



# I rischi naturali del cambiamento climatico nelle città del Mediterraneo

**Carmen Guida**

*Prefazione di Salvatore Capasso*

Federico II Open Access University Press



Università degli Studi di Napoli Federico II







Università degli Studi di Napoli Federico II  
*Scuola Politecnica e delle Scienze di Base*

Smart City, Urban Planning for a Sustainable Future  
*City and Climate Change*

**8**



# **I rischi naturali del cambiamento climatico nelle città del Mediterraneo**

*Monografia scientifica*

Carmen Guida

*Prefazione di Salvatore Capasso*

Federico II Open Access University Press



fedOAPress

I rischi naturali del cambiamento climatico nelle città del Mediterraneo / Carmen Guida ; prefazione di Salvatore Capasso. – Napoli: FedOAPress, 2021. – 188 p. : ill. ; 25 cm. – (Smart City, Urban Planning for a Sustainable Future ; City and Climate Change ; 8)

Accesso alla versione elettronica:  
<http://www.fedoabooks.unina.it>

ISBN: 978-88-6887-107-9  
DOI: 10.6093/978-88-6887-107-9

#### *Editor*

Rocco Papa, University of Naples Federico II, Italy

#### *Editorial Advisory Board*

Mir Ali, University of Illinois, USA - Luca Bertolini, University of Amsterdam, Netherlands - Luuk Boelens, Ghent University, Belgium - Dino Borri, Polytechnic University of Bari, Italy - Enrique Calderon, Universidad Politécnica de Madrid, Spain - Roberto Camagni, Politecnico di Milano, Italy - Pierluigi Coppola, Politecnico di Milano, Italy - Derrick De Kerckhove, University of Toronto, Canada - Mark Deakin, Edinburgh Napier University, Scotland - Carmela Gargiulo, University of Naples Federico II, Italy - Aharon Kellerman, University of Haifa, Israel - Nicos Komninos, Aristotle University of Thessaloniki, Greece - David Matthew Levinson, University of Sydney, Australia - Paolo Malanima, Magna Græcia University of Catanzaro, Italy - Agostino Nuzzolo, Tor Vergata University of Rome, Italy - Serge Salat, Urban Morphology and Complex Systems Institute, France - Mattheos Santamouris, National Kapodistrian University of Athens, Greece - Ali Soltani, Shiraz University, Iran

#### **All the books of this series undergo rigorous double-blind review process**

© 2021 FedOAPress - Federico II Open Access University Press  
Università degli Studi di Napoli Federico II  
Centro di Ateneo per le Biblioteche "Roberto Pettorino"  
Piazza Bellini 59-60 - 80138 Napoli, Italy  
<http://www.fedoapress.unina.it>

Published in Italy  
Gli E-Book di FedOAPress sono pubblicati con licenza  
Creative Commons Attribution 4.0 International

Copertina e progetto grafico: TeMALab  
Foto di copertina: Mareggiata su Castel dell'Ovo, Napoli, Dicembre 2020

***Per la messa a punto di questo volume si ringraziano il Prof. Ing. Rocco Papa, editor della collana Smart City, Urban Planning for a Sustainable Future. City and Sustainable Mobility, e la Prof. Arch. Carmela Gargiulo per il prezioso supporto***





## Prefazione

### 1. Il cambiamento climatico: uno scenario globale

- 1.1. I cambiamenti climatici in corso: *call for action*
- 1.2. Le cause e gli effetti del riscaldamento globale per le città
- 1.3. Il cambiamento climatico ai tavoli decisionali tra successi e fallimenti  
Riferimenti bibliografici e sitografia

### 2. La gestione dei rischi climatici e metereologici

- 2.1 Le teorie del rischio e i cambiamenti climatici
- 2.2 La gestione dei rischi climatici e metereologici nei sistemi urbani
- 2.3 Il MoSE di Venezia  
Riferimenti bibliografici e sitografia

### 3. Lo scenario delle città della costa Mediterranea

- 3.1 La complessità del Mediterraneo: uno sguardo d'insieme
- 3.2 I rischi naturali di una zona climatica sensibile  
Riferimenti bibliografici e sitografia

### 4. Ondate di calore e hot days

- 4.2 I serbatoi di calore del pianeta
- 4.3 L'hot-spot del Mar Mediterraneo e delle sue città
- 4.4 Alcune *best practices*: l'adattamento e la mitigazione delle ondate di calore come opportunità di sviluppo socioeconomico  
Riferimenti bibliografici e sitografia

### 5. Precipitazioni: tra siccità e bombe d'acqua

- 5.2 Tra deficit idrici ed inondazioni
- 5.3 Le città mediterranee verso un clima tropicale
- 5.4 Alcune *best practices*: l'adattamento e la mitigazione per ottimizzare la gestione delle risorse idriche  
Riferimenti bibliografici e sitografia

### 6. L'innalzamento del livello medio del mare

- 6.1 I fattori contributivi all'innalzamento del mare
- 6.2 Quale futuro per le città della costa mediterranea?
- 6.3 Alcune *best practices*: l'adattamento e la mitigazione per proteggere le coste  
Riferimenti bibliografici e sitografia

## Conclusioni

# Prefazione

*Salvatore Capasso*

Direttore ISMed - Istituto di Studi sul Mediterraneo  
CNR

È ormai opinione condivisa che il clima, inteso come sistema terra-mare-atmosfera, stia subendo profondi cambiamenti che si manifestano attraverso fenomeni estremi, una volta molto rari, ma che oggi preoccupano, per frequenza ed intensità, le città del mondo intero.

Se parte di questi cambiamenti sono attribuibili ad una naturale e ciclica variabilità climatica dell'atmosfera terrestre, tuttavia la comunità scientifica è da tempo d'accordo che le attività dell'uomo ne sono il maggiore responsabile, in primo luogo per l'immissione in atmosfera di gas serra provenienti dall'utilizzo di combustibili fossili, ma anche per la insensata deforestazione, per le intensive attività agricole e industriali e quant'altro. Le conseguenze di questi fenomeni sull'ambiente fisico e naturale, oltre che su quell'ambiente urbano, per i prossimi decenni sono difficili da prevedere, perché come il clima cambierà e quanto le comunità coinvolte saranno capaci di assorbirne gli impatti sono questioni molto controverse e governate da una profonda incertezza, nonostante il contributo delle nuove tecnologie e degli avanzamenti della ricerca scientifica. Differenti gruppi di esperti, nel definire i rischi dovuti al cambiamento climatico, raggiungono spesso differenti conclusioni. Alcuni credono che le conseguenze della variabilità climatica per i prossimi decenni saranno di piccola entità, dal momento che prevedono la combinazione di effetti stabilizzanti, una minore sensibilità dei sistemi fisici, risorse biologiche, risposte politiche ai cambiamenti climatici e una buona capacità di risposta delle comunità agli impatti economici e sociali dei fenomeni connessi alla variabilità climatica e meteorologica. Questa ultima qualità dipende in parte dalle notevoli capacità scientifiche e tecnologiche delle comunità internazionali.

Altri esperti vedono il cambiamento climatico come molto più rischioso, a causa della velocità con cui il fenomeno si consolida e che porterà a condizioni climatiche mai sperimentate prima nella recente storia dell'uomo. Inoltre, le caratteristiche fisiche del pianeta, le risorse biologiche da cui la società dipende e i sistemi sociali esistenti sono fortemente conformati sulle condizioni esistenti, dal momento che sono condizioni stabili ormai da migliaia di anni. Questa instabilità incrementa il potenziale di squilibrio dei cambiamenti climatici. Il recente susseguirsi di eventi

inattesi ha mostrato che anche piccole perturbazioni possono avere significative conseguenze sulle comunità locali e/o regionali, fino al verificarsi sempre più frequente di veri e propri disastri naturali.

Anche in assenza della profonda incertezza sulle conseguenze del cambiamento climatico, evidenziata dalle divergenze tra esperti in materia, il fenomeno rappresenta comunque una sfida molto complessa nella gestione dei rischi ad esso connessi. Le risposte politiche necessariamente integrano ad informazioni oggettive relative al rapporto tra il sistema climatico mare-terra-aria e le società in cui viviamo, giudizi soggettivi che sono conseguenza dell'eterogenea consapevolezza del fenomeno, dell'equità tra nazioni e popoli e del rispetto che nutriamo nei confronti del patrimonio culturale e/o delle specie non umane. Tutto ciò contribuisce a rendere eterogenea e spesso controversa la gestione dei rischi connessi alla variabilità climatica, oltre che meteorologica del pianeta.

Se quanto detto è vero per il mondo intero, la questione climatica diviene ancora più difficile se calata nel contesto delle città che si affacciano sul Mar Mediterraneo. Il Mediterraneo è da sempre sinonimo di identità comuni, di incontro di religioni e destini di civiltà, ambiti naturali, diete e cibi, culture e arti, mitologie e caratteri fisico-somatici, *formae urbis* e tipicità climatiche, ma anche drastiche differenze tra ricchezza e povertà, modelli di progresso e diritti di cittadinanza profondamente diversi. Allo stesso tempo, la regione mediterranea, sulla base dei risultati degli scenari di proiezione del cambiamento climatico, è una delle più sensibili al riscaldamento globale.

L'ultimo report dell'International Panel on Climate Change (IPCC, 2018) evidenzia che l'area Mediterranea è tra le più vulnerabili al mondo, rispetto agli impatti dei fenomeni climatici e meteorologici.

La consapevolezza degli impatti di tali fenomeni sulle città del Mediterraneo ha interessato anche le politiche di euro-partenariato tanto da definire nuove priorità per i prossimi decenni, con l'obiettivo di rafforzare la cooperazione interregionale e internazionale. Tra le principali priorità di cooperazione figurano: azioni per mitigare il surriscaldamento globale e "adattare" la regione ai fenomeni che ne conseguono,

lo sviluppo di economie sostenibili, la trasformazione digitale e la messa a punto di un sistema di protezione civile degli insediamenti abitati, degno di questo nome. Le anomalie climatiche hanno agito, se non altro, da acceleratore delle tensioni sfociate in conflitti e rivolte che a partire dal 2011 hanno infiammato il Nord Africa e la Siria, come sottolinea Grammenos Mastojeni, vicesegretario generale dell'Unione del Mediterraneo (UfM) incaricato per il settore clima ed energia: *"anche se non si possono etichettare le rivolte del Mediterraneo come conflitti ambientali, non vi è dubbio che il cambiamento climatico risulta spesso il fattore scatenante dei conflitti"*.

Il cambiamento climatico non porta di per sé a situazioni di insicurezza o conflitti, ma esistono relazioni molteplici *tra climate change* e fattori politici, sociali, economici, ambientali che possono minare la sicurezza o innescare/esacerbare i conflitti. La maggioranza degli studi scientifici indica, non a caso, che la vulnerabilità ai cambiamenti climatici nel Mediterraneo e nell'Africa sub-sahariana risulta tra le principali determinanti delle dinamiche migratorie.

In tale panorama di riferimento questo lavoro intende porsi come un contributo di approfondimento e di riflessione.

Di particolare interesse sono i riferimenti al dibattito (culturale, politico e diplomatico) relativo alla crisi climatica e alla sua declinazione nel contesto del Mar Mediterraneo, così come l'applicazione delle teorie del rischio agli strumenti di governo delle trasformazioni urbane e territoriali, orientate a mitigare e soprattutto ad adattare le città agli impatti di fenomeni connessi ai cambiamenti climatici.

Considerando gli scenari previsti per la fine del XXI secolo, le città della costa del Mar Mediterraneo non possono non rispondere congiuntamente al richiamo all'azione. Alla luce di questi approfondimenti, l'obiettivo specifico di questo lavoro è quello proporre un testo dall'ampio respiro culturale, ma con rigorosi riferimenti al panorama scientifico attuale, entrambi orientati ad evidenziare l'esposizione e la vulnerabilità delle città del mediterraneo ad eventi climatici estremi che presentano elevate probabilità di verificarsi per l'area oggetto di studio: ondate di calore estremo, bombe d'acqua, siccità e innalzamento del livello del mare.

Per ognuno di questi fenomeni, sono state approfondite differenti approcci scientifici, in qualche caso contrastanti, per costruire lo "scenario atteso" per il Mediterraneo da qui alla fine del secolo. Infine, sono stati riportati e valutati alcuni casi di *best practices* internazionali messe a punto e implementate per far fronte agli impatti del cambiamento climatico.

In estrema sintesi si può affermare che questo lavoro si pone in continuità con il lavoro congiunto svolto, in questi ultimi anni, tra i ricercatori dal Laboratorio TeMALab del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale della "Federico II" di Napoli e i ricercatori dell'Istituto di Studi sul Mediterraneo (ISMed) del CNR, affidato alla mia responsabilità, lavoro congiunto che parte dal presupposto che "il Mediterraneo rappresenta un'opportunità di crescita e sviluppo sia per i paesi più ricchi della sponda nord che per quelli della sponda sud e dalla consapevolezza che la ricerca scientifica è uno strumento indispensabile per concretizzare tali opportunità".

# Capitolo 1

Il cambiamento climatico: uno scenario globale

## 1.1 I cambiamenti climatici in corso: call for action

I cambiamenti climatici sono ormai conclamati e gli eventi estremi dalla portata catastrofica che l'intero pianeta sta vivendo ne sono una dimostrazione. L'impatto economico e sociale per interi paesi è enorme e nei prossimi decenni si dispiegherà con effetti destabilizzanti per il nostro pianeta e per le città in cui viviamo, minando i precari equilibri di sistemi per natura complessi, oltre che vulnerabili (OECD<sup>1</sup>, 2020).

Benché la comunità scientifica sia da tempo d'accordo che gran parte del riscaldamento globale sia di origine antropica e sia stato causato dall'immissione in atmosfera di grandi quantità di gas serra provenienti dall'utilizzo di combustibili fossili, dalla deforestazione e dalle intensive attività agricole e industriali, le nazioni non riescono a concordare su un piano di mitigazione per dimezzare le emissioni al 2030 e azzerarle entro il 2050.

Questi ambiziosi obiettivi sono il risultato di ricerche condotte dall'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) per rispettare l'impegno di restare entro un innalzamento della temperatura media globale compreso tra 1,5°C e 2°C rispetto all'era preindustriale. L'estremo superiore di questo intervallo è ritenuto un limite da non superare per evitare impatti potenzialmente distruttivi.

Eppure, considerando che la temperatura media del pianeta si è già innalzata di 1°C, azioni di mitigazione potrebbero non bastare: gli strumenti di governo del territorio devono inevitabilmente essere orientati ad adattare i sistemi urbani ai fenomeni che il surriscaldamento globale comporta, incrementandone la capacità di risposta. Se poi si considera la stima dell'IPCC secondo cui, per la latenza del sistema climatico definita *climate lag*, i gas climalteranti già immessi in atmosfera abbiano provocato un implicito e ulteriore incremento di 0,6°C, l'adattamento dei

---

1 OECD sta per Economic Co-operation and Development o Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE).



sistemi urbani e territoriali al nuovo clima diviene ancora più necessario (Galderisi, 2014).

Secondo alcuni ricercatori e scienziati, tenendo conto delle limitate azioni introdotte a seguito degli impegni di mitigazione dell'Accordo di Parigi, volontari e non vincolanti, avremo presto un pianeta più caldo di 3°C, in media. Questo comporterà un innalzamento anche di 4-5°C per le aree emerse e fino a 8-10°C per le aree polari, oltre che uno spostamento delle fasce climatiche di centinaia di chilometri, con effetti pesantissimi per biodiversità, agricoltura e, inevitabilmente, per le città. Inoltre, lo scioglimento dei ghiacciai nella zona artica, oltre al conseguente effetto di rilascio di CO<sub>2</sub> e metano (ventotto volte più climalterante della CO<sub>2</sub>) contenuti nei terreni ghiacciati, comporteranno un sensibile innalzamento del livello del mare. Le correnti atlantiche, come quelle del Golfo del Messico potranno essere notevolmente turbate dall'immissione di acque fredde e dolci, cui seguiranno eventi meteorologici estremi in tutto il pianeta. Le zone costiere più basse saranno invase dall'acqua, e in alcuni casi sommerse (OECD<sub>b</sub>, 2020; OECD<sub>c</sub>, 2020). Crescerà la siccità in molte regioni, come nel Mediterraneo, con piogge concentrate in pochi e molto intensi episodi. Questi fenomeni comporteranno conseguenze drammatiche per i sistemi urbani e per tutte le sue componenti, come per le attività, i sistemi di trasporto, le reti fognarie, la logistica, etc. (Bottero et al., 2017). In Figura 1-1 sono sintetizzate, in un'efficace infografica, i principali effetti del cambiamento climatico sulla salute umana.

Il bilancio per il secondo decennio del XXI secolo è drammatico: solo in Italia, oltre 500 comuni sono stati interessati da quasi mille eventi meteorologici estremi, tanto che il cambiamento climatico nel nostro Paese, secondo Legambiente (2020), conta 251 morti e 50mila persone evacuate in seguito a frane e alluvioni, ed incalcolabili perdite economiche. Per citare solo alcuni dei più recenti e drammatici eventi basta ricordare le immagini della città di Venezia, di novembre 2019, a testimonianza di quanto la combinazione di fenomeni strettamente connessi al cambiamento climatico (innalzamento del livello del mare e intense precipitazioni) possano compromettere sistemi urbani per natura molto vulnerabili, provocando danni ad

infrastrutture e al patrimonio artistico e architettonico addirittura incalcolabili, come in questo caso; anche Napoli, in copertina, in dicembre 2020, è stata colpita da una mareggiata che ha invaso il lungomare Caracciolo e le attività commerciali, già duramente dilaniate dalla crisi economica conseguente alla pandemia da Covid-19.

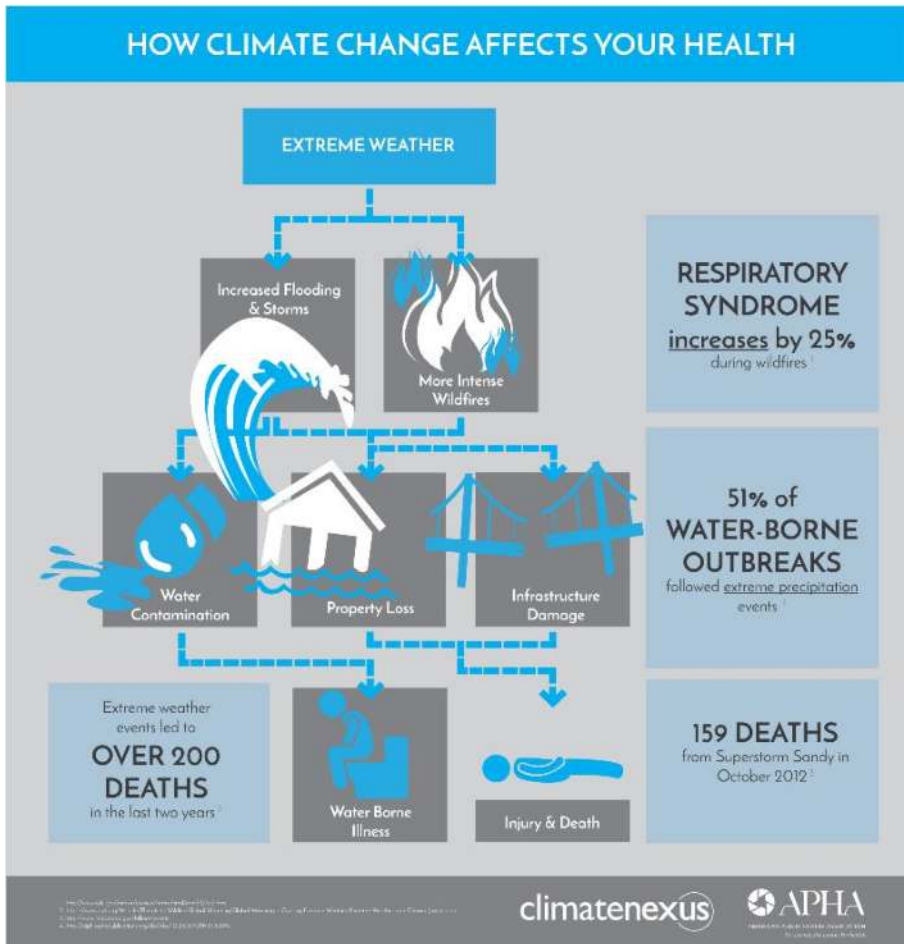


Figura 0-1: Conseguenze del cambiamento climatico sugli insediamenti urbani e la salute umana (climatenexus.com).

Indubbiamente il cambiamento climatico esercita oggi una pressione non trascurabile sulle infrastrutture pesanti delle nostre città (strade, ambienti edificati e sistemi fognari), ma anche su quelle leggere, quali il sistema sanitario (Figura 1-1). Le ondate di calore, per esempio, possono compromettere la salute dei cittadini, soprattutto delle fasce più deboli, tanto che in alcune stagioni e soprattutto nelle

aree densamente edificate, come quelle urbane, questi fenomeni costituiscono una diffusa causa di morte per la popolazione anziana.

Le città dell'intero pianeta sono seriamente minacciate dagli impatti del cambiamento climatico, e pertanto sono richieste strategie efficaci ed efficienti a ridurre la loro esposizione e vulnerabilità ai rischi correlati a questo fenomeno senza precedenti nella storia dell'uomo, per prevenire potenziali danni alla popolazione.

A pagare il prezzo più alto sarebbero, in primis, le popolazioni residenti nei Paesi più poveri, sia perché hanno meno risorse da investire per implementare strategie di adattamento dei propri sistemi urbani e territoriali al surriscaldamento globale, sia per la loro collocazione geografica (quasi sempre in aree tropicali o equatoriali). In generale, gli insediamenti urbani in zone climatiche sensibili pagherebbero un conto molto salato. Tra questi, le città mediterranee potrebbero soffrire significativamente delle alterazioni connesse al surriscaldamento globale. Numerosi studi scientifici, tra cui recenti report dell'IPCC, oltre che fatti di cronaca sembrano infatti dimostrare che il Mar Mediterraneo e la fitta rete di città che popolano le sue coste rappresentino una zona climatica sensibile. Ad aggredire ulteriormente la regione del *mare nostrum* non è solo l'esposizione a pericolosi eventi climatici e meteorologici, ma anche la vulnerabilità di questi territori, esacerbata dalle intrinseche e profonde discrasie sociali ed economiche tra la riva europea, nord-africana e medio-orientale, dalle insanabili fratture politiche e dalla difficoltà di riconoscere il bacino Mediterraneo non solo come luogo fisico, ma come entità geopolitica, inestimabile risorsa di ricchezze culturali, etniche, architettoniche, storiche e naturali (oltre che economiche).

Questo lavoro vuole contribuire al dibattito culturale e scientifico in merito al governo delle trasformazioni urbane e territoriali orientate a limitare gli impatti connessi al surriscaldamento globale, con un focus ai fattori di pericolosità, esposizione e vulnerabilità, ma anche di resilienza, delle città del Mar Mediterraneo. Alcune considerazioni, di seguito sintetizzate, hanno orientato il mio studio ai sistemi urbani: pur occupando appena il 2% dell'intera superficie terrestre, le città sono responsabili del 60-80% delle emissioni di gas serra climalteranti (anidride

carbonica, metano, etc.), a causa dell'elevata concentrazione di attività e abitanti (Hoorweg et al., 2011; Gurney et al., 2021); infatti, al 2018, circa due terzi del consumo mondiale di energia si è concentrato nei centri urbani, rispetto a meno della metà (45%) nel 1990. Del resto, nelle aree urbane risiede il 55% della popolazione mondiale e generano oltre l'80% del prodotto interno lordo globale. Le città sono, dunque, un importante terreno di sfida, ma anche un'innegabile occasione per far avanzare la transizione ecologica, implementare azioni per limitare gli effetti di irreversibili fenomeni connessi al cambiamento climatico.

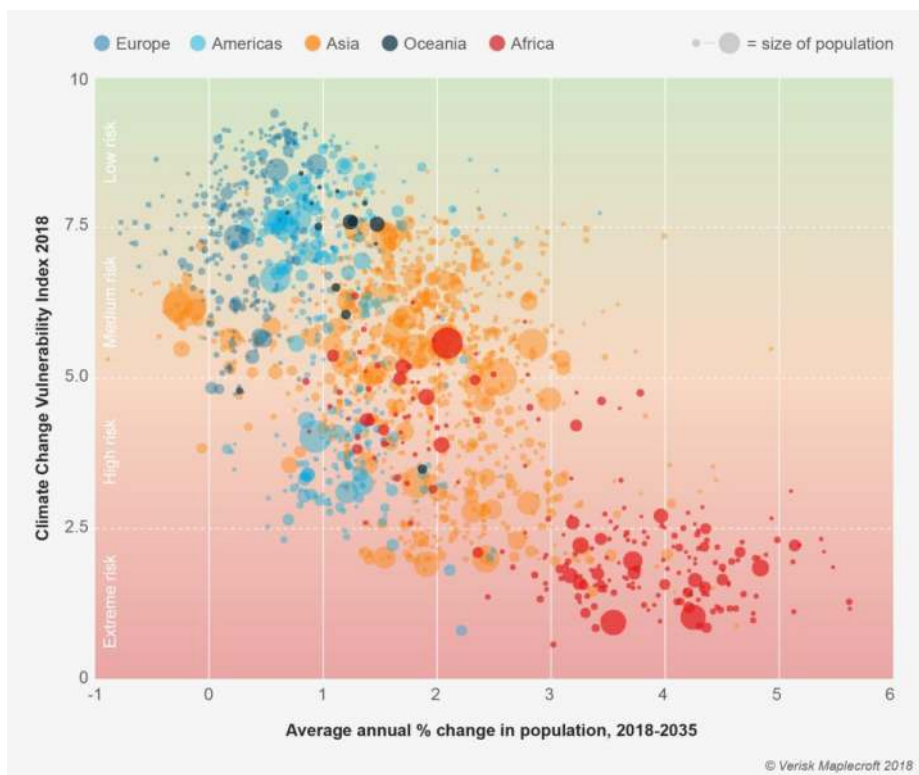


Figura 0-2: Variazione percentuale di popolazione nelle principali città del mondo rispetto all'indice di vulnerabilità ai cambiamenti climatici (2018).

La Figura 1-2 evidenzia quanto le principali città di Paesi in via di sviluppo, localizzati per lo più in Africa e Asia, e caratterizzate dalle più alte percentuali di cambiamento demografico previsto per il periodo 2018-2035, siano le più vulnerabili agli impatti

del cambiamento climatico. Alla luce di ciò, alle città è richiesto di affrontare una duplice sfida: mitigare gli effetti del cambiamento climatico, da un lato, e adattare le proprie strutture (*grey, green e blue*) ad inevitabili fenomeni estremi, dall'altro. Le città devono quindi organizzare la loro risposta coordinando i sottosistemi di cui sono composte, adattandosi ai cambiamenti climatici in corso, incrementando la propria resilienza (Errigo, 2018; Carpentieri, 2020) agli eventi meteorologici estremi, che diverranno sempre più frequenti ed intensi.

Questo primo capitolo presenta il quadro del fenomeno a livello globale, sintetizzandone cause ed effetti ed offrendo un excursus politico, sociale ed economico dell'affermazione dei cambiamenti climatici ai tavoli decisionali dell'intero pianeta.

## **1.2 Le cause e gli effetti del riscaldamento globale per le città**

Il cambiamento climatico è un fenomeno di per sé molto complesso: le innumerevoli interazioni e fenomeni di cui tener conto rendono poco affidabili i modelli climatici, sia sul breve che sul lungo periodo. Nella gestione dei rischi naturali e non per trasformare le città in sistemi resilienti, questa complessità va ad aggiungersi a quella intrinseca delle aree urbane. Questo paragrafo vuole fornire un quadro di riferimento della letteratura scientifica di settore, proponendo opinioni diffuse e punti di vista originali rispetto alle cause e agli effetti del riscaldamento globale per le città del mondo intero.

La parola clima deriva dal greco *klima*, che significa inclinazione e non si riferisce alle previsioni meteorologiche, secondo l'accezione più diffusa del termine, ma allo stato medio del sistema mare-terra-atmosfera per un periodo relativamente lungo (almeno trenta anni) (Cassandro et al., 2016).

Durante il primo Summit della Terra, a Rio de Janeiro nel 1992, in cui si celebrava la costituzione della Convenzione quadro delle Nazioni Unite (*United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCC*), i cambiamenti climatici vengono riconosciuti come "direttamente o indirettamente causati dall'attività umana [...] alterando la composizione dell'atmosfera terrestre" e si aggiungono alla

normale "variabilità del clima" (UNFCC, 1992). Nonostante questa oramai nota e consolidata definizione faccia una distinzione tra il "cambiamento climatico" attribuito alle attività umane e la "variabilità climatica" riconducibile, invece, a cause naturali, molti ricercatori concordano che l'attività umana rappresenti un fattore dominante dei fenomeni osservati a partire dalla metà del secolo scorso e strettamente correlati al riscaldamento globale (Müller et al., 2009; Caney, 2017; Crabtree).

La causa scatenante è scientificamente e culturalmente riconosciuta. L'aumento di alcuni gas nell'atmosfera, quali anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>), fa sì che una quantità maggiore di energia solare venga trattenuta nei mari, nelle masse terrestri e nell'atmosfera, modificando il flusso di energia termica nel sistema climatico della Terra. Come indicato in un recente rapporto del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2014), il totale delle emissioni di gas serra (più avanti anche indicati come GHG – *Green House Gases*) dovute all'attività umana è aumentato dal 1970 al 2010 con un incremento assoluto più ampio per l'ultimo decennio (Budescu et al., 2014). È interessante, oltre che profondamente drammatico, studiare come l'attività umana a partire dalla seconda rivoluzione industriale ai nostri giorni (quantificata in termini di emissioni di gas climalteranti in atmosfera) abbia contribuito ad innescare fenomeni irreversibili e come posizioni politiche controverse, e anche negazioniste in qualche caso, abbiano limitato azioni per l'adozione e l'implementazione di strategie a scala mondiale, prima per mitigare le emissioni di gas climalteranti e poi per adattare i territori e le economie locali agli inevitabili impatti del surriscaldamento globale.

L'IPCC è stato istituito nel dicembre 1988 dall'Organizzazione Mondiale del Clima (WMO – *World Meteorological Organization*) e dal Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente (UNEP – *United Nations Environmental Programme*) con il compito di raccogliere ed elaborare dati relativi all'evoluzione dei fenomeni climatici e meteorologici, per esaminarne l'impatto sociale ed economico e proporre strategie di risposta adeguate a prevenire e controllare modificazioni del clima. Le informazioni relative al rilascio in atmosfera di gas climalteranti vengono

solitamente fornite con un'unità di misura ricorrente, tonnellate di anidride carbonica equivalente (tCO<sub>2</sub>eq), che esprime l'impatto sul riscaldamento globale di una certa quantità di gas serra rispetto alla stessa quantità di anidride carbonica. Nonostante le numerose politiche di mitigazione, le emissioni annuali di GHG sono aumentate in media di 1,0 miliardo di tonnellate di diossido di carbonio equivalente (GtCO<sub>2</sub>eq) all'anno, dal 2000 al 2010 rispetto all'incremento di 0,4 GtCO<sub>2</sub>eq all'anno, per il periodo 1970-2000. Proprio nel primo decennio del XXI secolo sono state registrate le emissioni totali di gas climalteranti, connesse ad attività antropiche, più alte nella storia umana, nonostante la crisi economica del 2007-2008 abbia temporaneamente ridotto le emissioni di CO<sub>2</sub>.

Per sottolineare quanto l'attività umana abbia contribuito all'intensificarsi del fenomeno del cambiamento climatico basti pensare che circa la metà dell'anidride carbonica equivalente immessa in atmosfera tra il 1750 e il 2010 è stata prodotta solo negli ultimi 40 anni. In particolare, nel 2010, sono state calcolate emissioni di GHG, legate alla combustione di carbon fossile e produzione di cemento, tre volte superiori a quelle relative all'anno 1970. Invece, la CO<sub>2</sub> totale prodotta dal consumo di suolo e foreste, dal 1750 è aumentata da 490±180 GtCO<sub>2</sub> nel 1970 a 680±300 GtCO<sub>2</sub> nel 2010.

Esistono varie stime su quanto i diversi settori delle attività umane contribuiscano, in percentuale, alle emissioni globali di gas serra. Sono valutazioni molto complesse e che possono cambiare a seconda dei parametri considerati. Per quanto concerne l'emissione in atmosfera di GtCO<sub>2</sub>eq tra il 2000 e il 2010, stimata dall'IPCC nel rapporto 2014, è emerso che i settori delle attività umane contribuiscono nelle percentuali di seguito riportate:

- 25 % dalla produzione di elettricità e calore, dalla combustione di carbone, gas naturali o petrolio;
- 24% dall'agricoltura, dall'allevamento e dalla deforestazione;
- 21% dall'industria;
- 14% dai trasporti;
- 6% dal consumo di combustibili fossili per uso residenziale e commerciale;

- 10% da attività quali l'estrazione di combustibili fossili, la raffinazione del petrolio, la sua lavorazione e il suo trasporto.

Se si considerano anche le emissioni indirette di gas climalteranti in atmosfera (conseguenza delle attività di unità fisiche o processi, legate alle importazioni o esportazioni di materie prime e prodotti più o meno finiti: cemento, acciaio, materiali elettronici, etc.), al 2010, i contributi del settore edilizio ed industriale assumono un peso molto più significativo. Infatti, se le emissioni dovute al consumo di energia e produzione di calore sono attribuite a settori che ricorrono all'utilizzo di energia finita, le percentuali per i due settori crescono rispettivamente fino a 19,7% e 31% se si considerano anche le emissioni indirette. Altre ricerche propongono parametri alternativi per la stima delle emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente per settori produttivi, ottenendo risultati parzialmente differenti.

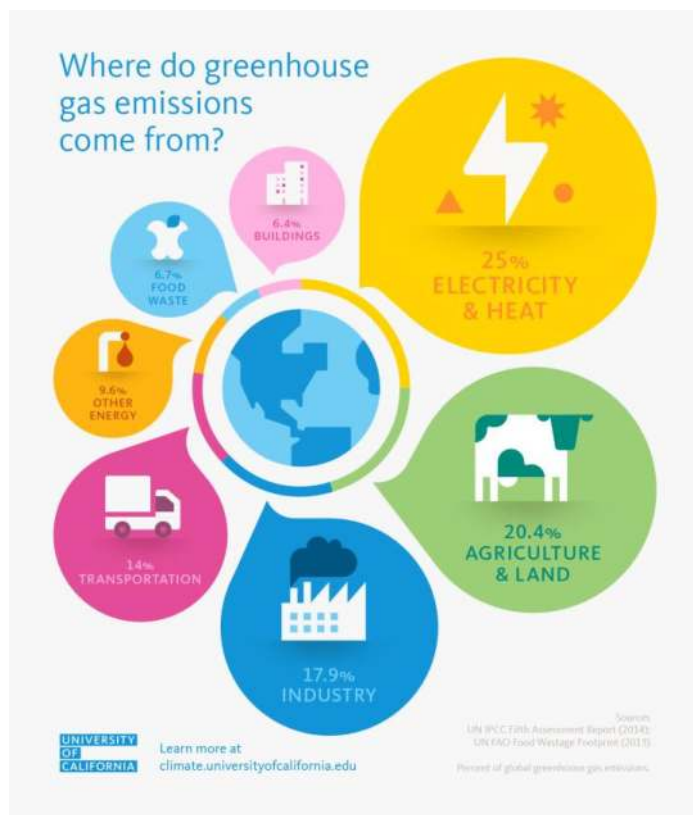


Figura 0-3: Fonti globali di emissioni GHG ([climate.universityofcalifornia.edu](http://climate.universityofcalifornia.edu)).



Uno studio pubblicato dall'Università della California propone di prendere in considerazione tra i fattori contribuenti alle emissioni di GHG la produzione di cibo che viene poi sprecato, e che pertanto, secondo la stima IPCC rientra nei settori dell'agricoltura, dell'industria e del trasporto. La riorganizzazione dei contributi dei singoli settori è sintetizzata nell'immagine che segue (Figura 1-3).

Ciò che emerge da questi dati, e dalla loro evoluzione nel tempo, è che la crescita economica e demografica rappresentano i principali motori degli incrementi di emissioni di CO<sub>2</sub> dalla combustione di carbon fossile.

Ricercatori affermano che il contributo della crescita della popolazione mondiale nel primo decennio del XXI secolo alle emissioni di gas climalteranti in atmosfera si è mantenuto approssimativamente identico a quello dei tre decenni precedenti, mentre il contributo sotteso alla crescita economica è notevolmente aumentato.

A tal proposito, l'incremento di emissioni di CO<sub>2</sub> registrato nei primi 10 anni del secolo è molto probabilmente legato alle attività produttive di Paesi in via di sviluppo, quali Cina, Brasile, India e Corea. Eppure, se si riconsidera la contabilità energetica e ambientale sulla base della responsabilità dei consumi e non della territorialità delle emissioni, i risultati possono essere sensibilmente diversi. Ad esempio, buona parte dell'imponente crescita di consumi energetici e di emissioni di Paesi emergenti potrebbero non essere attribuibili all'espansione demografica o ai maggiori consumi interni, bensì alle esportazioni di beni e servizi verso i Paesi occidentali (ENEA – Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, 2011; Kawakubo et al., 2018; Liu et al., 2019).

Una copiosa produzione scientifica ed accademica dimostra, indipendentemente dai modelli e approcci utilizzati, che le concentrazioni atmosferiche di GHG sono sensibilmente aumentate, estendendo ed intensificando il naturale fenomeno dell'effetto serra, con provate influenze negative per la vita sul pianeta.

A partire da queste informazioni e senza l'implementazione di nuove ed innovative azioni e strategie, oltre quelle messe in campo al 2010, ad ogni livello, si prevede la crescita delle emissioni di gas climalteranti, guidata dalle inarrestabili attività economiche. Pertanto, scienziati e ricercatori prevedono che la temperatura media

della superficie terrestre possa incrementare di 3.7° C, fino a 4.8° C al 2100, paragonata alla temperatura del periodo preindustriale.

A questi cambiamenti climatici seguono conseguenze ed effetti diffusi sull'intera superficie terrestre: innalzamento del livello dei mari, foreste in fiamme, scioglimento di ghiacciai, violenti uragani, tempeste tropicali, siccità, ondate di calore, incremento dell'intensità e del numero di giorni caldi.

I rischi conseguenti ai cambiamenti atmosferici e alla variabilità climatica per la salute, i mezzi di sussistenza, la sicurezza alimentare, l'approvvigionamento idrico e la crescita economica sono destinati ad aumentare ulteriormente con l'aumento della temperatura di 2°C (come previsto dall'Accordo di Parigi). Gli estremi di temperatura sulla terraferma sono attesi come più significativi della temperatura media globale: alle medie latitudini si avranno giornate più calde fino a circa 3°C con un riscaldamento medio globale di 1.5°C e di circa 4°C con un aumento medio globale di 2°C (Beauregard et al., 2021).



Figura 0-4: Ondate di calore (Fonte - [www.scientificamerican.com](http://www.scientificamerican.com)).

Le comunità scientifiche affermano che in netta salita saranno le temperature minime, con le notti estremamente fredde alle alte latitudini che saranno più calde fino a circa 4,5°C per un innalzamento globale previsto di 1,5°C, e fino a 6°C per

un incremento globale di 2°C, mentre il numero di giorni caldi è destinato ad aumentare nella maggior parte delle regioni, con il più alto aumento previsto nelle aree tropicali. La foto in Figura 1-4, scattata in Florida (U.S.A.) e pubblicata da Scientific American, è l’emblema di questa pericolosa condizione.

Proiezioni basate su modelli dell’innalzamento medio globale del livello del mare (rispetto al periodo 1986-2005) suggeriscono un aumento medio compreso tra 0,26 e 0,77 metri entro il 2100 per 1,5°C di surriscaldamento globale, dieci centimetri in meno che per un riscaldamento di 2°C. Una riduzione di 0,1 m dell’innalzamento del livello globale del mare non è poco perché implica che fino a 10 milioni di persone in meno sarebbero esposte ai rischi che conseguono questo inevitabile fenomeno.

Scienziati sono quasi uniformemente d’accordo nell’affermare che l’innalzamento del livello del mare continuerà oltre il 2100 anche se il riscaldamento globale sarà limitato a 1,5°C nel XXI secolo, per effetto del *climate lang*. Inoltre, l’instabilità dello strato di ghiaccio della Groenlandia potrebbe provocare un aumento di più metri sul livello del mare in un arco di tempo da centinaia a migliaia di anni (Figura 1-5).



Figura 0-5: Innalzamento del livello del mare e potenziali inondazioni (Florida, US) (Fonte - newsbeezzer.com).

Come afferma l’ultimo rapporto di luglio 2019 pubblicato dall’IPCC, il surriscaldamento globale aggrava il degrado del suolo e ne limita le capacità di

assorbimento di CO<sub>2</sub>: il territorio è, infatti, sia una fonte che un serbatoio di gas serra e svolge un ruolo chiave nello scambio di energia, acqua e aerosol tra la superficie terrestre e l'atmosfera. In particolare, aumenteranno il tasso e l'entità del degrado del suolo attraverso due fattori principali: aumento della frequenza e intensità di forti precipitazioni e aumento dello stress da calore.

Il riscaldamento globale futuro aggraverà ulteriormente i processi di degrado a causa di inondazioni e più frequenti fenomeni siccitosi, cicloni e tempeste tropicali. In particolare, nella regione del Mediterraneo, la diminuzione osservata e prevista delle precipitazioni annuali a causa dei cambiamenti climatici è accompagnata da un aumento dell'intensità delle precipitazioni con conseguenze anche economiche, oltre che sociali, incalcolabili (Figura 1-6).



*Figura 0-6: Degrado del suolo (Italia) (Fonte - [www.microbiologiaitalia.it](http://www.microbiologiaitalia.it)).*

La distribuzione di parassiti e patologie cambierà, influenzando negativamente la produzione agricola in molte regioni. In un rapporto pubblicato dal WWF in aprile 2020, quando il nuovo coronavirus, Covid-19 (Figura 1-7), ha messo in ginocchio la sanità e le economie dell'intero pianeta, sono evidenziate le connessioni tra cambiamento climatico e malattie emergenti, tramite le complesse relazioni ecologiche che li collegano (Manzanedo & Manning, 2020).

Nell'ultimo Global Risk Report del *World Economic Forum*, il rischio della diffusione di malattie infettive veniva inserito tra i fattori con bassa probabilità di accadimento. Questo approfondimento viene invece considerato necessario da WWF, non solo per migliorare la percezione del rischio connesso al surriscaldamento globale e generato in larga parte dall'attività umana, ma soprattutto per contribuire al dibattito su quanto sia urgente avviare, da subito, tutte le misure necessarie per fermare il cambiamento climatico, arrestare la perdita di ecosistemi naturali e proteggere la biodiversità, contenendo la diffusione di malattie.



Figura 0-7: New York (US), Marzo 2020 (Fonte - [www.ilmessaggero.it](http://www.ilmessaggero.it)).

Il 75% delle malattie infettive umane fino ad oggi conosciute deriva da animali e il 60% delle malattie emergenti è stata trasmessa da animali selvatici. Esse causano circa un miliardo di casi di malattia e milioni di morti ogni anno. In termini tecnici, esse vengono definite *zoonosi*. Le zoonosi conosciute sono molto numerose - oltre 200 secondo l'OMS - e il loro studio costituisce uno dei settori di maggior interesse della medicina umana e veterinaria. Sono zoonosi la rabbia, la leptospirosi, l'antrace, la SARS (tra cui il virus SARS-CoV-2 responsabile della pandemia da Covid-19), la MERS, la febbre gialla, la Dengue, l'HIV, l'Ebola, la Chikungunya, ma anche la più diffusa influenza, solo per citarne alcune (Gargiulo et al., 2020).

I cambiamenti del clima, degli habitat e della biodiversità stanno influenzando le componenti abiotiche e biotiche degli ecosistemi, mentre i cambiamenti sociali ed economici (come l'urbanizzazione, lo sviluppo di megalopoli e la circolazione delle persone e merci in un mondo globalizzato) offrono molteplici percorsi per la traslocazione e la diffusione di specie e malattie.

Ulteriori fattori esterni facilitano sempre più le invasioni biologiche, che costituiscono una grave minaccia per la biodiversità e per gli ecosistemi a livello globale. Numerose zoonosi, così come molti altri rischi per la salute umana, sono fortemente influenzati dal cambiamento climatico indotto dall'uomo. In generale, il riscaldamento globale potrebbe rendere alcune aree del Pianeta inadatte e intollerabili per il nostro stesso fisico, per esempio interferendo con i sistemi di termoregolazione sollecitati dall'aumento dei giorni di temperatura estrema.

Un riscaldamento di 1,5°C è quindi auspicabile rispetto al surriscaldamento di 2°C, ma per arrivarci la ricetta è una sola: tagliare le emissioni di gas climalteranti.

L'IPCC osserva che per ottenere un surriscaldamento limitato a 1,5°C è necessario che le emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente di origine antropica debbano diminuire di circa il 45%, rispetto ai livelli del 2010 ed entro il 2030, raggiungendo lo zero netto intorno al 2050; per limitare l'innalzamento della temperatura globale a 2°C le emissioni di CO<sub>2</sub> dovrebbero diminuire di circa il 25% entro il 2030 e raggiungere lo zero netto intorno al 2070. Questo secondo percorso di azione, seppure meno ambizioso del primo, risulta più attuabile anche se deve essere in ogni caso supportato da una forte volontà politica e un diffuso consenso sia tra Stati che nel mondo economico e sociale. L'asticella fissata a Parigi nel 2015 è alta ma non sarà sufficiente a limitare alcuni dei rischi sopra citati: oltre alle strategie di mitigazione, saranno necessarie strategie di adattamento per preparare sistemi territoriali ed economici a fronteggiare *disastri naturali* che saranno approfonditi più avanti.

Il cambiamento climatico è certamente una sfida a lungo-termine, ma il ritmo e la scala con cui gli effetti di questo fenomeno colpiscono le città di tutto il pianeta richiedono urgenti ed innovative strategie d'intervento. Inoltre, la promozione di politiche climatiche può influenzare altri obiettivi sociali ed economici, correlati alla

sanità, alla *food security*, alla biodiversità, alla qualità dell'ambiente locale, all'accesso a risorse energetiche, ai mezzi di sussistenza e alla crescita sostenibile; viceversa, politiche sociali ed economiche possono influenzare il raggiungimento di obiettivi di mitigazione e adattamento al surriscaldamento globale (Munang et al., 2011).

Una corretta gestione di queste interazioni può consolidare le basi delle politiche volte sia alla mitigazione del cambiamento climatico sia all'adattamento dei sistemi urbani per affrontare irreversibili fenomeni.

Se quanto detto fino ad ora è vero per l'intero pianeta, lo è ancora di più per la regione del Mediterraneo, una delle regioni maggiormente a rischio per gli effetti del surriscaldamento globale, sia perché gran parte della popolazione Mediterranea vive nelle zone costiere, più esposte e vulnerabili (Croitoru, 2019; Karani & Failler, 2020) ai fenomeni naturali connessi al cambiamento climatico (come più avanti sarà approfondito), sia perché il bacino del Mar Mediterraneo, per le ragioni più svariate (politiche, culturali, religiose, economiche e sociali), manca di una salda e condivisa visione d'insieme, nonostante rappresenti per tutti i Paesi che vi si affacciano una risorsa economica insostituibile e, necessariamente, da tutelare.

Stiamo già pagando il prezzo di questi eventi, ma il peso maggiore ricade sulle fasce della popolazione, più povere ed impotenti. Inoltre, i problemi causati dal cambiamento climatico stanno accelerando a un ritmo anche complesso da stimare e tecnici e *policy-makers* non dispongono di un libro mastro adatto a misurarli, oltre che a fronteggiarli.

Anche se oggi stiamo conoscendo il cambiamento climatico, le conseguenze politiche, ecologiche, sociali ed economiche più significative devono ancora materializzarsi.

Analizzare e anticipare tali conseguenze è una sfida enorme perché la politica planetaria è estremamente complessa, tanto quanto la scienza climatica, e la storia degli ultimi quaranta anni lo dimostra. Il paragrafo che segue trae le fila di questa lunga storia, costellata da molti fallimenti e pochi e insoddisfacenti successi.

### 1.3 Il cambiamento climatico ai tavoli decisionali: tra successi e fallimenti

Un primo passo significativo c'era stato nel 1979, quando, dando seguito alla voce allarmata dei climatologi, l'Organizzazione meteorologica mondiale aveva organizzato la prima conferenza internazionale sul clima, a Ginevra. L'obiettivo di quel primo incontro, cui ne seguirono molti altri, era quello di valutare lo stato attuale delle conoscenze, su come e quanto le emissioni di gas serra potessero portare ad un aumento della temperatura media e su quanto questo fenomeno potesse influenzare la vita sul pianeta Terra. I media e l'opinione pubblica sembrano aver preso consapevolezza della questione climatica (a meno di alcune posizioni negazioniste, Figura 1-8) ma non poteva essere così quaranta anni fa: il riscaldamento globale indotto dall'uomo era considerato una possibilità teorica, non sufficientemente supportata da prove scientifiche. La conferenza, in ogni caso, rappresentò un primo passo notevole, che rafforzò la consapevolezza tra gli stessi addetti ai lavori. Circa dieci anni dopo, nel 1988, nacque l'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) dalla decisione dell'Organizzazione Mondiale del Clima e dal Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente. La *mission* di questo nuovo organismo era (ed è) quella di valutare le informazioni scientifiche disponibili, esaminare impatti sociali ed economici e proporre strategie di risposta adeguate a prevenire e controllare le modificazioni del clima, ma anche a suggerire ai decisori politici strategie di adattamento alle stesse (Hulme & Mahony, 2010). La premessa scientifica cui avrebbe lavorato l'IPCC sembrava necessaria per certificare l'esistenza di un'emergenza mondiale e per giustificare e motivare la mobilitazione di un'azione di ampio respiro. Gli anni successivi furono dedicati alla formulazione di una Convenzione quadro sui cambiamenti climatici (sopracitata), poi approvata nel 1992 a Rio de Janeiro.

La Convenzione nasceva per stabilire, e tutt'ora lavora in questa direzione, la cornice di riferimento delle strategie e degli impegni che i Paesi membri dell'Organizzazione delle Nazioni Unite si assumono in materia di protezione del clima, e naturalmente delle popolazioni minacciate dagli effetti del cambiamento climatico.



Inoltre, la Convenzione definisce univocamente il fenomeno del cambiamento climatico, sottolineando il contributo dell'uomo come elemento aggiuntivo alla variabilità naturale del clima. Si tratta di un passaggio decisivo nella storia della politica climatica, garantito da evidenze scientifiche certificate, dal momento che viene riconosciuto quanto l'attività umana abbia influenzato, e continui ad influenzare, il clima dell'intero pianeta.



Figura 0-8: Londra, 2015 (Fonte sconosciuta).

Ancora oggi, l'opinione di molti politici e media sembra ancora in buona parte contraria a questa evidenza, mentre la comunità scientifica è quasi univocamente d'accordo (97%) (van der Linden, 2021).

La Convenzione aveva, inoltre, l'obiettivo di "stabilizzare le concentrazioni di gas serra nell'atmosfera a un livello tale da prevenire pericolose interferenze antropogeniche con il sistema climatico", in un orizzonte temporale tale da permettere agli ecosistemi di adattarsi al fenomeno, in modo da assicurare che gli insediamenti umani non venissero ulteriormente minacciati e che lo sviluppo economico potesse procedere in modo sostenibile. Si trattava però di un accordo quadro: l'attuazione operativa degli impegni era demandata ad altri strumenti, quali le Conferenze delle parti (COP). Dalla celebrazione, del 1992 a Rio, della nascita della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) il percorso è stato tortuoso e tristemente poco fruttuoso (Cohen et al., 2021; Lupi & Marsiglio, 2021).

Per differenziare le azioni e le strategie da intraprendere per limitare il cambiamento climatico e, contestualmente, adattare i sistemi urbani al fenomeno, la convenzione quadro differenziò i Paesi in tre gruppi. Il primo gruppo era formato dai Paesi Industrializzati, elencati nell'Annex I: Paesi OECD (acronimo di Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) e i Paesi dell'Est Europa, definiti "ad economia in transizione". Il secondo gruppo, dell'Annex II, era costituito dai soli Paesi OECD. Nel terzo gruppo, definito "non Annex I" figuravano oltre centoquaranta Paesi (OECD, 2017, 2018, 2019).

Il Summit di Rio rappresentò un primo, grande passo in avanti ma per convincere l'opinione pubblica e soprattutto i decisori politici ad intervenire, e a farlo prontamente, fu necessaria la pubblicazione del primo rapporto dell'IPCC, nel 1990, presentato alla Seconda conferenza mondiale sul clima, che si tenne a Ginevra. Dal Sommario per i decisori politici si legge: "siamo certi che c'è un effetto serra naturale e che le emissioni derivanti dalle attività umane stanno sostanzialmente aumentando la concentrazione atmosferica dei GHG quali anidride carbonica, metano, clorofluorocarburi e protossido di azoto. Questo aumenterà l'effetto serra, provocando in media un ulteriore riscaldamento della superficie terrestre. Il principale gas a effetto serra, il vapore acqueo, aumenterà in risposta al riscaldamento globale e lo rafforzerà ulteriormente". Con queste parole l'IPCC afferma la larga responsabilità dell'uomo e sottolinea la necessità di immediate azioni per stabilizzare le concentrazioni di GHG in atmosfera ed evitare l'innalzamento della temperatura media globale fino a 3°C entro in 2100, come previsto dai modelli climatici elaborati.

Lo scenario *Business as usual* approfondisce gli effetti della crescita di emissioni rilasciate in atmosfera: colpisce la previsione di innalzamento del livello medio del mare di oltre 6 cm per decennio (con intervallo di incertezza di 3-10 cm), dovuto principalmente allo scioglimento dei ghiacciai e all'espansione termica delle acque. Le evidenze scientifiche dimostrate a Rio e i conseguenti campanelli di allarme portarono centocinquantaquattro nazioni a firmare la Convenzione che, da quel momento, iniziarono ad incontrarsi in periodiche Conferenze delle parti, dal

carattere più tecnico. La prima Cop si tenne a Berlino, nel 1995. In quella occasione venne affidato a un ristretto gruppo di Paesi il compito di redigere, ogni due anni, “un insieme completo di azioni” tra le quali gli Stati potessero scegliere quelle più adeguate ed efficaci a ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> nei propri territori.

La seconda Cop, dal carattere interlocutorio, si tenne a Ginevra. La terza Cop, del 1997 si tenne a Kyoto, in Giappone. In quell’occasione si raggiunse, con molte difficoltà, oltre che in *extrema ratio*, un accordo per un protocollo legalmente vincolante, il Protocollo di Kyoto (UNFCC, 1997). Al centro del documento vi era un unico obiettivo: la riduzione delle emissioni di gas climalteranti per i soli Paesi industrializzati (Annex I) di almeno il 5,2% rispetto alle emissioni del 1990, da raggiungere nel periodo 2008-2012. È importante ricordare che il Protocollo di Kyoto, se pur vincolante, aveva alla base il concetto secondo cui non importava il luogo in cui quei tagli avvenivano, purché ci fossero. I paesi vincolati, ossia quelli in Annex I, avevano limiti massimi per le proprie emissioni, cui però potevano far fronte attraverso la collaborazione con altri Paesi, sotto forma di progetti di riduzione delle emissioni, per esempio.

Il grande limite del Protocollo era la sua limitazione ai soli Paesi Industrializzati, dal momento che anche i politici e gli scienziati seduti al tavolo della Cop sapevano che le emissioni degli stati in via di sviluppo o “a economia in transizione” avrebbero sorpassato di lì a breve quelle dei Paesi Annex I. Pur se debole dal punto di vista quantitativo, il Protocollo di Kyoto si presentava, almeno formalmente, come vincolante. La fiducia degli Stati per vocazione più ambientalisti era quella che la Cop di Kyoto rappresentasse un volano per azioni più stringenti ed efficaci. Seguirono numerose Cop, alcune delle quali del tutto inconcludenti, intrecciate a politiche ed eventi (la presidenza mancata del convinto ambientalista Al Gore agli Stati Uniti d’America, per esempio) che ne influenzarono fortemente gli esiti. Al 2011, alla vigilia della scadenza dell’attuazione prevista a Kyoto delle misure di riduzione di CO<sub>2</sub>, mancavano all’appello grandi Paesi in via di sviluppo, quali Cina e India, oltre che Stati Uniti e Canada. Nel corso degli anni il Protocollo riuscì a tenersi in piedi, ma solo perché furono trovati strumenti più flessibili per il conteggio del

sequestro di carbonio nei suoli e negli alberi. Queste concessioni fecero perdere l'integrità ambientale del protocollo ma hanno consentito di mantenere nel processo negoziale alcuni Stati, quali Russia, Giappone e Australia. Nel frattempo, il lavoro dell'IPCC approfondiva in altri rapporti (1995, 2001 e 2007) il fenomeno del cambiamento climatico, raffinando lo stato dell'arte delle conoscenze scientifiche tanto che migliaia di climatologi, fisici, ingegneri ed economisti che, insieme all'ex vicepresidente degli Stati Uniti Al Gore, meritavano il Premio Nobel per la pace nel 2007, per "l'impegno nel diffondere la conoscenza sui cambiamenti climatici dovuti al riscaldamento globale". Gli sforzi delle comunità scientifiche non bastarono per convincere i decisori politici ad intervenire prontamente a favore del clima, dal momento che molti ricercatori e accademici affermano che Kyoto ha rappresentato un successo solo nominale sul piano delle riduzioni di gas climalteranti: l'Europa, con quindici paesi, ha oltrepassato gli obiettivi (13,2% di riduzione delle emissioni, rispetto ad un impegno di 8,1%), Australia, Giappone e Nuova Zelanda li hanno quasi centrati, mentre i Paesi dell'Ex Unione Sovietica e i Paesi socialisti dell'Europa dell'Est, a causa della riconversione dell'economia successiva al crollo del muro di Berlino, hanno visto abbattersi le proprie emissioni. Il fenomeno è stato definito "hot air": un taglio di 2,2 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente, ma solo nominale, verificatosi per ragioni del tutto indipendenti dagli sforzi tecnici e scientifici. A tutto ciò va aggiunta la crisi economica del 2007-2008, con conseguente riduzione di oltre 1 milione di tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente. Ciò dimostra che l'impegno preso a Kyoto ha rappresentato un successo esclusivamente politico, ma un sostanziale fallimento in termini ambientali ed ecologici: i tagli registrati alle emissioni, probabilmente si sarebbero verificati anche senza l'impegno preso a Kyoto nel 1997. Le Cop che seguirono furono ricche di aspettative ma portarono ad impegni non solo poco ambiziosi, ma anche privi di strumenti che potessero concretizzarli. Un esempio emblematico è la Cop 14 tenutasi a Copenaghen nel 2009, del tutto fallimentare dal momento che si verificò l'ennesimo rinvio delle scelte vere e di accordo nella lotta ai cambiamenti climatici (IPCC, 2014). Nel frattempo, il lavoro dell'IPCC sottolineava che la curva delle emissioni avrebbe dovuto raggiungere un

picco intorno al 2017, massimo 2020, per mantenere il riscaldamento globale entro i 2°C. Le Cop si susseguirono senza sosta nel corso degli anni, fino alla tanto attesa Conferenza di Parigi del 2015 durante la quale ebbe luogo un lunghissimo processo negoziale sul clima. In quell'occasione i Paesi furono chiamati a decidere se rendere la questione climatica di interesse globale o farla arenare. Nonostante le difficoltà, la missione riuscì, tanto che venne siglato un nuovo accordo, l'Accordo di Parigi, che segna un punto di svolta nella gestione del cambiamento climatico. L'Accordo viene concepito come "un ponte tra le politiche odierne e la neutralità rispetto al clima entro la fine del secolo".

L'Accordo non ha il carattere legalmente vincolante del Protocollo di Kyoto ma si fonda sull'adozione di impegni volontari, da parte dei Paesi impegnati, a partire da un quadro di revisione legalmente vincolante. L'approccio, definito *pledge and review*, si basa sull'assenza di vincoli ed impegni in termini di mitigazione, il che ha convinto anche i Paesi in via di sviluppo ad aderirvi. Si tratta del primo piano d'azione globale, inteso a rimettere il mondo sulla buona strada per evitare cambiamenti climatici pericolosi, limitando il riscaldamento globale al di sotto dei 2°C. I cento novantacinque governi hanno concordato di (i) limitare l'aumento della temperatura media globale a 1,5°C, dato che ciò ridurrebbe in misura significativa i rischi e gli impatti dei cambiamenti climatici, (ii) di fare in modo che le emissioni globali raggiungano il livello massimo al più presto possibile, pur riconoscendo che per i paesi in via di sviluppo occorrerà più tempo e, infine, (iii) di procedere successivamente a rapide riduzioni, in conformità alle soluzioni tecnico-scientifiche più avanzate disponibili. Pertanto, a partire dal 2020, i governi avevano concordato di:

- riunirsi ogni cinque anni per stabilire obiettivi più ambiziosi in base agli avanzamenti delle conoscenze scientifiche;
- riferire agli altri Stati membri e all'opinione pubblica cosa stanno facendo per raggiungere gli obiettivi fissati;
- segnalare i progressi compiuti verso l'obiettivo a lungo termine attraverso un solido sistema basato sulla trasparenza e la responsabilità.

Nell'Accordo viene comunque riconosciuto che la soglia di innalzamento della temperatura a 2°C non risparmierà il pianeta da fenomeni climatici estremi, ma quantomeno potrà limitarne l'intensità e la frequenza sul lungo termine. Proprio alla luce dei cambiamenti che la popolazione mondiale si troverà inevitabilmente a vivere, i governi hanno lavorato, congiuntamente a strategie di mitigazione, a rafforzare la capacità dei propri sistemi urbani ed economici di affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici, fornendo, inoltre, ai paesi in via di sviluppo un sostegno internazionale continuo e più consistente all'adattamento. Viene riconosciuta, infatti, l'importanza di scongiurare, minimizzare e affrontare le perdite e i danni associati agli effetti negativi dei cambiamenti climatici e la necessità di cooperare e migliorare la comprensione, gli interventi e il sostegno in diversi campi, come i sistemi di allarme rapido e la preparazione alle emergenze.

L'accordo riconosce il ruolo chiave in questa sfida globale di soggetti che però non sono parti attive dell'accordo, comprese le città, altri enti a livello subnazionale, la società civile, il settore privato e altri ancora. Proprio perché elementi chiave nell'affrontare questa sfida, amministrazioni locali e stakeholders sono chiamati ad intensificare i loro sforzi e sostenere le iniziative volte a ridurre le emissioni, rafforzare la resilienza di città e delle economie e limitare la vulnerabilità agli effetti negativi dei cambiamenti climatici, oltre che a mantenere e a promuovere la cooperazione regionale e internazionale.

I rischi naturali correlati al surriscaldamento globale sono più elevati per un incremento della temperatura media di 1.5°C rispetto alla situazione attuale, ma decisamente più bassi rispetto a un innalzamento di 2°C. Questi rischi dipendono dall'entità e dal tasso incrementale di riscaldamento, quindi dalla locazione geografica, dallo sviluppo economico della regione interessata e, necessariamente, dalle scelte strategiche di adattamento e mitigazione. La differenza tra l'incremento di 1,5°C e 2°C, in termini di temperatura globale media, comporta, secondo accreditati modelli climatici, notevoli diversità in termini di temperatura media delle zone costiere e dei mari, ondate di calore, forti precipitazioni e probabilità di prolungate siccità con conseguenti deficit idrici (OECD<sub>d</sub>, 2020).

Se al 2100 si riuscirà a contenere l'incremento della temperatura media della superficie terrestre al di sotto di 1,5°C, come stabilito dall'Accordo di Parigi, il livello medio del mare sarà 0.10 m al di sotto di quello previsto per un incremento di 2°C. Quindi, il livello del mare si innalzerà comunque ma ad una velocità ridotta, tale da permettere alle comunità urbane, soprattutto quelle distribuite lungo le coste o sulle isole, di adattarsi adeguatamente a questi inevitabili cambiamenti (OECD, 2018, 2019).

Diversi scenari sono stati elaborati, a partire da ipotesi e condizioni al contorno differenti. Circa 900 scenari sono stati raccolti in un database dell'IPCC: si tratta di scenari che prevedono al 2100 differenti livelli di concentrazione di GHG in atmosfera, in funzione di strategie di mitigazione differenti, e conseguentemente proiezioni dell'innalzamento della temperatura della superficie terrestre molto variabili e intervalli di confidenza molto ampi.

Questa incertezza dimostra la complessità, da un punto di vista ingegneristico, per la progettazione di soluzioni e strategie efficaci, per l'elevato numero di variabili che caratterizzano il fenomeno e, allo stesso tempo, per quantificare i risultati in un periodo di tempo limitato. È molto interessante, dal punto di vista scientifico, il contributo di un articolo pubblicato il 22 aprile 2016 (Aldy et al., 2016) sul portale di informazione del Massachusetts Institute of Technology, Mit News, nel quale sono stati presentati gli studi dell'Istituto sull'impatto reale dell'Accordo di Parigi in termini di incremento della temperatura globale. Un team di scienziati climatici ed economisti di Cambridge, del *Joint Program on the Science and Policy of Global Change*, prevede che pur rispettando gli impegni del 2015 (-40% di emissioni GHG al 2030), poi ratificati alla fine del 2020 (-55% di emissioni GHG al 2030), entro il 2100 l'Accordo di Parigi avrà contribuito ad una riduzione solo marginale delle temperature (0,63°C-1,07°C) che invece sembrano destinate ad aumentare di 3°C-3,5°C, come dimostrato dai ricercatori facendo riferimento ad un'ampia gamma di scenari e modelli (Paltsev, 2015).

Un recente report (Crippa et al., 2019), a partire dalle informazioni raccolte nel Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), fornisce interessanti approfondimenti sulle emissioni di gas climalteranti, nazione per nazione al 2018. A livello mondiale, le emissioni di CO<sub>2</sub> sono aumentate del 1,9% rispetto al 2017, per un totale di 37,9 GtCO<sub>2</sub>eq, sulla scia del trend registrato tra il 2016 e il 2017 (+1,2%). I dati del 2015 e del 2016 invece, avevano registrato segnali più positivi, rispettivamente con crescita nulla (0,0%) o molto limitata (0,4%). Nel 2018, Cina, Stati Uniti, India, Unione Europea, Russia e Giappone – i maggiori produttori di CO<sub>2</sub> al mondo – insieme hanno rappresentato il 51% della popolazione, il 65% del PIL mondiale, l'80% del consumo totale di combustibili fossili ed emesso il 67,5% della CO<sub>2</sub> fossile totale. Un dato complementare, che permette di cogliere meglio l'impatto del modello di sviluppo nazionale sulle emissioni di CO<sub>2</sub>, è quello relativo alle emissioni pro capite, depurando i dati dall'effetto attribuibile alla maggiore o minore numerosità della popolazione di un paese. È, infatti, evidente che un paese la cui popolazione non raggiunge il milione di abitanti, come il Lussemburgo, non apparirà mai in cima alla lista della classifica di emissioni totali di CO<sub>2</sub>: nondimeno il suo impatto pro-capite può essere molto maggiore di quello della Cina, che è il paese più popolato al mondo. Il riferimento al Lussemburgo non è casuale: è il Paese dell'Unione Europea con il più elevato livello di emissioni pro capite nel 2018 (16,86 tonn.). L'incremento maggiore di emissioni di CO<sub>2</sub> tra il 1970 e il 2018 - sempre superiore alla soglia di almeno 6,5 tonn. pro capite in più - in effetti si è avuto, oltre che in piccole isole, in paesi asiatici (Corea del sud, Taiwan, Cina e Malesia), paesi del Golfo (Arabia Saudita, Bahrein, Oman) ed Estonia. Tra i paesi industrializzati dell'Occidente, l'Australia è quello che ha aumentato di più le emissioni annuali pro capite di CO<sub>2</sub> nello stesso periodo (+4,23 tonn.) mentre, tra i paesi membri dell'UE, hanno aumentato il livello Portogallo (+3,28 tonn.), Grecia (+3,02 tonn.), Cipro (+2,74 tonn.), Spagna (+1,74 tonn.), Slovenia (+1,54 tonn.) e Malta (+1,26 tonn.), cioè l'Europa mediterranea.

L'immagine che segue (Figura 1-9) mostra il trend delle emissioni equivalenti di CO<sub>2</sub>, evidenziando anche i settori produttivi più impattanti. Tra le nazioni che hanno



prodotto più CO<sub>2</sub>, solo l'Unione Europea (con -1,9%) e il Giappone (con -1,7%) hanno ridotto le proprie emissioni nel 2018, rispetto al 2017, rappresentando rispettivamente il 9,1% e il 3,2% della produzione totale.

È molto diversa la proiezione dei dati raccolti da EDGAR : il maggiore aumento delle emissioni tra il 2017 e il 2018 si riscontra per l'India (+ 7,2%), seguito dalla Russia (+ 3,5%), dagli Stati Uniti (+ 2,9%) e Cina (+ 1,5%), mentre l'UE (-1,9%) e il Giappone (-1,7%) hanno ridotto le emissioni di CO<sub>2</sub> fossile. In valore assoluto, la Cina è di gran lunga il principale paese responsabile delle emissioni di diossido di carbonio fossile in atmosfera, rappresentando il 29,7% del totale mondiale di 37,9 Gt di CO<sub>2</sub> equivalente. Anche nazioni con emissioni relativamente limitate, in termini assoluti, hanno registrato elevati incrementi di CO<sub>2</sub> negli ultimi anni, come Iran, Korea del Sud e Indonesia.

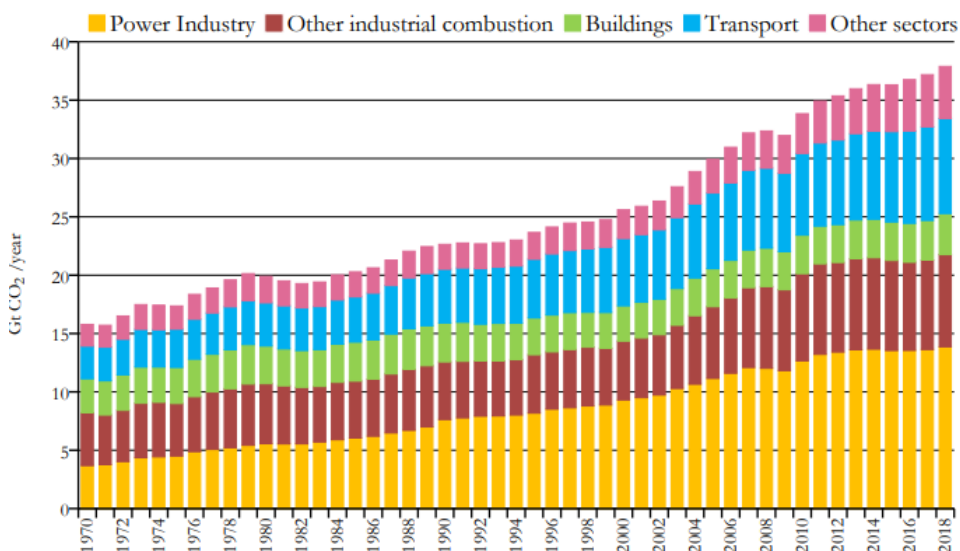


Figura 0-9: Emissioni totali di CO<sub>2</sub> equivalente da combustione di carbon fossile, in Gt CO<sub>2</sub>/yr, per settore produttivo (Crippa et al., 2019).

Inoltre, la media mondiale di emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente pro capite è aumentata del 17% dal 1990 al 2018, passando da 4.25 t CO<sub>2</sub>/cap/y a 4.97 t CO<sub>2</sub>/cap/y. Tra gli stati membri dell'Unione Europea, la Germania si è dimostrata la più virtuosa, registrando la riduzione maggiore di emissioni di gas climalteranti, circa il 4.5%.

Anche le performance del Messico e del Brasile, subito dopo Europa e Giappone, fanno ben sperare per un'inversione del trend di immissione in atmosfera di GHG. Le analisi dei dati storici elaborati da EDGAR confermano quanto fin qui esposto: fin dai primi anni del XXI secolo le emissioni di GHG sono notevolmente aumentate rispetto ai decenni precedenti, anche a causa delle attività produttive delle economie emergenti.

La Figura 1-10 rappresenta l'evoluzione dell'immissione totale della CO<sub>2</sub> equivalente in atmosfera, dal 1970 al 2018, per Cina, Europa, Russia e Stati Uniti. La Figura 1-11 indica invece l'evoluzione del consumo di CO<sub>2</sub> pro capite, all'anno.

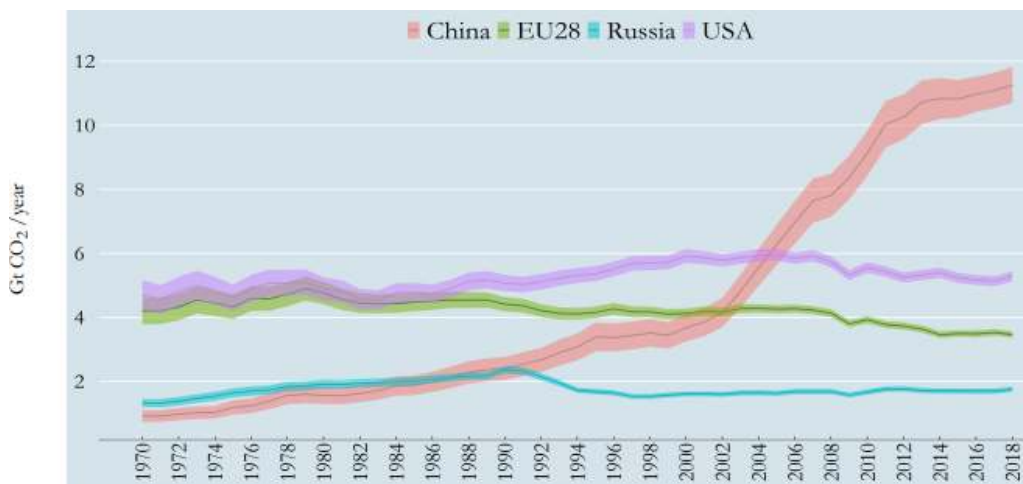


Figura 0-10: Evoluzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente totale, per Cina, Europa, Russia e Stati Uniti.

Il bilancio dell'Accordo di Parigi, a meno di pochissimi ed isolati casi di successo, non si avvicina alle previsioni del 2015. Le Cop successive a quella di Parigi, a Marrakech, Bonn e Katowice sono state dedicate alla definizione del quadro normativo dell'Accordo, in vista della sua imminente entrata in vigore. Era necessario, infatti, costruire un complicatissimo set di regole il cui percorso è stato molto tortuoso e, purtroppo, non completato, con il fallimento della Cop tenutasi a Madrid a fine 2019.

Un'ulteriore e interessante prospettiva per leggere ed interpretare i dati relativi alle emissioni di GHG in atmosfera è esposta in un rapporto pubblicato a fine 2019 (Watson et al., 2019). Delle 184 promesse o impegni volontari sul clima (i cosiddetti

*climate pledge*) previsti dall'Accordo di Parigi, quasi tre quarti risultano inadeguate a rallentare i cambiamenti climatici. Inoltre, secondo gli autori del rapporto, alcuni dei maggiori emittenti del mondo continueranno ad aumentare le emissioni. Impegni, dunque, inadeguati per impedire ai cambiamenti climatici di continuare ad accelerare nel prossimo decennio, indipendentemente dal fatto che gli impegni assunti saranno rispettati o meno. Semplicemente, gli impegni sono decisamente troppo modesti e tardivi.



Figura 0-11: Evoluzione del consumo pro capite annuale di CO<sub>2</sub> equivalente, per Cina, Europa, Russia e Stati Uniti.

Durante la Cop 24 tenutasi a Katowice, in Polonia, nel 2018, sembrava che fosse stato raggiunto un compromesso per la stesura del rulebook, un libro di regole, vincoli ed istruzioni, fondamentale per governare l'attuazione del Protocollo di Parigi. In quella occasione fu superata la distinzione tra Paesi sviluppati e no, ribadendo responsabilità comuni, se pur differenziate. L'entusiasmo delle parole della rappresentante dell'ONU per il clima, Patricia Espinosa è stato poi disatteso: il *rulebook* rappresentava, per lei, un risultato solido, oltre che una tabella di marcia per affrontare con decisione i cambiamenti climatici, distribuendo in modo eterogeneo le responsabilità tra le nazioni del mondo, considerando il fatto che i Paesi hanno capacità e realtà economiche e sociali notevolmente diverse.

Altri attori coinvolti altrettanto interessati al tema dei cambiamenti climatici non presentavano gli stessi toni entusiasti. Li Shuo di Greenpeace East Asia sottolineò che se il set di regole avesse dovuto rappresentare la spina dorsale dell'Accordo di Parigi, non significava che queste sarebbero state tradotte in un futuro molto prossimo in azioni concrete. Infatti, nonostante l'IPCC avesse lanciato in più occasioni un chiaro allarme – sottolineava Greenpeace – la Cop 24 di Katowice si era conclusa senza nessun chiaro impegno a migliorare le azioni da intraprendere contro i cambiamenti climatici. Anche la posizione di *Climate Action Network* (CAN) è stata molto vicina a quella di Greenpeace, secondo cui i governi avevano deluso i cittadini e ignorato la scienza e i rischi cui le popolazioni più vulnerabili sono esposti. Questa affermazione è dimostrata dal fatto che molti Paesi, tra cui gli Stati Uniti, hanno cercato di interrompere il processo, mentre altri hanno scelto di rimanere ai margini dei tavoli decisionali. Si è dimostrato meno critico il WWF che ha invece accolto con favore l'adozione del *rulebook* per rendere operativo l'Accordo di Parigi, anche se ammetteva la necessità di accelerare le azioni necessarie per affrontare l'emergenza climatica. Manuel Pulgar-Vidal, responsabile WWF internazionale, affermava che quanto emerso a Katowice dimostrasse una diffusa mancanza di comprensione della crisi climatica che si stava già vivendo, anche se l'Accordo di Parigi era stato disegnato "per essere resiliente e resistere alle tempeste geopolitiche".

Alla Cop 24 intervenne anche Greta Thunberg, la giovanissima svedese che ha lanciato un movimento divenuto poi globale con i *Fridays for Future*, sottolineando, in un discorso molto duro, la necessità che gli Stati si interessino alla questione della crisi climatica prima che la biosfera sia ulteriormente sacrificata a vantaggio dei Paesi ricchi con i sacrifici e le sofferenze di molti. Sulla questione dell'emergenza climatica ha avuto voce anche la Chiesa Cattolica che, con la nomina di Papa Francesco (2015), ha scelto di contribuire al dibattito globale, ribaltando la posizione pressoché negazionista. Già Papa Paolo VI, nel 1971, si riferì alla problematica ecologica, presentandola come una crisi che è "una conseguenza drammatica" dell'attività incontrollata degli uomini, prime "vittime di tale

degradazione della natura". Giovanni Paolo II invitò ad una "conversione ecologica globale", mentre Benedetto XVI ha rinnovato l'invito a "eliminare le cause strutturali delle disfunzioni dell'economia mondiale e correggere i modelli di crescita che sembrano incapaci di garantire il rispetto dell'ambiente". Papa Francesco, nel 2015, ha dedicato un'enciclica al tema sottolineando che "per mancanza di decisione politica, i vertici mondiali non hanno raggiunto accordi ambientali globali realmente significativi ed efficaci". Anche il 23 settembre 2019, al Climate Action Summit di New York, Bergoglio ha spronato i governi ad assumere impegni meno "fluidi", per poter raggiungere i risultati sperati. L'attenzione sul tema dell'emergenza climatica, testimoniata dagli interessi non solo delle parti chiamate ai tavoli dei Summit ma anche delle organizzazioni internazionali, delle comunità di giovani studenti, oltre che delle istituzioni accademiche dell'intero pianeta, è altissima. In parallelo alla disseminazione del tema nel mondo politico e sociale, l'IPCC ha sempre lavorato per supportare scientificamente (oltre che per motivare) le scelte dei decisori politici. Uno degli ultimi lavori è stato pubblicato a luglio 2019: un rapporto speciale su desertificazione, degrado del suolo, gestione sostenibile del territorio, sicurezza alimentare e flussi di gas ad effetto serra negli ecosistemi terrestri.

Eppure, l'attesa COP 25, ospitata a Madrid a dicembre 2019, si è conclusa con un altro fallimento che ha testimoniato ancora notevoli difficoltà nella lotta contro il riscaldamento globale, e contro il tempo.

I quasi 200 Paesi riuniti nella capitale spagnola non hanno trovato un compromesso accettabile su alcuni dei temi più complessi e divisivi, a cominciare dall'articolo 6 dell'Accordo di Parigi sulla regolazione globale del mercato del carbonio, che rappresenta, anche a distanza di sei anni dall'Accordo di Parigi, uno dei nodi più complicati da sciogliere. Questo articolo prevede la possibilità di ampie forme di collaborazione tra gli Stati che hanno ratificato l'Accordo e che sono interessati ad una implementazione congiunta dei rispettivi impegni nazionali volontari (NDC - *Nationally Determined Contributions*).

I meccanismi previsti dall'art. 6 cercano di disciplinare la possibilità che uno degli Stati contabilizzi come proprie le riduzioni di emissioni che avvengono sul territorio

di un altro Stato. Si tratta sia di complessi meccanismi di mercato (in cui c'è uno scambio di diversi tipi di certificati di riduzione delle emissioni) sia di approcci di sviluppo economico non basati sul mercato del carbonio. Lo scopo è quello di favorire la riduzione delle emissioni dove è economicamente più vantaggioso e allo stesso tempo, favorire il trasferimento tecnologico fra diversi Paesi. L'art. 6 dell'Accordo di Parigi riprende il modello dei meccanismi flessibili del Protocollo di Kyoto (1997), quali il *Clean Development Mechanism* (CDM) e il *Joint Implementation* (JI). Dalle plenarie tenutesi a Madrid non si è arrivati ad un punto di incontro nemmeno per la gestione degli aiuti per i "loss and damage" (perdite e danni) subite dai Paesi più deboli. La Conferenza di Madrid ha rappresentato un'occasione irripetibile per mettere a sistema le forze economiche e sociali dell'intero pianeta.

Come Ursula von der Leyen, presidente della Commissione Europea ha affermato aprendo la venticinquesima Conferenza delle Parti, il lavoro congiunto delle Nazioni Unite avrebbe permesso di accelerare la risposta delle potenze mondiali al riscaldamento globale, nell'interesse di tutti, soprattutto delle future generazioni. Intanto, tra negoziati internazionali e i progressi della ricerca il numero di eventi naturali associati al cambiamento climatico sono aumentati significativamente. Solo nel 2018, 62 milioni di persone sono state colpite direttamente da fenomeni climatici estremi: tempeste tropicali e uragani, ondate di calore e incendi, intense piogge e inondazioni tra gli eventi più pericolosi e distruttivi.

Alla luce della crisi, prima sanitaria e poi economica e sociale dovuta alla diffusione di un nuovo coronavirus, registrato prima in Cina e poi in Europa nei giorni immediatamente successivi alla Cop di Madrid, questa considerazione è ancora più amara.

## Riferimenti bibliografici

- Aldy, J., Pizer, W., Tavoni, M., Reis, L. A., Akimoto, K., Blanford, G., Carraro, C., Clarke, L. E., Edmonds, J., Iyer, G. C., McJeon, H. C., Richels, R., Rose, S., & Sano, F. (2016). Economic tools to promote transparency and comparability in the Paris Agreement. *ature Climate Change*, 6(11), 1000-1004. doi: 10.1038/NCLIMATE3106
- Beauregard, C., Carlson, D. A., Robinson, S. A., Cobb, C., & Patton, M. (2021). Climate justice and rights-based litigation in a post-Paris world. *Climate Policy*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1867047>
- Bottero, M., Mondini, G., & Datola, G. (2017). Decision-making tools for urban regeneration processes: from Stakeholders Analysis to Stated Preference Methods. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 10(2), 193-212. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/5163>
- Budescu, D. V., Por, H. H., Broomell, S. B., & Smithson, M. (2014). The interpretation of IPCC probabilistic statements around the world. *Nature Climate Change*, 4(6), 508-512. <https://doi.org/10.1038/nclimate2194>
- Caney, S. (2017). Human rights, responsibilities, and climate change. In *Environmental Rights* (pp. 117-137). Routledge. eBook ISBN 9781315094427
- Cassardo, C., Vela, N., & Andreoli, E. V., (2016). Un'introduzione ai modelli meteorologici e climatici. *Scienze e Ricerche*, 38, 34-39.
- Carpentieri, G. (2020). *La smartness e la competitività della città resiliente. Sfide e minacce per le città del ventunesimo secolo*. Federico II Open Access University Press, Napoli. ISBN: 978-88-6887-088-1
- Climate Action Network (2019). *Briefing Expectations for the 17th Informal Meeting on Further Actions Against Climate Change*. Climate Action Network International. [[https://climatenetwork.org/wp-content/uploads/2020/11/briefing\\_japan-brazil\\_meeting\\_2019\\_final-1.pdf](https://climatenetwork.org/wp-content/uploads/2020/11/briefing_japan-brazil_meeting_2019_final-1.pdf)]
- Cohen, B., Cowie, A., Babiker, M., Leip, A., & Smith, P. (2021). Co-benefits and trade-offs of climate change mitigation actions and the Sustainable Development Goals. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 805-813. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.12.034>
- Crabtree, A. (2018). Sustainability and climate change: Human development and human responsibilities. In *Routledge Handbook of Development Ethics* (pp. 209-225). Routledge. eBook ISBN 9781315626796
- Crippa, M., Oreggioni, G., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Lo Vullo, E., Solazzo, E., Monforti-Ferrario, F., Olivier, J.G.J., Vignati, E., (2019). *Fossil CO2 and GHG emissions of all world countries - 2019 Report*, EUR 29849 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-11100-9, doi:10.2760/687800, JRC117610.
- Croitoru, L., J. Miranda & M. Sarraf (2019). *The Cost of Coastal Zone Degradation in West Africa: Benin, Cote d'Ivoire, Senegal and Togo*, World Bank, Washington, DC, <http://documents1.worldbank.org/curated/en/822421552504665834/pdf/The-Cost-of-CoastalZone-Degradation-in-West-Africa-Benin-Cote-dIvoireSenegal-and-Togo.pdf>.
- Errigo, M. (2018). The Adapting city. Resilience through water design in Rotterdam. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 11(1), 51-64. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/5402>

- Galderisi, A. (2014). Climate Change Adaptation. Challenges and Opportunities for a Smart Urban Growth. *Tema. Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 7(1), 43-68. Arup, R. S. (2015). Shaping ageing cities: 10 European case studies. doi: 10.6092/1970-9870/2265
- Gargiulo, C., Gaglione, F., Guida, C., Papa, R., Zucaro, F., & Carpentieri, G. (2020). The role of the urban settlement system in the spread of Covid-19 pandemic. The Italian case. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 189-212. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/6864>
- Greenpeace (2018). Annual report 2018. [<https://www.greenpeace.org/static/planet4-international-stateless/2020/01/308756b8-greenpeace-international-annual-report-2018.pdf>]
- Gurney, K. R., Liang, J., Roest, G., Song, Y., Mueller, K., & Lauvaux, T. (2021). Under-reporting of greenhouse gas emissions in US cities. *Nature communications*, 12(1), 1-7.
- Hoorweg, D., Sugar, L., & Trejos Gómez, C. L. (2011). Cities and greenhouse gas emissions: moving forward. *Environment and urbanization*, 23(1), 207-227. <https://doi.org/10.1177%2F0956247810392270>
- Hulme, M., Mahony, M. (2010). Climate change: What do we know about the IPCC? *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 2010;34(5):705-718. doi:10.1177/0309133310373719
- IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. [[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf)]
- IPCC, 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for National greenhouse gas inventories. [[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/12/19R\\_V0\\_01\\_Overview.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/12/19R_V0_01_Overview.pdf)]
- Karani, P. & P. Failler (2020). Comparative coastal and marine tourism, climate change, and the blue economy in African large marine ecosystems. *Environmental Development*, Vol. 36, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100572>.
- Kawakubo, S., Murakami, S., Ikaga, T., & Asami, Y. (2018). Sustainability assessment of cities: SDGs and GHG emissions. *Building Research & Information*, 46(5), 528-539. <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1356120>
- Legambiente (2020). Ecosistema urbano. Rapporto sulle performance ambientali delle città 2020. [<https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2020/11/Ecosistema-Urbano-2020.pdf>]
- Liu, D., Guo, X., & Xiao, B. (2019). What causes growth of global greenhouse gas emissions? Evidence from 40 countries. *Science of The Total Environment*, 661, 750-766. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.197>
- Lupi, V., & Marsiglio, S. (2021). Population growth and climate change: A dynamic integrated climate-economy-demography model. *Ecological Economics*, 184, 107011. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107011>
- Müller, B., Höhne, N., & Ellermann, C. (2009). Differentiating (historic) responsibilities for climate change. *Climate Policy*, 9(6), 593-611. <https://doi.org/10.3763/cpol.2008.0570>
- OECD (2020). *Nature-based Solutions for Adapting to Waterrelated Climate Risks*, OECD Publishing, Paris.
- OECD (2020). *OECD Review of Fisheries 2020*, OECD Publishing, Paris, <https://dx.doi.org/10.1787/7946bc8a-en>.



- OECD (2020). Sustainable Ocean Economy (database), OECD, Paris, <https://stats.oecd.org/index.aspx?datasetcode=OCEAN> (accessed on 12 March 2021).
- OECD (2020). Sustainable Ocean for All: Harnessing the Benefits of Sustainable Ocean Economies for Developing Countries, The Development Dimension, OECD Publishing, Paris, <https://dx.doi.org/10.1787/bede6513-en>.
- OECD (2019). Responding to Rising Seas: OECD Country Approaches to Tackling Coastal Risks, OECD Publishing, Paris, <https://dx.doi.org/10.1787/9789264312487-en>.
- OECD (2018). Human Acceleration of the Nitrogen Cycle: Managing Risks and Uncertainty, OECD Publishing, Paris, <https://dx.doi.org/10.1787/9789264307438-en>.
- OECD (2017). Marine Protected Areas: Economics, Management and Effective Policy Mixes, OECD Publishing, Paris, <https://dx.doi.org/10.1787/9789264276208-en>.
- Paltsev, S., Monier, E., Scott, J., Sokolov, A., & Reilly, J. (2015). Integrated economic and climate projections for impact assessment. *Climatic Change* 131, 21–33 (2015). <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0892-3>
- Papa Francesco (2015). *Laudato Si'*. Edizioni Piemme.
- Manzanedo, R. D., & Manning, P. (2020). COVID-19: Lessons for the climate change emergency. *Science of the Total Environment*, 742, 140563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140563>
- Munang, R.T., Thiaw, I., Rivington, M. (2011). Ecosystem Management: Tomorrow's Approach to Enhancing Food Security under a Changing Climate. *Sustainability* 2011, 3, 937–954. <https://doi.org/10.3390/su3070937>
- United Nations Framework Convention on Climate Change (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change. Convention on climate change. [<http://www.unfccc.de/resource/conv/index.html> UNFCCC]
- United Nations Framework Convention on Climate Change (1997). Kyoto protocol. [[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php)]
- van der Linden, S. (2021). The Gateway Belief Model (GBM): A review and research agenda for communicating the scientific consensus on climate change. *Current Opinion in Psychology*. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2021.01.005>
- R. Watson, J. J. McCarthy, P. Canziani, N. Nakicenovic, L. Hisas (2019), *The Truth Behind the Climate Pledges*. Fundacion Ecologica Universal (FEU), Buenos Aires, Argentina. ISBN: 978-0-9831909-3-6.
- World Economic Forum (2021). The Global Risks report 2021. 16<sup>th</sup> Edition. [[http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_The\\_Global\\_Risks\\_Report\\_2021.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2021.pdf)]
- WWF, 2019. *La crisi climatica nel Mediterraneo: alcuni dati*. [[https://d24qi7hskwe9l.cloudfront.net/downloads/dossier\\_la\\_crisi\\_climatica\\_nel\\_mediterraneo\\_aspettando\\_lo\\_special\\_report\\_ipcc\\_su\\_oceani\\_.pdf](https://d24qi7hskwe9l.cloudfront.net/downloads/dossier_la_crisi_climatica_nel_mediterraneo_aspettando_lo_special_report_ipcc_su_oceani_.pdf)]



## Capitolo 2

Le teorie del rischio e il governo delle trasformazioni urbane:  
l'approccio sistemico

## 2.1 I rischi naturali connessi al cambiamento climatico: pericolosità, vulnerabilità ed esposizione

Il capitolo vuole costruire il frame internazionale dei principali rischi naturali connessi al cambiamento climatico, evidenziandone le componenti di rischio: la pericolosità dei loro impatti, la vulnerabilità dei territori maggiormente colpiti e l'esposizione delle risorse, umane, economiche e naturali ai potenziali danni. Allo stesso tempo, l'obiettivo di questo capitolo è sintetizzare le teorie del rischio e le loro applicazioni nel governo delle trasformazioni urbane e territoriali, per promuovere azioni e strategie volte alla mitigazione e all'adattamento ai cambiamenti climatici (Sperling & Szekely, 2005).

Più in dettaglio, questo primo paragrafo, sulla base degli studi elaborati dall'IPCC nel corso degli anni, approfondisce alcune delle definizioni, tra quelle più accreditate e diffuse, alla base degli studi di rischio dei cambiamenti climatici. Dai report elaborati dall'IPCC nel corso degli ultimi anni si legge che tanto la gestione dei rischi quando l'adattamento ai cambiamenti climatici siano discipline molto dinamiche che, come in passato, hanno dimostrato di essersi evolute notevolmente, continueranno necessariamente ad evolversi e modificarsi.

La teoria dei rischi rappresenta lo scheletro delle conoscenze scientifiche e, conseguentemente, delle applicazioni di misure di mitigazione e adattamento che intervengano in modo efficace sui sistemi urbani e le loro componenti. Nel definire gli impatti del surriscaldamento globale sono molteplici le variabili da tenere in considerazione. Queste dipendono, in modo evidente, dalle interrelazioni di due fenomeni: da un lato i cambiamenti del sistema atmosfera-terra-mare, misurati in valori medi e dipendenti tanto dalla variabilità naturale quanto da quella indotta dall'attività umana; dall'altro lato i processi socioeconomici, insieme ad azioni di mitigazione e adattamento e *best practices* di *governance*.

In un'ottica più vicina alle strategie di adattamento, il *core business* del *management risk*, inteso come il rischio (finanziario, economico, etico, etc.) associato ad una inefficace ed inefficiente gestione delle città, è conoscere la natura degli eventi estremi (climatici e metereologici) e gli impatti sui sistemi naturali e

umani, in modo da prevederli e limitarne i danni, in una prospettiva di azione più vicina all'adattamento che alla mitigazione.

I fenomeni climatici e meteorologici riflettono l'interazione dei processi dinamici e termodinamici, a scale temporali e spaziali molto ampie. Questa complessità si riflette nelle variabili condizioni atmosferiche, nella difficile previsione di temperature e precipitazioni, e quindi degli *extreme events*.

L'IPCC definisce gli *extreme events* come eventi rari che possono verificarsi tanto in condizioni climatiche stabili, quanto variabili. La definizione di "raro" fa riferimento alla distribuzione statistica della frequenza di un certo evento, in un dato luogo, in particolare al raggiungimento di un valore di soglia che rappresenti o il novantesimo percentile o il decimo percentile della stessa distribuzione. Infatti, per eventi estremi si intende tanto il passaggio di un intenso tornando, della durata di pochi minuti, quanto alla persistenza di siccità per decenni, quindi di eventi fortemente variabili, per intensità, durata e natura, oltre che per estensione spaziale, che può variare da locale a continentale.

Quando sono disponibili sufficienti dati di lungo periodo per sviluppare una distribuzione statistica delle variabili climatiche in gioco, è possibile trovare la probabilità di sperimentare un valore al di sopra o al di sotto di determinate soglie della distribuzione di probabilità, seguendo regole di progettazione ingegneristica. Ciò che rende estremo un evento climatico è, inoltre, il contesto geografico in cui si verifica: un mese di temperature che corrispondono alla stagione primaverile in India, potrebbe essere percepito come un'incontrollabile ondata di calore in Francia, per esempio; una tempesta di neve attesa ogni anno a New York, Usa, potrebbe innescare un disastro nel sud della Cina. Inoltre, in ragione del contesto territoriale e sociale, il fatto che un evento si verifichi ogni 10 o 20 anni può non essere sufficiente per provocare conseguenze inaspettate e gravi. Tuttavia, potrebbero esistere soglie universali per definire se il verificarsi di un certo evento venga considerato estremo o meno: in relazione alla riduzione o intensità dei giorni di freddo, per esempio, come vettore per la diffusione di certe malattie. Nella

definizione e, quindi, previsione degli eventi climatici e metereologici estremi è necessario tenere in considerazione queste criticità.

Al verificarsi di *extreme events* possono seguire disastri, definiti dall'IPCC (2018) come significative variazioni del normale funzionamento di una società o comunità, dovuti alle interazioni di pericolosi eventi fisici e di vulnerabili condizioni sociali, causando estesi danni di carattere antropico, materiale, economico o ambientale, che richiedono immediate risposte post-emergenza per soddisfare necessità cruciali per le comunità. I pericoli fisici cui si fa riferimento possono essere eventi di origine naturale, o legati a condizioni di degrado umano e sociale o a trasformazioni dell'ambiente fisico.

In relazione al sistema atmosfera-terra-mare, gli eventi estremi fanno in genere riferimento ad eventi connessi alla naturale variabilità metereologica o ascrivibili alle alterazioni del clima dovute all'attività umana: un sottoinsieme di eventi fisici potenzialmente pericolosi se le condizioni di esposizione e vulnerabilità dovessero essere tali da trasformarli in minacce per il territorio, per gli insediamenti umani e non solo. Ogni area geografica potrebbe essere soggetta ad una o più minacce di questo tipo, secondo scale spaziali e temporali differenti. Eppure, la letteratura scientifica afferma che non sempre gli eventi estremi sono associati a disastri: dipende dalle particolari condizioni fisiche e geografiche, oltre che economiche e sociali. Allo stesso tempo, eventi fisici non-estremi potrebbero comportare disastri laddove le intrinseche caratteristiche adattive del sistema non permettono una risposta agli stessi fenomeni. Infatti, un significativo numero di disastri registrati annualmente è associato ad eventi fisici che non sono estremi, nell'accezione probabilistica e statistica del termine, ma hanno notevoli impatti sociali ed economici sulle comunità.

Il verificarsi di un disastro è sempre preceduto dal presentarsi di specifiche condizioni fisiche e sociali che sono generalmente indicate come sintomi di rischi di catastrofe.

Gli ultimi cinque anni sono stati i più caldi mai registrati, e il riscaldamento rispetto all'epoca preindustriale è ormai di 1,1°C, 0,10°C in più rispetto alle stime (Xu et al.,

2018; Papalexiou & Montanari, 2019). Intanto, tra le negazioni e le difficoltà dei negoziati nonostante le argomentazioni della scienza supportate da riconosciuti enti ed organizzazioni internazionali, negli ultimi anni la popolazione mondiale ha dovuto far fronte ad un numero sempre crescente di eventi naturali estremi, la cui genesi è al 90% dei casi di tipo meteorologica (Paterson, 2013).

Le tempeste e le inondazioni hanno causato le maggiori perdite economiche (Kundzewicz et al., 2018), le ondate di caldo e la siccità hanno provocato la perdita di vite umane, l'intensificazione degli incendi boschivi e perdita di raccolti. Le ondate di calore, che hanno rappresentato la causa di morte di genesi meteorologica più frequente nel periodo 2015-2019, hanno colpito tutti i continenti e hanno fatto registrare numerosi record di temperatura (Hobbie & Grimm, 2020). Molti studi hanno evidenziato, in questi fenomeni, il segno distintivo del cambiamento climatico. Stesse conclusioni sono state tratte dalle osservazioni della stagione degli uragani atlantici del 2017, una delle più devastanti mai registrate, con oltre 125 miliardi di dollari di perdite associate al solo uragano Harvey. Sull'Oceano Indiano, nei mesi di marzo e aprile 2019 cicloni tropicali senza precedenti hanno colpito il Mozambico. Inoltre, nel quinquennio maggio 2014-2019, il tasso di innalzamento del livello medio globale del mare è stato di 5 mm all'anno, rispetto a 4 mm all'anno del decennio 2007-2016 (Hussain, 2019).

Il 2020 ha registrato un ulteriore drammatico evento: la diffusione di un nuovo coronavirus ha puntato i riflettori sulla pericolosa connessione tra la diffusione di malattie infettive e il riscaldamento globale, dal momento che è stato responsabile di una crisi sanitaria, economica e sociale senza precedenti. Questo rischio, nel Global Risk Report del World Economic Forum del 2019, veniva inserito tra i fattori con bassa probabilità di accadimento, ma alla luce della pandemia da Covid-19, tutt'ora in corso, nuovi interrogativi vengono sollevati dalle comunità scientifiche internazionali in merito agli effettivi impatti del cambiamento climatico sulla salute e sulle economie mondiali.

Nonostante la pandemia abbia ricadute importanti, il *Global Risks Report 2021* descrive le questioni legate al clima e all'ambiente come una minaccia esistenziale

per l'umanità, e pertanto continuano ad essere in cima alla lista dei rischi, sia per impatto che per probabilità. Secondo il World Economic Forum, le fratture, l'incertezza e l'ansia della società renderanno ancora più difficile ottenere il coordinamento necessario per affrontare il continuo degrado planetario. Per la prima volta, il rapporto valuta i rischi anche in base alla percezione pubblica, e non solo rispetto alla verosimiglianza di accadimento. Nel breve termine (0-2 anni) le maggiori minacce percepite riguardano la salvaguardia di vite e mezzi di sussistenza. Tra questi rientrano: malattie infettive, crisi occupazionale, disuguaglianza digitale e disillusione giovanile. Sul medio termine (3-5 anni), gli intervistati ritengono che il mondo sarà minacciato da rischi economici e tecnologici. Armi di distruzione di massa, collasso dello stato, perdita di biodiversità e progressi tecnologici avversi sono percepite invece come minacce a lungo termine (5-10 anni). La discrasia tra i rischi percepiti dalle comunità e i rischi con più alte probabilità di verificarsi, che si evidenzia nella Figura 2-1 che segue, sottolinea quanto ancora ci si debba impegnare per sensibilizzare le società del mondo intero sui temi del cambiamento climatico e sui conseguenti e drammatici impatti (Fünfgeld, 2010).



Figura 2-1: Risultati del questionario relativo alla percezione del rischio su diversi orizzonti temporali (World Economic Forum, 2021). Il campione di policymakers, stakeholders e cittadini coinvolti nel questionario ha valutato la verosimiglianza dei rischi globali con un punteggio da 1 (bassa verosimiglianza di accadimento) a 5 (alta verosimiglianza di accadimento), su tre orizzonti temporali differenti.

Nonostante i cambiamenti del clima siano stati provati dalle comunità scientifiche internazionali come fortemente contaminati dalle azioni dell'uomo degli ultimi decenni, le risposte dei principali attori coinvolti in questa sfida, *policy makers*, stakeholders e cittadini dell'intero pianeta, tardano ad arrivare (Caldecott, 2020;



KrauB & Bremer, 2020). In molti casi, i cambiamenti al sistema atmosfera-terra-mare hanno (e avranno) come risultato l'incremento della quantità ed entità dei rischi ad essi associati: variazioni dei valori medi delle variabili meteorologiche, unitamente a modifiche significative della frequenza e della gravità di *extreme events*, potranno avere un considerevole impatto sugli ambienti costruiti con inondazioni, ondate di calore, siccità e altri drammatici impatti.

Le conseguenze di questi fenomeni sugli ambienti fisici e naturali, oltre che su quelli urbani, per i prossimi decenni sono difficili da prevedere, perché come il clima cambierà e quanto la società sarà capace di assorbirne gli impatti sono questioni molto controverse e governate da una profonda incertezza, nonostante gli sforzi dello sviluppo tecnologico e della ricerca scientifica. Per esempio, diversi gruppi di esperti, nel definire i rischi dovuti al cambiamento climatico raggiungono spesso differenti conclusioni. Alcuni esperti credono che le conseguenze della variabilità climatica per i prossimi decenni saranno di piccola entità, dal momento che prevedono la combinazione di effetti stabilizzanti, una minore sensibilità dei sistemi fisici, risorse biologiche, risposte politiche ai cambiamenti climatici e una buona capacità di risposta delle comunità agli impatti economici e sociali dei fenomeni connessi alla variabilità climatica e meteorologica. Questa ultima qualità dipende in parte dalle conoscenze scientifiche e tecnologiche delle comunità internazionali e da quanto saranno in grado di implementarle in concrete, efficaci ed efficienti azioni. Altri esperti vedono il cambiamento climatico come molto più rischioso, a causa della velocità con cui il fenomeno avanza e che ci porterà a vivere in condizioni climatiche mai sperimentate prima, almeno nella storia dell'uomo. Inoltre, le caratteristiche fisiche del pianeta, le risorse biologiche su cui la società dipende, e i sistemi sociali che abbiamo sviluppato sono fortemente adattati alle condizioni esistenti, dal momento che sono condizioni stabili ormai da migliaia di anni. Questa instabilità incrementa il potenziale di perturbazione dei cambiamenti climatici. Inoltre, il susseguirsi di eventi ha dimostrato che anche piccole perturbazioni possono avere significative conseguenze sulle società locali e/o regionali, fino al verificarsi sempre più frequente di veri e propri *disastri naturali* (Disse, 2020).

Anche in assenza della profonda incertezza sulle conseguenze del cambiamento climatico, evidenziata dalle divergenze tra esperti in materia, il fenomeno rappresenta comunque una sfida molto complessa nella gestione dei rischi ad esso connessi. Le risposte politiche necessariamente integrano ad informazioni oggettive relative al rapporto tra il sistema climatico mare-terra-aria e alle società in cui viviamo, giudizi soggettivi che hanno a che fare con l'eterogenea consapevolezza del fenomeno, dell'equità tra nazioni e popoli e della considerazione che destiniamo al patrimonio culturale e/o alle specie non umane. Tutto ciò contribuisce a rendere complessa e spesso controversa la gestione dei rischi connessi alla variabilità climatica, oltre che meteorologica del pianeta (Busch, 2019; Chen et al., 2020; Glasser, 2020; Sillmann, 2021).

Le politiche adottate per limitare il cambiamento climatico ricadono in due grandi categorie di azione, che non si escludono a vicenda:

- Mitigazione, per ridurre le emissioni in atmosfera di gas climalteranti e prevenirne potenziali incrementi (Mi et al., 2019; Ivanova et al., 2020);
- Adattamento, per incrementare la capacità di risposta della società ai cambiamenti climatici, anche grazie al supporto della *geoengineering* o Ingegneria climatica (Lin, 2020), per la gestione dei sistemi territoriali, a diversa scala, in modo da limitare gli impatti dell'elevata concentrazione di GHG in atmosfera (Aguiar et al., 2018);

Una terza categoria d'azione è invece trasversale alle prime due, oltre che indispensabile: la ricerca scientifica e lo sviluppo tecnologico, per supportare la conoscenza del sistema climatico e dei suoi cambiamenti, e conseguentemente sia le azioni di mitigazione che di adattamento sopra elencate (Chao, & Feng, 2018).

In molti casi i confini tra una tipologia di azione e un'altra sono labili e poco definiti: azioni rivolte alla riduzione delle emissioni possono incrementare la capacità adattiva dei sistemi territoriali, e viceversa. Infatti, le possibili strategie di gestione dei rischi naturali, sociali ed economici connessi al cambiamento climatico sono fortemente contaminate l'una dall'altra: i *decision-makers* possono simultaneamente lavorare all'integrazione di pratiche e/o politiche rivolte a mitigare

le emissioni di GHG e adattare i sistemi territoriali secondo i dettami della *geoengineering*. Tuttavia, come dimostrano le dinamiche politiche degli scorsi decenni, tanti sforzi sono stati fatti per implementare azioni di mitigazione, rivolte alla limitazione e all'abbattimento delle concentrazioni di GHG in atmosfera, ma azioni di adattamento stanno acquistando sempre più spazio nel panorama politico e scientifico internazionale (Figura 2-3).

Le capacità adattive di un sistema sociale ed economico, come quello delle città, dipendono dalla risposta dello stesso ai cambiamenti climatici per limitarne i danni e, potenzialmente, trarne dei benefici. Azioni di adattamento al clima includono modifiche al comportamento delle comunità, all'uso delle risorse e delle tecnologie.

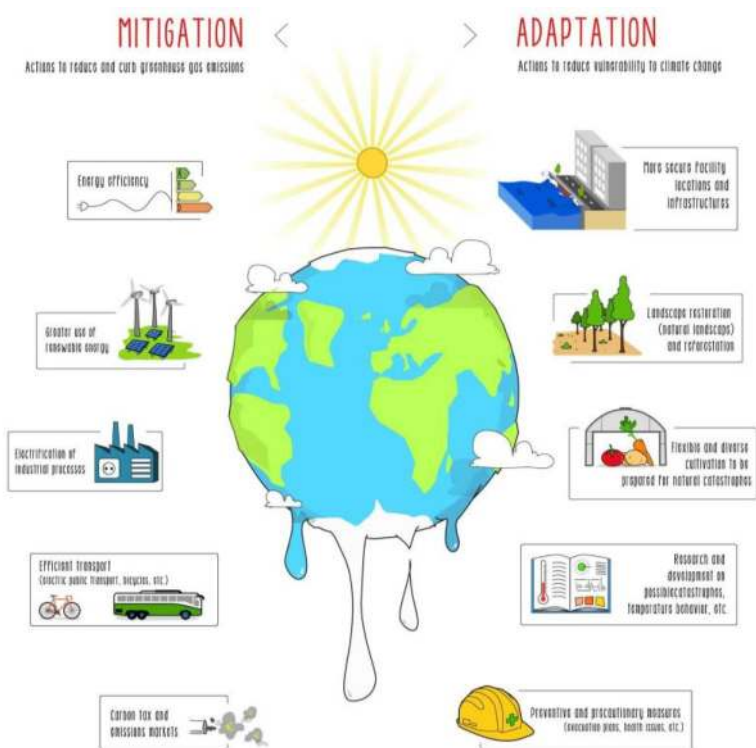


Figura 2-2: Azioni di mitigazione e adattamento (Sustainability for all, <https://www.activesustainability.com/>).

Inoltre, lavorare all'adattamento ai cambiamenti climatici degli stessi sembra essere una strada obbligata dal momento che alcune conseguenze sembrano ormai

irreversibili, anche se questa strategia comporta molti più sforzi conoscitivi e decisionali per progettare strumenti adatti a adeguare le città in cui viviamo a fenomeni di diversa entità e natura. Il digramma in Figura 2-3 riassume la distribuzione di risorse finanziarie destinate a differenti azioni e strategie di adattamento al cambiamento climatico. I fondi economici e finanziari destinati alle azioni di adattamento al cambiamento climatico sono diversamente investiti nelle nazioni di tutto il mondo, ma solo una nazione su trenta contribuisce all'86% delle risorse a disposizione. Una volta depositato e poi approvato, il capitale viene poi investito in nei paesi del mondo, seguendo strategie e piani differenti.

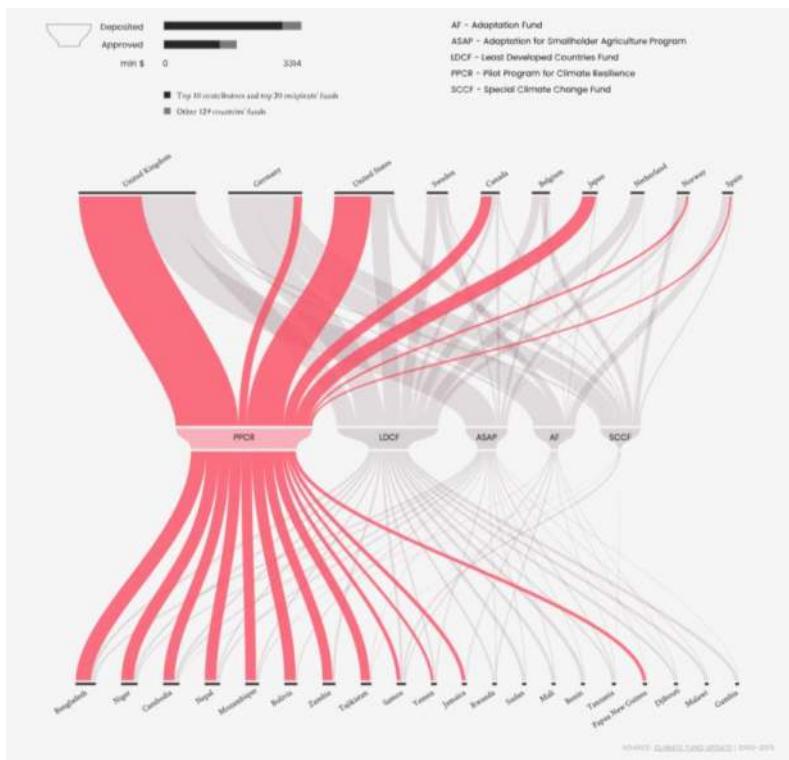


Figura 2-3: Distribuzione di fondi destinati a strategie di adattamento climatico.

I rischi naturali connessi al surriscaldamento globale affliggono, in modo diverso, le città dell'intero pianeta: comunità scientifiche, e non solo, lavorano ad un'urgente auto-valutazione degli effetti del cambiamento del clima, proprio per mitigarne gli effetti e allo stesso tempo per adattare le proprie strutture (fisiche e sociali) ad

ormai inevitabili conseguenze. Per poter lavorare in modo efficace ed efficiente non ci si può limitare alla conoscenza dei probabili rischi naturali, ma è fondamentale considerare l'esposizione, la pericolosità e la vulnerabilità dei diversi sistemi che costituiscono il tessuto urbano.

Dal momento che gli attori coinvolti nella gestione dei cambiamenti climatici sono numerosi ed eterogenei, è divenuto essenziale cercare di stabilire una terminologia universale e adatta tanto a ricercatori e scienziati, quanto a decisori politici per comprendere la gravità e il dramma che le conseguenze climatiche comporteranno. La Figura 2-5 sotto riportata indica in modo schematico i concetti alla base dell'analisi di rischio per la definizione di strategie di adattamento ai cambiamenti climatici.

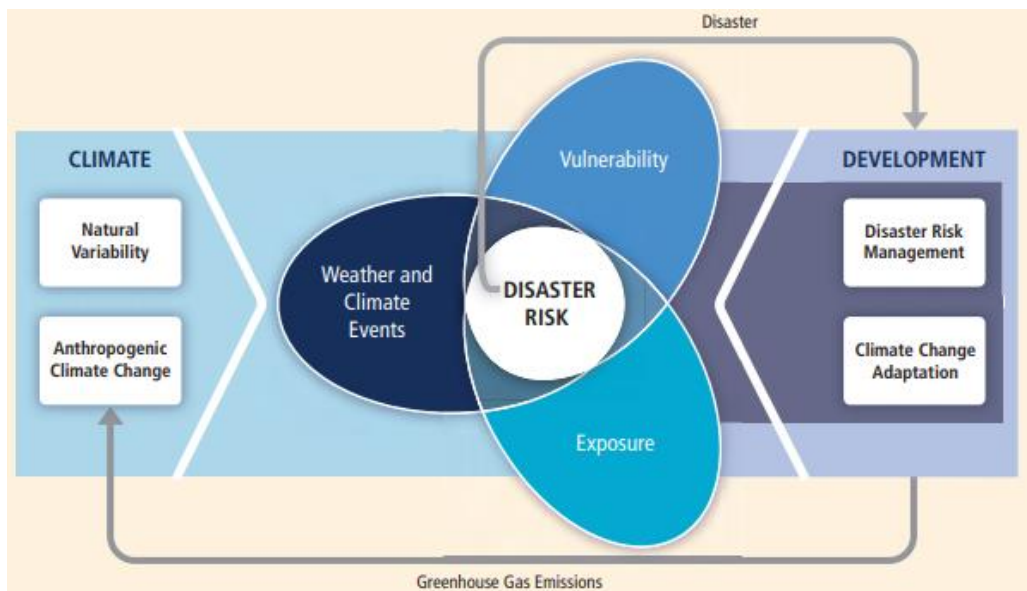


Figura 2-4: Quadro di valutazione del rischio (IPCC, 2018).

Il rischio di disastro, con riferimento ai fenomeni del surriscaldamento globale, è definito come la verosimiglianza che, in un certo periodo di tempo, si alteri in modo significativo il normale funzionamento dei sistemi urbani e naturali a causa di pericolosi eventi climatici e meteorologici che hanno differenti impatti in ragione di particolari condizioni sociali ed economiche, che contribuiscono a rendere più o

meno vulnerabili i sistemi stessi. Per questo motivo, il rischio naturale deriva dalla combinazione del presentarsi di pericoli fisici, di certe condizioni di vulnerabilità degli elementi esposti al rischio stesso e di potenziali condizioni di danno al sistema, una volta materializzatosi in rischio. I danni generati da un evento estremo disastroso potrebbero avere impatti negativi sulle condizioni di vita, colpendo gravemente i servizi ecosistemici e le risorse naturali utili alle comunità, sulla sicurezza alimentare e sulla salute degli uomini. Questa definizione del rischio di disastro, qualitativa e del tutto generale, è stata formalizzata dalla letteratura scientifica, come espresso di seguito (Equazione 2-1).

Inoltre, i disastri e i relativi rischi possono essere distinti in *disastri sociali*, per i quali gli impatti sul sistema fisico e territoriali possono anche non avere alcun ruolo, e *disastri ambientali*, le cui cause sono direttamente connesse ad impatti sul sistema fisico, tanto di origine antropica che naturale, con probabili impatti sui sistemi sociali.

La letteratura scientifica concorda nel definire i rischi come il prodotto di tre componenti fondamentali, pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, come evidenziato nell'equazione che segue.

$$R = H \cdot V \cdot E$$

*Equazione 2-1. Definizione di Rischio*

Quando si verificano eventi estremi e non, come tempeste tropicali, alluvioni e siccità, questi possono colpire negativamente i sistemi sociali e in questo caso assumono le caratteristiche di un pericolo.

La pericolosità (anche chiamata *Hazard*, H) è la probabilità che accada un evento che possa causare danni a proprietà o intere infrastrutture, agli ambienti urbani e alle risorse ambientali. Le sue caratteristiche sono la frequenza e l'intensità dell'evento. Pertanto, nella letteratura scientifica, la pericolosità esprime la probabilità che un fenomeno avvenga in un certo luogo con una certa intensità, in un certo intervallo di tempo. Più in generale, possiamo intendere con pericolosità la presenza di fattori che possono potenzialmente causare danni. Ad esempio, nel caso di una alluvione la pericolosità viene determinata mediante l'utilizzo di modelli

matematici applicati all'idrologia ed alla idraulica con i quali è possibile stimare l'estensione di un evento alluvionale, la sua velocità ed i tiranti idrici per un determinato periodo di ritorno ovvero per una certa probabilità di accadimento.

L'entità dell'impatto che un potenziale fattore di pericolo può generare su un certo contesto territoriale è strettamente correlata alla predisposizione intrinseca di tale area a subire danni, che possono riguardare elementi antropici o naturali.

Si introduce quindi il concetto di vulnerabilità (V) dei sistemi territoriali e antropici, ovvero la possibilità di danno che un evento ha in relazione alla sua intensità sulle strutture interessate. Il concetto di vulnerabilità così come oggi generalmente inteso in ambito scientifico, costituisce uno degli esiti dell'applicazione dell'approccio sistemico allo studio delle calamità naturali che, a partire dagli anni '60, è stato orientato ad indagare le relazioni esistenti tra variazione di alcune caratteristiche dei sistemi analizzati, fattori di vulnerabilità e livello delle interrelazioni tra parti di sistemi complessi. Tali studi evidenziarono la necessità di superare la visione meccanicistica del fenomeno, imperniata sul nesso causa-effetto, incapace di analizzare e spiegare i comportamenti di sistemi ad elevata complessità, quale il sistema oceano-terra-atmosfera, quando sottoposti a calamità naturali, evidenziando la complessità del fenomeno analizzato e denunciando la irriducibilità del rischio naturale al fattore di pericolo. Riconoscendo che il comportamento di un sistema non equivale alla sommatoria dei comportamenti dei singoli elementi che lo costituiscono, la vulnerabilità viene oggi sempre più diffusamente intesa come misura dell'incapacità di assorbire l'impatto di un evento, disastroso o meno, sia di singoli elementi che del sistema territoriale nel suo complesso. Può anche essere vista come la predisposizione di un bene ad essere danneggiato. Quanto più esso è vulnerabile (per tipologia, progettazione inadeguata, scadente qualità dei materiali e modalità di costruzione, scarsa manutenzione, se ci si riferisce alla vulnerabilità infrastrutturale, o a certe condizioni sociali, economiche e demografiche per la vulnerabilità di sistemi non materializzati), tanto maggiori saranno le conseguenze. Per quanto riguarda i cambiamenti climatici, l'IPCC ha definito la componente di vulnerabilità di un sistema, ad un certo rischio, come "la predisposizione o

propensione ad esserne danneggiato". All'interno di questa definizione della vulnerabilità come propensione al danno, come *fragilità* di un sistema di fronte ad un evento, il termine viene generalmente specificato in ragione dell'agente di pericolosità considerato e dell'oggetto o sistema cui il termine stesso viene riferito. Scienziati e ricercatori hanno approfondito questa definizione, come Adger et al. (2020), che ne hanno parlato come "lo stato di suscettibilità a potenziali danni connessi a cambiamenti ambientali e sociali e di assenza di capacità di adattamento". Ancora, la Piattaforma Europea di adattamento al clima (CLIMATE-ADAPT) ha definito la vulnerabilità come "il grado di suscettibilità di un sistema agli effetti avversi del cambiamento climatico, quali variabilità climatica e il presentarsi di eventi estremi". Quindi, la vulnerabilità è funzione del carattere, dell'intensità e frequenza del cambiamento climatico cui un sistema è esposto, della sensibilità e della capacità di adattamento del sistema stesso.

La vulnerabilità è solitamente presentata come un concetto relativo, usato per paragonare un sistema ad un altro. Ridurre la vulnerabilità di un sistema, quale quello urbano, attraverso misure di adattamento comporta la riduzione dell'esposizione e/o della pericolosità. In sistemi fisici, quali quelli infrastrutturali, l'esposizione a rischi naturali potrebbe essere ridotta, per esempio, rilocalizzando le componenti del sistema stesso, mentre la protezione delle sue componenti comporterebbe una riduzione della sensibilità. L'obiettivo della riduzione della vulnerabilità delle città è limitare i rischi di danni a tutte le componenti dei sottosistemi urbani.

L'esposizione (E), ovvero la maggiore o minore presenza di beni esposti al rischio, è la possibilità di subire un danno economico, in relazione alla presenza di infrastrutture, edifici strategici, insediamenti o beni di pregio storico, artistico e architettonico. L'esposizione differisce dalla vulnerabilità in quanto un soggetto può essere molto esposto e non vulnerabile (un muro in cemento all'argine di un fiume in piena, per esempio), oppure molto vulnerabile ma non esposto (un'abitazione di paglia lontana dal fiume). Fattori come superfici e volumi, materiali di costruzioni, etc., concorrono nel determinare il valore esposto. Il valore di esposizione può



essere calcolato mediante inventari e stime immobiliari, oppure tramite società di valutazione commerciale, finanziaria ed assicurativa. Per la stima dei valori esposti per i fabbricati civili ed industriali solitamente si fa riferimento ai costi di costruzione che devono essere costantemente aggiornati. La stima e la conoscenza del valore dei beni esposti è fondamentale per la determinazione del rischio. L'esposizione determina anche il criterio con cui la valorizzazione del rischio è eseguita e deve essere congruente allo scopo con cui si effettua l'analisi (ricostruzione materiale dei beni, salvaguardia del valore storico-artistico dei beni, perdita commerciale o funzionale dei beni).

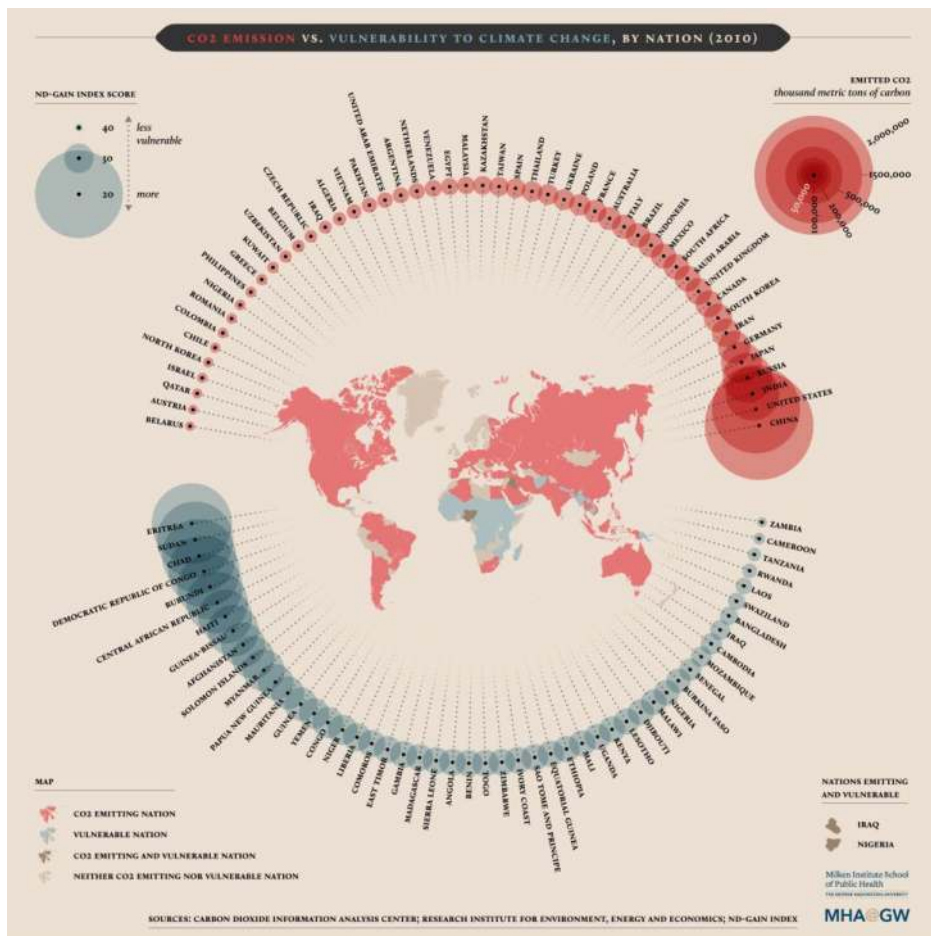


Figura 2-5: Confronto tra CO2 equivalente prodotta e vulnerabilità, per nazione (2010).

Con riferimento ai cambiamenti climatici, l'esposizione viene definita dall'IPCC come "la presenza su un territorio di persone, mezzi di sussistenza, servizi e risorse ambientali, infrastrutture o assi culturali, sociali ed economici che potrebbero essere danneggiati". La definizione dell'esposizione di un sistema dinamico e complesso quale quello urbano può risultare onerosa oltre che del tutto aleatoria, dato l'ingente numero di variabili in gioco.

La Figura 2-6, elaborata dal Milken Institute School of Public Health, presenta un confronto tra le emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente e tasso di vulnerabilità per nazione, al 2010 ed evidenzia una forte discrasia tra le nazioni più vulnerabili ai fenomeni del cambiamento climatico e i Paesi che, con le proprie attività economiche e produttive, sono responsabili dei più alti volumi di CO<sub>2</sub> equivalente emessa.

In sintesi, non c'è una corrispondenza uno-a-uno tra il verificarsi di un *extreme event* e un disastro, sociale e/o naturale. Un evento climatico o metereologico, legato tanto alla naturale variabilità del sistema atmosfera-terra-mare, quanto connesso all'aumentata concentrazione di GHG in atmosfera a causa dell'attività umana, viene definito disastroso nel momento in cui verificandosi su comunità altamente vulnerabili ed esposte a tali eventi, causa danni e perdite economici e sociali. Quindi, anche eventi non statisticamente estremi possono dimostrarsi disastrosi: un'alta esposizione ed elevati livelli di vulnerabilità potrebbero trasformare anche eventi di piccola scala in disastri per le comunità colpite. Ricorrenti eventi, anche se di piccola o media entità, potrebbero causare un grave rallentamento dello sviluppo delle comunità colpite, incrementandone la vulnerabilità. La caratteristica temporale (l'arco di tempo in cui l'evento si verifica, durante il giorno, mese o anno), così come la sequenza degli eventi sono spesso elementi cruciali per definire l'impatto sul sistema antropico. L'importanza relativa di sottolineare i moventi sociali e fisici del rischio di disastro varia in ragione della scala dell'evento e dei livelli di esposizione e vulnerabilità. Dal momento che l'impatto di eventi di minore entità è esacerbato dalle condizioni fisiche, ecologiche, sociali ed economiche che ne incrementano l'esposizione e la vulnerabilità, questi eventi affliggono in modo non proporzionale le comunità già povere di risorse, con

scarso accesso ad alternative che permettano di ridurre la pericolosità degli eventi stessi, la loro stessa esposizione e vulnerabilità. Le potenziali conseguenze negative degli *extreme events* possono essere moderate in modo decisivo (ma difficilmente eliminate), attraverso l'implementazione di strategie di gestione dei rischi, che siano reattive, adattive, anticipatorie e sostenibili.

## **2.2 La gestione dei rischi climatici e metereologici e i sistemi urbani**

I sistemi urbani sono agglomerati territoriali caratterizzati non solo dall'insieme di elementi strutturali ed infrastrutturali, fisici e naturali, ma anche dalla popolazione che vi risiede, così come dalle strutture sociali e di governance, che ne regolano l'organizzazione (Renn & Klinke, 2013; Solecki et al., 2017).

Gli elementi di una città non si caratterizzano solo come elementi di architettura, quali edifici residenziali e commerciali, ma ci si riferisce anche alle reti infrastrutturali che connettono strutture ed attività, attraverso elementi aerei, di superficie e sotterranei. La popolazione vive, lavora, comunica e viaggia nelle città, attraversando quotidianamente le reti infrastrutturali e architettoniche, mentre una rete, solitamente meno visibile, composta da regole e norme, coordina il funzionamento dell'intero sistema (Jha & Lamond, 2013).

Se da un lato le città e le loro economie sono largamente responsabili delle emissioni in atmosfera di gas climalteranti, sono allo stesso tempo fortemente impattate dalle conseguenze dei cambiamenti del clima: le città hanno un ruolo, quindi, fondamentale nel fronteggiare i cambiamenti climatici e i fenomeni ad essi correlati. La multidimensionalità dei rischi naturali, affrontata nel paragrafo precedente, pure se largamente riconosciuta viene spesso affrontata in chiave prevalentemente settoriale e le competenze in materia risultano scarsamente integrate nei processi ordinari di governo delle trasformazioni del territorio, se non in forma di verifiche *a posteriori*. A questa dimensione multipla del rischio va posta particolare attenzione, soprattutto nelle grandi aree urbane e metropolitane, territori ad elevata stratificazione di attività, in cui ai fattori di pericolosità di origine naturale si

sovrappongono fattori di pericolosità determinati da attività antropiche, esse stesse agenti di pericolo e *amplificatori* di eventi di origine naturale (Zuccaro & Leone, 2014).

Ignorare la dimensione multipla del rischio non consente quindi né di tenere conto degli effetti amplificativi o a catena che possono innescarsi né, in positivo, delle sinergie che è possibile attivare tra azioni orientate alla prevenzione/mitigazione e/o adattamento degli impatti determinati da diverse tipologie di rischio sui sistemi urbani o territoriali (Bertin, 2018). Un attento esame delle possibili concatenazioni di eventi, danni e guasti sembra di gran lunga più rispondente anche all'avvenuta revisione dei paradigmi interpretativi dei fenomeni urbani: la diffusione di un approccio olistico-sistemico ha reso palese la ridotta efficacia di indagini volte a considerare separatamente gli aspetti o le componenti di un sistema urbano e territoriale, trascurando la fitta rete di interrelazioni che caratterizzano ciascun sistema. Sono tuttavia molto recenti, e non solo in Italia, gli studi volti ad esplorare le possibili catene di danni e disastri che, a partire da un singolo evento, possono generarsi, indagando sulle relazioni tra diversi agenti di pericolo, vulnerabilità ed esposizione e tra questi e le diverse componenti del sistema territoriale investito. In ambito urbano, o comunque nel caso di sistemi ad elevata complessità, per indirizzare le politiche di mitigazione del rischio e di adattamento alle conseguenze del rischio stesso può essere utile non soltanto una valutazione della vulnerabilità, ma anche la conoscenza in termini spaziali e dinamici delle concatenazioni di eventi e danni che potrebbero verificarsi a seguito di un evento. Le tecniche di scenario, a partire da condizioni iniziali e di contorno note, ci consentono di leggere le relazioni esistenti tra danni subiti, concatenazioni e influenze reciproche, le relazioni tra attività ed elementi fisici colpiti. L'analisi degli scenari è un metodo di analisi e previsione, particolarmente diffuso in ambito economico e finanziario, a medio e lungo periodo, qualitativa e quantitativa, che consiste nell'ipotizzare una serie di possibili alternative future per un gruppo di variabili, sociali, economiche, climatiche, meteorologiche, territoriali, etc., attribuire una probabilità a ciascuna di esse e infine trarre conclusioni previsive dall'insieme delle informazioni raccolte.

Con riferimento allo studio del cambiamento climatico e metereologico, uno scenario è una plausibile e coerente descrizione di un possibile futuro stato del pianeta. Gli scenari sono diventati fondamentali per la determinazione degli impatti, dell'adattamento e della vulnerabilità ai cambiamenti climatici, per offrire visioni alternative delle future condizioni del pianeta, considerando le probabili influenze di un certo sistema o di una specifica attività (Venco, 2016). È necessario distinguere tra scenari climatici, che descrivono i fattori forzanti del fenomeno del surriscaldamento globale e delle concatenanti conseguenze, e gli scenari non climatici, che invece forniscono una panoramica del contesto socioeconomico ed ambientale in cui le forzanti climatiche operano. Le comunità scientifiche internazionali quantificano gli effetti del cambiamento climatico attraverso dei modelli di impatto, che ricevono in input scenari quantitativi tanto climatici che non climatici. Lo studio di precedenti analisi di scenario ha evidenziato notevoli problemi nello sviluppo e nell'applicazione degli stessi. Questi problemi includono difficoltà nell'ottenere previsioni credibili e compatibili su orizzonti temporali molto estesi, e nella contaminazione, non sempre produttiva, tra approcci di discipline differenti. Inoltre, il ricorso a scenari non-climatici a livello regionale, a sistema con scenari climatici convenzionali, è stato solo recentemente introdotto nelle analisi di valutazione degli impatti, mentre i metodi di sviluppo degli scenari (specialmente quelli socioeconomici) sono ancora molto superficiali e, pertanto, poco attendibili. Lo scenario, però, può rivestire un ruolo fondamentale come strumento di supporto alla comunicazione e alla partecipazione, sia tra i tecnici chiamati alla definizione degli stessi scenari, sia nella comunicazione del rischio a *policymakers, stakeholders* e popolazione. Infatti, la possibilità di comunicare, in termini quantitativi e qualitativi, gli effetti e le conseguenze indotte da determinate condizioni può favorire la presa di coscienza delle collettività e, potenzialmente, la partecipazione attiva alle decisioni e alla condivisione del rischio. Lo scenario si presenta, quindi come uno strumento interdisciplinare dalle notevoli capacità comunicative, in grado di concorrere alla costruzione di conoscenze condivise tra più ambiti disciplinari e alla maggiore consapevolezza del rischio nella società. Inoltre, le tecniche di

scenario possono rivestire un ruolo fondamentale anche nella gestione di emergenze di diversa natura, per definire azioni efficaci a limitare danni al sistema territoriale colpito, ottimizzandone la risposta.

Le tecniche di scenario sono state applicate negli scorsi decenni per prevedere danni ed estensioni dei più probabili e impattanti rischi per il sistema urbano (per esempio, per il rischio sismico), e sono state orientate alla valutazione degli effetti, su un territorio, di uno specifico evento, di una data intensità, caratterizzando e quantificando i diversi tipi di danno che l'evento può determinare. Anche queste tecniche analizzano i fenomeni in termini di pericolosità, esposizione e vulnerabilità, ma tali caratteristiche vengono determinate in funzione di un evento preciso, fissato nel tempo e nello spazio.

Nella costruzione di scenari la disciplina urbanistica non ha ancora affermato con forza un proprio campo di azione: l'apporto urbanistico resta molto spesso limitato alla gestione delle informazioni e alla loro trasposizione in sistemi informativi che visualizzano sul territorio la distribuzione dei danni edilizi e delle sofferenze umane. Più recenti metodologie, a partire dai danni fisici, determinano danni e guasti sistemici conseguenti all'evento disastroso e non strettamente riconducibili ai danni del sottosistema fisico. Secondo questo approccio, il contributo della tecnica urbanistica e della pianificazione territoriale è fondamentale poiché tali danni e guasti sono riferibili alla domanda di particolari attività urbane in emergenza e alla possibilità da parte del sistema urbano di soddisfare tale domanda.

La costruzione di scenari, per quanto sofisticati e supportati da innovative tecnologie, non può bastare per gestire i rischi e i potenziali impatti di eventi disastrosi, di natura sia meteorologica che climatica. Infatti, dopo aver alimentato la consapevolezza di *policymakers*, *stakeholders* e cittadini in merito ai rischi cui sono sottoposti i centri urbani, per pericoli naturali e/o connessi al cambiamento climatico, è necessario trasferire queste conoscenze in strategie, politiche e normative che regolino lo sviluppo del sistema urbano e territoriale. Allo stesso tempo, informazioni relative ai rischi possono essere messe a disposizione di

agenzie e società di settore, per orientare le trasformazioni infrastrutturali e gestionali di un'area.

La pianificazione territoriale *risk-sensitive* integra analisi di pericolosità e vulnerabilità ai processi di pianificazione, dal momento che questo approccio si basa sul principio secondo cui, per quanto possibile, lo sviluppo di infrastrutture, attività economiche e sociali debba essere evitato in corrispondenza di aree *hot-spot*, ossia aree particolarmente esposte e/o vulnerabili a pericoli naturali ed eventi climatici estremi.

Quindi, la conoscenza del rischio, delle sue componenti e della sua estensione territoriale, può essere utile nel pianificare e guidare lo sviluppo futuro delle città lontano da aree ad elevato rischio.

Se però parliamo di comunità ben radicate sul territorio, diventa difficile pensare di rilocalizzarle in aree più sicure e limitarne il rischio di esposizione a pericoli climatici e meteorologici. In questo caso, la zonizzazione di una città o di un territorio può essere utilizzata per classificare e mappare le aree, in ragione delle trasformazioni attuabili e degli usi compatibili. Come strumento di pianificazione del territorio, la zonizzazione regola quali attività possono svolgersi in una certa area. Si tratta di una metodologia di pianificazione territoriale superata, che però è ancora parte integrante degli ordinari strumenti legislativi. Attraverso l'implementazione di metodi di zonizzazione, diverse zone possono essere progettate per una o più attività, come quella residenziale, di sviluppo industriale, per attività commerciali e finanziarie, per uffici pubblici, scuole e ospedali, o per aree ricreative, come parchi e spiagge. L'obiettivo di questo strumento di pianificazione urbana e territoriale è garantire che solo attività vicendevolmente compatibili coesistano nelle stesse aree (o in aree limitrofe), per promuovere il benessere della comunità. Inoltre, questo approccio può essere usato per regolare l'altezza degli edifici, la loro densità, e permettere lo sviluppo di certe attività in zone adeguate. In questo senso, la zonizzazione può rappresentare uno strumento prezioso per affrontare pericoli naturali e rischi connessi al cambiamento climatico, assicurando che la popolazione locale e *asset* fondamentali come centrali elettriche, ospedali siano localizzate

lontano da aree altamente esposte al rischio, o per assicurare che servizi ecosistemici fondamentali siano preservati.

Le aree definite *hot-spot* dagli strumenti di scenario prima citati potrebbero essere zonizzate come aree per verde pubblico, dove la popolazione e infrastrutture e servizi primari non sono direttamente esposti ai rischi climatici e metereologici.

Allo stesso tempo, altri strumenti pianificatori, dal carattere vincolante e proibitivo (per esempio, individuazione di un *offset* della linea di costa, che limiti lo sviluppo di certe attività), forniscono ulteriori e utili strumenti di integrazione delle analisi di rischio allo sviluppo urbano e territoriale.

*Policymakers* e *stakeholders* devono, inoltre, considerare che le infrastrutture sono cruciali per supportare lo sviluppo economico e sociale delle aree urbane in una nazione. Per esempio, energia, acqua, rete fognaria, telecomunicazioni e trasporti sono fondamentali per il buon funzionamento delle città. Il costo per ripristinare o sostituire infrastrutture che sono state danneggiate a seguito del verificarsi di eventi naturali e/o connessi al cambiamento climatico è non solo ingente, ma può anche ritardare significativamente il recupero e/o riabilitazione delle stesse aree urbane. Allo stesso tempo, migliorare l'accesso alle infrastrutture e altri servizi urbani può ridurre, nel complesso, la vulnerabilità delle città a rischi climatici e metereologici. Investimenti per migliorare gli impianti di drenaggio di acque piovane in contesti altamente urbanizzati possono significativamente ridurre gli impatti connessi ad alluvioni. In ogni caso, nella fase di progettazione e sviluppo di piani di investimento per le infrastrutture, le informazioni relative ai pericoli e ai rischi connessi al cambiamento climatico dovrebbero essere usate per monitorare e analizzare la vulnerabilità degli investimenti promossi rispetto agli impatti del cambiamento climatico e ai rischi naturali (Fasolino et al., 2018). Quando possibile, infrastrutture primarie dovrebbero essere localizzate fuori dalle aree (o zone) ad elevato rischio. Quando non è possibile eliminare l'esposizione al rischio, è necessario considerare misure che limitino gli impatti di probabili eventi climatici e/o naturali, per garantire che l'infrastruttura sia *resiliente* agli stessi. Questo può comportare l'investimento di risorse in misure quali adeguamento sismico di infrastrutture esistenti,



alimentazione di emergenza per centrali elettriche, regolando parametri di funzionamento al variare delle condizioni climatiche (Fiorani & Cacace, 2020).

Strumenti di pianificazione	Riferimento normativo	Livello territoriale	Azioni di implementazione del <i>Risk Management</i>
Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC)	Decreto direttoriale n.86 del 16 giugno 2015	Nazionale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redazione di analisi di contesto, scenari climatici e vulnerabilità climatica</li> <li>- Individuazione di azioni di Adattamento</li> <li>- Costruzione di strumenti per la partecipazione, il monitoraggio e la valutazione</li> </ul>
Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SNACC)	Decreto direttoriale n. 86 del 16 giugno 2015	Nazionale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Approccio integrato alla gestione del rischio per coinvolgere decisori politici, esperti e i practitioners nelle strategie di adattamento e mitigazione</li> </ul>
Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA)	Decreto Legislativo n. 49 del 2010, in attuazione alla Direttiva Europea 2007/60/CE	Sovraregionale e/o nazionale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mappatura della pericolosità e rischio alluvioni</li> <li>- Diagnosi vulnerabilità</li> <li>- Misure da attuare per ridurre il rischio</li> </ul>
Strategia Regionale Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SRACC)	Decreto direttoriale n. 86 del 16 giugno 2015	Regionale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificazione degli impatti climatici</li> <li>- Individuazione degli attori da coinvolgere per l'adattamento ai cambiamenti climatici</li> <li>- Definizione di specifici indirizzi per orientare la procedura di VAS (Valutazione Ambientale Strategica)</li> <li>- Indirizzamento delle proposte di piano o programmi volti a ridurre rischi e vulnerabilità dovuti ai mutamenti del clima</li> </ul>
Piani di Protezione Civile	Decreto Legislativo n.1 del 2018	Provinciale intercomunale e comunale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coordina risorse in fase emergenziale</li> <li>- Documento in continuo aggiornamento, per tenere in conto dell'evoluzione dell'assetto territoriale e delle variazioni negli scenari attesi</li> </ul>
Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (PAESC)	Covenant of Mayors for Climate and Energy	Comunale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valutazione dei rischi del cambiamento climatico e delle vulnerabilità</li> </ul>

Tabella 2-1. Strumenti di pianificazione e di risk management

Quando non è possibile investire per limitare l'esposizione a rischi naturali e climatici, i *policymakers* possono introdurre strumenti di pianificazione territoriale per minimizzare la vulnerabilità degli insediamenti urbani. Il funzionamento di sistemi di preallarme, di risposta emergenziale, e piani di recupero per incrementare la resilienza urbana post-disastro garantiscono che al verificarsi di eventi calamitosi, qualunque sia la genesi, la popolazione sia in grado di rispondere a tali eventi e ristabilirsi. Questo approccio richiede investimenti nella progettazione di sistemi di preallarme che diano ai residenti delle città colpite tempo sufficiente per reagire, come adottare misure di sicurezza delle proprietà ed evacuare in zone sicure.

Analogamente, piani di risposta efficaci dovrebbero essere predisposti per supportare le operazioni di emergenza, così che al verificarsi della calamità, la perdita di vite e impatti sia minimizzata. Il quadro di sintesi presentato in questo capitolo, senza la pretesa di essere esaustivo per raccontare le strategie esistenti per fronteggiare il cambiamento climatico e i conseguenti impatti sui sistemi urbani vuole ricostruire l'ossatura dei più diffusi approcci della pianificazione urbana e territoriale per limitare la vulnerabilità, l'esposizione delle città e la pericolosità degli eventi naturali (non solo metereologici e climatici).

Si riporta, in forma matriciale (Tabella 2-1), una sintesi degli strumenti di governo urbano e territoriale, disponibili nel quadro normativo italiano per l'implementazione di strategie volte alla mitigazione e all'adattamento ai fenomeni connessi al cambiamento climatico e che implementano i principi cardine del *risk management* (Bignami, 2010).

La tabella sintetizza gli elementi tecnici di gestione del rischio di alcuni dei principali strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica del panorama italiano, orientati all'adattamento e alla mitigazione dei fenomeni connessi al cambiamento climatico, oltre che alla gestione di scenari emergenziali che ne potrebbero conseguire. Tra questi figurano:

- Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC) che si propone di offrire uno strumento di supporto alle istituzioni nazionali, regionali e locali per l'individuazione e la scelta delle azioni più efficaci nelle diverse aree

climatiche in relazione alle criticità che le connotano maggiormente e per l'integrazione di criteri di adattamento nelle procedure e negli strumenti già esistenti. L'obiettivo generale si declina in quattro obiettivi specifici: contenere la vulnerabilità dei sistemi naturali, sociali ed economici agli impatti dei cambiamenti climatici, incrementare la capacità di adattamento degli stessi, migliorare lo sfruttamento delle eventuali opportunità e favorire il coordinamento delle azioni a diversi livelli;

- Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SNACC), uno strumento di analisi con l'obiettivo di identificare i principali settori che subiranno gli impatti del cambiamento climatico, definendo gli obiettivi strategici e le azioni per la mitigazione degli impatti;
- Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA), che studia tutti gli aspetti della gestione del rischio di alluvioni, e in particolare la prevenzione, la protezione e la preparazione, comprese le previsioni di alluvioni e i sistemi di allertamento, e tenere conto delle caratteristiche del bacino idrografico o del sottobacino interessato. I piani di gestione del rischio di alluvioni possono anche comprendere la promozione di pratiche sostenibili di uso del suolo, il miglioramento delle capacità di ritenzione delle acque nonché il ricorso all'inondazione controllata di certe aree in caso di evento alluvionale. Inoltre, il piano suggerisce di porre l'accento, se opportuno, su misure non strutturali e/o volte alla riduzione della probabilità di inondazione;
- Strategia Regionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SRACC), definisce il ruolo degli stakeholder istituzionali regionali attraverso specifici meccanismi di consultazione interna alle regioni, approfondisce e aggiorna le basi climatiche (cambiamenti climatici passati e in atto; variabilità climatica e cambiamenti climatici futuri) a livello regionale, conduce valutazioni quantitative sugli impatti settoriali (meta-analisi della bibliografia scientifica) e l'analisi delle vulnerabilità al cambiamento climatico negli otto settori chiave considerati; stabilisce per ciascuno dei settori interessati dagli effetti del cambiamento climatico la relazione funzionale tra impatti, obiettivi generali di adattamento e specifiche

- misure, tenendo in considerazione il quadro complessivo delle politiche e degli interventi settoriali e intersettoriali già in atto o in programma da parte dell'amministrazione regionale;
- Piani di Protezione Civile, ossia l'insieme delle procedure operative di intervento per fronteggiare una qualsiasi calamità attesa in un determinato territorio. Il piano di protezione civile recepisce il programma di previsione e prevenzione ed è lo strumento che consente alle autorità di predisporre e coordinare gli interventi di soccorso a tutela della popolazione e dei beni in un'area a rischio. Ha l'obiettivo di garantire con ogni mezzo il mantenimento del livello di vita civile messo in crisi da una situazione che comporta gravi disagi fisici e psicologici;
- Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (PAESC), un documento programmatico che i firmatari del Patto dei Sindaci (Covenant of Mayors <https://www.covenantofmayors.eu/>) devono elaborare, entro due anni dalla firma, nel quale sono definiti i tempi e le modalità utilizzate per il raggiungimento della riduzione del 40% (minimo) delle emissioni di CO<sub>2</sub> entro il 2030 nel proprio ambito territoriale.

Il susseguirsi di eventi naturali, divenuti disastrosi, intrecciato alla variabilità climatica e meteorologica del sistema acqua-terra-aria, a causa di una mancata visione internazionale a lungo termine, obbliga oggi policymakers, stakeholders e cittadini ad agire prontamente ed efficacemente a questa sfida. I principi della mitigazione e dell'adattamento suggeriscono, pur seguendo strategie differenti, di limitare effetti seri, durevoli ed irreversibili ai sistemi territoriali, anche laddove si tratti di effetti a lungo termine e ad elevato grado di incertezza ed imprevedibilità. Il paragrafo che segue intende raccontare una delle esperienze più emblematiche di implementazione di teorie del rischio alla progettazione di infrastrutture per la salvaguardia di fragili insediamenti urbani: il MoSE di Venezia.

Si tratta di una complessa (oltre che costosissima) infrastruttura idraulica, studiata, disegnata e progettata *ad hoc* per la città della Laguna, per un contesto così unico al mondo, sia per caratteristiche fisiche che per pregio storico, artistico e architettonico, che è difficile pensare di poterne replicare le caratteristiche in altri

territori. A quasi quarant'anni dalla sua definizione e dopo le peripezie tecnologico-ingegneristiche (ma anche politiche e legali) per la sua realizzazione (non del tutto ultimata), ci si chiede per quanto tempo il MoSE potrà proteggere Venezia e i suoi tesori, considerando l'inarrestabile avanzata dei cambiamenti climatici: ne sarà valsa la pena?

### 2.3 Il MoSE di Venezia

La fragilità di Venezia e il MoSE (Modulo Sperimentale Elettromeccanico), un sistema di protezione della città e della laguna dal costo di 5,493 milioni di euro e dalla storia progettuale ed esecutiva molto lunga e travagliata, sono da tempo sotto i riflettori nella discussione dell'applicazione del concetto di *risk management* alla difesa di un territorio (Alba et al., 2020; Umgiesser, 2020).



Figura 2-6: Le paratie mobili del MoSE di Venezia alle bocche di porto.

Il MoSE consta in un sistema infrastrutturale realizzato alle bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia, ovvero nei tre varchi del cordone litoraneo attraverso i quali la marea si propaga dal mare Adriatico in laguna (Figura 2-7). Il sistema integrato di opere prevede delle barriere di paratie mobili, in grado di isolare la laguna dal

mare durante gli eventi di alta marea, e opere complementari come scogliere all'esterno delle bocche di porto, per attenuare i livelli delle maree più frequenti e il rialzo delle rive e delle pavimentazioni, per eventi di alta marea superiori a 110 centimetri e fino a un massimo di 300 cm. Il progetto è stato così concepito per rispondere all'obiettivo posto dal decreto legge 798/84 per Venezia: la difesa completa di tutti gli abitanti lagunari dalle acque alte.

Di *acqua alta* si parla solo in alcuni casi specifici: quando la marea supera gli 80 cm sopra il livello medio del mare e allaga la città, solitamente per non più di qualche ora. Come spiega il sito del comune di Venezia *"la marea che supera la soglia di attenzione di +80 cm viene comunemente indicata come 'acqua alta'; a questa quota sorgono problemi di trasporto e di viabilità pedonale nei punti più bassi della città (Piazza San Marco). Quando la marea supera i 100 cm, il fenomeno inizia ad interessare tratti più consistenti dei percorsi cittadini, circa il 5% del suolo pubblico è allagato. A quota +110 cm, circa il 12% della città è interessato dagli allagamenti. Quando invece si raggiungono i +140 cm, viene allagato il 59% della città"*. I problemi provocati dall'acqua alta sono di tre tipi diversi: quelli alle strutture (le case, le strade, i ponti), quelli ai negozi (che devono chiudere per alcune ore o fare i conti con la riduzione della clientela) e quelli relativi alla difficoltà di muoversi in città (quando l'acqua è molto alta i vaporetta devono cambiare rotta, perché non riescono a passare sotto tutti i ponti).

La marea, ovvero il moto di oscillazione del livello delle acque marine, è influenzata da due fattori: quello meteorologico e quello astronomico. Normalmente a Venezia il contributo più significativo alle maree è dato dal fattore astronomico, cioè l'attrazione della Luna e secondariamente anche del Sole che ciclicamente e regolarmente fanno alzare e abbassare il livello delle acque. A volte a questo si aggiungono condizioni climatiche sfavorevoli che possono influenzare il moto delle maree: la bassa pressione e il forte vento di scirocco, soffiando da sud est, spingono le onde verso la laguna di Venezia (Varrani & Nones, 2018).

Oltre ai due fattori che influenzano il moto delle maree, ci sono altre due condizioni che hanno un effetto sul fenomeno dell'acqua alta: l'abbassamento del livello del

suolo, che nella zona di Venezia è sceso di circa 12 centimetri tra il 1950 e il 1970 a causa soprattutto dello svuotamento della falda acquifera, e l'innalzamento del livello del mare causato dai mutamenti climatici globali: negli ultimi cent'anni il mare nella zona di Venezia è salito di circa 14 centimetri. Si tratta, quindi, di un fenomeno causato dalla combinazione di più fattori, l'abbassamento del suolo nell'area della laguna, e l'innalzamento dei livelli del mare, conseguenza di eventi tanto meteorologici che climatici.

La città di Venezia, infatti, adagiata su 118 piccole isole è da sempre facile preda di ogni variazione del livello del mare, ma oggi si trova ad affrontare la furia di alluvioni sempre più minacciose e frequenti, prodotto della combinazione di eventi connessi tanto al cambiamento climatico quanto all'abbassamento di quota delle isole veneziane.

Tra questi fenomeni, l'acqua alta del novembre 2019 ha letteralmente messo in ginocchio la città mentre dal 1850 al 1950 ci sono state ogni decennio appena da 2 a 8 acque alte al di sopra dei 110 centimetri. Dal 1950 in poi è stato registrato un incremento significativo di tali fenomeni e nel decennio 2000-2009 sono state registrate circa 50 fenomeni di acqua alta, salite addirittura dal 2010 al 2019 a più di 90.

Il rapporto che da sempre lega Venezia alla sua laguna è un ecosistema delicato messo a rischio dalla mano dell'uomo. La città, infatti, poggia su un substrato di detriti fluviali non ancora consolidato che provoca lo sprofondamento progressivo del terreno, fenomeno chiamato subsidenza. Inoltre, l'intervento dell'uomo che ha cercato da sempre di adattare la laguna alle sue esigenze per riuscire a navigarne i bassi fondali, ha accelerato ulteriormente lo sprofondamento della città.

L'impatto di un fenomeno locale come questo si va sommando agli effetti dell'innalzamento del livello dei mari provocato dal riscaldamento globale, trasformando un fenomeno familiare come l'acqua alta in alluvioni di immani proporzioni che fanno alzare un grido di allarme in tutto il mondo.

Di fronte a questi scenari, gli scienziati hanno fatto della città di Venezia un grande laboratorio a cielo aperto dove capire e misurare l'effetto dei cambiamenti climatici

sul pianeta e mettere a punto soluzioni capaci di salvare la *città dei Dogi* e con lei, le altre città costiere del mondo minacciate dall'innalzamento del livello degli oceani. Per salvare la città, gli esperti sono inoltre alle prese con una delle più monumentali opere di ingegneria mai costruita dall'uomo: il MoSE. Un sistema che il 3 ottobre 2020, entrando in funzione, è riuscito per la prima volta nella storia della città a bloccare una mareggiata (Figura 2-6).

L'integrazione degli interventi previsti dal MoSE definisce un sistema di difesa estremamente funzionale che garantisce la qualità delle acque, la tutela della morfologia e del paesaggio, oltre che del patrimonio storico, artistico e architettonico di cui Venezia è custode, e il mantenimento dell'attività portuale. Il progetto MoSE è stato scelto al termine di un lungo iter progettuale e decisionale durante il quale il sistema di paratoie alle bocche di porto è stato confrontato con numerose soluzioni alternative. È risultato l'unica opera in grado di rispondere ai precisi vincoli e requisiti richiesti:

- assicurare la completa difesa del territorio dagli allagamenti;
- non modificare gli scambi idrici alle bocche di porto;
- non avere pile intermedie fisse nei canali alle bocche di porto;
- non interferire con il paesaggio e con le attività economiche che si svolgono attraverso le stesse bocche.

Si cominciò a parlare della possibile costruzione di una barriera per proteggere Venezia dopo il 4 novembre del 1966, quando l'acqua alta raggiunse il livello record di 194 centimetri devastando la città. Gran parte della città rimase allagata per quasi due giorni: ci furono danni alle case, ai monumenti e in diversi punti crollarono i "murazzi", le dighe che proteggono gli argini della laguna dall'erosione del mare. A causare l'allagamento fu l'insieme di più fattori. Innanzitutto, quel mese di novembre fu molto piovoso in tutta Italia (la grande alluvione che colpì Firenze accadde proprio negli stessi giorni) e i fiumi che sfociano nella laguna portarono più acqua del solito. Negli stessi giorni, poi, le condizioni del mare erano piuttosto cattive e un forte vento di scirocco spingeva le onde verso Venezia, impedendo all'acqua della laguna di defluire nel mare. Queste due cose, unite a una normale



alta marea di tipo astronomico, fecero salire il livello delle acque della laguna fino ad allagare la città (Zanchettin et al., 2020; Maragno et al., 2021).

Dopo l'allagamento del 1966 si cominciò a parlare della necessità di proteggere Venezia dall'acqua alta. Nel 1973 fu emanata una legge speciale, la 171/73, per la salvaguardia di Venezia, che sancì l'inizio del lungo processo con cui si cominciarono a studiare le possibilità per salvaguardare Venezia e la laguna dall'acqua alta. Con la legge del 1973, come si legge nel testo, il governo prese un impegno speciale nei confronti di Venezia: *"La salvaguardia di Venezia e della sua laguna è dichiarata problema di preminente interesse nazionale. La Repubblica garantisce la salvaguardia dell'ambiente paesistico, storico, archeologico ed artistico della città di Venezia e della sua laguna, ne tutela l'equilibrio idraulico, ne preserva l'ambiente dall'inquinamento atmosferico e delle acque e ne assicura la vitalità socioeconomica nel quadro dello sviluppo generale e dell'assetto territoriale della Regione"*.

Nel 1975 il Governo indisse un concorso per trovare soluzioni al problema dell'acqua alta. Tuttavia, nessuno dei cinque progetti presentati si dimostrò adeguato, ma con un decreto legge, il governo dispose l'acquisizione di tutti i progetti presentati affinché potessero essere studiati e si potesse arrivare alla formulazione di un progetto che tenesse conto dei vari aspetti del problema della laguna.

Il risultato dello studio fu un articolato progetto, chiamato *Progettone*, che prevedeva diversi tipi di interventi (alle case, agli argini, ai fondali e alle bocche di porto della laguna): fu presentato ufficialmente nel 1981 e approvato dal Consiglio Superiore dei Lavori pubblici (CSLP) nel 1982. Nel documento di approvazione del Progettone si parla della necessità di creare in prossimità delle bocche di porto, i canali che collegano la laguna al mare, delle barriere mobili che aiutino a contenere il livello della marea: l'idea centrale del progetto è segregare in una certa misura la laguna dal resto del Mar Adriatico (Bertolini et al., 2021).

Nel corso degli anni furono vagliati molti progetti e nell'aprile del 1984 fu scelta la soluzione delle dighe a scomparsa (Figura 2-8).

La scelta della soluzione progettuale del MoSE ha comportato lo studio, l'analisi e la sperimentazione di molteplici aspetti ingegneristici, ambientali e naturalistici di

elevata complessità. Un comitato interministeriale per la salvaguardia di Venezia approvò in via definitiva il progetto del MoSE, il 3 aprile del 2003. Il mese dopo, l'allora Premier Silvio Berlusconi pose la prima pietra nell'ambito della cerimonia di inizio dei lavori. Secondo le previsioni iniziali, il MoSE doveva essere pronto nel 2011 ma tra rallentamenti, inchieste (e successivi arresti), perplessità e polemiche (Vergano, 2010) la consegna dei lavori è stata spostata al 31 dicembre 2021.

Ad oggi il MoSe ha difeso la laguna e la città di Venezia in diverse occasioni in cui l'acqua alta ha raggiunto livelli superiori a +110 cm, ma più clamorosi sono stati gli eventi in cui il non funzionamento di questo complesso sistema ha comportato ingenti danni, addirittura incalcolabili, come registrato a fine 2019, tanto che comunità locali e internazionali hanno iniziato ad interrogarsi sulla vita utile di questa infrastruttura dalla storia, progettuale ed esecutiva, molto complessa.



Figura 2-7. Stralcio di giornale del 1984.

## Riferimenti bibliografici

- Adger, W. N., Brown, I., & Surminski, S. (2018). Advances in risk assessment for climate change adaptation policy. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 376(2121), 1-13. <https://doi.org/10.1098/rsta.2018.0106>
- Aguiar, F. C., Bentz, J., Silva, J. M., Fonseca, A. L., Swart, R., Santos, F. D., & Penha-Lopes, G. (2018). Adaptation to climate change at local level in Europe: An overview. *Environmental Science & Policy*, 86, 38-63. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.04.010>
- Alba, R., Klepp, S., & Bruns, A. (2020). Environmental justice and the politics of climate change adaptation—the case of Venice. *Geographica Helvetica*, 75(4), 363-368. <https://doi.org/10.5194/gh-75-363-2020>, 2020.
- Bertin, M. (2018). *Per esser pronti: ripensare la gestione dell'emergenza in città*. FrancoAngeli, Milano.
- Bertolini, C., Royer, E., & Pastres, R. (2021). Multiple Evidence for Climate Patterns Influencing Ecosystem Productivity across Spatial Gradients in the Venice Lagoon. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(4), 363. <https://doi.org/10.3390/jmse9040363>
- Bignami, D. F. (2010). *Protezione civile e riduzione del rischio disastri. Metodi e strumenti di governo della sicurezza territoriale e ambientale*. Maggioli Editore, Roma. ISBN: 978-88387-4437-8
- Busch, T. (2020). Industrial ecology, climate adaptation, and financial risk. *Journal of Industrial Ecology*, 24(2), 285-290. <https://doi.org/10.1111/jiec.12938>
- Caldecott, B. (2020). Climate risk management (CRM) and how it relates to achieving alignment with climate outcomes (ACO). *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 1-4. <https://doi.org/10.1080/20430795.2020.1848142>
- Chao, Q., & Feng, A. (2018). Scientific basis of climate change and its response. *Global Energy Interconnection*, 1(4), 420-427. <https://doi.org/10.14171/j.2096-5117.gei.2018.04.002>
- Chen, J., Chepeliev, M., Garcia-Macia, D., Iakova, D. M., Roaf, J., Shabunina, A., van der Mensbrugge, D., & Wingender, P. (2020). EU Climate Mitigation Policy, Departmental Papers, 2020(013), A001. Retrieved Jun 11, 2021, from <https://www.elibrary.imf.org/view/journals/087/2020/013/article-A001-en.xml>
- Disse, M., Johnson, T. G., Leandro, J., & Hartmann, T. (2020). Exploring the relation between flood risk management and flood resilience. *Water Security*, 9, 100059. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100059>
- Fasolino, I., Coppola, F., & Grimaldi, M. (2018). *La sicurezza urbana degli insediamenti. Azioni e tecniche per il piano urbanistico*. Franco Angeli, Milano. ISBN: 9788891780560
- Fiorani, D., & Cacace, C. (2020). La Carta del Rischio come strumento di gestione conservativa dei centri storici. *ArchHistoR*, 1542-1563. ISSN 2384-8898
- Fistola, R., & La Rocca, R. A. (2009). Metodi expert knowledge based per la definizione del rischio globale urbano (GURU). In *Atti della XXX Conferenza Italiana di Scienze Regionali*, Firenze pp. 9-11. [[http://www.grupposervizioambiente.it/aisre/pendrive2009/cd\\_rom/Paper/FISTOLA.pdf](http://www.grupposervizioambiente.it/aisre/pendrive2009/cd_rom/Paper/FISTOLA.pdf)]
- Fünfgeld, H. (2010). Institutional challenges to climate risk management in cities. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2(3), 156-160. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.07.001>

- IPCC, 2018. Special Report Global Warming of 1.5 °C. [<https://www.ipcc.ch/sr15/>]
- Ivanova, D., Barrett, J., Wiedenhofer, D., Macura, B., Callaghan, M., & Creutzig, F. (2020). Quantifying the potential for climate change mitigation of consumption options. *Environmental Research Letters*, 15(9), 093001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8589>
- Glasser, R. (2020). The climate change imperative to transform disaster risk management. *International Journal of Disaster Risk Science*, 1-3. <https://doi.org/10.1007/s13753-020-00248-z>
- Hussain, M., Butt, A. R., Uzma, F., Ahmed, R., Irshad, S., Rehman, A., & Yousaf, B. (2020). A comprehensive review of climate change impacts, adaptation, and mitigation on environmental and natural calamities in Pakistan. *Environmental monitoring and assessment*, 192(1), 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7956-4>
- Hobbie, S. E., & Grimm, N. B. (2020). Nature-based approaches to managing climate change impacts in cities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 20190124. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0124>
- Krauß, W., & Bremer, S. (2020). The role of place-based narratives of change in climate risk governance. *Climate Risk Management*, 28, 100221. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2020.100221>
- Kundzewicz, Z. W., Krysanova, V., Benestad, R. E., Hov, Ø., Piniewski, M., & Otto, I. M. (2018). Uncertainty in climate change impacts on water resources. *Environmental Science & Policy*, 79, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.008>
- Jha, A. K., Bloch, R., & Lamond, J. (2012). Cities and flooding: a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century. The World Bank. ISBN: 978-0-8213-8866-2. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8866-2>
- Lin, A. (2020). "Geoengineering: imperfect yet perhaps important options for addressing climate change". In *Handbook of U.S. Environmental Policy*. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing. doi: <https://doi.org/10.4337/9781788972840.00036>
- Maragno, D., Pozzer, G., & Musco, F. (2021). Multi-Risk Climate Mapping for the Adaptation of the Venice Metropolitan Area. *Sustainability*, 13(3), 1334. <https://doi.org/10.3390/su13031334>
- Mi, Z., Guan, D., Liu, Z., Liu, J., Vigiú, V., Fromer, N., & Wang, Y. (2019). Cities: The core of climate change mitigation. *Journal of Cleaner Production*, 207, 582-589. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.034>
- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2015). *Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*. [[https://pdc.minambiente.it/sites/default/files/allegati/Strategia\\_nazionale\\_adattamento\\_cambiamenti\\_climatici.pdf](https://pdc.minambiente.it/sites/default/files/allegati/Strategia_nazionale_adattamento_cambiamenti_climatici.pdf)]
- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2018). *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*. [<https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/pnacc.pdf>]
- Papalexioú, S. M., & Montanari, A. (2019). Global and regional increase of precipitation extremes under global warming. *Water Resources Research*, 55(6), 4901-4914. <https://doi.org/10.1029/2018WR024067>
- Paterson, M. (2013). Global warming and global politics. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 86 (11), 1571–1576. Routledge. <https://doi.org/10.1175/BAMS-86-11-1571>

- Renn, O., & Klinke, A. (2013). A framework of adaptive risk governance for urban planning. *Sustainability*, 5(5), 2036-2059. <https://doi.org/10.3390/su5052036>
- Sillmann, J., Shepherd, T. G., van den Hurk, B., Hazeleger, W., Martius, O., Slingo, J., & Zscheischler, J. (2021). Event-based storylines to address climate risk. *Earth's Future*, 9(2), e2020EF001783. <https://doi.org/10.1029/2020EF001783>
- Sperling, F. & Szekely, F. (2005). Disaster Risk Management in a Changing Climate. Discussion Paper prepared for the World Conference on Disaster Reduction on behalf of the Vulnerability and Adaptation Resource Group (VARG). Reprint with Addendum on Conference outcomes. Washington, D.C. [<http://lib.riskreductionafrica.org/bitstream/handle/123456789/358/disaster%20risk%20management%20in%20a%20changing%20climate%20may%202005.pdf?sequence=1>]
- Solecki, W., Pelling, M., & Garschagen, M. (2017). Transitions between risk management regimes in cities. *Ecology and Society*, 22(2). <http://www.jstor.org/stable/26270121>
- Umgiesser, G. (2020). The impact of operating the mobile barriers in Venice (MOSE) under climate change. *Journal for Nature Conservation*, 54, 125783. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2019.125783>
- Varrani, A., & Nones, M. (2018). Vulnerability, impacts and assessment of climate change on Jakarta and Venice. *International Journal of River Basin Management*, 16(4), 439-447. <https://doi.org/10.1080/15715124.2017.1387125>
- Venco, E. M. (2016). La pianificazione preventiva per la riduzione del rischio: definizione di scenari preventivi nel contesto della città flessibile e resiliente.
- Venkatramanan, V., Shah, S., & Prasad, R. (2020). *Global Climate Change and Environmental Policy*. Springer Singapore. ISBN 978-981-13-9569-7; <https://doi.org/10.1007/978-981-13-9570-3>
- Vergano, L., Umgiesser, G., & Nunes, P. A. (2010). An economic assessment of the impacts of the MOSE barriers on Venice port activities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 15(6), 343-349. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2010.04.001>
- World Economic Forum (2021). The Global Risks report 2021. 16th Edition. [[http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_The\\_Global\\_Risks\\_Report\\_2021.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2021.pdf)]
- Xu, Y., Ramanathan, V., & Victor, D. G. (2018). Global warming will happen faster than we think. *Nature* 564, 30-32. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-07586-5>
- Yoder, K. (2019). Climate change: More than Venice. *Guardian (Sydney)*, (1896), 9. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.824328352813693>
- Zanchettin, D., Bruni, S., Raicich, F., Lionello, P., Adloff, F., Androsov, A., Antonioli, F., Artale, V., Carminati, E., Ferrarin, C., Fofonova, V., Nicholls, R. J., Rubineti, S., Rubino, A., Sannino, G., Spada, G., Thiéblemont, R., Tsimplis, M., Umgiesser, G., Vignudelli, S., Wöppelmann, G., and Zerbini, S. (2020). Review article: Sea-level rise in Venice: historic and future trends, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.* <https://doi.org/10.5194/nhess-2020-351>
- Zuccaro, G., & Leone, M. F. (2014). La mitigazione del rischio vulcanico come opportunità per una città ecologica e resiliente/The mitigation of volcanic risk as opportunity for an ecological and resilient city. *Techne*, 7, 101.

## Sitografia

Comune di Venezia: <https://www.comune.venezia.it/>

ISPRA: [https://www.isprambiente.gov.it/pre\\_meteo/idro/Piani\\_gest.html](https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/idro/Piani_gest.html)

Patto dei Sindaci: <https://www.pattodeisindaci.eu/piani-e-azioni/piani-d-azione.html>

Protezione Civile: <https://www.protezionecivile.gov.it/it/>

Strategia Regionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici Regione Lombardia:  
<https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioRedazionale/servizi-e-informazioni/cittadini/Tutela-ambientale/Qualita-dell-aria/adattamento-al-cambiamento-climatico-verso-una-strategia-regionale/adattamento-al-cambiamento-climatico-la-strategia-regionale>

Strategia Regionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici Regione Piemonte:  
<https://www.regione.piemonte.it/web/temi/ambiente-territorio/cambiamento-climatico/strategia-regionale-sul-cambiamento-climatici>

Strategia Regionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici Regione Sardegna:  
<https://portal.sardegناسira.it/strategia-regionale-di-adattamento>

## Capitolo 3

Lo scenario delle città della costa del mediterraneo

### 3.1 La complessità del Mediterraneo: uno sguardo d'insieme

Il Mar Mediterraneo è parte dell'Oceano Atlantico, a cui è collegato tramite lo Stretto di Gibilterra, ampio appena 14 chilometri; ha una superficie totale di 2,5 milioni di km<sup>2</sup>, con uno sviluppo in larghezza di quasi 4.000 chilometri ed è cerniera di tre continenti, Africa, Asia ed Europa. Il suo nome deriva dal latino *mediterraneus*, che significa 'in mezzo alle terre' e per questo motivo le innumerevoli definizioni e rappresentazioni del Mediterraneo sono costruite su stratificazioni storiche e culturali, largamente influenzate dal contesto politico e dalle relazioni, ora conflittuali ora pacifiche, che si stabiliscono tra la riva nord e la riva sud del *continente liquido* (Figura 3-1).

Il Mediterraneo è sinonimo di identità comuni, di incontro di religioni e destini di civiltà, ambiti naturali, diete e cibi, culture e arti, mitologie e caratteri fisico-somatici, *formae urbis* e tipicità climatiche, ma anche drastiche differenze tra ricchezza e povertà, modelli di modernità e diritti di cittadinanza profondamente diversi. Dal punto di vista culturale il Mediterraneo, a differenza di altri mari, possiede da sempre una vocazione, predeterminata e immutabile nel tempo: quella di rappresentare, più che sé stesso, le terre che lo circondano, le culture e le popolazioni che in esse sono nate e si sono sviluppate. Infatti, le prospettive rispetto alla regione del Mediterraneo differiscono significativamente che lo si guardi da Beirut o da Marsiglia, da Tunisi o da Atene, dal Cairo o da Barcellona, da Istanbul o da Napoli.

“Il Mediterraneo è un insieme di vie marittime e terrestri collegate tra loro, e quindi di città che, dalle più modeste alle medie, alle maggiori, si tengono per mano”, scriveva Braudel in *Il Mediterraneo* (1987). In questo quadro politico, economico e culturale molto complesso, le città si configurano come protagoniste delle politiche territoriali e identitarie di comunità. Il futuro, così come il prospero passato, del Mediterraneo è nelle città, simbolo di identità e potenzialità, centri di innovazione e di conoscenza, aree culturali con patrimoni e beni pubblici significativi, città ricche di eterogenee risorse, che richiedono politiche culturali, economiche e di sviluppo nuove, a forte componente di internazionalizzazione e proiettate verso adesioni a



reti globali ad alta specializzazione. Infatti, tutti i paesi che si affacciano sul Mediterraneo sono interessati da intensi processi di urbanizzazione. Oggi numerose sono le città con oltre un milione di abitanti (19 se si considerano solo le città costiere) e per il futuro si prevedono crescite urbane assai vivaci per tutti i paesi della riva meridionale. Nel complesso le coste del bacino mediterraneo appaiono già densamente urbanizzate, anche se con notevoli differenze, a cui è indispensabile dar conto per capire meglio i problemi del presente e quelli futuri (Camarero & Olcina, 2020; Kantartzis, 2020).



Figura 0-1: *Cosmografia di Tolomeo, Gallerie Estensi.*

Allo stesso tempo, studiosi e ricercatori sono d'accordo nell'affermare che non esiste un modello unico di città mediterranea, ma "esistono numerose città europee, arabe, turche e balcaniche che sono anche mediterranee, manifestando caratteri comuni" (Clementi, 2001). Il Mediterraneo è, pertanto, un luogo in cui esistono città che esprimono in ogni loro anfratto l'appartenenza a questa regione, altre nelle quali sopravvivono solo alcuni lembi che vengono sempre più circondati da caratteri

che poco hanno a che vedere con i caratteri mediterranei classicamente intesi, ma che pur sono mediterranee. Ogni centro urbano rappresenta una forza imprescindibile, e la loro unione potrebbe divenire fondamenta di un futuro Mediterraneo, così come auspicato dalle politiche di partenariato euro-mediterraneo. Viene spontaneo identificare come tali le città di costa, ma non è detto che le città interne, anche le più nordiche (Parigi) o quelle oceaniche (Lisbona), grazie proprio alla loro connotazione multi-etnica tendono ad esprimere il lato più mediterraneo di sé stesse.

La ripresa notturna da satellite del Mediterraneo permette di cogliere sinteticamente le forme di urbanizzazione lungo le sue rive, come si vede in Figura 3-2 (Marignani et al., 2017).

In particolare, la riva settentrionale dalla Spagna all'Italia appare densamente popolata, ma secondo tipologie insediative significativamente differenti. Partendo dalla costa occidentale, dall'Andalusia alla regione di Valencia, si osserva un territorio prevalentemente dominato da vuoti, non urbanizzato, anche se si tratta di una regione a vocazione turistica. Gli insediamenti mostrano una configurazione decisamente accentrata, a isole urbane, collegate da una debole rete di piccoli centri litoranei. Tra le città più importanti spiccano Gibilterra, Malaga, Granada, Almeria, Cartagena, Murcia, Alicante e l'area metropolitana di Valencia.

Questa configurazione cambia radicalmente in corrispondenza della foce del fiume Ebro, da Barcellona fino a Firenze: da un'urbanizzazione più diffusa e filamentare si passa ad una conurbazione lineare, segno di organizzazione dello spazio europeo meridionale, che si interseca con la direttrice insediativa del Rodano.

Al suo interno si riconoscono centri più consistenti come l'area metropolitana di Barcellona, Perpignano, Montpellier, Nimes, Aix-en-Provence, Marsiglia, Tolone, Nizza, Genova, La Spezia, Pisa, Livorno.

La caratteristica di questa conurbazione lineare è che non sono le grandi città a dominare lo spazio della costa, quanto una trama insediativa molto concentrata su un esiguo corridoio costiero, fortemente infrastrutturato. Questa struttura tende a perdere di significatività lungo la costa tirrenica: gli insediamenti appaiono rarefarsi,

concentrandosi in unità di piccole dimensioni, a meno delle grandi aree metropolitane di Roma e Napoli che, polarizzando l'intenso sviluppo delle regioni centrali tirreniche portano alla formazione della macroregione urbana più forte dell'arco mediterraneo europeo, con circa 8 milioni di abitanti (quasi il doppio del bipolo Barcellona-Marsiglia).



Figura 0-2: Visione notturna da satellite del bacino mediterraneo (Copernicus Data SIO, 2021).

Aree urbane consistenti si riscontrano anche lungo la costa calabrese e siciliana, con un impianto insediativo più lineare e di taglio non metropolitano. Questa connotazione è ancora più evidente lungo il versante adriatico, da Brindisi fino a Trieste, con poche eccezioni in corrispondenza di ostacoli geo-ambientali come il promontorio garganico e il delta padano.

L'immagine notturna da satellite dell'Italia evidenzia un profondo sdoppiamento delle morfologie urbane tra l'Italia di ponente e di levante, sinonimo di ulteriori differenze di carattere economico e sociale. Del resto, l'Adriatico funge da separatore fisico per gli assetti costieri balcanici, il cui modello di città è intermedio tra la conurbazione lineare e le isole urbane. A differenza del versante italiano,

lungo la costa dei paesi della ex Jugoslavia e l'Albania, la geografia oppone una resistenza insormontabile alla connessione trasversale e longitudinale dei centri urbani. La riva meridionale appare decisamente meno urbanizzata: gli insediamenti assumono una configurazione a *enclaves*, con centri urbani disposti ad intervalli regolari e micro-costellazioni di centri più piccoli. La rilevazione satellitare evidenzia città come Tangeri, Algeri, Melilla, Tunisi, Nablus, Suva, Tripoli, Benghasi. Si tratta di città le cui radici sono da ricercare nella storia dei fenici e dei punici, trasformate dalla colonizzazione romana in avamposti, per divenire poi snodi sul mare delle rotte transahariane all'epoca della civilizzazione islamica. Si osserva una significativa similitudine con la struttura ad isole urbane della costa iberica, probabile conseguenza degli otto secoli di comune dominazione araba. Altra caratteristica della riva sud del Mediterraneo è che l'area insediativa si estende in profondità dalla costa, in particolare in Marocco. Fa eccezione a questa struttura l'area del delta del Nilo, con altissima densità abitativa, ma circondata dal vuoto desertico delle rive del Mar Rosso e della penisola del Sinai. A sottolineare la differenza tra gli assetti urbani dei quadranti del Mar Mediterraneo basta fare riferimento alla popolazione residente in città, il cui valore medio globale è del 54%: solo il 40% della popolazione africana risiede in aree urbanizzate, contro il 75% degli Europei.

Ancora oltre, la configurazione urbana torna ad essere un filamento densamente abitato, caratterizzato dalla continuità di centri di medi e piccole dimensioni (Gaza, Tel Aviv, Haifa, Beirut, Tripoli), e parallelo ad una seconda direttrice nell'entroterra, distante un centinaio di chilometri, che invece collega città come Amman, Damasco, Homs, Hama, Aleppo e Gaziantep.

Infine, le rive della Turchia e della Grecia presentano numerose analogie, soprattutto per l'orografia e per gli accidentati litoranei. Qui la morfologia insediativa torna ad essere a isole urbane, marcatamente rarefatte sulla riva mediterranea, con scarsi collegamenti con l'entroterra, mentre più concentrate sulle rive del Mar Egeo.

Dal 1869 il Mar Mediterraneo è collegato anche al Mar Rosso, e quindi all'Oceano Indiano, grazie al canale di Suez, una delle opere artificiali più importanti e

strategiche mai realizzate dall'uomo, un'arteria marittima di fondamentale rilevanza per i collegamenti tra Asia ed Europa. Inoltre, con l'espandersi dell'economia dei Paesi emergenti (in particolare India e Cina) il Mediterraneo è tornato a occupare una posizione centrale, come un *continuum* capace di unire passato e futuro, in grado di connettere i continenti che lo circondano.

In totale sono ventuno i Paesi che si affacciano sul Mediterraneo; undici si trovano in Europa, da ovest verso est Spagna, Francia, Monaco, Italia, Slovenia, Croazia, Bosnia ed Erzegovina, Montenegro, Albania, Grecia e Malta; i restanti dieci sono equamente suddivisi fra Asia, con Turchia, Siria, Libano, Israele e Cipro, ed Africa, con Egitto, Libia, Tunisia, Algeria e Marocco. Attraverso le sue connessioni con l'Oceano Atlantico e l'Oceano Indiano, il Mar Mediterraneo rappresenta un porto di approdo commerciale, culturale e non solo, per il mondo intero. Eppure, a meno della pacifica parentesi Imperiale romana, il *Mare Nostrum* è da sempre l'alveo di profonde fratture geopolitiche. In questo mare, locale e globale, circolano, in sostanza, diverse umanità che entrano in conflitto, rivendicando aspetti di differenziazione. Piccolo e grande si pongono in competizione, spingendo il locale verso la preservazione e, quindi, la sopravvivenza di valori autoctoni; soggettivo e collettivo si fronteggiano, arrivando, a volte, nel migliore dei casi e in tempi molto lunghi, a mediazioni e mescolamenti, "*come liquidi dai colori diversi posti in vasi comunicanti*" (Di Comite & Girone, 2015).

I mutamenti del mondo occidentale sono globali, appartengono a continenti e Paesi anche di altri emisferi; mentre le ricadute sono locali, si ripercuotono direttamente sui singoli territori, determinandone e condizionandone il destino economico e sociale. Le soluzioni, com'è ovvio, passano necessariamente attraverso considerazioni e compromessi globali e locali e richiedono, di conseguenza, una regia e una visione politica generali, scarsamente pensate e perseguite dai Paesi più influenti. In definitiva, nel Mediterraneo i quattro punti cardinali entrano in contatto, si intersecano e si confrontano nella rappresentazione dei reciproci valori. Quest'area, quindi, produce questioni e conflitti riconducibili a scala planetaria: gli

integralismi religiosi, la distribuzione iniqua delle risorse, la destabilizzazione politica e sociale.

La rilevanza strategica che il Mediterraneo ha assunto nel corso dei decenni nello scacchiere geopolitico delle relazioni internazionali deriva dalla profonda interrelazione tra la sua posizione geografica di centralità e di crocevia di civiltà nonché di confine con il continente europeo con le tematiche connesse alle problematiche della sicurezza, intesa come minaccia alla stabilità politico-territoriale ma anche come sicurezza umana, come snodo dei flussi migratori. Inoltre, il Mediterraneo sta vivendo una profonda trasformazione urbana, legata alla crescita della popolazione, all'aumento del tasso di urbanizzazione e ai profondi cambiamenti sociali ed economici. Tale trasformazione è particolarmente evidente nelle città (Mazzeo & Russo, 2016; Bellis et al., 2021). In un contesto caratterizzato da un elevato grado di frammentazione e conflittualità e da scarse risorse finanziarie, le città del nord e del sud Mediterraneo gestiscono e dovranno continuare a gestire degli obiettivi molto spesso contraddittori. Da un lato si cerca infatti di raggiungere una maggiore integrazione in un'economia globalizzata, dall'altro occorre però rispondere alle esigenze delle comunità locali in un ambiente urbano sostenibile, in linea con gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite.

Studiare i Paesi del Mediterraneo e il loro indubbio ruolo nelle sfide del XXI secolo, tra cui l'adattamento ai cambiamenti climatici, significa conoscere un anello continuo, che oltrepassa le frontiere nazionali, che porta sul mare, nel proliferare dei porti, la sostanza delle popolazioni interne, lavoro e ricchezza; e poi verso le traiettorie delle rotte delle navi che collegano e contaminano, portano e importano, in un fluire incessante e vitale.

In ragione delle caratteristiche sociali, economiche, geo-morfologiche, insediative e politiche è possibile indentificare quattro quadranti:

- il quadrante nord-ovest, dei paesi più ricchi, il cui destino è fortemente intrecciato all'Europa, accomunato dalle prospettive di sviluppo quanto di ristagno demografico;

- il quadrante sud-ovest, maghrebino, la cui crescita economica è fortemente rallentata e dipendente dai paesi del quadrante nord-ovest;
- il quadrante sud-est, più eterogeneo e frammentato, dato il numero di paesi che lo compongono, politicamente ed economicamente fragili, dal momento che sono fortemente condizionati dai rapporti con i paesi petroliferi del Golfo;
- il quadrante nord-est, che accomuna realtà geopolitiche molto diverse, ma che è decisamente orientato ad un modello di sviluppo europeo.

Alla luce di ciò, il Mediterraneo rappresenta una zona sensibile, e non solo dal punto di vista climatico. In questi ultimi anni, il Mediterraneo è stato al centro di violenti conflitti che hanno prodotto, fra l'altro, il rafforzamento dei fondamentalismi religiosi ed etnici e il rallentamento del processo di pace arabo-israeliano. Eppure, il Mediterraneo è stato un laboratorio di intrecci religiosi e culturali fecondi, terra di mediazione capace di suggerire vie di sviluppo civile, politico e, conseguentemente, economico (Altunkasa et al., 2017).

Oggi la visione eurocentrica del Mediterraneo, che suggerisce un territorio arabo-islamico, fondamentalista e intollerante, si oppone a un Mediterraneo europeo, più aperto e tollerante. Tuttavia, anche l'Occidente coltiva i propri fondamentalismi, tra cui l'atteggiamento che pretende di far divenire la propria cultura un linguaggio universale da opporre ai vari folclori esotici, il fondamentalismo del libero mercato, quello di chi considera gli altri Paesi soggetti interlocutori, ma dal potere imperfetto o limitato.

Nonostante le difficoltà e le tensioni, si sono moltiplicate le iniziative politiche promosse dall'Unione Europea, basate su accordi di cooperazione e protocolli finanziari con Paesi del bacino (Marocco, Algeria, Tunisia, Egitto, Autorità Nazionale Palestinese, Israele, Giordania, Libano, Siria, Turchia, più Cipro e Malta, oggi confluiti nell'Unione Europea) con l'obiettivo di riequilibrare gli scambi commerciali, di istituire azioni di cooperazione finanziaria e tecnica, di effettuare il rilancio del patrimonio culturale e delle scienze umane. Queste azioni, riconducibili alla nozione di partenariato globale, hanno avuto un importante punto di riferimento nella Conferenza di Barcellona, che nel novembre 1995 ha riunito i ministri degli Esteri

dei 15 Stati allora membri della Unione Europea e quelli dei 12 Stati mediterranei sopra citati. Durante la Conferenza sono stati affrontati e approfonditi temi quali l'inviolabilità dei confini, il rispetto dell'integrità territoriale, la tolleranza tra culture e religioni e la solidarietà economica. La Conferenza di Barcellona segna la prima grande svolta in termini di politiche per e verso il Mediterraneo, dal momento che per la prima volta si parla apertamente di Partenariato Euro-Mediterraneo, introducendo ufficialmente l'entità geo-politica "Mediterraneo" (Salvator, 2018).

Questa attuale concezione come entità unitaria ha le sue origini attorno al 1989, momento in cui si considera finita la guerra fredda e le realtà politiche Euro-asiatiche timidamente rivendicano il loro diritto all'indipendenza ed all'autonomia dagli Stati Uniti.



Figura 0-3: 25° anniversario dal processo di Barcellona.

Ai concetti di aiuto e cooperazione internazionale si è sostituito quello di partenariato euromediterraneo, globale e non gerarchico, centrato sugli aspetti sociali, culturali, umani e sul libero scambio delle merci. In quest'ottica, il programma MEDA I (acronimo di «MEsures D'Accompagnement» - misure d'accompagnamento finanziarie e tecniche a sostegno della riforma delle strutture economiche e sociali nel quadro del Partenariato euro-mediterraneo) costituisce il principale strumento finanziario dell'Unione Europea per l'attuazione del Partenariato euromediterraneo e ha promosso, a partire dal 1996, una cooperazione



bilaterale con Algeria, Egitto, Giordania, Libano, Marocco, Siria, Tunisia, Turchia e Autorità Nazionale Palestinese, finanziata dalla Banca centrale europea con circa 5 miliardi di euro, con interventi in diversi settori: sviluppo rurale, cultura, questioni ambientali e sociali, cooperazione economica, industriale, energetica e infrastrutturale (Moraci & Fazia, 2014; Nan, 2014).

In tutti i processi attivati si è ribadita la centralità del patrimonio culturale per la definizione e la rappresentazione dell'identità dei Paesi coinvolti. Nonostante le numerose iniziative, tuttavia, il bilancio della Conferenza di Barcellona non è positivo: le due sponde del Mediterraneo, anziché avvicinarsi, si sono ulteriormente allontanate e il commercio tra aree omogenee, sul quale si era investito e sperato, non ha registrato risultati significativi.

Il 13 luglio 2008, a Parigi, il presidente francese Nicolas Sarkozy ha rilanciato i contenuti della Conferenza di Barcellona, presentando l'Unione per il Mediterraneo (Emerson, 2008; Gillespie, 2008; Bicchi, 2011).



Figura 0-4: Paesi membri ed osservatori dell'Unione per il Mediterraneo.

Preceduta da una conferenza tenuta a Tangeri il 23 ottobre 2007 dallo stesso Sarkozy e da un accordo firmato a Roma il 20 dicembre dal presidente francese, da José Luis Rodríguez Zapatero e da Romano Prodi, in seguito approvato dal Consiglio europeo il 13 marzo 2008, l'istituzione dell'Unione per il Mediterraneo registrò l'adesione di 43 Paesi (Figura 3-4): i 27 aderenti all'Unione Europea e altri 16 riconducibili all'area mediterranea (la principale eccezione fu quella della Libia, che espresse fortissime critiche al progetto e preferì costituirsi come membro osservatore). Questo evento storico ha segnato la nascita del Mediterraneo inteso

come istituzione di luogo fisico, inteso non solo come spazio virtuale di scambi e relazioni, inventato dalle civiltà che lo popolano e lo hanno sempre popolato, per sottolineare la centralità attribuitagli da millenni di storia comune, oltre che di forti coesioni.

Mentre il partenariato euromediterraneo continua a occuparsi di questioni politiche quali i diritti umani, la democrazia, il dialogo interculturale, l'Unione per il Mediterraneo punta ad azioni concrete: il disinquinamento del mare; la costruzione di autostrade marittime e terrestri in grado di collegare fra loro tutti i Paesi aderenti; il rafforzamento della protezione civile; la creazione di un piano comune di energie rinnovabili; lo sviluppo di una università euromediterranea (inaugurata nel giugno 2008 a Portorose/Portož in Slovenia); il sostegno alle piccole e medie imprese, in cui i soggetti economici privati avranno un ruolo determinante.



Union for the Mediterranean  
Union pour la Méditerranée  
الإتحاد من أجل المتوسط

*Figura 0-5: Unione per il Mediterraneo (logo).*

Iniziative che intendono coinvolgere direttamente il mondo dell'economia e i rappresentanti delle istituzioni, con finanziamenti affidati prevalentemente alle imprese private e alla Banca del Mediterraneo. Quest'ultima è nata da una sezione della Banca centrale europea per gli investimenti, per dare ossigeno ai progetti principali e gestire i risparmi dei Paesi dell'Unione.

L'Unione per il Mediterraneo intende rivolgersi, con maggiore attenzione, ai governi della sponda meridionale, che hanno da sempre criticato un meccanismo decisionale poco aperto alle loro iniziative e concentrato esclusivamente sull'attuazione degli indirizzi di Bruxelles. Con questa Unione, i Paesi delle due sponde avranno, almeno formalmente, lo stesso potere d'iniziativa e di decisione. Le attività istituzionali prevedono incontri biennali dei primi ministri delle nazioni aderenti e annuali fra i

ministri degli Esteri. Naturalmente non si pensa che questo nuovo organismo possa risolvere i problemi delle relazioni fra i vari Paesi, che hanno mostrato lentezze e difficoltà d'attuazione.

La strada indicata, comunque, sembra essere quella giusta: far condividere, nei Paesi del bacino, l'importanza di una visione comune e partecipata dei problemi dello spazio mediterraneo, in grado di elaborare idee e progetti per un futuro di convivenza civile, economica, sociale e religiosa di tutte le sue popolazioni.

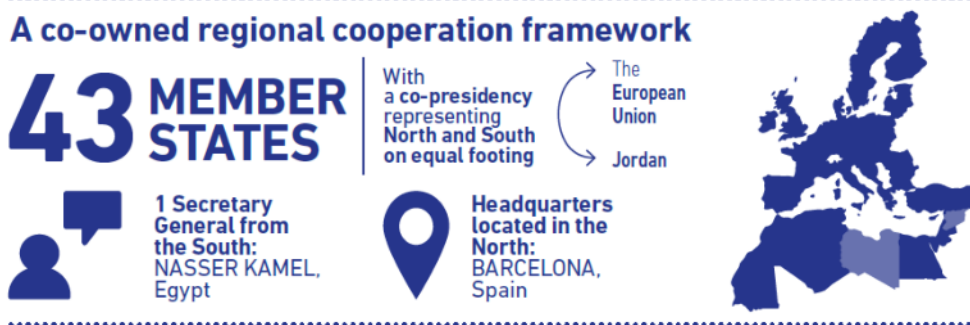


Figura 0-6: Unione per il Mediterraneo ([medblueconomyplatform.org](http://medblueconomyplatform.org)).

Questo primo paragrafo vuole costruire uno sguardo d'insieme, senza alcuna presunzione di esaustività, sulla complessità delle relazioni sociali, economiche, culturali che legano i Paesi del *continente liquido*. Allo stesso tempo, l'obiettivo di questa discussione è individuare e sottolineare le potenziali opportunità per perseguire obiettivi comuni, nonostante le evidenti e significative differenze.

Il prossimo paragrafo presenta un'ulteriore sfida per la regione, che necessiterà il coinvolgimento di policy-makers, stakeholders, cittadini e future generazioni per poter essere adeguatamente affrontata: il cambiamento climatico e i fenomeni che ne conseguono.

### 3.2 I rischi naturali di una zona climatica sensibile

Il bacino del Mediterraneo è una delle regioni più sensibili al surriscaldamento globale, ed è stato definito un "hot-spot" (Giorgi, 2006), sulla base dei risultati degli scenari di proiezione del cambiamento climatico globale. Un recente report

dell'International Panel on Climate Change (IPCC, 2018) evidenzia che l'area Mediterranea è tra le più vulnerabili al mondo, rispetto agli impatti dei fenomeni climatici e meteorologici. Il panorama globale sottolinea la necessità di stimare le possibili conseguenze per questa regione, che sarà sempre più calda e asciutta. Durante il '900, si è osservato che la temperatura dell'aria nel bacino sia significativamente aumentata, di 1,5°-4°C, a seconda della zona (Meyssignac et al., 2011). Nello stesso periodo, e con un'evidente accelerazione dal 1970 ad oggi, le temperature nel sud-ovest dell'Europa (penisola iberica, sud della Francia) sono aumentate di circa 2°C. Lo stesso fenomeno è stato registrato in Nord Africa, anche se più difficile da quantificare data la discontinuità degli ambienti naturali e antropizzati della zona. Un elemento chiave per il clima della regione mediterranea è la presenza del mare, che rappresenta un'importante risorsa di energia e umidità per l'atmosfera, anche se le anomalie registrate della temperatura della superficie marina (Sea Surface Temperature – SST) governano, almeno parzialmente, la temperatura dell'aria e i fenomeni di precipitazioni per le aree circostanti (Balaban & Şenol Balaban, 2015; Satta et al., 2017; Pérez-Andreu et al., 2018).

La consapevolezza degli impatti di tali fenomeni sulle città del Mediterraneo ha interessato anche le politiche di euro-partenariato tanto da definire nuove priorità per i prossimi decenni, con l'obiettivo di rafforzare la cooperazione interregionale e internazionale. Tra le principali priorità di cooperazione figurano: azioni per mitigare il surriscaldamento globale e adattare la regione ai fenomeni che ne conseguono, lo sviluppo di economie sostenibili, trasformazione digitale e protezione civile degli insediamenti abitati (Kaniewski et al., 2020; Ribas et al., 2020).

Nel concreto, l'Unione per il Mediterraneo ha supportato il Mediterranean Experts on Climate and Environmental Change (MedECC) e la redazione del primo report esteso ad un'intera regione del mondo (2019), per conoscere gli impatti connessi al cambiamento climatico nel bacino del Mediterraneo. Allo stesso tempo, sta lavorando per fornire ai *policy-makers* strumenti per prendere decisioni basandosi su robuste e affidabili conoscenze scientifiche, riducendo il divario esistente tra il Nord e il Sud dell'area, coinvolgendo *business operators* e giovani generazioni nel

dialogo. La regione si trova in quella che è definita una zona di transizione tra il regime meteo-climatico subtropicale e di media-latitudine. I territori che si affacciano sul bacino sono caratterizzati da una complessa ed eterogenea orografia, oltre che da densi ed estesi centri abitati. Il Mediterraneo è un mare poco profondo, quindi le sue acque si riscaldano a tassi superiori rispetto a quelli degli oceani (WWF, 2019): negli ultimi anni, infatti, la temperatura delle acque superficiali è aumentata anche di 1,4°C (al 2018), rispetto alle temperature registrate alle fine del secolo scorso, raggiungendo in estate anche i 30°C, mentre quella delle acque profonde di 0,2°C. La Figura 3-7 mostra in blu l'andamento delle temperature per il bacino del Mediterraneo, rispetto all'andamento globale delle temperature, in verde, tra il 1880 e il 2018 (Camarasa-Belmonte et al., 2020; Tuel & Eltahir, 2020).

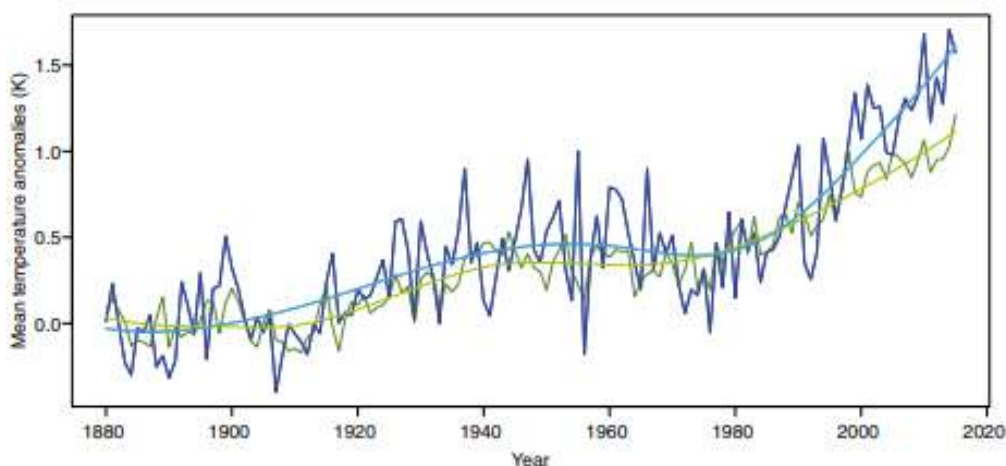


Figura 0-7: Andamento dell'innalzamento delle temperature per le acque del Mediterraneo (blu) e per l'intero pianeta (verde).

Tra le conseguenze del surriscaldamento dell'intera regione mediterranea, sono state registrate ondate di calore molto più frequenti ed intense, così come periodi di siccità più duraturi. Altro effetto, non trascurabile per le città costiere e per l'economia blu della regione è il sensibile innalzamento del livello del mare. Negli ultimi due decenni, è stato registrato un innalzamento di 3 cm ogni dieci anni. Non si tratta di un *outlier* rispetto al trend globale ma esperti del clima affermano che è un fenomeno dovuto soprattutto all'Oscillazione Nord Atlantica (North Atlantic

Oscillation – NAO), quindi alla variabilità atmosferica tra l'Andorra e l'Islanda, responsabile dei fenomeni climatici per un'area molto estesa dell'emisfero boreale. Si tratta di un innalzamento comunque notevole, se paragonato agli incrementi dei periodi 1945-2000 e 1970-2006, in cui sono stati registrati rispettivamente innalzamenti di 0,7 mm e 1,1 mm all'anno. Inoltre, il mar Mediterraneo soffrirà, a causa di una maggiore concentrazione di CO<sub>2</sub> in atmosfera, di una notevole acidificazione: si prevede che il pH delle acque diminuirà da 0,018 a 0,028 unità ogni dieci anni (Giorgi & Lionello, 2008; Lionello & Scarascia, 2018; Pisano et al., 2020; Rodríguez-Rodríguez et al., 2020; Tuel & Eltahir, 2020; Brownlee et al., 2021). Ricercatori e scienziati prevedono che questi cambiamenti comporteranno sempre più intense ondate di calore, così come il susseguirsi più frequente di *hot days*, caratterizzati da temperature superiori alla media stagionale (Gaaloul, 2020; Diodato et al., 2020; Ogaya & Peñuelas, 2021). In particolare, periodi di ritorno delle ondate di calore nella regione orientale del Mediterraneo potrebbero diminuire da due anni a meno di un anno. Inoltre, si prevede una riduzione delle precipitazioni di circa 10-15% per il sud della Francia, per la Spagna nord-occidentale e per i Balcani, e fino al 30% per Turchia e Portogallo. Gli scenari sono notevolmente più drammatici se l'incremento di temperatura dovesse essere compreso tra 2°C e 4°C: al 2080 l'intera Europa meridionale soffrirà del diffuso decremento di precipitazioni, fino al 30% (specialmente in primavera e nei mesi estivi), e addirittura l'assenza di ghiaccio sui Balcani (Grillakis et al., 2020; Soto-Navarro et al., 2020; Paltsev et al., 2021). Si stima che l'incremento globale di temperature di 1°C comporti un decremento di circa 4% di piogge per gran parte della regione Mediterranea, specialmente per quella meridionale. Allo stesso tempo, si prevede un considerevole incremento delle precipitazioni, fino a 10-20%, per tutte le stagioni, a meno di quella estiva. Diversi modelli e scenari sono stati elaborati per le acque dell'intero pianeta, ma i risultati possono essere molto differenti, dato l'ingente numero di variabili in gioco e la complessità delle loro interrelazioni. I trend globali stimati dall'IPCC (*Fifth Assessment Report – AR5*) prevedono che l'innalzamento del livello del mare sia tra 52 e 98 cm, rispetto al livello medio attuale (IPCC, 2014; Robertson,

2021). Un modello semi-epirico sviluppato da Vermeer e Rahmstorf (2009) prevede, invece, un innalzamento del livello del mare tra 75 e 190 cm.

Per il Mediterraneo, i contributi del trasporto di acqua attraverso lo stretto di Gibilterra, dei cambiamenti regionali dei deflussi fluviali, dei significativi spostamenti di terra nella parte orientale del bacino, così come del potenziale incremento di salinità possono tutti influenzare l'innalzamento del livello del mare, in diversa percentuale. Le previsioni sul lungo periodo sono quindi molto imprecise e poco affidabili. In ogni caso, anche la limitazione del riscaldamento globale al di sotto dei 2°C comporterà notevoli differenze dell'altezza della superficie del mare, fino a 10 cm: le coste dell'Italia meridionale potrebbero essere in grande parte inondate entro il 2100; le linee delle coste bagnate dal Mar Mediterraneo, più in generale, potrebbero subire sostanziali modifiche (Al Sayah et al., 2021).

Dal quadro qui delineato emerge che anche se si riuscisse a limitare l'innalzamento di temperature al di sotto dei 2°C, come stabilito dall'Accordo di Parigi, la regione del Mediterraneo risentirà comunque dei drammatici effetti di questo fenomeno. Gli impatti alle infrastrutture e alle economie delle città che da secoli vivono delle risorse che il mare offre potrebbero essere ulteriormente compromesse, se si pensa che questi cambiamenti investiranno i territori del bacino insieme ad altri fenomeni ambientali, non trascurabili.

È necessario considerare che la popolazione delle nazioni del Medio-Oriente e Nord Africa è quadruplicata tra il 1960 e il 2015. Per lo stesso periodo il grado di urbanizzazione è cresciuto dal 35% al 65% (Myers, 2021; You et al., 2021). L'implementazione di nuove tecniche di irrigazione ha permesso l'intensificazione dell'attività agricola ma la gestione del consumo di suolo potrebbe ulteriormente cambiare, comportando conseguenze soprattutto per le risorse idriche.

Inoltre, l'inquinamento dell'aria e delle acque, a meno di locali miglioramenti nel trattare acque reflue, sono aumentati come conseguenza di una crescente urbanizzazione, dei trasporti privati e altri fattori. Anche i conflitti politici hanno inevitabili e drammatici impatti sull'ambiente, così come i continui flussi migratori,

che affliggono economie già povere, depauperando la loro capacità di adattamento ai cambiamenti climatici.

La combinazione dei rischi naturali e antropici, individuati in questo paragrafo, rappresenta la principale sfida dei sistemi urbani che vivono sul Mar Mediterraneo per i prossimi decenni. Alcune ricerche, tra cui quella di Cramer et al. (2018), affermano che gli impatti del cambiamento climatico sul bacino Mediterraneo non solo sono accentuati, rispetto alle tendenze globali, come dimostrato pocanzi, ma sono stati fortemente sottostimati. Ogni singolo problema è stato infatti esaminato in modo indipendente, ma la verità è che sono strettamente interconnessi e che, soprattutto, interagiscono con problemi sociali ed economici che amplificano ulteriormente il loro impatto.



## Riferimenti bibliografici

- Al Sayah, M. J., Abdallah, C., Khouri, M., Nedjai, R., & Darwich, T. (2021). A framework for climate change assessment in Mediterranean data-sparse watersheds using remote sensing and ARIMA modeling. *Theoretical and Applied Climatology*, 143(1), 639-658. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03442-7>
- Altunkasa, M., Berberoğlu, S., Uslu, C., & Duymuş, H. (2017). The Effectiveness of Urban Green Spaces and Socio-Cultural Facilities. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 10(1), 41-56. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/4087>
- Balaban, O., & Şenol Balaban, M. (2015). Adaptation to Climate Change: Barriers in the Turkish Local Context. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 7-22. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/3650>
- Bellis, G., Carella, M., Léger, J. F., & Parant, A. (2021). La popolazione del Mediterraneo all'orizzonte del 2050: le previsioni sollevano molti interrogativi. *Neodemos*.
- Bicchi, F. (2011). The Union for the Mediterranean, or the changing context of Euro-Mediterranean relations. *Mediterranean politics*, 16(01), 3-19. <https://doi.org/10.1080/13629395.2011.547365>
- Braudel, F. (2011). *Memory and the Mediterranean*. Vintage Editore, Firenze, Italia. ISBN 9780375703997
- Brownlee, T., Camaioni, C., & Pellegrino, P. (2021). *Emergenza clima e qualità della vita nelle città*. Franco Angeli, Milano.
- Camarasa-Belmonte, A. M., Rubio, M., & Salas, J. (2020). Rainfall events and climate change in Mediterranean environments: an alarming shift from resource to risk in Eastern Spain. *Natural Hazards*, 103, 423-445. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03994-x>
- Camarero, C., Olcina, J. (2020). The Mediterranean, a hazard-region. *Climate Change, vulnerability, resilience*. In: Gómez Cantero, Jonathan, et al. (Eds.). *The climate crisis in Mediterranean Europe: cross-border and multidisciplinary issues on climate change*. Lago (CS), Italy: Il Sileno Edizioni. *Geographies of the Anthropocene*. ISBN 979-12-80064-00-4, pp. 8-25
- Clementi, A. (2001). *Città Mediterranee*, in AA.VV, *Le città del Mediterraneo-Atti del Forum Internazionale Reggio Calabria 1998*, Reggio Cal., Jason Editrice.
- Di Comite, L., & Girone, S. (2015). Migrazioni e globalizzazione: il caso del Mediterraneo. *Migrazioni e globalizzazione: il caso del Mediterraneo. Politico: rivista italiana di scienze politiche*, LXXX, 2/3, 172-193. <https://doi.org/10.1400/243224>
- Diodato, N., Ljungqvist, F. C., & Bellocchi, G. (2020). Fingerprint of climate change in precipitation aggressiveness across the central Mediterranean (Italian) area. *Scientific Reports*, 10(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78857-3>
- Emerson, M. (2008). Making sense of Sarkozy's Union for the Mediterranean. *CEPS Policy brief*, (155). [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1334057](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1334057)
- Gaaloul, N., Eslamian, S. A. E. I. D., & Katlance, R. (2020). Impacts of climate change and water resources management in the southern mediterranean countries. *Water Productivity Journal*, 1(1), 51-72.

- Gillespie, R. (2008). A 'Union for the Mediterranean'... or for the EU? Profile. *Mediterranean politics*, 13(2), 277-286. <https://doi.org/10.1080/13629390802127679>
- Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical research letters*, 33(8). <https://doi.org/10.1029/2006GL025734>
- Giorgi, F., & Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and planetary change*, 63(2-3), 90-104. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>
- Grillakis, M. G., Polykretis, C., & Alexakis, D. D. (2020). Past and projected climate change impacts on rainfall erosivity: Advancing our knowledge for the eastern Mediterranean island of Crete. *Catena*, 193, 104625. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104625>
- Guiot, J., Marini, K., & Cramer, W. (2019). Mediterranean forests and the risks linked to climate change: MedECC's contribution. *Numéro international International issue*, 219.
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014. Synthesis Report*. [<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>]
- IPCC, 2018. *Special Report: Global Warming of 1,5° C*. [<https://www.ipcc.ch/sr15/>]
- Kaniewski, D., Marriner, N., Cheddadi, R., Fischer, P. M., Otto, T., Luce, F., & Van Campo, E. (2020). Climate change and social unrest: A 6,000-year chronicle from the eastern Mediterranean. *Geophysical Research Letters*, 47(7), e2020GL087496. <https://doi.org/10.1029/2020GL087496>
- Kantartzis, A. (2020). *Alternative Sustainable Green Infrastructure Planning: Re-organizing Urban Waterfront Resilient Mediterranean Land-scapes Via an Innovative 'Greenways-Green Walls-Green Roofs' Integrated System. The Case of Igoumenitsa, Greece*. Repository ISTITUZIONALE, 169.
- Lionello, P., & Scarascia, L. (2018). The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. *Regional Environmental Change*, 18(5), 1481-1493. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1290-1>
- Marignani, M., Chiarucci, A., Sadori, L., & Mercuri, A. M. (2017). Natural and human impact in Mediterranean landscapes: An intriguing puzzle or only a question of time?. *Plant Biosystems- An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 151(5), 900-905. <https://doi.org/10.1080/11263504.2016.1244121>
- Mazzeo, G., & Russo, L. (2016). Aspects of Land Take in the Metropolitan Area of Naples. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 9(1), 89-107. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/3727>
- MedECC Network Science-policy interface (2019). *Risks associated to climate and environmental changes in the Mediterranean region. A preliminary assessment*. Sweden. Available at [https://www.medecc.org/wp-content/uploads/2018/12/MedECC-Booklet\\_EN\\_WEB.pdf](https://www.medecc.org/wp-content/uploads/2018/12/MedECC-Booklet_EN_WEB.pdf)
- Meyssignac, B., Calafat, F. M., Somot, S., Rupolo, V., Stocchi, P., Llovel, W., & Cazenave, A. (2011). Two-dimensional reconstruction of the Mediterranean sea level over 1970–2006 from tide gage data and regional ocean circulation model outputs. *Global and Planetary Change*, 77(1-2), 49-61. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.03.002>
- Moraci, F., & Fazia, C. (2013). The Smart Cities and the Challenges of Sustainability. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 6(1), 35-45. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/1459>
- Myers, G. (2021). *Urbanisation in the Global South. Urban ecology in the Global South*. Springer, Cham, 27-49. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-67650-6\\_](https://doi.org/10.1007/978-3-030-67650-6_)

- Nan, E. (2014). Smart Mediterranean Logics. Old - New Dimensions and Transformations of Territories and Cities-Ports in Mediterranean. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/2472>
- Paltsev, S., Sokolov, A., Gao, X., & Haigh, M. (2021). Meeting the goals of the Paris agreement: temperature implications of the Shell Sky scenario. In *World Scientific Encyclopedia of Climate Change: Case Studies of Climate Risk, Action, and Opportunity Volume 1*, 333-339. [https://doi.org/10.1142/9789811213946\\_0039](https://doi.org/10.1142/9789811213946_0039)
- Pérez-Andreu, V., Aparicio-Fernandez, C., Martínez-Ibernón, A., & Vivancos, J. L. (2018). Impact of climate change on heating and cooling energy demand in a residential building in a Mediterranean climate. *Energy*, 165, 63-74. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.015>
- Pisano, A., Marullo, S., Artale, V., Falcini, F., Yang, C., Leonelli, F. E., Santoleri, R. & Buongiorno Nardelli, B., 2020. New Evidence of Mediterranean Climate Change and Variability from Sea Surface Temperature Observations. *Remote Sensing*, 12, no. 1: 132. <https://doi.org/10.3390/rs12010132>
- Ogaya, R., & Peñuelas, J. (2021). Climate change effects in a Mediterranean forest following 21 consecutive years of experimental drought. *Forests*, 12(3), 306. <https://doi.org/10.3390/f12030306>
- Ribas, A., Olcina, J. and Sauri, D. (2020). More exposed but also more vulnerable? Climate change, high intensity precipitation events and flooding in Mediterranean Spain. *Disaster Prevention and Management*, Vol. 29 No. 3, pp. 229-248. <https://doi.org/10.1108/DPM-05-2019-0149>
- Robertson, S. (2021). Transparency, trust, and integrated assessment models: An ethical consideration for the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 12(1), e679. <https://doi.org/10.1002/wcc.679>
- Rodríguez-Rodríguez, E. J., Beltrán, J. F., El Mouden, E. H., Slimani, T., Márquez, R., & Donaire-Barroso, D. (2020). Climate change challenges IUCN conservation priorities: A test with western Mediterranean amphibians. *SN Applied Sciences*, 2(2), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2002-2>
- Salvator, D. (2018). Mediterranean challenge: Inclusive growth and sustainable development. *New Medit: Mediterranean Journal of Economics, Agriculture and Environment= Revue Méditerranéenne d'Economie Agriculture et Environment*, 17(3). <https://doi.org/10.30682/nm1803a>
- Satta, A., Puddu, M., Venturini, S., & Giupponi, C. (2017). Assessment of coastal risks to climate change related impacts at the regional scale: The case of the Mediterranean region. *International journal of disaster risk reduction*, 24, 284-296. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.06.018>
- Soto-Navarro, J., Jordá, G., Amores, A., Cabos, W., Somot, S., Sevault, F., Macías, D., Djurdjevic, V. & Sein, D. (2020). Evolution of Mediterranean Sea water properties under climate change scenarios in the Med-CORDEX ensemble. *Climate Dynamics*, 54(3), 2135-2165. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-05105-4>
- Tuel, A., & Eltahir, E. A. B. (2020). Why is the Mediterranean a climate change hot spot?. *Journal of Climate*, 33(14), 5829-5843. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0910.1>
- Vermeer, M., & Rahmstorf, S. (2009). Global sea level linked to global temperature. *Proceedings of the national academy of sciences*, 106(51), 21527-21532. <https://doi.org/10.1073/pnas.0907765106>

You, D., Beise, J., Lee, S., Requejo, J., & Strong, K. (2021). Demographic challenges and opportunities for child health programming in Africa and Asia. *BMJ* 2021;372:n19. <https://doi.org/10.1136/bmj.n19>

WWF, 2019. La crisi climatica nel Mediterraneo: alcuni dati. [[https://d24qi7hskwe9l.cloudfront.net/downloads/dossier\\_la\\_crisi\\_climatica\\_nel\\_mediterraneo\\_aspettando\\_lo\\_special\\_report\\_ipcc\\_su\\_oceani\\_.pdf](https://d24qi7hskwe9l.cloudfront.net/downloads/dossier_la_crisi_climatica_nel_mediterraneo_aspettando_lo_special_report_ipcc_su_oceani_.pdf)]

## Sitografia

Programma MEDA I (MEsures D'Accompagnement): <http://www.euromedi.org/home/partenaire/meda/index.asp>

Mediterranean Experts on Climate and environmental Change: <https://www.medecc.org/>

Med Sea: <http://www.medseafoundation.org/index.php/it/>

NASA WorldView: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>

Operational Data Support: <https://data2.unhcr.org/en/situations/mediterranean>

Union for the Mediterranean. <https://ufmsecretariat.org/>

## Capitolo 4

Ondate di calore e hot days

## 4.1 I serbatoi di calore del pianeta

Il riscaldamento dei mari è un indicatore fondamentale per la conoscenza dello stato presente e passato dell'intero sistema climatico aria-acqua-terra e consente di fare previsioni con un certo grado di affidabilità sui cambiamenti a venire del pianeta, dal momento che gli oceani registrano e raccolgono tendenze decennali e addirittura secolari (Abraham et al., 2013; Cheng et al., 2019).

Come discusso nei capitoli precedenti, evidenze scientifiche dimostrano che la produzione di gas serra dovuta alle attività dell'uomo abbia contribuito in larga misura ad intrappolare calore in atmosfera, interferendo i normali flussi energetici tra terra, oceano e aria (Zika et al., 2021). In particolare, si ritiene che oltre il 90% di questo calore in eccesso venga assorbito dagli oceani, portando ad un aumento della quantità di calore dei mari (*Ocean Heat Content* - OHC) oltre che all'innalzamento del loro livello medio, principalmente attraverso l'espansione termica e lo scioglimento dei ghiacci (Meyssignac et al., 2019). Questi processi forniscono uno strumento utile per quantificare e prevedere futuri cambiamenti climatici.

Il capitolo approfondisce uno degli eventi attesi come probabile conseguenza del surriscaldamento dei mari e i suoi impatti sugli ambienti urbani: l'aumento, in intensità e frequenza, di ondate di calore estremo.

Un lavoro di ricerca, pubblicato all'inizio del 2021 ed elaborato da tredici Istituti di Ricerca internazionali, tra cui gli italiani ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) e INGV (Istituto Nazionale di Geologia e Vulcanologia), ha fornito una prima analisi della quantità di calore intrappolato nei mari (e non delle temperature registrate in superficie), fino ad una profondità di 2000 m, includendo le misurazioni del 2020 raccolte dal *World Ocean Database* (Cheng et al., 2021).

I risultati dello studio hanno dimostrato che gli oceani stanno vivendo un caldo da record e che il Mediterraneo ha il tasso più alto di riscaldamento a livello globale. Sul lungo termine i ricercatori hanno evidenziato che ciascuno degli ultimi nove decenni è stato più caldo del decennio precedente. La scoperta, inoltre, racconta

che nel 2020, rispetto al 2019, gli oceani hanno assorbito una quantità di calore pari a  $20 \times 10^{21}$  Joule, l'equivalente del calore prodotto da 630 miliardi di asciugacapelli costantemente in funzione giorno e notte per un anno. Le temperature dei mari sono le più alte mai registrate fin da quando è possibile avere una stima a livello globale (Brownlee et al., 2021).

La vita di un numero sempre maggiore di persone viene messa in serio pericolo: un Pianeta e oceani più caldi comportano il susseguirsi sempre più frequente di eventi calamitosi, in molti casi drammatici come incendi di vastissime dimensioni, come quelli scoppiati in Australia, in Amazzonia o in California. Ma gli impatti possono essere anche sul versante opposto: perché oceani più caldi portano a un riscaldamento maggiore dell'atmosfera che a sua volta provoca piogge più intense, un numero maggiore di tempeste e uragani, e di maggiore intensità, ma anche ondate di calore e l'aumento di *hot days*, oggetto di questo capitolo (Benthuysen et al., 2020; Ebi & Hess, 2020; Golubeva et al., 2021).

Il Mediterraneo non è escluso da questi trend, anzi: quanto esposto nel rapporto sullo stato dell'oceano del Servizio marino europeo Copernicus del 2016 e del 2018 trova conferma nelle osservazioni di oggi, affermando un processo iniziato una trentina di anni fa ma con un incremento più elevato rispetto alle altre aree oceaniche. La ricerca conferma, pertanto, che il Mediterraneo è un *hot-spot* e che gli effetti dovuti al cambiamento climatico possono essere più importanti per la sua conformazione e per la circolazione delle correnti (Pausas & Millàn, 2019).

Un'ondata di calore è definita dalla *World Meteorological Organization*, come un evento climatico estremo, che si verifica quando si registrano temperature molto elevate per più giorni consecutivi, spesso associati a tassi elevati di umidità, forte irraggiamento solare e assenza di ventilazione; tali condizioni rappresentano un rischio per la salute della popolazione. Un'ondata di calore è definita in relazione alle condizioni climatiche di una specifica città e non è quindi possibile individuare una temperatura-soglia di rischio valida a tutte le latitudini. Dalla letteratura di settore, un *heat wave* si definisce come un periodo di tempo in cui, per almeno sei giorni consecutivi, la temperatura supera il 90° percentile delle temperature

massime giornaliere, o se supera, anche solo per tre giorni consecutivi, il 98° percentile. La letteratura scientifica raccoglie diverse definizioni del fenomeno, con leggere differenze in termini di soglie di temperatura e numero di giorni consecutivi in cui sono registrate (Mueller & Seneviratne, 2012; Shiogama et al., 2021). Secondo una prospettiva meteorologica, un'ondata di calore si verifica quando un sistema di alta pressione permane in uno stesso luogo per un tempo prolungato, facendo avvertire aria calda e secca nella regione colpita. Questa situazione si aggrava in quelle regioni caratterizzate da suoli asciutti o a bassa umidità, a causa della probabile amplificazione della temperatura massima percepita. Ad oggi, le ondate di calore stanno divenendo sempre più frequenti ed intense per l'intero pianeta. Analisi climatiche, condotte rispetto ai possibili scenari di mitigazione di emissioni di CO<sub>2</sub> dell'IPCC, dimostrano che nel bacino del Mediterraneo quanto più grave sarà lo scenario di emissioni, tanto più intense e durature saranno le proiezioni delle ondate di calore, soprattutto nella stagione estiva (Figura 4-1).

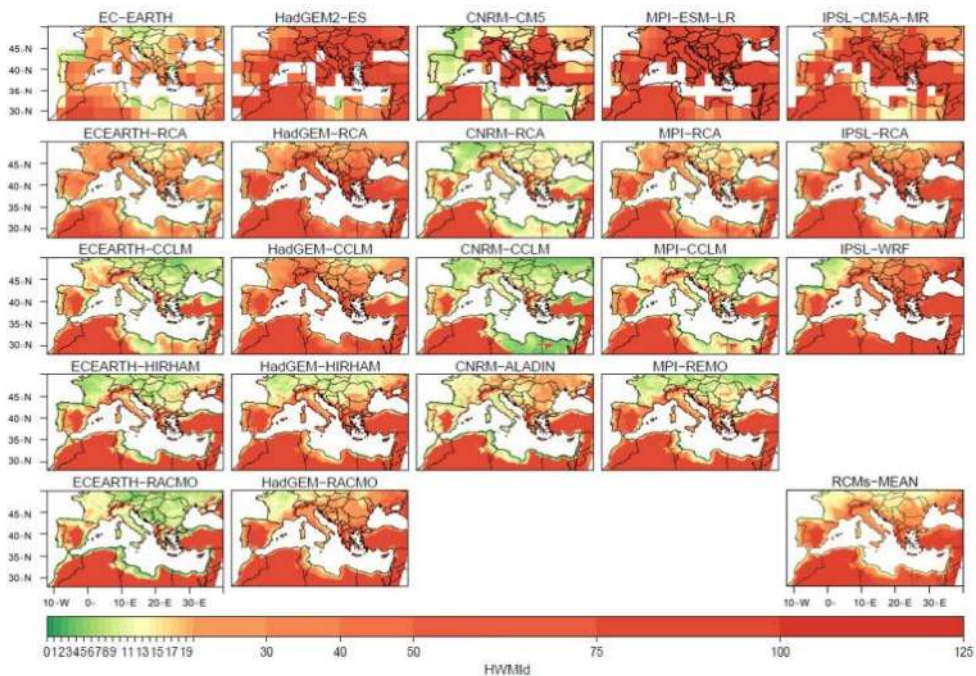


Figura 4-1: Evoluzione dell'indice di Magnitudine delle Ondate di Calore (HWMi) rispetto agli scenari previsti per 2071-2100 secondo l'IPCC.



Infatti, negli ultimi cinquant'anni, la probabilità del verificarsi di eventi di caldo estremo è già aumentata di un ordine di grandezza in ogni regione del mondo, con il presentarsi di eventi fino a cento volte più frequenti rispetto ad un secolo fa. Il bacino del Mediterraneo presenta complesse caratteristiche orografiche e significative eterogeneità tra le città che popolano le sue coste (Gronlund et al., 2014; Teskey et al., 2015; Ward et al., 2016). Pertanto, il fenomeno delle *heat waves* colpirà in modo eterogeneo i Paesi che si affacciano sul mar Mediterraneo. In particolare, alcuni studi dimostrano che il massimo incremento sarà registrato per il quadrante sud-orientale, probabilmente per effetto della regione Sahariana inclusa del dominio di controllo dei modelli previsionali. La Francia invece è la regione con meno previsioni di aumento delle ondate di calore per la fine del XXI secolo (Ouzeau et al., 2016). Uno studio epidemiologico realizzato su 21 città italiane ha evidenziato l'incremento percentuale della mortalità giornaliera associata alle ondate di calore con 23.880 morti tra il 2005 e il 2016, e mettono in evidenza impatti più rilevanti nella popolazione anziana e una riduzione negli ultimi anni attribuibile agli interventi di allerta attivati (Pogačar, 2018). Secondo una ricerca del progetto *Copernicus European Health* (Gidhagen et al., 2020) su 9 città europee, nel periodo 2021-2050 vi sarà un incremento medio dei giorni di ondate di calore tra il 370% e il 400%, con un ulteriore aumento nel periodo 2050-2080 fino al 1100%. Questo porterà, ad esempio, a Roma da 2 a 28 giorni di ondate di calore in media all'anno. La conseguenza sul numero di decessi legati alle ondate di calore sarà molto rilevante: da una media di 18 si passerebbe a 47-85 al 2050 e a 135-388 al 2080.

In sintesi, i risultati dimostrano che entro il 2100 le eccezionali ondate di calore registrate durante i primi due decenni del secolo, tanto per intensità, che per durata e frequenza, potrebbero divenire ordinarie per la fine del secolo. Pertanto, una migliore conoscenza degli impatti delle ondate di calore sulle città del Mediterraneo sarà un aspetto cruciale per la definizione di necessarie strategie di adattamento, rispetto alle attuali condizioni antropiche e climatiche della regione (Stoecklin-Marois et al., 2013). Allo stesso tempo, le incertezze e i limiti dei modelli climatici

regionali utilizzati per le previsioni climatiche di lungo periodo devono essere prese in considerazione (Åström et al., 2015). Il paragrafo che segue è dedicato all'approfondimento di fenomeni e caratteristiche che influenzano la vulnerabilità delle città della costa mediterranea e ne condizionano l'esposizione ad ondate di calore estremo e all'aumento di *hot days*.

## **4.2 L'hot-spot del Mar Mediterraneo e delle sue città**

Tra tutte le calamità naturali, il verificarsi di temperature estreme rappresenta la principale causa di mortalità connessa al cambiamento climatico nelle aree urbane. L'assetto compatto delle città, la dipendenza ai sistemi infrastrutturali così come l'elevata concentrazione di popolazione e attività economiche, rendono le città particolarmente vulnerabili ai rischi connessi al verificarsi di ondate di calore estremo (Zittis et al., 2016). Considerando le proiezioni del fenomeno *heat wave* sintetizzate nel paragrafo precedente, le città del bacino del Mediterraneo dovranno affrontare nei prossimi anni il susseguirsi di sempre più frequenti e intense ondate di calore. Allo stesso tempo, nel panorama globale, le città sono luoghi *hot-spot*, perché caratterizzate da temperature in genere superiori rispetto alle aree circostanti, a causa di specifiche caratteristiche urbane, dei loro limitati spazi verdi, della produzione di GHG dalle proprie infrastrutture, etc. (Giorgi & Lionello, 2008; Garcia-Nevado et al., 2021). Il Bacino del Mediterraneo è sottoposto ad un significativo incremento delle temperature, con estati più calde e più durature, ondate di calore più frequenti, lunghe ed intense e, contestualmente, una riduzione degli eventi piovosi. Pertanto, così come la pericolosità di tali fenomeni sta aumentando esponenzialmente, per maggiore intensità e frequenza, così la vulnerabilità della popolazione mediterranea agli eventi climatici estremi sta crescendo considerevolmente, esacerbata dalle discrasie socioeconomiche tra la riva meridionale e settentrionale e tra le nazioni che le compongono, misurate in termini di tassi di crescita della popolazione e di migrazione, di richiesta di acqua potabile e dei rischi connessi all'innescarsi di incendi boschivi.

Se rispetto alla pericolosità e all'esposizione delle ondate di calore non si registrano forti differenze tra le città della costa mediterranea, l'andamento demografico, le differenze di genere, la localizzazione geografica, lo status socioeconomico, il tasso di occupazione, la qualità delle infrastrutture sanitarie e delle condizioni abitative in ambiente urbano sono tra le caratteristiche che contribuiscono a differenziare la vulnerabilità della popolazione, anche all'interno dello stesso contesto urbano, rispetto agli effetti dei cambiamenti climatici.

Con uno sguardo più attento alle città e alla loro struttura fisica, funzionale ed antropica, diviene evidente che le città non sono uguali in tutte le loro parti, e che invece tante risultano particolarmente vulnerabili al calore, sia per caratteristiche strutturali che socioeconomiche. Un'approfondita analisi della letteratura scientifica di settore, condotta dalla Fondazione CMCC (Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici) e dall'Università Ca' Foscari di Venezia (Bagli et al., 2021), ha dimostrato che il caldo non uccide allo stesso modo in ogni angolo della Terra, né in ogni quartiere della stessa città.

La popolazione anziana è particolarmente a rischio agli impatti negativi del cambiamento climatico, a causa di una ridotta mobilità e più vulnerabili condizioni di salute, che determinano una limitata accessibilità alle risorse del territorio e ai servizi urbani. Queste condizioni limitano inevitabilmente la capacità adattiva della popolazione anziana. Più in dettaglio, rispetto ad eventi climatici *heat-related*, per esempio ondate di calore, gruppi di popolazione anziana sono particolarmente a rischio a causa di meccanismi termoregolatori disfunzionali, disidratazione cronica e l'utilizzo quotidiano di farmaci (Zampieri et al., 2009; Hochman et al., 2021). Infatti, persone con preesistenti problematiche di salute, come malattie cardiovascolari o polmonari, o con malattie croniche, come il diabete, obese o con deficit cognitivi, sono le persone più vulnerabili.

Oltre alle differenze di natura collettiva, come condizione fisica e stato di acclimatazione al calore, alcuni fattori sociali, come eterogeneità riscontrate nel far fronte all'isolamento sociale, che tendono ad essere più grandi tra gli uomini che tra le donne, potrebbero rappresentare ulteriori fattori di rischio durante ondate di

calore. La letteratura scientifica riconosce alcuni fattori di natura psico-fisica a governare queste differenze, come la tendenza delle donne a sudare meno o un meccanismo naturale di termoregolazione che potrebbero spiegare il più grande impatto del calore sulle donne, rispetto che sugli uomini.

Molti studi dimostrano che si può osservare una significativa variabilità degli effetti del cambiamento climatico, in termini di mortalità e morbilità, rispetto alla localizzazione geografica e alla sensibilità della popolazione ai valori estremi, tanto di caldo che di freddo, al livello di urbanizzazione delle città colpite, e alla distanza dei centri abitati dalle infrastrutture sanitarie. A tal proposito si è dimostrato che la popolazione che risiede in aree rurali è più ad alto rischio per la trasmissione di malattie connesse al cambiamento climatico attraverso vettori (come gli insetti, ad esempio). La vulnerabilità della popolazione alle alte temperature e al verificarsi di ondate di calore sempre più intense e durature sarà condizionata non solo dal cambiamento climatico ma anche da fattori socioeconomici (Echevarria Icaza et al., 2016). In gruppi socialmente svantaggiati, gli effetti dovuti a tali fenomeni sono cinque volte più pronunciati tra i poveri, persone socialmente isolate, tossicodipendenti e senzatetto. Migranti, rifugiati e profughi potrebbero già soffrire per preesistenti condizioni di vulnerabilità come malnutrizione, malattie croniche non adeguatamente curate per impossibilità di accesso ad assistenza medica, e mancanza di rifugi che forniscano un'adeguata protezione. Tutto ciò predisporrebbe questi gruppi di popolazione a conseguenze fisiche e sociali più gravi al verificarsi di eventi climatici estremi (Zucaro & Morosini, 2018).

Il report redatto dal IPCC nel 2018, relativo alle conseguenze di uno scenario di riscaldamento medio globale di 1,5°C, dimostra che il riscaldamento di 2°C comporterebbe rischi alla salute umana molto più significativi, con livelli di rischio variabili a livello regionale. I rischi connessi a fenomeni quali *heat-waves* e *hot-days* potrebbero essere particolarmente elevati per mortalità e morbilità, stress da calore, accumulo di ozono nel terreno e malnutrizione. Per quanto concerne la trasmissione di malattie attraverso vettori, i rischi sono più variabili da zona a zona dal momento che temperature più calde potrebbero far divenire inospitali alcune regioni, perché

troppo calde e/o secche. Molti studi relativi alla mortalità causata da calore estremo non tengono conto delle condizioni socioeconomiche della popolazione.

Uno studio condotto nel 2018 da Mayrhuber e altri ha dimostrato il contributo di questi aspetti alla mortalità dovuta all'innalzamento delle temperature per la popolazione Europea. Ad oggi, l'11% degli Europei è a rischio di stress termico, ma si prevede che questa percentuale crescerà costantemente negli anni a venire: da +0,4% a 20,3%, da 32,6% a 48,5% nel 2050, a seconda della combinazione di scenari e a meno che significativi cambiamenti politici non vengano adottati per orientare l'attuale percorso di sviluppo socioeconomico verso la sostenibilità, la mitigazione e, necessariamente, l'adattamento (Dìaz et al., 2002). Tuttavia, l'impatto del calore sulla mortalità sarà maggiormente influenzato da fattori socioeconomici che dall'esposizione a più alte temperature. Gli effetti della mortalità connessa a calore estremo varieranno in Europa considerevolmente e la regione Mediterranea sarà la più colpita.

La maggiore frequenza e intensità delle ondate di calore negli scenari RCP4.5 (emissione di GHG arginata, ma le loro concentrazioni nell'atmosfera aumentano ulteriormente nei prossimi 50 anni, senza raggiungere l'obiettivo di +2°C) e RCP8.5 (scenario più drammatico, in cui non viene preso alcun provvedimento in favore della protezione del clima e le emissioni di GHG aumentano in modo continuo) colpirà soprattutto la regione sud-est del bacino (Earth Observatory, 2020).

In particolare, per la metà del XXI secolo, tra il 2035 e il 2064, il tasso di mortalità imputabile al fenomeno del surriscaldamento globale crescerà a 1,8 (per lo scenario RCP4.5) a 2,6 (per lo scenario più sfavorevole RCP8.5), rispetto al periodo 1971-2000. Allo stesso tempo, la mortalità dovuta alle ondate di calore si innalzerà di un fattore compreso tra 3 (RCP4.5) a 7 (RCP8.5). Le ondate di calore colpiranno non solo in termini di vite umane e salute le città del Mediterraneo, ma anche la produttività della forza lavoro ne risentirà. Inoltre, a causa dell'intenso caldo potrebbero verificarsi danni significativi alle infrastrutture dell'ambiente urbano, per esempio alle strade o alla rete ferroviaria. Allo stesso tempo, le ondate di calore sono rischi prevedibili. Gli impatti, tanto sulla salute dei cittadini che sui sistemi

urbani possono essere ridotti, grazie a semplici e vantaggiose tecnologie, strategie e azioni (Saaroni et al., 2003; Galderisi & Ferrara, 2012; Harpaz et al., 2014; Bermartina et al., 2015; Gargiulo & Lombardi, 2016; Founda et al., 2019; Rodrigues & Antunes, 2021; Roberts, 2021). Il paragrafo che segue riassume alcune *best practices*, contestualizzandole nei rispettivi scenari di applicazione. Sono stati studiati e selezionati casi studio molto eterogenei tra loro: New York (New York, US) e Buenos Aires (Argentina), Ahmedabad (India) e Melbourne (Australia), città tanto fisicamente lontane quanto culturalmente e socialmente differenti, accomunate però da un'ottica di pianificazione e governo delle trasformazioni urbane e territoriali olistica e integrata. Le città oggetto del prossimo paragrafo si sono dotate di strumenti adatti non solo a mitigare gli impatti delle ondate di calore, ma anche ad adattare i proprio spazi e la propria struttura demografica a fenomeni irreversibili, trasformando occasioni di potenziale pericolo in opportunità di crescita economica e cambiamento.

#### **4.3 Alcune *best practices*: l'adattamento e la mitigazione delle ondate di calore come opportunità di sviluppo socioeconomico**

Per poter proteggere i propri cittadini e le proprie economie, le città necessitano di informazioni relative a quali aree del proprio territorio, e quali gruppi di popolazione, sono più esposti al rischio (Salata & Yiannakou, 2016; Errigo, 2018).

Rispettando il ciclo del governo delle trasformazioni urbane e territoriali, la prima attività necessaria per definire strategie ed azioni di adattamento è relativa alla conoscenza: pertanto, è necessario che i decisori pubblici lavorino con partner esperti (università, dipartimenti di salute pubblica e di meteorologia, per esempio) per condurre valutazioni sulla vulnerabilità della propria città agli eventi di calore estremo.

I dati di salute e mortalità raccolti da associazioni non governative (NGOs – Non-Governmental Organizations) possono essere un valido supporto qualora manchino dati ufficiali. Il primo passo, quindi, deve essere l'identificazione dei gruppi di

popolazione più vulnerabile, e le soglie di temperatura locali che trasformano il fenomeno in una seria minaccia. Come affermato nei paragrafi precedenti non esiste una soglia di temperatura univoca che consenta di definire un'ondata di calore estremo.



Figura 4-2: Campagna di prevenzione dai rischi delle ondate di calore per la popolazione anziana di Buenos Aires ([buenosaires.gob.ar](http://buenosaires.gob.ar)).

I gruppi tipicamente più vulnerabili sono:

- Gli anziani, i bambini e la popolazione con condizioni cliniche particolari, dal momento che sono più sensibili al caldo estremo. In questo gruppo sono incluse le donne incinte e donne con neonati. Il Piano del Rischio da calore della città di Buenos Aires (Argentina) è orientato a limitare la vulnerabilità della popolazione anziana (Figura 4-2);
- Persone con basso reddito o che vivono in abitazioni di scarsa qualità edilizia, che potrebbero avere un più limitato accesso ad acqua potabile, a spazi verdi, a informazioni e a sistemi di condizionamento climatico;

- Persone che vivono da sole; la strategia della città di New York *Cool Neighbourhoods* invita gli abitanti della città, con il programma *Be A Buddy*, a prendersi cura dello stato di salute dei propri vicini (Figura 4-3);



Figura 4-3: Logo del programma *Be A Buddy* della città di New York (US).

- Operai che lavorano all'esterno, perché altamente esposti al calore estremo e perché il loro lavoro potrebbe richiedere attività fisica. La città Indiana di Ahmedabad, nel suo *Heat Action Plan* (2013) ha identificato i lavoratori outdoor così come comunità di slum come i gruppi più a rischio. Dall'implementazione delle strategie previste dal Piano, ogni anno 1.100 morti connesse al calore estremo sono state evitate, ogni anno;
- Gruppi più marginalizzati, che includono persone senza fissa dimora, migranti, rifugiati, in alcuni Paesi anche donne e bambine, dal momento che potrebbero avere meno accesso, oltre che conoscenza, delle possibilità di raffrescamento. Il Piano Strategico della città di Melbourne (*Heatwaves ad Homelesses 2014-2015*) per far fronte agli impatti dovuti alle ondate di calore include un focus dedicato alla popolazione senza fissa dimora.

In parallelo alle attività di disseminazione e di consapevolezza, i decisori pubblici e gli amministratori locali di una città dovranno massimizzare l'efficacia dei sistemi di gestione dell'emergenza e indirizzare le azioni di mitigazione e adattamento ai gruppi di popolazione più vulnerabili. Per fare ciò, le città possono mappare il rischio connesso alle ondate di calore. Una mappa di rischio da calore, o un Indice di



Vulnerabilità al calore estremo, combina dati relativi alla variabilità del calore con informazioni socioeconomiche. Alcune città, come New York e Toronto, hanno realizzato piattaforme online per la mappatura dei rischi e il calcolo degli indici di vulnerabilità, oltre che per la localizzazione di *cooling centres*, aree di ristoro dal caldo estremo, disseminate in città (Figura 4-4).

Si tratta di spazi pubblici o privati, come biblioteche, musei o parchi, che le città possono temporaneamente allestire come riparo dal calore estremo per i cittadini. Le autorità locali possono investire nella realizzazione di percorsi raffrescati, come marciapiedi ombreggiati. La conoscenza della presenza di questi luoghi in città è fondamentale sia prima che durante un'ondata di calore; i decisori pubblici devono diffonderne le localizzazioni degli stessi attraverso insegne, manifesti, applicazioni mobili o messaggi. La mappatura di queste informazioni richiede capacità di analisi e di gestione di grandi quantità di dati. Per poter guidare e supportare autorità locali nello sviluppo di tali piattaforme, l'Agencia per la Protezione Ambientale degli Stati Uniti (*The United States Environmental Protection Agency*) ha redatto utili linee guida.



Figura 4-4. Heat warning for the city of Toronto (City of Toronto, 5th August 2018).

Le principali risorse di dati e informazioni relative alla temperatura superficiale che le città possono consultare sono di seguito riportate:

- Agenzie metereologiche statali o nazionali. Molte città hanno accesso a dati nazionali relativi alla temperatura superficiale registrata da sensori installati nei

propri territori. Toronto, per esempio, utilizza dati meteorologici da Environment Canada, mentre Barcellona fa riferimento a dati raccolti dal Dipartimento di Meteorologica della Catalogna. Bisogna prestare attenzione che i sensori di rilevamento di questi dati siano localizzati nei centri urbani, perché spesso sono invece dislocati in aree aeroportuali, fuori dai confini della città, dove le temperature sono tendenzialmente più basse.

- I satelliti, che misurano la temperatura Terrestre attraverso sensori termici ad infrarossi. I dati LANDSAT della NASA forniscono informazioni per tutte le città del mondo. Washington D.C. ha sviluppato una mappa di osservazione della temperatura terrestre utilizzando proprio i dati LANDSAT.
- Reti di sensori per il rilevamento di temperature locali. Le città possono installare sensori in punti strategici per mappare l'effetto dell'isola di calore in tempo reale. Per esempio, Madrid ha installato una rete di sensori meteorologici, che misura la temperatura, l'umidità e altri parametri con 27 sensori distribuiti in tutta la città.

Significativo esempio per la realizzazione di mappe di vulnerabilità è la città di Durban, in Sud Africa. Le autorità locali hanno lavorato con ricercatori ed esperti per redigere una mappa dell'Intensità del fenomeno di Isola di Calore Urbana, utilizzando proiezioni di temperatura e dati relativi alla superficie urbana, come strade ed edifici, ottenuti dal Piano di Sviluppo della regione. A queste informazioni sono stati sovrapposti dati di natura socioeconomica per conoscere il grado di sensibilità al clima, come basso livello di reddito e densità della popolazione, per sviluppare un indice di vulnerabilità al calore estremo.

Prima del verificarsi di ondate di calore, o in generale prima della stagione estiva, le città dovrebbero:

- Assicurarsi di ricevere previsioni di temperature attendibili. Questo aspetto è di vitale importanza per consentire una pianificazione di emergenza ma in molte città, soprattutto del Sud del mondo, non hanno possibilità di accedere ad affidabili previsioni meteo. Le città possono lavorare con i dipartimenti di meteorologia e/o Università per poter superare questo limite;

- Costruire partenariati di coordinamento tra autorità locali, agenzie meteorologiche, dipartimenti di emergenza e salute, mass media, etc., per sviluppare ed implementare piani di risposta e nominare un gruppo direttivo o un responsabile di riferimento per il coordinamento delle parti interessate;
- Costruire capacità e competenze tra professionisti del settore sanitario per diagnosticare e curare malattie dovute al calore estremo;
- Comunicare con la popolazione, e lavorare con imprese locali i cui lavoratori sono potenzialmente esposti ai rischi dalle ondate di calore, per incrementare la consapevolezza rispetto a questi fenomeni e i modi in cui è possibile mitigare i rischi ad essi collegati;
- Determinare azioni di risposta alle ondate di calore che si attivano con alert, o a differenti livelli di allarme. Azioni prioritarie dovrebbero includere proprio la diffusione di allerte climatiche, l'apertura e la promozione di *cooling centres* che distribuiscano acqua potabile, e l'introduzione di misure di emergenza per il raffrescamento degli ospedali e delle case di riposo per anziani.

Le città sono chiamate a mitigare un fenomeno che è esacerbato in ambiente urbano: l'isola di calore urbana (UHI – *Urban Heat Island*). Strategie di mitigazione di tale fenomeno dovrebbero essere incluse nel più vasto piano di adattamento al clima di una città e incorporate nella legislazione di settore, in particolare nella regolamentazione dell'edilizia (nuova ed esistente), nella gestione dei trasporti e nella pianificazione urbana. Infatti, il pericolo delle ondate di calore è più significativo in città a causa dei materiali termo-assorbenti utilizzati in edilizia, per il calore emesso dall'ambiente costruito, dai trasporti e dalle industrie, per l'inquinamento dell'aria e per la mancanza di vegetazione. Per questi e altri fattori le città sono generalmente più calde di 3-8°C rispetto alle aree rurali.

Di seguito sono elencate alcune tra le principali strategie per mitigare l'effetto di *urban heat island*:

- Tetti freschi. I tetti possono essere dipinti in bianco o con pittura altamente riflessiva o coperti con teli o tegole altamente riflettenti, in modo da riflettere più luce solare e assorbire meno calore rispetto a coperture standard,

garantendo una riduzione del consumo energetico dell'intero edificio fino a 20%. L'iniziativa della città di New York, *Cool Roofs*, offre possibilità di lavoro e formazione per installare coperture più fresche e che consentano un risparmio energetico significativo, e fornisce il rifacimento a basso costo o gratuito ai proprietari di edifici, che chiedono di partecipare al programma. L'iniziativa prevede la partecipazione congiunta del Dipartimento di New York City dei Servizi delle Piccole Imprese, l'Ufficio del Sindaco per la Sostenibilità, per Recupero e Resilienza e South Bronx Sostenibile, ed è stato replicato in diverse città, tra cui Busan e Seul, in Corea del Sud, ma anche Los Angeles, Philadelphia e Washinton D.C. (US);

- Marciapiedi e strade rinfrescati. Materiali per pavimentazione ordinari, che solitamente ricoprono il 40% della superficie di una città, raggiungono picchi di temperatura, durante periodi più caldi, oltre i 65°C, riscaldando anche l'aria al di sopra della loro superficie. Per mitigare questo effetto si può ricorrere all'utilizzo di colori più chiari per creare superfici più riflettive. Queste strategie sono state implementate in diverse città, tra cui Tokyo, Parigi, Los Angeles, Chula Vista e Sydney;
- Tetti e pareti verdi. Installare sulla copertura di un edificio o sulle sue pareti perimetrali uno strato di vegetazione può significativamente assorbire calore e ridurre le temperature. Il programma Eco-Roof della città di Toronto offre la possibilità di installare tanto coperture verdi che fresche sia per edifici residenziali che commerciali;
- Metodi alternativi di raffrescamento, come strutture ombreggianti artificiali, tettoie e specchi d'acqua, come l'installazione di *'spray parks'*. Per esempio, *Tel Aviv's Shade Planning Guidelines* stabilisce alcuni standard relativi alla quantità e qualità delle aree ombreggiate, utilizzando vegetazione, coperture in tessuto o strutture. Cape Town ha invece implementato sei *spay parks* in quartieri più vulnerabili al calore e svantaggiati.

In generale, per sviluppare strategie rivolte tanto alla mitigazione che all'adattamento al rischio connesso alle ondate di calore estremo, è necessario che

i decisori politici e autorità locali si impegnino per includere la popolazione più vulnerabile a tali fenomeni e che tengano conto del sistema urbano nella sua interezza e complessità. Allo stesso tempo, è necessario tenere in considerazione quali possano essere i principali benefici che derivano dall'implementazione di azioni di mitigazione e adattamento, tra cui:

- Creazione di posti di lavoro e opportunità di carriera. Le iniziative per mitigare il calore urbano possono generare significative opportunità occupazionali, per esempio installando tetti freschi o verdi. Le città di New York e Seul offrono attività di formazione e intendono impegnare i partecipanti con un lavoro a tempo pieno;
- Costi energetici ridotti per proprietari di edifici e/o inquilini, grazie ad una più bassa richiesta di raffrescamento;
- Migliore sicurezza energetica. Le giornate di calore estremo sollecitano notevolmente le reti elettriche cittadine dal momento che cresce la domanda di condizionamento degli ambienti, provocando l'interruzione del servizio o una perdita di produttività;
- Migliore qualità dell'aria e sequestro di diossido di carbonio. Temperature più fresche riducono il rischio di smog, mentre le soluzioni verdi alla mitigazione del calore aiutano a pulire l'aria delle città e assorbire diossido di carbonio trattenuto in atmosfera;
- Migliore qualità della vita. Il calore estremo impatta sulla salute della popolazione, riducendone le attività fisica e il tempo trascorso all'aria aperta. Il verde urbano e le azioni di raffrescamento possono avere un impatto diretto sul benessere dei cittadini;
- Maggiore uguaglianza. Se non mitigato, il calore ha un costo indiretto sproporzionato per le comunità a basso reddito dei quartieri caratterizzati da edilizia di bassa qualità, meno copertura di alberi e accesso limitato a strumenti di condizionamento dell'aria.

## Riferimenti bibliografici

- Abraham, J. P., Baringer M., Bindoff N. L., Boyer T., Cheng, L. J., Church, J. A., Conroy, J. L., Domingues, C. M., Fasullo, J. T., Gilson J., Goni, G., Good, S. A., Gorman, J. M., Gouretski V., Ishii M., Johnson, G. C., Kizu S., Lyman, J. M., Macdonald, A. M., Minkowycz W. J., Moffitt S. E., Palmer M. D., Piola A. R., Reseghetti F., Schuckmann K., Trenberth, K. E., Velicogna, I., Willis, J. K. (2013). A review of global ocean temperature observations: Implications for ocean heat content estimates and climate change. *Rev. Geophys.*, 51, 450–483, <https://doi.org/10.1002/rog.20022>.
- Åström, D. O., Schifano, P., Asta, F., Lallo, A., Michelozzi, P., Rocklöv, J., & Forsberg, B. (2015). The effect of heat waves on mortality in susceptible groups: a cohort study of a mediterranean and a northern European City. *Environmental health*, 14(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s12940-015-0012-0>
- Bagli, S., Mazzoli, P., Renzi, F., Luzzi, V., Persiano, S., Castellarin, A., Mysiak, J., Essenfelder, A., Larosa, F., Pasetti, S., Folegani, M., Schröter, K., Ullrich, S., & Mediero, L. (2021). SaferPLACES platform: a cloud-based climate service addressing urban flooding hazard and risk, EGU General Assembly 2021, EGU21-8435, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-8435>, 2021.
- Benmartina, T., Deguen, S., Kaufman, J. S., & Smargiassis, A. (2015). Review Article: Vulnerability to Heat-related Mortality: A Systematic Review, Meta-analysis, and Meta-regression Analysis. *Epidemiology*, 26, 781–793. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000375>
- Benthuyzen, J. A., Oliver, E. C., Chen, K., & Wernberg, T. (2020). Advances in understanding marine heatwaves and their impacts. *Frontiers in Marine Science*, 7, 147. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00147>
- Brownlee, T., Camaioni, C., & Pellegrino, P. (2021). Emergenza clima e qualità della vita nelle città. FrancoAngeli, Milano.
- Cheng, L., Zhu, J., Trenberth, K. E., Fasullo, J. T., Zhang, B., Yu, F., Wan, L., Chen, X. & Song, X. (2019). 2018 Continues Record Global Ocean Warming. *Adv. Atmos. Sci.* 36, 249–252. <https://doi.org/10.1007/s00376-019-8276-x>
- Cheng, L., Abraham, J., Trenberth, K. E., Fasullo, J., Boyer, T., Locarnini, R., Zhang, B., Yu, F., Wan, L., Chen, X., Song, X., Liu, Y., Mann, M.E., Reseghetti, F., Simoncelli, S., Gouretski, V., Chen, G., Mishonov, A., Reagan, J., & Zhu, J. (2021). Upper ocean temperatures hit record high in 2020. *Advances in Atmospheric Sciences* volume 38, 523–530. <https://doi.org/10.1007/s00376-021-0447-x>
- Díaz, J., Garcia, R., De Castro, F. V., Hernández, E., López, C., & Otero, A. (2002). Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986 to 1997. *International Journal of Biometeorology*, 46(3), 145-149. <https://doi.org/10.1007/s00484-002-0129-z>
- Ebi, K. L., & Hess, J. J. (2020). Health Risks Due To Climate Change: Inequity In Causes And Consequences: Study examines health risks due to climate change. *Health Affairs*, 39(12), 2056-2062. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2020.01125>
- Echevarria Icaza, L., Van der Hoeven, F., & Van den Dobbelsteen, A. (2016). Surface thermal analysis of North Brabant cities and neighbourhoods during heat waves. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 9(1), 63-87. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/3741>

- Errigo, M. (2018). The Adapting city. Resilience through water design in Rotterdam. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 11(1), 51-64. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/5402>
- Founda, D., Varotsos, K. V., Pierros, F., & Giannakopoulos, C. (2019). Observed and projected shifts in hot extremes' season in the Eastern Mediterranean. *Global and Planetary Change*, 175, 190-200. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.02.012>
- Galderisi, A., & Ferrara, F. (2012). Enhancing urban resilience in face of climate change: a methodological approach. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 5(2), 69-88. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/936>
- Garcia-Nevaldo, E., Duport, N., Bugeat, A., & Beckers, B. (2021). Benefits of street sun sails to limit building cooling needs in a mediterranean city. *Building and Environment*, 187, 107403. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107403>
- Gargiulo, C., & Lombardi, C. (2016). Urban Retrofit and Resilience: the Challenge of Energy Efficiency and Vulnerability. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 9(2), 137-162. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/3922>
- Gidhagen, L., Olsson, J., Amorim, J.H., Asker, C., Belusic, D., Carvalho, A.C., Engardt, M., Hundecha, Y., Körnich, H., Lind, P., Lindstedt, D., Olsson, E., Rosberg, J., Segersson, D., Strömbäck, L. (2020). Towards climate services for European cities: lessons learnt from the Copernicus project Urban SIS. *Urban Climate*, 31 (2020), p. 100549, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100549>
- Giorgi, F., Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*, 63, pp. 90-104. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>
- Golubeva, E., Platov, G., & Kraineva, M. (2021). Numerical modeling of the consequences of "marine heatwaves" in the North Pacific for the Arctic Ocean. In EGU General Assembly Conference Abstracts, EGU21-6921. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-6921>
- Gronlund, C. J., Zanobetti, A., Schwartz, J. D., Wellenius, G. A., & O'Neill, M. S. (2014). Heat, heat waves, and hospital admissions among the elderly in the United States, 1992–2006. *Environmental health perspectives*, 122(11), 1187-1192. <https://doi.org/10.1289/ehp.1206132>
- Harpaz, T., Ziv, B., Saaroni, H., & Beja, E. (2014). Extreme summer temperatures in the East Mediterranean—dynamical analysis. *International Journal of Climatology*, 34(3), 849-862. <https://doi.org/10.1002/joc.3727>
- Hochman, A., Scher, S., Quinting, J., Pinto, J. G., & Messori, G. (2021). A new view of heat wave dynamics and predictability over the Eastern Mediterranean. *Earth System Dynamics*, 12(1), 133-149. <https://doi.org/10.5194/esd-12-133-2021>
- Meyssignac, B., Boyer, T., Zhao, Z., Hakuba, M.Z., Landerer, F.W., Stammer, D., Köhl, A., Kato, S., L'Ecuyer, T., Ablain, M., Abraham, J.P., Blazquez, A., Cazenave, A., Church, J.A., Cowley, R., Cheng, L., Domingues, C.M., Giglio, D., Gouretski, V., Ishii, M., Johnson, G.C., Killick, R.E., Legler, D., Llovel, W., Lyman, J., Palmer, M.D., Piotrowicz, S., Purkey, S.G., Roemmich, D., Roca, R., Savita, A., von Schuckmann, K., Speich, S., Stephens, G., Wang, G., Wijffels, S.E. & Zilberman, N. (2019) Measuring Global Ocean Heat Content to Estimate the Earth Energy Imbalance. *Front. Mar. Sci.* 6:432. doi: 10.3389/fmars.2019.00432

- Mueller, B., & Seneviratne, S. I. (2012). Hot days induced by precipitation deficits at the global scale. *Proceedings of the national academy of sciences*, 109(31), 12398-12403. <https://doi.org/10.1073/pnas.1204330109>
- Ouzeau, G., Soubeyroux, J. M., Schneider, M., Vautard, R., & Planton, S. (2016). Heat waves analysis over France in present and future climate: Application of a new method on the EURO-CORDEX ensemble. *Climate Services*, 4, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2016.09.002>
- Pausas, J. G., & Millán, M. M. (2019). Greening and browning in a climate change hotspot: the Mediterranean Basin. *BioScience*, 69(2), 143-151. <https://doi.org/10.1093/biosci/biy157>
- Pogačar, T., Casanueva, A., Kozjek, K., Ciuha, U., Mekjavić, I. B., Bogataj, L. K., & Črepinšek, Z. (2018). The effect of hot days on occupational heat stress in the manufacturing industry: Implications for workers' well-being and productivity. *International journal of biometeorology*, 62(7), 1251-1264. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1530-6>
- Rodrigues, M., & Antunes, C. (2021). Best Management Practices for the Transition to a Water-Sensitive City in the South of Portugal. *Sustainability*, 13(5), 2983. <https://doi.org/10.3390/su13052983>
- Roberts, J. L. (2021). Climate Change and Heatwaves. In *Shaping the Future of Small Islands* (pp. 233-248). Palgrave Macmillan, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-4883-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-981-15-4883-3_13)
- Saaroni, H., Ziv, B., Edelson, J., & Alpert, P. (2003). Long-term variations in summer temperatures over the eastern Mediterranean. *Geophysical Research Letters*, 30(18). <https://doi.org/10.1029/2003GL017742>
- Salata, K., & Yiannakou, A. (2016). Green Infrastructure and climate change adaptation. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 9(1), 7-24. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/3723>
- Shiogama, H., Fujimori, S., Hasegawa, T., Takahashi, K., Kameyama, Y., & Emori, S. (2021). How many hot days and heavy precipitation days will grandchildren experience that break the records set in their grandparents' lives?. *Environmental Research Communications*, 3 061002. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ac0395>
- Stoeklin-Marois, M., Hennessy-Burt, T., Mitchell, D., & Schenker, M. (2013). Heat-related illness knowledge and practices among California hired farm workers in the MICASA study. *Industrial health*, 51(1), 47-55. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2012-0128>
- Teskey, R., Wertin, T., Bauweraerts, I., Ameye, M., McGuire, M. A., & Steppe, K. (2015). Responses of tree species to heat waves and extreme heat events. *Plant, cell & environment*, 38(9), 1699-1712. <https://doi.org/10.1111/pce.12417>
- Ward, K., Lauf, S., Kleinschmit, B., & Endlicher, W. (2016). Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. *Science of the Total Environment*, 569, 527-539. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.119>
- Zampieri, M., D'Andrea, F., Vautard, R., Ciais, P., de Noblet-Ducoudré, N., and Yiou, P. (2009). Hot European summers and the role of soil moisture in the propagation of Mediterranean drought. *Journal of Climate*, 22, 4747-4758. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2568.1>
- Zika, J. D., Gregory, J. M., McDonagh, E. L., Marzocchi, A., & Clement, L. (2021). Recent water mass changes reveal mechanisms of ocean warming. *Journal of Climate*, 34(9), 3461-3479. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0355.1>



Zittis, G., Hadjinicolaou, P., Fnais, M., & Lelieveld, J. (2016). Projected changes in heat wave characteristics in the eastern Mediterranean and the Middle East. *Regional environmental change*, 16(7), 1863-1876. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0753-2>

Zucaro, F., & Morosini, R. (2018). Sustainable land use and climate adaptation: a review of European local plans. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 11(1), 7-26. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/5343>

## Sitografia

Buenos Aires Climate Change Action Plan: <https://www.globalcovenantofmayors.org/wp-content/uploads/2015/09/Plan-de-accion-resumen-en-ingles.pdf>

C40 Cities: <https://www.c40.org/>

City of Cape Town: <https://www.capetown.gov.za/Family%20and%20home/See-all-city-facilities/Our-recreational-facilities/Spray%20parks>

Community Climate Action Plan – City of Los Angeles: <https://planning.lacounty.gov/ccap>

Earth Observatory. (2019). Marine Heatwave Returns to the NorthEast Pacific. NASA. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/145602/marine-heat-wave-returns-to-the-northeast-pacific>

Healthy City Strategy – City of Vancouver: <https://vancouver.ca/people-programs/hot-weather.aspx>

LandSat Science – NASA: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/>

New York City – Be a Buddy program: <https://thepoint.org/be-a-buddy-program/>

Philadelphia Climate Action Playbook: <https://www.phila.gov/media/20210113125627/Philadelphia-Climate-Action-Playbook.pdf>

Seoul Action Plan: <https://news.seoul.go.kr/env/files/2015/11/5656c402747ae7.44367433.pdf>

U.S. Environmental Protection Agency : <https://www.epa.gov/>

WeAdapt. Climate change adaption planning, research and practice: <https://www.weadapt.org/>



## CAPITOLO 5

Precipitazioni: tra siccità e bombe d'acqua

## 5.1 Tra deficit idrici ed inondazioni

Il surriscaldamento globale e il conseguente incremento di variabilità climatica aumenteranno il rischio di inondazioni e siccità (Amponsah et al., 2018; Cammalleri et al., 2021; Rust et al., 2021). Dal momento che, così come per altri fenomeni connessi al cambiamento climatico, un numero significativo di fattori, climatici e non climatici, influenzano gli impatti dovuti ad alluvioni o assenza di precipitazioni: la pericolosità, la vulnerabilità e l'esposizione degli insediamenti urbani al verificarsi di questi eventi estremi dipende da numerose variabili.



Figura 5-1: Inondazione (Romania, 2019).

Con il termine inondazioni si intendono alluvioni fluviali, *flash floods*, inondazioni urbane e della rete fognaria, e possono essere causate da precipitazioni intense e/o durature, scioglimento di neve, dalla rottura di dighe, o una ridotta permeabilità del terreno dovuta al distacco di ghiacciai o frane (Marchi et al., 2010) (Figura 5-1). Le inondazioni dipendono dall'intensità delle precipitazioni, dal volume, dalla durata, dalle preesistenti condizioni di corsi e specchi d'acqua o bacini di drenaggio, la presenza di neve e ghiaccio, le caratteristiche del suolo, l'umidità del terreno, il tasso di urbanizzazione, e la presenza di paratie, dighe e serbatoi (Kobiyama & Goerl, 2007). L'intervento umano nelle porzioni potenzialmente interessate da

alluvioni o frane e la mancanza di piani di risposta a tali fenomeni ne incrementa il potenziale danno. Il termine siccità, invece, potrebbe tanto riferirsi a siccità meteorologica (con precipitazioni al di sotto della media), idrologica (con bassi flussi e livelli di acqua in fiumi, laghi o in falda sotterranea), agricola (per la scarsa umidità del suolo) ed ambientale, se è invece combinazione delle precedenti condizioni (Hisdal et al., 2000; Galderisi & Ferrara, 2012).

Gli impatti socioeconomici di estesi periodi di siccità possono acuirsi dall'interazione tra condizioni naturali e fattori antropici, come cambiamenti nell'uso o impermeabilizzazione del suolo, richiesta di acqua e suo utilizzo. Eccessivi prelievi di acqua dal terreno possono, infatti, esacerbare l'impatto del fenomeno (Alston & Kent, 2004; Wilhite et al., 2007; Ding et al., 2011; Mosley, 2015; Noel et al., 2020). Uno dei più robusti e significativi risultati ottenuti dai modelli previsionali dell'IPCC è che la probabilità che si verifichino precipitazioni sempre più intense all'aumentare del surriscaldamento globale è sempre più alta (Di Sante et al., 2020; Brunner et al., 2021; Hirabayashi et al., 2021). Allo stesso modo, è previsto che l'intensità delle precipitazioni aumenti pressoché ovunque, ma in particolare alle medie ed alte latitudini dove si prevede un incremento della media delle precipitazioni. Questi risultati condizionano il rischio del verificarsi di *flash floods* e inondazioni urbane (Chitwatkulsiri et al., 2021). I sistemi di drenaggio delle acque devono essere adattati per far fronte all'aumento delle precipitazioni dovute al cambiamento climatico (Amponsah et al., 2018; Asad et al., 2021). Un aumento del verificarsi di fenomeni di siccità nelle aree continentali interne, alle basse e medie latitudini è molto probabile. Questo risultato è però molto sensibile al modello utilizzato per descrivere la formulazione del terreno. Alcune previsioni realizzate da Burke et al. (2016) dimostrano che al 2090 il pianeta avrà ampie regioni con eccessi di acqua e altre particolarmente asciutte, con una tendenza globale netta alla desertificazione. Infatti, si prevede che la proporzione di superficie terrestre in estrema siccità, globalmente, aumenti di un fattore variabile tra 10 e 30: dall'1-3% registrato oggi al 30% sulla fine del secolo (Verissimo, 2012).

Il numero di eventi siccitosi estremi per 100 anni e la loro durata media aumenteranno rispettivamente di due e sei volte, entro il 2100 (Bradford et al., 2020; Cook et al., 2020; Chiang et al., 2021). Ancora, una riduzione delle precipitazioni estive della zona dell'Europa meridionale, accompagnata dall'aumento di temperature, che incrementeranno la quantità d'acqua coinvolta nei fenomeni di evapotraspirazione del terreno, ne ridurranno inevitabilmente l'umidità (Figura 5-2).



*Figura 5-2: Terreno siccitoso (California, 2020).*

Inoltre, all'aumentare delle temperature, è verosimile che incrementi la probabilità di precipitazione di acqua sotto forma di pioggia e non di neve, soprattutto in aree in cui la temperatura è vicino a 0°C in autunno e primavera (Li et al., 2020). Si prevede che lo scioglimento del ghiaccio si verificherà più precocemente e in forma meno abbondante, e questo potrebbe comportare una riduzione di volumi di acqua stoccati in serbatoi (naturali e non) durante l'estate e l'autunno quando la domanda di acqua è più alta (Chadwick et al., 2020; Özerol et al., 2020).

Più di un sesto della popolazione mondiale dipende dall'acqua che proviene dallo scioglimento dei ghiacciai e neve stagionale per l'approvvigionamento idrico. Pertanto, le conseguenze e i cambiamenti previsti, dovuti al cambiamento climatico e con una certa affidabilità per molte regioni del pianeta, saranno drammatici e molto gravi. In particolare, i problemi connessi all'estendersi, per intensità e durata nel tempo, di fenomeni siccitosi colpiranno soprattutto quelle regioni che dipendono

fortemente dallo scioglimento dei ghiacciai per l'approvvigionamento di acqua durante i periodi con poche precipitazioni (Sun et al., 2018). Nelle Ande, lo scioglimento dei ghiacciai nutre la portata di acqua nei corsi fluviali e provvede al fabbisogno idrico di decine di milioni di persone durante la lunga stagione secca. Molti piccoli ghiacciai in Bolivia in Ecuador e Perù scompariranno del tutto nei prossimi decenni, colpendo duramente ecosistemi naturali ed insediamenti urbani. Il rapido scioglimento dei ghiacciai potrebbe causare lo straripamento di corsi d'acqua e serbatoi (naturali e non) in cui l'acqua si riversa, costituendo quindi una grave minaccia di inondazioni.

L'intera massa ghiacciata dell'Hindu Kush-Himalaya si è ridotta negli ultimi tre decenni. Quindi, l'approvvigionamento idrico nelle aree servite da questo ghiacciaio ne sarà negativamente impattato: si tratta di un bacino di utenza enorme che va dalla regione Hindu Kush all'Himalaya, abitato da centinaia di milioni di cittadini cinesi e indiani che ne sono dipendenti (Dahal et al., 2020).

Secondo gli scenari dell'ultimo rapporto dell'IPCC, sono previsti cambiamenti significativi del rischio da inondazioni e siccità in molte parti d'Europa. Le regioni che molto probabilmente sperimenteranno un aumento della frequenza di inondazioni sono localizzate a nord e nord-est d'Europa, mentre le regioni meridionali mostrano un aumento di probabilità del verificarsi di fenomeni siccitosi. Molti modelli sono d'accordo nell'affermare che entro il 2100, una siccità che oggi ha un periodo di ritorno di 100 anni, in media, si ripeteranno ogni 10 anni per Spagna e Portogallo (Camargo et al., 2020), Francia occidentale (Fargeon et al., 2020), il bacino del Vistola (Germania), Polonia (Hawxwell & Knieling, 2020) e Turchia occidentale (Danandeh Mehr et al., 2020). Gli studi evidenziano una diminuzione del picco in alluvioni dovute allo scioglimento dei ghiacciai entro il 2080 in alcune regioni del Regno Unito, nonostante un generale incremento delle precipitazioni.

A partire dalle metodologie dell'IPCC sono stati condotti studi e ricerche per diverse regioni del pianeta, evidenziando risultati che, se pur differenti in termini numerici, concordano nell'affermare che a determinare la vulnerabilità e l'esposizione dei

territori è la probabilità congiunta del verificarsi di futuri cambiamenti connessi al cambiamento climatico. Inoltre, gli impatti degli eventi climatici estremi sugli insediamenti urbani possono verificarsi in modo sproporzionato in quelle nazioni che non possono contare su buone capacità adattive, sociali ed economico-finanziarie, a tali fenomeni. Il prossimo paragrafo è dedicato all'approfondimento di fenomeni e caratteristiche che influenzano la vulnerabilità delle città della costa mediterranea e ne condizionano l'esposizione ai fenomeni alluvionali e siccitosi.

## 5.2 Le città mediterranee verso un clima tropicale

Il quadro fin qui delineato delle città del bacino del Mediterraneo e della loro esposizione e vulnerabilità agli effetti dei cambiamenti climatici giustificano le osservazioni pubblicate nel recente rapporto MedECC (Mediterranean Experts on Climate and Environmental Change), secondo cui il Mediterraneo, con 500 milioni di abitanti, è la seconda area più impattata dal cambiamento climatico, dopo l'Artico (Miranda et al., 2020).

Per quanto concerne il focus di questo capitolo, gli scenari prevedono una riduzione del 10% della disponibilità di acqua e una conseguente riduzione della sicurezza alimentare, fino al 17% nelle rese delle colture agricole e fino al 20% per prodotti ittici. I modelli previsionali calcolano un incremento dell'intensità e della frequenza di eventi climatici estremi, tra cui periodi di siccità e inondazioni (Amponsah et al., 2020).

Sul lungo periodo le previsioni degli scenari climatici sono ancora più drammatiche: entro il 2100, con un incremento di temperatura di 5,6°C, si prevede una riduzione del 20% delle precipitazioni e il doppio dei terreni ad oggi interessati da incendi.

In sintesi, nonostante possano esserci anche consistenti discordanze tra i diversi modelli di previsione climatica, quasi tutti sono d'accordo nell'affermare che la regione mediterranea subirà un processo di pesante desertificazione, che vedrà un calo del 40% delle precipitazioni durante la stagione invernale. I cambiamenti climatici nel Mediterraneo porteranno ad un aumento delle temperature ma, a differenza di altre aree, in cui il riscaldamento globale si accompagnerà ad una



crescita delle precipitazioni, qui il loro andamento rappresenterà un'eccezione alla regola.

Un gruppo di ricercatori del Massachusetts Institute of Technology (Massachusetts, USA) (Tuel & Eltahir, 2020) avrebbe però compreso i meccanismi che determinano questa eccezione, spiegando così gli effetti anomali dei cambiamenti climatici nel Mediterraneo. La siccità sarebbe dovuta alla confluenza di due diversi fenomeni legati alla presenza di un clima caldo: un cambiamento nella dinamica della circolazione dell'atmosfera superiore e una riduzione della differenza di temperatura tra terra e mare. Sebbene nessuno dei due fattori sarebbe di per sé sufficiente a giustificare la riduzione anomala delle precipitazioni, la combinazione dei due può rendere pienamente conto dell'esclusivo fenomeno di desertificazione dell'area mediterranea prevista dai modelli climatici (Benassi et al., 2020). Il primo dei due fenomeni è dovuto alla presenza di venti ad alta quota chiamati flussi a medio raggio, che determinano un forte e costante andamento meteorologico da ovest a est in Europa. Nell'emisfero settentrionale, quei venti trovano ostacoli (come le Alpi), che favoriscono un'alternanza di zone ad alta e a bassa pressione. Ma quando l'aria si riscalda, questa alternanza subisce delle modifiche, determinando un'area ad alta pressione sul Mediterraneo, con scarse precipitazioni (Briassoulis, 2017; Uzuner & Dengiz, 2020; Egidi et al., 2021). Il secondo fenomeno vale a dire la riduzione della differenza di temperatura tra terra e mare, sarà ugualmente alterato dai cambiamenti climatici, poiché la terra si sta riscaldando molto più velocemente dei mari. Ciò, a sua volta, amplifica il differenziale di pressione, aumentando l'area ad alta pressione. Mentre i modelli mostrano che la massa terrestre si riscalderà di 3-4° C nel prossimo secolo, la temperatura del mare aumenterà di circa 2° C.

Gli effetti dei cambiamenti climatici nel Mediterraneo sono già evidenti nelle recenti tendenze climatiche in Medio Oriente e Africa nord-occidentale, che hanno subito un significativo declino delle precipitazioni (Bucchignani et al., 2018). La conoscenza e comprensione dei meccanismi fisici di questo fenomeno potrebbero aiutare a garantire più efficaci azioni di adattamento, specialmente per quanto riguarda la gestione delle risorse idriche.

I numeri sintetizzati in questo paragrafo suggeriscono che il cambiamento climatico aggraverà ulteriormente la condizione di deficit idrico che già molte regioni mediterranee stanno sperimentando, tra l'altro a causa di inquinamento, cattiva gestione delle risorse idriche e significativo incremento demografico.

L'acqua e gli ecosistemi ad essa connessi giocano un ruolo fondamentale nel trasferire gli impatti connessi ai cambiamenti climatici alle economie locali e alla società. Infatti, la letteratura scientifica e esperti internazionali sono d'accordo nel suggerire che la vulnerabilità a questi fenomeni è strettamente connessa alle condizioni socioeconomiche delle aree che ne sono interessate. Come dimostra l'immagine che segue (Figura 5-3), le regioni sulle quali i fenomeni fin qui descritti impatteranno maggiormente sono proprio quelle aree caratterizzate già da una ridotta disponibilità di risorse idriche.

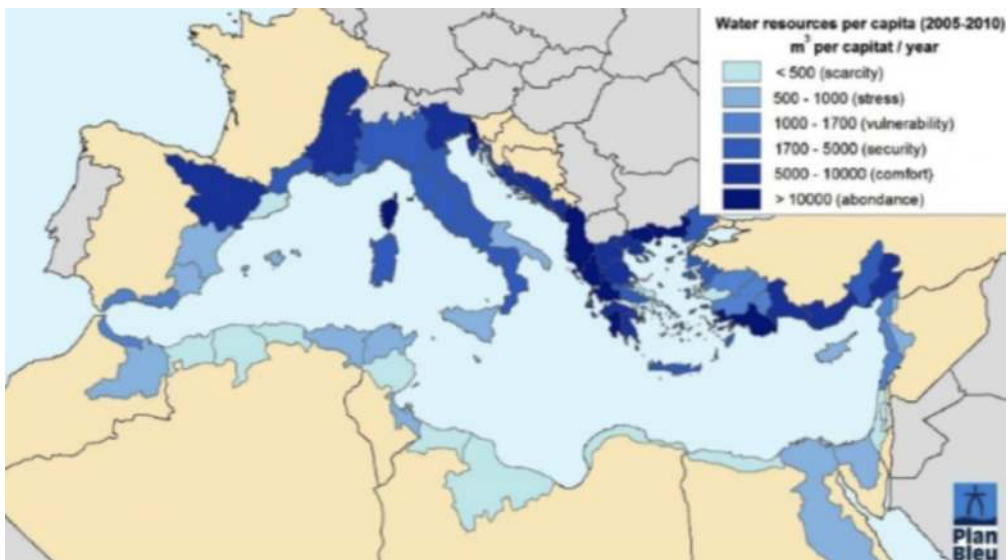


Figura 5-3: Risorse annuali di acqua per capita nella regione Mediterranea (Union for the Mediterranean UFM, 2018).

A causa del solo surriscaldamento dell'atmosfera terrestre, che aumenterà i flussi di evapotraspirazione del terreno e causerà una significativa riduzione delle precipitazioni, la disponibilità di acqua potabile nella regione Mediterranea diminuirà più che nelle altre parti del mondo (Gaaloul et al., 2020). Secondo alcuni dati del 2013, 180 milioni di persone residenti sulle coste del Mediterraneo sono classificate

come *water poor*, dal momento che hanno a disposizione meno di 1000 m<sup>3</sup> di acqua all'anno (Nyiwul, 2021). Si prevede che entro il 2050 questa fetta di popolazione arrivi fino a 250 milioni di persone. Le nazioni della costa meridionale e sud-orientale, con il loro clima semi-arido, sono le più a rischio di carenza d'acqua e forti variabilità inter-annuali di risorse idriche. Pertanto, la popolazione residente in queste aree soffrirà di una cronica scarsità d'acqua, anche se si dovesse riuscire a trattenere il surriscaldamento globale al di sotto della soglia critica di 2°C.

In Grecia e Turchia la disponibilità annuale di acqua potrebbe precipitare al sotto dei 1000 m<sup>3</sup> per capita già intorno al 2030. L'attuale scarsa disponibilità di acqua nelle regioni della Spagna meridionale potrebbero precipitare invece ben al sotto di 500 m<sup>3</sup> per capita, all'anno, nel prossimo futuro.

Le portate fluviali sono in media ridotte, specialmente nell'area sud-orientale. Per i laghi e i serbatoi (naturali e artificiali), il livello di acqua si è decisamente abbassato. Per esempio, si prevede che entro il 2040 il lago Beyşehir in Turchia (Gürbüz et al., 2021) il più esteso lago del Mediterraneo, si prosciugherà, a meno che non venga controllata la portata di deflusso.

La principale fonte di acqua potabile per il Nord Africa e per le nazioni del Medio Oriente è da falde acquifere del sottosuolo. Da queste risorse dipende fortemente anche la regione nord-occidentale del Sahara. Dal momento che si registra un tasso di rinnovo del solo 40% dell'acqua prelevata, queste regioni sono le più vulnerabili dell'intero bacino Mediterraneo ai fenomeni fin qui descritti. Con l'abbassarsi del livello di falda, non solo si riducono i volumi di acqua disponibili, ma anche la qualità dell'acqua stessa ne risente, a causa del sovra-sfruttamento, dell'inquinamento, della crescente urbanizzazione e dell'infiltrazione di acqua marina in falda.

Il crescente inquinamento delle risorse idriche potabili toccherà particolarmente le coste meridionali e orientali, per la presenza di nuove industrie, urban sprawl, sviluppo turistico, flussi migratori e crescita della popolazione.

Altre regioni, molto estese, come il Marocco e l'Italia, dipendono dalle risorse idriche dello scioglimento di neve e ghiacci. In queste aree il cambiamento climatico colpirà

con una riduzione delle portate di acqua primaverili, a seguito di ridotte precipitazioni di neve durante la stagione invernale.

La penuria d'acqua sarà esacerbata da una crescente richiesta: l'irrigazione rappresenta la principale domanda idrica, con una percentuale che varia dal 50% al 90%. Per la fine del secolo, la richiesta per irrigazione aumenterà con un tasso compreso tra il 4% e il 18%. Considerando la domanda di risorse idriche da parte della popolazione residente in aree urbane e non, questi numeri potrebbero aumentare con una percentuale variabile tra il 22% e il 74%. La Figura 5-4, elaborata dalla World Bank Water, riassume con pochi numeri, la vulnerabilità dei Paesi del Medio Oriente e del Nord Africa.

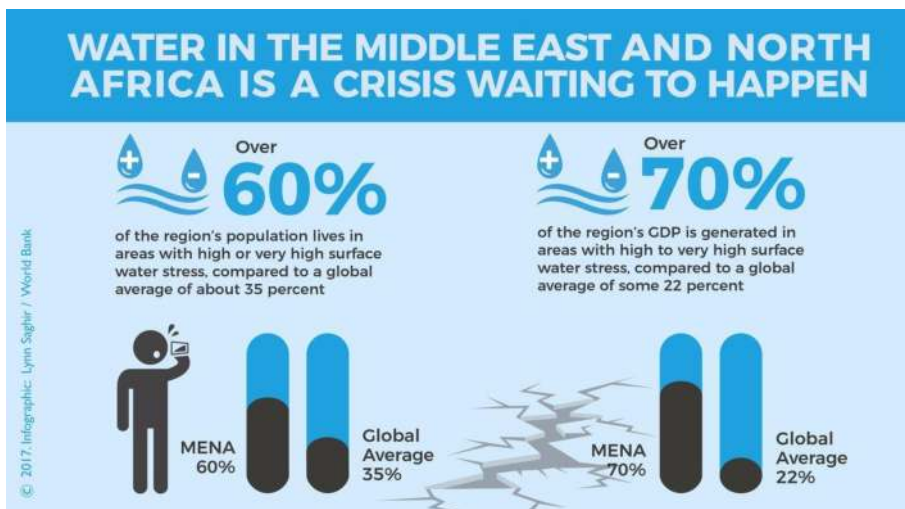


Figura 5-4: Scarsità di risorse idriche nei Paesi del Medio Oriente e Nord Africa (World Bank Water, 2017).

Si prevede un incremento anche della richiesta di acqua per lavorazioni industriali, tra 50% e 100% entro il 2050, soprattutto nelle regioni Balcaniche e in Francia. L'incremento atteso di popolazione, soprattutto nelle aree urbane delle coste meridionali e orientali del bacino mediterraneo, insieme a un crescente tasso di urbanizzazione (Deppisch & Dittmer, 2015) causeranno non solo un'elevata richiesta di risorse idriche ma anche ad un ulteriore deterioramento della qualità delle acque stesse. Poter soddisfare la crescente domanda di acqua potabile sia per irrigazione, che per uso domestico e produttivo è un problema molto complesso, che spesso

comporta conflitti tra gli utenti delle acque di falda e proprietari terrieri, o addirittura tra nazioni in qualche caso.

Anche le inondazioni, che saranno sempre più intense e frequenti, a differenza di quanto si possa pensare, provocheranno ulteriori danni alle reti idriche e ai sistemi di stoccaggio delle acque (Balaban & Şenol Balaban, 2015).

Il paragrafo che segue vuole sintetizzare, senza la pretesa di poter essere esaustivo, alcune delle *best practice* diffuse a livello internazionale per far fronte ai due fenomeni, strettamente interrelati, oggetto del capitolo. Alcune delle buone pratiche presentate sono state sviluppate proprio per il bacino del mar Mediterraneo.

### **5.3 Alcune *best practices*: l'adattamento e la mitigazione per ottimizzare la gestione delle acque**

Spesso i piani e le strategie per implementare una buona gestione delle acque e far fronte ai rischi connessi alle inondazioni (o eventi siccitosi) si concentrano esclusivamente su aspetti di carattere tecnologico (idraulico o ingegneristico). Questo approccio ignora tutti gli aspetti ambientali, ecologici, socioeconomici e politici che influenzano gli impatti degli eventi climatici estremi, oltre che la vulnerabilità delle comunità che ne sono investite. Ovviamente, non è possibile poter controllare in pieno il verificarsi di tali eventi, pertanto professionisti, *stakeholders*, *decision makers* e cittadini dovrebbero concentrare le proprie risorse sull'incrementare la resilienza delle città in cui vivono rispetto agli impatti di questi fenomeni (Tulisi, 2017). La gestione delle inondazioni urbane e degli eventi siccitosi ha direttamente ed esplicitamente a che fare con l'approvvigionamento di acqua potabile, con lo smaltimento delle acque reflue e delle acque superficiali, controllando la quantità di acqua piovana e gli effetti delle precipitazioni sulla qualità dell'acqua.

Considerando la complessità dei sistemi urbani e la moltitudine di elementi fisici e funzionali su cui questi fenomeni hanno effetti, è necessario progettare piani e strategie di mitigazione e adattamento di questi eventi climatici estremi in modo integrato. A tal proposito, l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (2012) ha

individuato quattro possibili approcci da seguire per la progettazione di buone pratiche di resilienza ed adattamento, da seguire in modo che possano essere tutte integrate in strumenti utili ai decisori pubblici, agli stakeholder e ai cittadini.

Il primo approccio è di tipo *hazard-based* e si concentra sulle caratteristiche fisiche e le capacità infrastrutturali e tecniche dell'ambiente rurale per controllare tanto le inondazioni quanto una eventuale scarsità di risorse idriche, nel caso di prolungati eventi siccitosi. L'adattamento climatico attraverso questo approccio consiste nell'abbinare le caratteristiche progettuali e le capacità delle infrastrutture di controllo e smaltimento delle acque alle precipitazioni previste. Le strutture potrebbero essere rinforzate o opportunamente dimensionate per soddisfare nuovi requisiti. Se interventi migliorativi alle infrastrutture non sono possibili o non convenienti dal punto di vista economico, elementi adattivi non strutturali potrebbero essere integrati, come mezzo per ridurre il rischio residuo.

L'approccio basato sulla vulnerabilità prevede di limitare le vulnerabilità della popolazione colpita considerando le attività economiche e il grado di sviluppo delle aree, l'intensità e la frequenza delle inondazioni o di eventi siccitosi, il consumo del suolo, gli impatti previsti sullo sviluppo delle attività e sulla domanda di risorse essenziali da parte delle comunità.

Le condizioni di vulnerabilità possono essere migliorate attraverso strategie di sviluppo economico che sono generalmente al di fuori dell'ambito delle politiche e dei piani di gestione delle alluvioni.

Il secondo approccio, di tipo *policy-based* si struttura intorno ai seguenti principi (WMO, 2009):

- L'adattamento ai cambiamenti climatici di breve periodo rappresenta un punto di partenza per ridurre la vulnerabilità di lungo periodo al surriscaldamento globale;
- Le politiche e le misure di adattamento sono valutate meglio in un contesto di sviluppo;
- La strategia di adattamento e il processo attraverso cui si implementa sono egualmente importanti.

Questo approccio si concentra sullo sviluppo di lungo periodo, alla scala nazionale e regionale, puntando sulla pianificazione economica e finanziaria, sull'istruzione, sanità, agricoltura, sicurezza alimentare e ambientale, che rappresentano le basi per un'azione mirata a livello locale (urbano) attraverso il coinvolgimento di gruppi sociali, società civile, organizzazioni e privati.

L'approccio adattivo punta sulla generale capacità delle comunità di adattarsi ad eventi climatici estremi ed improvvisi ed esserne resiliente, di fronte ad eventi estremi e a tendenze avverse di più lunga durata. Questa capacità dipende fortemente dalla possibilità di migliorare e condividere la conoscenza rispetto al cambiamento climatico, ai suoi effetti e all'adattamento degli insediamenti umani a tali fenomeni, creando migliori capacità previsionali e di preallarme, e generalmente migliorando il livello socioeconomico della popolazione.

Nel corso dell'ultimo decennio, diverse città di tutto il mondo hanno lavorato per implementare piani volti ad integrare conoscenze, innovazioni tecnologiche ed ingegneristiche, strategie economiche e finanziarie per rendere più resilienti i proprio contesti urbani, con l'obiettivo di mitigare i fenomeni connessi al surriscaldamento globale, ma soprattutto di adattarne agli irreversibili ed inevitabili impatti i propri spazi, costruiti e no.

Wuhan, la capitale della regione di Hubei, in Cina, è tra queste (Figura 5-5). Wuhan era conosciuta come la città "dei cento laghi". Si contavano solo nell'area centrale della città 127 laghi al 1980, ma decenni di rapida urbanizzazione ne hanno preservati solo 30. Inoltre, la città si trova sulle sponde dei fiumi Yangtze e Han e, soprattutto durante le stagioni monsoniche estive è sempre stata vittima di frequenti inondazioni (Dai et al., 2018). I nomi delle strade sono spesso l'unico ricordo degli specchi d'acqua che sono stati prosciugati per permetterne l'edificazione ma, nel 2016, dopo una settimana di piogge torrenziali, quelle strade sono state nuovamente inondate: 14 persone persero la vita a seguito del verificarsi di questo evento estremo e alcune comunità urbane furono temporaneamente isolate dal resto della città. I danni causati ammontano a 2.3 bilioni di yuan (circa 263 milioni USD).



Figura 5-5: Stadio della squadra di calcio locale completamente allagato a seguito di precipitazioni molto intense (Wuhan, 2016).

L'elevazione della città rispetto ai due fiumi e il prosciugamento dei laghi hanno sicuramente contribuito al verificarsi di questi ingenti danni. Le inondazioni del 2016 erano un serio campanello d'allarme: dal momento che le proiezioni demografiche della città di Wuhan prevedono oltre 10 milioni di residenti entro il 2035, la situazione è ancora oggi molto critica.

Dal 2015, Wuhan era stata dichiarata una tra le 16 "città spugna" dell'intera Cina – aree pilota di soluzioni alternative, *ecologically friendly*, ai tradizionali sistemi di difesa e di drenaggio delle acque (Peng & Reilly, 2021). A seguito degli eventi del 2016, il ritmo di implementazione dei progetti è stato accelerato, producendo per due distretti pilota, Qingshan e Sixin, 228 progetti, per adattare spazi pubblici, scuole e aree residenziali e migliorarne le capacità di assorbimento e drenaggio delle acque. Ad oggi, più di 38.5 km<sup>2</sup> della città sono stati riconvertiti, per un costo di 11 miliardi di yuan.

L'obiettivo dell'intero progetto è garantire che l'80% della città raggiunga determinati standard di assorbimento entro il 2030. Rispetto alle condizioni locali, i progetti spugna dovranno assorbire dal 60% all'85% (17.6-35.2 mm/d) delle precipitazioni annuali, raggiungere la capacità di resistere ad eventi temporaleschi



con periodo di ritorno di 50 anni e garantire una più salubre gestione delle acque reflue, sia bianche (acqua piovana) che nere (acqua reflua).

Il “Wuhan Sponge City Programme” non è solo un progetto edilizio che prescinde dagli altri piani urbanistici, anzi. Il programma è interdipendente dal quadro del Piano ecologico della città (*Wuhan ecological planning framework*) e prevede la cooperazione di dipartimenti differenti: gestione delle acque, trasporti e infrastrutture, paesaggio, etc. (Griffiths et al., 2020). Attraverso un sistema gestionale multilivello è stato stabilito l'intero programma, che prevede l'implementazione di soluzioni ingegneristiche, tecnologiche e naturalistiche, per il controllo delle infrastrutture verdi e blu, per l'assorbimento delle acque in eccesso dalla fonte, e grigie per evitare che possano verificarsi danni seri alle reti di trasporto, agli edifici residenziali e di emergenza (ospedali). Allo stesso tempo il programma prevede una serie di interventi non ingegneristici per gestire la manutenzione ordinaria e la risposta della popolazione in caso di eventi estremi.

Un altro esempio di pianificazione integrata per la gestione di rischi connessi alle inondazioni proviene dalla città di Sanibel (Beever & Walker, 2013), localizzata su un'isola al largo della costa occidentale dello Stato della Florida (US) (Figura 5-6).



Figura 5-6: Isola di Sanibel (Florida, US). Dicembre 2018

L'intera area è considerata ad elevato rischio inondazioni per l'Agencia Federale di Gestione dell'Emergenze (Federal Emergency Management Agency – FEMA), a causa della bassa elevazione del territorio sul livello medio del mare e della localizzazione nel Golfo del Messico, sottoposto a precipitazioni stagionali molto intense, come uragani e tempeste tropicali. Il piano, progettato nel 2018, prevede l'implementazione di strategie e progetti sia per il pronto allertamento dei residenti che per adattare il territorio al verificarsi di tempeste tropicali o uragani.

Altri esempi di pianificazione strategica volta a mitigare il rischio di inondazioni e siccità e adattare i propri territori per limitarne gli impatti di questi eventi climatici estremi sono di seguito riportati. Si tratta di esperienze sviluppate per diverse aree costiere, promosse dall'Unione per il Mediterraneo: dalla Croazia al Libano, dalla Tunisia al Portogallo. Tra queste c'è il Piano di gestione della costa della contea Šibenik-Knin, in Croatia. Il piano prende in considerazione l'impatto del cambiamento climatico, specialmente il rischio di inondazioni e incendi boschivi, nello sviluppo della linea di costa e di insediamenti turistici.

In Libano, l'Unione delle Municipalità del Distretto di Bint Jbeil sta lavorando per proteggere specchi d'acqua, implementando soluzioni di tipo *nature-based*, incrementando la copertura forestale e prevenire il rischio incendio attraverso il rimboschimento di zone protette, distribuendo gratuitamente alberi forestali e da frutto ai residenti, in modo da incoraggiare le popolazioni locali alla piantumazione di alberi, e incoraggiando la formazione professionale di nuove squadre di vigili del fuoco.

In Tunisia, l'*Association du développement et études stratégiques de Médenine* ha eseguito lavori idraulici per la costruzione di dighe e serbatoio per trattenere acqua piovana ed integrare le risorse idriche disponibili. Questi interventi hanno reso possibile un incremento della produzione agricola e di prodotti alimentari come olive, fichi, grano e foraggio che ha permesso un conseguente aumento delle rendite di imprenditori agricoli e attratto la popolazione più giovane in questa area, grazie a prospettive economiche più ottimistiche.

In Portogallo, la Facoltà di Scienze dell'Università di Lisbona ha organizzato un programma per preparare le autorità locali ad implementare politiche che rispondano alle richieste generate dalle emergenze del cambiamento climatico. Il programma include corsi di formazione, la creazione di network professionali ed accademici per lo sviluppo di strategie di adattamento al cambiamento climatico per 26 città portoghesi.

## Riferimenti bibliografici

- Alston, M., & Kent, J. (2004). *Social impacts of drought*. Centre for Rural Social Research, Charles Sturt University, Wagga Wagga, NSW. ISBN 1 86467 149 1.
- Amponsah, W., Ayril, P.-A., Boudevillain, B., Bouvier, C., Braud, I., Brunet, P., Delrieu, G., Didon-Lescot, J.-F., Gaume, E., Lebouc, L., Marchi, L., Marra, F., Morin, E., Nord, G., Payrastre, O., Zoccatelli, D., and Borga, M. (2018). Integrated high-resolution dataset of high-intensity European and Mediterranean flash floods, *Earth System Science Data*, 10, 1783–1794. <https://doi.org/10.5194/essd-10-1783-2018>
- Amponsah, W., Marra, F., Marchi, L., Roux, H., Braud, I., & Borga, M. (2020). Objective analysis of envelope curves for peak floods of European and Mediterranean flash floods. In *Climate Change, Hazards and Adaptation Options* (pp. 267-276). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-37425-9\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-37425-9_14)
- Asad, R., Ahmed, I., Vaughan, J. and von Meding, J. (2021). Traditional water knowledge: challenges and opportunities to build resilience to urban floods. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/IJDRBE-08-2020-0091>
- Balaban, O., & Şenol Balaban, M. (2015). Adaptation to Climate Change: Barriers in the Turkish Local Context. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 7-22. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/3650>
- Benassi, F., Cividino, S., Cudlin, P., Alhuseen, A., Lamonica, G. R., & Salvati, L. (2020). Population trends and desertification risk in a Mediterranean region, 1861-2017. *Land Use Policy*, 95, 104626. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104626>
- Beever III, J., & Walker, T. (2013). Estimating and Forecasting Ecosystem Services within Pine Island Sound, Sanibel Island, Captiva Island, North Captiva Island, Cayo Costa Island, Useppa Island, Other Islands of the Sound, and the Nearshore Gulf of Mexico. Southwest Florida Beever and Walker Total ecosystem services. [[http://chnep.wateratlas.usf.edu/upload/documents/Estimating\\_Forecasting-Ecosystem-Services-2013.pdf](http://chnep.wateratlas.usf.edu/upload/documents/Estimating_Forecasting-Ecosystem-Services-2013.pdf)]
- Bradford, J. B., Schlaepfer, D. R., Lauenroth, W. K., & Palmquist, K. A. (2020). Robust ecological drought projections for drylands in the 21st century. *Global change biology*, 26(7), 3906-3919. <https://doi.org/10.1111/gcb.15075>
- Brassoulis, H. (Ed.). (2017). *Policy integration for complex environmental problems: The example of Mediterranean desertification*. Taylor & Francis. ISBN: 798-0-7546-4243-5
- Brunner, M. I., Slater, L., Tallaksen, L. M., & Clark, M. (2021). Challenges in modeling and predicting floods and droughts: A review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 8(3), e1520. <https://doi.org/10.1002/wat2.1520>
- Bucchignani, E., Mercogliano, P., Panitz, H. J., & Montesarchio, M. (2018). Climate change projections for the Middle East–North Africa domain with COSMO-CLM at different spatial resolutions. *Advances in Climate Change Research*, 9(1), 66-80. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2018.01.004>
- Burke, M., Craxton, M., Kolstad, C. D., Onda, C., Allcott, H., Baker, E., Barrage, L., Carson, R., Gillingham, K., Graff-Zivin, J., Greenstone, M., Hallegatte, S., Hanemann, W. M., Heal, G., Hsiang, S., Jones, B., Kelly, D. L., Kopp, R., Kotchen, M., Mendelsohn, R., Meng, K., Metcalf, G., Moreno-Cruz, J., Pindyck, R., Rose, S., Rudik, I., Stock, J. & Tol, R. S. (2016).

- Opportunities for advances in climate change economics. *Science*, 352(6283), 292-293. <https://doi.org/10.1126/science.aad9634>
- Camargo, J., Barcena, I., Soares, P. M., Schmidt, L., & Andaluz, J. (2020). Mind the climate policy gaps: climate change public policy and reality in Portugal, Spain and Morocco. *Climatic Change*, 161(1), 151-169. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02646-9>
- Cammalleri, C., Arias-Muñoz, C., Barbosa, P., de Jager, A., Magni, D., Masante, D., Mazzeschi, M., McCormick, N., Naumann, G., Spinoni, J., and Vogt, J. (2021). A revision of the Combined Drought Indicator (CDI) used in the European Drought Observatory (EDO), *Natural Hazards Earth System Science*, 21, 481–495. <https://doi.org/10.5194/nhess-21-481-2021>.
- Chadwick, C., Gironás, J., Barría, P., Vicuña, S., & Meza, F. (2021). Assessing Reservoir Performance under Climate Change. When Is It Going to Be Too Late If Current Water Management Is Not Changed?. *Water*, 13(1), 64. <https://doi.org/10.3390/w13010064>
- Chiang, F., Mazdiyasi, O., & AghaKouchak, A. (2021). Evidence of anthropogenic impacts on global drought frequency, duration, and intensity. *Nature communications*, 12(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22314-w>
- Chitwatkulsiri, D., Miyamoto, H., & Weesakul, S. (2021). Development of a Simulation Model for Real-Time Urban Floods Warning: A Case Study at Sukhumvit Area, Bangkok, Thailand. *Water*, 13(11), 1458. <https://doi.org/10.3390/w13111458>
- Cook, B. I., Mankin, J. S., Marvel, K., Williams, A. P., Smerdon, J. E., & Anchukaitis, K. J. (2020). Twenty-first century drought projections in the CMIP6 forcing scenarios. *Earth's Future*, 8(6), e2019EF001461. <https://doi.org/10.1029/2019EF001461>
- Dahal, P., Shrestha, M. L., Panthi, J., & Pradhananga, D. (2020). Modeling the future impacts of climate change on water availability in the Karnali River Basin of Nepal Himalaya. *Environmental research*, 185, 109430. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109430>
- Dai, L., van Rijswick, H. F., Driessen, P. P., & Keessen, A. M. (2018). Governance of the Sponge City Programme in China with Wuhan as a case study. *International Journal of Water Resources Development*, 34(4), 578-596. <https://doi.org/10.1080/07900627.2017.1373637>
- Danandeh Mehr, A., Sorman, A. U., Kahya, E., & Hesami Afshar, M. (2020). Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: case study of Ankara, Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, 65(2), 254-268. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1691218>
- Deppisch, S., & Dittmer, D. (2015). Urban Planning Dealing with Change and Infrastructure. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 8(2), 131-144. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/2982>
- Ding, Y., Hayes, M.J. and Widhalm, M. (2011), "Measuring economic impacts of drought: a review and discussion", *Disaster Prevention and Management*, Vol. 20 No. 4, pp. 434-446. <https://doi.org/10.1108/09653561111161752>
- Di Sante, F., Coppola, E., & Giorgi, F. (2020). Future projections of river floods over the European region using EURO-CORDEX simulations. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (p. 15847). <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-15847>
- Egidi, G., Cividino, S., Paris, E., Palma, A., Salvati, L., & Cudlin, P. (2021). Assessing the impact of multiple drivers of land sensitivity to desertification in a Mediterranean country. *Environmental Impact Assessment Review*, 89, 106594. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106594>

- Fargeon, H., Pimont, F., Martin-StPaul, N., De Caceres, M., Ruffault, J., Barbero, R., & Dupuy, J. L. (2020). Projections of fire danger under climate change over France: where do the greatest uncertainties lie?. *Climatic Change*, 160(3), 479-493. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02629-w>
- Gaaloul, N., Eslamian, S., & Katlance, R. (2020). Impacts of climate change and water resources management in the southern mediterranean countries. *Water Productivity Journal*, 1(1), 51-72.
- Galderisi, A., & Ferrara, F. (2012). Enhancing urban resilience in face of climate change: a methodological approach. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 5(2), 69-88. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/936>
- Griffiths, J., Chan, F. K. S., Shao, M., Zhu, F., & Higgitt, D. L. (2020). Interpretation and application of Sponge City guidelines in China. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 378(2168), 20190222. <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0222>
- Gürbüz, A., Kazancı, N., Hakyemez, H. Y., Leroy, S. A., Roberts, N., Saraç, G., Ergun, Z., Boyraz-Arslan, S., Gürbüz, E., Koç, K., Yedek, O. & Yücel, T. O. (2021). Geological evolution of a tectonic and climatic transition zone: the Beyşehir-Suçla basin, lake district of Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 110(3), 1077-1107. <https://doi.org/10.1007/s00531-021-02007-x>
- Hayashi, M., Boerger, S., Zou, K., Simon, S., Freeman, M., & Eisenberg, J. N. (2021). Shared water facilities and risk of COVID-19 in resource-poor settings: a transmission modelling study. [[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3852199](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3852199)]
- Hawxwell, T., & Knieling, J. (2020). Adapting Cities to Climate Change: Institutional Change around Sustainable Urban Water Concepts in the City of Hamburg, Germany (No. DKT-12-44). Copernicus Meetings. <https://doi.org/10.5194/dkt-12-44>
- Hisdal, H., Tallaksen, L. M., Peters, E., Stahl, K., & Zaidman, M. (2000). Drought event definition. ARIDE Technical Rep, 6, 15. [[https://www.droughtmanagement.info/literature/UNIVERSITYofOSLO\\_Drought\\_Event\\_Definition\\_2000.pdf](https://www.droughtmanagement.info/literature/UNIVERSITYofOSLO_Drought_Event_Definition_2000.pdf)]
- Hirabayashi, Y., Tanoue, M., Sasaki, O., Zhou, X., & Yamazaki, D. (2021). Global exposure to flooding from the new CMIP6 climate model projections. *Scientific reports*, 11(1), 1-7. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83279-w>
- Kobiyama, M., & Goerl, R. F. (2007). Quantitative method to distinguish flood and flash flood as disasters. *SUISUI Hydrological Research Letters*, 1, 11-14. <https://doi.org/10.3178/suisui.1.11>
- Li, Y., Chen, Y., Wang, F., He, Y., & Li, Z. (2020). Evaluation and projection of snowfall changes in High Mountain Asia based on NASA's NEX-GDDP high-resolution daily downscaled dataset. *Environmental Research Letters*, 15(10), 104040. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba926/meta>
- Marchi, L., Borga, M., Preciso, E., & Gaume, E. (2010). Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *Journal of Hydrology*, 394(1-2), 118-133. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.017>
- Miranda, A., Lara, A., Altamirano, A., Di Bella, C., González, M. E., & Camarero, J. J. (2020). Forest browning trends in response to drought in a highly threatened mediterranean landscape of South America. *Ecological Indicators*, 115, 106401. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106401>

- Mosley, L. M. (2015). Drought impacts on the water quality of freshwater systems; review and integration. *Earth-Science Reviews*, 140, 203-214. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.11.010>
- Noel, M., Bathke, D., Fuchs, B., Gutzmer, D., Haigh, T., Hayes, M., Poděbradská, M., Shield, C., Smith, K. & Svoboda, M. (2020). Linking drought impacts to drought severity at the state level. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101(8), E1312-E1321. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0067.1>
- Nyiwul, L. (2021). Climate change adaptation and inequality in Africa: Case of water, energy and food insecurity. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123393. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123393>
- Peng, Y., & Reilly, K. (2021). Using Nature to Reshape Cities and Live with Water: An Overview of the Chinese Sponge City Programme and Its Implementation in Wuhan. [<http://growgreenproject.eu/wp-content/uploads/2021/01/Sponge-City-Programme-in-Wuhan-China.pdf>]
- Özerol, G., Dolman, N., Bormann, H., Bressers, H., Lulofs, K., & Böge, M. (2020). Urban water management and climate change adaptation: A self-assessment study by seven midsize cities in the North Sea Region. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102066. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102066>
- Rust, W., Bloomfield, J. P., Cuthbert, M. O., Corstanje, R., & Holman, I. P. (2021). Non-stationary control of the NAO on European rainfall and its implications for water resource management. *Hydrological Processes*, 35(3). <https://doi.org/10.1002/hyp.14099>
- Sun, F., Roderick, M. L., & Farquhar, G. D. (2018). Rainfall statistics, stationarity, and climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(10), 2305-2310. <https://doi.org/10.1073/pnas.1705349115>
- Tuel, A., & Eltahir, E. A. B. (2020). Why is the Mediterranean a climate change hot spot?. *Journal of Climate*, 33(14), 5829-5843. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0910.1>
- Tulisi, A. (2017). Urban Green Network Design: Defining green network from an urban planning perspective. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 10(2), 179-192. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/5156>
- Uzuner, Ç., & Dengiz, O. (2020). Desertification risk assessment in Turkey based on environmentally sensitive areas. *Ecological Indicators*, 114, 106295. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106295>
- Veríssimo, C. (2012). Spatial Resilience of Outdoor Domestic Space in Mozambique. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 5(2), 131-146. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/911>
- Wilhite, D. A., Svoboda, M. D., & Hayes, M. J. (2007). Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water resources management*, 21(5), 763-774. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9076-5>

## Sitografia

Association du Développement et des Études Stratégiques de Medenine (ADESM):  
<https://www.euromedwomen.foundation/pg/fr/profile/riadhbchir>

C40 Cities: [https://www.c40.org/case\\_studies/cities100-wuhan-waterlogging-prevented-by-sponge-infrastructure](https://www.c40.org/case_studies/cities100-wuhan-waterlogging-prevented-by-sponge-infrastructure)

Climate Adapt: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/integrating-climate-change-adaptation-into-coastal-planning-in-sibenik-knin-county-croatia>

Mediterranean Climate Change Adaptation: <https://www.medadapt-awards.com/en/competition-2019/>

Union for Mediterranean: <https://ufmsecretariat.org/>

World Meteorological Organization: <https://public.wmo.int/en>

World Water Bank: <https://www.worldbank.org/en/topic/water>



## Capitolo 6

L'innalzamento del livello medio del mare

## 6.1 I fattori contributivi dell'innalzamento del livello del mare

Il livello medio del mare è significativamente aumentato durante l'ultimo secolo, registrando una forte accelerazione da circa 20, 30 anni. La più recente misurazione satellitare del livello medio del mare (NASA, 2021) suggerisce un incremento di valore di  $98 (\pm 4)$  mm rispetto ai valori registrati via satellite dal 1993, come indica il grafico che segue (Figura 6-1). Pertanto, ad oggi, il livello medio del mare aumenta di  $3,3 (\pm 0,4)$  mm all'anno (Cazenave & Llovel, 2010; Garner et al., 2018; Grinsted, & Christensen, 2021). Attraverso dati e osservazioni risalenti alla fine del XIX secolo, il livello medio del mare sembra essere aumentato di circa 200 mm: di questi, circa la metà si è registrato solamente negli ultimi 25-30 anni. Ciò significa che il livello del mare non solo sta aumentando, cosa che pone già delle serie problematiche, ma lo sta facendo ad un ritmo sempre maggiore (Chen et al., 2017; Hoozemans & Hulsbergen, 2021). Secondo i dati dell'IPCC, si sarebbe passati da valori di innalzamento medi globali per anno di 1,4 mm dal 1901 al 1990, a valori di 2,1 mm dal 1970 al 2015, 3,2 mm dal 1993 al 2015 e 3,6 mm dal 2006 al 2015 (Figura 6-1).

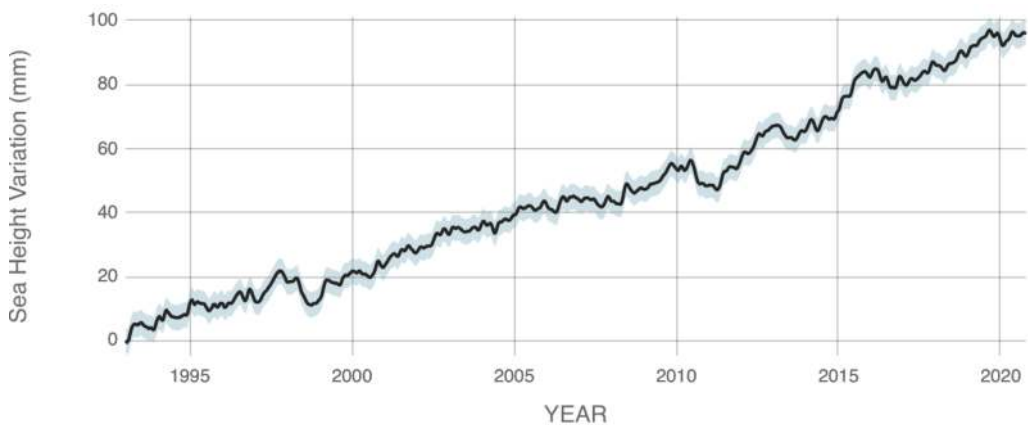


Figura 6-1: Incremento del livello medio del mare registrato da satellite, dal 1993 ad oggi (NASA).

Questo fenomeno rappresenta il prodotto della combinazione di più fattori e, dal momento che le attività antropiche continuano a produrre gas climalteranti, gli oceani ne hanno assorbito gli effetti (Cazenave & Nerem, 2004; Ericson et al., 2006;

Frederikse et al., 2020; Gehrels & Garrett, 2021). Infatti, i mari hanno assorbito più del 90% del calore proveniente dal riversarsi in atmosfera dei gas serra, con inevitabili impatti e cambiamenti sui nostri oceani (Sohail et al., 2021).

Le variazioni dei livelli del mare sono connesse a tre fattori principali, tutti direttamente o indirettamente indotti dal progressivo cambiamento climatico. Il primo di questi fenomeni è l'espansione termica dell'acqua. Quando la sua temperatura aumenta, l'acqua aumenta il suo volume. Si stima che circa la metà dell'innalzamento del livello del mare degli ultimi 25 anni sia attribuibile al riscaldamento delle acque (Raper et al., 1996; Anthoff et al., 2010; Powers et al., 2021).

Il secondo fattore contribuente è il progressivo scioglimento dei ghiacciai. Ogni estate, grandi formazioni di ghiaccio si sciolgono naturalmente; durante la stagione invernale, la neve che generalmente proviene dall'evaporazione delle acque marine è sufficiente per bilanciare questo fenomeno del tutto naturale (Dyurgerov & Meier, 2000; Sumner et al., 2004; Colucci & Guglielmini, 2019). Le persistenti alte temperature, causate dal generale surriscaldamento della terra, hanno causato tanto lo scioglimento di maggiori quantità di ghiaccio che una consistente riduzione delle precipitazioni di neve, a causa di inverni posticipati e, di contro, l'anticipazione di stagioni primaverili. La combinazione di queste condizioni comporta uno sbilanciamento tra le portate di acque in ingresso e l'evaporazione dell'oceano, provocando l'innalzamento del livello del mare (Blanco-Gómez et al., 2019; Karimi et al., 2021; Martin, 2021).

Il terzo fattore contribuente è la perdita delle calotte polari Antartiche e della Groenlandia. Così come per i ghiacciai montani, l'aumento delle temperature medie ha causato uno scioglimento molto più veloce delle calotte di ghiaccio in queste aree. Le comunità scientifiche credono che le infiltrazioni di acqua di disgelo in acqua marina lubrificano i ghiacci, causandone più veloci movimenti in acqua. Mentre lo scioglimento della calotta polare nella regione occidentale ha catturato per anni l'attenzione degli scienziati, anche l'area orientale ora sembra mostrare segni di destabilizzazione (Dowdeswell et al., 1997; Anesio & Laybourn-Parry, 2021;

Sharp et al., 2021). Dal momento che il livello del mare si innalza così velocemente, come dimostrano le osservazioni, anche un piccolo incremento può avere effetti devastanti sugli insediamenti costieri: erosione distruttiva, alluvioni, contaminazione delle falde acquifere e dei suoli agricoli con acqua marina, e problemi all'habitat di pesci, uccelli e piante (Figura 6-2).



Figura 6-2: L'effetto combinato di alta marea e innalzamento del livello dei mari sulla costa di San Jacinto, in Ecuador.

L'innalzamento del livello medio del mare sarà poi combinato al verificarsi di più pericolosi e frequenti uragani e tifoni che contribuiranno a generare tempeste più potenti, capaci di distruggere tutto ciò che troveranno sulla propria traiettoria. Secondo alcuni studi, tra il 1963 e il 2012, circa la metà delle morti registrate per uragani atlantici è dovuta al verificarsi di *storm surges* (McInnes et al., 2003; Von Storch & Woth, 2008; Zhang & Wang, 2021), ossia all'innalzamento del mare durante cicloni tropicali, intensi temporali, tifoni o uragani.

Inoltre, il presentarsi di frequenti inondazioni in aree costiere sta forzando la popolazione a migrare in luoghi a maggiore altitudine mentre milioni di persone sono divenute più vulnerabili al rischio di alluvioni e altri effetti dovuti ai cambiamenti climatici. Le prospettive di livelli d'acqua lungo le coste più alti

minaccia la disponibilità e la qualità di servizi base, quali l'accesso ad Internet, dal momento che la gran parte delle infrastrutture di comunicazione si trova in aree vicine alla costa. Molti modelli previsionali affermano che il surriscaldamento del pianeta continuerà, accelerando il suo irreversibile progresso, anche con l'implementazione di buone pratiche politiche per mitigare l'emissione di gas climalteranti, per l'effetto ritardante dell'atmosfera terrestre. Verosimilmente, il livello medio del mare continuerà a crescere. Ciò significa che centinaia di città costiere saranno minacciate da questo serio rischio. Prevedere quanto e quando i mari aumenteranno il proprio livello medio rimane un interrogativo di molte ricerche in corso. Il più recente report pubblicato dall'IPCC prevede che al 2100 potremmo aspettarci un innalzamento tra 26 e 77 cm, con un incremento di temperatura di 1,5°C. Questi numeri sarebbero già sufficienti per compromettere gravemente alcune tra le più grandi città del mondo (Figura 6-3).

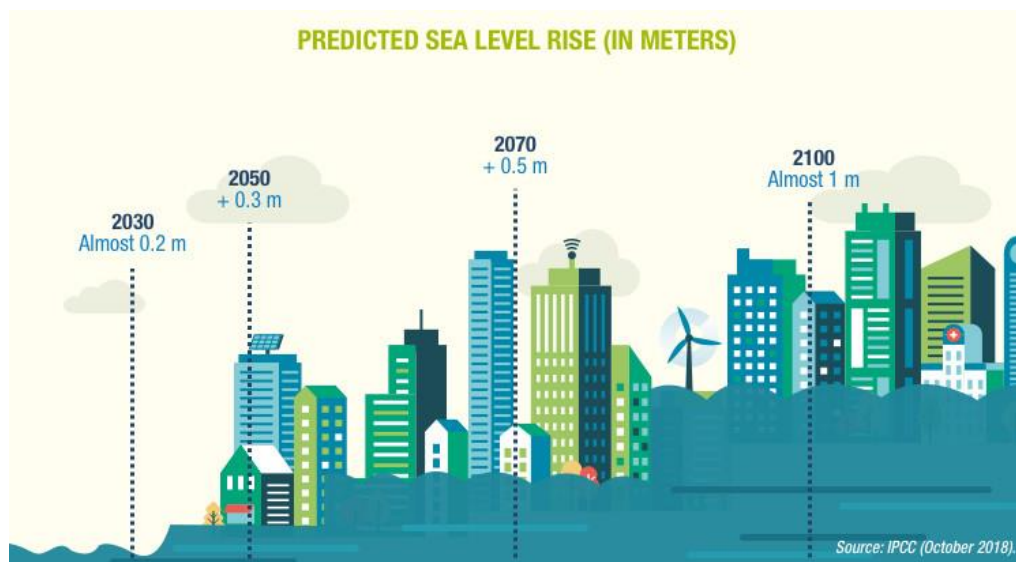


Figura 6-3: IPCC, 2018.

Altre analisi condotte a partire dai dati satellitari raccolti da NASA e ESA prevedono un innalzamento medio di 65 cm entro la fine del secolo. Inoltre, se tutto il ghiaccio esistente oggi sulla Terra si sciogliesse, il livello del mare si porterebbe a quota +216 piedi (circa 7 km): intere nazioni scomparirebbero, dalla Florida al

Bangladesh. Questo non è lo scenario più verosimile per gli scienziati, ma potrebbe eventualmente verificarsi, tra qualche secolo, senza l'intervento di azioni tanto di mitigazione che di adattamento al cambiamento climatico (Lincke & Hinkel, 2021).

## 6.2 Quale futuro per le città della costa mediterranea?

Come per gli oceani e i mari dell'intero pianeta, anche il Mediterraneo, a causa dell'innalzamento delle temperature e dello scioglimento delle calotte polari artiche e della Groenlandia, ha subito un incremento del suo livello medio con un tasso di circa +0,7 mm all'anno dal 1945 al 2000 e di +1,1 mm, tra il 1970 e il 2006. Anche per il nostro mare si è registrato un forte e netto incremento durante gli ultimi due decenni, raggiungendo un innalzamento di circa 3 mm all'anno (Jeftic et al., 1992; Day et al., 1995; Snoussi et al., 2008; Tsimplis et al., 2008). Come evidenziato nel paragrafo precedente ci sono ancora molti interrogativi rispetto al verificarsi di questo fenomeno: di quanto si innalzerà il livello medio del mare e quando restano ad oggi interrogativi insoluti, oggetto di numerose ricerche, ancora in corso.



Figura 6-4: Densità della popolazione e entri urbani nel bacino del Mediterraneo (UNDESA Population division, 2011).

Queste incertezze si amplificano nel contesto del Mar Mediterraneo, a causa della sua connessione, attraverso lo Stretto di Gibilterra, all'Oceano Atlantico. Pertanto, le previsioni locali sono ancora più incerte delle previsioni su scala globale, dal momento che i modelli climatici perdono di significatività proprio per le innumerevoli interazioni tra l'Oceano Atlantico e il mar Mediterraneo. Inoltre, le peculiarità delle

coste, i cambiamenti regionali nelle portate dei fiumi, che possono provocare cambi di salinità nelle acque di falda oltre che significativi smottamenti di terreno, soprattutto nella regione orientale del bacino, devono essere necessariamente presi in considerazione.

Ad aggiungersi agli impatti dell'innalzamento globale del livello del mare, anche la circolazione delle correnti marine potrebbero subire considerevoli modifiche, generando variazioni interregionali e intraregionali rispetto al fenomeno dell'innalzamento del livello del mare, con differenze fino a 10 cm.



Figura 6-5: Infrastrutture di trasporto lungo le coste Mediterranee (Plan Bleu, 2003).

Il verificarsi di queste condizioni, senza l'implementazione di alcuna misura di mitigazione di adattamento al cambiamento climatico potrebbero impattare non poco il delicato sistema economico, sociale e ambientale degli insediamenti urbani del Mediterraneo: al 2100 si prevede che gran parte delle coste del Sud Italia vengano inondate, così come le isole Baleari e alcune regioni della Spagna.

I cambiamenti climatici e ambientali, così come le instabilità sociali, economiche e politiche minacciano la sicurezza degli insediamenti antropici. Nella regione del Mediterraneo circa il 40% della costa è stato edificato e trasformato dall'attività umana, come dimostrano le Figure 6-4 e 6-5, che rappresentano rispettivamente la



distribuzione di popolazione e dei centri urbani e la distribuzione delle infrastrutture di trasporto lungo le coste Mediterranee. Un terzo della popolazione (circa 150 milioni di persone) vive in prossimità del mare e gran parte delle infrastrutture si trovano proprio lungo le linee di costa, grazie alla limitata escursione di marea del bacino Mediterraneo. Come conseguenza, l'innalzamento del livello del mare, sempre più frequenti mareggiate e inondazioni impatteranno porti, città e altre infrastrutture costiere, così come spiagge e attrazioni turistiche intorno al Mediterraneo. Circa 15 mega città (città con oltre 1 milione di abitanti) sono fortemente a rischio, a meno che non vengano adottate e implementate efficaci misure di adattamento.

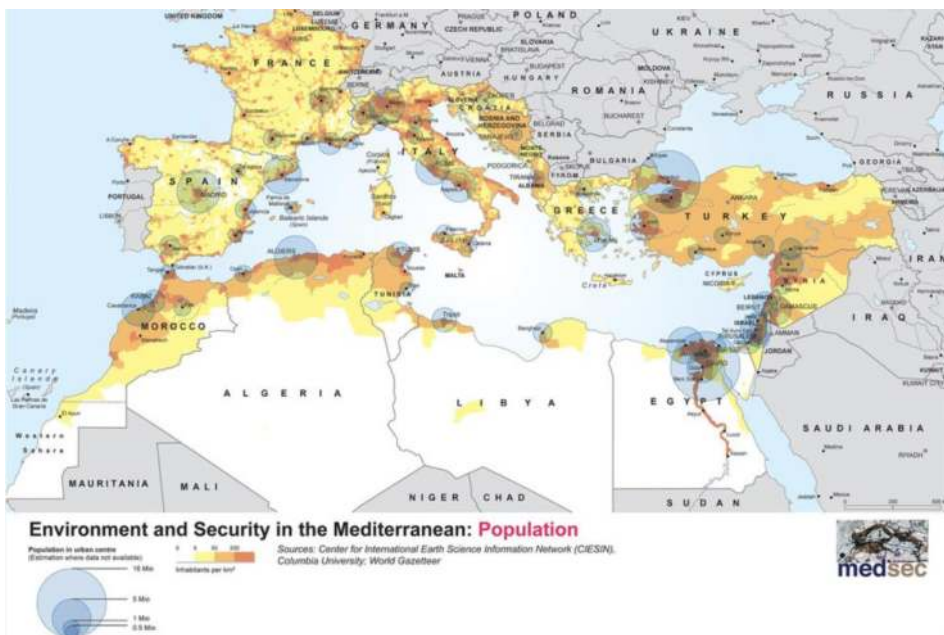


Figura 6-6: Sicurezza ambientale nel Mediterraneo e distribuzione della popolazione.

La mappa in Figura 6-6 evidenzia la localizzazione delle *megacity* del Mar Mediterraneo e dimostra quanto la popolazione si sia distribuita con maggiore densità proprio lungo la costa. Infatti, al 2050, anche per gli scenari più ottimistici con previsioni di innalzamento del livello del mare minime, le città del Mediterraneo rappresenteranno la metà della 20 città mondiali con il più incremento medio di danni annuali.



Anche rispetto a questo fenomeno, per ragioni sociali ed economiche, la capacità adattiva del sud del Mediterraneo è generalmente più bassa che per le nazioni del Nord Mediterraneo. Ciò rende queste nazioni più vulnerabili alle conseguenze dovute agli impatti sugli insediamenti e infrastrutture costiere e marittime.

Più in dettaglio, le aree a rischio più elevato sono localizzate nella regione sud-orientale del bacino e tra queste si annoverano il Marocco, l'Algeria, la Libia, l'Egitto, la Palestina e la Siria. Nella regione Nord-Africana, un innalzamento del livello medio del mare di circa 1 m potrebbe impattare approssimativamente 41.500 km<sup>2</sup> di territorio e circa 37 milioni di persone (11% della popolazione residente in queste aree).

Per quanto concerne i siti UNESCO localizzati sulle coste del Mediterraneo, le valutazioni della delegazione Mediterranea UNESCO dei *World Heritage Sites* (WHS) hanno dimostrato che dei 49 siti di interesse localizzati in aree costiere molto basse, ben 37 sono a rischio (Pernetta & Elder, 1992; Reimann et al., 2018) per il presentarsi di inondazioni con periodo di ritorno di 100 anni, mentre 42 per erosione della costa, già oggi (Figura 6-6).

Questo significa che i decisori pubblici e gli *stakeholder* sono urgentemente chiamati all'azione sia per mitigare gli effetti del cambiamento climatico, che per adattare le città ad inevitabili, oltre che irreversibili, variazioni dei delicatissimi ecosistemi, urbani ed ambientali (Salata & Yiannakou, 2016).

Nel prossimo paragrafo sono raccontate alcune delle esperienze più efficienti, implementate nel mondo o in corso di realizzazione per far fronte al fenomeno dell'innalzamento del livello del mare, riportando esperienze provenienti tanto da paesi in via di sviluppo che sviluppati.

### **6.3 Alcune *best practices*: l'adattamento e la mitigazione per proteggere le coste**

Così come per la mitigazione e l'adattamento ai fenomeni affrontati nei capitoli precedenti (ondate di calore, inondazioni e siccità), anche per l'innalzamento del livello del mare è necessario intervenire con approccio integrato: oltre alla

progettazione delle soluzioni ingegneristiche più efficienti, rispetto ai costi e ai benefici, è necessario intervenire anche sulla comunicazione e la sensibilizzazione delle comunità residenti, perché le soluzioni siano davvero efficaci. In questo modo è possibile sia (i) proteggere i territori, in questo caso le aree costiere, riducendo la verosimiglianza che si verifichi il fenomeno stesso, (ii) adattare le regioni potenzialmente interessate, riducendone la vulnerabilità e, infine, (iii) prevenire dalle possibili conseguenze riducendo l'esposizione delle città e delle infrastrutture (Scoppetta, 2016).

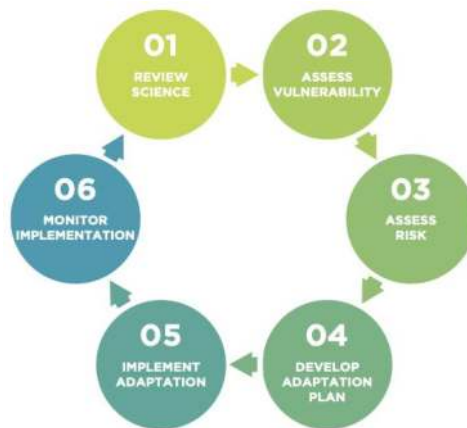


Figura 6-7: *Adaptation framework del Piano di Azione della città di San Francisco (2016).*

Ogni soluzione, dalla costruzione di strutture di difesa ad una migliore e più efficiente gestione delle emergenze, ha aspetti positivi e, inevitabilmente, più di un limite. Pertanto, per poter effettivamente ed efficacemente intervenire e limitare i danni dovuti agli irreversibili cambiamenti climatici è necessario integrare in uno o più strumenti decisionali una moltitudine di possibilità, proprio come nei casi studio di seguito riportati.

Il primo esempio è la città di San Francisco (California, US) che ha lavorato e sta lavorando all'implementazione del Piano di azione all'innalzamento del livello del mare. Il principio alla base della pianificazione della città, alla luce di un rischio concreto (le previsioni dei modelli climatici più ottimistici ipotizzano un'inondazione del 6% dei territori della città), è quello di adattarsi agli inevitabili e attesi impatti

del cambiamento climatico, attraverso l'adozione di un ciclo di governo delle trasformazioni del territorio, riassunto nella figura che segue.

Si tratta di una procedura di pianificazione ciclica, in cui si susseguono (e si ripetono) sei *step* consecutivi. Il primo *step* prevede l'intervento di esperti nel settore climatico per conoscere le previsioni dei modelli, globali, nazionali, regionali ed eventualmente locali. Le proiezioni e le strategie di adattamento identificate come più appropriate per la città di San Francisco saranno riviste e riviste nel tempo, seguendo l'evoluzione degli avanzamenti scientifici (Figura 6-7).

Il secondo e il terzo *step* prevedono la valutazione della vulnerabilità e del rischio cui sono sottoposti gli ambienti costruiti e no, oltre che dei potenziali danni. Il quarto punto della procedura ciclica consta nello sviluppo del piano di adattamento: una volta individuate gli *asset* prioritari di intervento, saranno individuate le strategie di adattamento più innovative, inclusive ed interdisciplinari. Il quinto *step* prevede l'implementazione delle azioni individuate, attraverso la programmazione dei singoli interventi e l'individuazione delle fonti di finanziamento. Il sesto punto della procedura ciclica prevede il monitoraggio delle diverse azioni implementate: si tratta di un passaggio fondamentale perché permetterà di evidenziare le azioni e le strategie più efficaci, così come conseguenze non programmate e nuovi dati che potrebbero diversamente indirizzare le azioni pianificate.

Seguendo questo approccio, il piano della città di San Francisco prevede la realizzazione di numerosi progetti, che includono azioni innovative orientate all'adattamento dei *waterfront* della città. Il piano promuove la gestione delle aree costiere attraverso l'implementazione di strategie di *accomodate, protect e retreat*: attraverso opere di dragaggio verrà disegnata una nuova linea di costa, ricostruendo porzioni del litorale da destinare ad usi ricreativi e flessibili, garantendone una pendenza molto dolce, intrinsecamente adattabile alla variabilità delle maree e costruendo opere a protezione delle principali infrastrutture di trasporto e di comunicazione.

Il piano prevede, inoltre, la riqualificazione di un'intera area, un'isola artificiale dell'estensione di 400 ettari: l'ex base militare di Treasure Island. Quando è stata

costruita nel 1937, l'isola era tra le più grandi mai realizzate dall'uomo. Nonostante l'isola sia localizzata al centro della baia di San Francisco e disconnessa dal resto della città, alcuni studiosi affermano che, paradossalmente, l'evoluzione di questo territorio ha significativamente influenzato le ambizioni urbane di tutta la città: inizialmente concepita per il primo l'aeroporto della città, nel 1939 e 1940 ha ospitato Golden Gate International Exposition (GGIE), per celebrare la conclusione dei lavori del Golden Gate e San Francisco–Oakland Bay Bridges. I programmi sono stati poi contaminati con l'avvento della Seconda Guerra Mondiale: il governo degli Stati Uniti sviluppò sia Treasure Island che l'adiacente Isola di Yerba Buena in una stazione di addestramento e trasferimento navale, che addestrò oltre 4.500.000 militari impegnati sul fronte del Pacifico (Figura 6-8).



Figura 6-8. Treasure Island, San Francisco (California, US) (Phliar/Flickr).

Oggi l'isola è fortemente minacciata dall'innalzamento del livello del mare ed è tornata ad essere uno dei fulcri degli sviluppi urbanistici dell'intera città di San Francisco, con un progetto che prevede la realizzazione di una eco-city (Raymond et al., 2017). I piani di sviluppo includono sia strategie di adattamento quanto azioni per una gestione della capacità adattiva dell'isola sul lungo periodo, per far fronte a mareggiate e un livello medio del mare sempre più alto. Pertanto, si prevede la

realizzazione di elementi a protezione degli edifici e delle strade, mentre le nuove edificazioni saranno arretrate rispetto alla linea di costa, per supportare futuri sviluppi del *waterfront* (Pirlone & Erriu, 2016). L'isola sarà equipaggiata di sistemi tecnologici per il monitoraggio e l'allertamento del livello medio del mare, per elaborare affidabili previsioni di rischio inondazioni. Ancora, tra le azioni di risposta è inclusa la realizzazione di argini perimetrali aggiuntivi e paratie, pompe per l'acqua piovana e la progettazione di aree costiere naturali (zone umide di marea e spiagge di ciottoli), per limitare i danni delle onde e permettere a residenti e turisti di accedere al litorale.

Un secondo significativo esempio di *best practice* per l'adattamento al cambiamento climatico proviene dalla città di Rotterdam, in Olanda.



Figura 6-9. Rotterdam Climate Change Adaptation Strategy (2014).

Rotterdam è situata nella parte occidentale del paese, nella provincia dell'Olanda Meridionale in corrispondenza dell'estuario del Reno nel Mare del Nord. Il territorio cittadino, attraversato dal fiume Nieuwe Maas, uno dei rami principali del Reno, è per la gran parte situato sotto il livello del mare, riparato da argini (Figura 6-9). Queste condizioni rendono la città particolarmente vulnerabile ai fenomeni attesi dal cambiamento climatico in essere, nonostante sia decisamente preparata ad affrontare eventi estremi, grazie ad un robusto sistema di difesa composto da dighe e paratie, canali e laghi, rete fognaria e stazioni di pompaggio. Questo sistema infrastrutturale, per quanto resistente e robusto, potrebbe non essere abbastanza per far fronte ai cambiamenti climatici attesi: l'adattamento significa trasformare la

città per renderla non solo più resistente, ma anche meno vulnerabile e più resiliente agli eventi estremi.

La strategia di adattamento della città di Rotterdam è nata dal confronto con stakeholder, decisori pubblici e cittadini, e pertanto prevede azioni ed interventi per gestire a 360° i fenomeni dovuti al cambiamento climatico. Gran parte delle risorse sono state destinate alla protezione della città da inondazioni dovute tanto all'innalzamento del mare quanto a più intense e frequenti precipitazioni (Kermani et al., 2020). La strategia di adattamento al cambiamento climatico (*Rotterdam Climate Change Adaptation Strategy*) prevede interventi a differente scala per adattare la città ai potenziali impatti del cambiamento climatico.



Figura 6-10: Floating Pavilion, Rotterdam 2014.

Il primo obiettivo è quello di creare una città a prova di clima (*climate proof*), per i residenti di Rotterdam di oggi e delle future generazioni. Allo stesso tempo, il piano prevede strategie e azioni tali da trasformare minacce dovute ai cambiamenti climatici in opportunità per potenziare il sistema economico della città, migliorarne le condizioni ambientali, rendere l'utilizzo di risorse naturali più efficiente e incrementare il coinvolgimento degli abitanti della città in questo processo di adattamento. Il Piano, in vigore dal 2014, prevede la realizzazione di tutti i progetti

previsti entro il 2025 in modo che ogni area della città possa essere protetta al massimo dal verificarsi di eventi estremi, ma allo stesso tempo che possa trarne i maggiori benefici, sociali ed economici, che ne conseguono. Nonostante il limite di tempo per l'implementazione del piano sia stato fissato sul breve periodo, lo sviluppo spaziale e strutturale della città terrà in conto dei cambiamenti climatici attesi nel medio e lungo periodo.

Tra gli interventi progettati, è stata prevista la realizzazione di dighe esterne alla città che proteggono il tessuto urbano più interno, ma allo stesso tempo ne sono parte integrante.

È il caso del Floating Pavilion (Figura 6-10), quartiere residenziale galleggiante, o del più recente Floating Office Rotterdam, destinato invece ad uffici e attività commerciali: si tratta di architetture progettate per poter resistere all'innalzamento del mare e sfruttare risorse rinnovabili per il proprio fabbisogno energetico.

La strategia di adattamento al clima prevede, inoltre, la costruzione di dighe interne il cui scopo principale è la prevenzione, insieme alla realizzazione di *water square*, come quella di Benthemplein. Nonostante il sistema di dighe regionali ad oggi riesca proteggere la città da eventi estremi, queste azioni si rendono comunque necessarie per preparare il sistema urbano a futuri scenari e limitarne la vulnerabilità, garantendo l'integrazione di queste misure nel tessuto della città stessa.

Il terzo esempio di best practice per l'adattamento urbano ai cambiamenti climatici è la città di Singapore (Figura 6-11). Il Climate Action Plan ha l'obiettivo di rendere la città resiliente ai cambiamenti climatici, garantendone comunque uno sviluppo nella direzione della sostenibilità, ambientale ed economica. La città di Singapore è nota per il suo ruolo di centro finanziario e commerciale, per il suo porto (secondo solo a Shanghai per volume di spedizioni), per la sua popolazione cosmopolita, ma la particolare conformazione geografica della città-stato asiatica, che sorge su un arcipelago all'estremità meridionale della Malesia, la espone a conseguenze potenzialmente drammatiche (Baumeister, 2021; Khader, 2021).

Negli ultimi sessant'anni le temperature della zona sono aumentate al ritmo di 0,25 gradi centigradi per decennio, il doppio rispetto alla media globale. Di questo passo,

entro il 2100 raggiungeranno picchi di 35-37°C. Insieme ad un più forte contrasto tra la stagione delle piogge (novembre – gennaio) e la stagione secca (febbraio – giugno), a causa di più intense ondate di calore e precipitazioni, la città sarà interessata da un innalzamento atteso del livello del mare compreso tra 0,25 m e 0,76 m entro il 2100, rispetto ai valori registrati tra il 1980 e il 2009. Il centro di ricerca sul clima del Servizio meteorologico nazionale ha messo a punto diverse proiezioni per il futuro; la più negativa ipotizza un innalzamento delle maree pari a oltre quattro metri. Alla luce di queste prospettive, circa 65 miliardi USD sono stati investiti per l'implementazione di un Piano di Adattamento ai cambiamenti climatici, che prevede la realizzazione di interventi e progetti a differenti scale. Ad oggi non tutti i dettagli del piano sono stati resi noti ma al centro del piano c'è tutta la linea di costa della città: un terzo di Singapore, compreso il centro finanziario, è a meno di 5 m dal livello medio del mare. Pertanto, il piano prevede la costruzione di dighe e paratie a protezione della città e la realizzazione di una catena di isole artificiali a largo della costa, tra loro collegate, per creare un enorme serbatoio.

Nel 2008 è stato aperto al pubblico Marina Barrage, un gigantesco bacino artificiale collocato alla confluenza di cinque fiumi. Il progetto, costato 150 milioni di euro, comprende un enorme spazio verde dedicato alle attività sportive, culturali e ricreative. Ma nasce anche da un'esigenza ben precisa: tenere a bada le alluvioni durante i periodi di forti piogge. Negli orari di bassa marea, infatti, nove porte si aprono per riversare l'acqua in eccesso verso il mare. Quando invece la marea è alta, a drenare l'acqua provvedono otto gigantesche pompe capaci di smuovere l'equivalente di una piscina olimpionica al minuto. Fino al 2030 proseguiranno i lavori per il quinto terminal dell'aeroporto (più grande di tutti gli altri messi assieme), strategicamente posizionato a 5,5 metri di altitudine e circondato da una rete di drenaggio di dieci chilometri, che terrà le piste al riparo dal mare. Sarà quindi questo il filo conduttore del Piano di adattamento ai cambiamenti climatici della città di Singapore.

Quello dell'adattamento non è però l'unico fronte su cui i decisori pubblici della città si sono impegnati. Singapore è il terzo mercato globale di scambio del petrolio, dopo



New York e Londra, ricava il 95 per cento dell'energia elettrica dal gas naturale ed è sede di colossali raffinerie e impianti petrolchimici. Ne consegue che, pur coprendo appena lo 0,0005 per cento della superficie globale, la città-stato contribuisca allo 0,11% delle emissioni mondiali.



Figura 6-11: Tramonto su Marina Barrage (Erwin Soo, 2012).

Nel suo insieme, il settore del petrolio e del gas naturale vale oltre 71 miliardi di euro. Ironia della sorte vuole che una delle aree più a rischio di essere sommerse sia la cittadella petrolifera di Jurong Island, sede di una serie di raffinerie e impianti petrolchimici di proprietà di Chevron, Exxon Mobil e Royal Dutch Shell.

Pertanto, decisori pubblici stanno cercando di promuovere buone pratiche di mitigazione, con una riduzione del 36% delle emissioni per unità di PIL tra il 2005 e il 2030 (Shaw et al., 2021). È stata, inoltre, introdotta una *carbon tax* per gli impianti più inquinanti (è la prima in assoluto nel Sudest asiatico) e ha iniziato a puntare in modo più deciso sulle rinnovabili. L'intento è quello di alimentare con i pannelli solari almeno una casa su quattro entro la fine del decennio.

## Riferimenti bibliografici

- Anesio, A. M., & Laybourn-Parry, J. (2021). Ecology of Arctic Glaciers. *Arctic Ecology*, 133-158. <https://doi.org/10.1002/9781118846582.ch6>
- Anthoff, D., Nicholls, R. J., & Tol, R. S. (2010). The economic impact of substantial sea-level rise. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15(4), 321-335. <https://doi.org/10.1007/s11027-010-9220-7>
- Blanco-Gómez, P., Jimeno-Sáez, P., Senent-Aparicio, J., & Pérez-Sánchez, J. (2019). Impact of climate change on water balance components and droughts in the Guajoyo River Basin (El Salvador). *Water*, 11(11), 2360. <https://doi.org/10.3390/w11112360>
- Baumeister, J. (2021). Re-Building Coastal Cities: 20 Tactics to Take Advantage of Sea-Level Rise. In *SeaCities* (pp. 1-18). Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-8748-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-15-8748-1_1)
- Cazenave, A., & Llovel, W. (2010). Contemporary sea level rise. *Annual review of marine science*, 2, 145-173. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-0115-0145.2010>
- Cazenave, A., & Nerem, R. S. (2004). Present-day sea level change: Observations and causes. *Reviews of Geophysics*, 42(3). <https://doi.org/10.1029/2003RG000139>
- Chen, X., Zhang, X., Church, J. A., Watson, C. S., King, M. A., Monselesan, D., Legresy, B. & Harig, C. (2017). The increasing rate of global mean sea-level rise during 1993–2014. *Nature Climate Change*, 7(7), 492-495. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE3325>
- Colucci, R. R., & Guglielmin, M. (2019). Climate change and rapid ice melt: Suggestions from abrupt permafrost degradation and ice melting in an alpine ice cave. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 43(4), 561-573. <https://doi.org/10.1177/0309133319846056>
- Day, J. W., Pont, D., Hensel, P. F., & Ibañez, C. (1995). Impacts of sea-level rise on deltas in the Gulf of Mexico and the Mediterranean: the importance of pulsing events to sustainability. *Estuaries*, 18(4), 636-647. <https://doi.org/10.2307/1352382>
- Dowdeswell, J. A., Hagen, J. O., Björnsson, H., Glazovsky, A. F., Harrison, W. D., Holmlund, P., Jania, J., Koerner, R.M., Lefauconnier, B., Ommanney, C.S.L. & Thomas, R. H. (1997). The mass balance of circum-Arctic glaciers and recent climate change. *Quaternary research*, 48(1), 1-14. <https://doi.org/10.1006/qres.1997.1900>
- Dyrurgerov, M. B., & Meier, M. F. (2000). Twentieth century climate change: evidence from small glaciers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(4), 1406-1411. <https://doi.org/10.1073/pnas.97.4.1406>
- Ericson, J. P., Vörösmarty, C. J., Dingman, S. L., Ward, L. G., & Meybeck, M. (2006). Effective sea-level rise and deltas: Causes of change and human dimension implications. *Global and Planetary Change*, 50(1-2), 63-82. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2005.07.004>
- Frederikse, T., Landerer, F., Caron, L., Adhikari, S., Parkes, D., Humphrey, V. W., Dangendorf, S., Hogarth, P., Zanna, L., Cheng, L. & Wu, Y. H. (2020). The causes of sea-level rise since 1900. *Nature*, 584(7821), 393-397. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2591-3>
- Garner, A. J., Weiss, J. L., Parris, A., Kopp, R. E., Horton, R. M., Overpeck, J. T., & Horton, B. P. (2018). Evolution of 21st century sea level rise projections. *Earth's Future*, 6(11), 1603-1615. <https://doi.org/10.1029/2018EF000991>

- Gehrels, R., & Garrett, E. (2021). Rising sea levels as an indicator of global change. In *Climate Change* (pp. 205-217). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821575-3.00011-6>
- Grinsted, A., & Christensen, J. H. (2021). The transient sensitivity of sea level rise. *Ocean Science*, 17(1), 181-186. <https://doi.org/10.5194/os-17-181-2021>
- Hoozemans, F. M., & Hulsbergen, C. H. (2021). Sea Level Rise: A Worldwide Assessment of Risk and Protection Costs. In *Climate Change*, pp. 137-161. CRC Press. ISBN 9781003069935
- Jeftic, L., Miffiman, J. D., & Sestini, G. (1992). Climatic change and the Mediterranean: Environmental and societal impacts of climatic change and sea-level rise in the Mediterranean region. United Nations, Geneva. [<http://hdl.handle.net/20.500.11822/29285>]
- Karimi, T., Stöckle, C. O., Higgins, S. S., & Nelson, R. L. (2021). Impact of climate change on greenhouse gas emissions and water balance in a dryland-cropping region with variable precipitation. *Journal of Environmental Management*, 287, 112301. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112301>
- Kermani, A. A., van der Toorn Vrijthoff, W., & Salek, A. (2020). of Rotterdam. *Adaptive Strategies for Water Heritage: Past, Present and Future*, 345. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-00268-8>
- Khader, M. (2021). Rotterdam Resilience Strategy, Rotterdam. *Urban Planning for Transitions*, 1-18. <https://doi.org/10.1002/9781119821670.ch1>
- Lincke, D., & Hinkel, J. (2021). Coastal Migration due to 21st Century Sea-Level Rise. *Earth's Future*, 9(5), e2020EF001965. <https://doi.org/10.1029/2020EF001965>
- Martin, N. (2021). Watershed-Scale, Probabilistic Risk Assessment of Water Resources Impacts from Climate Change. *Water*, 13(1), 40. <https://doi.org/10.3390/w13010040>
- McInnes, K. L., Walsh, K. J. E., Hubbert, G. D., & Beer, T. (2003). Impact of sea-level rise and storm surges on a coastal community. *Natural Hazards*, 30(2), 187-207. <https://doi.org/10.1023/A:1026118417752>
- Pernetta, J. C., & Elder, D. L. (1992). Climate, sea level rise and the coastal zone: management and planning for global changes. *Ocean & Coastal Management*, 18(1), 113-160. [https://doi.org/10.1016/0964-5691\(92\)90054-O](https://doi.org/10.1016/0964-5691(92)90054-O)
- Pirlone, F., & Erriu, D. (2016). Waterfront and urban regeneration. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 9(3), 305-322. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/3990>
- Powers, N. C., Pinchback, J., Flores, L., Huang, Y., Wetz, M. S., & Turner, J. W. (2021). Long-term water quality analysis reveals correlation between bacterial pollution and sea level rise in the northwestern Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 166, 112231. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112231>
- Raymond, A. J., Pinkse, M. A., Kendall, A., & DeJong, J. T. (2017). Life-cycle assessment of ground improvement alternatives for the Treasure Island, California, redevelopment. In *Geotechnical frontiers 2017* (pp. 345-354).
- Raper, S. C. B., Wigley, T. M. L., & Warrick, R. A. (1996). Global sea-level rise: past and future. *Sea-level rise and coastal subsidence*, 11-45. [https://doi.org/10.1007/978-94-015-8719-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-015-8719-8_2)
- Reimann, L., Vafeidis, A. T., Brown, S., Hinkel, J., & Tol, R. S. (2018). Mediterranean UNESCO World Heritage at risk from coastal flooding and erosion due to sea-level rise. *Nature communications*, 9(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06645-9>

- Salata, K., & Yiannakou, A. (2016). Green Infrastructure and climate change adaptation. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 9(1), 7-24. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/3723>
- Scoppetta, C. (2016). "Natural" disasters as (neo-liberal) opportunity? Discussing post-hurricane Katrina urban regeneration in New Orleans. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 9(1), 25-41. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/3725>
- Sharp, M. J., Wolken, G. J., & Wouters, B. (2021). Melting of Arctic glaciers and ice caps and its impact on sea level. In *INTERACT Stories of Arctic Science II* (pp. 98-99). Aarhus University. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4497683>
- Shaw, T., Chua, S., Majewski, J., Tanghua, L., Samanta, D., Kopp, R., & Horton, B. (2021, April). Past, Present and Future Sea Levels in Singapore. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (pp. EGU21-10615). <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-10615>
- Snoussi, M., Ouchani, T., & Niazi, S. (2008). Vulnerability assessment of the impact of sea-level rise and flooding on the Moroccan coast: the case of the Mediterranean eastern zone. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 77(2), 206-213. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.09.024>
- Sohail, T., Irving, D. B., Zika, J. D., Holmes, R. M., & Church, J. A. (2021). Fifty Year Trends in Global Ocean Heat Content Traced to Surface Heat Fluxes in the Sub-Polar Ocean. *Geophysical Research Letters*, 48(8), e2020GL091439. <https://doi.org/10.1029/2020GL091439>
- Sumner, P. D., Meiklejohn, K. I., Boelhouwers, J. C., & Hedding, D. W. (2004). Climate change melts Marion Island's snow and ice. *South African Journal of Science*, 100(7), 395-398. <https://hdl.handle.net/10520/EJC96272>
- Tsimplis, M. N., Marcos, M., & Somot, S. (2008). 21st century Mediterranean sea level rise: steric and atmospheric pressure contributions from a regional model. *Global and Planetary Change*, 63(2-3), 105-111. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.006>
- Von Storch, H., & Woth, K. (2008). Storm surges: perspectives and options. *Sustainability Science*, 3(1), 33-43. <https://doi.org/10.1007/s11625-008-0044-2>
- Zhang, B., & Wang, S. (2021). Probabilistic characterization of extreme storm surges induced by tropical cyclones. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126(3), e2020JD033557. <https://doi.org/10.1029/2020JD033557>

## Sitografia

EarthData NASA: <https://earthdata.nasa.gov/>

EarthOnline ESA: <https://earth.esa.int/eogateway>

Ministry of Sustainability and Environment of Singapore: <https://www.mse.gov.sg/policies/climate-change#:~:text=Temperatures%20in%20Singapore%20have%20risen,levels%2C%20threatening%20our%20island%20nation.>

NASA Global Climate Change, Vital Signs from the Planet: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>

Plan Bleu: <https://planbleu.org/en/>

Rotterdam Climate Change Adaption Strategy: [http://www.urbanisten.nl/wp/wp-content/uploads/UB\\_RAS\\_EN\\_lr.pdf](http://www.urbanisten.nl/wp/wp-content/uploads/UB_RAS_EN_lr.pdf)



## Capitolo 7

Conclusioni

## **7.1 Conclusioni**

Questo lavoro vuole dare un contributo al dibattito scientifico e culturale per mitigare il fenomeno del cambiamento climatico e adattare gli spazi costruiti ad irreversibili e tangibili eventi climatici estremi.

Il riscaldamento dell'atmosfera e degli oceani, la riduzione delle nevi e dei ghiacci, l'innalzamento del livello del mare e l'incessante incremento di concentrazioni di gas climalteranti in atmosfera modificheranno inevitabilmente la vita nelle comunità urbane e rurali della Terra. I rischi associati al binomio cambiamenti atmosferici - variabilità climatica, in primo luogo, per la salute ma anche in relazione a mezzi di sussistenza, alla sicurezza alimentare, all'approvvigionamento idrico e alla crescita economica sono destinati a crescere, anche mantenendo sotto controllo l'aumento della temperatura media globale intorno ai 2°C come previsto dall'Accordo di Parigi. Se quanto detto fino ad ora è vero per l'intero pianeta, lo è ancora di più per l'area del Mediterraneo, una delle regioni maggiormente a rischio per gli effetti del surriscaldamento globale, sia perché gran parte della popolazione insediata vive nelle zone costiere, più esposte e vulnerabili ai fenomeni naturali connessi al cambiamento climatico, come approfondito nei capitoli IV, V e VI, sia perché il bacino del Mediterraneo, per le ragioni più varie (politiche, culturali, religiose, economiche e sociali), manca di una salda e condivisa visione d'insieme, nonostante rappresenti per tutti i Paesi che vi si affacciano una risorsa economica insostituibile e, necessariamente, da tutelare.

I risultati di ricerche scientifiche, approfonditi in questo lavoro, sommati alle cronache di devastanti eventi climatici e meteorologici estremi dimostrano quanto siano necessarie risposte immediate e integrate per fronteggiare questa difficile situazione, non solo per limitare l'entità e la portata di fenomeni indotti dal surriscaldamento globale, ma per ridurre l'impatto su sistemi ad elevato tasso di antropizzazione.

Alla luce di queste considerazioni, il Mar Mediterraneo e la rete di città che si sono sviluppate lungo le sue coste sono oggetto di questo lavoro. I sistemi urbani, pur occupando appena il 2% dell'intera superficie terrestre, sono responsabili del 60-



80% delle emissioni di gas serra climalteranti (anidride carbonica, metano, etc.), a causa dell'elevata concentrazione di attività e abitanti. Alle città è richiesto di affrontare una duplice sfida: mitigare gli effetti del cambiamento climatico e adattare le proprie strutture (*grey e green*) ad inevitabili fenomeni estremi.

Più in dettaglio, questo lavoro, nel I capitolo, mette in luce il frame prima culturale e politico, e poi scientifico, del tema del cambiamento climatico, attraverso un excursus dei negoziati, delle trattative, degli accordi e degli avanzamenti scientifici che hanno diviso l'opinione di ricercatori, cittadini e *policy-makers*.

Dalla celebrazione, del 1992 a Rio, per la firma di centocinquanta quattro paesi della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) ad oggi, il percorso di riconoscimento e consapevolezza dei reali impatti del surriscaldamento globale sul pianeta e tutti i suoi abitanti è stato, e ancora sarà, tortuoso e complesso.

Nel 1979, dando seguito alla voce allarmata dei climatologi, l'Organizzazione meteorologica mondiale ha compiuto un primo passo decisivo organizzando la prima conferenza internazionale sul clima, a Ginevra. L'obiettivo di quel primo incontro, cui ne seguirono molti altri, era quello di valutare lo stato attuale delle conoscenze, su come e quanto le emissioni di gas serra potessero portare a un aumento della temperatura media e su quanto questo fenomeno potesse influenzare la vita sul pianeta Terra. Oggi i media e l'opinione pubblica sembrano aver preso consapevolezza della questione climatica, a meno di alcune posizioni negazioniste, ma non poteva essere così quaranta anni fa: il riscaldamento globale indotto dall'uomo era considerato una possibilità teorica, non sufficientemente supportata da prove scientifiche. La conferenza, in ogni caso, rappresentò un primo passo notevole, che rafforzò la consapevolezza tra gli stessi addetti ai lavori.

Circa dieci anni dopo, nel 1988, dalla decisione dell'Organizzazione Mondiale del Clima e dal Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente fu costituito l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). La *mission* di questo nuovo organismo era (ed è) quella di valutare le informazioni scientifiche disponibili, esaminare impatti sociali ed economici e proporre strategie di risposta adeguate a

prevenire e controllare le modificazioni del clima, ma anche a suggerire ai decisori politici strategie di adattamento alle stesse. La premessa scientifica cui avrebbe lavorato l'IPCC sembrava necessaria per certificare l'esistenza di un'emergenza mondiale e per giustificare e motivare azioni ed interventi di ampio respiro. Gli anni successivi furono dedicati alla formulazione di una Convenzione quadro sui cambiamenti climatici, approvata nel 1992 a Rio de Janeiro. La Convenzione nasceva per stabilire la cornice di riferimento delle strategie e degli impegni che i Paesi membri dell'Organizzazione delle Nazioni Unite si assumono in materia di protezione del clima, e naturalmente delle popolazioni minacciate dagli effetti del cambiamento climatico, e tutt'ora lavora in questa direzione.

Questi eventi hanno rappresentato l'incipit del percorso prima di riconoscimento del fenomeno del surriscaldamento globale e poi di gestione dei rischi che ne conseguono: Kyoto nel 1997, Parigi nel 2015 sono alcune delle tappe fondamentali, ma tra queste bisogna ricordare anche luoghi e date che invece hanno segnato irreversibili fallimenti, come la Cop di Madrid di dicembre 2019, alla vigilia della diffusione di un nuovo coronavirus che ha messo in ginocchio non solo i servizi sanitari del mondo intero, ma anche i precari equilibri sociali ed economici. La pandemia da Covid-19, come dimostrato dall'ultimo Report del World Economic Forum ha costretto le agende politiche di tutti gli stati del mondo a rivedere le proprie priorità. Tra queste, grazie ad alcune manovre finanziarie di ampio respiro, figura una migliore gestione dei rischi connessi al cambiamento climatico, attraverso azioni tanto di mitigazione che di adattamento.

In particolare, nel II capitolo ho affrontato il tema delle teorie del rischio e della loro applicazione al governo delle trasformazioni urbane e territoriali. Partendo dall'esposizione della teoria del rischio e delle sue componenti, esposizione, vulnerabilità e pericolosità, sono stati analizzati alcuni degli strumenti a disposizione di decisori pubblici e stakeholder per governare lo sviluppo del territorio con l'obiettivo di mitigare i fenomeni connessi al cambiamento climatico e di adattare i sistemi urbani per far fronte ad agenti esterni tanto prevedibili quanto dannosi.

La teoria dei rischi rappresenta lo scheletro delle conoscenze scientifiche e, conseguentemente, delle applicazioni di misure di mitigazione e adattamento che intervengano in modo efficace sui sistemi urbani e le loro componenti. Nel definire gli impatti del surriscaldamento globale le variabili da tenere in considerazione sono molteplici e di diversa natura. Queste dipendono, in modo evidente, dalle interrelazioni di due fenomeni: da un lato i cambiamenti del sistema atmosfera-terra-mare, misurati in valori medi e dipendenti tanto dalla variabilità naturale quanto da quella indotta dall'attività umana; dall'altro lato i processi socioeconomici, insieme ad azioni di mitigazione e adattamento e *best practices di governance*.

Il *core business* del *risk management* è conoscere la natura degli eventi estremi (climatici e meteorologici) e gli impatti sui sistemi naturali e umani, in modo da prevederli e limitarne i danni, in una prospettiva di azione più vicina all'adattamento che alla mitigazione.

A conclusione del II capitolo, ho analizzato il caso del MoSE di Venezia, presentandone criticità e punti di forza rispetto all'interrogativo: è una misura di adattamento efficace? Se sì, per quanto tempo riuscirà ad esserlo?

Proprio alla luce dell'imprescindibile valore della conoscenza nei processi di gestione del rischio e governo del territorio, il capitolo III presenta un focus sull'area Mediterranea, sull'esposizione e la vulnerabilità della rete di città costiere ad eventi climatici estremi.

Tra le conseguenze del surriscaldamento dell'intera regione mediterranea, sono state registrate ondate di calore molto più frequenti ed intense, così come periodi di siccità più duraturi. Altro effetto, non trascurabile per le città costiere e per l'economia blu della regione è il sensibile innalzamento del livello del mare. Negli ultimi due decenni, è stato registrato un innalzamento di 3 cm ogni dieci anni. Non si tratta di un outlier rispetto al trend globale ed esperti del clima affermano che sia un fenomeno dovuto soprattutto all'Oscillazione Nord Atlantica (North Atlantic Oscillation – NAO), quindi alla variabilità atmosferica tra le Andorre e l'Islanda, responsabile dei fenomeni climatici per un'area molto estesa dell'emisfero boreale. Si tratta di un innalzamento comunque notevole, se paragonato agli incrementi dei

periodi 1945-2000 e 1970-2006, in cui sono stati registrati rispettivamente innalzamenti di 0.7 mm e 1.1 mm all'anno. Inoltre, il mar Mediterraneo soffrirà, a causa di una maggiore concentrazione di CO<sub>2</sub> in atmosfera, di una notevole acidificazione: si prevede che il pH delle acque diminuirà da 0.018 a 0.028 unità ogni dieci anni (Giorgi & Lionello, 2008; Lionello & Scarascia, 2018; Pisano et al., 2020; Tuel & Eltahir, 2020).

Anche se si riuscirà a limitare l'innalzamento di temperature al di sotto dei 2°C, come stabilito dall'Accordo di Parigi, la regione del Mediterraneo risentirà comunque dei drammatici effetti di questo fenomeno. Ricercatori e scienziati prevedono che questi cambiamenti comporteranno sempre più frequenti ondate di calore, così come il susseguirsi più frequente di hot days, caratterizzati da temperature superiori alla media stagionale.

In particolare, periodi di ritorno delle ondate di calore nella regione orientale del Mediterraneo potrebbero diminuire da due anni a meno di un anno. Inoltre, si prevede una riduzione delle precipitazioni di circa 10-15% per il sud della Francia, per la Spagna nord-occidentale e per i Balcani, e fino al 30% per Turchia e Portogallo. Gli scenari sono notevolmente più drammatici se l'incremento di temperatura dovesse essere compreso tra 2°C e 4°C: al 2080 l'intera Europa meridionale soffrirà del diffuso decremento di precipitazioni, fino al 30% (specialmente in primavera e nei mesi estivi), e addirittura l'assenza di ghiaccio sui Balcani. Si stima che l'incremento globale di temperature di 1°C comporti un decremento di circa 4% di piogge per gran parte della regione Mediterranea, specialmente per quella meridionale. Allo stesso tempo, si prevede un considerevole incremento delle precipitazioni, fino a 10-20%, per tutte le stagioni, a meno di quella estiva. I trend globali stimati dall'IPCC prevedono che l'innalzamento del livello del mare sia tra 52 e 98 cm, rispetto al livello medio attuale. Un modello semi-empirico sviluppato da Vermeer e Rahmstorf (2009) prevede, invece, un innalzamento del livello del mare tra 75 e 190 cm. Diversi modelli e scenari sono stati elaborati per le acque dell'intero pianeta, ma i risultati possono essere molto

differenti, dato l'ingente numero di variabili in gioco e la complessità delle loro interrelazioni.

Alla variabilità e limitata affidabilità degli scenari previsionali sviluppati per gli insediamenti urbani che si affacciano sul mar Mediterraneo si aggiunge un ulteriore elemento di rischio che non è riconducibile alla sola matrice climatica e territoriale: la risposta delle città dipende da innumerevoli fattori e tra questi, tra le coste del bacino, emerge una profonda differenza di carattere economico e sociale. Queste fratture faranno la differenza tra città che riusciranno ad adattarsi al cambiamento climatico e città che invece ne soffriranno più di altre, in termini economici, ma anche di vite umane.

Nei capitoli finali (IV, V e VI) ho posto attenzione ad eventi climatici estremi che presentano le più alte probabilità di verificarsi per l'area oggetto di studio: ondate di calore estremo, bombe d'acqua e siccità e innalzamento del livello del mare. Per ognuno di questi fenomeni, sono state approfondite differenti ricerche scientifiche, in qualche caso contrastanti, per costruire il quadro dello scenario atteso per il Mediterraneo da qui alla fine del secolo. Inoltre, sono stati riassunti alcuni casi studio, *best practices* da tutto il mondo, per far fronte al cambiamento climatico. Sono stati selezionati tre casi studio per ogni capitolo, provenienti da piccole città o megalopoli, sia dal Sud che dal Nord del mondo, evidenziandone per ognuno punti di forza e di debolezza.

La consapevolezza che anche in contesti territoriali più vulnerabili, per motivi sociali, politici e/o culturali, l'adattamento al clima può rappresentare una tra le principali chiavi per lo sviluppo sostenibile delle città e dei territori mi ha orientato a raccogliere e analizzare casi studio molto eterogenei.

Considerando gli scenari previsti per la fine del XXI secolo, le città della costa del Mar Mediterraneo non possono non rispondere congiuntamente alla chiamata all'azione. La sovrapposizione di culture, di storie, di strutture urbane ed economiche diverse non ha contribuito in alcun modo alla promozione di sviluppi orientati in tale direzione: dinamiche di vecchia data, altre nuove, come la diffusione del nuovo coronavirus, altre che stanno riemergendo dopo anni di approfondimenti

sopiti, come la questione israelo-palestinese, hanno ulteriormente fratturato il quadro delle priorità delle nazioni e delle città della costa del Mar Mediterraneo. Alla luce di ciò, la comunità scientifica e i cittadini hanno il difficile compito di orientare l'azione di *stakeholder* e *policy makers*. In alcuni contesti territoriali questo compito potrebbe essere anche più difficile. Quanto siamo lontani da questo cambio di rotta? Questo lavoro vuole contribuire a far emergere la consapevolezza che la questione mediterranea deve entrare a pieno titolo nell'agenda politica dei paesi che si affacciano sul *mare nostrum*, migliorando le conoscenze culturali e scientifiche rispetto al cambiamento climatico, evidenziando quanto le nostre città siano esposte ai fenomeni attesi per i prossimi decenni e sottolineando le eterogenee vulnerabilità di sistemi urbani appartenenti ad una storia e ad un destino comune.

<b>Prefazione</b> .....	<b>12</b>
<b>1 Il cambiamento climatico: uno scenario globale</b> .....	<b>17</b>
1.1 <i>I cambiamenti climatici in corso: call for action</i> .....	18
1.2 <i>Le cause e gli effetti del riscaldamento globale per le città</i> .....	23
1.3 <i>Il cambiamento climatico ai tavoli decisionali: tra successi e fallimenti</i> .....	34
<i>Riferimenti bibliografici</i> .....	49
<b>2 Le teorie del rischio e il governo delle trasformazioni urbane: l'approccio sistemico</b> .....	<b>53</b>
2.1 <i>I rischi naturali connessi al cambiamento climatico: pericolosità, vulnerabilità ed     esposizione</i> .....	54
2.2 <i>La gestione dei rischi climatici e meteorologici e i sistemi urbani</i> .....	69
2.3 <i>Il MoSE di Venezia</i> .....	79
<i>Riferimenti bibliografici</i> .....	85
<i>Sitografia</i> .....	88
<b>3 Lo scenario delle città della costa del mediterraneo</b> .....	<b>89</b>
3.1 <i>La complessità del Mediterraneo: uno sguardo d'insieme</i> .....	90
3.2 <i>I rischi naturali di una zona climatica sensibile</i> .....	101
<i>Riferimenti bibliografici</i> .....	107
<i>Sitografia</i> .....	110
<b>4 Ondate di calore e hot-days</b> .....	<b>111</b>
4.1 <i>I serbatoi di calore del pianeta</i> .....	112
4.2 <i>L'hot-spot del Mar Mediterraneo e delle sue città</i> .....	116
4.3 <i>Alcune best practices: l'adattamento e la mitigazione delle ondate di calore come     opportunità di sviluppo socioeconomico</i> .....	120
<i>Riferimenti bibliografici</i> .....	128
<i>Sitografia</i> .....	131
<b>5 Precipitazioni: tra siccità e bombe d'acqua</b> .....	<b>133</b>
5.1 <i>Tra deficit idrici ed inondazioni</i> .....	134

---

5.2	<i>Le città mediterranee verso un clima tropicale.....</i>	<i>138</i>
5.3	<i>Alcune best practices: l'adattamento e la mitigazione per ottimizzare la gestione delle acque .....</i>	<i>143</i>
	<i>Riferimenti bibliografici .....</i>	<i>150</i>
	<i>Sitografia.....</i>	<i>154</i>
<b>6</b>	<b>L'innalzamento del livello medio del mare.....</b>	<b>155</b>
6.1	<i>I fattori contributivi dell'innalzamento del livello del mare.....</i>	<i>156</i>
6.2	<i>Quale futuro per le città della costa mediterranea?.....</i>	<i>160</i>
6.3	<i>Alcune best practices: l'adattamento e la mitigazione per proteggere le coste .....</i>	<i>163</i>
	<i>Riferimenti bibliografici .....</i>	<i>172</i>
	<i>Sitografia.....</i>	<i>174</i>
<b>7</b>	<b>Conclusioni .....</b>	<b>177</b>
7.1	<i>Conclusioni .....</i>	<i>178</i>




<i>Figura 1-1: Conseguenze del cambiamento climatico sugli insediamenti urbani e la salute umana (climatenexus.com).</i>	20
<i>Figura 1-2: Variazione percentuale di popolazione nelle principali città del mondo rispetto all'indice di vulnerabilità ai cambiamenti climatici (2018).</i>	22
<i>Figura 1-3: Fonti globali di emissioni GHG (climate.universityofcalifornia.edu).</i>	26
<i>Figura 1-4: Ondate di calore (Fonte - www.scientificamerican.com).</i>	28
<i>Figura 1-5: Innalzamento del livello del mare e potenziali inondazioni (Florida, US) (Fonte - newsbeezzer.com).</i>	29
<i>Figura 1-6: Degrado del suolo (Italia) (Fonte - www.microbiologiaitalia.it).</i>	30
<i>Figura 1-7: New York (US), Marzo 2020 (Fonte - www.ilmessaggero.it).</i>	31
<i>Figura 1-8: Londra, 2015 (Fonte sconosciuta).</i>	35
<i>Figura 1-9: Emissioni totali di CO<sub>2</sub> equivalente da combustione di carbon fossile, in Gt CO<sub>2</sub>/yr, per settore produttivo (Crippa et al., 2019).</i>	43
<i>Figura 1-10: Evoluzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente totale, per Cina, Europa, Russia e Stati Uniti.</i>	44
<i>Figura 1-11: Evoluzione del consumo pro capite annuale di CO<sub>2</sub> equivalente, per Cina, Europa, Russia e Stati Uniti.</i>	45
<i>Figura 2-1: Risultati del questionario relativo alla percezione del rischio su diversi orizzonti temporali (World Economic Forum, 2021). Il campione di policymakers, stakeholders e cittadini coinvolti nel questionario ha valutato la verosimiglianza dei rischi globali con un punteggio da 1 (bassa verosimiglianza di accadimento) a 5 (alta verosimiglianza di accadimento), su tre orizzonti temporali differenti.</i>	58
<i>Figura 2-2: Azioni di mitigazione e adattamento (Sustainability for all, <a href="https://www.activesustainability.com/">https://www.activesustainability.com/</a>).</i>	61
<i>Figura 2-3: Distribuzione di fondi destinati a strategie di adattamento climatico.</i>	62
<i>Figura 2-4: Quadro di valutazione del rischio (IPCC, 2018).</i>	63
<i>Figura 2-5: Confronto tra CO<sub>2</sub> equivalente prodotta e vulnerabilità, per nazione (2010).</i>	67
<i>Figura 2-6: Le paratie mobili del MoSE di Venezia alle bocche di porto.</i>	79
<i>Figura 2-7. Stralcio di giornale del 1984.</i>	84
<i>Figura 3-1: Cosmografia di Tolomeo, Gallerie Estensi.</i>	91
<i>Figura 3-2: Visione notturna da satellite del bacino mediterraneo (Copernicus Data SIO, 2021).</i>	93
<i>Figura 3-4: 25° anniversario dal processo di Barcellona.</i>	98
<i>Figura 3-5: Paesi membri ed osservatori dell'Unione per il Mediterraneo.</i>	99
<i>Figura 3-6: Unione per il Mediterraneo (logo).</i>	100
<i>Figura 3-7: Unione per il Mediterraneo (medblueconomyplatform.org).</i>	101

<i>Figura 3-8: Andamento dell'innalzamento delle temperature per le acque del Mediterraneo (blu) e per l'intero pianeta (verde).</i>	103
<i>Figura 4-1: Evoluzione dell'indice di Magnitudine delle Ondate di Calore (HWMI) rispetto agli scenari previsti per 2071-2100 secondo l'IPCC.</i>	114
<i>Figura 4-2: Campagna di prevenzione dai rischi delle ondate di calore per la popolazione anziana di Buenos Aires (buenosaires.gob.ar).</i>	121
<i>Figura 4-3: Logo del programma Be A Buddy della città di New York (US).</i>	122
<i>Figura 4-4. Heat warning for the city of Toronto (City of Toronto, 5th August 2018).</i>	123
<i>Figura 5-1: Inondazione (Romania, 2019).</i>	134
<i>Figura 5-2: Terreno siccitoso (California, 2020).</i>	136
<i>Figura 5-3: Risorse annuali di acqua per capita nella regione Mediterranea (Union for the Mediterranean UFM, 2018).</i>	140
<i>Figura 5-4: Scarsità di risorse idriche nei Paesi del Medio Oriente e Nord Africa (World Bank Water, 2017).</i>	142
<i>Figura 5-5: Stadio della squadra di calcio locale completamente allagato a seguito di precipitazioni molto intense (Wuhan, 2016).</i>	146
<i>Figura 5-6: Isola di Sanibel (Florida, US). Dicembre 2018</i>	147
<i>Figura 6-1: Incremento del livello medio del mare registrato da satellite, dal 1993 ad oggi (NASA)</i>	156
<i>Figura 6-2: L'effetto combinato di alta marea e innalzamento del livello dei mari sulla costa di San Jacinto, in Ecuador.</i>	158
<i>Figura 6-3: IPCC, 2018.</i>	159
<i>Figura 6-4: Densità della popolazione e entri urbani nel bacino del Mediterraneo (UNDESA Population division, 2011).</i>	160
<i>Figura 6-5: Infrastrutture di trasporto lungo le coste Mediterranee (Plan Bleu, 2003).</i>	161
<i>Figura 6-6: Sicurezza ambientale nel Mediterraneo e distribuzione della popolazione.</i>	162
<i>Figura 6-7: Adaptation framework del Piano di Azione della città di San Francisco (2016).</i>	164
<i>Figura 6-8. Treasure Island, San Francisco (California, US) (Phliar/Flickr).</i>	166
<i>Figura 6-9. Rotterdam Climate Change Adaptation Strategy (2014).</i>	167
<i>Figura 6-10: Floating Pavilion, Rotterdam 2014.</i>	168
<i>Figura 6-11: Tramonto su Marina Barrage (Erwin Soo, 2012).</i>	171







Le città dell'intero pianeta sono seriamente minacciate dagli impatti del cambiamento climatico, e strategie efficaci ed efficienti a ridurre la loro esposizione e vulnerabilità per prevenire potenziali danni alla popolazione sono richieste. Le città in zone climatiche sensibili pagherebbero un conto molto salato, proprio come quelle che si affacciano sul Mediterraneo, che sono il focus del saggio.

Questo lavoro si struttura in quattro parti. Nella prima, è presentato il frame culturale, politico e scientifico del tema del cambiamento climatico, attraverso un excursus dei negoziati, degli accordi e degli avanzamenti scientifici che hanno diviso l'opinione di ricercatori, cittadini e policy-makers. La seconda parte affronta il tema delle teorie del rischio e della loro applicazione al governo delle trasformazioni urbane e territoriali. Nella terza è presentato un focus al Mediterraneo e alla rete di città insediate lungo le sue coste. Nell'ultima parte si approfondiscono gli eventi climatici estremi che presentano le più alte probabilità di verificarsi per l'area oggetto di studio.

Carmen Guida laureata in Ingegneria dei Sistemi Idraulici e di Trasporto è Ph.D. Student in Ingegneria dei Sistemi Civili presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università degli Studi di Napoli Federico II.

I temi di ricerca affrontati prediligono l'accessibilità urbana ai servizi essenziali per la popolazione anziana e l'impatto dei cambiamenti climatici sulle trasformazioni urbane e territoriali.

