizza per ambito urbano omogeneo la percentuale di edifici con vulnerabilità non trascurabile pari a: 1- Alta, 2-Medio-alta, 3-Media. Dalla figura 43 emerge che la maggioranza di edifici con vulnerabilità intrinseca al *pluvial flood* non trascurabile è presente nell'ambito "C - tessuto urbano di impianto moderno - dal 1920 al 1955 circa" (29%) e "D - tessuto urbano di impianto contemporaneo - dal 1955 (22%). Anche per i tessuti urbani A1 - preottocentesco (15%) e A2 - ottocentesco (12%) la percentuale di edifici con vulnerabilità intrinseca non trascurabile supera il 10%.



Figura 42. Vulnerabilità intrinseca sottosistema "Edifici"

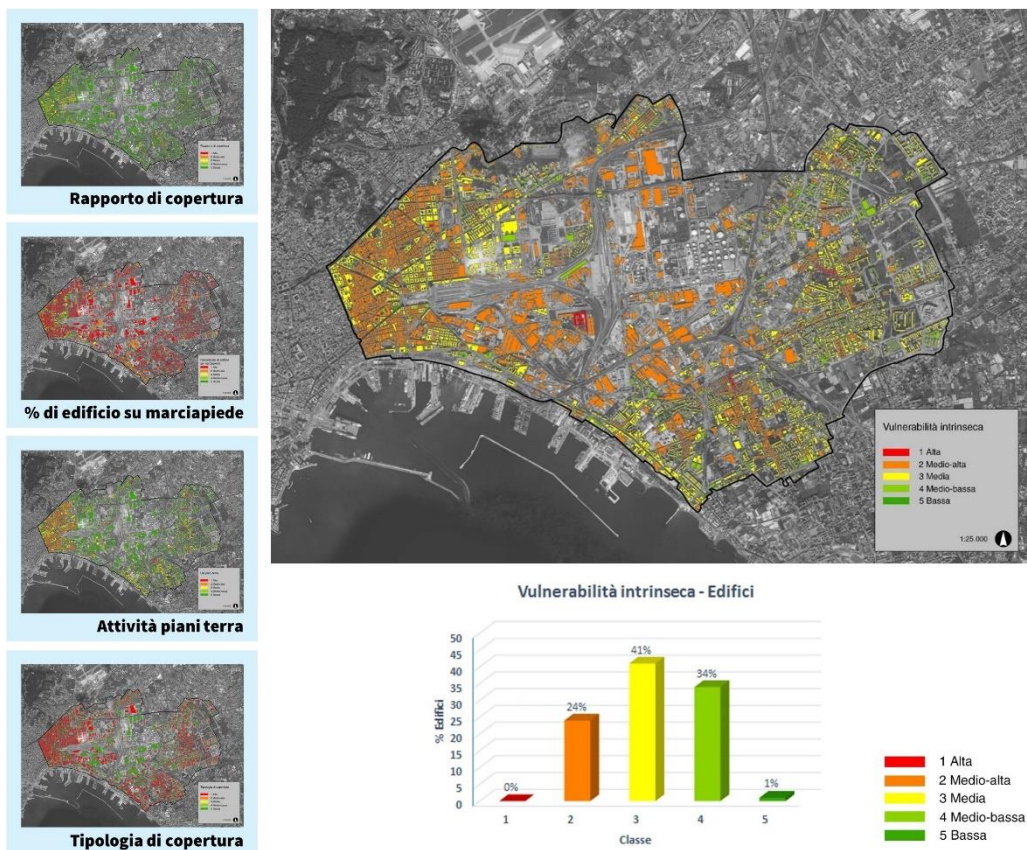
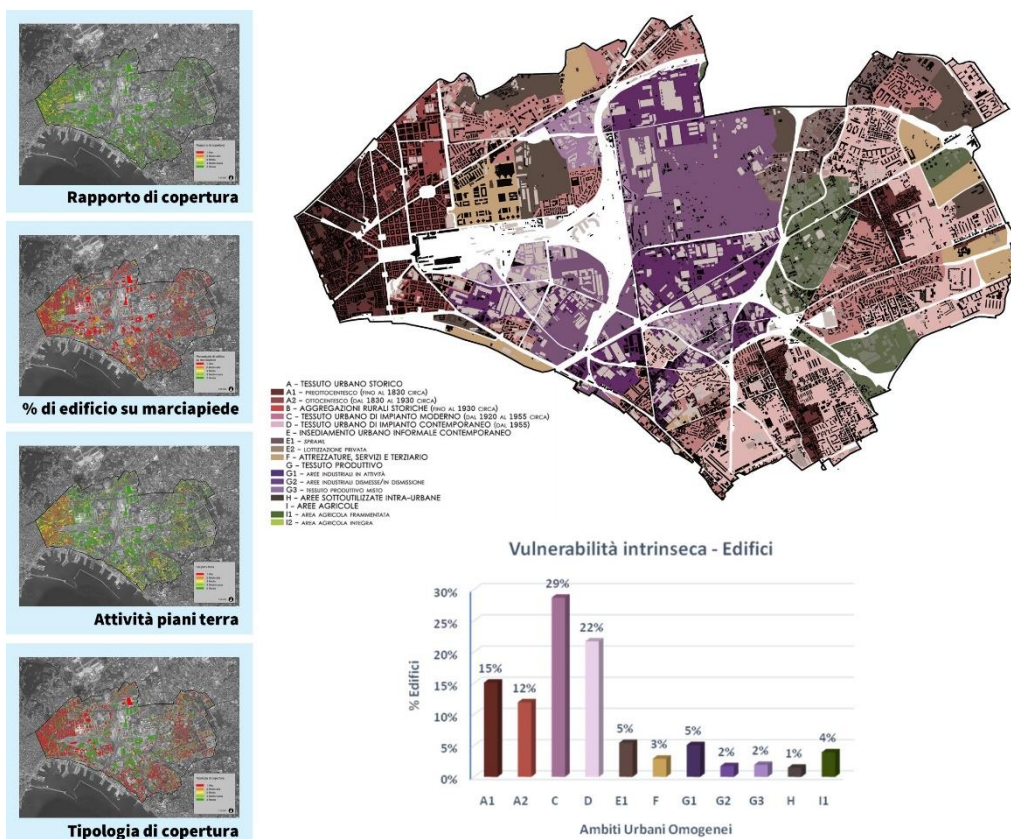


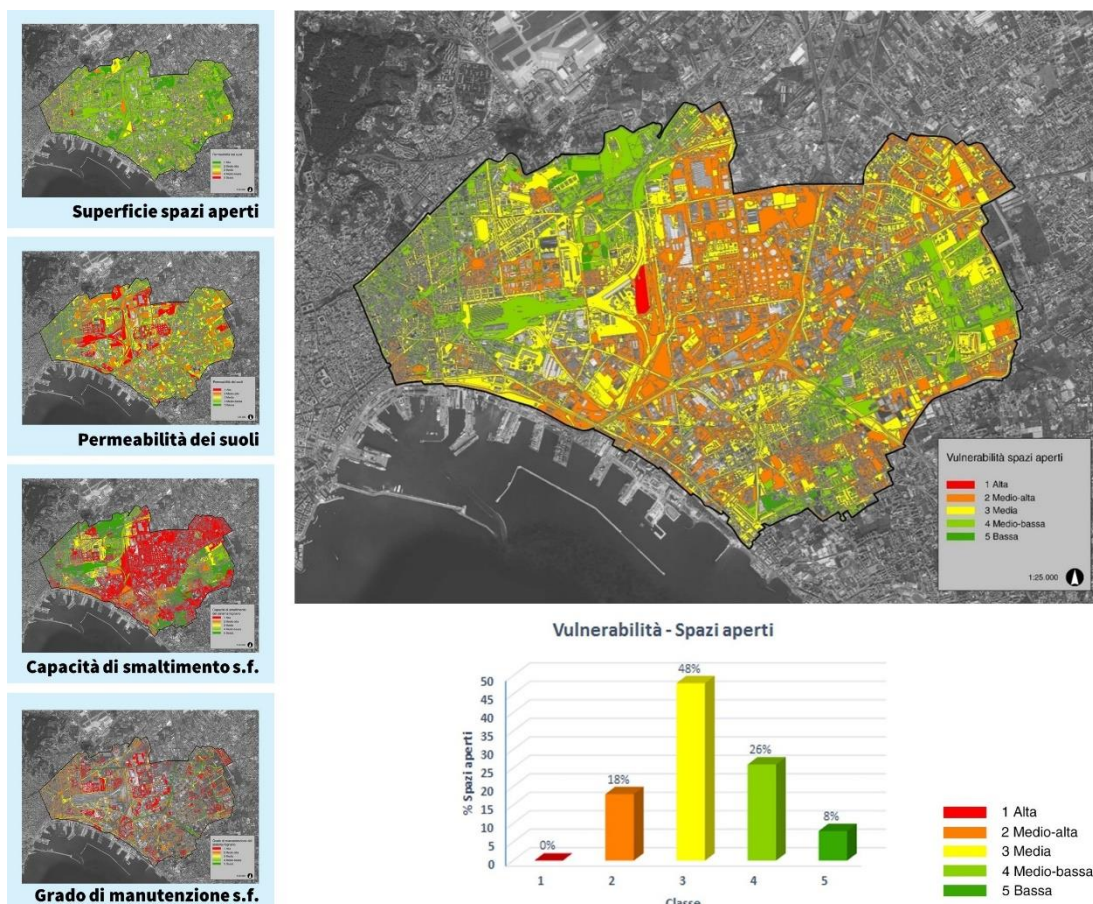
Figura 43. Vulnerabilità intrinseca sottosistema "Edifici" per Ambiti Urbani Omogenei



4.2.3.5 Spazi aperti

Dalla carta tematica e dal relativo istogramma in fig. 44, si evince che la vulnerabilità degli spazi aperti è classificata prevalentemente nella classe 3 (Media), rappresentativa quindi di una condizione intermedia per quel che riguarda la vulnerabilità connessa alle caratteristiche fisiche degli spazi aperti in relazione ai fenomeni di *pluvial flood*.

Figura 44. Vulnerabilità intrinseca sottosistema “Spazi aperti”



▪ Capacità di smaltimento del sistema fognario

Come già anticipato nel capitolo 4 (sotto-par. 4.2.2.1), si esplicitano le cinque fasi di esecuzione del calcolo dell'indicatore “Capacità di smaltimento del sistema fognario” sull'area studio di Napoli est: 0) Pre-processing dei dati di input; 1) Perimetrazione dei bacini scolanti; 2) Elaborazione della portata delle condotte  $Q_c$ ; 3) Elaborazione della portata pluviale  $Q_p$ ; 4) Calcolo dell'indicatore S-CFOG.

In relazione alla prima fase di *pre-processing*, la prima attività condotta sull'area studio ha riguardato la perimetrazione dei bacini scolanti, propedeutica al calcolo delle caratteristiche e dell'indicatore. Al fine di procedere con la perimetrazione, i primi dati di input acquisiti ed elaborati sono l'altimetria, l'edificato e la rete fognaria.

L'**altimetria**, ovvero la determinazione dell'altezza dei punti del suolo rispetto al livello del mare, è elaborata a partire dall'acquisizione dei punti quotati presenti nella CTR della Regione Campania (edizione 2004-2005) fornita in formato .dwg. I suddetti punti, presenti nel

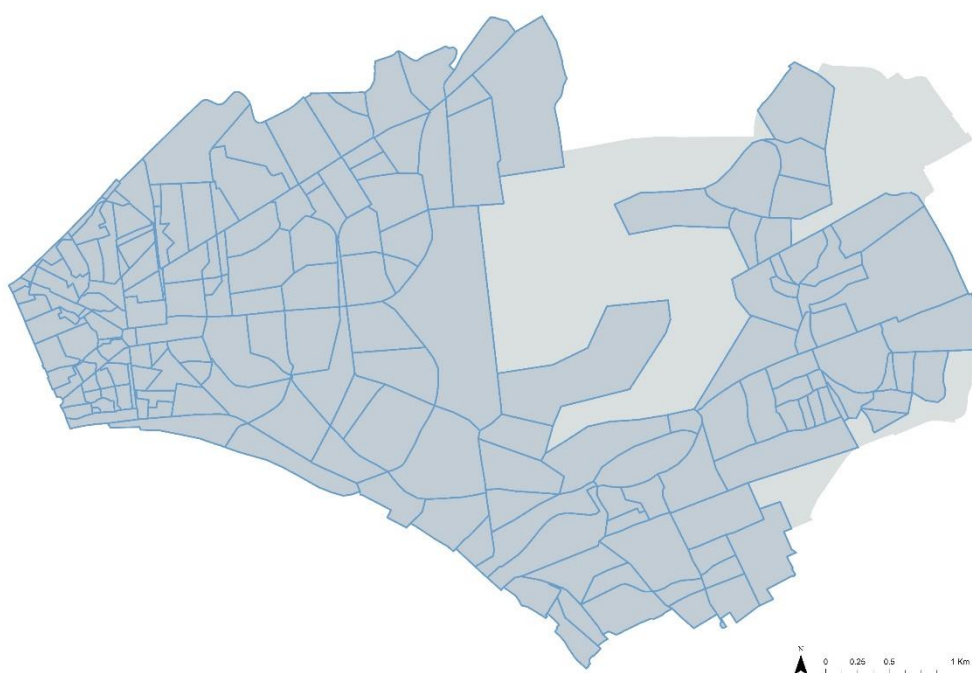


.dwg come *annotation*, sono stati importati in ambiente GIS per la creazione di uno *shapefile* puntuale da utilizzare per l'elaborazione dell'altimetria. Mediante operazioni di interpolazione spaziale dei punti (*kriging*) si ottiene il raster dell'altimetria (DTM – *Digital Terrain Model*), da cui sono state generate le curve di livello (5 m) allo scopo di facilitare la visualizzazione delle direzioni di massima pendenza del suolo.

L'**edificato** considerato per la perimetrazione dei bacini è ottenuto estraendo i tematismi dal DTR secondo quanto già esposto nel sotto-par. 6.2.1 in relazione all'unità di misurazione "edificio" (classe "020102 – Edificio" e classe "020106 – Edificio minore").

La **rete fognaria** è costruita in ambiente GIS a partire dall'importazione della relativa carta in formato .dwg fornita dal Comune di Napoli. Nel processo di conversione, è stato necessario creare una tabella in cui ad ogni tratto fossero associati 'n' campi contenenti i rispettivi dati relativi alla geometria (altezza, larghezza), alla tipologia di sezione (circolare, rettangolare, ovoidale) e alle quote (cielo e fondo fogna) rilevati in uno o più punti per ciascun tratto. Per tali dati, che nel file originale sono associati a ciascun tratto della rete sotto forma di *annotation*, non è stato possibile effettuare un'associazione automatica; pertanto, allo scopo di ottenere in ambiente GIS una carta della rete fognaria cui fossero attribuiti i dati corretti tratto per tratto, si è proceduto all'associazione manuale dei dati per ciascun tratto della rete presente nell'area studio. Per quanto riguarda il dato relativo alla direzione del flusso, restituito nel .dwg mediante il simbolo freccia posto sul tratto, non è stato possibile creare un campo apposito: tale dato è stato considerato nella perimetrazione dei bacini secondo un approccio di tipo "visivo", lavorando contemporaneamente sulla carta originale e su quella risultante dalla conversione. Predisposti i dati, si è proceduto alla perimetrazione esposta in fig. 45, da cui emerge il mancato asservimento di alcune aree, che risultano completamente sprovviste di rete pluviale nonostante la presenza di alcune aree residenziali.

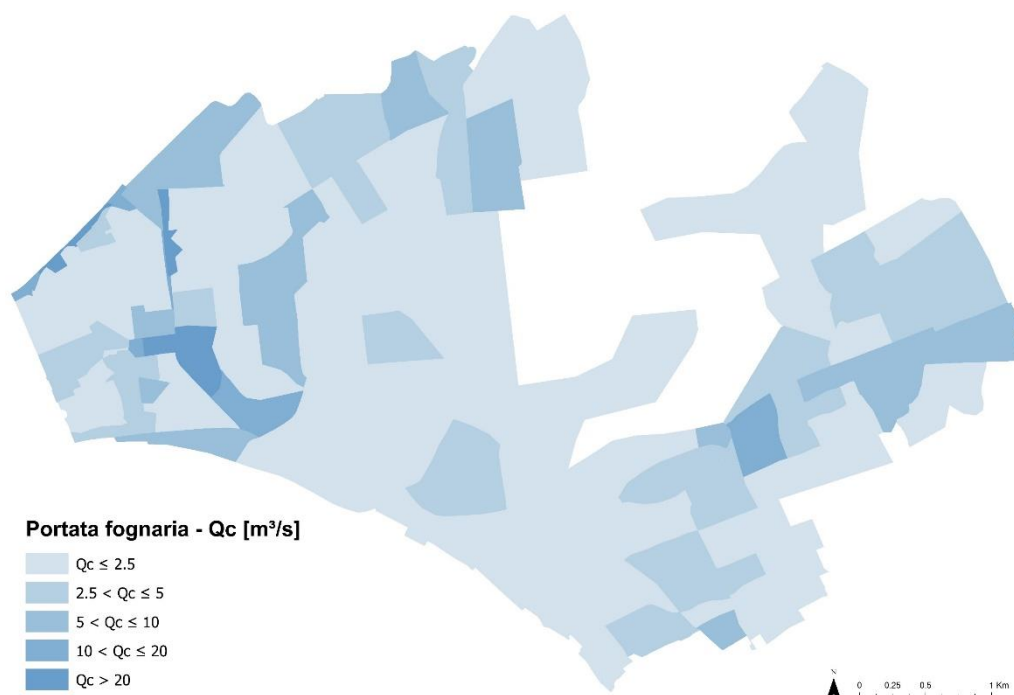
Figura 45. Bacini scolanti individuati nell'area studio





La rete fognaria già utilizzata per i bacini è stata adoperata anche per il calcolo della portata delle condotte  $Q_c$  (fig. 46). I dati geometrici necessari al calcolo di tale caratteristica (altezza, larghezza) sono già presenti nel database precedentemente creato; in aggiunta, per il dato di **pendenza** è stato creato un nuovo campo risultante dal calcolo del rapporto tra dislivello e lunghezza del tratto. Il dislivello è ottenuto dalla differenza tra quota massima e minima rilevata all'inizio e alla fine di ciascun tratto, mentre la lunghezza è calcolata direttamente in ambiente GIS attraverso la creazione di un apposito campo.

Figura 46. Portata delle condotte per poligono bacino scolante



I dati necessari al calcolo della portata pluviale  $Q_p$  sono: coefficiente di afflusso, intensità di pioggia e area del bacino scolante. Il **coefficiente di afflusso** è attribuito a ciascuna superficie rilevata nell'area studio a partire dai valori presenti in letteratura (ad es., RIE Bolzano), alcuni dei quali utilizzati anche per il calcolo dell'indicatore "Permeabilità dei suoli". Dalla carta di *Landcover*, elaborata a partire dalle immagini satellitari Rapideye e Pleyades, sono state ricavate le classi di copertura del suolo, successivamente raggruppate in 5 classi, per ognuna delle quali è stato ipotizzato un valore medio del coefficiente secondo quanto esposto nell'allegato 2. Il valore del coefficiente utilizzato per il calcolo di  $Q_p$  è attribuito al poligono bacino scolante ed è ottenuto dalla media dei valori attribuiti alle superfici presenti nella *Landcover*. La media dei valori di coefficiente di afflusso è pesata rispetto all'area della superficie ricadente (totalmente o parzialmente) all'interno del poligono bacino.

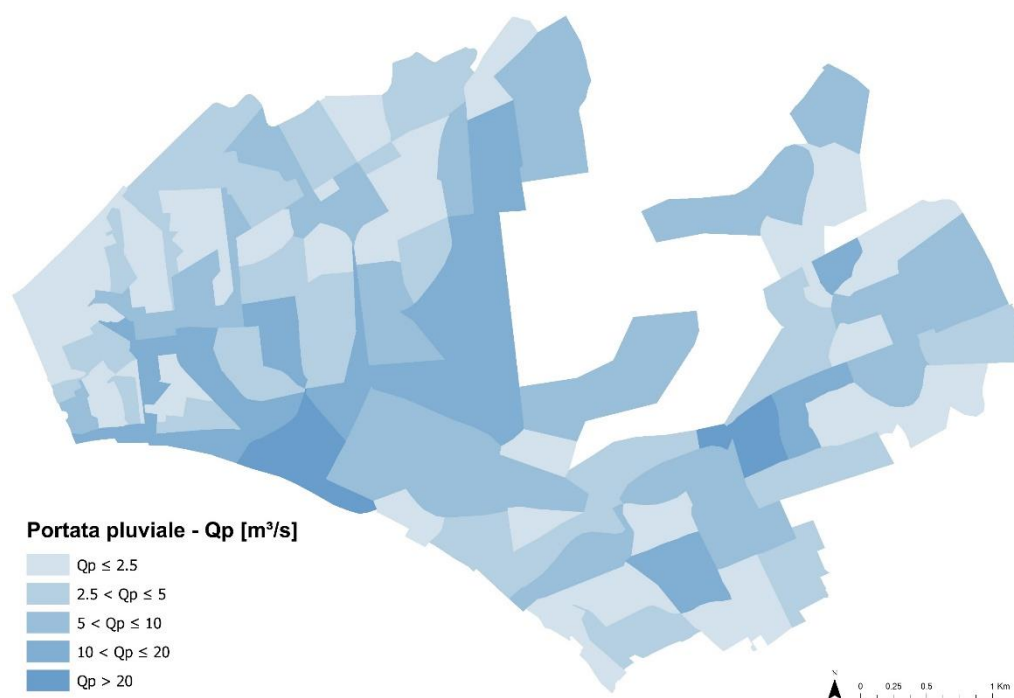
L'**intensità di pioggia** utilizzata per il calcolo deriva da un processo abbastanza complesso di elaborazione di un set di dati di pioggia relativi ad un periodo di riferimento di 30 anni. Sono stati raccolti i dati relativi alle osservazioni pluviometriche giornaliere delle stazioni della rete di monitoraggio in tempo reale del Centro Funzionale Regionale denominate "Napoli Servizio

Idrografico” e “Napoli Capodichino” in relazione al trentennio 1971-2000<sup>85</sup>. I dati raccolti sono stati utilizzati per definire i futuri trend legati alle proiezioni simulate al 2100, ovvero per caratterizzare gli eventi di precipitazione estrema di grande intensità e breve durata con riferimento allo scenario sviluppato dall’IPCC denominato RCP 8.5<sup>86</sup> (IPCC, 2014). Tali eventi sono definiti attraverso la costruzione della curva di probabilità pluviometrica, che esprime la relazione statistica tra la massima altezza di pioggia (h) e la durata (d) per un assegnato periodo di ritorno ( $T_R$ ) dell’evento meteorico. La natura giornaliera dei dati disponibili ha reso necessaria una disaggregazione degli stessi (De Paola et al., 2014) per consentire la definizione di eventi meteorici di durata (D) pari a 10 e 30 minuti e 1, 3, 6 e 12 ore, con un periodo di ritorno ( $T_R$ ) di 2, 5, 10, 30, 50 e 100 anni. In relazione al fenomeno oggetto di studio, ovvero *pluvial flood* derivante da eventi di precipitazione brevi ma intensi, ai fini del calcolo dell’indicatore è stato considerato l’evento meteorico con D pari a 10 minuti e  $T_R$  pari a 2 anni. Ovviamente, è possibile ricalcolare l’indicatore anche con altri valori di intensità relativi ad eventi con durate e tempi di ritorno differenti.

L’**area del bacino** scolante è calcolata direttamente in ambiente GIS attraverso la creazione di un apposito campo.

Predisposti tutti i dati di input, è stata elaborata la caratteristica di portata pluviale per poligono bacino scolante (fig. 47).

Figura 47. Portata pluviale per poligono bacino scolante



<sup>85</sup> Dati raccolti dagli Annali Idrologici elaborati dall’Ufficio Idrografico e Mareografico di Napoli.

<sup>86</sup> Le proiezioni climatiche ad alta risoluzione sono state sviluppate nell’ambito del progetto METROPOLIS dall’istituto CMCC – Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, mediante l’utilizzo del Modello Regionale Climatico (RCM) COSMO-CLM.

Le caratteristiche sono state successivamente adoperate per l'ultima fase di calcolo dell'indicatore per poligono bacino scolante (fig. 48), i cui valori sono stati infine attribuiti ai poligoni spazio aperto (fig. 49).

Figura 48. Capacità di smaltimento del sistema fognario per poligono "Bacino scolante"

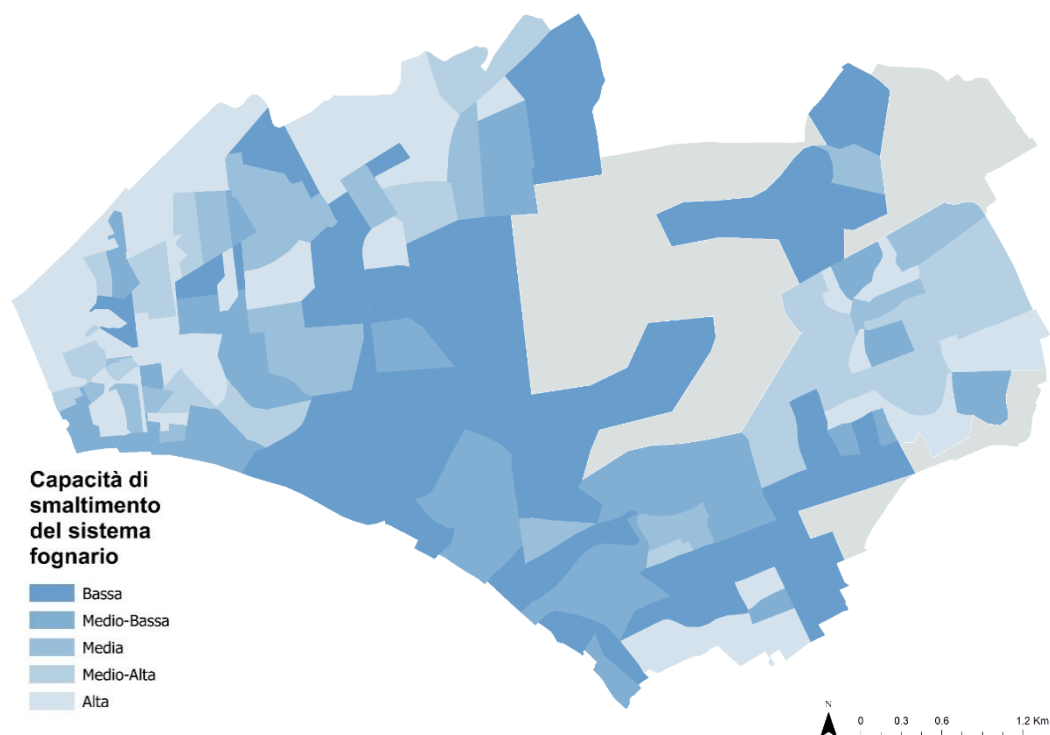


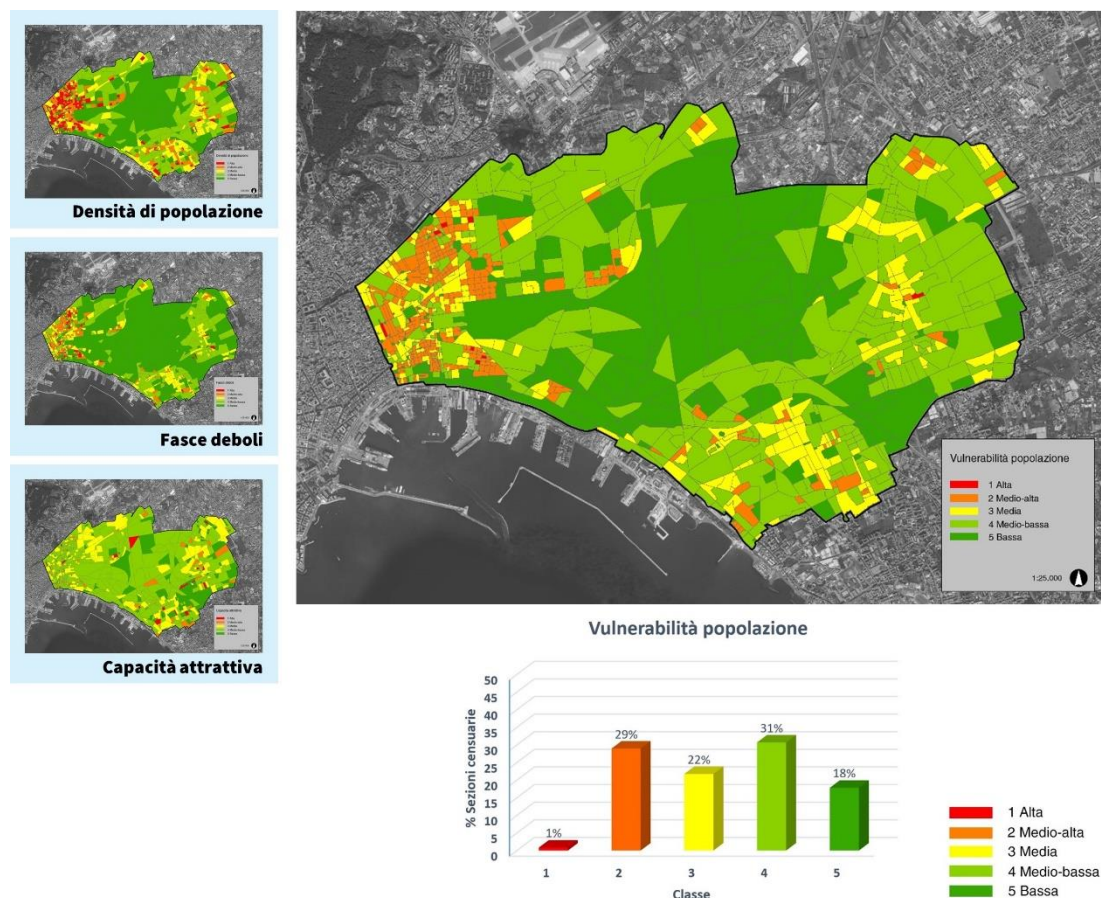
Figura 49. Capacità di smaltimento del sistema fognario per poligono "Spazio aperto"



4.2.3.6 *Popolazione*

La carta tematica e il relativo istogramma evidenziano una prevalenza di sezioni di censimento con vulnerabilità della popolazione classificata prevalentemente nelle classi 2 (Medio-alta) e 4 (Medio-bassa). Dalla carta si evince che circa il 90% delle sezioni con classe 2 sono concentrate nella parte occidentale dell'area studio, mentre le sezioni con classe 4 sono presenti in maniera pressoché diffusa su tutta l'area studio, ad eccezione della parte centrale, con una prevalenza di sezioni con classe 5 (bassa), corrispondenti in gran parte all'area ex-raffinerie (ambito 13), all'area ferroviaria e a zone industriali.

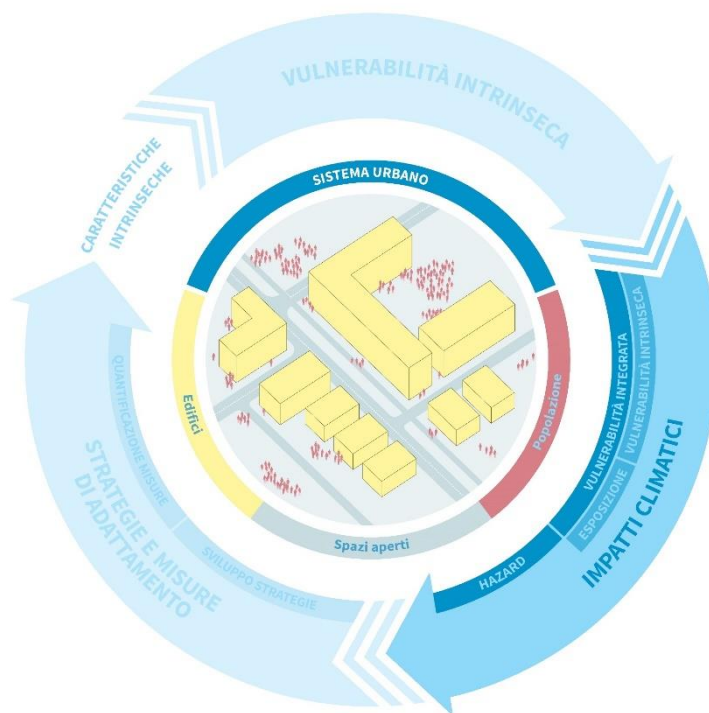
Figura 50. *Vulnerabilità intrinseca sottosistema "Popolazione"*





### 6.3 La valutazione degli impatti del *pluvial flood*

Figura 51. Framework concettuale: impatti



Come riportato nel paragrafo 4.3, nell’ambito della ricerca è stato sperimentato un processo per la valutazione degli impatti basato sull’approccio IPCC AR5. Lo scenario di impatto al *pluvial flood* è realizzato con riferimento al sottosistema “Edifici”. L’area studio non risulta interessata da fenomeni di inondazione tali da causare il crollo degli edifici o la morte della popolazione (se non in casi eccezionali): di conseguenza, si valuta l’impatto connesso alla perdita di beni e proprietà ubicate ai piani terra, indipendentemente dalla destinazione d’uso cui fanno riferimento (residenziale, commerciale, servizi, etc.). Pertanto, l’impatto è valutato in relazione ai poligoni edificio, mentre le entità spaziali che rientrano nella valutazione degli impatti sono sia gli edifici sia gli spazi aperti circostanti l’edificio.

Per la realizzazione della carta si parte dall’individuazione e dalla messa in relazione di una serie di parametri significativi: vulnerabilità integrata del sistema urbano (data dal fattore di esposizione costituito dal numero di unità occupate ai piani terra per unità di superficie, dalla vulnerabilità intrinseca degli edifici e dalla vulnerabilità intrinseca media degli spazi aperti intorno agli edifici) e scenario di *hazard* (concentrazione delle chiamate di soccorso). Ciascuno di essi deve essere normalizzato e reso omogeneo agli altri al fine di consentirne la successiva aggregazione. L’obiettivo finale è la quantificazione dell’impatto (su una scala da uno, più grave, a cinque, meno grave) provocato dai fenomeni di *pluvial flood* sulla totalità degli edifici localizzati nell’aria orientale di Napoli, in particolare sui piani terra degli stessi.

La vulnerabilità valutata nel sotto-par. 6.2 concorre insieme all’esposizione alla valutazione della **vulnerabilità integrata**. A tal proposito, si associano i valori di vulnerabilità intrinseca

degli edifici con i valori di vulnerabilità intrinseca degli spazi aperti intorno agli edifici e di esposizione. I parametri necessari alla valutazione fanno riferimento ad entità spaziali differenti, per cui, al fine di analizzare il fenomeno a livello del singolo edificio, è stato necessario attribuire le informazioni di vulnerabilità intrinseca degli spazi aperti ai poligoni “Edificio” mediante un’operazione di analisi spaziale in ambiente GIS.

Ad ogni poligono edificio è assegnata la vulnerabilità media degli spazi aperti che circondano l’edificio, calcolata considerando un’area circolare di raggio pari a 100 metri centrata nell’edificio. La vulnerabilità degli spazi aperti assegnata agli edifici è calcolata come media pesata, dove il peso è rappresentato dal rapporto tra l’area dello spazio aperto incluso nella superficie circolare e l’area della superficie circolare stessa.

Per quanto riguarda l’esposizione, nella sperimentazione sono stati considerati come valore esposto le unità occupate poste ai piani terra degli edifici, valutate per unità di superficie.

Ottenuti i tre indicatori (vulnerabilità intrinseca edifici - ViE, vulnerabilità intrinseca media spazi aperti associata a ciascun poligono edificio – ViSP e esposizione - ESP) si stabiliscono le condizioni per l’assegnazione del valore relativo alla vulnerabilità integrata VI (tab. 31).

Tabella 31. Parametri per il calcolo della vulnerabilità integrata

ViE	ViSP	ESP	VI
<3	<3	<3	1
<3	>=3	<3	2
<3	<3	>=3	2
<3	>=3	>=3	3
>=3	<3	<3	3
>3	>=3	<3	3
3	>=3	<3	3
3	<3	>=3	3
>3	<3	>=3	4
3	>=3	>=3	4
>3	>=3	>=3	5

Per quanto riguarda l’**hazard**, esso viene analizzato in relazione alla concentrazione delle chiamate di soccorso effettuate<sup>87</sup>. Esso è stato ottenuto a partire dalle segnalazioni fornite dall’ufficio della Protezione Civile del comune di Napoli (relative ad uno specifico arco temporale) per l’intera città di Napoli. Opportunamente normalizzate, le singole chiamate

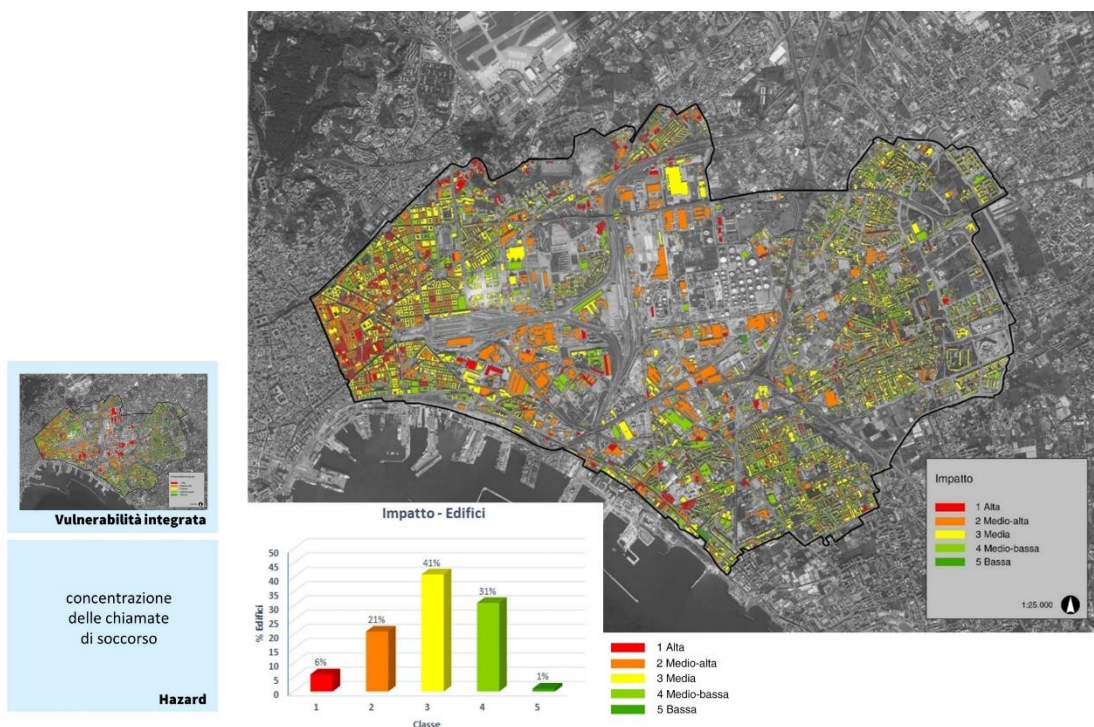
<sup>87</sup> Non è stato possibile utilizzare come dato di *hazard* il valore di FHR descritto nel sotto-par 4.3.2 in quanto l’attribuzione dei valori delle singole celle del raster prodotto dalla simulazione ai poligoni spazio aperto mediante una media effettuata sull’area dell’intero poligono ha restituito un “appiattimento” dei valori di FHR. Il risultato di tale operazione ha restituito valori di FHR ricadenti tutti nella classe di pericolosità bassa, per cui l’*hazard* calcolato in questo modo non ha alcuna incidenza sul calcolo degli impatti. A tal proposito, si sta attualmente lavorando ad un altro processo in grado di utilizzare i valori di FHR reali.

sono state geo-localizzate sul grafo stradale al fine di individuare (attraverso la funzione di *kernel density*) le aree dove le stesse si concentrano maggiormente, e distribuire il valore sui singoli edifici mediante un'operazione di intersezione.

Ottenute le componenti di vulnerabilità integrata e *hazard*, e stabilita una tabella di condizioni per l'assegnazione del valore, si ottiene la carta relativa allo **scenario di impatto** al *pluvial flood* sugli edifici residenziali (fig. 52), basata sulla considerazione che più sono bassi (peggiori) i valori di vulnerabilità e di concentrazione delle chiamate, più sono bassi i valori relativi ai piani terra degli edifici. La carta dello scenario di impatto mostra una presenza di edifici con classe di impatto Alta soprattutto nella zona ovest dell'area di studio. Questo risultato è dovuto principalmente alla frequenza molto elevata, in questa zona, di segnalazioni fornite dall'ufficio della Protezione Civile del comune di Napoli. Edifici con classi di impatto prevalentemente Medio-Alta e Media sono presenti anche nella zona centrale dell'area di studio; essi sono prevalentemente edifici industriali con una elevata esposizione.

Dall'istogramma si evince che lo scenario di impatto, è classificato prevalentemente tra i valori 3 (Media), 4 (Medio-bassa), in misura, rispettivamente del 41% e del 31% degli edifici. È importante evidenziare che il 68% degli edifici è classificato con classi di impatto non trascurabile: Alta (6%), Medio-Alta (21%) e Media (41%); essi sono prevalentemente collocati nella zona occidentale e centrale dell'area di studio.

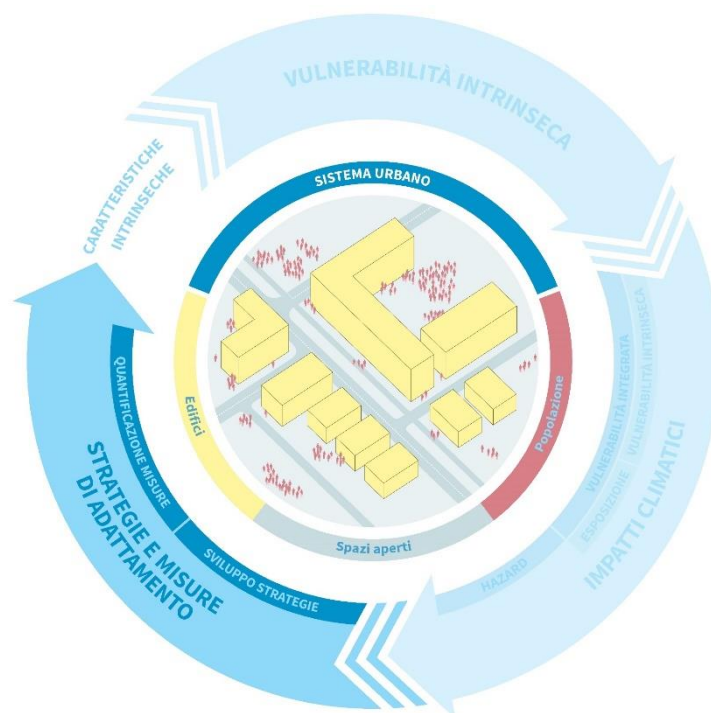
Figura 52. Impatti del *pluvial flood* sul sottosistema edifici





## 6.4 L'adattamento per la riduzione della vulnerabilità e degli impatti

Figura 53. Framework concettuale: strategie e misure di adattamento



### 6.4.1 Criteri di selezione delle soluzioni adattive

Allo scopo di testare l'applicazione delle soluzioni contenute nel database (par. 5.2) e soprattutto il loro contributo in termini di riduzione degli impatti, è stata effettuata una sperimentazione nell'area di Napoli Est. La sperimentazione consiste nell'individuare per gli edifici e gli spazi aperti un set di soluzioni, ossia la combinazione di una o più soluzioni appartenenti a classi tecniche differenti in grado di apportare sensibili benefici in termini di riduzione della vulnerabilità intrinseca, e successivamente di quella integrata e quindi degli impatti al fenomeno di *pluvial flood*.

La prima attività è stata quella di stabilire alcuni criteri con i quali guidare la scelta del set di soluzioni da applicare a ciascun edificio e spazio aperto, in quanto si potrebbero seguire diverse strade. È possibile applicare una stessa soluzione (o uno stesso set di soluzioni) su tutti gli edifici, e uno stesso set per tutti gli spazi aperti, allo scopo di determinare lo scenario di riduzione massimo ottenibile con quella specifica soluzione (o set di soluzioni) e reiterare, poi, il processo per altre soluzioni (o set di soluzioni), in modo da poter fare un confronto tra diversi scenari. Oppure si potrebbe, invece, decidere di porre come criterio guida il raggiungimento della migliore classe di vulnerabilità intrinseca (classe 5) per ciascun edificio e/o spazio aperto, combinando l'utilizzo di tante soluzioni quante ne risultano necessarie per ottenere tale obiettivo. In questo modo sarebbe possibile individuare quei set di soluzioni necessari per determinare la riduzione di vulnerabilità potenziale di edifici e spazi aperti, indipendentemente dalla fattibilità economica o tecnica degli interventi stessi.

Tuttavia, aldilà dell'importanza dei livelli prestazionali che una soluzione offre rispetto ad un'altra, gli aspetti tecnici, normativi, sociali ed economici rappresentano dei limiti reali e, molto spesso invalicabili, nei processi di trasformazione dell'esistente. Di conseguenza, nella sperimentazione si è deciso di tenere conto di tali limiti, individuando dei criteri in base ai quali privilegiare l'applicazione di determinate soluzioni rispetto ad altre.

Infatti, non tutte le soluzioni tecniche individuate possono essere applicate in maniera indiscriminata su ciascuno degli edifici o degli spazi aperti del caso studio (dipendenza dal contesto tecnico e normativo specifico); una stessa soluzione, applicata su edifici o spazi aperti con caratteristiche iniziali diverse, non avrà la stessa incidenza sulla riduzione della vulnerabilità intrinseca (dipendenza dalle caratteristiche iniziali); la stessa riduzione di vulnerabilità, su uno specifico edificio e/o spazio aperto, può essere raggiunta applicando set di soluzioni diversi, che presentano però diversi livelli di fattibilità tecnica ed economica.

Valutate le diverse opzioni, dunque, si è deciso di individuare i seguenti **criteri di selezione** come base per la scelta del set di soluzioni:

- Valutazione delle caratteristiche iniziali dell'edificio/spazio aperto (ossia individuazione degli indicatori e delle classi tecniche su cui agire in maniera prioritaria). Edifici e spazi aperti anche se caratterizzati, nello stato di fatto, dallo stesso livello di vulnerabilità intrinseca, presentano tuttavia valori diversi dei singoli indicatori. In questo senso quindi l'applicazione di soluzioni che massimizzano le prestazioni degli indicatori più "deboli" possono determinare un contributo maggiore nella riduzione della vulnerabilità maggiore rispetto ad altre soluzioni. Inoltre, siccome non tutti gli indicatori hanno lo stesso peso nella determinazione della vulnerabilità intrinseca, scegliere soluzioni che agiscono su quelli caratterizzati da un maggior peso può determinare un'incidenza maggiore rispetto ad altre soluzioni.
- Compatibilità delle soluzioni con i vincoli specifici. A seconda dello specifico contesto che caratterizza un edificio o uno spazio aperto, non sempre una soluzione è applicabile tout court. Una fase molto importante è consistita dunque nel definire i vincoli, prevalentemente di natura tecnica e normativa, da tenere in considerazione per una verifica preliminare dell'applicabilità di una specifica soluzione in un determinato contesto. I vincoli individuati (tra cui rientrano, a titolo di esempio, la compatibilità con la presenza di vincoli storici e/o paesaggistici, con le tipologie di tessuti urbani, etc.) sono pensati ovviamente per le caratteristiche peculiari del patrimonio edilizio e del tessuto urbano di Napoli est, e sono stati articolati nelle due categorie "Edifici" e "Spazi Aperti" (tab. 32).

Tabella 32. Elenco dei vincoli per i sottosistemi "Edifici" e "Spazi Aperti"

SOTTOSISTEMA	CHECKLIST COMPATIBILITÀ
Edifici	Compatibilità con vincolo storico
	Compatibilità con vincolo paesaggistico

	Compatibilità con interventi sull'esistente Compatibilità con copertura piana Compatibilità con copertura inclinata Compatibilità con tecnica in muratura Compatibilità con tecnica in c.a. e tufo Compatibilità con tecnica in c.a. e laterizio Compatibilità con tecnica in c.a. e pannelli in c.a. Compatibilità con tecnica in acciaio e pannelli in c.a. Compatibilità con edifici sprovvisti di spazi aperti pertinenze, locali tecnici e/o piani interrati
Spazi aperti	Compatibilità con tessuto urbano preottocentesco (A1) Compatibilità con tessuto urbano ottocentesco (A2) Compatibilità con tessuto urbano di impianto moderno (C) Compatibilità con tessuto urbano di impianto contemporaneo (D) Compatibilità con sprawl (E1) Compatibilità con aree per infrastrutture, servizi e terziario (F) Compatibilità con tessuto produttivo (G1, G2, G3) Compatibilità con aree sottoutilizzate (H) Compatibilità con aree agricole frammentate (I1) Compatibilità con sede stradale <7 mt Compatibilità con corti e/o cortili interni Compatibilità con spazi aperti pertinenziali

Per ciascuna soluzione tecnica, si è quindi provveduto a stabilire la compatibilità o meno con i vincoli definiti, attraverso una checklist del tipo SI/NO. Infine, per le soluzioni che hanno come sottosistema target gli “Spazi Aperti”, oltre alla checklist di compatibilità, si è provveduto anche a definire, in relazione a ciascun ambito urbano omogeneo ed alla tipologia di spazio aperto, la percentuale massima di applicabilità di ciascuna soluzione (tab. 33).

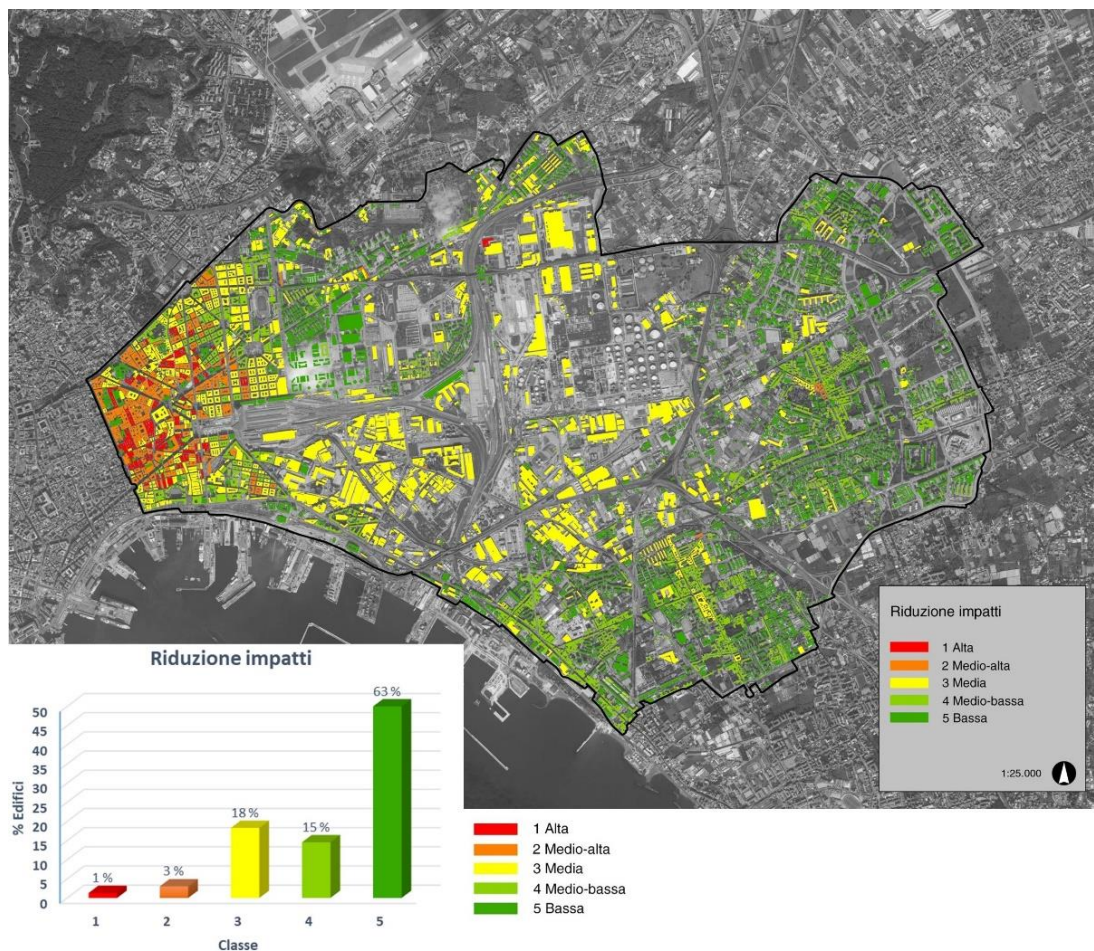
Tabella 33. Percentuale massima di applicabilità di ciascuna soluzione tecnica

Soluzione tecnica	Tutte le tipologie di spazio aperto tranne area stradale				Area stradale	
	Ambiti Urbani Omogenei				Ambiti Urbani Omogenei	
	A1	A2	C-D-E	F-G-H-I	A1-A2	C-D-E-F-G-H-I
Aree verdi	15%	30%	45%	60%	-	-
Filari di alberi	15%	30%	45%	60%	-	-
Aggregati naturali	-	30%	45%	60%	-	-
Pavimentazioni a giunto aperto	30%	50%	70%	100%	-	-
Pavimentazioni a giunto aperto inerbito	-	-	70%	100%	-	-
Superfici porose	-	50%	70%	100%	-	70%
<i>Rain garden</i>	-	5%	8%	10%	-	-
Vasche e fontane	2%	3%	5%	6%	-	-
<i>Water squares</i>	-	10%	15%	20%	-	-

- Massimizzazione della riduzione della vulnerabilità;
- Minimizzazione del numero delle soluzioni. Si dà preferenza alle soluzioni più facilmente integrabili nell'organismo edilizio e già ampiamente sperimentate e ormai diffuse sul mercato edilizio. Dal momento che, come già accennato in precedenza, una stessa classe di vulnerabilità può essere raggiunta, il più delle volte, applicando differenti set di soluzioni, si è preferito, a parità di prestazione ottenibile, dare priorità a quelle soluzioni caratterizzate da una maggiore integrabilità con l'organismo edilizio (interventi meno invasivi) e da una più ampia diffusione sul mercato, e dunque di conseguenza anche da una minor incidenza economica.

Con riferimento al processo in fig. 39, a partire dal catalogo di soluzioni tecniche e dal database contenente le caratteristiche e i valori di vulnerabilità intrinseca di ciascun edificio e spazio aperto del caso studio, attraverso l'applicazione dei criteri di selezione delle soluzioni appena descritti, sono stati individuati i set di soluzioni calcolata la nuova vulnerabilità intrinseca. Il processo è stato applicato per determinare i set di soluzioni preferibili e i nuovi valori di ciascuna delle vulnerabilità intrinseche di edifici e spazi aperti. Esse sono state poi utilizzate per ricalcolo degli impatti secondo il processo già esposto nel paragrafo 6.3 (fig. 54).

Figura 54. Impatti del pluvial flood sul sottosistema edifici in seguito all'applicazione delle soluzioni adattive



## Conclusioni e prospettive future di ricerca

Gli effetti generati dal cambiamento climatico rappresentano una realtà evidente e non più trascurabile, che necessita di azioni concrete non solo per riparare ai danni causati dai fenomeni già avvenuti ma soprattutto per salvaguardare gli insediamenti umani da probabili eventi estremi futuri.

In ambito urbano, dove tali fenomeni hanno le ricadute più visibili, è necessario operare tenendo in considerazione non solo le alterazioni climatiche, ma in particolar modo i processi di evoluzione della città, del costruito e della popolazione, che sono già avvenuti e che potrebbero avvenire. L'incremento demografico e di consumo del suolo, la vetustà e obsolescenza del patrimonio edilizio, l'inadeguatezza delle reti infrastrutturali e impiantistiche si configurano come alcune delle principali cause di danno, rappresentando i fattori di maggiore vulnerabilità urbana che, senza un'opportuna programmazione delle azioni, sono destinate a peggiorare.

In relazione ai fenomeni di *pluvial flood*, l'eccessiva impermeabilità dei suoli, l'inefficienza della rete fognaria e il mancato riutilizzo delle acque meteoriche e reflue opportunamente trattate, comportano condizioni di discomfort ambientale importanti, che richiedono un'azione tempestiva al fine di evitare il perpetrarsi e il sovrapporsi di situazioni di rischio.

L'approccio tipico della Progettazione Ambientale consente di individuare strategie e azioni progettuali flessibili finalizzate alla riduzione la vulnerabilità del sistema costruito, che garantiscono la possibilità di intervenire nuovamente se le condizioni al contorno dovessero cambiare. In tale ottica, intervenendo sull'incremento della capacità adattiva è possibile prevedere misure a breve termine, capaci di fronteggiare il problema nell'immediato, e trasformative a lungo termine che, seppur con elevati sforzi, possono apportare maggiori benefici nel tempo e nello spazio.

I fondamenti teorici e gli strumenti pratici per operare secondo tale visione sono ampiamente disponibili a progettisti, pianificatori, decisori e abitanti; resta solo da maturare la consapevolezza riguardo l'importanza e l'urgenza di attivare processi adeguati per la realizzazione concreta di tali interventi. In tale ottica, è necessario un rafforzamento del processo di pianificazione, all'interno del quale la Progettazione Tecnologica e Ambientale può fornire un rilevante supporto alla comprensione delle interazioni sistema climatico-sistema urbano, sviluppando e gestendo le varie fasi di un processo di valutazione integrato che necessita di apporti pluridisciplinari. Tale contributo si rivela efficace solo all'interno di un processo strategico di pianificazione, che necessita di quattro fattori fondamentali: forte sostegno politico, coordinamento tra istituzioni e dipartimenti con competenze territoriali diverse, supporto dal mondo accademico e della ricerca e coinvolgimento *multi-stakeholder*.

Il coinvolgimento politico è essenziale per diverse ragioni, a partire dalla necessità di adottare leggi e norme specifiche che indirizzino lo sviluppo territoriale in relazione ai fenomeni di *pluvial flood*, le cui implicazioni sugli insediamenti urbani rappresentano una



tematica ormai non più emendabile dalle questioni urbane, architettoniche e infrastrutturali. L'impegno politico, pertanto, deve essere rivolto alla definizione di norme che indirizzino più consapevolmente le risorse, prevedendo fondi, finanziamenti e incentivi a sostegno degli interventi adattivi locali. La "questione climatica" considerata nella sua complessità deve diventare prassi corrente, ovvero far parte dell'agenda politica quotidiana, così da far rientrare gli interventi di adattamento nel regime di interventi ordinario. Ciò può essere favorito dalla presenza di un coordinamento interno tra diversi dipartimenti e istituzioni, possibilmente mediante un'unità di coordinamento responsabile dei rapporti tra i vari enti che riesca a raccogliere e recepire i diversi contributi multidisciplinari e multisettoriali.

Lo sviluppo di strategie efficaci e la progettazione delle relative misure di intervento richiede anche una solida base di conoscenza della condizione presente e dei cambiamenti a medio-lungo termine del regime idrologico. A tal proposito, la collaborazione con ricercatori afferenti a diversi settori disciplinari è fondamentale, anche per lo sviluppo di soluzioni innovative.

Il processo si completa solo attraverso il coinvolgimento attivo di molteplici *stakeholder* rappresentativi di svariati settori e fasce di popolazione, individuati tra quei soggetti (individuali o aziende e società) che risultano affetti dalle conseguenze negative dei fenomeni di *flood* o che hanno un'influenza, negativa o positiva, su tali eventi. Tale coinvolgimento, sebbene renda più complicata la gestione del processo, ne favorisce l'arricchimento, fornendo ulteriori elementi di indagine e conoscenza che riducono il rischio di *mismanagement*, ovvero di trasferimento di potenziali effetti negativi da un settore (o individuo) all'altro.

Alla luce di tali considerazioni, gli operatori coinvolti a vario titolo in tale processo devono essere accomunati dalla medesima *vision*, mirata allo sviluppo di un ambiente costruito vivibile per la totalità della popolazione e che non consideri il cambiamento climatico quale questione relativa solo alla sfera comunemente ritenuta "ecologica" o "ambientale", ma con implicazioni concrete sulle comunità e i territori e ricadute socio-economiche rilevanti in termini di salute della popolazione e comfort, sicurezza e fruibilità degli spazi costruiti.

A tale scopo, la diffusione e il rafforzamento delle conoscenze relative al cambiamento climatico in generale, e ai fenomeni di *flood* nello specifico, rappresentano attività prioritarie anche in relazione al coinvolgimento di quella parte di popolazione "non addetta ai lavori", ma comunque interessata a tali questioni. L'istituzione di tavoli tecnici e di lavoro tra varie istituzioni (ad es., Amm.ne Comunale, Autorità di Bacino, Protezione Civile, Camera di Commercio) può dare un'importante spinta alla condivisione e allo sviluppo di metodi e strumenti di analisi, valutazione e diffusione delle conoscenze, oltre a favorire l'integrazione dei molteplici aspetti rilevanti nell'ambito dei fenomeni di allagamento urbano (ad es., geologici, idraulici, idrologici, geofisici).

In tale scenario, la valutazione della vulnerabilità proposta nel presente lavoro di ricerca si configura quale processo a supporto dello sviluppo di politiche adattive, e i relativi indicatori quali strumento decisionale pratico ed efficace, poiché fondato su dati di tipo quantitativo misurabili o rilevabili in maniera oggettiva. Considerato il contributo metodologico fornito nella messa a sistema di conoscenze differenti (progettazione architettonica e tecnologica,

informatica, costruzioni idrauliche), nell'ottica di un utilizzo dello strumento in ambito professionale e nelle pubbliche amministrazioni, va riconosciuta l'esigenza di operatori con competenze specialistiche diversificate e che sappiano dialogare con interlocutori dal diverso *background* culturale.

Tuttavia, nonostante lo sforzo volto alla costruzione di un sistema di indicatori facilmente replicabile e trasferibile, è necessario riconoscere le difficoltà operative connesse alla reperibilità dei dati e all'esecuzione automatica e rapida di alcune operazioni di calcolo. Di conseguenza, si ritiene fondamentale un ulteriore approfondimento di alcuni passaggi operativi per consentire l'elaborazione automatica del *workflow*, mediante lo sviluppo di appositi *tool* GIS. Inoltre, per promuovere un più ampio coinvolgimento anche dei soggetti non attualmente coinvolti nei processi decisionali, ulteriori avanzamenti della ricerca potrebbero riguardare la costruzione di una piattaforma di conoscenza accessibile pubblicamente che consenta di visualizzare informazioni, analizzare ed estrapolare dati relativi al caso studio, strutturata in livelli tali da consentire nel tempo l'integrazione di nuove informazioni relative anche ad altre aree studio. In tale ottica, l'uso partecipativo di sistemi e tecnologie GIS (*Public Participation GIS* - PPGIS) rappresenta una pratica indispensabile per produrre conoscenza a livello locale finalizzata all'arricchimento del database strutturato con informazioni inerenti la sfera sociale (ma anche fisica) da utilizzare per successive e più complesse valutazioni di vulnerabilità e impatti.

Le varie possibilità di avanzamento brevemente delineate vanno inquadrare nella prospettiva di un rafforzamento diffuso della conoscenza ma soprattutto della consapevolezza riguardo la questione climatica e la necessità di intraprendere misure di intervento, in quanto solo la cognizione reale del problema e la volontà concreta di intervenire possono determinare un effettivo cambiamento di rotta.



## ALLEGATO 1

### Strategie e piani di adattamento nazionali: stato di avanzamento nei paesi europei\*

Nazione	National Adaptation Strategy (NAS)	National Adaptation Plan (NAP)
Austria	Adottata nel 2013	Adottato nel 2013
Belgio	Adottata nel 2010	In fase di sviluppo
Bulgaria	In fase di sviluppo	In fase di sviluppo
Cipro	In fase di sviluppo	In fase di sviluppo
Croazia	In fase di sviluppo	In fase di sviluppo
Danimarca	Adottata nel 2008	Adottato nel 2012
Estonia	Adottata (data non disponibile)	Adottata (data non disponibile)
Finlandia	Adottata nel 2005	Adottato nel 2014
Francia	Adottata nel 2007	1° piano adottato nel 2011 2° piano adottato nel 2016
Germania	Adottata nel 2008	Adottato nel 2011
Grecia	Adottata nel 2016	In fase di sviluppo
Irlanda	In fase di adozione	n.a.
Italia	Adottata nel 2014	In fase di sviluppo (fase consultiva conclusa a ottobre 2017)
Lettonia	Probabile approvazione a metà 2017	n.a.
Lituania	In fase di sviluppo	n.a.
Lussemburgo	Adottata nel 2012 (in fase di revisione)	n.a.
Malta	Adottata nel 2012	n.a.
Olanda	1° Strategia adottata nel 2007 2° Strategia adottata nel 2016	Adottato nel 2016
Polonia	Adottata nel 2013	n.a.
Portogallo	1° Strategia adottata nel 2010 2° Strategia adottata nel 2015	In fase di sviluppo, entro il 2017
Regno Unito	UK: adottata nel 2008 (in fase di revisione, entro metà 2017) GALLES: adottata nel 2010 SCOZIA: adottata nel 2009	UK: adottato nel 2013 GALLES: adottato nel 2011 SCOZIA: adottato nel 2014 IRLANDA DEL NORD: adottato nel 2014
Repubblica Ceca	Adottata nel 2015	Adottato nel 2017
Romania	Adottata nel 2013	Adottato (data non disponibile)
Slovacchia	Adottata nel 2014	In fase di pianificazione
Slovenia	Adottata (data non disponibile)	In fase di sviluppo
Spagna	Adottata nel 2008	1° piano adottato nel 2006 2° piano adottato nel 2009 2° piano adottato nel 2014
Svezia	Adottata nel 2009	Adottato nel 2014
Ungheria	In fase di adozione	In fase di sviluppo

Fonte: Albini et al., 2017

\* dati aggiornati a luglio 2017

## ALLEGATO 2

### Coefficienti di afflusso

Classi di copertura del suolo	Coefficiente di afflusso suggerito	Classe	Descrizione	Coefficiente di afflusso standard
<b>1</b>	<b>0,1</b>	N 1	Superfici a verde su suolo profondo, prati, orti, superfici boscate ed agricole	0,1
		N 2	Corsi d'acqua in alveo naturale	0,1
		N 3	Specchi d'acqua, stagni o bacini di accumulo e infiltrazione con fondo naturale	0,1
		D 23	Vasche, specchi d'acqua, stagni o bacini di accumulo con fondo permeabile	0,1
<b>2</b>	<b>0,2</b>	N 4	Incolto, sterrato, superfici naturali degradate	0,2
		D 18	Sedime ferroviario	0,2
<b>3</b>	<b>0,3</b>	D 16	Pavimentazioni in macadam, strade, cortili, piazzali	0,35
		D 17	Superfici in ghiaia sciolta	0,3
<b>4</b>	<b>0,35</b>	N 6	Area di impianto sportivo con sistemi drenanti e superficie a prato (Con coefficiente di permeabilità del sottofondo kf in m/s 100 – 10-5)	0,3
		D 19	Aree di impianti sportivi con sistemi drenanti e con fondo in terra, piste in terra battuta o sim, (Con coefficiente di permeabilità del sottofondo kf in m/s 100 – 10-5)	0,4
<b>5</b>	<b>0,9</b>	D 1	Coperture metalliche con inclinazione > 3°	0,95
		D 2	Coperture metalliche con inclinazione < 3°	0,9
		D 3	Coperture continue con zavoratura in ghiaia	0,7
		D 4	Coperture continue con pavimentazione galleggiante	0,8
		D 5	Coperture continue con finitura in materiali sigillati (terrazze, lastrici solari, superfici poste sopra a volumi interrati) con inclinazione > 3°	0,9
		D 6	Coperture continue con finitura in materiali sigillati (terrazze, lastrici solari, superfici poste sopra a volumi interrati) con inclinazione < 3°	0,85
		D 7	Coperture discontinue (tegole in laterizio o sim.)	0,9
		D 8	Pavimentazione in asfalto o cls	0,9
		D 12	Pavimentazioni in cubetti, pietre o lastre a fuga sigillata	0,8
		D 13	Pavimentazioni in cubetti, pietre o lastre a fuga non sigillata	0,7
		D 14	Pavimentazioni in lastre di pietra di grande taglio, senza sigillatura dei giunti, su sabbia	0,7
<b>Non accorpate in quanto non presenti nell'area studio</b>	<b>Non usato</b>	D 21	Corsi d'acqua in alveo impermeabile	1
		N 5	Pavimentazione in lastre posate a opera incerta con fuga inerbita 0,40 (Percentuale di superficie inerbita >40% del totale, Con coefficiente di permeabilità del sottofondo kf in m/s 100 – 10-5)	0,4
		N 7	Pavimentazione in prefabbricati in cls o materiale sintetico, riempiti di substrato e inerbiti posati su apposita stratificazione di supporto (Grigliati garden) (Percentuale di superficie inerbita >40% del totale, Con coefficiente di permeabilità del sottofondo kf in m/s 10 <sup>0</sup> – 10 <sup>-5</sup> )	0,4
		N 8	Copertura a verde pensile con spessore totale del substrato medio 8 < s < 15 fino ad un'inclinazione di 12° (Sistema a tre strati - Realizzato secondo normativa di riferimento: UNI 11235:2007 "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde")	0,45
		N 8	Copertura a verde pensile con spessore totale del substrato medio 8 < s < 15 fino ad un'inclinazione di 12° (Sistema mono-strato)	1
		N 9	Copertura a verde pensile con spessore totale del substrato medio 15 < s < 25 fino ad un'inclinazione di 12° (SISTEMA A 3 STRATI)	0,35
		N 9	Copertura a verde pensile con spessore totale del substrato medio 15 < s < 25 fino ad un'inclinazione di 12° (SISTEMA MONOSTRATO)	1

N 10	Copertura a verde pensile con spessore totale del substrato medio $25 < s < 35$ fino ad un'inclinazione di $12^\circ$ (SISTEMA A 3 STRATI)	0,25
N 10	Copertura a verde pensile con spessore totale del substrato medio $25 < s < 35$ fino ad un'inclinazione di $12^\circ$ (SISTEMA MONOSTRATO)	1
N 11	Copertura a verde pensile con spessore totale del substrato medio $35 < s < 50$ fino ad un'inclinazione di $12^\circ$ (SISTEMA A 3 STRATI)	0,2
N 11	Copertura a verde pensile con spessore totale del substrato medio $35 < s < 50$ fino ad un'inclinazione di $12^\circ$ (SISTEMA MONOSTRATO)	1
N 12	Copertura a verde pensile con spessore totale del substrato o terreno naturale (solo su valori interrati) medio $> 50$ fino ad un'inclinazione di $12^\circ$ (SISTEMA A 3 STRATI)	0,1
N 12	Copertura a verde pensile con spessore totale del substrato o terreno naturale (solo su valori interrati) medio $> 50$ fino ad un'inclinazione di $12^\circ$ (SISTEMA MONOSTRATO)	1
N 13	Copertura a verde pensile di volumi interrati con uso di terreno naturale spessore medio $> 50$ (con strato filtrante e strato drenante a norma UNI 11235) (SISTEMA A 3 STRATI)	0,3
N 13	Copertura a verde pensile di volumi interrati con uso di terreno naturale spessore medio $> 50$ (con strato filtrante e strato drenante a norma UNI 11235) (SISTEMA MONOSTRATO)	1
N 14	Copertura a verde pensile su falda inclinata con spessore totale del substrato medio $8 < s < 10$ fino ad un'inclinazione di $12^\circ$ (SISTEMA A 3 STRATI)	0,55
N 14	Copertura a verde pensile su falda inclinata con spessore totale del substrato medio $8 < s < 10$ fino ad un'inclinazione di $12^\circ$ (SISTEMA MONOSTRATO)	1
N 15	Copertura a verde pensile su falda inclinata con spessore totale del substrato medio $10 < s < 15$ fino ad un'inclinazione di $12^\circ$ (SISTEMA A 3 STRATI)	0,5
N 15	Copertura a verde pensile su falda inclinata con spessore totale del substrato medio $10 < s < 15$ fino ad un'inclinazione di $12^\circ$ (SISTEMA MONOSTRATO)	1
D 10	Pavimentazione in elementi drenanti su sabbia	0,5
D 11	Pavimentazione in lastre a costa verticale a spacco	0,7
D 15	Pavimentazione in ciottoli su sabbia	0,4
D 17	Superfici in ghiaia sciolta	0,3
D 20	Aree di impianti sportivi con sistemi drenanti e con fondo in materiale sintetico, tappeto verde sintetico. (Con coefficiente di permeabilità del sottofondo kf in m/s $100 - 10-5$ )	0,6
D 22	Vasche, specchi d'acqua, stagni o bacini di accumulo con fondo artificiale impermeabile	1
D 23	Vasche, specchi d'acqua, stagni o bacini di accumulo con fondo permeabile	0,1
D 24	Superfici di manufatti diversi in cls o altri materiali impermeabili o impermeabilizzati esposti alla pioggia, e non attribuibili alle altre categorie, come muri, muretti, plinti, gradinate, scale	0,95
D 25	Superfici esposte alla pioggia di caditoie, griglie di aerazione di locali interrati, canalette di scolo a fondo impermeabile e manufatti analoghi	0,95
D 26	Pavimentazione galleggiante in legno, con fuga non sigillata, su sottofondo drenante	0,5

## Bibliografia

- Abramovitz J. (2001). *Unnatural Disasters*. Worldwatch Paper 158. Washington, DC: Worldwatch Institute.
- Acot P. (2007). *Catastrofi climatiche e disastri sociali. Perché le eccezioni stanno diventando la norma*, trad. it. Maria L'Erario, Roma: Donzelli editore (ed. orig. *Catastrophes climatiques, désastres sociaux*).
- Adger W. N. (1999). Social Vulnerability to Climate Change and Extremes in Coastal Vietnam. *World Development*, 27(2): 249-269.
- Adger W.N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3): 268-281.
- Adger W.N., Brooks N., Bentham G., Agnew M., Eriksen S. (2004). *New indicators of vulnerability and adaptive capacity*. Technical Report 7. Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research.
- Agnew M., Goodess C. (2009). *RL11.2 Common Tools and Central Datasets: Developing a conceptual framework*. 2nd DRAFT. Climatic Research Unit (CRU): University of East Anglia, UK.
- Albini A., Bono L., Freixo Santos T., Zambrini M., Giordano F., Leoni I., Lucia V., Lapi M., Cozzi L., Frascini F., Pregolato M., Marras S., Maragno D., Magni F., Musco F., Arras F., Congiu A., Satta G. (2017). *Climate change adaptation practices across the EU mainstreaming adaptation policies at regional and local level*. Action A2, MasterAdapt – Mainstreaming experiences at regional and local level for adaptation to climate change – LIFE15 CCA/IT/000061.
- Alessandri A., De Felice M., Zeng N., Mariotti A., Pan Y., Cherchi A., Lee J.-Y., Wang B., Ha K.-J., Ruti P., Artale V. (2014). Robust assessment of the expansion and retreat of Mediterranean climate in the 21st century. *Scientific Reports*, 4: 7211. doi: 10.138/srep07211
- Alexander D. (2002). *Principles of emergency planning and management*. New York: Oxford University Press.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and drainage paper 56. Roma: FAO.
- Alpert P., Ben-gai T., Baharad A., Benjamini Y., Yekutieli D., Colacino M., Diodato L., Ramis C., Homar V., Romero R., Michaelides S., Manes A. (2002). The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophysical Research Letters*, 29(11). doi:10.1029/2001GL013554
- Andjelkovic I. (2001). *Guidelines on Non-Structural Measures in Urban Flood Management*. IHP-V, Technical Documents in Hydrology, N° 50. International hydrological programme. Paris: UNESCO.
- Angelucci F., Di Sivo M., Ladiana D. (2013). Reattività, adattabilità, trasformabilità: i nuovi requisiti di qualità dell'ambiente costruito. *TECHNE Journal of Technology for Architecture and Environment*, SITdA, Firenze University Press, 5: 53-59.
- Apan A., Keogh D.U., King D., Thomas M., Mushtaq S., Baddiley P. (2010). *The 2008 floods in Queensland: A case study of vulnerability, resilience and adaptive capacity*. National Climate Change Adaptation Research Facility, Gold Coast, 171 pp.
- Archibugi F. (1985). *Teoria dell'urbanistica. Lezioni su una rivalutazione dei fondamenti dell'urbanistica*. Roma: Centro di Studi e Piani Economici.
- Balica S.F. (2012). *Applying the Flood Vulnerability Index as a Knowledge base for flood risk assessment*. Leiden: CRC Press/Balkema.
- Ban N., Schmidli J., Schär C. (2015). Heavy precipitation in a changing climate: Does short-term summer precipitation increase faster? *Geophysical Research Letters*, 42(4): 165-172. doi: 10.1002/2014GL062588
- Barbano A., Braca G., Bussetini M., Dessì B., Inghilesi R., Lastoria B., Monacelli G., Morucci S., Piva F., Sinapi L., Spizzichino D. (2012). *Proposta metodologica per l'aggiornamento delle mappe di pericolosità e di rischio. Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi da alluvioni (Decreto Legislativo n.49/2010)*. Roma: ISPRA.
- Batty M., Xie Y. (1997). Possible urban

- automata. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24:175-192.
- Batty M. (2009). Cities as complex systems: scaling, interactions, networks, dynamics and urban morphologies. In Meyers R. (ed.), *Encyclopaedia of Complexity and Systems Science*, pp. 1041-1071.
- Below R., Wirtz A., Guha-Sapir D. (2009). *Disaster category classification and peril terminology for operational purposes*. Working paper. Monaco: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED).
- Bettelli O. (2003). *Modelli per sistemi complessi*. Brescia: Starrylink.
- Birkmann J. (2006). *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: towards disaster resilient societies*. New York: United Nations University.
- Birkmann J., Garschagen M., Kraas F., Quang N., 2010. Adaptive urban governance: new challenges for the second generation of urban adaptation strategies to climate change. *Sustainability Science*, 5 (2): 185-206. doi: 10.1007/s11625-010-0111-3
- Birkmann J., Cardona O.D., Carreño M.L., Barbat A.H., Pelling M., Schneiderbauer S., Kienberger S., Keiler M., Alexander D., Zeil P, Welle T. (2013). Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework. *Natural hazards*, 67(2):193-211. doi: 10.1007/s11069-013-0558-5
- Blaikie P., Cannon T., Davis I., Wisner B. (1994). *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. London: Routledge.
- Bohle H.-G. (2001). *Vulnerability and Criticality: Perspectives from Social Geography*. IHDP Update 2/2001, Newsletter of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change: 1-7.
- Bordi I., Suter A. (2002). An analysis of drought in Italy in the last fifty years. *Nuovo Cimento Della Società Italiana di Fisica C*, 25 (2): 185-206.
- Brooks N. (2003). *Vulnerability, risk and adaptation: a conceptual framework*. Working Paper 38. Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research.
- Brooks N., Adger, W. N. (2005). Assessing and enhancing adaptive capacity, Technical Paper 7. In Lim, B. and E. Spanger-Siegfried (eds.), *Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures*. New York, NY: United Nations Development Programme and Cambridge University Press, pp. 165-182.
- Brunetti M., Maugeri M., Monti F., Nanni T. (2004). Changes in daily precipitation frequency and distribution in Italy over the last 120 years. *Journal of Geophysical Research*, 109. doi: 10.1029/2003JD004296
- Burton I. (1992). *Adapt and Thrive*. Unpublished manuscript. Downsview, Ontario: Canadian Climate Centre.
- Burton, I., Diringer, E., Smith, J. (2006). *Adaptation to Climate Change: International Policy Options*. The Pew Center on Global Climate Change, Arlington, USA.
- Buth M., Kahlenborn W., Greving S., Fleschhauer M., Zebisch M., Schneiderbauer S., Schauser I. (2017). *Guidelines for Climate Impact and Vulnerability Assessments*. Recommendations of the Interministerial Working Group on Adaptation to Climate Change of the German Federal Government. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- C40 (2015). *City Climate Hazard Taxonomy, C40's classification of city-specific climate hazards*, C40 Cities, Bloomberg Philanthropies, ARUP.
- Carter T.R., Jones R.N., Lu X., Bhadwal S., Conde C., Mearns L.O., O'Neill B.C., Rounsevell M.D.A., Zurek M.B. (2007). New assessment methods and the characterisation of future conditions. In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 133-171.
- Carter T.R., Mäkinen K. (2011). *Approaches to climate change impact, adaptation and vulnerability assessment: towards a classification framework to serve decision-making*. MEDIATION Technical Report No. 2.1. Helsinki: Finnish Environment Institute (SYKE), 70 pp.
- Carter J., Connelly A., Handley J., Hincks S., Karvonen A. (2016). *RESIN Conceptual Framework*. RESIN Supporting decision-making for resilient cities. University of Manchester.
- Castellari S., Venturini S., Giordano F., Ballarin Denti A., Bigano A., Bindi M., Bosello F., Carrera L., Chiriaco M.V., Danovaro R., Desiato F., Filpa A., Fusani S., Gatto M., Gaudio D., Giovanardi O., Giupponi C., Gualdi S., Guzzetti F., Lapi M., Luise A., Marino G., Mysiak J., Montanari A., Pasella D.,

- Pierantonelli L., Ricchiuti A., Rudari R., Sabbioni C., Sciortino M., Sinisi L., Valentini R., Viaroli P., Vurro M., Zavatarelli M., 2014. *Elementi per una Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma.
- Cavan G., Butlin T., Gill S., Kingston R., Lindley S. (2014). Web-GIS Tools for Climate Change Adaptation Planning in Cities. In Filho W.L. (ed.), *Handbook of Climate Change Adaptation*. Berlino: Springer Berlin Heidelberg.
- Cavan G., Kingston R. (2012). Development of a climate change risk and vulnerability assessment tool for urban areas. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 3(3): 253-269.
- Cavan G., Kingston R., Lindley S., Kazmierczak A., Carter J., Gong Y., Handley J. (2010). Climate change and urban areas: Development of a climate change risk and vulnerability assessment tool. In *COBRA 2010 - Construction, Building and Real Estate Research Conference of the Royal Institution of Chartered Surveyors | COBRA - Constr., Build. Real Estate Res. Conf. R. Inst. Chart. Surv.*
- Chambers R. (1989). *Vulnerability, coping and policy*. IDS Bulletin 20: 1-7.
- Ciurean R.L., Schröter D., Glade T. (2013). Conceptual Frameworks of Vulnerability Assessment for Natural Disasters Reduction. *Approaches to Disaster Management - Examining the Implications of Hazards, Emergencies and Disasters*, John Tiefenbacher (ed.), InTech, DOI: 10.5772/55538.
- CMCC (2017). *Impatti, vulnerabilità e azioni di adattamento settoriali*. Supporto tecnico-scientifico per il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) ai fini dell'elaborazione del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC). Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti climatici.
- Collier C.G. (2016). *Hydrometeorology*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Comincioli V. (2005). *Analisi numerica: metodi, modelli, applicazioni*. Milano: Apogeo.
- Connelly A., Carter J.G., Handley J., Rome E., Worst R., Voß N. (2015). *State of the Art Report (4). Vulnerability Assessment. Definitions, Indicators and Existing Assessment Methods*. RESIN Supporting decision-making for resilient cities. University of Manchester and Fraunhofer IAIS.
- Cook J., Nuccitelli D., Green S.A., Richardson M., Winkler B., Painting R., Way R., Jacobs P., Skuce A. (2013). Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. *Environmental Research Letters*, 8(2). doi: 10.1088/1748-9326/8/2/024024
- Cook J., Oreskes N., Doran P.T., Anderegg W.R.L., Verheggen B., Maibach E.W., Stuart Carlton J., Lewandowsky S., Skuce A.J., Green S.A., Nuccitelli D., Jacobs P., Richardson M., Winkler B., Painting R., Rice K. (2016). Consensus on consensus: A synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. *Environmental Research Letters*, 11(4). doi: 10.1088/1748-9326/11/4/048002
- Corazzon P., Giuliacci E. (2008). *La meteorologia per tutti*. Milano: Alpha test.
- Corti S., Decesari S., Fierli F., Fuzzi S., Provenzale A., Sabbioni C., Santoleri R., Vitale V. (2009). *Clima, cambiamenti climatici globali e loro impatto sul territorio nazionale*. Bologna: Istituto di Scienza dell'Atmosfera e del Clima - Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- Cutter S.L. (1996). Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography* 20: 529-539.
- Cutter S.L., Emrich C.T., Webb J.J., Morath D. (2009). *Social Vulnerability to Climate Variability Hazards: A Review of the Literature*. Final Report to Oxfam America, Hazards and Vulnerability Research Institute, Department of Geography, University of South Carolina Columbia, SC 29208, (44 pp.).
- Cutter S.L., Mitchell J.T., Scott M.S. (2000). Revealing the vulnerability of people and places: a case study of Georgetown County, South Carolina. *Annals of the Association of American Geographers*, 90: 713-737.
- D'Ambrosio V., Di Martino F. (2016). The Metropolis research. Experimental models and decision-making processes for the adaptive environmental design in climate change. *UPLanD*, 1: 187-217.
- D'Ambrosio V., Leone M.F. (2015). Climate change risk and environmental design for



- resilient urban regeneration. Napoli est pilot case. *TECHNE Journal of Technology for Architecture and Environment*, 10: 130-140.
- Da Silva J., Kernaghan S., Luque A. (2012). A systems approach to meeting the challenges of urban climate change. *International Journal of Urban Sustainable Development*, 4: 125–145.
- De Paola F., Giugni M., Topa M.E., Bucchignani E. (2014). Intensity-Duration-Frequency (IDF) rainfall curves, for data series and climate projection in African cities. *SpringerPlus*, 3: 133.
- DEFRA (2010). *Surface Water Management Plan Technical Guidance*. Department for Environment, Food and Rural Affairs Flood Management Division, London.
- Dessai S., Hulme M. (2004). Does climate adaptation policy need probabilities? *Climate Policy*, 4: 107–128.
- DHI (n.d.). *Modelli numerici per l'idraulica fluviale*. DHI Technical paper n° 1. DHI Italia, Torino.
- Di Iacovo F., Rovai M., Meini S. (2010). *Spazio rurale ed urbano: alla ricerca di nuovi equilibri*. In Perrone C. e Zetti I. (a cura di), *Il valore della terra. Teoria e applicazioni per il dimensionamento della pianificazione territoriale*. Milano: Franco Angeli.
- Durack P.J. (2015). Ocean salinity and the global water cycle. *Oceanography* 28(1): 20-31.
- Eakin H., Luers A.L. (2006). Assessing the Vulnerability of Social-Environmental Systems. *Annual Review of Environment and Resources* 31: 365-394.
- EA (2013). *What is the updated Flood Map for Surface Water?*. Bristol: Environment Agency.
- EC (2001). *La governance europea. Un libro bianco*. Bruxelles: European Commission.
- EC (2009). *Adapting to climate change: Towards a European framework for action*. Bruxelles: European Commission.
- EC (2013a). *An EU Strategy on adaptation to climate change*. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. Bruxelles: European Commission.
- EC (2013b). *Guidelines on developing adaptation strategies*. Commission staff working document. Bruxelles: European Commission.
- EEA (2008). *Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment*. Copenhagen: European Environment Agency. EEA Report n° 4/2008. doi: 10.2800/48117
- EEA (2009). *Ensuring quality of life in Europe's cities and towns. Tackling the environmental challenges driven by European and global change*. EEA Report n° 5/2009. Copenhagen: European Environment Agency.
- EEA (2012a). *Urban adaptation to climate change in Europe. Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies*. EEA Report n° 2/2012. Copenhagen: European Environment Agency.
- EEA (2012b). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report*. EEA Report n° 12/2012. Copenhagen: European Environment Agency.
- EEA (2015). *The European environment - state and outlook 2015: synthesis report*. Copenhagen: European Environment Agency.
- EEA (2016). *Urban adaptation to climate change in Europe 2016. Transforming cities in a changing climate*. EEA Report n° 12/2016. Copenhagen: European Environment Agency.
- EEA (2017). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator based report*. Copenhagen: European Environment Agency. EEA Report n° 1/2017. doi: 10.2800/534806
- EU (2009). *WHITE PAPER: Adapting to climate change: Towards a European framework for action*. European Commission.
- EU (2013). *Adaptation Strategies for European Cities. Final Report*. European Commission Directorate General Climate Action.
- Falconer R. (2009). *EWA Expert Meeting on Pluvial Flooding in Europe. Final Report*, European Water Association, Bruxelles.
- Fazey I., Kesby M., Evely A., Latham I., Wagatora D., Hagasua J.E., Reed M.S., Christie M. (2010). A three-tiered approach to participatory vulnerability assessment in the Solomon Islands. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 20: 713-728.
- Fellmann T. (2012). The assessment of climate



- change-related vulnerability in the agricultural sector: reviewing conceptual frameworks. In Meybeck A., Lankoski J., Redfern S., Azzu N., Gitz V. (eds), *Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector*. Proceedings of a Joint FAO/OECD Workshop 23–24 April 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Roma.
- Few R., Viner R., Bouwer L.M., Ninh N.H., Thanh N.C. (2006). *Linking Climate Change Adaptation and Disaster Risk Management for Sustainable Poverty Reduction*. Washington DC: VARG.
- Filpa A. (2013). Adattamento e governo in aree urbane. *Ecoscienza*, 5: 74-76.
- FISRWG (1998). *Stream Corridor Restoration: principles, processes and practices*. Federal Interagency Stream Restoration Working Group.
- Fistola R. (2008). *Gis. Teoria ed applicazioni per la pianificazione, la gestione e la protezione della città*. Roma: Gangemi.
- Franklin S. (2004). *Political ecology of vulnerability*. Policy brief, Stockholm Environment Institute.
- Frerks G., Warner J., Weijs, B. (2011). The politics of vulnerability and resilience. *Ambiente & Sociedad*, 14(2). 105-122.
- Fritzsche K., Schneiderbauer S., Buseck P., Kienberger S., Buth M., Zebisch M., Kahlenborn, W., 2014. *The Vulnerability Sourcebook*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Füssel H.-M. (2005). *Vulnerability in Climate Change Research: A Comprehensive Conceptual Framework*. Breslauer Symposium Paper 6 and FAVAIA Working Paper 2, University of California International and Area Studies, Berkeley, CA, USA, 34 pp.
- Füssel H.-M. (2007). Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change* 17 (2): 155-167.
- Füssel H.-M. (2010). *Review and Quantitative Analysis of Indices of Climate Change Exposure, Adaptive Capacity, Sensitivity, and Impacts*. Washington, DC: World Bank.
- Füssel H.-M., Klein R.J.T. (2003). *Vulnerability and Adaptation Assessments to Climate Change: An Evolution of Conceptual Thinking*. Paper presented at UNDP Expert Group Meeting “Integrating Disaster Reduction and Adaptation to Climate Change”, Havana, Cuba, 17-19 June 200., Havana: UNDP.
- Füssel H.-M., Klein R.J.T. (2006). Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Climate Change*, 75: 301-329.
- Gallopín, G.C. (1996). Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A systems approach. *Environmental Modeling and Assessment*, 1: 101-117.
- Gargiulo C., Papa R. (1993). *Caos e caos: la città come fenomeno complesso*. In: Per il XXI secolo: una enciclopedia e un progetto. Università degli Studi di Napoli Federico II, pp. 297-306.
- Georgiadis T., Mariani L. (2006). Clima e cambiamento climatico. I. Profilo storico, Atmosfera e clima, variabilità del clima, ruolo delle nubi. *Rivista Italiana di Agrometeorologia*, 1: 4-18.
- Ghimire B., Chen A.S., Djordjević S., Savić D.A. (2011). Application of cellular automata approach for fast flood simulation. *CWI 2011: Computing and Control for the Water Industry*, 1, 265 – 270.
- Ghimire B., Chen A.S., Guidolin M., Keedwell E.C., Djordjević S., Savić D.A. (2013). Formulation of a fast 2D urban pluvial flood model using a cellular automata approach. *Journal of Hydroinformatics*, 15(3), 676-686. doi: 10.2166/hydro.2012.24
- Giorgi F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, 33.
- Godfrey A., Ciurean R.L., van Westen, Kingma N.C., Glade T. (2015). Assessing vulnerability of buildings to hydro-meteorological hazards using an expert based approach – An application in Nehoiu Valley, Romania. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 13:229-241.
- Greiving S., Flex F., Lindner C., Schmidt-Thomé P., Klein J., Tarvainen T., Jarva J., Backman B., Luoma S., Langeland O., Langset B., Medby P., Davoudi S., Tranos E., Holsten A., Kropp J., Walter C., Lissner T., Roithmeier O., Klaus M., Juhola S., Niemi P., Peltonen L., Vehmas J., Sauri D., Serra A., Olcina J., March H., Martín-Vide J., Vera F., Padilla E., Serra-Llobet A.,

- Csete M., Pálvölgyi T., Göncz A., Király D., Schneller K., Staub F., Peleanu I., Petrisor A.-I., Dzurdenik J., Tesliar J., Visy E., Bouwman A., Knoop J., Ligtoet W., Minnen van J., Kruse S., Pütz M., Stiffler M., Baumgartner D. (2011). *ESPON Climate. Climate Change and Territorial Effects on Regions and Local Economies*. Applied Research 2013/1/4, Final Report, Version 31/5/2011. ESPON & IRPUD, TU Dortmund.
- Gualdi S., Navarra A. (2005). Scenari climatici nel bacino mediterraneo. *Forest@*, 2: 19-30. doi: 10.3832/efor0250-0020019
- Guidolin M., Chen A. S., Ghimire B., Keedwell E.C., Djordjević S., Savić, D.A. (2016). A weighted cellular automata 2D inundation model for rapid flood analysis. *Environmental Modelling & Software*, 84: 378-394.
- Guidolin M., Duncan A., Ghimire B., Gibson M., Keedwell E.C., Chen A. S., Djordjević S., Savić D.A. (2012). *CADDIES: A New Framework for Rapid Development of Parallel Cellular Automata Algorithms for Flood Simulation*. HIC2012, Hamburg, Germany.
- Hammill A., Bizikova L., Dekens J., McCandless M. (2011). *Comparative analysis of climate change vulnerability assessments: Lessons from Tunisia and Indonesia*. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit – GIZ GmbH.
- Hewitt K. (ed.) (1983). *Interpretations of Calamity from the Viewpoint of Human Ecology*. London: Allen & Unwin.
- Houston D., Werritty A., Bassett D., Geddes A., Hoolachan A., McMillan M. (2011). *Pluvial (rain-related) flooding in urban areas: the invisible hazard*. Joseph Rowntree Foundation, York.
- IPCC (1994). *IPCC Technical guidelines for assessing climate change impacts and adaptations*. *IPCC Special Report to the First Session of the Conference of the Parties to the UN Framework Convention on Climate Change, Working Group II, Intergovernmental Panel on Climate Change* [T.R. Carter, M.L. Parry, S. Nishioka and H. Harasawa (eds.)]. University College London and Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, 59 pp.
- IPCC (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [McCarthy J.J., Canziani O.F., Leary N.A., Dokken D.J. and White K.S. (eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press (1042 pp.).
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, (eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press (976 pp.).
- IPCC (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., Barros V., Stocker T.F., Qin D., Dokken D.J., Ebi K.L., Mastrandrea M.D., Mach K.J., Plattner G.-K., Allen S.K., Tignor M., Midgley P.M. (eds.)]. Cambridge and New York: Cambridge University Press (582 pp.).
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge and New York: Cambridge University Press (1535 pp.).
- IPCC (2014a). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge and New York: Cambridge University Press (1132 pp.).
- IPCC (2014b). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge and

- New York: Cambridge University Press (688 pp.).
- Ippolito G. (1995). *Appunti di costruzioni idrauliche*. Napoli: Liguori.
- Iqbal M. (1983). *An Introduction to Solar Radiation*. Toronto: Academic Press.
- IRDR (2014). *Peril Classification and Hazard Glossary*. Integrated Research on Disaster Risk (IRDR DATA Publication N° 1). Beijing: Integrated Research on Disaster Risk.
- ISTAT (2017). *Forme, livelli e dinamiche dell'urbanizzazione in Italia*. Roma: Istituto Nazionale di Statistica.
- Jalayer F., De Risi R., De Paola F., Giugni M., Manfredi G., Gasparini P., Topa M.E., Yonas N., Yeshitela K., Nebebe A., Cavan G., Lindley S., Printz A., Renner F (2014). Probabilistic Gis-Based Method For Delineation Of Urban Flooding Risk Hotspots. *Natural Hazards*, 73(2): 975-1001.
- Johnson D.P., Lulla V., Stanforth A. C. (2013). Intra-urban variations in vulnerability associated with extreme heat events in relationship to a changing climate. *Climate Change in the Midwest: Impacts, Risks, Vulnerability, and Adaptation*, Sara C. Pryor (ed.), Indiana University Press, Bloomington, Indiana, USA: pp. 134-146.
- Jonsson A.C., Hjerpe M., Andersson-Sköld Y., Glaas E., André K., Simonsson L. (2012). Cities' capacity to manage climate vulnerability: experiences from participatory vulnerability assessments in the lower Göta Älv Catchment, Sweden. *Local Environment*, 17: 735–750.
- Kalisch A., Satapathy S., Porsché I., Rolker D., Bhatt S., Tomar S., Nair S. (2014). *A Framework for Climate Change Vulnerability Assessments*. New Delhi: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Kasperson R.E., Kasperson J.X., Turner II B.L., Dow K., Meyer W.B. (1995). Critical environmental regions: Concepts, distinctions, and issues. In: R. E. Kasperson, J. X. Kasperson, and B. L. Turner II (eds.), *Regions at Risk: Comparisons of Threatened Environments*. Tokyo, United Nations University.
- Kates R.W. (1971). Natural Hazard in Human Ecological Perspective: Hypotheses and Models. *Economic Geography*, 47(3): 438-451.
- Kazmierczak A., Carter J. (2010). *Adaptation to climate change using green and blue infrastructure. A database of case studies*. University of Manchester.
- Kazmierczak A., Georgi B., Robrecht H., Westerlind-Wigstroem A., Bosch P., Torres E.F., Horrocks L., Leonardsen L. (2013). *European cities adapt to climate change*. Key messages from the first Open European Day at the Resilient Cities Conference, 3 June 2013, in: Resilient Cities 2013, Bonn.
- Kelly P.M., Adger W.N. (2000). Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Climatic Change*, 47: 325-352.
- Kelman I. (2011). Understanding Vulnerability to Understand Disasters. *Canadian Disaster Management Textbook*, B.L. Murphy and D. Etkin (eds.), Canadian Risk and Hazards Network, Canada.
- Kingston R., Cavan G. (2011). *GRaBS Assessment Tool User Guidance*. Centre for Urban and Regional Ecology School of Environment & Development, University of Manchester.
- Klein R. J. T. (2003). Adaptation to Climate Variability and Change: What is Optimal and Appropriate? In: Giupponi, C., Schechter M. (eds.), *Climate Change and the Mediterranean: Socio-Economic Perspectives of Impacts, Vulnerability and Adaptation*, Edward Elgar, Cheltenham.
- Klein R.J.T., Nicholls R.J. (1999). Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio, A Journal of the Human Environment*, 28 (2): 182–187.
- Lavell A., Oppenheimer M., Diop C., Hess J., Lempert R., Li J., Muir-Wood R., Myeong S. (2012). Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 25-64.
- Levine N. (2002). *CrimeStat II: A Spatial Statistics Program for the Analysis of Crime Incident Locations*, *Crimestat Manual*. Ned Levine & Associates, TX, National Institute of Justice, Washington DC.

- Lewis J. (1999). *Development in Disaster-prone Places: Studies of Vulnerability*. London: Intermediate Technology Publications.
- Lim B., Burton I., Huq S., Doherty B., Spanger-Siegfried E., Adger N., Aguilar Y., Boer R., Bosch H., Brooks N., Conde C., Downing T., Ebi K., Jones R., Rafi Khan S., Lonsdale K., Malone E., Mearns L., Niang-Diop I., Patwardhan A., Perez R.T., La Rovere E., Smith J., Yohe G. (2005). *Adaptation Policy Frameworks for Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lindley S., O'Neill J. (2013). *Flood disadvantage in Scotland: mapping the potential for losses in well-being*. Scottish Government Social Research.
- Losasso M. (1991). *Architettura, tecnologia e complessità*. Napoli: Clean.
- Maguire T., Falconer R. (2011). *The Dublin Flood Resilient City project within a European surface water management context*, Irish National Hydrology Conference 2011, 15 novembre 2011, Athlone.
- Maksimovic C., Saul A. (2017). *Urban Pluvial and Coincidental Flooding*. Londra: IWA Publishing.
- Manigrasso M. (2012). Verso la città ad Attiva. Rispondere ai cambiamenti climatici attraverso una nuova concezione del tempo nei processi e negli esiti progettuali. In Atti della XV Conferenza Nazionale SIU – Società Italiana degli Urbanisti, L'urbanistica che cambia. Rischi e valori. Pescara, 10-11 maggio 2012. *Planum. The Journal of Urbanism*, 25(2).
- Mantica I. (1994). Il dimensionamento idraulico delle fognature urbane. Ancona: Clua Edizioni.
- Mariotti A., Zeng N., Yoon J.H., Artale V., Navarra A., Alpert P., Li L.Z.X. (2008). Mediterranean water cycle changes: transition to drier 21st century conditions in observations and CMIP3 simulations. *Environmental Research Letters*, 3. doi: 10.1088/1748-9326/3/4/044001
- Marotta N., Zirilli O. (2015). *Disastri e catastrofi. Rischio, esposizione, vulnerabilità e resilienza*. Rimini: Maggioli.
- Marsalek J., Jimenez-Cisneros B., Malmqvist P., Goldenfum J., Chocat B. (2006). *Urban water cycle processes and interactions*. IHP-V, Technical Documents in Hydrology, N° 78. International hydrological programme. Paris: UNESCO.
- Michelozzi P., de' Donato F. (2014). Cambiamenti climatici, alluvioni e impatto sulla salute. *Recenti Progressi in Medicina*, 105: 48-50.
- Ministry of Interior, Hungary (2011). *Climate-Friendly Cities – A Handbook on the tasks and possibilities of European Cities in relation to Climate Change*. VATI Hungarian nonprofit ltd. for regional development and town planning.
- Moisello U. (1998). *Idrologia tecnica*. Pavia: La Goliardica Pavese.
- Moss R.H., Brenkert A. L., Malone E.L. (2001). *Vulnerability to Climate Change: A Quantitative Approach*. Technical Report PNNL-SA-33642, 88 pp.
- Muller A., Reiter J., Weiland U. (2011). Assessment of urban vulnerability towards floods using an indicator-based approach – a case study for Santiago de Chile. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11:2107-2123.
- National Research Council (2005). *Radiative Forcing of Climate Change: Expanding the Concept and Addressing Uncertainties*. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/11175
- Nguyen Xuan A. (2012). *Adattamento al cambiamento climatico: orizzonti per la pianificazione*. Tesi di Dottorato in Tecnica Urbanistica, XXIV Ciclo, Sapienza Università di Roma, DICEA, Tutor: Prof. Luciano De Bonis.
- Nigro G., Principato F., Garofalo G., Ferrante A., Frega F., Carbone M., Piro P. (2014). Modellazione idrologico-idraulica dei tetti verdi. In G. Frega (ed.), *Tecniche per la difesa dall'inquinamento. Atti del 35° corso di aggiornamento* (pp. 283-298). Castrolibero, CS: EdiBios
- Nott J. (2006). *Extreme events: a physical reconstruction and risk assessment*, Cambridge University Press, Cambridge.
- O'Brien K., Eriksen S., Nygaard L.P., Schjolden A. (2007). Why different interpretations of vulnerability matter in climate change discourses. *Climate Policy*, 7: 7-88.
- O'Brien M., Holland, T.D. (1992). The role of adaptation in archeological explanation. *American Antiquity*, 57: 36-69.
- O'Brien, K., S. Eriksen, A. Schjolen and L. Nygaard (2004). *What's in a word? Conflicting interpretations of vulnerability in climate change research*. CICERO Working

- Paper 2004:04, CICERO, Oslo University, Oslo, Norway.
- O'Brien, K., Eriksen, S., Nygaard, L.P. & Schjolden, A. (2007). Why different interpretations of vulnerability matter in climate change discourses. *Climate Policy*, 7: 7-88.
- O'Keefe P., Westgate K., Wisner B. (1976). Taking the naturalness out of natural disasters. *Nature*, 260: 566-567.
- Ochoa-Rodríguez S., Onof C., Maksimović Č., Wang L.-P., Willems P., Van Assel J., Gires A., Ichiba A., Bruni G., ten Veldhuis M.-C. (2013). *Urban pluvial flood modelling: current theory and practice*. RainGain WP3 Review Document.
- ODPM (2000). *Our Towns and Cities: The Future. Urban White Paper*. London: Office of the Deputy Prime Minister.
- OECD (2008). *Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide*. Technical Report. Paris: OECD Publishing.
- Papa R., Battarra R., Fistola R., Gargiulo C. (1995). *La città come sistema complesso in crisi strutturale*. In Bertuglia C.S., Fucella R., Sartorio G. (a cura di), *La città come sistema complesso in crisi strutturale: strumenti e tecniche per il governo metropolitano*. Fondazione Aldo Della Rocca, studi urbanistici, vol. XX. Milano: Giuffrè.
- Parker D.J. (2000). *Floods*. London: Routledge.
- Parry M.L., Carter T.R., Konijn, N.T. (eds.) (1988). *The Impact of Climatic Variations on Agriculture*. Dordrecht: Kluwer.
- Patt A.G., Schröter D., de la Vega-Leinert A.C., Klein R.J.T. (2009). Vulnerability research and assessment to support adaptation and mitigation: common themes from the diversity of approaches. In Patt A.G. Schröter D., Klein R.J.T., de la Vega-Leinert A.C. (eds), *Assessing Vulnerability to Global Environmental Change: Making Research Useful for Adaptation, Decision Making and Policy*. London: Earthscan.
- Parker D.J., Priest S.J., McCarthy S.S. (2011). Surface water flood warnings requirements and potential in England and Wales. *Applied Geography*, 31: 891-900.
- Pearson L.J., Nelsonc R., Crimp S., Langridge J. (2011). Interpretive review of conceptual frameworks and research models that inform Australia's agricultural vulnerability to climate change. *Environmental Modelling & Software*, 26: 113-123.
- Pelling, M. (2001). Natural disasters?. In: Castree, N., Braun, B. (Eds.), *Social Nature: Theory Practice, and Politics*. Blackwell Publishing, Malden, MA, pp. 170–188.
- Pelling M. (2003). *The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience*. Earthscan, London, UK.
- Pielke R.A.J. (1998). Rethinking the role of adaptation in climate policy. *Global Environmental Change*, 8: 159–170.
- Pitt M. (2008). *Learning lessons from the 2007 floods*. The Pitt Review.
- Portoghese I., Vurro M., Marotti A. (2009). Impatti sul ciclo idrologico e risorse idriche. In S. Castellari & V. Artale (eds.), *La vulnerabilità e gli impatti dei cambiamenti climatici in Italia: elementi per una possibile strategia nazionale per l'adattamento*. Bologna: Bononia University Press.
- Preston B.L., Stafford-Smith M. (2009). *Framing vulnerability and adaptive capacity assessment: Discussion paper*. CSIRO Climate Adaptation Flagship, Working paper No. 2.
- Prinos P., Kortenhaus A., Swerpel B., Jiménez J.A., Samuels P. (2008). *Review of Flood Hazard Mapping*. Project report. Integrated project FLOODsite. European Community. Sixth Framework Programme for European Research and Technological Development (2002-2006).
- ProAct (2008). *Climate change adaptation and disaster risk reduction*. Policy paper. ProAct Network.
- Queensland Government (2011). *Understanding floods: Questions & Answers*. The State of Queensland: Queensland Government.
- Ramsbottom D., Wade S., Bain V., Floyd P., Penning-Rowsell E., Wilson T., Fernandez A., House M., Surendran, S. (2006a). *R&D outputs: flood risks to people: phase 2. FD2321/TR1. The Flood Risks to People Methodology*. DEFRA/Environment Agency Flood and Coastal Defence R&D Programme, Department for Environment, Food and Rural Affairs, London.
- Ramsbottom D., Wade S., Bain V., Floyd P.,



- Penning-Rowsell E., Wilson T., Fernandez A., House M., Surendran S. (2006b). *R&D outputs: flood risks to people: phase 2. FD2321/PR. Project Record.* DEFRA/Environment Agency Flood and Coastal Defence R&D Programme, Department for Environment, Food and Rural Affairs, London.
- Revi A., Rosenzweig C. (2013). *The Urban Opportunity: Enabling Transformative and Sustainable Development.* Background Paper for the High-Level Panel of Eminent Persons on the Post-2015 Development Agenda, Sustainable Development Solutions Network.
- Rodriguez M. (2012). *Usa integrato di sensori SAR e LiDAR nell'analisi dei fenomeni di allagamento: il ruolo del telerilevamento attivo nel processo di resilienza al rischio idrologico-idraulico in ambito urbano.* Tesi di Laurea Magistrale in Sistemi Informativi Territoriali e Telerilevamento, Facoltà di Pianificazione del Territorio, Università Iuav di Venezia. Relatore: Prof. Sylos Labini; co-relatori: Prof. Goffredo La Loggia, Dott. Niccolò Landelli.
- Salami R., Giggins H., von Meding J. (2017). *Urban settlements' vulnerability to flood risks in African cities: A conceptual framework.* Jamba: Journal of Disaster Risk Studies, 9(1). doi: 10.4102/jamba.v9i1.370
- Schauser, I., Otto, S., Schneiderbauer, S., Harvey, A., Hodgson, N., Robrecht, H., Morchain, D., Schrandner, J. J., Khovanskaia, M., Celikyilmaz-Aydemir, G., Prutsch, A., McCallum, S. (2010). *Urban Regions: Vulnerabilities, Vulnerability Assessments by Indicators and Adaptation Options for Climate Change Impacts. Scoping Study.* ETC/ACC Technical Paper 2010/12, Bilthoven: European Topic Centre on Air and Climate Change (ETC/ACC) (208 pp.).
- Schmitt T.G., Thomas M., Etrich N. (2004). Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems. *Journal of Hydrology*, 299: 300-311.
- Secchi B., 2000. *Prima lezione di urbanistica.* Roma: Laterza.
- SEPA (2015). *Planning Guidance Strategic Flood Risk Assessment: SEPA technical guidance to support development planning.* Land Use Planning System SEPA Development Plan Guidance, LUPS-GU23, Scottish Environment Protection Agency.
- Shamsuddoha M., Roberts E., Hasemann A., Roddick S. (2013). *Establishing Links between Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation in the Context of Loss and Damage. Policies and Approaches in Bangladesh.* Independent University, Bangladesh (IUB). Bashundhara R/A, Dhaka: International Centre for Climate Change and Development (ICCCAD).
- Shaw R., Colley M., Connell R. (2007). *Climate change adaptation by design: a guide for sustainable communities.* TCPA, London.
- Silva, M.M., Costa, J.P. (2016). Flood Adaptation Measures Applicable in the Design of Urban Public Spaces: Proposal for a Conceptual Framework. *Water* 2016, 8(7): 1-26.
- Smit B., Burton I., Klein R.J.T., Street R. (1999). The science of adaptation: a framework for assessment. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 4: 199-213..
- Smit B., Burton I., Klein R.J.T., Wandel J. (2000). An anatomy of adaptation to climate change and variability. *Climatic Change*, 45: 223-251.
- Smit B., McNabb D., Smihers J. (1996). Agricultural adaptation to climate change. *Climate Change*, 33: 7-29.
- Smit B., Pilifosova O. (2001). Adaptation to Climate Change in the Context of Sustainable Development and Equity. In *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability - Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Smit B., Skinner M. (2002). Adaptation options in agriculture to climate change: a typology. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7: 85-114.
- Smit B., Wandel J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change* 16: 282-292.
- Smith K, Petley D.N. (2009). *Environmental hazards. Assessing risk and reducing disaster* (5<sup>th</sup> ed.). New York: Routledge.
- Smith T.M., Smith R.L. (2006). *Elements of ecology.* San Francisco, CA: Pearson Benjamin Cummings.
- Soares, M. B., A. S. Gagnon & R. M. Doherty (2012). Conceptual elements of climate change vulnerability assessments: a review.

- International journal of climate change strategies and management*, 4 (1): 6-35.
- Soden B.J., Held I.M. (2006). An Assessment of Climate Feedbacks in Coupled Ocean-Atmosphere Models. *Journal of Climate*, 19: 3354–3360. doi: 10.1175/JCLI3799.1
- Spearman M., McGray H. (2011). *Making Adaptation Count. Concepts and Options for Monitoring and Evaluation of Climate Change Adaptation*. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Stephenson, D. (2008). Definition, diagnosis, and origin of extreme weather and climate events. In H. Diaz & R. Murnane (Eds.), *Climate Extremes and Society* (pp. 11-23). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511535840.004
- Stephenson V., D’Ayala D. (2014). A new approach to flood vulnerability assessment for historic buildings in England. *Natural Hazard and Earth System Sciences*, 14:1035-1048. doi:10.5194/nhess-14-1035-2014
- Swart R., Fons, J., Geertsema W., van Hove B., Gregor M., Havranek M., Jacobs C., Kazmierczak A., Krellenberg, K., Kuhlicke C., Peltonen L. (2012). *Urban Vulnerability Indicators. A joint report of ETC-CCA and ETC-SIA*, ETC-CCA and ETC-SIA Technical Report 933, 01/2012, European Topic Centre on Climate Change Impacts, Vulnerability and Adaptation (ETC/CCA) and European Topic Centre on Spatial Information and Analysis (ETC/SIA), (178 pp.).
- Tahmasebi A. (2013). *Pastoral Vulnerability to Socio-Political and Climate Stresses: The Shahsevan of North Iran*. ZEF Development Studies LIT, Berlin.
- Tapia C., Guerreiro S., Dawson R., Abajo B., Kilsby C., Feliu E., Mendizabal M., Martinez J.A., Fernández J.G., Glenis V., Eluwa C., Laburu T., Lejarazu A. (2016). *RAMSES Project, WP 3: Small-scale vulnerability and risk analysis for cities and sectors. Deliverable 3.1: High level quantified assessment of key vulnerabilities and priority risks for urban areas in the EU*. Tecnalia Research and Innovation, Newcastle University.
- Thomalla F., Downing T., Spanger-Siegfried E., Han G., Rockström J. (2006). Reducing hazard vulnerability: towards a common approach between disaster risk reduction and climate adaptation. *Disasters*, 30(1): 39-48.
- Timmerman J., Breil M., Bacciu V., Coninx I., Fons J., Gregor M., Havranek M., Jacobs C., Loehnertz M., Pelton L., Sainz M., Swart R. (2017). *Map book urban vulnerability to climate change – Factsheets*. European Environment Agency, European Topic Centre on Climate Change Impacts, Vulnerability and Adaptation, European Topic Centre on Spatial Information and Analysis.
- Tiranti, D. (1977). The Un-natural Disasters. *The New Internationalist*, 53: 5-6.
- Trovati F. (2016). Consumo del suolo: effetti diretti sul ciclo idrologico e gestione delle acque meteoriche. *Ingenio*, 47.
- Tucci C. (2007). *Urban Flood Management*. Geneva: World Meteorological Organization and Cap-Net International Network for Capacity Building in Integrated Water Resources Management.
- Tucci F. (2013). Progettazione Ambientale, tra emergenza e scarsità di risorse: alcune riflessioni di metodo. *TECHNE Journal of Technology for Architecture and Environment*, SITdA, Firenze University Press, 5: 44-52.
- Turner II B.L., Kasperson R.E., Matson P.A., McCarthy J. J., Corell R.W., Christensen L., Eckley N., Kasperson J. X., Luers A., Martello M. L., Polsky C., Pulsipher A., Schiller A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100 (14): 8074–8079.
- UN (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. New York: United Nations.
- UN (2005). *Hyogo Framework for Action 2005-2015. Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters*. World Conference on Disaster Reduction, 18-22 January 2005, Kobe, Hyogo. United Nations.
- UN (2014). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*. Methodology Working Paper No. ESA/P/WP.238, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
- UN (2015a). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 - 2030*. Third UN World Conference on Disaster Risk Reduction March 18, 2015, Sendai, Japan. United Nations.



- UN (2015b). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (ST/ESA/SER.A/366).
- UN (2015c). *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. A/RES/70/1. United Nations.
- UNFCCC (2004). *Application of Methods and Tools for Assessing Impacts and Vulnerability and Developing Adaptation Responses*. Background paper. Buenos Aires: United Nations Framework Convention on Climate Change.
- UNFCCC (2005). *Compendium on methods and tools to evaluate impacts of, and vulnerability and adaptation to, climate change*. Final draft report. United Nations Framework Convention on Climate Change.
- UNFCCC (2016). *Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015*. Part two: Action taken by the Conference of the Parties at its twenty-first session. Decisions adopted by the Conference of the Parties. Paris: United Nations Framework Convention on Climate Change.
- UNISDR (2004). *Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives*. United Nations & International Strategy for Disaster Reduction, New York.
- UNISDR (2017a). *EFDRR Survey on Sendai Framework Implementation in Europe*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- UNISDR-EUR, COE, EUR-OPA (2011). *Climate Change Adaptation and Disaster Risk Reduction in Europe. A Review of Risk Governance*. United Nations International Strategy for Disaster Reduction - Regional Office for Europe UNISDR-EUR, Council of Europe COE, European and Mediterranean Major Hazards Agreement EUR-OPA.
- United Nations (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. New York: United Nations.
- US Army Engineer Institute for Water Resources (2013). *Flood risk management*. IWR Report 2013-R-05. National Economic Development, US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources.
- Van Der Veen A., Logtmeijer C. (2005). Economic hotspots: visualizing vulnerability to flooding. *Natural Hazards*, 36(1-2), 65-80.
- van Riel W. (2011). *Exploratory study of pluvial flood impacts in Dutch urban areas*. Deltares, Delft.
- Venton P., La Trobe S. (2008). *Linking climate change adaptation and disaster risk reduction*. Teddington, UK: Tearfund.
- Viola Poesello A. (2013). Città e cambiamento climatico: come tradurre il significato di "what need to be done" in "how to do it". In *Atti della conferenza "Il clima cambia le città", Conferenza sull'adattamento climatico in ambito urbano*. Venezia 23-24 maggio 2013.
- Watson D., Adams, M. (2011). *Design for Flooding: Architecture, Landscape, and Urban Design for Resilience to Flooding and Climate Change*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. doi: 10.1002/9781118259870.ch3
- Weeks J.R. (2008). *Population: an introduction to concept and issues*. 10th edn. Belmont, CA: Wadsworth Thomson Learning.
- Weeks J.R. (2010). *Defining Urban Areas*. In Rashed T., Jürgens C. (Eds.), *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*. Springer Netherlands.
- Willows R.I., Connell, R.K. (eds.) (2003). *Climate adaptation: Risk, uncertainty and decision-making*. UKCIP Technical Report. Oxford: UKCIP.
- WMO (2004). *Establish guidelines for implementation of a demonstration project of severe weather forecasting. A definition of severe weather*. Workshop on Severe and Extreme Events Forecasting, Tolosa, 26-29 Ottobre 2004.
- World Bank (2009). *Identifying appropriate adaptation measures to climate change*. Washington, DC: World Bank, Environment Department.
- World Meteorological Organization and Global Water Partnership (2008). *Urban Flood Management: A Tool for Integrated Flood Management*. Geneva: World Meteorological Organization.
- WRI (2009). *The National Adaptive Capacity Framework. Key Institutional Functions for a Changing Climate*. Washington DC: World Resources Institute.

## Web references

- American Friends of Tel Aviv University (2012, July 10). Climate change may lead to fewer but more violent thunderstorms. *American Friends of Tel Aviv University*. Retrieved May 21, 2017 from <https://goo.gl/2Qk2zk>.
- AMS (2012). Heavy rain. *Glossary of Meteorology*. Retrieved June 15, 2016 from <https://goo.gl/THzRb4>.
- Annan, K. (2003). *Message for the International Day for Disaster Reduction 8 October 2003*. Retrieved May 10, 2016 from <https://goo.gl/4M83hG>.
- Atsumi, M. (2009). *River management in Japan with focus on river levee*. Retrieved October 25, 2017 from <https://goo.gl/FAw1JL>.
- Bankoff G. (2010). *There are No Such Things as Natural Disasters*. Retrieved May 21, 2017 from <https://goo.gl/5NkFY4>.
- Barone D. (2014, September 19). Il sistema climatico: un sistema dinamico non lineare. *Climate monitor*. Retrieved May 22, 2017 from <https://goo.gl/aPyb1w>.
- Bertello V. (2010). *L'ambiente urbano*. Retrieved May 21, 2017 from <https://goo.gl/APTRDY>.
- Bertolin C. (2015, October 28). Cause naturali del cambiamento climatico a livello globale. *Riflessi on line*. Retrieved October 22, 2016 from <https://goo.gl/Bqp3qj>.
- Bournay E. (2006). Typology of hazards. *GRID-Arendal*. Retrieved May 22, 2017 from <https://goo.gl/qdyypE>.
- Catino F. (2007, February 23). Ciclo idrologico e cambiamenti climatici. *Treccani*. Retrieved May 21, 2017 from <https://goo.gl/vwx1KY>.
- Cogliati Dezza, V. (2005), voce "Ambiente". *Enciclopedia dei Ragazzi*. Retrieved May 22, 2017 from <https://goo.gl/giWfZd>.
- Climateapp (n.d.). *Adaptive solutions*. Retrieved October 16, 2016 from <http://www.climateapp.nl/>.
- CRED (2017). *The International Disaster Database*. Retrieved October 16, 2017 from <https://goo.gl/5VL5qK>.
- DFO (2004a). *Global and Regional Analyses - Flood causes listed since 1985*. Dartmouth Flood Observatory. Retrieved May 22, 2017 from <https://goo.gl/RKS756>.
- DFO (2004b). *Global Archive of Large Flood Events - Notes*. Dartmouth Flood Observatory. Retrieved May 22, 2017 from <https://goo.gl/fCSqQf>.
- EEA (2015, February 18). Urban systems. The European Environment - state and outlook 2015 (European Briefings). *European Environment Agency*. Retrieved June 5, 2017 from <https://goo.gl/ejd5JS>.
- Fistola R. (n.d.) *La città come sistema*. Corso di Tecnica Urbanistica, Facoltà di ingegneria, corso di laurea in ingegneria edile, Università del Sannio. Retrieved June 15, 2017 from <https://goo.gl/XFGLYy>.
- FRC (n.d.). *Understanding Pluvial Flooding*. FloodResilienCity. Retrieved June 15, 2016 from <https://goo.gl/o3JSP8>.
- Godou H. (n.d.). *River Basin Management in Japan, Flood Control Measures, Water Resources Management*. Retrieved October 25, 2017 from <https://goo.gl/NRCRCG>.
- GRaBS (2009). *GRaBS Climate Change Adaptation Action Plan Guidance*. Retrieved November 6, 2017 from <https://goo.gl/xEx1tb>.
- ISPRA (2016). *Strategie e piani di adattamento ai cambiamenti climatici - edizione 2016*. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Annuario dei dati ambientali. Retrieved August 20, 2017, from <https://goo.gl/oaVmNh>.
- Kelman, I. (2010). *Natural Disasters Do Not Exist (Natural Hazards Do Not Exist Either)*. Version 3, 9 July 2010 (Version 1, 26 July 2007). Retrieved May 22, 2017 from <https://goo.gl/YeBLvA>.
- Kent County Council (2014, August). What is groundwater? *Kent County Council*. Retrieved June 5, 2017 from <https://goo.gl/49weZW>.
- Lentini G. (2012). Il cambiamento climatico: la sua definizione e la sua attribuzione. *La mia terra vale*. Retrieved May 21, 2017 from <https://goo.gl/brifbM>.
- Local Government Association (2014, August 26). *Surface water (pluvial) flooding*. Retrieved October 16, 2016 from <https://goo.gl/csvkXZ>.
- Maggino F. (2006). *Gli indicatori statistici: concetti, metodi e applicazioni*. Retrieved September 11, 2017 from <https://goo.gl/dXKyVb>.

- Martin (2010). Banksy - Global Warming – London. *Flickr*. Retrieved October 21, 2017 from <https://goo.gl/SXLtWN>.
- Nguyen Xuan A. (2012). *Adattamento al cambiamento climatico: orizzonti per la pianificazione* (Tesi di Dottorato, Sapienza Università di Roma). Di Retrieved May 21, 2017 from <https://goo.gl/QPibqh>.
- Paesano G. (2006). *Definizione di Sistema Climatico (atmosfera, idrosfera, biosfera, criosfera, litosfera)*. Corso-Laboratorio di Educazione Ambientale, Modulo “Il Cambiamento Climatico”, Torino, 20-9-2006. Area Previsione e Monitoraggio Ambientale, ARPA Piemonte. Retrieved May 21, 2017 from <https://goo.gl/fLHzvx>.
- Paolicchi P. (2008). Albedo. *Enciclopedia della Scienza e della Tecnica, Istituto dell'Enciclopedia Italiana Treccani*, Roma. Retrieved May 21, 2017 from <https://goo.gl/mqBQgN>.
- Pasini A. (2012, June 14). il clima come sistema complesso. *Le scienze blog*. Retrieved May 21, 2017 from <https://goo.gl/s8JMZx>.
- Patto dei Sindaci (n.d.). Il patto diventa globale. *Patto dei Sindaci per il Clima e l'Energia*. Retrieved August 20, 2017, from <https://goo.gl/wmUXim>.
- Pernice M, Balestrieri M., Pusceddu M. (April 13, 2017). *Il ruolo della pubblica amministrazione nell'adattamento ai cambiamenti climatici. Un approfondimento a FORUM PA 2017*. FORUM PA 2017. Retrieved August 20, 2017, from <https://goo.gl/QWWN5d>.
- Potter G. (2012, December 11). Urbanizing the Developing World. *VitalSigns Worldwatch Institute*. Retrieved July 18, 2017 from <https://goo.gl/J2kC7P>.
- SuDS (n.d.). *SuDS Components*. Retrieved November 6, 2017 from <https://goo.gl/e8X4XK>.
- SuDS Principles (n.d.). Retrieved November 6, 2017 from <https://goo.gl/AXsKrG>.
- Surbhi S. (July 7, 2016). Difference Between Assessment and Evaluation. *KeyDifferences*. Retrieved September 5, 2017 from <https://goo.gl/QSsQSwf>.
- TCPA (n.d.). *Green infrastructure for climate change adaptation*. Retrieved November 6, 2017 from <https://goo.gl/8xjCte>.
- Tian Q. (2011). *On the Study of Vulnerability to Climate Change/Variability, 2*. Retrieved June 15, 2016 from <https://goo.gl/jff6QV>.
- UNISDR (2017b). *Terminology*. Retrieved June 20, 2017 from <https://goo.gl/DEtnRe>.
- Vecchi G. (n.d.). *Modulo monitoraggio e valutazione 4. Gli indicatori*. Retrieved September 11, 2017 from <https://goo.gl/uy8FDK>.
- WMO-SWIC (2015). Heavy Rain/Snow. Retrieved June 15, 2016 from <https://goo.gl/7GPqEM>.
- Worldometers (2017). World Population. Retrieved May 21, 2017 from <https://goo.gl/rm2Qd4>.