

Cinzia Talamo, Giancarlo Paganin,
Chiara Bernardini

Gestire il cambiamento climatico

**Strategie di adattamento
per l'ambiente costruito**



Ricerche di tecnologia dell'architettura

FrancoAngeli 

RICERCHE DI TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA

diretta da Jacopo Gaspari (Università di Bologna)

Comitato scientifico:

Laura Aelenei (LNEG), Alessandra Battisti (Sapienza Università di Roma),
Andrea Campioli (Politecnico di Milano), Pietro Davoli (Università di Ferrara),
Gareth Doherty (Harvard University), Stephen Emmitt (University of Bath),
Maria Luisa Germanà (Università di Palermo), Antonin Lupisek (Czech Technical
University in Prague), Antonello Monsù Scolaro (Università di Sassari),
Francesco Pilla (University College Dublin), Rosa Schiano-Phan (University
of Westminster), Antonella Violano (Università della Campania Luigi Vanvitelli).

La storica collana *Ricerche di Tecnologia dell'architettura* ha avuto, fin dalle origini, il desiderio di rappresentare la disciplina della tecnologia dell'architettura nelle sue diverse forme di relazione con il progetto di architettura, la trasformazione dell'ambiente costruito e gli operatori del settore edilizio. Nel corso dei decenni, ha pubblicato volumi che hanno descritto le traiettorie di innovazione e i cambiamenti culturali nel settore dell'edilizia, contribuendo a mantenere aggiornato l'ambito disciplinare.

Ricerche di Tecnologia dell'architettura raccoglie gli esiti di progetti di ricerca nazionali e internazionali, studi e ricerche sperimentali, tesi di dottorato di ricerca riguardanti teorie e metodi inerenti materiali e sistemi costruttivi, architettura sostenibile e riqualificazione, efficienza energetica e transizione a emissioni zero, approcci di economia circolare nel settore delle costruzioni.

Oltre al riconosciuto valore scientifico e accademico, la collana costituisce un apprezzato strumento di supporto nel campo dell'architettura e dell'ingegneria con spunti operativi per la professione, distinguendosi per il suo impegno nel descrivere la continua evoluzione della Tecnologia dell'architettura e dei suoi confini che, nel corso del tempo, si sono estesi per ricoprire interessi di ricerca contigui, tra cui tecnologie digitali, modelli e processi avanzati, concept e servizi di progettazione innovativi in una prospettiva più ampia, orientata a dare risposte alle sfide future e agli impatti del cambiamento climatico sulle città contemporanee.

La collana nasce nel 1974 sotto la direzione di Raffaella Crespi e Guido Nardi. A partire dal 2012 la valutazione delle proposte è stata sottoposta a referaggio da parte di un Comitato scientifico diretto da Giovanni Zannoni, con lo scopo di individuare e selezionare i contributi più interessanti nell'ambito della Tecnologia dell'architettura. Dal 2025 questo incarico viene assunto da Jacopo Gaspari, ampliando gli ambiti di interesse alle discipline di confine della materia. I numerosi volumi pubblicati in questi anni delineano un efficace panorama dello stato e dell'evoluzione della ricerca nel settore della Tecnologia dell'architettura con alcuni testi che sono diventati delle basi fondative della disciplina.

A partire dal numero 87 della collana i volumi sono sottoposti a referaggio.



OPEN ACCESS la soluzione FrancoAngeli

Il presente volume è pubblicato in open access, ossia il file dell'intero lavoro è liberamente scaricabile dalla piattaforma **FrancoAngeli Open Access** (<http://bit.ly/francoangeli-oa>).

FrancoAngeli Open Access è la piattaforma per pubblicare articoli e monografie, rispettando gli standard etici e qualitativi e la messa a disposizione dei contenuti ad accesso aperto. Oltre a garantire il deposito nei maggiori archivi e repository internazionali OA, la sua integrazione con tutto il ricco catalogo di riviste e collane FrancoAngeli massimizza la visibilità, favorisce facilità di ricerca per l'utente e possibilità di impatto per l'autore.

Per saperne di più: [Pubblica con noi](#)

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

Cinzia Talamo, Giancarlo Paganin,
Chiara Bernardini

Gestire il cambiamento climatico

**Strategie di adattamento
per l'ambiente costruito**

Ricerche di tecnologia dell'architettura

FrancoAngeli 

Il presente volume è frutto di un lavoro congiunto dei tre autori, che hanno condiviso l'impostazione generale dell'opera e la definizione dei contenuti. Ai fini del riconoscimento dei contributi individuali, si precisa che Giancarlo Paganin ha curato i capitoli 1, 2 e 5; Cinzia Talamo ha curato i capitoli 5 e 6; Chiara Bernardini ha curato i capitoli 3 e 4.

Isbn e-book Open Access: 9788835182528

Copyright © 2025 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

Pubblicato con licenza *Creative Commons
Attribuzione-Non Commerciale-Non opere derivate 4.0 Internazionale*
(CC-BY-NC-ND 4.0).

Sono riservati i diritti per Text and Data Mining (TDM), AI training e tutte le tecnologie simili.

*L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore.
L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni
della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>*

Indice

Introduzione	pag.	7
1. La sfida del cambiamento climatico	»	13
1.1. Cambiamento climatico e ambiente costruito: gli impatti sui sistemi antropici	»	13
1.2. Mitigazione e adattamento: strategie complementari per la gestione dei rischi	»	28
1.3. Adattamento al cambiamento climatico: approccio soft e approccio hard	»	33
2. Il quadro degli strumenti regolatori per l'adattamento al cambiamento climatico	»	42
2.1. Accordi internazionali e network intergovernativi: da Kyoto a Parigi	»	42
2.2. Il passaggio alla scala nazionale: indirizzi e iniziative italiane in ambito di adattamento	»	48
2.3. La questione della scala geografica nella pianificazione dell'adattamento ai cambiamenti climatici	»	54
2.4. Le risorse per l'adattamento: la finanza sostenibile	»	58
3. Pianificare l'adattamento: strategie e piani	»	68
3.1. Strumenti alla scala locale: Strategie e Piani di Adattamento Locali	»	68
3.2. Monitoraggio dell'adattamento a scala locale: l'assenza di metodi, criteri e terminologia condivisi	»	74
3.3. La proposta di un nuovo metodo per l'analisi comparativa di strumenti di pianificazione dell'adattamento alla scala locale	»	78

3.4. Prime esperienze di pianificazione dell'adattamento in 3 città pionieristiche: Londra, Copenaghen e Parigi	pag.	83
3.5. Amsterdam e l'approccio alla neutralità climatica negli strumenti di piano	»	87
3.6. Il caso di Valencia, dal primo Sustainable Energy Action Plan alla nuova strategia urbana	»	89
3.7. Un'esperienza italiana: Torino, dal Piano di Resilienza del 2020 alla redazione del Climate City Contract del 2025	»	93
3.8. Evoluzione degli strumenti di pianificazione	»	95
4. Approccio soft alla scala locale: la questione della governance e il ruolo dei servizi urbani nei processi di adattamento	»	106
4.1. La questione della governance come precondizione per l'adattamento al cambiamento climatico e il settore dei servizi urbani: scenari evolutivi	»	106
4.2. Una nuova tassonomia per la definizione del ruolo dei servizi urbani nei processi di adattamento e l'integrazione tra Climate services e servizi di Urban Facility Management	»	115
4.3. Adaptation services e nuovi modelli di gestione: il ridisegno dei processi e dei ruoli	»	127
5. Nuovi scenari climatici per l'ambiente costruito	»	139
5.1. La dimensione del cambiamento climatico	»	139
5.2. Cambiamento climatico e cambiamento culturale	»	148
5.3. Vulnerabilità, rischio, adattamento	»	156
5.4. Valutare i rischi da cambiamento climatico con approcci alternativi: l'esempio HAZOP	»	167
6. Adattamento ai cambiamenti climatici e ciclo di vita degli edifici	»	173
6.1. Edifici, cambiamenti climatici e relazioni sistemiche	»	173
6.2. Capacità di adattamento al cambiamento climatico degli edifici e incertezza	»	177
6.3. Progettare per l'adattamento al cambiamento climatico	»	179
6.4. Adattamento al cambiamento climatico e cantiere	»	189
6.5. Manutenzione programmata e cambiamento climatico	»	195
Riferimenti bibliografici	»	201
Glossario	»	216
Riferimenti bibliografici relativi al glossario	»	223
Gli Autori	»	225

Introduzione

Il cambiamento climatico è un tema ad elevatissima complessità e dalle molteplici sfide. Probabilmente può aiutare, per percepire la dimensione di tale complessità, il concetto di rischio globale. Il World Economic Forum nell'annuale Global Risks Report¹ definisce il rischio globale come la possibilità di accadimento di un evento o una condizione che, al suo verificarsi, è in grado di avere impatti negativi a livello globale su una percentuale significativa del PIL, della popolazione o delle risorse naturali globali. La propagazione degli impatti, su scale spaziali e temporali vaste e difficilmente prevedibili, deriva dal fatto che i rischi globali interagiscono tra loro. Al concetto di rischio globale si affianca dunque anche quello di rischio sistematico: i fenomeni climatici, infatti, non si verificano in modo isolato, ma il più delle volte hanno effetti compositi e simultanei, che amplificano gli impatti e, in processi a cascata, attivano ulteriori rischi con un effetto domino capace di creare pericolose situazioni di policrisi e permacrisi².

In particolare, è importante sottolineare l'elevato numero di interconnessioni tra i rischi ambientali e di interdipendenze di questi con altre categorie di rischi globali (sociali, geopolitici, tecnologici ed economici).

1. World Economic Forum (WEF), The Global Risks Report 2025 20th Edition, 2025. Il WEF individua 33 rischi globali, divisi in rischi sociali, tecnologici, geopolitici, ambientali, economici. Tra i rischi globali ambientali individuati, almeno 3 (cambiamenti critici di sistemi terrestri, eventi meteorologici estremi, penuria di risorse naturali) sono direttamente connessi al cambiamento climatico.

2. Da più di due decadi il concetto di policrisi (Morin *et al.*, 1999) è oggetto di sviluppi e riflessioni da parte di studiosi di varie discipline nella ricerca delle modalità interpretative più appropriate per analizzare le crisi odierne, causalmente intrecciate, che non possono essere né pienamente comprese né affrontate separatamente l'una dall'altra e che tendono a cronicizzarsi (permacrisi), creando situazioni diffuse di instabilità e insicurezza (Bevitore *et al.*, 2024; Marthy, 2025).

Questo rende evidente come i rischi ambientali – all’interno di reti di relazioni dinamiche e rapporti causa effetto non lineari – svolgano un ruolo chiave nel moltiplicare i fattori di rischio e gli impatti, aumentando l’insorgenza e la gravità dei pericoli, modificando le esposizioni e amplificando la vulnerabilità dei sistemi interconnessi.

La criticità dei rischi ambientali, amplificati dal cambiamento climatico, determina una forte urgenza da un lato di raggiungere un livello soddisfacente di comprensione e interpretazione delle loro dinamiche secondo approcci pluri e trans-disciplinari, dall’altro di adottare misure per fronteggiarli con logiche e strumenti intersetoriali. In questo scenario di grande complessità, l’incertezza rappresenta una ulteriore sfida che richiede la costruzione di schemi interpretativi e lo sviluppo di appropriate strategie.

L’incertezza riguarda molteplici aspetti: la velocità e l’incisività dei cambiamenti climatici, le modalità con cui questi interesseranno i sistemi naturali e umani, così come l’efficacia delle politiche e delle misure presenti e future. Negli ultimi anni moltissimi studi e programmi³ sono stati sviluppati a livello mondiale relativamente ai cambiamenti in corso e ai loro effetti. Cresce ora la necessità di tradurre la vasta quantità di informazioni disponibili sul clima in strumenti specifici e di facile utilizzo⁴.

3. Il programma Copernicus è un programma dell’Unione Europea, che fornisce una vasta gamma di dati sul pianeta liberamente accessibili, relativamente a territori e ambiente, attraverso il monitoraggio terrestre, marino, climatico e atmosferico. Dati sulle condizioni marine relativamente alle aree sommerse sono disponibili grazie al EMODnet (European Marine Observation and Data Network), finanziato dal Direttorato Generale degli Affari marittimi e della pesca della Commissione Europea (D.G. MARE), finalizzato alla creazione di una banca dati europea, consultabile online. Sul versante dei dati relativi a rischi, danni e perdite, il Risk Data Hub (RDH) del Disaster Risk Management Knowledge Centre (DRMKC) è una piattaforma progettata per centralizzare e standardizzare i dati a livello paneuropeo da rendere disponibili per responsabili politici, ricercatori e professionisti nel campo della riduzione del rischio di catastrofi. La piattaforma Climate-ADAPT, nata da una partnership tra Commissione Europea e European Environment Agency (EEA), ha l’obiettivo di supportare l’Europa nella redazione di strategie di adattamento attraverso la condivisione di dati circa le previsioni di cambiamento climatico, le vulnerabilità settoriali e territoriali, le strategie nazionali, le buone pratiche, ecc. A livello italiano, la Piattaforma italiana sull’adattamento ai cambiamenti climatici (PNACC), promossa dal Ministero della Transizione Ecologica e realizzata dall’ISPR, intende favorire lo scambio di informazioni e buone pratiche tra l’Amministrazione centrale, gli Enti locali e tutti i portatori di interesse rispetto al tema dell’adattamento ai cambiamenti climatici.

4. COM(2021) 82 final COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI Plasmare un’Europa resiliente ai cambiamenti climatici – La nuova strategia dell’UE di adattamento ai cambiamenti climatici.

La gran parte degli studi concorda sul fatto che l'aumento della temperatura media globale è ancora inferiore a 1,5°C, ma il cambiamento climatico sta già colpendo duramente tutto il mondo, con esiti ancora più drammatici nelle aree, spesso le più povere, maggiormente esposte e vulnerabili. Recenti stime ipotizzano un aumento della temperatura di 2,6-3,1°C in questo secolo se le azioni di mitigazione non risulteranno urgenti, efficaci e capillari (UNEP, 2024). Anche se gli sforzi globali ed europei per ridurre le emissioni di gas a effetto serra dovessero risultare efficaci e le ambiziose road map (come l'European Green Deal) fossero rispettate, gli effetti dei cambiamenti climatici, che sono già in atto, proseguiranno per decenni. Come le organizzazioni internazionali più autorevoli in materia di clima e ambiente (United Nations Environment Programme, European Environment Agency, Intergovernmental Panel on Climate Change, ecc.) da tempo evidenziano, l'adattamento climatico non può più essere considerato un'opzione futura o alternativa, ma una priorità che si deve sviluppare in una dimensione multiscalar, così come avviene per le azioni di mitigazione.

Sulla base di questo scenario, il libro si focalizza sul tema dell'adattamento al cambiamento climatico con l'obiettivo di individuare alcune chiavi di lettura per l'interpretazione, nella consapevolezza degli inscindibili nessi sistematici, delle strategie e delle azioni che, alle diverse scale, interessano gli operatori coinvolti nella trasformazione e gestione dell'ambiente costruito.

In questo senso, i capitoli del libro rappresentano una lettura multiscalar dell'adattamento al cambiamento climatico, dal livello globale, a quello delle strategie delle città e dei servizi urbani fino al livello degli edifici nelle varie fasi del ciclo di vita.

In particolare, il primo capitolo riassume le principali questioni che hanno caratterizzato negli ultimi anni gli studi sui cambiamenti climatici e le definizioni delle azioni di contrasto strutturate in mitigazione e adattamento. A partire dalle evidenze relative alla evoluzione dei parametri climatici principali, si restituisce un quadro di insieme delle criticità generate dal cambiamento del clima in termini di impatti sui sistemi antropici e sull'ambiente costruito nel breve e lungo periodo. Si introducono i principi generali della lotta al cambiamento climatico che deve, necessariamente, combinare le azioni di mitigazione e quelle di adattamento per agire contestualmente sulle cause e sugli effetti degli eventi climatici. Tra le azioni di adattamento si discutono in particolare le azioni soft che sono anche dette a basso rimpianto (low-regret) poiché non richiedono importanti investimenti iniziali e risultano allo stesso tempo reversibili nel caso in cui la loro efficacia non fosse adeguata.

Il secondo capitolo restituisce un quadro di insieme dei principali strumenti di regolazione della lotta ai cambiamenti climatici articolandolo a livello internazionale, regionale e nazionale. A partire dalle prime iniziative internazionali, come ad esempio le conferenze delle Nazioni Unite di Stoccolma e Rio de Janeiro, viene sintetizzato il quadro delle azioni che sono state concordate e avviate a livello mondiale per fare fronte alla questione dei cambiamenti climatici con particolare riferimento al tema dell'adattamento. Gli esiti delle conferenze annuali sul clima, le COP Conference of Parties, sono la base per la successiva descrizione e analisi degli strumenti che sono stati sviluppati a livello di Comunità Europea e a livello nazionale con le strategie e i piani di adattamento.

Il terzo capitolo affronta il tema della pianificazione dell'adattamento alla scala urbana e presenta lo spettro degli strumenti attualmente disponibili, caratterizzandoli in base a obiettivi, livello di dettaglio e grado di implementabilità nella pratica. Rilevata l'assenza di metodi, criteri e terminologia condivisi per il monitoraggio e la classificazione dei piani di adattamento locali e delle misure in essi contenuti, si propone un metodo originale per l'analisi sistematica degli strumenti di pianificazione dell'adattamento, corredata da esempi di applicazione in sei città europee: Londra, Copenaghen, Parigi, Amsterdam, Valencia e Torino. Attraverso l'approfondita analisi comparativa dei più aggiornati piani di adattamento nei sei casi studio, si identificano le principali evoluzioni, gli elementi ricorrenti e i trend che caratterizzano la pianificazione dell'adattamento dei sistemi urbani. Attenzione particolare è riservata all'identificazione delle misure di approccio soft adottate nelle città in esame. Si osserva che questo tipo di interventi riguarda principalmente gli aspetti organizzativi (di governance) e coinvolge il settore dei servizi urbani.

Il quarto capitolo si apre infatti con un paragrafo che tratta la questione dell'ottimizzazione della governance urbana, considerata una precondizione necessaria per l'implementazione di misure di adattamento efficaci. Segue una discussione su possibili scenari evolutivi per i servizi urbani nella prospettiva dell'adattamento al cambiamento climatico a scala locale: si propone una ipotesi di ricerca secondo la quale il settore dei servizi potrebbe contribuire significativamente all'adattamento delle città già nel breve termine e con investimenti relativamente contenuti. La proposta di una nuova terminologia, "Adaptation services", per identificare questo potenziale supporto dei servizi urbani ai processi di adattamento, ha richiesto uno sforzo di ridefinizione: si propone una nuova tassonomia dei servizi per individuare le potenziali transizioni verso sistemi integrati tra Urban Facility Management services e Climate services. Per rendere operativi questi principi, si deve passare attraverso la costruzione

di nuovi modelli di fornitura dei servizi e di gestione delle informazioni, il ridisegno delle relazioni tra diversi stakeholder e l'introduzione di figure professionali innovative che svolgano funzioni di consulenza e supporto alle amministrazioni locali.

Il quinto capitolo focalizza l'attenzione a livello degli edifici. A partire dalla lettura di alcuni indicatori ambientali, che danno la dimensione delle variazioni climatiche significative per gli effetti sugli edifici e sui loro abitanti, vengono condotte alcune riflessioni sul binomio rischio – incertezza, legato al cambiamento climatico, e indagate alcune questioni: come le attività di progettazione e gestione degli edifici si confrontano con i concetti di pericoli climatici, impatto, esposizione, vulnerabilità? Quali sono le trasformazioni nei compiti conoscitivi e decisionali? Quali nuove competenze e figure professionali possono supportare gli operatori nella identificazione delle scelte di adattamento più appropriate?

Nel sesto capitolo, infine, l'attenzione si focalizza sul ciclo di vita dell'edificio indagando le trasformazioni (informazioni da acquisire, metodi, pratiche) che il tema dell'adattamento al cambiamento climatico induce nelle diverse fasi: nella progettazione, metodiche di impact chain disegnano nuovi processi partecipativi per l'individuazione di vulnerabilità e la definizione di priorità di intervento; nella pianificazione e gestione della costruzione delle opere, il cantiere deve essere ripensato in relazione alle incertezze del clima minimizzando i rischi per gli operatori e le dis-economie organizzative; nella manutenzione, nuove capacità di interpretazione delle risposte degli edifici ai cambiamenti climatici devono essere attivate al fine di rivedere le consolidate previsioni di comportamento dei sistemi edilizi e le pratiche di intervento.

1. La sfida del cambiamento climatico

1.1. Cambiamento climatico e ambiente costruito: gli impatti sui sistemi antropici

Il clima è definito come la condizione meteorologica media – o più rigorosamente, come la descrizione statistica in termini di media e variabilità di grandezze rilevanti – in un periodo di tempo che va da mesi a migliaia o milioni di anni; il periodo normalmente considerato dalla World Meteorological Organization (WMO) per stabilire la media delle variabili (ad esempio temperatura, precipitazioni e vento) è di 30 anni (IPCC, 2023). Il fatto che il clima stia cambiando a una velocità significativa è un dato che sostanzialmente ormai non viene più messo in discussione: è sufficiente esaminare in modo oggettivo le statistiche relative alle variabili climatiche. Le variabili climatiche sono degli indicatori – fisici, chimici e biologici – che vengono utilizzati per restituire una caratterizzazione del clima del nostro pianeta; il Global Climate Observing System (GCOS) individua 55 variabili climatiche essenziali ECV (Essential Climate Variables) suddivise per ambito di osservazione in atmosfera, terra e oceani. Tra le 55 variabili climatiche essenziali WMO individua 7 variabili chiave per rappresentare lo stato del clima globale (WMO, 2025):

- Anidride carbonica atmosferica;
- Temperatura media globale della superficie terrestre;
- Contenuto di calore dell’oceano;
- Livello medio globale del mare;
- PH dell’oceano;
- Bilancio di massa dei ghiacciai;
- Estensione del ghiaccio marino.

Se si osserva come le variabili climatiche stiano cambiando nel tempo (Fig. 1.1) appare evidente che il cambiamento climatico sia un fenomeno oggettivo e che la velocità di tale cambiamento appare in preoccupante crescita.

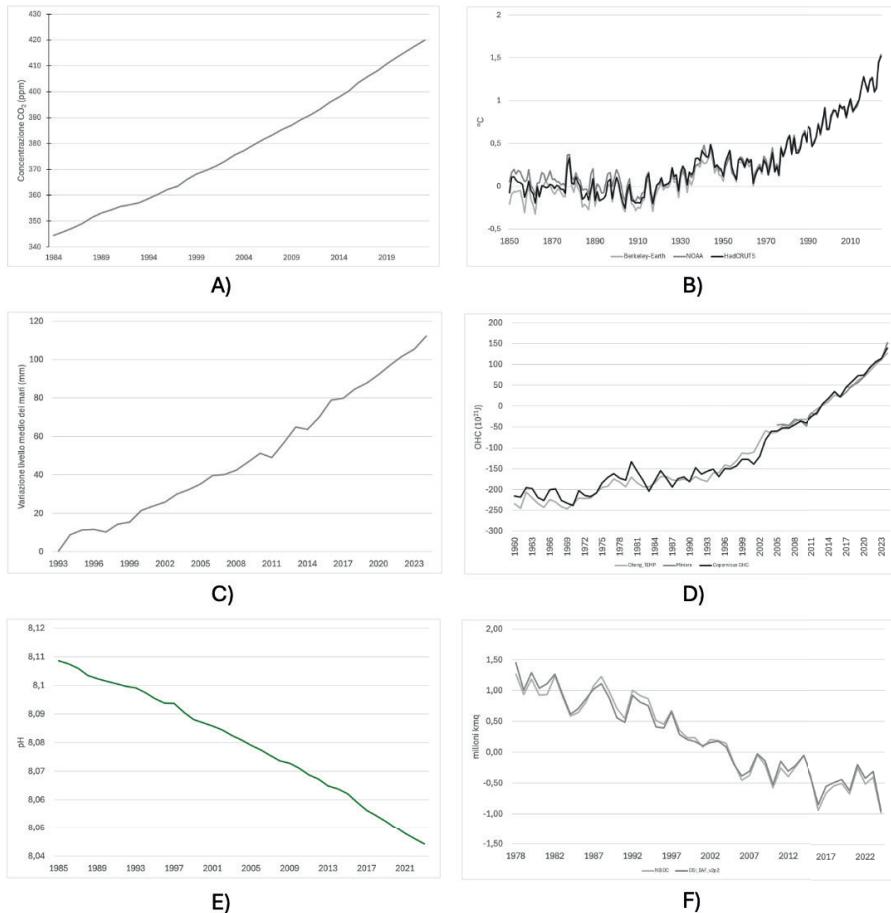


Fig. 1.1 - A) Frazione molare atmosferica media annua di anidride carbonica media globale dal 1984 al 2023 in parti per milione (ppm); B) Anomalie della temperatura media globale annuale dal 1850 al 2024 rispetto alla media del periodo preindustriale (1850-1900); C) Variazione stagionale del livello medio globale del mare dal 1993, mostrata per il periodo 1993-2024; D) Contenuto termico globale annuo degli oceani (OHC) fino a 2000 m di profondità per il periodo 1960-2024, in Zettajoule (10²¹ J); E) pH medio annuo della superficie oceanica globale dal 1985 al 2023; F) Anomalie mensili dell'estensione del ghiaccio marino artico (differenza rispetto alla media 1991-2020) in milioni di chilometri quadrati dal 1979 al 2024 (rielaborazioni degli autori da WMO, 2025)

L'aumento della temperatura media del nostro pianeta rispetto al periodo cosiddetto "pre-industriale"⁵ è sempre più evidente e preoccupante (Fig. 1.1 B): la temperatura media globale annuale nel 2024 è stata di oltre 1,5 °C superiore alla media del 1850-1900. Il 2024 è stato l'anno più caldo nei 175 anni di osservazione e ha superato il record precedente stabilito solo l'anno prima (WMO, 2025). L'aumento della temperatura media globale del pianeta non è uniformemente distribuito sui diversi continenti e se si esamina l'andamento della temperatura per la regione Europa si può notare come l'aumento sia sensibilmente più accelerato rispetto al valore medio e quindi l'attenzione alle conseguenze di questo cambiamento dovrebbe essere ancora più importante (fig. 1.2).

Anche un altro indicatore adottato dalla WMO per monitorare l'andamento del cambiamento climatico – è cioè il contenuto di calore oceanico globale – è in preoccupante crescita (Fig. 1.1 D). Nel 2024, il contenuto di calore oceanico globale osservato ha stabilito un record, superando il precedente record stabilito nel 2023 di 16ZJ⁶ con una incertezza di ± 8 ZJ (WMO, 2025). Le registrazioni strumentali di questo indicatore, che sono iniziate intorno al 1960, mostrano che, negli ultimi otto anni, ogni anno è stato stabilito un nuovo record per il contenuto di calore oceanico. Il tasso di riscaldamento degli oceani negli ultimi due decenni (2005-2024) è pari a circa 11,2-12,1 ZJ all'anno, ossia più del doppio di quello osservato nel periodo 1960-2005 pari a 3,1-3,9 ZJ all'anno.

Anche la acidificazione degli oceani sta destando preoccupazione tra gli esperti in quanto influisce sulla capacità degli oceani stessi di assorbire una grande quantità di CO₂ atmosferica. Gli oceani sono una potenziale risorsa per incrementare le cosiddette "emissioni negative" di CO₂, ovvero la rimozione dalla atmosfera dei gas serra attraverso processi industriali o naturali come quello che si riscontra nella osservazione degli oceani come serbatoi di carbonio. L'anidride carbonica reagisce con l'acqua per formare acido carbonico che, a sua volta, si dissocia formando ioni bicarbonato e carbonato; l'alcalinità dell'acqua oceanica influenza la reazione e all'aumentare dell'alcalinità, si verifica una maggiore dissociazione dell'acido carbonico e quindi maggiori quantità di carbonio vengono tratte-

5. Con il termine "periodo pre-industriale" si indica "il periodo plurisecolare precedente all'inizio dell'attività industriale su larga scala intorno al 1750. Il periodo di riferimento 1850-1900 viene utilizzato per approssimare la temperatura superficiale media globale preindustriale" (IPCC, 2023).

6. Il contenuto di calore degli oceani è misurato in Zettajoule ossia 10²¹ Joule. L'incremento di 16ZJ registrato nel 2023 equivale, in termini di energia, a quella liberata da circa 300 milioni di ordigni nucleari della potenza di 13 chilotoni come quello sganciato sulla città di Hiroshima. (<https://pwg.gsfc.nasa.gov/stargaze/Inucweap.htm> consultato aprile 2025).

nute in soluzione. L'acqua di mare ha un'elevata alcalinità che, unita al grande volume dell'oceano, rende il carbonio inorganico oceanico di gran lunga la più grande riserva nel sistema oceano-atmosfera-biosfera (Renforth, Henderson, 2017). Il cambiamento di alcalinità degli oceani, dovuto al processo di acidificazione registrato dagli osservatori (Fig. 1.1 E), sta di conseguenza rappresentando un forte elemento di preoccupazione in quanto riduce l'effetto di cattura e fissaggio del carbonio presente in atmosfera da parte dell'acqua oceanica.

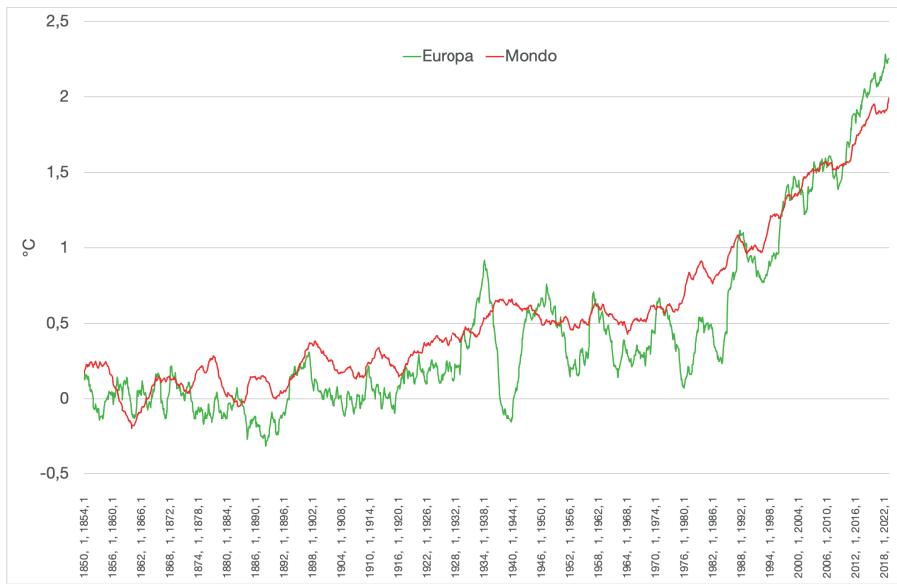


Fig. 1.2 - Temperatura media (valori centrali su periodi di 60 mesi) espressa come aumento rispetto alla media del periodo 1850-1900. Confronto tra l'andamento della temperatura globale e quella della regione Europa; i valori sulla scala dei tempi sono espressi come periodi di 60 mesi (rielaborazione su dati da <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/temperature> consultato nel marzo 2025)

Benché il cambiamento climatico sia in linea di principio collegato a fenomeni naturali quali l'irraggiamento solare totale (TSI Total Solar Irradiance), la variazione dell'orbita terrestre oppure le attività vulcaniche, l'effetto delle attività antropiche – in particolare delle attività che generano emissioni di gas serra – è stato stabilito che sia la causa principale del riscaldamento globale del periodo più recente che convenzionalmente viene studiato dal 1850 in poi (IPCC, 2023). L'aumento della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera causato dall'uomo è il principale motore del

cambiamento climatico: le attuali concentrazioni atmosferiche di CO₂ sono più alte che in qualsiasi altro momento negli ultimi 2 milioni di anni e analogamente le concentrazioni degli altri due principali gas serra CH₄ e N₂O sono più alte che in qualsiasi altro momento negli ultimi 800.000 anni (WMO, 2025).

L'International Panel on Climate Change (IPCC, 2023) prevede che i rischi climatici che impattano sulla salute, sui mezzi di sussistenza, sulla sicurezza alimentare, sull'approvvigionamento idrico, sulla sicurezza umana e sulla crescita economica aumenteranno di pari passo con l'incremento del riscaldamento globale. Se il livello di riscaldamento globale GWL (Global Warming Level) rimanesse quello attualmente rilevato, ossia oltre un grado e mezzo superiore al periodo pre-industriale, i fenomeni previsti sono, ad esempio: una percentuale circa pari al 10% delle decine di migliaia di specie animali censite probabilmente affronteranno un rischio molto elevato di estinzione; si prevede che le barriere coralline diminuiranno in maniera importante per oltre il 50% della loro massa; molti ghiacciai a bassa quota e di piccole dimensioni in tutto il mondo perderebbero gran parte della loro massa o scomparirebbero nel giro di decenni. Tali fenomeni risulterebbero più accentuati in aree quali gli ecosistemi artici, le regioni aride, i piccoli stati insulari in via di sviluppo e i paesi meno sviluppati. Se il GWL arrivasse a valori più elevati pari a 4°C e oltre, gli impatti previsti sui sistemi naturali includerebbero: l'estinzione locale di circa il 50% delle specie marine tropicali; circa 4 miliardi di persone potrebbero essere soggette a scarsità d'acqua; la frequenza degli incendi aumenterebbe di circa il 30% rispetto a oggi e di conseguenza l'area globale bruciata da incendi aumenterà dal 50 al 70% (IPCC, 2023).

In sostanza il cambiamento del clima, in particolare il riscaldamento globale, è in grado di modificare profondamente ed in maniera permanente i diversi ecosistemi del nostro pianeta con effetti che possiamo definire cronici. Allo stesso tempo, tuttavia, il riscaldamento globale è in grado di generare degli effetti acuti che tipicamente vengono classificati sotto il termine di eventi, meteorologici o climatici, estremi definiti (IPCC, 2023) come: “il verificarsi di un valore di una variabile meteorologica o climatica al di sopra (o al di sotto) di un valore soglia vicino alle estremità superiori (o inferiori) dell'intervallo di valori osservati della variabile. Per definizione, le caratteristiche di ciò che viene definito meteo estremo possono variare da luogo a luogo in senso assoluto. Quando un modello di meteo estremo persiste per un certo periodo di tempo, come una stagione, può essere classificato come un evento climatico estremo, soprattutto se produce una media o un totale che è di per sé estremo (ad esempio, temperatura elevata, siccità o forti piogge in una stagione)”.

Il sesto, più recente, Assessment Report dell'Intergovernmental Panel on Climate Change afferma senza lasciare spazio a incertezze il nesso diretto che è stato riscontrato tra il cambiamento climatico⁷ e gli eventi meteorologici estremi: “Il cambiamento climatico indotto dall'uomo sta già influenzando molti eventi meteorologici e climatici estremi in ogni regione del mondo. Le prove di cambiamenti osservati in eventi estremi come ondate di calore, forti precipitazioni, siccità e cicloni tropicali e, in particolare, la loro attribuzione all'influenza umana, si sono rafforzate” (Masson-Delmotte *et al.*, 2021).

La valutazione sulla natura degli eventi estremi non appare in questo momento essere caratterizzata da un metodo specifico di attribuzione tramite la definizione di un legame causa-effetto: si riscontra in letteratura la presenza di numerosi studi che utilizzano una vasta gamma di metodi e dati per dimostrare il nesso di causalità tra cambiamento climatico ed evento specifico. In letteratura sono disponibili quasi 750 studi di attribuzione individuali⁸ che consentono di fare affermazioni generali su come diversi tipi di eventi estremi stanno cambiando in differenti regioni del mondo a causa del cambiamento climatico antropogenico senza necessariamente intraprendere uno studio di attribuzione su misura (Otto, 2023). Di questi 750 studi, 160 sono relativi a eventi registrati nella regione europea e la loro analisi fornisce un quadro abbastanza evidente di quelli che sono gli effetti del cambiamento climatico. Gli studi sono classificati in funzione dell'effetto che le nuove condizioni climatiche hanno determinato sulla intensità del singolo evento che viene graduata, rispetto alla ipotesi di evento senza effetti del cambiamento climatico, in maggiore gravità, minore gravità o pari gravità. È interessante rilevare il fatto che dei 160 studi esaminati la maggior parte, circa 70, sono riferiti a ondate di calore e la quasi totalità degli eventi è stata stimata come di maggiore gravità rispetto allo scenario di assenza di cambiamento climatico. Al secondo posto per numero di eventi estremi registrati si collocano le piogge estreme e le inondazioni che sono state valutate come maggiormente gravi rispetto allo scenario senza cambiamento climatico per circa il 60% dei casi. Di 160 eventi solamente 10

7. Cambiamento climatico: Un cambiamento nello stato del clima che può essere identificato (ad esempio, utilizzando test statistici) da cambiamenti nella media e/o nella variabilità delle sue proprietà e che persiste per un periodo prolungato, in genere decenni o più. Il cambiamento climatico può essere dovuto a processi interni naturali o a forzanti esterne come modulazioni dei cicli solari, eruzioni vulcaniche e cambiamenti antropogenici persistenti nella composizione dell'atmosfera o nell'uso del suolo (IPCC, 2023).

8. Fonte: www.carbonbrief.org/mapped-how-climate-change-affects-extreme-weather-around-the-world/ (consultato febbraio 2025).

sono stati valutati come meno gravi rispetto all'assenza del cambiamento climatico e dei 10 eventi meno gravi 9 sono catalogati come eventi “freddo, neve e ghiaccio” e questo sembra essere pienamente compatibile con il fatto che un clima più caldo rende meno severi gli eventi di freddo estremo.

I cinque eventi estremi diretti e indiretti collegati al cambiamento climatico nelle aree urbane, identificati nel Quinto rapporto pubblicato dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014) erano:

- Ondate di calore;
- Siccità;
- Inondazioni costiere;
- Inondazioni interne;
- Problemi di salute umana.

Lo stesso documento delineava anche i sei settori più esposti nell'ambito dell'ambiente costruito e urbano:

- Approvvigionamento idrico;
- Approvvigionamento energetico;
- Telecomunicazioni;
- Ambiente costruito;
- Infrastrutture verdi e servizi ecosistemici;
- Servizi urbani e sociali.

Nel successivo Assessment Report VI (IPCC, 2022) è stata proposta una ulteriore visione degli impatti da cambiamento climatico che li classifica in categorie in funzione della area di impatto e propone delle letture a scala più dettagliata per ogni area (Tab. 1.1):

Tab. 1.1 - Categorie e aree di impatti (IPCC, 2022)

Categorie	Impatti
Impatti sulla scarsità d'acqua e sulla produzione alimentare	<ul style="list-style-type: none">– Scarsità d'acqua– Agricoltura/produzione agricola– Salute e produttività di animali e bestiame– Rese della pesca e produzione di acquacoltura
Impatti sulla salute e sul benessere	<ul style="list-style-type: none">– Malattie infettive– Calore, malnutrizione e altro– Salute mentale– Spostamento/migrazioni
Impatti su città, insediamenti e infrastrutture	<ul style="list-style-type: none">– Inondazioni interne e danni associati– Danni indotti da inondazioni/tempete nelle aree costiere– Danni alle infrastrutture– Danni ai settori economici chiave

L'impatto degli eventi estremi in termini di danni economici e perdita di vite umane è estremamente rilevante: per la sola Europa si stima che nel periodo 1980-2023 i danni economici da eventi climatici siano stati pari a circa 740 miliardi di euro e i corrispondenti decessi siano stati oltre 240.000 (Tab. 1.2). È interessante rilevare una diversa propensione alla valutazione dei rischi nelle diverse aree geografiche dell'Europa che può essere interpretata dalla percentuale dei danni che risultano coperti da una assicurazione. I paesi del nord Europa – campione rappresentato da Germania, Svizzera, Francia, Olanda e Belgio – sembrano avere una elevata consapevolezza dei rischi derivanti dal clima e di conseguenza trasferiscono parte del rischio economico alle compagnie di assicurazione per una percentuale che va dal 30% al 40% circa. I paesi del sud Europa – Italia, Spagna, Portogallo, Grecia – non sembrano avere la medesima consapevolezza dei danni economici che possono derivare dagli eventi climatici estremi e come conseguenza il loro livello di trasferimento del rischio alle compagnie di assicurazione appare estremamente limitato e contenuto entro il 5%.

Tab. 1.2 - Distribuzione dei danni economici e dei decessi da eventi climatici estremi in Europa dal 1980 al 2023. (Fonte: www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/economic-losses-from-climate-related consultato nel febbraio 2025)

Paese	Perdite totali	Perdite per kmq	Perdite per abitante	Perdite assicurate	Perdite assicurate	Decessi
	Milioni di euro	Euro	Euro	Milioni di euro	%	N
Germany	180.372	504.438	2.225	54.759	30	104544
Italy	133.934	443.373	2.311	5.916	4	21822
France	129.897	203.449	2.092	46.052	35	50461
Spain	95.966	189.662	2.258	5.243	5	32053
Poland	20.630	66.138	545	1.379	7	2553
Switzerland	19.893	481.820	2.685	7.278	37	2309
Romania	19.628	82.335	916	199	1	1445
Czechia	18.533	234.974	1.783	2.168	12	716
Slovenia	17.484	862.448	8.693	271	2	321
Belgium	16.988	553.942	1.612	6.679	39	4693
Portugal	16.671	180.755	1.628	578	3	10339
Greece	16.350	124.155	1.548	849	5	4690
Austria	14.726	175.564	1.806	2.786	19	771
Netherlands	10.970	293.491	688	4.297	39	3918
Hungary	10.444	112.291	1.026	587	6	874
Total EU-27	738.280			139.872		245719

Per quanto riguarda il tema delle ondate di calore si osserva che queste presentano la mortalità più alta di tutti gli eventi meteorologici estremi. Si ritiene che gli impatti del caldo estremo e delle ondate di calore siano sotto-estimati e la mortalità correlata al caldo potrebbe essere 30 volte superiore alle stime attuali che sono comunque particolarmente rilevanti. Tra il 2000 e il 2019, i decessi stimati dovuti al caldo sono stati circa 489.000 all'anno, con un carico particolarmente elevato in Asia (45%) ed Europa (36%) (WMO, 2023). Il riscaldamento correlato ai cambiamenti climatici e gli eventi meteorologici estremi più frequenti e intensi, come ondate di calore, tempeste, inondazioni e siccità, stanno già mettendo a rischio crescente la salute della popolazione europea. Gli impatti diretti del calore sulla salute includono decessi dovuti a ondate di calore, stress da calore, infortuni sul lavoro (cfr.Capitolo 6) e disturbi del sonno; quando esposto a periodi di temperature molto elevate, il corpo umano può avere difficoltà a regalarsi, con conseguenti stress da calore, colpi di calore e complicazioni da condizioni mediche preesistenti, che in alcuni casi portano a morte prematura. Questi particolari effetti per la salute sono avvertiti in modo particolare dai gruppi di popolazione più vulnerabili e svantaggiati, tra cui ad esempio le famiglie a basso reddito, gli anziani, i bambini e i lavoratori all'aperto. L'invecchiamento della popolazione europea insieme ad altri fattori, come ad esempio l'elevato tasso di urbanizzazione, rendono la regione particolarmente vulnerabile ai rischi per la salute correlati al clima con una particolare criticità relativa all'Europa meridionale che ovviamente presenta un livello di rischio più elevato (EEA, 2024).

Gli impatti generati dalle ondate di calore e dall'aumento medio delle temperature aggiungono inoltre un ulteriore onere indiretto per i sistemi sanitari europei. Ad esempio, in Francia, nel 2022, le visite al pronto soccorso sono raddoppiate e le visite mediche sono triplicate durante le ondate di calore per tre condizioni di salute legate alle alte temperature (ipertermia, disidratazione e iponatriemia) rispetto alle condizioni non legate alle ondate di calore (Sante Publique France, 2022). Le temperature durante l'estate del 2022 sono state più calde della media nella maggior parte d'Europa, ma i maggiori tassi di mortalità estiva legata al caldo sono stati riscontrati nei paesi vicini al Mar Mediterraneo. Complessivamente, sono stati stimati 62.862 decessi correlati al caldo in Europa nel 2022; Italia, Spagna, Germania, Francia, Regno Unito e Grecia hanno registrato i tassi di mortalità estiva più elevati. In termini relativi, i tassi di mortalità estiva più elevati sono stati riscontrati nei paesi vicini al Mar Mediterraneo, tra cui Italia, Grecia, Spagna e Portogallo. Appare quindi particolarmente importante far crescere la consapevolezza della vulnerabilità delle popolazioni dell'Europa meridionale agli effetti del cambiamento climatico; popolazioni che saranno sempre più esposte a condizioni estive

estreme e per le quali ci si attende che in futuro subiscano un tasso di mortalità correlato al caldo sempre più elevato (Ballester *et al.*, 2023). Le prospettive rispetto al rischio climatico rappresentato dalle ondate di calore non sono tranquillizzanti: si prevede che le temperature estremamente elevate aumenteranno di frequenza in futuro e anche se il riscaldamento globale venisse limitato al livello di 1,5 °C previsto dagli accordi di Parigi, 100 milioni di persone nell'UE e nel Regno Unito sperimenteranno ondate di calore estreme ogni anno entro la fine del secolo con un aumento pari a dieci volte rispetto al periodo di riferimento 1981-2010 (EEA, 2024).

L'innalzamento delle temperature e le ondate di calore presentano come conseguenza anche delle variazioni alle condizioni di disponibilità e fabbisogno di acqua. La scarsità di acqua è uno degli effetti già misurati derivanti dalle mutate condizioni climatiche soprattutto per quanto riguarda l'Europa meridionale (Fig. 1.3).

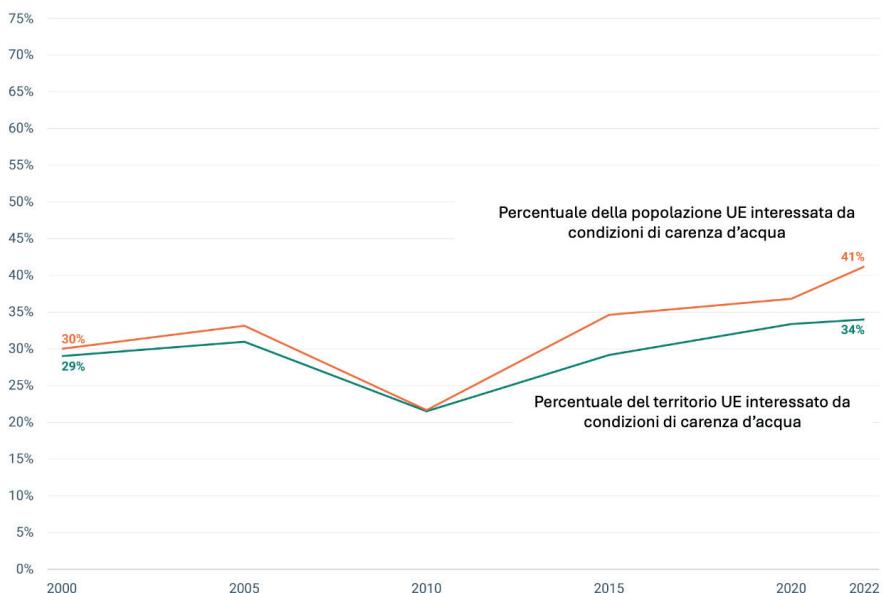


Fig. 1.3 - Andamento delle condizioni di scarsità d'acqua per i paesi europei nel 2022, misurate dall'indice di sfruttamento idrico (WEI)⁹ superiore al 20% (Fonte: www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/use-of-freshwater-resources-in-europe-1 consultato marzo 2025)

9. L'indice di sfruttamento idrico (WEI+) fornisce una misura del consumo idrico totale come percentuale delle risorse di acqua dolce rinnovabili disponibili per un dato territorio e periodo. Quantifica quanta acqua viene estratta e quanta acqua viene restituita

La scarsità di acqua si riflette inoltre su un altro importante parametro ambientale, l'umidità del suolo, che risulta essenziale per le coltivazioni e lo sviluppo delle piante. Regola la temperatura, la salinità, la disponibilità di nutrienti e la presenza di sostanze tossiche, conferisce struttura al suolo e contribuisce a prevenirne l'erosione. Poiché il contenuto di umidità del suolo è un importante indicatore delle condizioni del suolo e dello stato generale del sistema territoriale, determina l'idoneità all'uso del suolo. La siccità oltre agli effetti diretti sulla produzione agricola e sulle condizioni generali di vita della popolazione, presenta anche delle ricadute sulla capacità della natura di fornire un'ampia gamma di benefici ambientali e di adattamento ai cambiamenti climatici, ad esempio, con riferimento alle infrastrutture verdi e alle *nature based solutions*. Nel periodo 2000-2019, il contenuto di umidità del suolo durante la stagione di crescita nei 38 paesi che aderiscono alla rete della European Environment Agency è risultato diverse volte al di sotto del livello critico, mostrando una forte tendenza al ribasso nella regione continentale settentrionale. I maggiori valori del deficit di umidità del suolo si sono verificati negli ultimi nove anni del periodo, mostrando una buona correlazione con l'aumento generalizzato delle temperature. L'area interessata da deficit di umidità del suolo durante la stagione di crescita delle coltivazioni è aumentata tra il 2000 e il 2019, con una concentrazione di questo incremento che si colloca negli ultimi 3 anni del periodo passando da 800.000 km² nel 2017 a 1,45 milioni di km² nel 2019 (EEA, 2024).

Un altro punto di osservazione sul tema generale della disponibilità di acqua nella nostra regione riguarda l'andamento della massa dei ghiacciai continentali che rappresentano una importante riserva idrica in grado di accumulare acqua che viene poi distribuita nei mesi caldi quando il fabbisogno risulta maggiore. Negli ultimi tre decenni solamente tre anni hanno fatto registrare un aumento della massa dei ghiacciai rispetto a dei valori che sono sempre stati sostanzialmente di variazioni in diminuzione della quantità (Fig. 1.4). Dal 1990 al 2023 è stata registrata una perdita complessiva della massa dei ghiacciai del centro Europa (quindi essenzialmente i ghiacciai alpini) per un valore pari a oltre 27 metri di acqua

all'ambiente dai settori economici prima o dopo l'uso. La differenza tra estrazioni e restituzioni idriche è considerata "consumo idrico". In assenza di obiettivi formali concordati a livello europeo, valori superiori al 20% sono generalmente considerati un segnale di scarsità idrica, mentre valori uguali o superiori al 40% indicano situazioni di grave scarsità idrica, il che significa che l'uso delle risorse di acqua dolce non è sostenibile. I calcoli annuali del WEI+ a livello nazionale non riflettono una distribuzione spaziale e stagionale irregolare delle risorse e possono quindi mascherare lo stress idrico, che si verifica su base statale o regionale.

equivalente, che equivalgono a circa 27 tonnellate di ghiaccio in meno per ogni metro quadro di estensione dei ghiacciai. L'area dei ghiacciai alpini si è ridotta da un valore massimo di circa 4250 km², registrato intorno al 1850 in quella che è stata definita “piccola era glaciale” (LIA Little Ice Age), al valore di circa 1800 km² nel 2015 con un decremento di circa il 57% del totale. Per quanto riguarda il volume degli stessi ghiacciai si è riscontrata una diminuzione, sempre nello stesso periodo, da circa 280 km³ intorno al 1850 a circa 100 km³ nel 2015 con un differenziale di -64% rispetto al valore iniziale. Ancora più preoccupante è la misurazione della velocità con la quale la superficie dei ghiacciai si è abbassata rispetto al livello originale: l'abbassamento di -43,6 m dal 1850 fino al 2015 fornisce un valore di abbassamento medio pari a -0,26 m/anno che è meno di un terzo della velocità media di abbassamento del periodo 2000-2015 nella quale la superficie è scesa alla velocità di -0,82 m/anno (Reinthal, Paul, 2025).

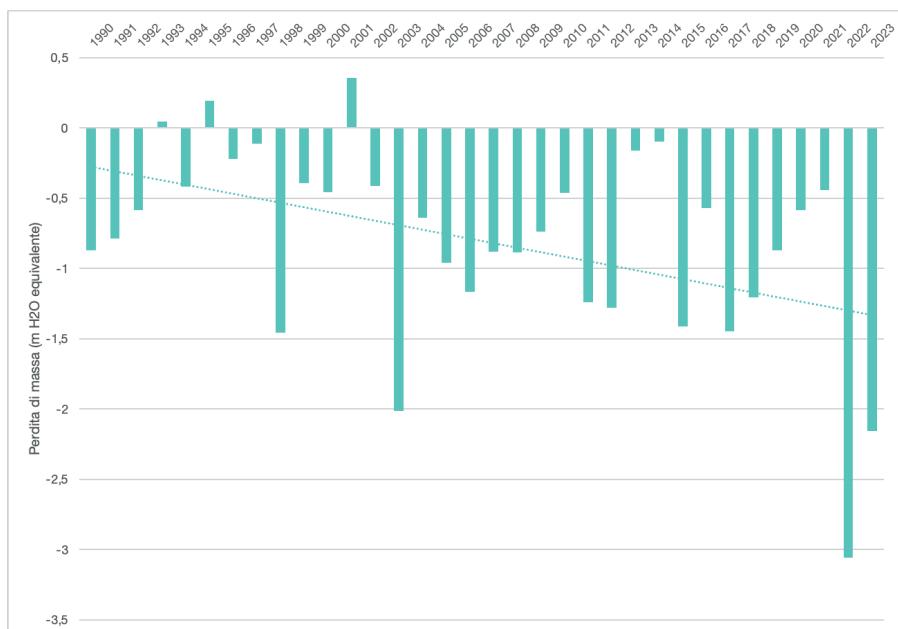


Fig. 1.4 - Variazione annuale della massa dei ghiacciai dell'Europa Centrale nel periodo 1990-2023 espressa in metri di acqua equivalente (Una variazione di massa di -1,0 m H₂O equivalente all'anno equivale a una perdita di spessore del ghiaccio di circa 1,1 m e corrisponde a una perdita di massa di una tonnellata per metro quadrato di superficie del ghiacciaio). (Fonte:<https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/glaciers> consultato marzo 2025)

Un altro fenomeno che si può ricondurre agli eventi generati da cambiamenti climatici, sebbene non tutti gli studiosi concordino su questo, è quello dei venti estremi che nel periodo 2000-2018 sono stati individuati come causa del 60% dei danni da eventi meteorologici coperti da assicurazione. Alcuni studi (Outten, Sobolowski, 2021) hanno evidenziato come l'evoluzione del cambiamento climatico porterà con alta probabilità ad un aumento della frequenza di venti estremi nei prossimi decenni. Ad esempio, l'analisi delle condizioni in Europa settentrionale porta a una previsione che venti estremi con una frequenza di ritorno che attualmente è di 100 anni in futuro si verifichino con una frequenza di circa 83 anni nel periodo 2011-2040, 76 anni nel periodo 2041-2070 e 67 anni nel periodo 2071-2100.

Se si analizza (Fig. 1.5) la distribuzione nel tempo dei valori dei danni aggregati riportati nella Tab. 1.2 risulta evidente un andamento crescente nel tempo che appare ben allineato alla curva che riporta, per lo stesso arco temporale, l'aumento medio della temperatura in Europa espresso come gradi in più rispetto alla temperatura del periodo pre-industriale. L'aumento dei fenomeni estremi e del loro impatto in termini di perdite umane e materiali sembra essere ben correlato al corrispondente aumento

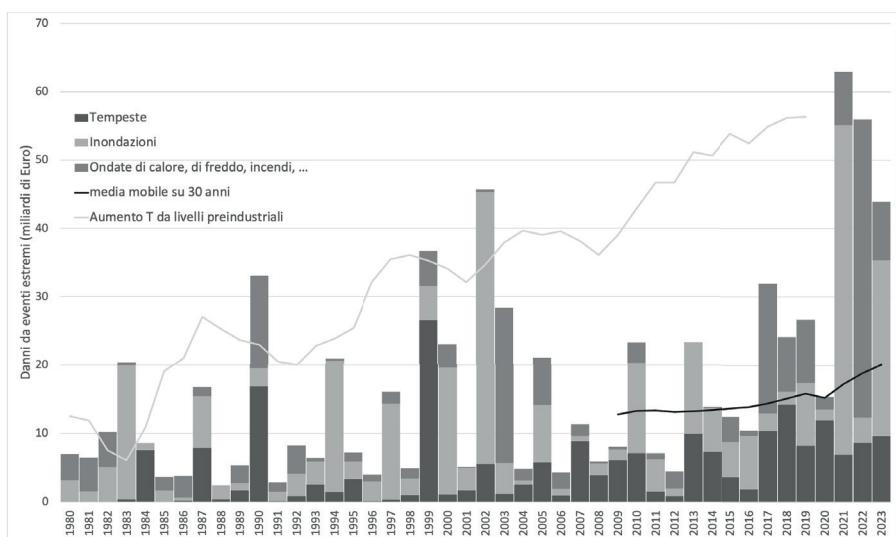


Fig. 1.5 - Andamento dei danni economici causati da eventi climatici estremi in Europa nel periodo 1980-2023 confrontati con l'incremento medio delle temperature annuali rispetto ai livelli pre-industriali. (Fonte: European Environment Agency website www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/economic-losses-from-climate-related/annual-economic-losses-caused)

della temperatura media della regione europea. Del totale dei danni registrati in un periodo di 44 anni (1980-2023) il 50% è stato registrato in poco più del 30% del periodo e cioè negli ultimi 15 anni¹⁰ dando ragione di un fenomeno che, pur nella variabilità annuale che si può rilevare, appare in continua accelerazione proprio in accordo alla accelerazione dell'aumento di temperatura della regione.

Analizzando i dati rilevati in USA dal National Centers for Environmental Information (Fig. 1.6) risulta ampiamente evidente il medesimo preoccupante andamento di quanto registrato nel continente europeo: il danno economico da eventi estremi sembra presentare un andamento che mostra una accelerazione crescente dai primi anni 2000, e cioè da quando l'aumento delle temperature medie del globo ha registrato un costante e

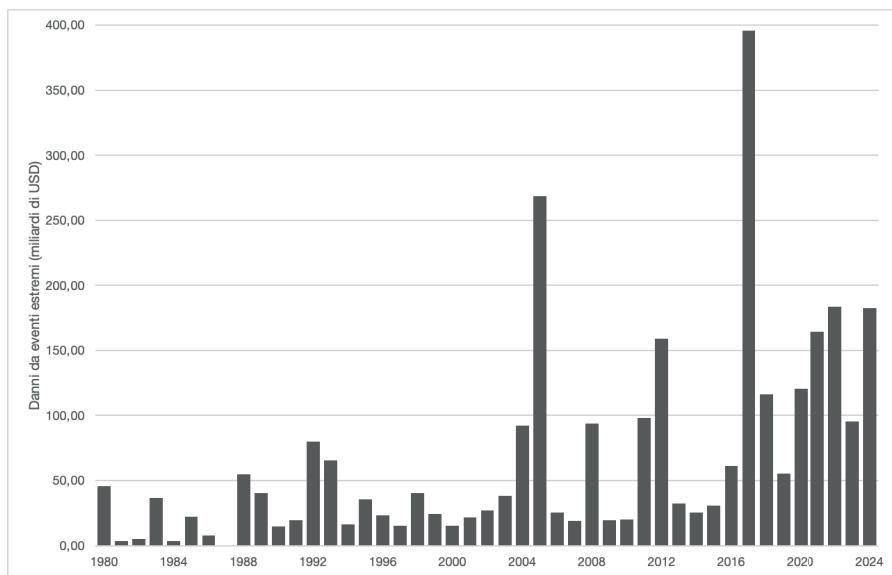


Fig. 1.6 - Andamento dei danni economici causati da eventi climatici estremi negli Stati Uniti d'America. Il danno complessivo comprende: Costo della siccità/Costo delle inondazioni/Costo del gelo/Costo delle tempeste gravi/Costo dei cicloni tropicali/Costo degli incendi boschivi/Costo delle tempeste invernali. (Fonte: National Centers for Environmental Information (NCEI) U.S. Billion-Dollar Weather and Climate Disasters (2025). www.ncei.noaa.gov/access/billions/, DOI: 10.25921/stkw-7w73)

10. Fonte: European Environment Agency website www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/economic-losses-from-climate-related/annual-economic-losses-caused consultato nel marzo 2025.

rapido incremento. Il 50% dei danni si è verificato in solo il 25% del tempo ovvero negli ultimi dieci anni del periodo 1980-2024. La media dei danni annuali dei primi dieci anni del periodo considerato era pari a 21,3 miliardi di USD/anno mentre la media annuale degli ultimi dieci anni risulta pari a oltre sei volte tanto e cioè oltre 130 miliardi di USD/anno. Secondo il National Centers for Environmental Information (NCEI), nel solo 2024, si sono verificati negli Stati Uniti 27 eventi di catastrofe climatica e meteorologica con danni confermati di almeno un miliardo di dollari. Questi eventi hanno compreso diciassette tempeste (tornado, vento forte, grandinate), cinque cicloni tropicali, un incendio boschivo, una siccità/ondata di calore e due tempeste invernali/ondate di freddo. Il costo totale di questi 27 eventi nel 2024 è stato di 182,7 miliardi di dollari rispetto ad un costo totale degli ultimi dieci anni (2015-2024) che supera 1,4 trilioni di dollari; i danni registrati complessivamente dal 1980 al 2024 superano 2,915 trilioni di dollari (NCEI, 2025).

I danni economici originati dagli eventi estremi generati dal cambiamento climatico sono, come visto in precedenza, molto significativi; comprendono sia effetti diretti – che vanno dalle perdite nelle produzioni agricole o danni alle infrastrutture fisiche – sia effetti indiretti come, ad esempio influenze sulla produzione agricola, con cambiamenti nella distribuzione delle coltivazioni e conseguenti minacce alla sicurezza della filiera alimentare. I dati riportati nelle figure precedenti comprendono sostanzialmente gli effetti diretti degli eventi estremi, che sono associabili ai singoli eventi registrati e analizzati, ma non comprendono altri effetti che hanno un impatto sulla collettività anche rilevante come, ad esempio, l'aumento dei costi sanitari generato dalla diffusione di malattie tropicali con aumento dei rischi per la salute e dei costi sanitari anche in regioni nelle quali tali malattie sono state estranee per secoli. Termini quali Dengue, Chikungunya e Zika – che identificano alcune malattie tropicali trasmesse da vettori artropodi come le zanzare, che sono particolarmente sensibili ai cambiamenti delle condizioni climatiche esterne (Semenza, Paz, 2021) perché sono animali a sangue freddo – erano quasi sconosciuti in Italia fino a solamente pochi anni fa ma stanno diventando ormai di uso comune. I dati rilasciati dallo European Centre for Disease Prevention and Control indicano per il 2024 nel continente europeo la registrazione di circa 300 casi di dengue endemica – ovverosia che non è stata contratta in viaggi all'estero – che risultano essere concentrati per il 70% in Italia ed il rimanente in Spagna e nel sud della Francia.

1.2. Mitigazione e adattamento: strategie complementari per la gestione dei rischi

I fattori di rischio climatico e gli impatti generati dal riscaldamento globale – ondate di calore, siccità, inondazioni costiere, inondazioni interne e problemi di salute umana – sono una consapevolezza ormai acquisita e occorre di conseguenza definire le strategie con le quali contrastare i fenomeni e la loro causa radice. La risposta al cambiamento climatico richiede un approccio che si articola in due direzioni: da un lato si deve agire sulla causa radice del cambiamento climatico e cioè occorre ridurre le emissioni di gas climalteranti (CO_2 e gli altri gas serra) e la loro concentrazione nell'atmosfera terrestre che provoca la permanenza del calore e l'innalzamento delle temperature; dall'altro lato diventa un imperativo urgente anche quello di adattare i sistemi umani, le città, gli edifici, le infrastrutture e le attività ai cambiamenti climatici già in atto. Da un lato si deve agire per mitigare i fenomeni attraverso la riduzione delle cosiddette forzanti che generano il cambiamento climatico riducendo quindi il livello delle sollecitazioni in generale sull'ambiente e in particolare sull'ambiente costruito: questa azione viene identificata con il termine **Mitigazione** (del cambiamento climatico) che viene definita (IPCC, 2019) “un intervento umano per ridurre le emissioni o aumentare l'assorbimento dei gas serra¹¹”. L'altra azione che si deve perseguire per contrastare il cambiamento climatico, non nelle sue cause ma nei suoi effetti, è quella di adattare l'ambiente costruito alle nuove intensità delle azioni naturali alle quali viene esposto in considerazione degli eventi climatici: questa azione viene identificata (IPCC, 2019) con il termine **Adattamento** che viene definito nella seguente maniera: “nei sistemi umani, il processo di adattamento al clima reale o previsto e ai suoi effetti, al fine di mitigare i danni o sfruttare opportunità benefiche. Nei sistemi naturali, il processo di adattamento al clima reale e ai suoi effetti; l'intervento umano può facilitare l'adattamento al clima previsto e ai suoi effetti”. L'accordo di Parigi propone una definizione simile di adattamento climatico, identificandolo come “cambiamenti ai

11. Gas serra (GHG) Costituenti gassosi dell'atmosfera, sia naturali che antropici, che assorbono ed emettono radiazioni a specifiche lunghezze d'onda all'interno dello spettro di radiazione emessa dalla superficie terrestre, dall'atmosfera stessa e dalle nuvole. Questa proprietà causa l'effetto serra. Il vapore acqueo (H_2O), l'anidride carbonica (CO_2), il protoxido di azoto (N_2O), il metano (CH_4) e l'ozono (O_3) sono i principali gas serra presenti nell'atmosfera terrestre. I gas serra di origine antropica includono l'esafluoruro di zolfo (SF_6), gli idrofluorocarburi (HFC), i clorofluorocarburi (CFC) e i perfluorocarburi (PFC); molti di questi contribuiscono anche alla riduzione dell' O_2 (e sono regolamentati dal Protocollo di Montreal) (IPCC, 2019).

sistemi socio-tecnici che supportano la vita umana alla luce degli inevitabili cambiamenti climatici” (UNFCCC, 2015).

Mentre la mitigazione mira a ridurre la probabilità di accadimento degli eventi climatici, l’adattamento climatico, inteso quindi come “processo di adattamento al clima attuale o previsto e ai suoi effetti” si pone l’obiettivo di contenere o eliminare gli impatti derivanti da eventi (rischi) legati al clima e, nel migliore dei casi, a sfruttarne le opportunità benefiche. Assumendo dei termini comunemente utilizzati nell’ambito della valutazione dei rischi possiamo associare i due termini di mitigazione e adattamento ai concetti di prevenzione e protezione dai rischi. La prevenzione è attuata attraverso azioni che mirano a ridurre la probabilità con la quale un pericolo, o sorgente di rischio, manifesti un evento che genera la attivazione di un rischio. La protezione è una misura di controllo del rischio che mira a ridurre le conseguenze del manifestarsi degli eventi che si manifestano in relazione alla presenza e attivazione di una sorgente di rischio.

Le differenze tra mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici possono essere riassunte e interpretate rispetto a diversi punti di vista (Tab. 1.3).

Tab. 1.3 - Principali differenze tra mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici (adattato da Fussel, Klein, 2006)

	Mitigazione	Adattamento
Sistemi destinatari	Tutti i sistemi	Sistemi selezionati
Scala degli effetti	Globale	Locale o regionale
Prospettiva di vita	Secoli	Da anni a secoli
Tempo di attuazione	Decadi	Da immediato a decadi
Efficacia	Certa	In genere meno certa
Benefici accessori	Talvolta	Spesso
Chi inquina paga	Tipicamente	Non necessariamente
Benefici per gli operatori	Pochi	Molti
Monitoraggio	Relativamente facile	Più difficile

Anche se le emissioni di gas serra venissero ridotte a zero oggi, i modelli climatici globali e le proiezioni climatiche dell’IPCC ci dicono che il riscaldamento globale continuerà a influenzare il pianeta e i sistemi antropici nel prossimo futuro (IPCC, 2014). Nell’attesa che gli sforzi per ridurre le emissioni dimostrino la loro efficacia nel lungo periodo, le conseguenze già evidenti del cambiamento climatico sono per il momento inevitabili e risulta fondamentale adottare azioni complementari alle iniziative di mitigazione:

i sistemi umani devono adattarsi agli effetti del cambiamento climatico per ridurne gli impatti in attesa che tali effetti vengano mitigati dalle azioni di riduzione delle emissioni e de-carbonizzazione. Nonostante queste evidenze, nella percezione comune le strategie di mitigazione sono sempre più riconosciute come una questione chiave e gli studi scientifici in questo campo sono in costante aumento. Inoltre, la mitigazione è generalmente considerata una priorità nelle politiche climatiche, anche perché misurare, monitorare e valutare l'efficacia delle azioni di mitigazione in termini di riduzione delle emissioni risulta oggi relativamente semplice.

Il tempo necessario per rallentare i cambiamenti climatici è atteso che sia nell'ordine di grandezza dei decenni come, ad esempio, indicato nelle previsioni sviluppate sui criteri degli accordi di Parigi (UNFCCC, 2015). Il tempo di risposta dell'atmosfera alla modifica delle attività antropiche è lungo e incerto come ci insegna l'esperienza del Protocollo di Montreal per la messa al bando delle sostanze lesive dell'ozono.

Il Protocollo di Montreal sulle sostanze che riducono lo strato di ozono (conosciute come Ozone Depleting Substances – ODS) è stato creato nel 1987 sotto l'egida delle Nazioni Unite e in particolare dell'UNEP United Nation Environment Programme rappresentando il primo trattato globale sull'ambiente in accordo alle prospettive introdotte dalla dichiarazione di Stoccolma nel 1972 (cfr. Cap. 2). L'obiettivo del Protocollo di Montreal, a fine 2024 sottoscritto da 198 Paesi¹², era quello di regolamentare le sostanze ODS responsabili della riduzione dell'ozono stratosferico che difende la vita sulla terra dagli effetti nocivi delle radiazioni ultraviolette presenti nello spettro di emissione del sole. Il Protocollo di Montreal, e i suoi successivi aggiornamenti, hanno imposto la progressiva messa al bando di sostanze per le quali era stato scientificamente provato il loro potenziale di danno nei confronti dello strato di ozono (Perry *et al.*, 2024). Ampiamente acclamato come il trattato ambientale internazionale di maggior successo al mondo, il Protocollo di Montreal ha eliminato gradualmente oltre il 99% della produzione di sostanze lesive per l'ozono, avviando lo strato di ozono sulla strada del recupero. Si prevede che il buco dell'ozono antartico si chiuderà gradualmente tornando ai valori del 1980 dopo la metà del secolo intorno al 2065 (WMO, 2022).

Anche se il Protocollo di Montreal è, giustamente, considerato un esempio di successo nella protezione globale dell'ambiente¹³ non si può

12. Fonte: <https://ozone.unep.org/all-ratifications> consultato aprile 2025.

13. Si consideri che il numero di paesi che hanno sottoscritto il Protocollo di Montreal, cioè 198, è superiore al numero di Paesi che aderiscono alle Nazioni Unite che sono in numero pari a 193 (fonte: www.un.org/en/about-us consultato aprile 2025).

tralasciare una considerazione che può destare qualche preoccupazione rispetto al percorso, comunque obbligatorio, della mitigazione. In un ambito tutto sommato controllabile quasi facilmente – quale quello della messa al bando di sostanze che venivano usate pressoché esclusivamente nell'industria¹⁴ e quindi più confinate e facili da intercettare – gli effetti auspicati, in termini di ritorno dello strato di ozono stratosferico alle condizioni del 1980, si prevede che vengano raggiunti circa 80 anni dopo la decisione di agire. Se si confronta lo scenario di Montreal con quello degli accordi di Parigi si deve considerare che la lotta al riscaldamento globale richiede una azione diffusa e immediata: per contenere il riscaldamento globale entro 1,5°C, come previsto dall'accordo di Parigi, le emissioni devono essere ridotte del 43% entro il 2030 e azzerarsi entro il 2050¹⁵. Anche trascurando il fatto che la riduzione delle emissioni di CO₂ – sostanzialmente frazionata su una molteplicità di processi gestiti sia da organizzazioni ma anche da singoli – appare più difficilmente gestibile della riduzione nell'uso delle sostanze ODS che erano utilizzate solamente da aziende industriali, si deve essere consapevoli che gli effetti delle azioni di mitigazione saranno percepibili tra molte decine di anni anche nella migliore delle ipotesi e cioè che tutto il mondo si attivi per dimezzare le emissioni di gas serra nei prossimi 5 anni. Purtroppo il recente passato non suggerisce che questo ambizioso obiettivo sia facilmente raggiungibile: se si osserva l'andamento delle emissioni di gas serra da attività antropiche (Fig. 1.7), si rileva una crescita costante che ha portato in cinquant'anni a raddoppiare le emissioni registrate nel 1970 con solo due anni (nell'ultimo millennio) di lieve decrescita a valle di due shock planetari come la crisi finanziaria del 2008 e il periodo di massima crisi per COVID nel 2020. Considerando che gli sforzi di riduzione delle emissioni di gas serra sono diventati significativi a valle del Protocollo di Kyoto del 1997 (cfr. Cap. 2) appare comunque evidente che quanto si è fatto e si sta facendo non è ancora abbastanza e di conseguenza gli sforzi da profondere nella mitigazione devono essere ulteriormente incrementati.

14. Le applicazioni prevalenti delle sostanze lesive dell'ozono messe al bando dal protocollo di Montreal erano: impianti per la produzione del freddo (condizionamento, refrigerazione), produzione di schiume polimeriche, impianti di lotta contro gli incendi.

15. Fonte: www.un.org/en/climatechange/net-zero-coalition consultato aprile 2025.

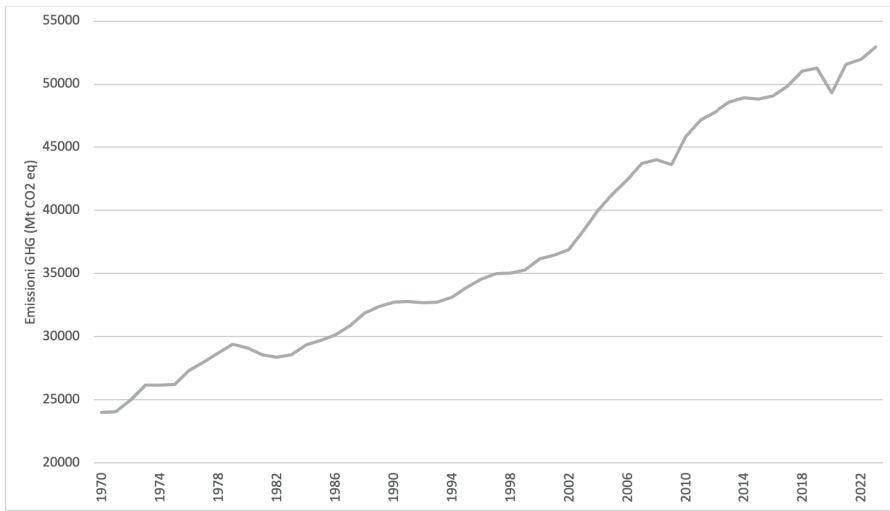


Fig. 1.7 - Andamento delle emissioni di gas serra antropogeniche nel periodo 1970-2023 espresse in milioni di tonnellate di CO₂ equivalente. (Fonte: JRC/IEA 2024 Report, GHG emissions of all world countries, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/4002897, JRC138862>)

In attesa dei benefici a lungo termine che saranno portati dalla implementazione e rafforzamento delle misure di mitigazione, appare quanto mai opportuna e urgente una riflessione sull'adattamento come inevitabile strategia di transizione. Nei decenni che ci separano dalla auspicata riduzione globale delle temperature, in linea con gli obiettivi di Parigi, occorre agire per limitare i danni che, già da qualche anno, sono provocati dagli eventi climatici. I sistemi umani dovrebbero essere pronti fin da ora ad affrontare i molteplici effetti che il riscaldamento globale già manifesta e che aumenteranno presumibilmente nel breve e medio termine. È fondamentale aumentare la consapevolezza di quanto sia importante pensare all'adattamento in tempi brevi per poter ridurre il preoccupante, ma evidente, aumento dei danni provocati dagli eventi climatici.

Nonostante la evidente necessità di adattare fin da subito i nostri sistemi in attesa che, tra qualche decennio, le azioni di mitigazione intraprese producano gli attesi effetti di riduzione del riscaldamento globale e delle sue conseguenze, non sembra che l'adattamento accolga un interesse pari a quello della mitigazione. Le esperienze sembrano mostrare che l'impegno nei confronti dell'adattamento continui ad essere scarsamente attuato nella pratica: un'indagine sulla pianificazione di mitigazione e adattamento in Europa, condotta nel 2018, ha restituito i seguenti risultati: su un campione di 885 città in 28 paesi europei, il 66% ha adottato un

piano di mitigazione, mentre solo il 26% delle città analizzate ha adottato un piano di adattamento. Il 16% dei casi analizzati dispone di un piano congiunto di mitigazione e adattamento. Il 33% del campione non dispone di alcun piano per il clima (Reckien *et al.*, 2018). Inoltre, un'indagine volontaria lanciata da Eurostat e aggiornata a gennaio 2018 sull'adozione di strategie e piani nazionali di adattamento in 33 paesi europei rivela che gli sforzi di adattamento ai cambiamenti climatici sono aumentati, in particolare nell'ultimo decennio, ma poco più della metà dei paesi intervistati dispone attualmente di un piano nazionale di adattamento.

È opportuno sottolineare che mitigazione e adattamento non sono alternative, ma opzioni complementari. Anche se si promuovono sforzi significativi in termini di mitigazione, il clima continuerà a cambiare e a influenzare i sistemi umani nei decenni a venire; pertanto, è essenziale attuare contemporaneamente alle azioni di mitigazione delle appropriate azioni di adattamento (Klein, 2007).

La comunità scientifica dovrebbe approfondire le sinergie e i compromessi tra le due opzioni di risposta: esiste un grande potenziale per promuovere sinergie tra mitigazione e adattamento e attuare le opzioni di politica climatica in modo coordinato, coerente ed efficace.

1.3. Adattamento al cambiamento climatico: approccio soft e approccio hard

La pianificazione e attuazione su ampia scala delle azioni di adattamento climatico è spesso frenata da fattori relativi alla percezione stessa degli effetti portati dai cambiamenti climatici sui sistemi antropici: vi è una diffusa sensazione di incertezza rispetto alle proiezioni relative ai futuri effetti e impatti dei cambiamenti climatici che genera, come conseguenza, una percezione di improbabilità e talvolta scetticismo rispetto alla reale minaccia portata dai cambiamenti climatici. Per superare questo potenziale scetticismo nei confronti dei reali rischi climatici e della conseguente opportunità di intraprendere misure di adattamento, risulta importante poter disporre di informazioni relative all'efficacia delle strategie di adattamento, sia in termini di potenziale di riduzione degli impatti diretti sia per quanto riguarda i potenziali co-benefici in termini di impatti sociali, ambientali ed economici. Questa necessità è ancora più evidente se si considera che, in generale, i soggetti pubblici e privati sono molto più propensi ad accettare, sostenere e investire in misure la cui efficacia e i cui benefici possono essere dimostrati e misurati. Nel caso dell'adattamento climatico, come in altri ambiti di decisione che riguardano l'am-

biente costruito, si presenta una questione che riguarda la applicazione del concetto di valutazione costi/benefici ad uno scenario nel quale i costi da sostenere sono certi e immediati – le spese, anche rilevanti, per la realizzazione delle misure di adattamento – mentre i benefici sono incerti e futuri.

È questo, talvolta, il motivo per cui le azioni di mitigazione vengono considerate ed attuate prioritariamente rispetto alle azioni di adattamento; mentre le metriche per le misurazioni dell'efficacia delle misure di mitigazione sono facilmente disponibili e abbastanza diffuse, è più complesso dimostrare e misurare l'impatto positivo sul miglioramento della resilienza nei sistemi umani che può essere assicurato dalle misure di adattamento. Le metriche per l'efficacia delle azioni di mitigazione sono universalmente accettate e adottate e si basano essenzialmente sulla riduzione delle emissioni di tonnellate di CO₂ equivalente; non esiste invece una metrica universalmente accettata per la valutazione dell'efficacia dell'adattamento (Stadelmann *et al.*, 2015). Si consideri, a conferma di tale differenza, che nel 2023, per la prima volta, gli Stati membri della UE hanno presentato delle relazioni sulle proprie politiche e misure nazionali integrate in materia di clima ed energia, in relazione alle diverse strategie di decarbonizzazione: emissioni e assorbimenti di gas serra; energie rinnovabili; efficienza energetica; sicurezza energetica; mercato interno dell'energia; ricerca, innovazione e competitività. Il numero di politiche e misure nazionali presentate dagli Stati membri per ridurre i gas serra è aumentato del 14% tra il 2021 e il 2023: in totale sono state presentate 2.332 politiche e misure relative alla decarbonizzazione attraverso interventi su emissioni e assorbimenti di gas serra¹⁶.

La tuttora scarsa disponibilità di strumenti per misurare preventivamente e monitorare nel tempo l'efficacia delle misure di adattamento climatico rappresenta quindi un ostacolo significativo alla loro diffusione sistematica: perseguire l'adattamento ai cambiamenti climatici comporta evidentemente dei costi significativi, restituendo in cambio la prospettiva di ottenere dei benefici altrettanto rilevanti. Nel momento in cui la quantificazione di tali benefici – intesa in termini di riduzione degli impatti in conseguenza di eventi climatici o di aumento delle opportunità di miglioramento dei sistemi – non risulti valutabile in maniera oggettiva e replicabile, può risultare difficile per gli investitori valutare le possibili opzioni in assenza di dati adeguati. Sono quindi necessarie metodologie innovative e appropriate per modellare le complesse interazioni tra rischi clima-

16. Fonte: www.eea.europa.eu/themes/climate/national-policies-and-measures consultato aprile 2025.

tici, esposizione dei sistemi umani e vulnerabilità degli elementi esposti. La piattaforma di adattamento Climate-ADAPT dell’Agenzia Europea dell’Ambiente (EEA) suggerisce che “Per consentire un valido confronto tra le diverse opzioni di adattamento e una buona comunicazione con e tra i decisorи, ciascuna opzione di adattamento deve essere valutata sulla base di criteri concordati. Esistono molti criteri che possono essere utilizzati per valutare l’idoneità delle possibili opzioni, ad esempio l’efficacia nel ridurre la vulnerabilità, l’impatto sulla sostenibilità o i costi. È consigliabile coordinare la valutazione delle opzioni di adattamento tra un’ampia gamma di attori politici, legali e istituzionali per aumentare le sinergie ed evitare cattivi adattamenti intersettoriali”¹⁷. Benché esistano criteri che possono essere impiegati per valutare l’efficacia delle opzioni di adattamento – quali, ad esempio, la riduzione della vulnerabilità, l’impatto sugli indici di sostenibilità, i costi, il valore economico risparmiato dagli impatti dei cambiamenti climatici (Stadelmann *et al.*, 2015) – ad oggi non sono ancora comunemente disponibili metriche o standard di valutazione universalmente accettati. La valutazione delle opzioni di adattamento richiede necessariamente una adeguata valutazione dei rischi relativi a potenziali pericoli climatici: “characterizzare i pericoli sovrapposti, il numero e la categoria di elementi minacciati da eventi multipli e i loro scenari futuri può favorire la definizione delle priorità delle strategie di adattamento” (Terzi *et al.*, 2019). In generale appare ragionevole coordinare la valutazione delle opzioni di adattamento tra un ampio insieme di soggetti politici, legali e istituzionali per aumentare il consenso sui risultati ottenuti e rispondere alla mancanza di strumenti condivisi a livello internazionale.

In attesa dell’auspicabile sviluppo di ulteriori e diffusi strumenti di monitoraggio dell’efficacia delle azioni di adattamento, appare necessario un cambiamento nell’approccio alla questione dell’azione per il clima, e in particolare all’azione di adattamento climatico. Facilitare il coinvolgimento, l’impegno e gli investimenti delle parti interessate nelle azioni di adattamento climatico rappresenta una sfida importante per la comunità scientifica internazionale anche con riferimento alle attività e agli strumenti di finanziamento dell’adattamento che vengono discussi nelle Conferenze delle Parti COP (cfr. Cap. 2).

Secondo i risultati di numerosi studi e, tra gli altri, di quello condotto nel 2018 dal World Energy Council (WEC), superare gli ostacoli all’implementazione delle azioni di adattamento e affrontare il problema della reti-

17. Fonte: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/knowledge/tools/urban-ast/step-4-1> consultato aprile 2025.

cenza dei decisori politici a investire in misure di adattamento climatico richiederebbe un bilanciamento dell'equilibrio tra il concetto di resilienza “hard” e quello di resilienza “soft” (WEC, 2018). Queste due forme di resilienza, hard e soft, sono state definite da diversi studiosi:

- a) Hard-resilience: “la resilienza diretta di strutture o istituzioni sottoposte a pressione, come l'aumento della resilienza di una struttura attraverso specifiche misure di rafforzamento per ridurne la probabilità di collasso” (Moench, 2009). “Si riferisce alle qualità e alle capacità strutturali, tecniche, meccaniche e informatiche di un sistema, ovvero alle dimensioni ‘dure’ della resilienza” (Mentges *et al.*, 2023).
- b) Soft-resilience: “la capacità dei sistemi di assorbire e recuperare dall'impatto di eventi dirompenti senza cambiamenti fondamentali nella funzione o nella struttura, che dipendono dalla flessibilità e dalla capacità di adattamento del sistema nel suo complesso, piuttosto che semplicemente rafforzare strutture o istituzioni in relazione a stress specifici, come nell'approccio hard-resilience” (Moench, 2009). “Si riferisce alle capacità di resilienza legate alla comunità e alla società, sottolineando i bisogni, i comportamenti e le relazioni umane, vale a dire le dimensioni ‘soft’ della resilienza” (Mentges *et al.*, 2023).

Da queste definizioni si possono estrapolare alcuni spunti di riflessione:

i) nella definizione di *soft-resilience* compare il termine “sistema”, per evidenziare il fatto che un “sistema nel suo complesso” può reagire e rispondere in modo efficace a stress esterni. Implica una visione più ampia dei sistemi antropici, che non sono solamente insiemi di elementi fisici infrastrutturali, ma sistemi complessi adattivi che prevedono il ruolo attivo e diretto degli utilizzatori, degli abitanti o dei fornitori di informazioni e servizi. Al contrario la *hard-resilience* riguarda prevalentemente azioni che hanno come obiettivo lo sviluppo di singole infrastrutture; ii) l'approccio della *hard-resilience* si occupa solitamente di “stress specifici” – come, ad esempio, alluvioni o siccità – senza considerare che molti fattori di stress, molti eventi climatici, sono fortemente interconnessi con altri eventi e sono inseriti in complesse relazioni di cause ed effetti. La costruzione di una infrastruttura dedicata ad aumentare la *hard-resilience* nei confronti di un evento climatico potrebbe quindi risultare inefficace o poco efficace rispetto ad altri eventi concomitanti; iii) i processi di rafforzamento che si verificano nelle strategie di resilienza hard spesso comportano cambiamenti importanti nella funzione o nella struttura con la conseguente necessità di impiegare ingenti risorse economiche che possono rappresentare un ostacolo notevole per le istituzioni pubbliche e i soggetti privati.

La piattaforma di adattamento Climate-ADAPT adotta una categorizzazione delle misure di adattamento che prevede tre classi principali¹⁸: misure grigie, verdi e soft. Le misure grigie si avvalgono principalmente di soluzioni infrastrutturali, tecnologiche e ingegneristiche per migliorare la resilienza dei sistemi umani; le opzioni di adattamento green si basano principalmente sui servizi ecosistemici e adottano soluzioni basate sulla natura “nature based solutions”; le opzioni soft riguardano misure politiche, legali, sociali, gestionali, di governance e finanziarie. L'IPCC classifica le opzioni di adattamento come segue: opzioni strutturali e fisiche, opzioni sociali e opzioni istituzionali. Queste tre categorie principali sono ulteriormente suddivise in sottocategorie. Una nota pone l'accento sul fatto che “queste opzioni di adattamento dovrebbero essere considerate sovrapposte piuttosto che distinte e sono spesso perseguiti simultaneamente come parte dei piani di adattamento. Gli esempi forniti possono essere rilevanti per più di una categoria” (IPCC, 2014).

A partire dai concetti di *hard-resilience* e *soft-resilience*, è possibile delineare alcune caratteristiche chiave delle diverse strategie di adattamento: i) le strategie di adattamento “hard” riguardano infrastrutture materiali; generalmente, richiedono ingenti investimenti di risorse e possono mancare di flessibilità e adattabilità a potenziali cambiamenti improvvisi nelle proiezioni climatiche; ii) l'adattamento ai cambiamenti climatici basato sull'adozione di soluzioni non strutturali o “soft”, al contrario, riguarda principalmente gli aspetti operativi, gestionali e organizzativi di sistemi e infrastrutture immateriali (Sovacool, 2011) e, più in particolare: è strettamente legato alla gestione delle informazioni e dei processi, supportato dalle tecnologie della comunicazione e informazione (ICT), e teso all'implementazione di misure politiche, legali, sociali e finanziarie; apporta cambiamenti reversibili nel breve-medio termine, che non limitano in maniera sostanziale altre scelte future; richiede investimenti a breve-medio termine relativamente bassi; consente la coesistenza e la sinergia con altre misure; contribuisce ad aumentare il benessere dei cittadini e l'attrattività degli spazi pubblici nelle città.

La Tab. 1.4 riassume le differenze principali tra approccio soft e approccio hard all'adattamento, elencando gli attributi, rispettivamente, del primo e del secondo.

18. Fonte: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/knowledge/tools/urban-ast/step-3-1>.

Tab. 1.4 - Principali differenze tra approcci soft e hard all'adattamento climatico (elaborazione degli autori)

Attributo	Strategie di adattamento approccio “soft”	Strategie di adattamento approccio “hard”
Flessibilità	Flessibili, adattabili a cambiamenti improvvisi nelle condizioni o proiezioni climatiche	Poco flessibili nel breve termine, non adattabili a cambiamenti improvvisi nelle condizioni o proiezioni climatiche
Reversibilità	Reversibili nel breve termine senza impatti negativi; non limitano le scelte future	Reversibili nel lungo termine con impatti sostanziali; limitano le scelte future
Semplicità	Si basano su tecnologie semplici, a basso impatto, e infrastrutture immateriali	Si basano su tecnologie complesse e infrastrutture costruite dall'uomo
Attuabilità	Investimenti a breve-medio termine	Investimenti a lungo termine
Scalabilità	Misure di piccola scala	Misure di grande scala; effetti su larga scala
Compatibilità	Consentono la coesistenza e sinergie con altre misure	Comportano compromessi con altre misure; limitano le scelte future
Efficacia dei costi	Risparmio di risorse; rapporto efficacia-costo elevato	Consumo di risorse; solitamente ad alta intensità di capitale
Intangibilità	Si concentrano principalmente su capacità organizzative, operative e istituzionali	Prevedono principalmente interventi fisici
Adattabilità	Adattabili ai bisogni degli stakeholder	Difficili da proporzionare in base a dati incerti
Sostenibilità ambientale	Nessun impatto ambientale negativo	Impatti ambientali da medi ad elevati

Dato l'elevato grado di incertezza che caratterizza i modelli climatici, le strategie di adattamento soft si propongono come una opzione che offre buone prospettive considerando la flessibilità, reversibilità ed economicità delle misure di adattamento. L'approccio dell'adattamento ai cambiamenti climatici basato su strategie soft di resilienza climatica è strettamente legato alla gestione delle informazioni, alle tecnologie dell'informazione e della comunicazione, alla logistica, ai servizi di informazione geografica e alla impostazione di una governance appropriata.

Le strategie di adattamento soft possono generalmente essere annoverate tra le soluzioni di adattamento dette *low-regret*, definite come “misure che offrono benefici sociali e/o economici netti sia nel clima attuale che

in una serie di scenari futuri di cambiamento climatico” (Mimura *et al.*, 2014). La decisione di attuare una soluzione di adattamento climatico presenta sempre la caratteristica di dover mettere a confronto un investimento, spesso rilevante, da attuare in un momento presente per ottenere un auspicato beneficio futuro in condizioni di elevata incertezza. Benché non riferito a eventi climatici l’esempio dello “tsunami gate” costruito nella cittadina di Fudai in Giappone può aiutare a comprendere meglio il concetto di low-regret o no-regret riferito alla valutazione costi immediati/benefici incerti e futuri: quando negli anni sessanta la amministrazione decise di costruire una barriera alta 15,5 metri (lo “tsunami gate”) per proteggere il territorio la decisione fu molto criticata (high-regret) perché più onerosa rispetto alle opere intraprese da altre cittadine che scelsero una altezza inferiore per la protezione dagli tsunami. Nel marzo 2011 tuttavia quella scelta si dimostrò lungimirante perché, contrariamente a quanto successe nei villaggi limitrofi, Fudai si salvò dal devastante tsunami che colpì le coste del Giappone (Suppasri *et al.*, 2013).

I concetti di high-regret, low-regret e no-regret sono quindi particolarmente utili per affrontare le discussioni relative alle decisioni sull’adozione di azioni di adattamento climatico che sono sempre caratterizzate dal dilemma di mettere a confronto investimenti immediati con benefici futuri in condizioni di alta incertezza. Le diverse definizioni riportate in letteratura evidenziano alcune parole chiave come reversibilità, costo e incertezza.

- Adattamento high-regret: Implica decisioni su pianificazione e investimenti su larga scala con elevata irreversibilità. In considerazione delle considerevoli conseguenze in gioco, dei significativi costi di investimento e della natura longeva dell’infrastruttura, le incertezze nelle proiezioni climatiche future giocano un ruolo cruciale nel prendere decisioni sull’implementazione o meno di misure di adattamento high-regret (World Bank, 2010).
- Adattamento low-regret: Le opzioni di adattamento low-regret sono quelle in cui livelli moderati di investimento aumentano la capacità di far fronte ai futuri rischi climatici. In genere, queste implicano una sovrastima dei componenti nelle nuove costruzioni o nei progetti di ristrutturazione. Ad esempio, l’installazione di scarichi di diametro maggiore al momento della costruzione o della ristrutturazione è probabilmente un’opzione relativamente economica rispetto alla necessità di aumentare le specifiche in un secondo momento a causa dell’aumento dell’intensità delle precipitazioni (World Bank, 2010).
- Mal adattamento: Un’azione o un processo che aumenta la vulnerabilità ai rischi legati ai cambiamenti climatici. Le azioni e i processi mal adattativi spesso includono politiche e misure di sviluppo pianificate

che producono guadagni o benefici economici a breve termine, ma possono alla fine portare a un'escacerbazione della vulnerabilità nel medio-lungo termine. (World Bank, 2010).

- Adattamento no-regret: Opzioni (o misure) di adattamento che sarebbero giustificate in tutti gli scenari futuri plausibili, inclusa l'assenza di cambiamenti climatici causati dall'uomo.
- No-regret: si tratta di opzioni giustificate dalle attuali condizioni climatiche e ulteriormente giustificate se si considera il cambiamento climatico. Ad esempio, ridurre l'inquinamento idrico potrebbe migliorare l'approvvigionamento di acqua potabile. Le riduzioni dell'inquinamento potrebbero essere più vantaggiose se il cambiamento climatico riducesse l'approvvigionamento idrico o degradasse la qualità dell'acqua. Lo stesso si può dire per l'introduzione di riforme di mercato. Tuttavia, un sistema di irrigazione per un'area soggetta a siccità potrebbe diventare più attraente quando i periodi di siccità, dovuti al cambiamento climatico, si verificano più spesso o diventano più intensi (Lim *et al.*, 2005).
- Low-regret: le azioni low-regret sono quelle sviluppate a causa del cambiamento climatico, ma a un costo minimo. Pertanto, si ha un "basso rimpianto" se l'investimento si rivela non necessario nelle future condizioni climatiche. Ad esempio, integrare i rischi del cambiamento climatico nella progettazione delle infrastrutture può offrire una migliore protezione contro gli attuali eventi climatici estremi, nonché contro potenziali eventi futuri legati al cambiamento climatico, aumentando al contempo i costi solo marginalmente (da qui il "basso" rimpianto) (Lim *et al.*, 2005)

Molto spesso le misure che vengono intraprese per favorire l'adattamento ai cambiamenti climatici presentano anche importanti benefici collaterali spesso identificati con il termine di co-benefits. I co-benefits individuano quei benefici che vengono conseguiti in aggiunta ai costi evitati del cambiamento climatico; sono spesso scarsamente studiati e anche nelle aree in cui esistono solide prove scientifiche, i co-benefici vengono sovente trascurati nell'elaborazione delle politiche (Karlsson *et al.*, 2020). I co-benefici rispetto alle azioni climatiche sono stati studiati inizialmente in modo particolare per valutare le opportunità di attuare azioni di mitigazione climatica con l'obiettivo di rendere più interessanti delle azioni che per loro natura avevano un beneficio atteso solo nel lungo periodo. Un esempio semplice del concetto di co-benefit associato a una azione di mitigazione climatica è quello della riduzione degli inquinanti atmosferici che è un co-beneficio della riduzione dei consumi energetici finalizzata alla riduzione delle emissioni di gas serra (IPCC, 2014).

Una maggiormente diffusa integrazione di misure “soft” nella proposta di soluzioni di adattamento climatico per l’ambiente costruito potrebbe – in considerazione della loro flessibilità, reversibilità ed efficacia in termini di costi – agevolare il superamento di alcune barriere che ancora oggi ostacolano le azioni per l’adattamento: l’elevato grado di incertezza che caratterizza le proiezioni climatiche e gli scenari di impatto, la percezione dell’improbabilità degli impatti del riscaldamento globale, la complessità intrinseca dei sistemi umani e la carenza di prescrizioni legislative. Le strategie di adattamento soft possono essere considerate soluzioni a basso impatto e la Commissione Europea ha evidenziato¹⁹ come le soluzioni di adattamento soft “siano spesso no-regret ovvero degne di essere perseguite indipendentemente dal percorso climatico finale. Ciò è dovuto ai loro molteplici benefici collaterali, in particolare per le soluzioni basate sulla natura e la prevenzione del rischio di catastrofi, e al “triplice dividendo” dell’adattamento: evitare future perdite umane, naturali e materiali; generare benefici economici riducendo i rischi, aumentando la produttività e stimolando l’innovazione; e ai benefici sociali, ambientali e culturali”.

19. COM/2021/82 “Forging a climate-resilient Europe – the new EU Strategy on Adaptation to Climate Change”.

2. Il quadro degli strumenti regolatori per l'adattamento al cambiamento climatico

2.1. Accordi internazionali e network intergovernativi: da Kyoto a Parigi

Negli ultimi decenni i punti di riferimento delle azioni per la lotta ai cambiamenti climatici sono identificati negli accordi internazionali sottoscritti a Kyoto nel 1997 e a Parigi nel 2015. Per apprezzare meglio il valore di alcuni principi e assunzioni in tema di cambiamento climatico può, tuttavia, essere utile ripercorrere alcune tappe meno celebrate ma altrettanto significative nello sviluppo di una coscienza comune e condivisa su temi complessi quali la mitigazione e l'adattamento. La prima “mega-conferenza” (Seyfang, 2003) sul rapporto tra umanità e ambiente è quella organizzata dalle Nazioni Unite nel 1972 a Stoccolma¹ dopo alcuni anni di discussioni in sede internazionale. La Dichiarazione di Stoccolma, esito principale della conferenza insieme alla costituzione dell'UNEP (United Nation Environmental Programme), conteneva al suo interno una serie di riflessioni (Ebbesson, 2022) che, lette a cinquanta anni di distanza appaiono ancora attuali e, proprio per questo, dovrebbero forse preoccuparci perché sembra che il mondo intero non le abbia prese molto sul serio. Il primo principio della Dichiarazione di Stoccolma (UN, 1972) ricorda che «L'uomo ha il diritto fondamentale alla libertà, all'uguaglianza e a condizioni di vita adeguate, in un ambiente di qualità che consenta una vita dignitosa e di benessere, e ha la solenne responsabilità di proteggere e

1. La Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente umano si è tenuta a Stoccolma, Svezia, dal 5 al 16 giugno 1972. Alla conferenza hanno partecipato i rappresentanti di 113 Stati membri delle Nazioni Unite, nonché membri delle agenzie specializzate delle Nazioni Unite. I documenti della conferenza hanno attinto a un gran numero di documenti ricevuti dai governi e da organizzazioni intergovernative e non governative, tra cui 86 relazioni nazionali sui problemi ambientali (fonte: www.unep.org).

migliorare l'ambiente per le generazioni presenti e future»: una sola frase riassume in sé quasi tutti i temi che negli ultimi anni hanno caratterizzato gli studi sui temi legati al cambiamento climatico. Lo stesso documento in alcune sue parti sembra anche prefigurare il successivo dibattito sull'approccio al cambiamento climatico secondo le due direzioni della mitigazione e dell'adattamento: «la scienza e la tecnologia, come parte del loro contributo allo sviluppo economico e sociale, devono essere applicate all'identificazione, alla prevenzione e al controllo dei rischi ambientali e alla soluzione dei problemi ambientali e per il bene comune dell'umanità».

Venti anni separano Stoccolma dalla certamente più conosciuta Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente e lo sviluppo (United Nations Conference on Environment and Development "UNCED", Earth Summit) tenutasi a Rio nel 1992 e che ha lasciato due eredità molto conosciute (la Dichiarazione di Rio e la Agenda 21). Da Stoccolma a Rio il tema della sostenibilità ambientale ha avuto uno sviluppo, lento ma progressivo, che ha portato nel 1987 alla pubblicazione del rapporto della World Commission on Environment and Development dal titolo "Our Common Future" più comunemente conosciuto come "rapporto Brundtland". Nel rapporto "Our Common Future" (Brundtland, 1987) il tema dei cambiamenti climatici non appare particolarmente sviluppato ed è approfondito solo come uno dei molteplici diversi aspetti considerati nella lettura del rapporto tra genere umano e pianeta terra. Viene tuttavia lanciato un chiaro messaggio relativo al tema dei cambiamenti climatici, sottolineando che l'aumento di concentrazione del principale gas serra in atmosfera (CO_2) avrebbe portato a conseguenze importanti sul clima in tempi relativamente brevi e che, purtroppo, si sono rivelati drammaticamente precisi: la previsione fatta a fine anni '80 era che l'aumento della concentrazione di CO_2 in atmosfera avrebbe portato a un aumento di temperatura media del globo di oltre 1,5 °C rispetto al periodo pre-industriale (1850-1900). L'osservatorio europeo sul clima Copernicus ha purtroppo confermato la previsione fatta quasi quarant'anni fa e ha evidenziato che il 2024 è stato l'anno più caldo delle osservazioni fatte dal periodo pre-industriale con un incremento di temperatura di oltre 1,5°C².

A fronte della previsione fatta, il rapporto "Our Common Future" suggeriva una strategia di riduzione e contenimento delle emissioni di gas serra – introducendo il concetto di mitigazione – ma aggiungeva anche un invito ad affrontare i cambiamenti climatici attraverso stra-

2. Fonte: <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024> consultato nel febbraio 2025.

tegie di adattamento alle nuove condizioni previste: “se non è possibile attuare rapidamente una convenzione sulle politiche di contenimento delle sostanze chimiche, i governi dovrebbero elaborare strategie di emergenza e piani di adattamento ai cambiamenti climatici” (Brundtland, 1987). Il rapporto “Our common future” ha posto le basi per la definizione della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC) che è stata ratificata da 198 Paesi e che ha sistematizzato una serie di incontri annuali – denominati “Conference of the Parties” (COP) il primo dei quali si è tenuto a Berlino nel 1995 (COP 1) e il più recente a Baku nel 2024 (COP 29) – che rappresentano di fatto l’organo decisionale per la attuazione dei principi della convenzione. Fin dalla prima edizione delle COP è apparso evidente che il tema del cambiamento climatico non poteva, in ragione dei suoi tempi lunghi, essere affrontato solamente con strategie di mitigazione ma occorreva implementare strategie di adattamento per contenere i danni prevedibili dagli effetti dei cambiamenti del clima. Nei documenti finali della COP 1 si delineano infatti le azioni per implementare le attività di adattamento e il relativo finanziamento che saranno poi sviluppate e rese conosciute dai più celebri documenti di Kyoto e Parigi: “Pianificazione, che include studi sui possibili impatti del cambiamento climatico, per identificare paesi o regioni particolarmente vulnerabili e opzioni politiche per l’adattamento e un’adeguata creazione di capacità. Misure, tra cui un’ulteriore creazione di capacità, che possono essere adottate per preparare l’adattamento. Misure per facilitare un adattamento adeguato, tra cui l’assicurazione e altre misure di adattamento” (Khan, Roberts, 2013).

La COP 3 del 1997 a Kyoto è conosciuta per aver lanciato un ambizioso programma di riduzione delle emissioni di gas serra basato sul cosiddetto principio “cap and trade”³ che fissa un limite complessivo alle emissioni “cap” e stimola la transazione commerciale “trade” delle emissioni evitate, attraverso investimenti in progetti di miglioramento nell’uso di risorse o di creazione di bacini per l’assorbimento dei gas serra (Betsill, Hoffmann, 2011). L’attenzione data ai meccanismi di rego-

3. L’Unione Europea ha recepito il meccanismo “cap and trade” nel cosiddetto sistema ETS (Emission Trading Scheme) introdotto nel 2003 e recentemente modificato con la Direttiva (UE) 2023/959, “recante modifiche della direttiva 2003/87/CE, che istituisce un sistema per lo scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra nell’Unione oltre che per il settore del trasporto marittimo, anche per i settori dell’edilizia, del trasporto stradale e ulteriori settori (industrie energetiche, industrie manifatturiere e costruzioni), e alla decisione (UE) 2015/1814, relativa all’istituzione e al funzionamento di una riserva stabilizzatrice del mercato nel sistema dell’Unione per lo scambio di quote di emissione dei gas a effetto serra”.

lazione delle emissioni ha messo in secondo piano il fatto che nel protocollo di Kyoto si invitassero i Paesi partecipanti alla UNFCCC a lavorare in parallelo sul tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici e a “formulare, attuare, pubblicare e aggiornare regolarmente programmi nazionali e, ove opportuno, regionali contenenti misure per mitigare i cambiamenti climatici e misure per facilitare un adeguato adattamento ai cambiamenti climatici” (UN, 1997). In questo senso il protocollo di Kyoto ha affiancato al sistema “cap and trade”, che sostanzialmente è indirizzato a regolare le emissioni dei soggetti che ne producono grandi quantitativi, un sistema di conversione delle azioni di mitigazione in crediti di carbonio commerciabili attraverso il Clean Development Mechanism (CDM). Questo meccanismo aveva lo scopo di attivare flussi di risorse finanziarie – derivanti dalla commercializzazione dei crediti di carbonio – “per aiutare i Paesi in via di sviluppo particolarmente vulnerabili agli effetti negativi dei cambiamenti climatici a sostenere i costi dell’adattamento” (UNFCCC, 1997). A integrazione del protocollo di Kyoto, nel 2001 alla COP 7 di Marrakech è stato introdotto un meccanismo di supporto finanziario per i paesi meno sviluppati (Fondo LDC “Least Developed Countries Fund”), istituito per sostenere il programma di lavoro di quei Paesi nella direzione di aumentare le loro capacità di adattamento ai cambiamenti climatici. Dopo Marrakech, diverse COP hanno ulteriormente sviluppato la sensibilità nei confronti dell’adattamento: ad esempio la COP 13, tenuta a Bali nel 2007, ha proposto un percorso (la “Roadmap di Bali”) che istituisce il Meccanismo di Adattamento per rafforzare il supporto ai paesi in via di sviluppo e la COP 15, tenuta a Copenaghen nel 2009, ha sancito l’impegno a mobilitare 100 miliardi di dollari all’anno entro il 2020 per finanziamenti climatici, incluso l’adattamento. È però la COP 21, tenuta a Parigi nel 2015, a formalizzare l’impegno verso un “obiettivo globale di migliorare la capacità di adattamento, rafforzare la resilienza e ridurre la vulnerabilità ai cambiamenti climatici, al fine di contribuire allo sviluppo sostenibile” (UNFCCC, 2015). Viene identificato quindi un obiettivo globale di adattamento (Global Goal on Adaptation, GGA) da perseguire per controllare gli effetti dannosi dei fenomeni climatici dovuti al riscaldamento globale, in parallelo e nell’attesa che le politiche di mitigazione e contenimento portino al conseguimento degli obiettivi stabiliti negli accordi di Parigi. Gli accordi di Parigi hanno definito l’obiettivo globale di adattamento – sviluppato nei tre principi di (i) Aumentare la capacità adattativa ai cambiamenti climatici, (ii) Rafforzare la resilienza delle comunità e degli ecosistemi e (iii) Ridurre la vulnerabilità climatica e supportare lo sviluppo sostenibile – ma ha

lasciato alle COP successive il compito di definire indicatori e strumenti di attuazione di questi principi. Gli ultimi avanzamenti in materia di GGA riguardano la definizione, nella COP 28, del programma quadro per la resilienza climatica globale (UAE Framework for Global Climate Resilience, UAE FGCR) che individua sette obiettivi tematici e quattro azioni trasversali per un adattamento continuativo (Fig. 2.1) (UNFCCC, 2023). I sette obiettivi tematici (Tab. 2.1) rappresentano sostanzialmente le differenti angolazioni dalle quali osservare gli effetti dei cambiamenti climatici sulle componenti ambientali che influenzano le attività antropiche; le azioni trasversali descrivono invece l'approccio che, nella prospettiva di risk management (cfr. Cap. 6), dovrebbe essere tenuto gestire efficacemente le azioni volte ad adattare i sistemi ai cambiamenti climatici.

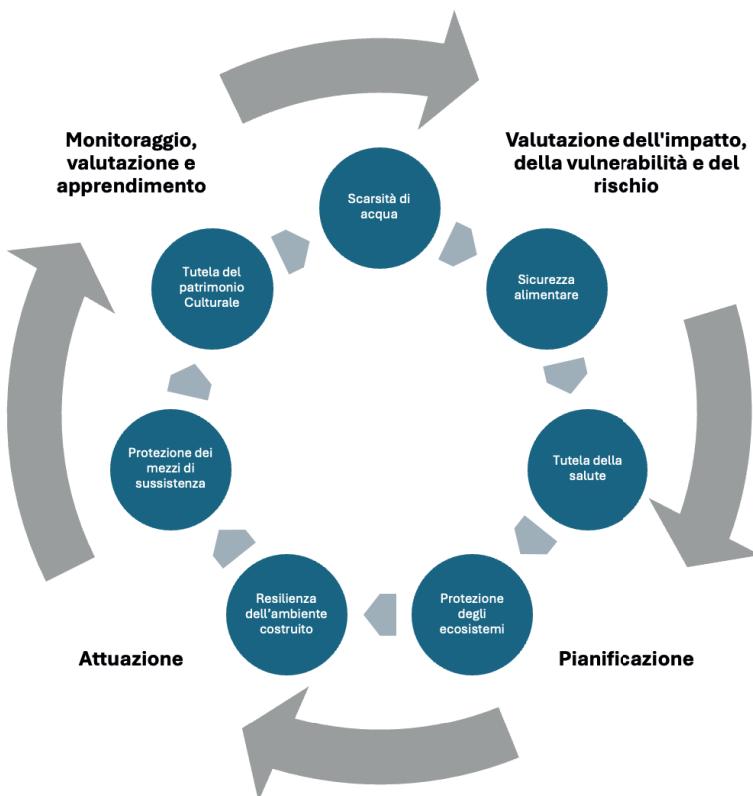


Fig. 2.1 - Gli obiettivi tematici e le azioni iterative del UAE FGCR (rielaorazione da UNFCCC, 2023)

Tab. 2.1 - Obiettivi di adattamento e azioni trasversali da attuare per l'adattamento (UNFCCC, 2023)

Obiettivi tematici	Azioni iterative
Tutela delle risorse idriche. L'obiettivo è quello di ridurre in modo significativo la scarsità d'acqua indotta dal clima e migliorare la resilienza climatica dei sistemi di approvvigionamento idrico nella prospettiva di garantire l'accesso ad acqua potabile sicura e conveniente per tutti.	Valutazione dell'impatto, della vulnerabilità e del rischio. Si devono condurre in maniera sistematica e continuativa delle valutazioni aggiornate dei pericoli climatici, degli impatti dei cambiamenti climatici e dell'esposizione ai rischi e alle vulnerabilità. Gli esiti di queste valutazioni devono essere utilizzati per formulare i piani di adattamento nazionali.
Sicurezza alimentare. L'obiettivo è quello di ottenere una produzione alimentare e agricola resiliente al clima insieme a processi efficaci per l'approvvigionamento e la distribuzione del cibo, incrementando la produzione sostenibile e rigenerativa per ottenere un accesso equo a cibo e nutrizione adeguati per tutti.	Pianificazione. Devono essere definiti e messi in atto piani di adattamento nazionali, strumenti politici e processi di pianificazione che coprano, ove opportuno, ecosistemi, settori, persone e comunità vulnerabili, e hanno integrato l'adattamento in tutte le strategie e i piani pertinenti.
Tutela della salute. Deve essere perseguita la resilienza contro gli impatti sulla salute correlati ai cambiamenti climatici, promuovendo servizi sanitari resilienti al clima per ridurre significativamente gli effetti del clima sulla salute, in particolare nelle comunità più vulnerabili.	Attuazione. I piani, le politiche e le strategie di adattamento nazionali devono essere attuate in maniera efficace per ridurre gli impatti sociali ed economici dei principali pericoli climatici identificati nelle valutazioni.
Protezione degli ecosistemi. Si devono diminuire gli impatti climatici sugli ecosistemi e sulla biodiversità e accelerare l'uso di soluzioni di adattamento basate sugli ecosistemi e sulla natura.	Monitoraggio, valutazione e apprendimento. Nella prospettiva dei processi di risk management deve essere progettato, istituito e reso operativo un sistema di monitoraggio, valutazione e apprendimento per misurare gli effetti degli sforzi di adattamento nazionali.
Resilienza dell'ambiente costruito. È necessario aumentare la resilienza dell'ambiente costruito (infrastrutture e insediamenti umani) agli impatti dei cambiamenti climatici per garantire servizi essenziali di base e continui per tutti e ridurre al minimo gli impatti correlati al clima sulle infrastrutture e sugli insediamenti umani.	

Tab. 2.1 - segue

Obiettivi tematici	Azioni iterative
Tutela dei mezzi di sussistenza. Si deve ridurre l'impatto del clima sull'eradicazione della povertà e sui mezzi di sussistenza, promuovere misure di protezione sociale adattive.	
Tutela del patrimonio culturale. È importante proteggere il patrimonio culturale dagli impatti dei rischi correlati al clima sviluppando strategie adattive per preservare le pratiche culturali e i siti del patrimonio e progettando infrastrutture resilienti al clima.	

Per poter essere correttamente interpretati ed avere un effetto percepibile sulle capacità di adattamento dei sistemi considerati, il set di obiettivi definiti dal UAE FGCR deve essere corredata da specifiche metriche e sistemi di indicatori con i quali misurarne la portata. In questa direzione si è stabilito il programma di lavoro sugli indicatori di adattamento “United Arab Emirates-Belém” che nella COP 29 tenuta a Baku ha analizzato un set di oltre cinquemila indicatori (UNFCCC, 2024) raccolti con il contributo di esperti da oltre cinquanta organizzazioni in rappresentanza delle diverse aree geografiche mondiali. L'obiettivo stabilito per il programma di lavoro sugli indicatori è quello di arrivare alla prossima COP 30, che si terrà a Belém (Brasile), con un set di indicatori applicabile per misurare la capacità di adattamento ai cambiamenti climatici nelle diverse dimensioni individuate dal UAE FGCR.

2.2. Il passaggio alla scala nazionale: indirizzi e iniziative italiane in ambito di adattamento

Le iniziative nazionali in materia di adattamento ai cambiamenti climatici hanno come riferimento principale la Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SNAC), pubblicata nel 2015 in linea con quella che era allora la “Strategia dell’UE di adattamento ai cambiamenti climatici”⁴. Gli obiettivi della SNAC riprendono quelli enun-

4. Documento COM(2013) 216 successivamente modificato dal documento COM(2021) 82 “Plasmare un’Europa resiliente ai cambiamenti climatici – La nuova strategia dell’UE di adattamento ai cambiamenti climatici”.

ciati in linea generale dalla strategia della UE e prefigurano quanto sarà poi inserito negli accordi di Parigi della COP 21 prevedendo delle azioni integrate quali:

- ridurre i rischi derivanti dai cambiamenti climatici su ecosistemi, società ed economia;
- aumentare la resilienza dei sistemi naturali, sociali ed economici;
- proteggere la salute e il benessere della popolazione;
- preservare il patrimonio naturale e culturale;
- promuovere la ricerca e la conoscenza scientifica sui cambiamenti climatici e sulle misure di adattamento;
- integrare le politiche di adattamento nei piani di sviluppo nazionali, regionali e locali.

Le azioni vengono declinate su alcuni settori ritenuti prioritari rispetto alle necessità di adattamento: le risorse idriche, la biodiversità, l'agricoltura, la salute pubblica, le zone costiere, le infrastrutture e l'ambiente urbano. Per poter combinare le diverse azioni di adattamento nei settori prioritari la SNAC individua la necessità di strutturare dei processi di monitoraggio climatico, di attivazione di sinergie tra adattamento e mitigazione, di coinvolgimento e partecipazione attiva delle diverse parti interessate e di strutturazione di un adeguato sistema di risk management. La SNAC ha rappresentato dunque un punto di riferimento per rafforzare la resilienza del nostro paese ai cambiamenti climatici attuando misure di protezione dei diversi asset nazionali e promuovendo la cooperazione tra enti locali, nazionali ed europei per affrontare le sfide climatiche presenti e future.

Il Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica, con il Decreto Ministeriale n. 434/2023, ha approvato il Piano nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici. Il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC) è uno strumento strategico adottato dall'Italia per pianificare il modo con il quale affrontare gli impatti derivanti dai cambiamenti climatici. L'importanza per la collettività di quanto previsto nel Piano di adattamento deriva dal fatto che l'Italia si colloca in un'area, il cosiddetto “hot spot mediterraneo”⁵, che si è rivelata negli ultimi anni come particolarmente vulnerabile agli eventi climatici estremi con conseguenze già evidenti in termini di erosione costiera, alluvioni, frane e altri impatti. Rispetto a questa criticità il PNACC si pone l'obiettivo di ridurre i rischi derivanti dai cambiamenti climatici attraverso le seguenti azioni:

5. Hotspot è definito da IPCC (IPCC, 2013) nel Glossario del quinto Assessment Report come: “Un'area geografica caratterizzata da alta vulnerabilità ed esposizione ai cambiamenti climatici”.

- migliorare la capacità di adattamento dei sistemi socioeconomici e naturali;
- integrare l'adattamento nei settori chiave dell'economia e della società;
- coordinare l'azione a livello nazionale, regionale e locale.

A valle di una approfondita analisi del quadro climatico attuale e delle sue proiezioni future – che fa riferimento ai modelli climatici basati sugli scenari RCP⁶ (Representative Concentration Pathways) dell'IPCC scegliendo di utilizzarne 3 (RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP 8.5) – il documento individua quelli che vengono considerati i rischi principali:

- Aumento delle temperature sia come valori medi sia come incremento della frequenza e intensità delle ondate di calore.
- Siccità e conseguente scarsità idrica con riduzione delle risorse per l'agricoltura e gli ecosistemi.
- Erosione costiera e innalzamento del mare con conseguenti minacce sia per le aree urbanizzate sia per il turismo.
- Eventi meteorologici estremi con piogge intense e inondazioni che possono aumentare il rischio di frane.
- Impatto sulla biodiversità e sugli ecosistemi.

A partire da questa analisi di rischio il PNACC definisce oltre 350 azioni possibili di adattamento che vengono declinate su sei ambiti di vulnerabilità e corrispondenti categorie di azioni (Tab. 2.2).

6. Nel contesto della modellazione climatica gli RCP (Representative Concentration Pathways) rappresentano un insieme di scenari emissivi utilizzati da IPCC per simulare e confrontare i possibili futuri climatici del pianeta, in funzione delle concentrazioni atmosferiche di gas serra. Introdotti formalmente nel Quinto Rapporto di Valutazione (AR5), gli RCP costituiscono una base standardizzata per i modelli di circolazione generale e i modelli climatici regionali, e vengono impiegati per valutare gli effetti delle politiche di mitigazione, dei cambiamenti socioeconomici e tecnologici sulle forzanti radiative globali. Il forzante radiativo è il cambiamento nel flusso radiativo netto (in sostanza la differenza tra energia entrante e energia uscente dalla atmosfera) nella parte superiore dell'atmosfera a causa di un cambiamento in un fattore esterno del cambiamento climatico, come, ad esempio, un cambiamento nella concentrazione di anidride carbonica (CO₂) o l'emissione del Sole.

Gli scenari RCP sono classificati secondo il livello di forzante radiativa raggiunto entro il 2100, espresso in watt per metro quadrato (W/m²), e non sono vincolati a specifiche traiettorie socioeconomiche. I principali scenari sono:

- RCP2.6: scenario di mitigazione estrema, in cui le emissioni globali raggiungono un picco entro il 2020 e successivamente decrescono rapidamente, con l'obiettivo di contenere l'aumento della temperatura entro 2°C.
- RCP4.5 e RCP6.0: scenari di stabilizzazione intermedia, caratterizzati da un progressivo contenimento delle emissioni tramite politiche climatiche moderate.
- RCP8.5: scenario ad alte emissioni, che assume l'assenza di significative politiche di mitigazione e risulta in una crescita continua delle emissioni fino alla fine del secolo.

Tab. 2.2 - Sintesi delle categorie di azioni di adattamento previste dal PNACC per i sei ambiti di vulnerabilità

Risorse idriche e gestione dell'acqua
Potenziamento delle infrastrutture di accumulo e distribuzione per garantire la sicurezza idrica.
Tecnologie per il recupero e riutilizzo delle acque reflue.
Protezione degli ecosistemi fluviali per ridurre il rischio di siccità e alluvioni.
Agricoltura e foreste
Promozione di colture resistenti al clima e pratiche agricole sostenibili.
Gestione forestale adattativa per ridurre il rischio di incendi e perdita di biodiversità.
Sistemi di irrigazione efficienti per contrastare la desertificazione.
Zone costiere e ambiente marino
Barriere naturali (dune, zone umide) per contrastare l'erosione costiera.
Piani di adattamento per le città costiere soggette all'innalzamento del livello del mare.
Protezione degli ecosistemi marini e costieri per preservare la biodiversità.
Infrastrutture e trasporti
Messa in sicurezza delle infrastrutture critiche rispetto a eventi climatici estremi.
Piani di adattamento per la rete stradale e ferroviaria contro alluvioni e frane.
Incentivi per materiali da costruzione resistenti al calore e all'umidità.
Salute e benessere della popolazione
Sistemi di allerta precoce per ondate di calore e malattie legate al clima.
Piani di emergenza per eventi meteorologici estremi e crisi idriche.
Monitoraggio e riduzione degli effetti dell'inquinamento atmosferico sulle malattie respiratorie.
Sistemi urbani e territorio
Piani urbanistici resilienti con tetti verdi, alberature urbane e drenaggi sostenibili.
Adozione di regolamenti edilizi per costruzioni adattate al clima.
Programmi di educazione ambientale e coinvolgimento dei cittadini.

Le azioni di adattamento di dettaglio vengono presentate dal Piano suddivise in tre categorie di lettura: azioni soft, azioni green e azioni grey. Le azioni soft sono quelle che contribuiscono a creare capacità di adattamento attraverso la crescita della conoscenza dei fenomeni e dei parametri che li governano oppure individuando opportunità di sviluppo di processi di governance e partecipativi. Le azioni hard sono interventi che sostanzialmente modificano la configurazione fisica e materiale di edifici, spazi urbani e infrastrutture con la differenza che le azioni green propongono soluzioni “nature based”, mentre le azioni grey riguardano interventi su

impianti, materiali e tecnologie, o su infrastrutture o reti. Le 361 azioni di dettaglio vengono declinate rispetto a 19 settori di interesse come riportato nella Tab. 2.3.

Tab. 2.3 - Distribuzione delle azioni di adattamento per settori di interesse e per tipologia di azione

<i>Settori di interesse</i>	Azioni di adattamento		
	<i>Green</i>	<i>Grey</i>	<i>Soft</i>
<i>Turismo</i>	0	0	13
<i>Aree Costiere</i>	0	1	8
<i>Agricoltura</i>	1	4	23
<i>Dissesto idrogeologico</i>	0	0	10
<i>Disastri naturali e protezione civile</i>	0	0	29
<i>Ecosistemi e biodiversità acquatici</i>	1	0	4
<i>Ecosistemi e biodiversità montani</i>	5	0	19
<i>Ecosistemi e biodiversità terrestri</i>	2	0	17
<i>Energia</i>	0	16	12
<i>Foreste</i>	17	3	15
<i>Industria e processi produttivi</i>	1	2	11
<i>Infrastrutture e trasporti urbani</i>	5	0	11
<i>Pianificazione e consumo del suolo</i>	0	1	12
<i>Patrimonio culturale e beni storici</i>	0	0	20
<i>Risorse idriche</i>	1	3	24
<i>Salute umana</i>	0	0	20
<i>Trasporti</i>	1	0	13
<i>Turismo e cultura</i>	2	2	6
<i>Zone costiere e marine</i>	10	9	7
Totali	46	41	274

Per consentire una declinazione più aderente alle specificità dei territori, il PNACC propone, in due allegati, le indicazioni per lo sviluppo delle attività di pianificazione e attuazione delle azioni di adattamento alla scala regionale e alla scala locale. Alla base delle attività di pianificazione viene ovviamente collocato il processo di valutazione dei rischi climatici che viene strutturato e descritto sottolineando alcuni fondamentali passaggi:

- in primo luogo, occorre definire fin dall'inizio il campo di applicazione della valutazione – in accordo al livello di pianificazione che può

- essere regionale o locale – per quanto riguarda i possibili pericoli e gli elementi esposti da considerare;
- successivamente va definito il perimetro (ambito territoriale) della valutazione che, a parità di area amministrativa, potrebbe richiedere approfondimenti territoriali specifici in relazione sia alle caratteristiche fisiche dell'area (ad esempio presenza di aree naturali protette o zone a particolare rischio idrogeologico) sia a modalità di gestione del territorio e delle sue risorse (ad esempio presenza di bacini fluviali, modalità di erogazione dei servizi idrici, ...);
 - deve essere sviluppata una adeguata caratterizzazione dell'assetto climatico attuale e pregresso per consentire di considerare adeguatamente nella valutazione sia pericoli acuti come gli eventi climatici estremi sia pericoli cronici legati alle variazioni climatiche distribuite nel tempo (come, ad esempio, l'aumento delle temperature medie);
 - si devono individuare gli elementi (dai singoli asset a interi settori produttivi in funzione del contesto) che si considerano esposti ai pericoli climatici e che saranno quindi oggetto di valutazione del rischio;
 - di tali elementi deve essere caratterizzata la vulnerabilità delle parti esposte stimando la loro sensitività alle sorgenti di pericolo e la capacità di risposta ai potenziali impatti. La vulnerabilità è definita come “la propensione o la predisposizione (di un sistema) ad essere influenzato negativamente. La vulnerabilità comprende una varietà di concetti ed elementi, tra cui la sensitività⁷ o suscettibilità al danno e la mancanza di capacità di far fronte e adattarsi (IPCC, 2019)”;
 - devono successivamente essere riesaminati i dati storici disponibili per individuare quali impatti climatici si siano già verificati in passato, in che forma e con quale intensità; tale quadro degli impatti storici deve essere successivamente integrato con i rischi e gli impatti che si ritiene possano plausibilmente verificarsi in futuro;
 - a fronte del quadro disponibile in merito a pericoli e impatti si devono poi individuare i principali fattori non climatici che sono ritenuti in

7. IPCC definisce la sensitività come “Il grado in cui un sistema o una specie è influenzato, negativamente o positivamente, dalla variabilità o dal cambiamento climatico. L'effetto può essere diretto (ad esempio, un cambiamento nella resa delle colture in risposta a un cambiamento nella media, nell'intervallo o nella variabilità della temperatura) o indiretto (ad esempio, danni causati da un aumento della frequenza delle inondazioni costiere dovute all'innalzamento del livello del mare)” (fonte: www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary_s.html consultato nel febbraio 2025). La norma ISO 14091:2021 Adaptation to climate change – Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment, definisce la vulnerabilità come “propensione o predisposizione ad essere influenzati negativamente. La vulnerabilità comprende una varietà di concetti ed elementi tra cui la sensibilità o la suscettibilità al danno e la mancanza di capacità di far fronte e adattarsi”.

- grado di influenzare i rischi e, in particolare, gli impatti. Tra questi fattori rientrano le condizioni demografiche e socioeconomiche che influenzano direttamente l'esposizione ai pericoli (ad esempio incremento significativo del numero di abitanti esposti a un potenziale impatto) o la vulnerabilità dei sistemi (ad esempio l'aumento del degrado del suolo, la riduzione della permeabilità o l'incremento della urbanizzazione);
- da ultimo la valutazione dei rischi climatici deve stabilire l'intervallo temporale che si assume come riferimento per la valutazione che il PNACC suggerisce di suddividere in intervalli a medio termine (meno di trenta anni) o a lungo termine (oltre trenta anni).

2.3. La questione della scala geografica nella pianificazione dell'adattamento ai cambiamenti climatici

Gupta *et al.* (2007) hanno osservato che “il cambiamento climatico è un fenomeno “*glocal*”, che richiede di pensare globale ma agire locale”. L'approccio politico all'adattamento ai cambiamenti climatici tende a considerare prioritarie le dimensioni internazionale e intergovernativa (accordi internazionali, trattati tra più stati, ecc.) in risposta alle sfide globali, trascurando la relazione con i diversi livelli amministrativi.

In che misura la scala geografica rappresenta una questione di importanza primaria in tema di adattamento ai cambiamenti climatici e quali sono le principali implicazioni?

Le sfide globali riguardanti il clima, l'ambiente, l'economia, convergono nelle diverse aree geografiche e richiedono l'intervento di governi e istituzioni. Viceversa, gli eventi e le dinamiche che si verificano alla scala locale hanno risonanza a livello globale. Pertanto, analizzare la relazione tra la scala locale e quella globale può consentire di comprendere meglio numerose problematiche connesse al *climate change*.

Attualmente, la comunità scientifica e la classe politica si concentrano principalmente sull'approccio *top-down* (letteralmente, “dall'alto verso il basso”) nel trattare la relazione tra le diverse scale, ovvero dal globale verso il locale. Esempi rilevanti di questa tendenza sono le metodologie applicate nella analisi degli impatti relativi al clima, che utilizzano come *input* scenari climatici derivati da modelli climatici globali e – attraverso un'operazione di “*downscaling*” – per acquisire informazioni a livello locale e persino sub-locale, trascurando il fatto che i modelli e le proiezioni usati come riferimento non raggiungano normalmente un grado di dettaglio regionale o locale. Inoltre, le previsioni e le allerte meteorologiche sono spesso fornite su scala regionale e adattate, attraverso elabora-

zioni statistiche, a livello locale. Tutto ciò comporta un grande divario tra i modelli di cambiamento climatico “scalati” e le condizioni climatiche locali vissute quotidianamente dai cittadini alla scala urbana o, addirittura, in diverse aree delle città.

Allo stesso modo, le politiche climatiche adottano un approccio “dall’alto verso il basso”: le strategie europee, ad esempio, esprimono i requisiti per le normative nazionali e le strategie e i piani a scala nazionale che, a loro volta, determinano il contenuto degli strumenti normativi regionali, locali e sub-locali.

Ciononostante, vi sono evidenze di un crescente interesse per l’approccio “dal basso verso l’alto” (o “*bottom-up*”). Wilbanks *et al.* (1999) hanno anticipato questa linea di ricerca indagando sul ruolo delle scale territoriali in diversi contesti. Si sono posti domande quali: come le località contribuiscono al cambiamento climatico globale? Quale controllo esercitano le amministrazioni locali? Come possono essere adottate e avviate localmente misure di mitigazione e adattamento? Nei loro contributi è stata avanzata l’idea che le relazioni tra le scale e le interazioni tra macrostruttura e azione a livello locale “influenzano il modo in cui funziona il nostro mondo” (Wilbanks, 1999), e che questi aspetti meriterebbero molta più attenzione da parte della comunità scientifica di varie discipline.

A partire dal secolo scorso, sono stati compiuti enormi progressi nella direzione di una maggiore consapevolezza di questi temi, ma le conoscenze teoriche non sono ancora sufficientemente tradotte in pratica. L’importanza fondamentale della scala geografica nelle questioni che riguardano l’azione climatica è ulteriormente supportata dalle seguenti considerazioni: la maggior parte delle attività che aumentano il riscaldamento globale sono quelle legate alla produzione e all’impiego di combustibili fossili nei processi industriali, nella generazione di elettricità, nei trasporti e nel riscaldamento, alla silvicoltura, all’agricoltura e all’allevamento, alla gestione e allo smaltimento dei rifiuti (IPCC, 2023). Pertanto, le attività umane che contribuiscono al cambiamento climatico sono assolutamente locali. Nonostante la maggior parte delle emissioni di CO₂ e altri gas serra provengano da attività tipicamente urbane, non sono governate da regolamentazioni relative alla scala locale, poiché le fonti di emissioni sono collegate a diversi settori che operano su scala nazionale o addirittura internazionale.

Per quanto riguarda gli impatti climatici, invece, le conseguenze del cambiamento climatico colpiscono i sistemi antropici a tutti i livelli territoriali e, quindi, amministrativi. Se è vero che le emissioni di CO₂ sono fondamentalmente di natura locale, il loro grado di concentrazione cumulativa nell’atmosfera (la causa principale del riscaldamento globale e dei

cambiamenti climatici) comporta conseguenze globali. Allo stesso tempo, la quantità di CO₂ emessa localmente dipende (o è regolata) da processi e politiche regionali, nazionali o addirittura sovranazionali.

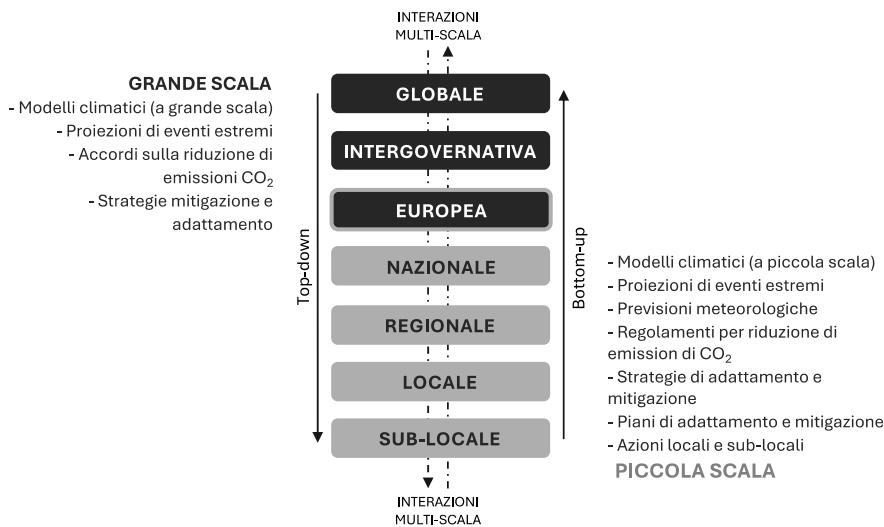


Fig. 2.2 - Interazioni multiscala nei processi di adattamento al cambiamento climatico e differenti strumenti alla grande e piccola scala. Adattato da: Bernardini (2024)

Gli impatti aggregati derivanti da iniziative urbane, tuttavia, possono essere molto significativi. Pertanto, le politiche locali non dovrebbero corrispondere puramente al risultato di una traduzione “dall’alto verso il basso” delle misure prescritte a livelli amministrativi diversi da quello locale (Gupta *et al.*, 2007).

L’implementazione di iniziative locali (*bottom-up*) può essere guidata dai seguenti fattori: i) esperienza diretta di eventi climatici estremi; ii) gravi impatti climatici localizzati; iii) preoccupazioni specifiche a livello locale rispetto agli effetti del cambiamento climatico; iv) co-benefici dell’adattamento (ambientali, sociali, economici), risparmi sui costi per le amministrazioni locali; v) ragioni politiche (immagine pubblica, campagne elettorali); vi) affiliazione a network tra città per l’adattamento climatico. A proposito dell’ultimo punto, le reti informali e volontarie sono diventate sempre più importanti per sostenere l’azione locale (Woodruff, 2018). Questi network sono stati definiti come “forum in cui le parti interessate si riuniscono e partecipano ai processi politici al di fuori delle procedure di

limitazione della democrazia rappresentativa” (Busch, 2015). Nel contesto dell’adattamento ai cambiamenti climatici, le reti sono spazi virtuali in cui i governi locali cooperano e si impegnano nell’azione climatica. Secondo Woodruff (2018), le reti di adattamento faciliterebbero e attirerebbero investimenti; sarebbero una buona occasione per coordinare le azioni di adattamento e sviluppare obiettivi comuni; creerebbero economie di scala; sosterrebbero le città nella gestione degli impatti dei cambiamenti climatici che superano i confini giurisdizionali.

Nonostante tutte queste evidenze, l’approccio *top-down* è ancora il più adottato e applicato nell’elaborazione di modelli e proiezioni climatiche, nella regolamentazione delle emissioni, nella pianificazione e nella progettazione delle specifiche misure di adattamento. Inoltre, spesso i soggetti locali non dispongono di strumenti e competenze adeguati. Ad esempio, le linee guida e i protocolli internazionali forniti dall’International Panel on Climate Change (IPCC) o dall’Environment Protection Agency (EPA) per calcolare gli inventari delle emissioni sono troppo complessi e richiedono troppi dati per essere implementati su scala locale: molti set di dati richiesti non sono disponibili a livello locale o provinciale.

I modelli climatici a scala regionale o urbana sono spesso ottenuti attraverso mere procedure di *downscaling* dei modelli climatici globali e poi utilizzati per valutare gli impatti dei cambiamenti climatici previsti su uno specifico territorio, un settore, una comunità o un quartiere. La pianificazione dell’adattamento a scala locale non dovrebbe basarsi unicamente sui dati “scalati”: come sostengono Cradock-Henry *et al.* (2021), l’azione di “spostare la lunghezza focale” dal livello globale a quello locale senza altri accorgimenti introduce ulteriore incertezza, non solo per via delle differenze nella disponibilità, nella diversità e nella risoluzione dei dati spaziali, ma anche perché a questa scala le decisioni e le azioni di adattamento locali devono considerare, oltre agli obiettivi climatici internazionali, anche le esigenze e le priorità degli stakeholder. Se le politiche sono in conflitto con le esigenze e le ambizioni dichiarate dai portatori di interesse, risultano difficili da attuare e spesso inefficaci.

Il bisogno di adottare un nuovo approccio (*bottom-up*) è denunciato da un’ampia porzione di letteratura recente, da molte piattaforme *web-based* di informazione e divulgazione e da altri mezzi di comunicazione. La funzione principale di molte di queste piattaforme è la raccolta e la trasmissione di casi di studio su diverse opzioni di adattamento al clima e su esperienze considerate *best-practice*. Imparare dalla sperimentazione è un passo prezioso, ma va sottolineato che non esistono soluzioni applicabili in qualsiasi contesto quando si tratta di adattamento

ai cambiamenti climatici. Non è pensabile, perciò, che esistano soluzioni “one-fits-all”: le misure di adattamento devono essere adattate alle specificità del luogo, del settore, della comunità. Prendere in considerazione le caratteristiche, le condizioni, le risorse e le complessità specifiche della scala locale permette di rendere i percorsi di adattamento “percorsi basati sul luogo” (Cradock-Henry *et al.*, 2021) ed è di primaria importanza.

Le questioni relative alla scala geografica nei processi di adattamento ai cambiamenti climatici illustrate in questa sezione si riflettono nel rapporto tra gli strumenti normativi alle diverse scale.

2.4. Le risorse per l'adattamento: la finanza sostenibile

Le azioni di adattamento che vengono proposte dagli accordi internazionali e dai piani nazionali richiedono una importante quantità di risorse per la loro implementazione: per realizzare le azioni previste dai piani di adattamento, già predisposti da circa 170 Paesi nel mondo, si stima che il fabbisogno sia pari a quasi 400 miliardi di dollari annui almeno fino al 2030 dei quali oltre la metà da destinare ai paesi in via di sviluppo (UNEP, 2024). Il delicato tema del finanziamento dell'adattamento climatico si inquadra all'interno di una più ampia discussione che, da tempo, affronta il delicato tema dell'equilibrio tra obiettivi di sviluppo sostenibile – che per semplicità vengono rappresentati attraverso gli accordi di Parigi sui cambiamenti climatici e i diciassette Sustainable Development Goals (SDGs) definiti nella Agenda UN 2030 – e risorse necessarie al loro raggiungimento. La stima degli investimenti necessari a raggiungere gli obiettivi di sviluppo sostenibile – includendo quindi sia le azioni di mitigazione sia quelle di adattamento – definiti dai due grandi accordi internazionali è drammaticamente crescente: nel 2017 si riteneva fossero dell'ordine di grandezza di 6,9 trilioni di dollari all'anno fino al 2030 (OECD, 2017; OECD, 2020) mentre le stime più aggiornate, che hanno preso atto degli impatti degli eventi climatici crescenti in maniera esponenziale, presentano un quadro di bisogni finanziari di oltre 12 trilioni di dollari annui (OECD, 2025).

Le Conferenze delle Parti (COP) hanno fin dall'inizio trattato il tema dell'adattamento, come già descritto nel Cap. 2.1, e nel tempo hanno istituito e ampliato appropriate azioni di finanziamento (Tab. 2.4) per sostenere l'adattamento ai cambiamenti climatici con particolare attenzione ai paesi in via di sviluppo.

Tab. 2.4 - Principali strumenti di finanziamento dell'adattamento ai cambiamenti climatici sviluppati in seno alla UNFCCC (Fonte: <https://unfccc.int/topics/introduction-to-climate-finance>)

Global Environment Facility (GEF)
Si tratta del primo strumento internazionale di supporto a progetti di tutela dell'ambiente nato da una iniziativa francese nel 1989 e strutturato formalmente nel 1991 dalla banca Mondiale come fondo pilota per finanziare progetti ambientali nei paesi in via di sviluppo. Dalla Conferenza di Rio del 1992 è diventato, con la adesione di 186 Paesi, uno strumento finanziario ufficiale della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC).
Adaptation Fund (AF)
Istituito in occasione della COP7 a Marrakech nel 2001, l'Adaptation Fund finanzia progetti e programmi di adattamento nei paesi in via di sviluppo, con particolare attenzione ai più vulnerabili agli effetti negativi dei cambiamenti climatici.
Least Developed Countries Fund (LDCF)
Istituito in occasione della COP7 nel 2001, il LDCF è specificamente destinato a supportare i paesi meno sviluppati nella preparazione e implementazione dei Piani Nazionali di Adattamento (NAPs).
Special Climate Change Fund (SCCF)
Creato durante la COP7 nel 2001, l'SCCF finanzia progetti relativi all'adattamento, trasferimento di tecnologie, energia, trasporti, industria, agricoltura, silvicoltura e gestione dei rifiuti nei paesi in via di sviluppo.
Green Climate Fund (GCF)
Istituito alla COP16 a Cancùn nel 2010, il GCF è diventato operativo nel 2015 ed è attualmente il più grande fondo dedicato al finanziamento di progetti di mitigazione e adattamento nei paesi in via di sviluppo.
Loss and Damage Fund (LDF)
Creato durante la COP27 a Sharm el-Sheikh nel 2022, questo fondo è destinato a supportare i paesi vulnerabili nell'affrontare le perdite e i danni causati dagli impatti dei cambiamenti climatici. Si prevede che LDF inizi a finanziare progetti nel 2025.
Capacity-building Initiative for Transparency (CBIT)
Nell'ambito degli Accordi di Parigi, le Parti della UNFCCC hanno concordato di istituire la Capacity-building Initiative for Transparency (CBIT). L'obiettivo della CBIT è rafforzare le capacità istituzionali e tecniche dei paesi in via di sviluppo per soddisfare i requisiti di trasparenza rafforzati dell'Accordo di Parigi, come definito nell'Articolo 13. CBIT è gestito, come SCCF e LDCF, dal GEF.

Non è facilmente determinabile la capacità di finanziamento complessiva che può arrivare dal quadro di fondi istituzionali sopra descritto che è sostanzialmente alimentato da flussi di finanziamenti dei paesi che aderiscono alle UNFCCC; la stima delle Nazioni Unite (UNEP, 2024) è che dei quasi quattrocento miliardi di dollari annui ritenuti necessari per

attuare le azioni di adattamento i flussi derivanti dai Fondi legati alle decisioni prese nelle COP siano di poco inferiori ai trenta miliardi di dollari. Esiste quindi una differenza importante tra quanto necessario e quanto disponibile: inoltre questa differenza è stimata come molto importante se si guarda all'insieme delle misure di contrasto ai cambiamenti climatici includendo sia mitigazione sia adattamento. Secondo l'Organizzazione per la Cooperazione e lo sviluppo Economico (OECD, 2025) degli oltre 12 trilioni di dollari annui necessari per arrivare al 2030 rispettando gli obiettivi di sviluppo sostenibile e gli obiettivi di Parigi ne mancano all'appello più della metà e diventa fondamentale la individuazione di fonti di finanziamento che non siano esclusivamente basate su capitali pubblici derivanti dall'intervento dei governi dei Paesi che aderiscono alla UNFCCC. In questa direzione si sono attivate numerose iniziative per coinvolgere capitali privati nel sostenere le azioni di lotta ai cambiamenti climatici attivando un processo di strutturazione di quella che oggi viene comunemente identificata con il termine di finanza sostenibile (Dimmelmeier, 2023). Benché non vi sia ancora una completa condivisione delle diverse definizioni del concetto di finanza sostenibile (Migliorelli, 2021) diversi studiosi la riconducono alla convergenza di due concetti sviluppati nell'ultima parte del secolo scorso: la stakeholder theory e lo sviluppo sostenibile. La stakeholder theory ha proposto infatti una visione della gestione aziendale che guardasse oltre la mera remunerazione degli investitori – la shareholder theory che ha caratterizzato tutto il periodo dello sviluppo economico e delle grandi acquisizioni degli anni '80 e '90 – e ponesse tra le principali finalità delle aziende il soddisfacimento delle aspettative di altre parti interessate come i consumatori e la collettività nel suo insieme (Freeman, 2010; Hörisch *et al.*, 2020). Nel momento in cui le aspettative della collettività negli anni '90 hanno visto una sempre maggiore attenzione al tema dello sviluppo sostenibile e della protezione dell'ambiente la stakeholder theory ha individuato come strumento di crescita e consolidamento delle aziende il tema della comunicazione in materia di sostenibilità. La fine degli anni '90 e gli inizi del nuovo millennio sono il periodo in cui si è avviato un importante e diffuso sviluppo dei processi di rendicontazione e comunicazione delle prestazioni di sostenibilità delle organizzazioni che oggi conosciamo come rendicontazione ambientale, economica e sociale, comunemente conosciuta come ESG (Environmental, Social, Governance).

La comunicazione delle prestazioni ESG da parte delle aziende ha avuto un momento fondamentale di sviluppo quando nel 2006 le Nazioni Unite hanno lanciato il programma Principles for Responsible Investment (PRI). Il PRI è un'iniziativa globale delle Nazioni Unite che promuove l'integrazione dei fattori ESG (Ambientali, Sociali e di Governance) nelle

decisioni di investimento, con l'obiettivo di creare un sistema finanziario più sostenibile e responsabile. Chi aderisce al programma PRI si impegna a rispettare sei principi fondamentali che richiedono che le scelte di investimento privilegino aziende o progetti che siano in grado di comunicare efficacemente le loro prestazioni di sostenibilità⁸:

- Principio 1: “Incorporeremo le questioni ESG nei processi di analisi degli investimenti e di assunzione delle decisioni”.
- Principio 2: “Saremo proprietari attivi e incorporeremo le questioni ESG nelle nostre politiche e pratiche di proprietà”.
- Principio 3: “Cercheremo un'adeguata divulgazione delle questioni ESG da parte delle entità in cui investiamo”.
- Principio 4: “Promuoveremo l'accettazione e l'implementazione dei Principi all'interno del settore degli investimenti”.
- Principio 5: “Lavoreremo insieme per migliorare la nostra efficacia nell'implementazione dei Principi”.
- Principio 6: “Ognuno di noi riferirà sulle proprie attività e sui progressi verso l'implementazione dei Principi”.

Nei primi dieci anni di vita dalla creazione del PRI più di 1500 grandi investitori hanno firmato la adesione ai suoi principi; tale numero è arrivato nel 2024 a raggiungere a cifra di oltre 5300 soggetti che gestiscono la impressionante cifra di quasi 130 trilioni di dollari di investimenti che si impegnano a indirizzare verso soggetti che dichiarano le loro prestazioni in termini di ESG (PRI, 2024). La visione proposta dal PRI – e cioè che gli investitori debbano privilegiare investimenti in direzione dei soggetti che comunichino le loro prestazioni di sostenibilità misurandole nelle tre dimensioni rappresentate dall'acronimo ESG – ha innescato in tutto il mondo una accelerazione nello sviluppo da un lato di normative che impongono alle aziende di rendicontare le prestazioni di sostenibilità e dall'altro lato criteri e metriche per una rendicontazione armonizzata e confrontabile.

In Europa, ad esempio, si è innanzitutto pubblicata la Direttiva 2014/95/UE che riguardava “la comunicazione di informazioni di carattere non finanziario e di informazioni sulla diversità da parte di talune imprese e di taluni gruppi di grandi dimensioni”. La Direttiva, comunemente conosciuta come NFD “Non Financial Disclosure” ha imposto alle imprese di grande dimensione e quotate sui mercati azionari di fornire

8. Fonte: www.unpri.org/about-us/what-are-the-principles-for-responsible-investment consultato marzo 2025.

informazioni al pubblico e ai potenziali investitori su temi ambientali, sociali, relativi ai diritti umani, alla corruzione e alla diversità nei consigli di amministrazione. Successivamente la Direttiva NFD è stata affiancata dal Regolamento (UE) 2019/2088 “relativo all’informativa sulla sostenibilità nel settore dei servizi finanziari” – più conosciuto come Regolamento SFDR (Sustainable Finance Disclosure Regulation) – che ha imposto requisiti simili anche agli operatori del settore finanziario come banche e assicurazioni. Da ultima è stata pubblicata nel 2022 la Direttiva (UE) 2022/2464, meglio nota come Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), che ha sostituito la Direttiva 2014/95 riprendendone i concetti di rendicontazione ed estendendone il campo di applicazione anche alle medie imprese: la UE stima che dai 12.000 soggetti che dovevano applicare la NFD si arriverà a quasi 50.000 soggetti che a regime dovranno applicare i requisiti della CSRD.

Come è stato fatto in Europa anche altre aree economiche nel mondo, dagli Stati Uniti d’America alla Cina, hanno sviluppato strumenti normativi per imporre alle aziende un graduale processo di sviluppo delle rendicontazioni di sostenibilità. Come esito di queste azioni, si è rilevato che nel 2022, su 43.970 società quotate a livello globale con una capitalizzazione di mercato totale di 98 trilioni di USD, poco meno di 10.000 società, che rappresentano una capitalizzazione di mercato totale di 85 trilioni di USD, hanno divulgato informazioni relative alla sostenibilità (OECD, 2024). Tra queste informazioni la sempre maggiore attenzione ai rischi e opportunità legati al clima ha generato un maggiore interesse da parte degli investitori sulle emissioni di gas serra (GHG) delle aziende. A livello globale, oltre 6.000 società che rappresentano quasi l’80% della capitalizzazione di mercato hanno divulgato informazioni sulle loro emissioni di gas serra fissando obiettivi molto ambiziosi rispetto al raggiungimento della “carbon neutrality”⁹ (OECD, 2024).

La richiesta sempre più diffusa di comunicare le proprie prestazioni ESG ha reso necessaria la adeguata disponibilità di metriche condivise per attuare i processi di comunicazione in maniera confrontabile e ripetibile. In questa direzione sono stati sviluppati numerosi sistemi di reporting non finanziario adottati in tutto il mondo per comunicare le prestazioni ESG (Fig. 2.3).

9. IPCC definisce la carbon neutrality come “Condizione in cui le emissioni di CO₂ antropogeniche associate a un soggetto sono bilanciate dalle rimozioni di CO₂ antropogeniche. Il soggetto può essere un’entità come un paese, un’organizzazione, un distretto o una merce, o un’attività come un servizio e un evento” (IPCC, 2021).

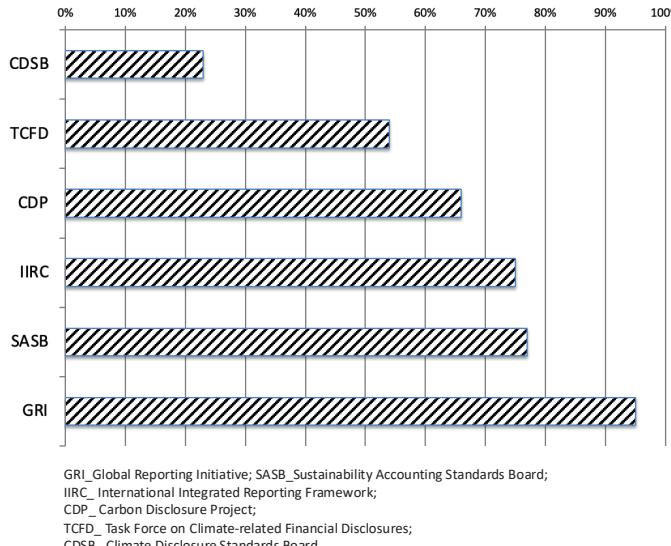


Fig. 2.3 - Sustainability reporting systems che vengono richiamati nei documenti guida delle borse valori nelle diverse aree economiche del mondo: le linee indicano la percentuale delle linee guida che richiama lo schema di riferimento (rielaborazione da Paganin, 2021)

Il quadro delle iniziative sviluppate per coinvolgere i finanziamenti privati nella lotta ai cambiamenti climatici deve essere osservato dalle due direzioni proposte dalle strategie di azione:

- la mitigazione guarda prevalentemente alla de-carbonizzazione di attività e processi e questo appare essere la visione principale adottata dalle aziende e investitori privati che hanno fatto della carbon neutrality un obiettivo centrale delle loro comunicazioni;
- l'adattamento mette al centro delle sue strategie l'aumento della resilienza dei sistemi che spesso sono di interesse pubblico e nelle comunicazioni di sostenibilità delle aziende private non occupa di solito un ruolo rilevante mentre risulta strategico per le pubbliche amministrazioni e i Governi.

Rispetto al totale dei fabbisogni finanziari stimati come necessari per l'adattamento, oltre due terzi sono identificati in aree che sono tipicamente finanziate dal settore pubblico tramite fonti internazionali o nazionali, perché hanno caratteristiche di bene pubblico o si collocano in settori sociali o non di mercato. La conseguenza è che senza un incremento diretto dei finanziamenti pubblici (internazionali e nazionali) – o la diffusione di approcci innovativi al finanziamento di interventi governati dal pubblico – sarà presumibilmente difficile realizzare la maggior parte delle priorità di adattamento

individuate dai Piani Nazionali di Adattamento. La rimanente quota di fabbisogni finanziari è prevista in aree che hanno un potenziale di attrazione per i finanziamenti privati, come, ad esempio, i settori di mercato quali agricoltura commerciale, acqua e infrastrutture (OECD, 2025). Si sono individuate anche opportunità di investimenti del settore privato in aree che impattano direttamente sulla attività delle aziende e che richiederanno azioni dirette di adattamento: tra queste, ad esempio, si possono considerare i bisogni del settore privato legati alle sempre maggiori esigenze di raffrescamento e per diminuire conseguentemente gli impatti sulla produttività del lavoro correlata alla temperatura (OECD, 2025).

Un esempio di come il settore finanziario stia sviluppando strumenti di finanziamento di interventi finalizzati a mitigare o contenere gli effetti dei cambiamenti climatici è dato dalle cosiddette obbligazioni verdi o Green Bond. I Green Bond sono qualsiasi tipo di strumento obbligazionario i cui proventi vengono impiegati esclusivamente per finanziare o rifinanziare, in tutto o in parte, nuovi e/o preesistenti progetti ambientali che siano finalizzati alla realizzazione di cinque obiettivi ambientali: la mitigazione del cambiamento climatico, l'adattamento al cambiamento climatico, la conservazione delle risorse naturali, la preservazione della biodiversità e la prevenzione e il controllo dell'inquinamento (ICMA, 2022). Il primo esperimento mondiale relativo alla emissione di una obbligazione i cui proventi fossero destinati a progetti "verdi (i green bonds) risale al 2007 quando la BEI Banca Europea per gli Investimenti ha emesso il Climate Awareness Bond (CAB). Da quella iniziativa pionieristica l'evoluzione dei green bonds è stata rapida e ulteriormente accelerata, nel territorio della UE, a partire dal 2016-2017 arrivando a rappresentare quasi il 10% del totale delle obbligazioni pubbliche e private emesse in un anno in Europa (Fig. 2.4). A livello internazionale le emissioni di green bonds sono stimate nell'ordine di grandezza di una media annuale di circa 500 miliardi di USD negli ultimi 5 anni.

Da ultimo si cita un ulteriore strumento sviluppato nell'ambito della Unione Europea per contribuire al coinvolgimento degli investimenti privati in progetti finalizzati alla sostenibilità ambientale e sociale: il piano di azione per finanziare la crescita sostenibile (COM 2018/97) e la Tassonomia Europea¹⁰.

Il piano di azione per la finanza sostenibile (COM 2018/97) la definisce nella maniera seguente: "Per "finanza sostenibile" si intende generalmente il processo di tenere in debita considerazione, nell'adozione di decisioni di investimento, i fattori ambientali e sociali, per ottenere maggiori investimenti

10. Regolamento UE 2020/852 "relativo all'istituzione di un quadro che favorisce gli investimenti sostenibili".

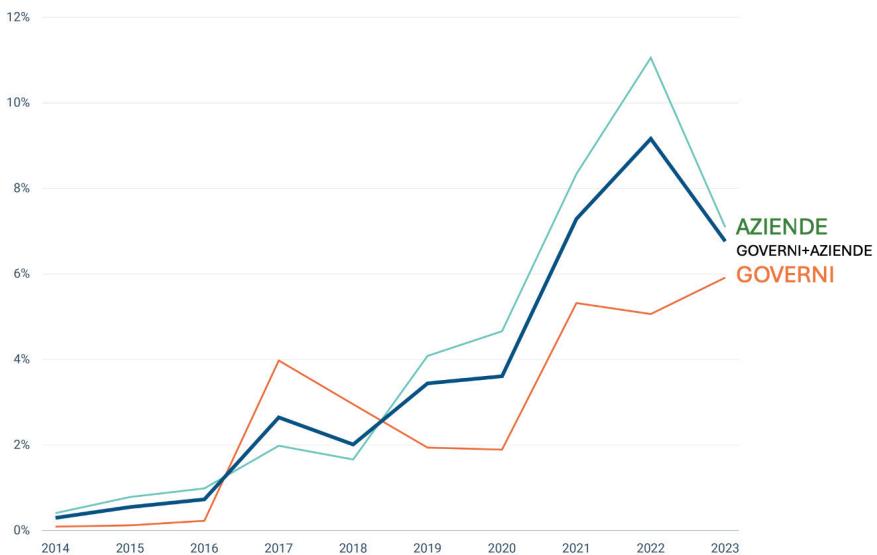


Fig. 2.4 - *Green Bonds in percentuale sul totale delle obbligazioni emesse da aziende, da governi e da aziende governi nell'UE-27, 2014-2023* (Fonte: www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/green-bonds-8th-eap consultato nel marzo 2025)

in attività sostenibili e di più lungo termine. Più precisamente, le considerazioni di ordine ambientale fanno riferimento all'attenuazione dei cambiamenti climatici e all'adattamento a questi nonché in senso lato all'ambiente e ai rischi connessi, come per es. le catastrofi naturali. Le considerazioni di ordine sociale possono fare riferimento a questioni di ineguaglianza, inclusività, rapporti di lavoro, investimenti in capitale umano e comunità. Le considerazioni di ordine ambientale e sociale sono spesso interconnesse, in particolare poiché i cambiamenti climatici possono esacerbare i sistemi di ineguaglianza in essere”.

Il Piano di Azione per la finanza sostenibile sottolinea la necessità per il sistema finanziario di supportare attivamente i progetti e le organizzazioni che operano per il miglioramento delle loro prestazioni di sostenibilità. “Attualmente i rischi ambientali e climatici non sono adeguatamente tenuti in considerazione dal settore finanziario. L’incremento delle catastrofi naturali di origine meteorologica significa che le imprese di assicurazione devono prepararsi a fronteggiare costi maggiori. Le banche saranno anch’esse esposte a maggiori perdite a causa della minore redditività delle imprese più esposte ai cambiamenti climatici o altamente dipendenti da risorse naturali in via di esaurimento. Fra il 2000 e il 2016, a livello mondiale, le catastrofi naturali di origine meteorologica hanno

registrato un incremento del 46% e fra il 2007 e il 2016 le perdite economiche dovute a condizioni meteorologiche estreme nel mondo intero sono aumentate dell'86%. Si tratta di una tendenza preoccupante, poiché quasi il 50% dell'esposizione al rischio delle banche della zona euro è direttamente o indirettamente connesso ai rischi derivanti dai cambiamenti climatici. Si rilevano in misura crescente ulteriori questioni ambientali in grado di minacciare gli attuali modelli di business". Finanziare progetti e aziende che operano per l'adattamento non è quindi una regalia che il settore finanziario viene chiamato a erogare per supportare i governi che non hanno risorse sufficienti: è invece un investimento per la sopravvivenza delle aziende che sono normalmente esposte ai rischi climatici e che sono i principali creditori del sistema finanziario garantendone quindi la stabilità e la crescita. Investire in adattamento è quindi un imperativo per il sistema finanziario internazionale.

La questione che si pone, tuttavia, è quella di investire in progetti o aziende che veramente si impegnino a migliorare le proprie prestazioni in materia di sostenibilità e non siano invece mero "greenwashing"¹¹: per orientare gli investimenti nelle giuste direzioni è stata sviluppata la Tassonomia europea con il Regolamento UE 2020/852. La Tassonomia europea per la finanza sostenibile individua dei criteri oggettivi per stabilire il grado di ecosostenibilità di una attività economica che, innanzitutto, deve contribuire in modo sostanziale al raggiungimento di uno o più determinati obiettivi ambientali senza arrecare danno a quelli non perseguiti. Gli obiettivi ambientali definiti dalla Tassonomia sono:

- a) la mitigazione dei cambiamenti climatici;
- b) l'adattamento ai cambiamenti climatici;
- c) l'uso sostenibile e la protezione delle acque e delle risorse marine;
- d) la transizione verso un'economia circolare;
- e) la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento;
- f) la protezione e il ripristino della biodiversità e degli ecosistemi.

Per quanto riguarda il contributo sostanziale all'adattamento ai cambiamenti climatici la Tassonomia fornisce un indirizzo generale che è stato successivamente definito in dettaglio nel Regolamento Delegato (UE) 2021/2139; nella Tassonomia si considera che un'attività economica dia un contributo sostanziale all'adattamento ai cambiamenti climatici quando:

11. Il piano di azione per finanziare la crescita sostenibile (COM 2018/97) definisce il concetto di "greenwashing" come "Il ricorso al marketing per descrivere i prodotti, le attività o le politiche di un'organizzazione come ecologici quando non lo sono".

- a) comprende soluzioni di adattamento che riducono in modo sostanziale il rischio di effetti negativi del clima attuale e del clima previsto per il futuro sull'attività economica o riducono in modo sostanziale tali effetti negativi, senza accrescere il rischio di effetti negativi sulle persone, sulla natura o sugli attivi;
- b) fornisce soluzioni di adattamento che contribuiscono in modo sostanziale a prevenire o ridurre il rischio di effetti negativi del clima attuale e del clima previsto per il futuro sulle persone, sulla natura o sugli attivi, senza accrescere il rischio di effetti negativi sulle altre persone, sulla natura o sugli attivi.

3. Pianificare l'adattamento: strategie e piani

3.1. Strumenti alla scala locale: Strategie e Piani di Adattamento Locali

Nel corso dell'ultimo decennio, l'adattamento ai cambiamenti climatici è passato da una fase di “presa di coscienza” (Mimura *et al.*, 2014) alla redazione e adozione di strategie e piani per far fronte al *climate change*.

Le questioni relative alla scala geografica nei processi di adattamento illustrate in precedenza nel Cap. 2, si riflettono nella relazione tra gli strumenti normativi alle diverse scale. Gli strumenti di politica climatica a tutte le diverse scale possono essere distinti in strategie e piani.

Le strategie affrontano questioni generali e identificano obiettivi e linee guida; delineano la necessità di implementare la pianificazione a diverse scale, sono utili per aumentare la consapevolezza del tema dell'adattamento climatico e il coinvolgimento degli stakeholder; forniscono valutazioni del rischio e della vulnerabilità.

I piani mirano ad attuare le strategie climatiche e a identificare apposite misure per raggiungere i loro obiettivi; riportano valutazioni più dettagliate dei rischi e delle vulnerabilità; facilitano il coordinamento tra le parti interessate; stabiliscono le priorità tra diversi interventi; identificano opzioni di adattamento e azioni attuabili; conducono valutazioni delle soluzioni di adattamento identificate e delineano le procedure per monitorarne l'efficacia.

La questione dell'adattamento ai cambiamenti climatici è affrontata a livello globale attraverso l'adozione di accordi internazionali come la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC), l'Accordo di Parigi, il Sendai Framework per la riduzione del rischio di disastri e l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile.

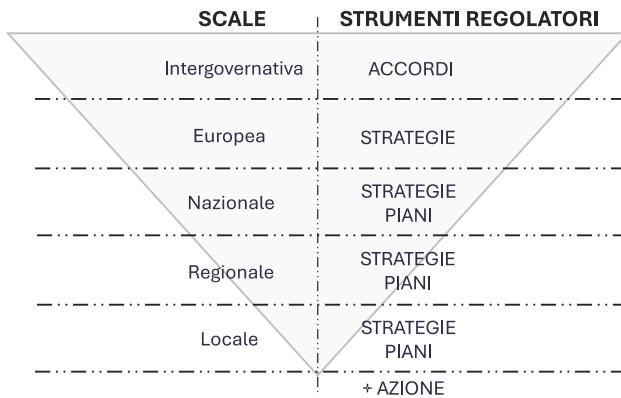


Fig. 3.1 - Strumenti regolatori alle diverse scale. Adattato da: Bernardini (2024)

A livello europeo, nel 2021 la Commissione europea ha adottato una nuova Strategia europea per l'adattamento ai cambiamenti climatici. Le strategie e i piani di adattamento nazionali (NASs e NAPs¹), regionali e locali (LAS e LAP²) sono gli strumenti normativi per la pianificazione della risposta agli impatti dei cambiamenti climatici.

Più in particolare, i piani di adattamento nazionali (NAPs) assumono un ruolo di coordinamento delle azioni di adattamento per i livelli di governo regionali e locali, fornendo la visione politica che guida le decisioni a livello subnazionale, incoraggiando la creazione di quadri legislativi (Mimura *et al.*, 2014).

Tuttavia, il livello locale sembra essere quello più adeguato per tradurre gli strumenti politici in azioni pratiche, evitando il trasferimento indifferenziato di soluzioni e buone pratiche da una scala all'altra o da un contesto a un altro, che Cortekar (2016), come molte altre fonti (Preston, 2016; Aguiar, 2018; e molti altri), identifica come la causa dell'inefficacia che ha caratterizzato finora molti processi di adattamento.

Focalizzandosi sulle normative per l'azione climatica a scala locale, si possono individuare diverse tipologie di strategie e piani climatici:

1. strategie e piani di adattamento a sé stanti (*stand-alone* LASs e LAPs);
2. strategie e piani congiunti di mitigazione e adattamento (*joint mitigation and adaptation strategies/plans*). A livello locale, le strategie e i piani di adattamento potrebbero essere combinati con le strategie

1. “National Adaptation Strategies” e “National Adaptation Plans”.
 2. “Local Adaptation Strategies” e “Local Adaptation Plans”.

- e i piani di mitigazione e condensati in un documento. Questa soluzione facilita e incoraggia i governi locali a: i) ricercare sinergie, complementarietà e co-benefici tra misure di mitigazione e adattamento; ii) analizzare le interazioni tra misure di mitigazione e adattamento per individuare compromessi e/o conflitti; iii) valutare congiuntamente l'efficacia delle misure climatiche (mitigazione e adattamento), con una visione più ampia. Nella pratica però, poiché la mitigazione è stata fortemente considerata prevalente negli ultimi anni, la situazione più diffusa è quella in cui i governi locali hanno già sviluppato precedentemente una strategia di mitigazione e un piano di mitigazione; pertanto, quando arriva il momento di completare la redazione dei documenti di politica climatica sviluppando una strategia di adattamento e un piano di adattamento, i governi locali scelgono di farlo separatamente;
3. strategie e piani di adattamento integrati nelle strategie e nei piani settoriali. In questo caso, la pianificazione dell'adattamento viene integrata nei documenti di pianificazione settoriale, ad esempio nei piani di sostenibilità, nei piani di resilienza, nei piani di emergenza, nei piani per l'energia, l'acqua, i rifiuti e molti altri.

La pianificazione climatica in Europa e nel mondo si presenta quindi in una varietà di forme, con diversi livelli di dettaglio, struttura e portata. Questa varietà è un fattore di complessità per gli studi di tracciamento della pianificazione dell'adattamento, come verrà ulteriormente spiegato nei paragrafi seguenti. Ad oggi, non risulta disponibile una classificazione univoca e condivisa degli strumenti normativi a scala locale per la mitigazione e l'adattamento climatici.

Per colmare questa lacuna, Reckien *et al.* (2018) hanno sviluppato una tassonomia dei piani climatici locali (LCPs³) da applicare nel tracciamento dei progressi nella pianificazione dell'adattamento, che considera due dimensioni: i) l'allineamento con le politiche territoriali (locali, nazionali e internazionali); e ii) il livello di integrazione con altri documenti politici locali.

La tabella seguente illustra un riadattamento di questa proposta di tassonomia agli interessi specifici del presente lavoro.

3. Local Climate Plans.

Tab. 3.1 - Proposta di tassonomia dei piani climatici locali, basata su una rielaborazione di Reckien et al., 2018

Codice	Tipo	Descrizione
A	Stand-alone	Piano climatico locale che affronta in modo globale (più settori) il cambiamento climatico, descritto in un documento a sé stante. “Adattamento” o “mitigazione” devono essere menzionati nel titolo (es: Piano Locale di Mitigazione, Piano Locale di Adattamento) o identificati nella prefazione/introduzione come la motivazione principale per lo sviluppo del piano.
B	Congiunto	Piano climatico locale che integra misure di mitigazione e adattamento al cambiamento climatico in un unico quadro strategico, riconoscendo le sinergie tra queste due dimensioni dell’azione climatica.
C	Mainstreamed	Gli aspetti del cambiamento climatico sono inclusi in un altro strumento di piano locale (es: piano di sostenibilità, piano di resilienza, piano di sviluppo/masterplan, strategia urbana)
D	Settoriale o impatto-specifico	Piano climatico locale che affronta aspetti parziali del cambiamento climatico in documenti a sé stanti, relativi a settori particolari (es: energia, acqua) o a impatti particolari (es: ondate di calore, inondazioni).
E	Area-specifico	Piano climatico locale per una area specifica della città/area urbana (es: quartiere, lotto).

Questa classificazione restituisce un quadro degli strumenti per la pianificazione dell’adattamento (e, nel caso di piani climatici congiunti, anche della mitigazione) alla scala locale.

I Piani di Adattamento Locali (LAPs) sono – o dovrebbero essere – gli strumenti operativi per l’attuazione delle misure di adattamento. L’implementazione dei Piani di Adattamento Locale e l’attuazione delle misure di adattamento contenuti nei Piani sono però ostacolati da molte barriere come vincoli finanziari, disallineamenti politici interni, competenze del personale delle amministrazioni locali inadeguate o insufficienti e molte altre. Considerando anche che nessuna normativa a livello nazionale o sovranazionale (Europeo) prescrive l’adozione obbligatoria e l’attuazione di Piani di Adattamento Locale, la maggior parte di questi rimangono ad oggi strumenti redatti unicamente su base volontaria e spesso non operativi.

La sottoscrizione di accordi legati alla adesione a *network* internazionali per l’adattamento nelle città rappresenta in questo contesto una importante leva per l’adozione e l’attuazione dei LAPs, in risposta alla criticità della non-obbligatorietà normativa. La collaborazione tra città e il supporto di diversi soggetti (istituzioni appartenenti al mondo accademico, del terzo settore, del settore privato) all’interno della stessa rete gioca un

ruolo cruciale per l'effettiva implementazione delle misure di adattamento urbano delineate nei LAPs.

Per quanto riguarda il livello di integrazione dei piani climatici locali con altri strumenti di pianificazione, si possono fare le seguenti osservazioni: da un lato, i piani a sé stanti o “*Stand-alone*” (tipo A nella classificazione illustrata in Tab. 3.1) forniscono una visione limitata solo all'adattamento o solo alla mitigazione, dedicando quindi attenzione specifica al tema, e considerano tutti i settori dei sistemi urbani, il che garantirebbe coerenza tra gli interventi.

Il tipo B, Piano climatico congiunto o “*Joint mitigation and adaptation*” è un piano che integra misure di mitigazione e adattamento al cambiamento climatico in un unico quadro strategico, riconoscendo e le sinergie tra queste due dimensioni della risposta al cambiamento climatico.

D'altra parte, i piani climatici settoriali (tipo D) e quelli che si occupano di aree delimitate delle città (lotti o quartieri) (tipo E) affrontano con grande dettaglio aspetti importanti di contesti specifici. Bisogna però tenere in conto il rischio di perdere l'opportunità di ottenere sinergie e/o di prevenire eventuali conflitti tra diversi interventi, grazie a una visione integrata dei sistemi urbani garantita da piani più generali.

Infine, i piani di tipo C (“*Mainstreamed*”) sono un esempio di integrazione della pianificazione dell'adattamento in altri strumenti di pianificazione locale, come i piani di sostenibilità urbana, i piani di resilienza o i piani di sviluppo/*master plans*. In mancanza di una chiara identificazione dei contenuti e degli obiettivi dei diversi strumenti, tuttavia, si rischia di creare sovrapposizioni, ridondanze o lacune nel sistema di strumenti di pianificazione urbana.

La limitata esperienza nella redazione e nella applicazione dei piani climatici nelle città rende difficile indicare con certezza la tipologia ideale di piano. Infatti, il primo esempio concreto di piano climatico urbano con un focus sull'adattamento oltre che sulla mitigazione risale al 1991⁴, ma ha anticipato di molti anni la diffusione dei piani climatici nelle città di tutto il mondo. Dopo le poche e puntuali esperienze di pianificazione dell'adattamento a scala urbana degli anni '90, bisognerà aspettare il primo decennio del 2000 per assistere ad iniziative che segnano passi fondamen-

4. Si tratta dell'iniziativa lanciata dalla città di Toronto (Canada) nel 1991, chiamata “*Changing Climate, Changing City*”, affrontava temi come, tra gli altri, l'aumento delle temperature medie urbane, eventi meteorologici estremi, gestione delle risorse idriche, salute pubblica, infrastrutture vulnerabili. Il piano era basato su dati climatici e proiezioni scientifiche, coinvolgeva stakeholder locali e includeva misure di adattamento in risposta ai rischi connessi al cambiamento climatico.

tali in direzione dello sviluppo della ricerca in ambito di pianificazione dell'adattamento e il parallelo incremento nell'adozione di strumenti da parte delle amministrazioni locali: nel 2005 viene fondato il *network* internazionale ICLEI – Local Governments for Sustainability, che supporta le città nella redazione dei primi piani climatici. Viene poi lanciata nel 2007 con un obiettivo simile la rete C40 – Cities Climate Leadership Group, seguita dal Covenant of Mayors (o Patto dei Sindaci) fondato nel 2008, una delle più importanti reti e piattaforme per il clima a livello europeo. Solo dal 2015 il Patto dei Sindaci promuove l'adozione di un nuovo strumento pianificatorio da parte delle città che aderiscono: il Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (PAESC).

Dopo l'Accordo di Parigi sul clima (2015) l'attenzione a livello globale per i piani climatici urbani cresce in misura rilevante. Il focus, comunque, è ancora nettamente sulla riduzione delle emissioni di CO₂, più che sull'adattamento agli impatti dei cambiamenti climatici.

Con un salto di anni, durante i quali sempre più città in Europa e nel mondo si muniscono di piani climatici che trattano anche di adattamento, si arriva nel 2021 al lancio della Missione UE “100 città climaticamente neutre entro il 2030” nell’ambito del programma Horizon Europe. La Commissione Europea annuncia nel 2022 le 112 città selezionate per fungere da *hub* di innovazione e ispirare altre città a seguire l'esempio entro il 2050. Le città ricevono supporto attraverso la piattaforma della Missione, NetZeroCities⁵, per sviluppare nuovi strumenti di pianificazione climatica: i Climate City Contracts (CCCs).

Il Climate City Contract (CCC) è uno nuovo strumento di pianificazione e governance finalizzato a supportare le città ad affrontare in modo collaborativo le barriere all’accelerazione dell’azione trasformativa per raggiungere la neutralità climatica entro il 2030. Include i “commitments” (impegni concreti), le azioni e gli investimenti previsti per realizzare gli obiettivi climatici di ogni città. Viene inteso come documento digitale “vivo”, ossia in continuo aggiornamento e che deve essere sottoposto a modifiche periodiche al quadro dei soggetti coinvolti (stakeholder), agli impegni concreti, alle azioni e/o agli investimenti, sulla base del monitoraggio di ciò che funziona e ciò che non funziona.

La analisi comparativa di piani climatici presentata di seguito include questo strumento innovativo. Vengono confrontate diverse tipologie di piani, dai LAPs *stand-alone* ai “joint mitigation and adaptation plans”, fino ad introdurre i nuovi CCCs. La analisi parte dalla lettura degli avan-

5. <https://netzerocities.eu/the-netzerocities-project/>.

zamenti in tema di pianificazione dell'adattamento in alcuni casi studio europei rappresentativi: Copenaghen, Parigi, Londra, Valencia, Amsterdam e Torino.

3.2. Monitoraggio dell'adattamento a scala locale: l'assenza di metodi, criteri e terminologia condivisi

La pianificazione dell'adattamento a scala urbana rappresenta l'approccio preferenziale per raggiungere gli obiettivi di adattamento a livello locale. Nonostante il suo ruolo fondamentale nei processi di adattamento, tuttavia, la dimensione locale della pianificazione non ha ricevuto finora sufficiente attenzione da parte della comunità scientifica e delle entità amministrative.

Inoltre, l'assenza di metodi e strumenti applicabili, sedimentati e condivisi, oltre a barriere di diversa natura (informative, metodologiche, istituzionali, linguistiche, ecc.), rendono il monitoraggio e la valutazione dello stato attuale della pianificazione dell'adattamento a livello locale, il *tracking* delle tendenze, delle evoluzioni e dei progressi in questo ambito, l'identificazione di *gaps* e la proposta di nuove linee guida e metodologie, questioni ancora poco affrontate dalle istituzioni di riferimento e negli studi scientifici multidisciplinari sulla pianificazione climatica.

Già nel 2007, Füssel sottolineava l'urgenza di condurre *assessment* dello stato della pianificazione climatica alla scala urbana e suggeriva che, guardando alla produzione letteraria scientifica più recente, era identificabile una tendenza a passare da *assessment science-based* ad *assessment* focalizzati su aspetti prevalentemente politici, così come una crescente attenzione al coinvolgimento degli *stakeholder* nei processi di *assessment*.

Araos *et al.* (2016) insistevano sull'importanza di realizzare *tracking* della pianificazione climatica per identificare, caratterizzare e confrontare sistematicamente diversi approcci e iniziative di adattamento tra diverse nazioni o città e nel tempo. Affermavano inoltre che le amministrazioni locali trarrebbero beneficio non tanto da studi che forniscano una panoramica delle azioni di adattamento climatico in Europa, ma soprattutto da pubblicazioni scientifiche che sviluppino e forniscano metodi e specifichino criteri per consentire di replicare analisi comparative rigorose dei documenti di pianificazione climatica nel tempo e attraverso i quali determinare quali siano gli approcci più efficaci da adottare, pur tenendo presente le specificità del contesto.

Un importante e ampio studio condotto da Olazabal *et al.* (2021) fornisce una valutazione degli sforzi di pianificazione dell'adattamento

in 59 grandi città costiere di tutto il mondo e, tra le altre considerazioni, sottolinea la necessità di un ulteriore lavoro per collegare gli sforzi di ricerca nella crescente area del monitoraggio dell'adattamento locale, al fine di facilitare la replicabilità e la comparabilità tra gli studi, nonché di consolidare gli approcci metodologici.

Anche alcune istituzioni di riferimento nell'ambito della risposta al cambiamento climatico si sono occupate della questione del monitoraggio: l'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA), ad esempio, dopo aver condotto *assessment* e pubblicato rapporti sullo stato di avanzamento della pianificazione dell'adattamento a scala nazionale negli ultimi anni (nel 2015 e nel 2020⁶), ha rilasciato le sue prime pubblicazioni relative al monitoraggio delle strategie di adattamento locale (LAS) e dei piani di adattamento locale (LAP) nel 2020⁷. Il Rapporto 12/2020 restituiscce un quadro dello sviluppo, dell'adozione e dell'attuazione degli strumenti politici di adattamento nei Paesi europei. È necessario però specificare che non si basa su un insieme di dati ampio, completo e dettagliato, ma su informazioni parziali.

I network internazionali per il clima rappresentano altre possibili fonti di dati su questo tema. I Paesi firmatari del Covenant of Mayors⁸, per esempio, si impegnano a sviluppare e adottare un Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (SECAP) entro due anni dal momento in cui diventano membri del network e a pubblicarlo sulla piattaforma dedicata. Inoltre, per valutare i progressi nell'adattamento tra le città aderenti, ai firmatari è richiesto di presentare un rapporto di monitoraggio ogni due anni dopo l'adozione del proprio Piano d'azione relativo alle azioni di mitigazione e adattamento pianificate e di aggiornare almeno ogni quattro anni l'inventario delle emissioni. Gran parte delle piattaforme accessibili tramite i siti web di network internazionali di governi locali forniscono informazioni che risultano frammentarie e incomplete sui progressi delle politiche di adattamento. Inoltre, raccolgono esempi e buone pratiche di soluzioni di adattamento a scala locale e sub-locale e li rendono disponibili alla consultazione. Qualsiasi operazione di comparazione tra diverse misure

6. European Environment Agency (2020) "Monitoring and evaluation of national adaptation policies throughout the policy cycle", Report 06/2020.

7. EEA – The European Environment Agency (2020) "Urban adaptation in Europe: how cities and towns respond to climate change", Report 12/2020.

8. Il Covenant of Mayors dell'UE per il clima e l'energia riunisce migliaia (oltre 9000) di amministrazioni locali impegnate volontariamente a realizzare gli obiettivi climatici ed energetici. L'iniziativa è stata lanciata nel 2008 con l'ambizione di riunire le amministrazioni locali in un network per facilitare la condivisione di esperienze tra diverse città e promuovere l'impegno nell'attuazione di azioni climatiche (www.eumayors.eu/about/covenant-initiative/origins-and-development.html).

è tuttavia ostacolata dalla mancanza di un unico e condiviso metodo di classificazione delle misure di adattamento, delle loro caratteristiche, degli impatti climatici, dei settori urbani coinvolti. Le piattaforme Climate-ADAPT⁹ e weADAPT¹⁰, la World Bank Climate Change Knowledge Portal (CCKP)¹¹, il Copernicus Climate Change Service (C3S)¹², l'European Topic Centre on Climate Change, Vulnerability and Adaptation (ETC/CCA)¹³, il Direttorato Generale della Commissione Europea per l'Azione Climatica (DG CLIMA)¹⁴, il Covenant of Mayors for Climate and Energy database¹⁵, CDP¹⁶, per citarne alcuni, categorizzano misure e azioni di adattamento usando criteri e terminologie diverse.

Climate-ADAPT, ad esempio, classifica le opzioni di adattamento come “grey”, “green” e “soft”; l'IPCC raggruppa le azioni di adattamento in tre categorie principali: “structural and physical”, “social” e “institutional” (IPCC, 2022); il Covenant of Mayors for Climate and Energy elenca nove settori urbani e adotta una distinzione tra azioni di mitigazione, azioni di adattamento e azioni di “mitigazione & adattamento”.

Anche per via di questa mancanza di allineamento nella terminologia e nella categorizzazione delle misure di adattamento, attualmente non sono disponibili studi di monitoraggio vasti e approfonditi della pianificazione a livello locale condotti da istituzioni o organizzazioni di riferimento. Inoltre, i rapporti pubblicati dalle reti internazionali non coprono i casi di città che agiscono al di fuori del quadro di queste organizzazioni e network internazionali (EEA, 2020).

In conclusione, in Europa, ad oggi, non esiste un database unico, completo e condiviso relativo all'elaborazione e all'adozione di piani climatici a scala locale o allo stato di attuazione delle azioni di adattamento elencate nei piani.

Le prime pubblicazioni del filone di letteratura che si occupa di *assessment* della pianificazione climatica di livello locale risalgono al 2015 (Araos *et al.*, 2015), ma forniscono un quadro piuttosto approssimativo della pianificazione dell'adattamento locale in Europa, analizzando le informazioni disponibili provenienti da diversi database e studi di ricerca. Questi studi lavorano, quindi, su informazioni “di seconda mano”.

9. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/>.

10. www.weadapt.org/.

11. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>.

12. <https://climate.copernicus.eu/>.

13. www.cmcc.it/it/etccca.

14. <https://ec.europa.eu/clima>.

15. www.covenantofmayors.eu/.

16. www.cdp.net/en.

Tuttavia, c'è un interesse in costante crescita che converge in una linea di ricerca seguita da una parte della letteratura scientifica che sta sempre più affrontando il tema dell'adattamento a livello locale e, più in particolare, la questione del tracciamento dei progressi nella adozione di strumenti di piano per l'adattamento dei sistemi urbani. Gli autori più rilevanti dei contributi inclusi in questa linea di ricerca sottolineano l'importante ruolo del monitoraggio della pianificazione dell'adattamento nel promuovere l'azione climatica nelle città (Campos *et al.*, 2017; Aguiar *et al.*, 2018; Reckien *et al.*, 2018; Reckien *et al.*, 2019; Grafakos *et al.*, 2019; Pietrapertosa *et al.*, 2019; Lioubimtseva *et al.*, 2020).

La revisione della letteratura è uno dei metodi applicati nell'attività di ricerca finalizzata all'*assessment* delle azioni di adattamento alla scala locale. Basarsi sulla letteratura che valuta l'adattamento e confronta piani di adattamento locali permette di essere guidati da approcci e pratiche già sperimentate, che garantiscono un'analisi sistematica (Berrang-Ford, 2015).

Tuttavia, per rintracciare soluzioni di adattamento specifiche e iniziative di soggetti pubblici e/o privati volte ad aumentare il grado di resilienza dell'ambiente costruito, è necessario indagare ulteriormente su iniziative ed esperienze specifiche a scala locale o sub-locale: anche se non sono incluse nei documenti ufficiali di pianificazione, possono infatti rappresentare un elemento non trascurabile di risposta ai potenziali impatti dei cambiamenti climatici (EC, 2013).

Altra fonte di conoscenza preferenziale per gli studi di monitoraggio della pianificazione dell'adattamento sono i processi di consultazione diretta degli stakeholder attraverso interviste e sondaggi (Aylette, 2015). Gli studi basati su questionari sono stati finora un importante contributo alla ricerca sull'adattamento urbano.

L'obiettivo principale è quello di condurre *assessment* e analisi approfondite delle politiche e dei piani di adattamento al clima per facilitare la pianificazione e i futuri processi decisionali in materia di adattamento, poiché l'identificazione e valutazione di opzioni di adattamento praticabili ed efficaci richiede di renderle comparabili con altre soluzioni.

Lo sviluppo di quadri metodologici per l'analisi sistematica dei piani climatici, e dei piani di adattamento in particolare, è di primaria importanza in questa prospettiva. Il metodo proposto di seguito è un tentativo in questa direzione e rappresenta un contributo significativo a questo ambito di indagine.

3.3. La proposta di un nuovo metodo per l'analisi comparativa di strumenti di pianificazione dell'adattamento alla scala locale

Il presente paragrafo descrive il processo di costruzione del metodo proposto dagli autori per analizzare i piani climatici e, in particolare, le misure contenute nei piani. Il metodo è descritto nel dettaglio, così da renderlo riapplicabile. In quanto riapplicabile nell'analisi di qualsiasi tipo di piano di qualsiasi città, rappresenta un contributo significativo all'ambito di indagine che riguarda il monitoraggio e la valutazione della pianificazione dell'adattamento a scala urbana. Mira a far luce sulla tipologia, sulla struttura, sul contenuto, sul grado di dettaglio dei piani climatici locali e sull'approccio adottato dalle città nella risposta al cambiamento climatico.

Data la pluralità di definizioni, la confusione tra diverse classificazioni che caratterizza gli studi relativi al cambiamento climatico e l'assenza di una tassonomia univoca e condivisa degli impatti climatici, dei settori urbani, della tipologia di misure climatiche, si è reso necessario per questo studio elaborare una chiara distinzione degli aspetti dei piani da analizzare e fare uno sforzo definitivo per specificare la terminologia applicata nella categorizzazione delle misure (vedi Tab. 3.2).

Nella costruzione del metodo di analisi dei piani climatici si è partiti dall'osservazione della realtà (lettura di piani climatici adottati in casi studio europei rilevanti) per identificare gli aspetti chiave da analizzare e le voci da includere nell'analisi.

Il processo di costruzione del metodo si è articolato nelle seguenti fasi:

1. definizione di criteri per la selezione delle città caso-studio. Per il presente studio, è stato scelto di selezionare città considerate all'avanguardia in tema di adattamento ai cambiamenti climatici, con l'obiettivo di rilevare lo stato dell'arte della pianificazione alla scala locale. I criteri di selezione sono dunque i seguenti: i) città situate in paesi europei; ii) città che partecipano alla Missione UE per 100 città climate-neutral e smart entro il 2030; iii) città che hanno aderito a network internazionali impegnati nella pianificazione locale della risposta ai cambiamenti climatici (es: Covenant of Mayors); iv) città che hanno recentemente (dal 2020 in poi) adottato o aggiornato un piano di adattamento *stand-alone*, un piano congiunto di adattamento e mitigazione (*joint mitigation and adaptation plan*) o che hanno pubblicato il CCC sulla piattaforma NetZeroCities entro il mese di aprile 2025; v) città che hanno pubblicato piani climatici tradotti in inglese; vi) città che hanno ricevuto riconoscimenti o che comunque sono considerate in letteratura particolarmente proattive nella pianificazione dell'adattamento;

2. selezione di due o più città caso-studio in base ai criteri stabiliti e caratterizzazione delle loro principali sfide climatiche. Ai fini del presente studio, si è adottata la classificazione degli impatti dei cambiamenti climatici proposta dall'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA, 2020b), con due variazioni: l'impatto “alte temperature” è stato qui denominato “ondate di calore”; l'impatto “malattie trasmesse da acqua e vettori” non è stato incluso poiché le malattie umane non sono oggetto del presente lavoro;
3. ricostruzione della storia della pianificazione climatica e del quadro degli strumenti di pianificazione relativi al clima nelle città caso-studio: identificazione delle politiche, strategie, piani e regolamenti disponibili tramite ricerca *web-based* (siti istituzionali, piattaforme di conoscenza di network per il clima o altre organizzazioni);
4. selezione di uno o più documenti di piano da analizzare per ogni città caso-studio, con l'obiettivo di fornire una visione della varietà degli strumenti di pianificazione;
5. lettura dei piani, estrazione delle misure di mitigazione e adattamento dai documenti di piano e inserimento in tabelle. Si è scelto di mantenere la lingua originale (inglese) evitando di tradurre in italiano le misure, per permettere di rintracciare ogni elemento nei documenti di piano originali attraverso la ricerca delle parole originali. L'estrazione delle misure è stata realizzata manualmente;
6. costruzione della intestazione delle tabelle per stabilire quali aspetti sono analizzati e di una legenda con definizione specificata per ogni voce. Le definizioni proposte si basano sulla rielaborazione delle pubblicazioni di riferimento delle istituzioni più autorevoli che si occupano del tema del cambiamento climatico a livello internazionale. Per quanto riguarda la classificazione degli impatti dei cambiamenti climatici, ad esempio, si è adottata la proposta dell'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA, 2020b). Per i settori urbani coinvolti nei processi di adattamento, si è adottato l'elenco dei 6 settori urbani più esposti agli effetti dei cambiamenti climatici fornito dall'Intergovernmental Panel on Climate Change nel suo AR5 (IPCC, 2014). La distinzione di diversi ruoli della pianificazione urbana è invece una elaborazione degli autori;
7. compilazione manuale delle tabelle di analisi per ogni città caso-studio (spunta ✓ in corrispondenza delle voci);
8. costruzione di una tabella per l'analisi comparativa di due o più casi-studio.

Qui di seguito è consultabile la legenda degli aspetti dei piani climatici analizzati inseriti nelle tabelle di analisi, le definizioni per ogni voce e la fonte di ogni definizione.

Tab. 3.2 - Legenda delle abbreviazioni adottate nelle tabelle di analisi dei piani climatici e definizioni delle diverse voci incluse nella analisi

Legenda		Definizione	Fonte
Tipologie di piano	STAND-AL	Piano climatico stand-alone	Adattamento o mitigazione affrontati in modo globale (più settori), in un documento a sé stante
	JOINT	Piani climatici locali "joint"	Integrazione di misure di mitigazione e adattamento in un unico quadro strategico
	MAINSTR	Piano climatico "mainstreamed"	Gli aspetti del cambiamento climatico sono inclusi in un altro strumento di piano locale
Risposta al cambiamento climatico	MITIGAT	Misura di mitigazione	Misure finalizzate alla riduzione delle emissioni di greenhouse gases (CO ₂ e altri)
	ADAPT	Misura di adattamento	Misure finalizzate a moderare gli impatti o sfruttare le opportunità positive del cambiamento climatico
	MIT+ADAPT	Misura di adattamento & mitigazione	Misure finalizzate sia alla riduzione delle emissioni di greenhouse gases che a moderare gli impatti o sfruttare le opportunità positive del cambiamento climatico
Approccio	HARD	Approccio hard	Misura che fa affidamento su infrastrutture tangibili, elementi fisici
	SOFT	Approccio soft	Misure non-strutturali, che riguardano gli aspetti gestionali, operativi, organizzativi dei sistemi e infrastrutture intangibili
Proprietà della misura	CO-BENEF	Misura che restituisce co-benefici	Misura finalizzata a un obiettivo che ha un effetto positivo su un altro obiettivo, aumentando così il beneficio totale per la società e l'ambiente
	LOW-REGR	Misura "a basso rimpianto"	Misura che genererebbe benefici sociali e/o economici netti sia nelle condizioni climatiche attuali che in una serie di scenari futuri di cambiamento climatico
	NO-ANCILL	Misura senza benefici secondari	Misura finalizzata a un obiettivo che non ha un effetto positivo su un altro obiettivo, ossia non genera co-benefici
Aspetti analizzati	HEAT WAV	Onde di calore	Un periodo di temperatura anomalamente caldo spesso definito con riferimento a una soglia di temperatura relativa, che dura da due giorni ad alcuni mesi.
	FLOOD	Inondazioni pluviali e fluviali	Lo straripamento, dovuto a piogge o anomalie nei corsi fluviali, dei normali confini di un corso d'acqua o di un altro corpo idrico, o l'accumulo di acqua su aree normalmente non sommersse
	COASTAL	Inondazioni costiere ed erosione costiera	Accumulo di acqua marina su aree normalmente non sommesse e perdita netta di sedimenti o di roccia dalla linea di riva, che provoca uno spostamento verso terra della linea di alta marea
	DROUGHT	Siccità e scarsità d'acqua	Un periodo eccezionale di carenza d'acqua per gli ecosistemi esistenti e la popolazione umana (a causa di scarse precipitazioni, alte temperature e/o vento)
	WILD FIRE	Incendi boschivi	Qualsiasi combustione incontrollata e non prescritta di piante in un ambiente naturale come una foresta, una prateria, una boscaglia o una tundra, che consuma i combustibili naturali e si diffondono in base alle condizioni ambientali
	WIND STO	Venti forti	Una tempesta caratterizzata da forti venti ma con poca o nessuna precipitazione.
Impatto climatico target della misura	WATER	Servizi idrici e gestione delle acque	
	ENERGY	Fornitura di energia	
	BUILT ENV	Ambiente costruito	
	GREEN	Verde pubblico e infrastrutture verdi	
	SERVICES	Servizi urbani e sociali	
	LAND USE	Uso del suolo	
Ruolo della pianificazione urbana	REGULAT	Ruolo regolatore	Riguarda la redazione di nuovi regolamenti e policy
	STRATEGIC	Ruolo strategico	Si riferisce alla identificazione di obiettivi di sviluppo a lungo termine e alle azioni per raggiungerli
	GOVERN	Governance	Si riferisce alla messa punto e applicazione di modelli organizzativi e gestionali, processi di decision-making e procedure per il coordinamento di policies, stakeholders e risorse
	PARTICIPAT	Processi partecipativi	Garantisce opportunità per individui, comunità e organizzazioni di essere coinvolti in processi decisionali attraverso l'applicazione di metodi di consultazione e co-progettazione
	URB. DES	Design urbano	Riguarda operazioni di progettazione e interventi a piccola scala (es: edificio, strada) volte ad aumentare la funzionalità, la sostenibilità e l'adattabilità degli spazi urbani
	GENERAL	Generico	

Queste voci consentono di individuare rapidamente le tendenze prevalenti nella pianificazione climatica in Europa, gli approcci adottati, l'attenzione alla sinergia tra mitigazione e adattamento, i principali impatti climatici target dei piani, i settori urbani maggiormente coinvolti nella implementazione delle misure di adattamento e mitigazione, il principale ruolo della pianificazione urbana nel raggiungimento della neutralità climatica e nell'incremento del grado di resilienza dei sistemi urbani.

Qui di seguito, a titolo esemplificativo, si riporta l'intestazione della tabella di analisi e le prime quattro misure inserite, estratte dall'analisi del piano climatico della città di Amsterdam.

Tab. 3.3 - Intestazione delle tabelle di analisi dei piani climatici. Esempio: New Roadmap Amsterdam Climate Neutral 2050 (2020)

Amsterdam New Roadmap Amsterdam Climate Neutral 2050 (2020)														Settori urbani coinvolti			Ruolo della pianificazione urbana										
Aspetti analizzati:		Risp	Appr	Proprietà	Impatto climatico				Settori urbani coinvolti			Ruolo della pianificazione urbana															
n	MISURE ESTRATTE DAI PIANI	MITIGAT	ADAPT	HARD	SOFT	CO-BENEF	LOW-REGR	NO-ANCILL	HEAT/WAV	FLOOD	COASTAL	DROUGHT	WILDFIRE	WIND/STO	WATER	ENERGY	BUILT ENV	P. GREEN	SERVICES	LAND USE	REGULAT	STRATEGIC	GOVERN	PARTICIPAT	URB./DES	GENERAL	
1	Fornire consulenza energetica alle associazioni di proprietari e affittuari tramite "coach" energetici	✓			✓	✓	✓								✓	✓		✓				✓					
2	Finanziare interventi per l'efficientamento energetico sulle abitazioni	✓			✓	✓									✓	✓							✓				
3	Organizzare schemi di acquisto collettivo dell'energia	✓			✓	✓									✓	✓							✓				
4	Apportare miglioramenti alle facciate	✓		✓											✓	✓								✓			

Il primo aspetto analizzato è il tipo di risposta al cambiamento climatico: si specifica per ogni misura inclusa nel piano climatico in analisi se si tratta di una misura di mitigazione, di adattamento o di una misura di mitigazione & adattamento: in questo ultimo caso, si ottiene una sinergia tra le due. Un esempio è la misura di Valencia “Create a new green infrastructure for sustainable mobility that reconnects all the villages along the riverfront to the sea (Nou Camí a la Mar project)”. Fornire nuove infrastrutture per la mobilità sostenibile contribuisce alla riduzione delle emissioni di CO₂ (mitigazione) derivanti dal trasporto di persone; la scelta di “green infrastructures¹⁷”, contribuisce alla gestione della temperatura (onde di calore) alla gestione delle inondazioni pluviali e fluviali e alla difesa costiera, mitigando così gli impatti del cambiamento climatico sui sistemi umani (adattamento).

L'approccio adottato in ogni misura può essere di tipo hard, se fa affidamento su infrastrutture tangibili, elementi fisici, o soft, se non-strutturale, che riguarda gli aspetti gestionali, operativi, organizzativi dei sistemi umani e infrastrutture intangibili (Sovacool, 2011). In molti casi l'attuazione di una misura di adattamento richiede sia elementi hard che soft: in questi casi gli approcci hard e soft sono complementari.

17. L'insieme interconnesso e pianificato strategicamente di sistemi ecologici naturali e artificiali, spazi verdi e altre caratteristiche paesaggistiche in grado di fornire funzioni e servizi, tra cui la purificazione dell'aria e dell'acqua, la gestione della temperatura, la gestione delle acque alluvionali e la difesa costiera, spesso con benefici collaterali per il benessere umano ed ecologico. Le infrastrutture verdi includono vegetazione autoctona piantumata e residua, suoli, zone umide, parchi e spazi verdi aperti, nonché interventi di progettazione a livello di edifici e strade che incorporano la vegetazione.

Una misura climatica, sia essa hard o soft, può essere classificata come misura che restituisce co-benefici, misura “a basso rimpianto” (o “low-regret”, cfr. Cap. 2) o misura senza benefici secondari, in base alle sue proprietà. Una misura può allo stesso tempo fornire co-benefici (per esempio, in termini di guadagni o risparmi economici o di comfort urbano o di salute) ed essere “low-regret” (se, ad esempio, non richiede una grande quantità di risorse o se non implica svantaggi ambientali). In alcuni casi, la misura una volta realizzata può fornire co-benefici, anche senza rientrare nella categoria “low-regret”, in caso richieda una grande quantità di risorse o se implica svantaggi ambientali.

Le misure di mitigazione, finalizzate alla riduzione delle emissioni di CO₂, non sono correlabili a specifici impatti climatici, mentre una misura di adattamento può avere come obiettivo la moderazione di uno o più specifici impatti climatici o essere più generica nel suo scopo.

I settori urbani coinvolti per ogni misura di adattamento possono essere più di uno: quest’ultimo caso dimostra la presenza di forti interconnessioni che caratterizzano i sistemi umani. L’alto grado di interconnessione tra i diversi settori nelle misure di adattamento e mitigazione implica la necessità di adottare modelli di governance che prevedano la collaborazione tra diversi dipartimenti dei governi locali e stakeholder pubblici e privati.

Parlando del ruolo della pianificazione urbana nei processi di mitigazione e adattamento, si distinguono cinque diverse opzioni: in alcuni casi il focus è l’aspetto regolatorio (adozione di policy, introduzione di limitazioni, redazione di normative, ecc.); in altri casi, il ruolo strategico della pianificazione urbana si esprime nella definizione di una visione della città e nella identificazione degli obiettivi di sviluppo urbano a medio e lungo termine; l’implementazione delle misure climatiche richiede inoltre che la pianificazione urbana svolga il ruolo fondamentale di selezione e adozione di un modello di governance adeguato al coordinamento delle politiche, delle parti interessate e delle risorse. Un modello di governance adeguato è una precondizione fondamentale per l’efficace implementazione delle misure climatiche; molte misure climatiche offrono opportunità per gli individui e le comunità di essere coinvolti attivamente nelle decisioni di pianificazione urbana, attraverso processi partecipativi; infine, il ruolo della pianificazione urbana in molte misure climatiche è quello della accezione più comune del termine, quella di design urbano. Qui il focus è la progettazione delle città nel rispetto delle esigenze in termini di mitigazione e adattamento climatici, a scale ridotte (scala di quartiere, singole strade, ecc.).

Le principali fonti consultate per l’analisi dei piani climatici proposta in questo capitolo sono, oltre i documenti di piano pubblicati delle città selezionate come casi studio, le piattaforme di informazione delle più auto-

revoli organizzazioni internazionali o europee, i siti web di *network* internazionali impegnati nell’adattamento ai cambiamenti climatici a livello locale, oltre ai siti web istituzionali delle città selezionate come casi studio. Di seguito, un elenco dei siti web di riferimento consultati tra novembre 2024 e maggio 2025:

1. il registro dei firmatari del Covenant of Mayors¹⁸;
2. La “EU scoreboard adaptation preparedness country fiches”¹⁹;
3. i profili dei paesi sulla piattaforma Climate-ADAPT che riporta i progressi nell’adozione di piani di adattamento²⁰;
4. il sito web del network C40 cities²¹;
5. il sito web dell’iniziativa CDP – Disclosure Insight Action²²;
6. Eurostat²³.

3.4. Prime esperienze di pianificazione dell’adattamento in 3 città pionieristiche: Londra, Copenaghen e Parigi

Le prime esperienze di pianificazione dell’adattamento a scala locale risalgono ai primi anni del 2000, ma solo dal 2005 in avanti si assiste a una accelerazione in questa direzione e alla redazione dei primi Piani di Adattamento Locali (LAPs) intesi come strumenti strutturati e strategici in alcune città pionieristiche: Londra, Copenaghen e Parigi. Dopo il 2010, grazie a nuove politiche europee come la prima Strategia di Adattamento Europea²⁴ e strumenti di finanziamento dedicati, il numero di città impegnate nella pianificazione dell’adattamento cresce.

Nel 2013 l’UE lancia la seconda Strategia Europea per l’Adattamento ai Cambiamenti Climatici²⁵, che rappresenta una leva importante per l’adattamento dei sistemi umani ai rischi emergenti legati ai cambiamenti climatici. La Strategia definisce il quadro e i meccanismi per migliorare le azioni dell’UE e incentiva le città ad adottare LAPs avvalendosi del supporto di network internazionali come il Patto dei Sindaci per il Clima e l’Energia (Covenant of Mayors) e altre iniziative nel medesimo ambito.

18. www.covenantofmayors.eu/about/covenant-community/signatories.html.

19. <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=SWD:2018:460:FIN&from=EN>.

20. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/countries-regions/countries>.

21. c40.org/cities.

22. www.cdp.net/en.

23. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/cities/data/database>.

24. COM(2009) 147. “LIBRO BIANCO. L’adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d’azione europeo”.

25. COM(2013) 216. “Strategia dell’UE ai cambiamenti climatici”.

Il 24 febbraio 2021 la Commissione europea adotta la Nuova Strategia di Adattamento dell'UE²⁶, che conferma l'intenzione della Commissione di proseguire con l'azione per il clima anche – e a maggior ragione – dopo la crisi sanitaria ed economica provocata dalla pandemia di Covid-19. La nuova Strategia incorpora i messaggi chiave delle valutazioni sulla strategia di adattamento del 2013 condotte nel 2018 e i risultati di un ampio processo di consultazione di stakeholder iniziato a maggio 2020 e concluso nell'agosto 2020. Obiettivo principale della Strategia è il raggiungimento della resilienza climatica entro il 2050, che deve passare attraverso “il mainstreaming dell'adattamento nei regolamenti e in tutti gli strumenti di policy europei”. Questo approccio rimanda alla nuova tendenza nelle città, in ambito di strumenti di pianificazione dell'adattamento climatico, di prediligere piani della tipologia “*joint mitigation & adaptation plans*” rispetto agli “*stand-alone*” come i LAPs.

Il presente paragrafo riporta una sintesi dei risultati di una indagine condotta dagli autori nel 2021²⁷ sui documenti di piano delle tre città pionieristiche della pianificazione dell'adattamento (Londra, Parigi e Copenaghen), per restituire una immagine della “prima stagione” della pianificazione dell'adattamento a scala urbana. L'analisi dei piani di queste tre città costituisce il punto di partenza per tracciare le evoluzioni in ambito di pianificazione dai primi anni del 2000 al presente (Aprile 2025): attraverso una approfondita analisi comparativa tra i “vecchi” piani di Londra (2011), Copenaghen (2012) e Parigi (2018) e quelli più recenti e innovativi di Amsterdam (2020), Valencia (2020) e Torino (2025) si sono rilevate le nuove pratiche e le tendenze in tema di tipologia e struttura dei documenti di piano, di approccio all'adattamento (hard o soft), di scelta delle azioni in base alle loro proprietà (co-benefits e low-regret), di coinvolgimento dei diversi settori urbani, di modelli di governance e di prioritizzazione di processi partecipativi (vedi Paragrafo 3.8).

Quello di Londra è il LAP più datato tra quelli analizzati: nel 2011 la città di Londra adotta il piano per il clima “Managing risks and increasing Resilience. The Mayor's climate change adaptation strategy”. Nonostante il titolo, secondo l'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA) e i più rilevanti database di LAPs di organizzazioni e network internazionali²⁸, questo

26. COM(2021) 82. “Plasmare un'Europa resiliente ai cambiamenti climatici – La nuova strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici”.

27. Vedi Bernardini, C. (2024) “Climate Change and Human Systems: Innovative Adaptation Services as a Soft-Resilience Strategy to Tackle Emerging Risks”. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology, pp. 1-143.

28. The Covenant of Mayors signatories register; the EU scoreboard adaptation preparedness country fiches; Climate-ADAPT country profiles, adaptation plans adoption.

documento corrisponde alla definizione di Piano di Adattamento Locale più che a quella di Strategia di Adattamento Locale. Infatti, questo documento “definisce azioni e politiche per rendere Londra la grande città più sostenibile e vivibile al mondo”²⁹.

Il piano si basa su tre pilastri: i) *retrofitting* di Londra; ii) rinverdiamento di Londra; iii) aria più pulita per Londra. Il principio di benefici secondari delle misure (*co-benefits measures*) è al centro delle scelte del piano e permette di guardare alla necessità di adattamento al cambiamento climatico come a una opportunità per migliorare la qualità della vita nella città (*comfort urbano*).

Il primo capitolo consiste in una sintesi dei rischi, ottenuta utilizzando le “proiezioni climatiche più avanzate al mondo”. Il capitolo 2 traccia una mappa della suddivisione dei ruoli e responsabilità tra gli stakeholder ed evidenzia le lacune nelle reti di soggetti pubblici e privati. Seguono i capitoli 3, 4 e 5, che trattano i principali impatti climatici identificati per la città di Londra e le relative proposte di risposta a scala comunale. Si tratta rispettivamente di: inondazioni, siccità e scarsità d’acqua, ondate di calore. Per ogni impatto climatico vengono elencate e commentate le misure di adattamento selezionate. I capitoli 5, 6, 7 e 8 sono dedicati alla valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici su questioni trasversali (salute, ambiente, economia e infrastrutture). L’ultimo capitolo fornisce una “tabella di marcia verso la resilienza”, con una sintesi delle principali azioni di adattamento e un piano d’azione specifico per la loro attuazione.

Copenaghen adotta nel 2011 un LAP *stand-alone*, aggiornato poi nel 2012. L’attenzione è rivolta principalmente alla flessibilità delle misure, alla sinergia con altri piani urbani e, come nel caso di Londra, ai co-benefici delle misure di adattamento (denominati “*secondary gains*”) in termini di *comfort urbano*. Un altro punto chiave è l’importanza della cooperazione nazionale e internazionale.

Come quello di Londra, il documento si apre con un’introduzione che presenta i modelli e le proiezioni climatiche scelti come base informativa per la pianificazione. L’orizzonte temporale considerato nella pianificazione delle misure di adattamento è di 30 anni. Le sezioni successive riportano la valutazione dei rischi, identificano le sfide primarie (inondazioni pluviali e fluviali e inondazioni ed erosione costiere) e secondarie (ondate di calore e qualità delle acque sotterranee) per Copenaghen. Inoltre, viene fornita una stima delle conseguenze economiche delle alluvioni legate a diversi scenari.

29. www.london.gov.uk/sites/default/files/gla_migrate_files_destination/Adaptation-oct11.pdf.

Vengono identificati e descritti tre livelli di adattamento: il Livello 1 riguarda la riduzione della probabilità degli eventi di inondazione della città (attraverso, ad esempio, la costruzione di dighe, l'aumento della capacità fognaria, la costruzione di sistemi di drenaggio); il Livello 2 mira a ridurre l'impatto dell'evento sulla città (adottando misure come sistemi di allarme, scatinati a tenuta stagna, posa di sacchi di sabbia, depositi di acqua piovana, ecc.); il Livello 3 consiste nella riduzione della vulnerabilità rendendo più rapido e meno costosa la fase di *recovery* dopo una inondazione (ad esempio, predisponendo pompe per prepararsi alle emergenze). Il Piano distingue inoltre cinque livelli geografici di adattamento: regione, comune, distretto, strada, edificio. Un intero capitolo affronta le potenziali opportunità derivanti dai cambiamenti climatici e la necessità di adattare la città di Copenaghen per affrontare i rischi emergenti: il punto principale è “rendere Copenaghen più verde”. Le misure riguardano principalmente misure basate su *green e blue infrastructures*. Una sezione dedicata affronta il tema dei servizi di emergenza e sottolinea la necessità di aggiornare la preparazione alle emergenze.

A distanza di 7 anni dalla pubblicazione dei primi due piani presentati in questo paragrafo (Londra e Copenhagen), Parigi adotta un nuovo Climate Action Plan nel 2018, che sostituisce quello pubblicato nel 2007.

Gli aggiornamenti inseriti nel nuovo Piano per il clima di Parigi si basano sui risultati della valutazione dei primi dieci anni di azione per il clima e sulla consultazione degli stakeholder (incontri di dibattito pubblico e 508 proposte ricevute da cittadini e rappresentanti del business privato, del mondo accademico e del terzo settore).

I temi dell'equità sociale e della *climate justice* sono sempre in primo piano, fin dall'introduzione.

La prima parte tratta di *carbon neutrality*, di *zero emissions*, ed energie rinnovabili (mitigation). Segue una sezione che affronta la questione della mobilità, ancora in chiave di mitigazione e non di adattamento.

Nel capitolo “Città *carbon-neutral*, resiliente e piacevole da abitare” viene introdotta una novità: il ruolo di supporto che i servizi urbani possono assumere nei processi di adattamento urbano e nuove figure professionali come l’“eco-manager”.

Seguono altre misure di mitigazione, basate sulla gestione dei rifiuti, sulla riduzione degli sprechi alimentari e sull'approvvigionamento alimentare sostenibile, così come misure contro l'inquinamento dell'aria (regolamentazione del traffico a giorni alterni, ecc.). Le misure di adattamento sono descritte invece nelle sezioni che affrontano gli impatti specifici: ondate di calore, inondazioni pluviali e fluviali e siccità.

Un intero capitolo è dedicato alla visione della città come “ecosistema”, in linea con la visione dei sistemi urbani come reti complesse di elementi interconnessi. Questa interpretazione dei sistemi umani porta a valutare i potenziali conflitti, i compromessi e le sinergie tra le misure, nonché i potenziali *co-benefits*. Il piano comprende una intera sezione sul coinvolgimento degli stakeholder a tutti i livelli. Inoltre, il Comune finanzierà progetti volti all’acquisizione di nuove competenze e alla creazione di nuovi sbocchi professionali per ingegneri, architetti e tecnici.

Infine, una intera parte del piano è dedicata alla governance e rileva la necessità di facilitare la cooperazione e la coordinazione a livello metropolitano. La Grande Area Metropolitana di Parigi e la Città di Parigi sono interessate di fatto dagli stessi impatti del cambiamento climatico. Pertanto, molte delle azioni del nuovo Piano per il clima di Parigi sono state concepite a livello metropolitano.

3.5. Amsterdam e l’approccio alla neutralità climatica negli strumenti di piano

Amsterdam è la capitale dei Paesi Bassi, con circa 900.000 abitanti (oltre 2,5 milioni nell’area metropolitana). È un importante centro culturale, economico e turistico europeo. Situata sotto il livello del mare, Amsterdam è altamente vulnerabile agli impatti legati a inondazioni pluviali e fluviali, inondazioni costiere ed erosione costiera.

Il quadro degli strumenti di pianificazione climatica di Amsterdam è piuttosto frammentario: si compone di un piano di mitigazione *stand-alone*, una strategia di adattamento e due piani settoriali³⁰ che si sovrappongono parzialmente. Questa frammentarietà potrebbe influire negativamente sul grado di coerenza, sull’ottenimento di sinergie tra misure di adattamento e mitigazione e sulla capacità di risolvere i *trade-off* ed evitare i conflitti tra le diverse misure incluse nei vari strumenti di pianificazione climatica.

Il quadro degli strumenti di pianificazione relativi al clima di Amsterdam si configura come segue:

1. la Climate Adaptation Strategy (2020) si concentra su inondazioni, stress da calore, siccità e biodiversità. Non fornisce una descrizione dettagliata di misure e azioni implementabili, si limita più che altro ad indicare linee guida;

30. Piano climatico locale che affronta aspetti parziali del cambiamento climatico in documenti a sé stanti, relativi a settori particolari (es: energia, acqua) o a impatti particolari (es: ondate di calore, inondazioni).

2. il documento settoriale “Amsterdam Circular Strategy 2020-2025” (2020) mira a ridurre l’uso di materiali del 50% entro il 2030;
3. un secondo documento settoriale “Amsterdam Green Infrastructure. Vision 2050” (2020) è un documento a sé stante che tratta le nature based solutions;
4. la Nuova Roadmap “Amsterdam Climate Neutral 2050” (2020) è un tentativo di unificare le diverse linee strategiche contenute nei vari piani, includendo obiettivi di riduzione delle emissioni.

Questo ultimo documento di piano è stato selezionato per l’analisi approfondita in questo studio, in quanto rappresenta il più comprensivo, dettagliato e aggiornato, tra gli altri documenti disponibili. Corrisponde al tipo *“Joint mitigation and adaptation plan”* (vedi Tab. 3.1).

La “Roadmap Amsterdam Climate Neutral 2050” è strutturata in 4 capitoli, rispettivamente: 1. Visione e strategia; 2. Il budget climatico; 3. I percorsi di transizione; 4. Cosa occorre fare.

Il Capitolo 1 descrive gli elementi più importanti della strategia per avviare la transizione dai combustibili fossili alle energie rinnovabili. Il Capitolo 2 fornisce indicazioni quantitative sugli effetti attesi delle misure proposte sulla riduzione delle emissioni di CO₂. Il pacchetto di azioni e misure dovrebbe portare a una riduzione del 48% delle emissioni di CO₂ ad Amsterdam entro il 2030. Si può affermare perciò che la prima parte della Roadmap si concentra prevalentemente sull’aspetto della mitigazione, trascurando la questione complementare dell’adattamento.

I capitoli 3 e 4 sono ulteriormente suddivisi in paragrafi corrispondenti a diversi “pillars”. I pilastri possono essere interpretati come missioni della città o come una sorta di “work packages”. Per fare un esempio dei pilastri della roadmap di Amsterdam: “Pilastro 1: accelerare l’eliminazione del gas naturale, quartiere per quartiere”; “Pilastro 18: lavorare per una transizione energetica equa”.

Il Capitolo 3 presenta i seguenti percorsi di transizione: 1. Ambiente costruito; 2. Elettricità; 3. Mobilità; 4. Porto e industria. I percorsi di transizione corrispondono ai “settori di pianificazione urbana” menzionati in questo studio. Ogni percorso di transizione di Amsterdam è composto da un certo numero di pilastri (16 in totale). Per ognuno dei 16 pilastri sono specificate le relative misure climatiche. Il capitolo 4 presenta invece azioni e misure che non portano direttamente alla riduzione delle emissioni di CO₂, ma che saranno cruciali per la transizione energetica di Amsterdam: collaborazione, giustizia climatica, innovazione, infrastrutture spaziali ed energetiche, finanziamenti e regolamenti. Queste sono considerate “precondizioni critiche”. Le azioni e le misure contenute in questo capitolo sono raggruppate in 4 pilastri.

Il documento prevede processi di monitoraggio e include indicatori specifici per ogni pilastro, per misurare i progressi della città verso la neutralità climatica.

Tab. 3.4 - Sintesi dei risultati della analisi delle 69 misure estratte dal piano climatico analizzato (Amsterdam Climate Neutral Roadmap 2050, 2020). La colonna a destra riporta il numero di misure corrispondenti alle diverse voci degli aspetti analizzati

	Caso studio	Amsterdam	Tipo di piano
Documento analizzato	New Roadmap	B - Joint mitigation and adaptation	
Anno di pubblicazione	2020		
TOT n. di misure estratte	69		
Aspetti analizzati			
Risposta al cambiamento climatico	MITIGAT	69	
	ADAPT	6	
	MIT+ADAPT	6	
Approccio	HARD	13	
	SOFT	58	
Proprietà della misura	CO-BENEF	57	
	LOW-REGR	41	
	NO-ANCILL	4	
Impatto climatico target della misura	HEAT WAV	1	
	FLOOD	0	
	COASTAL	0	
	DROUGHT	0	
	WILD FIRE	0	
	WIND STO	0	
Settori urbani coinvolti	WATER	0	
	ENERGY	52	
	BUILT ENV	25	
	GREEN	0	
	SERVICES	20	
	LAND USE	8	
Ruolo della pianificazione urbana	REGULAT	16	
	STRATEGIC	16	
	GOVERN	27	
	PARTICIPAT	8	
	URB. DES	15	
	GENERAL	1	

3.6. Il caso di Valencia, dal primo Sustainable Energy Action Plan alla nuova strategia urbana

Valencia è la terza città più popolosa della Spagna, con circa 800.000 abitanti (oltre 1,5 milioni nell'area metropolitana). Si trova sulla costa orientale del Paese, affacciata sul Mar Mediterraneo.

I principali impatti legati al cambiamento climatico che interessano la città di Valencia sono ondate di calore, inondazioni pluviali e fluviali, inondazioni costiere ed erosione costiera. Fin dai primi anni 2000 Valencia ha partecipato attivamente a diverse iniziative di azione per il clima.

Il quadro degli strumenti di pianificazione relativi al clima si configura come segue:

1. la città si è impegnata per la prima volta a ridurre le emissioni di greenhouse gases del 20% entro il 2020, firmando il Patto dei Sindaci (Covenant of Mayors) nel 2009, seguito dall'adozione di un Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile (SEAP) nel 2010;
2. nel 2011, si è introdotta la Strategia contro il cambiamento climatico València 2020, segnando un altro passo importante nel suo impegno per il clima;
3. nel 2017, la città ha collaborato con diversi dipartimenti per sviluppare il Piano di adattamento ai cambiamenti climatici València 2050;
4. a ciò ha fatto seguito l'approvazione del nuovo Piano d'azione per l'energia sostenibile e il clima (SECAP) nel 2019. Nello stesso anno, la città ha anche dichiarato l'emergenza climatica;
5. nel 2020 è stata approvato il València 2030 Strategic Framework Agreement, che fornisce una tabella di marcia per la creazione di un ambiente urbano più sano, sostenibile ed equo;
6. nel 2021, si è adottata la missione “València Neutral City”, fissando l'obiettivo di raggiungere la neutralità climatica in tre quartieri entro il 2030 (Garcia-Blanco *et al.*, 2023);
7. tra il 2022 e il 2023, si pubblica la nuova Valencia 2030 Urban Strategy, risultato di un processo partecipativo che ha coinvolto cittadini, università, imprese e organizzazioni. Questo documento, a dispetto del titolo, corrisponde alla definizione di Piano Climatico Locale del tipo “Mainstreamed” (vedi Tab. 3.1), in quanto include un piano che elenca azioni implementabili e le descrive con un altro grado di dettaglio;
8. infine, nel 2022 la città è stata selezionata per far parte dell'iniziativa dell'Unione Europea “100 Climate-Neutral and Smart Cities by 2030”, che prevede l'obbligo per i membri di sviluppare un Climate City Contract e aggiornarlo periodicamente. Nel 2023, Valencia ha pubblicato la prima versione del Climate City Contract.

Il Climate City Contract (CCC) di Valencia incorpora, come allegato, l'Action Plan della Strategia Urbana València 2030, sotto forma di tabelle che riportano le singole azioni previste relative a ciascuno dei programmi



Fig. 3.2 - Le tappe della pianificazione climatica di Valencia, dal primo SEAP del 2010 fino alla nuova Strategia Urbana del 2022

della Strategia Urbana. Infatti, l'elenco delle azioni fornite nel CCC (Allegato 1, MODULO B-2: Climate Neutrality Portfolio Design) corrisponde perfettamente alle linee di azione del documento della Strategia Urbana València 2030. Si è dunque deciso di basare la analisi approfondita delle misure climatiche sulla lettura del documento della Strategia Urbana València 2030, poiché le descrizioni delle singole misure sono più dettagliate: ogni linea di azione è descritta in un paragrafo di testo, invece di essere sintetizzata in una tabella.

La Strategia urbana València 2030 è composta da una “Strategic Diagnosis”, che delinea le sfide chiave che la città deve affrontare e che costituisce la base per la redazione delle linee d’azione; un “Strategic Framework”, progettato per guidare lo sviluppo e l’attuazione della Strategia e un “Action Plan”, che descrive le linee d’azione previste per la città.

La Strategia è strutturata in 30 programmi. Ogni programma è suddiviso in un numero di linee d’azione che va da 3 a 10, accompagnate da una breve descrizione dei relativi progetti dimostrativi (già in corso o ancora da avviare). Ogni paragrafo, corrispondente a un programma, si apre con un’introduzione che riporta: i) l’elenco delle linee strategiche e degli obiettivi dello “Strategic Framework” di València a cui il programma contribuisce; ii) gli altri strumenti di pianificazione di Valencia connessi al programma; iii) i principali dipartimenti comunali che promuovono il programma; e iv) il budget stimato da destinare all’attuazione del programma.

Inoltre, viene sempre specificato l’impatto previsto di ciascun programma sulla València Climate Mission 2030 e descritto brevemente come le sue linee di azione contribuiranno alla mitigazione e/o all’adattamento ai cambiamenti climatici. L’impatto dei programmi sulla missione climatica è classificato come estremo, alto, medio, basso o “nessun impatto diretto”.

Si è scelto di includere nell'analisi approfondita del piano solo le azioni dei programmi che risultano avere un impatto estremo o elevato sulla missione climatica.

L'Action Plan è strutturato in 3 parti distinte. La prima parte (Parte A) illustra lo stato attuale dell'azione per il clima; la Parte B sviluppa i percorsi verso la neutralità climatica e, infine, la Parte C descrive le azioni trasversali di innovazione e finanziamento necessarie per raggiungere la neutralità climatica entro il 2030.

Entrambi i piani – la Strategia Urbana e il CCC – includono procedure e indicatori per la valutazione e il monitoraggio delle azioni.

Tab. 3.5 - Sintesi dei risultati della analisi delle 139 misure estratte dal piano climatico analizzato (Valencia 2030 Urban Strategy, 2020). La colonna a destra riporta il numero di misure corrispondenti alle diverse voci degli aspetti analizzati

	Caso studio	Valencia	Tipo di piano
Documento analizzato	Urban Strategy 2030		
Anno di pubblicazione	2022		
TOT n. di misure estratte	139		
			C - Mainstreamed
Aspetti analizzati	Risposta al cambiamento climatico	MITIGAT	96
		ADAPT	44
		MIT+ADAPT	41
	Approccio	HARD	71
		SOFT	83
	Proprietà della misura	CO-BENEF	132
		LOW-REGR	60
		NO-ANCILL	0
	Impatto climatico target della misura	HEAT WAV	9
		FLOOD	12
Aspetti analizzati		COASTAL	5
		DROUGHT	2
		WILD FIRE	1
		WIND STO	5
	Settori urbani coinvolti	WATER	4
		ENERGY	20
		BUILT ENV	43
		GREEN	19
		SERVICES	68
		LAND USE	11
Aspetti analizzati	Ruolo della pianificazione urbana	REGULAT	7
		STRATEGIC	29
		GOVERN	45
		PARTICIPAT	21
		URB. DES	45
		GENERAL	7

3.7. Un’esperienza italiana: Torino, dal Piano di Resilienza del 2020 alla redazione del Climate City Contract del 2025

Torino è una città del nord-ovest dell’Italia, capoluogo della regione Piemonte, con circa 850.000 abitanti (oltre 1,7 milioni nell’area metropolitana). È un importante centro industriale, culturale e universitario. I principali impatti legati al cambiamento climatico che interessano la città di Torino sono ondate di calore e inondazioni pluviali e fluviali.

Il quadro degli strumenti di pianificazione relativi al clima della Città di Torino si configura come segue:

1. Allegato Energetico-Ambientale al Regolamento Edilizio della Città di Torino (2018): l’Allegato individua requisiti obbligatori e volontari ai fini della qualificazione energetica e ambientale dei processi e dei prodotti edilizi. All’applicare i requisiti volontari relativi a maggiore qualità e sostenibilità del prodotto utilizzato viene riconosciuto un punteggio per i vari interventi, che si traduce in uno “sconto” sugli oneri di urbanizzazione fino a un valore massimo del 50%, come previsto dal “Regolamento per la determinazione del contributo per oneri concessori”;
2. Nuovo Patto dei Sindaci per il Clima e l’Energia (PAESC – New Covenant of Mayors for Climate and Energy) (2019). Aderendo al Patto dei Sindaci per il Clima e l’Energia, la Città di Torino si impegna a ridurre le emissioni di CO₂ equivalenti di almeno il 40% entro il 2030, in particolare migliorando l’efficienza energetica e aumentando l’uso di fonti energetiche rinnovabili, oltre ad aumentare la resilienza del proprio territorio adattandosi agli effetti dei cambiamenti climatici;
3. Il Piano di Resilienza Climatica (2020) individua una serie di misure di adattamento a breve e lungo termine, definendo una serie di interventi finalizzati a ridurre gli impatti causati principalmente dalle ondate di calore e dalle inondazioni;
4. Il Piano Strategico dell’Infrastruttura Verde (2022) è uno strumento di analisi e pianificazione a integrazione degli strumenti urbanistici per orientare la gestione del sistema del verde pubblico urbano;
5. Il Piano Strategico e Piano d’Azione delle Acque (2022) in ambito urbano fornisce un piano di azione con un orizzonte di medio termine (2030) e un orizzonte di lungo termine (2050), e viene rinnovato ogni 4 anni;
6. Il Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS) (2023), che include anche il Piano della Mobilità Ciclistica e il Piano dell’accessibilità e dell’intermodalità, adotta un approccio partecipativo per migliorare l’efficacia e l’efficienza del sistema di mobilità delle persone e delle merci e raggiungere obiettivi di sostenibilità ambientale, economica e sociale;

7. In questo quadro, il nuovo Climate City Contract (2025), il piano climatico più recente adottato dalla città di Torino, si propone come un innovativo strumento di governance comprensivo e unico di tutte le misure relative al clima, che include le azioni che coinvolgono il settore del verde pubblico, dell'acqua e della mobilità. In base a questa descrizione, il CCC rientra nella tipologia “*Joint mitigation and adaptation plan*”.

Ai fini del presente studio, si è scelto dunque di analizzare in profondità questo documento.

Tab. 3.6 - Sintesi dei risultati della analisi delle 69 misure estratte dal piano climatico analizzato (Climate City Contract di Torino, 2025). La colonna a destra riporta il numero di misure corrispondenti alle diverse voci degli aspetti analizzati

	Caso studio	Torino	Tipo di piano
Documento analizzato	Climate City Contract		
Anno di pubblicazione	2025		
TOT n. di misure estratte	40		B - Joint mitigation and adaptation
Aspetti analizzati			
Risposta al cambiamento climatico	MITIGAT	38	
	ADAPT	20	
	MIT+ADAPT	18	
Approccio	HARD	19	
	SOFT	24	
Proprietà della misura	CO-BENEF	35	
	LOW-REGR	26	
	NO-ANCILL	3	
Impatto climatico target della misura	HEAT WAV	10	
	FLOOD	3	
	COASTAL	1	
	DROUGHT	1	
	WILD FIRE	0	
	WIND STO	1	
Settori urbani coinvolti	WATER	2	
	ENERGY	24	
	BUILT ENV	9	
	GREEN	2	
	SERVICES	18	
	LAND USE	3	
Ruolo della pianificazione urbana	REGULAT	9	
	STRATEGIC	11	
	GOVERN	8	
	PARTICIPAT	14	
	URB. DES	11	
	GENERAL	4	

3.8. Evoluzione degli strumenti di pianificazione

Questa sezione restituisce i risultati di una analisi approfondita condotta sulle misure contenute nei Piani Climatici Locali di sei città europee. L'analisi comparativa tra i “vecchi” piani di Londra (2011), Copenaghen (2012) e Parigi (2018) e quelli più recenti e innovativi di Amsterdam (2020), Valencia (2022) e Torino (2025) ha permesso di rilevare nuove pratiche e tendenze dal punto di vista della tipologia e struttura dei documenti di piano, di approccio all’adattamento (hard o soft), di scelta delle azioni in base alle loro proprietà (co-benefits e low-regret), di coinvolgimento dei diversi settori urbani, di modelli di governance e di prioritizzazione di processi partecipativi.

Tab. 3.7 - Analisi comparativa dei piani climatici di 6 città europee caso-studio. I piani climatici analizzati non forniscono un elenco preciso e numerato delle misure climatiche incluse, che sono state estrapolate attraverso la lettura integrale dei documenti. Pertanto, il numero di misure non è direttamente verificabile, ma viene dedotto in base ai criteri applicati per l’analisi

Città caso studio	London	Copenhagen	Paris	Amsterdam	Valencia	Torino	
Documento analizzato	Increasing Risks and increasing Resilience. The Mayor’s climate change adaptation strategy	Copenhagen Climate Adaptation Plan	Paris Climate Action Plan	New Roadmap Amsterdam Climate Neutral 2050	Valencia 2030 Urban Strategy	Torino Climate City Contract	
Tipologia di piano	Stand-alone (LAP)	Stand-alone (LAP)	Joint	Joint	Mainstreamed	Joint	
Anno di pubblicazione	2011	2012	2018	2020	2022	2025	
TOT n. di misure estratte	29	23	46	69	139	40	
n. di misure per aspetto analizzato							
Aspetti analizzati	MITIGAT	11 38%	4 17%	20 43%	69 100%	96 69%	38 95%
	ADAPT	29 100%	23 100%	46 100%	6 9%	44 32%	20 50%
	MIT+ADAPT	11 38%	4 17%	20 43%	6 9%	41 30%	18 45%
Approccio	HARD	8 28%	12 52%	14 30%	13 19%	71 51%	19 48%
	SOFT	21 72%	10 43%	34 74%	58 84%	83 60%	24 60%
	CO-BENEF	23 79%	8 35%	33 72%	57 83%	132 95%	35 88%
Proprietà	LOW-REGR	23 79%	13 57%	36 78%	41 59%	60 43%	26 65%
	NO-ANCILL	6 21%	11 48%	5 11%	4 6%	0 0%	3 8%
	HEAT WAV	15 52%	8 35%	35 76%	1 1%	9 7%	10 25%
Impatto climatico	FLOOD	18 62%	19 83%	31 67%	0 0%	12 9%	3 8%
	COASTAL	12 41%	10 43%	0 0%	0 0%	5 4%	1 3%
	DROUGHT	6 21%	4 17%	22 48%	0 0%	2 1%	1 3%
Settori urbani coinvolti	WILD FIRE	5 17%	3 13%	14 30%	0 0%	1 1%	0 0%
	WIND STO	5 17%	4 17%	18 39%	0 0%	5 4%	1 3%
	WATER	12 41%	5 22%	13 28%	0 0%	4 3%	2 5%
Ruolo della pianificazione urbana	ENERGY	4 14%	1 4%	4 9%	52 75%	20 14%	24 60%
	BUILT ENV	15 52%	8 35%	16 35%	25 36%	43 31%	9 23%
	GREEN	5 17%	6 26%	12 26%	0 0%	19 14%	2 5%
	SERVICES	12 41%	7 30%	22 48%	20 29%	68 49%	18 45%
	LAND USE	/	/	/	8 12%	11 8%	3 8%
	REGULAT	/	/	/	16 23%	7 5%	9 23%
	STRATEGIC	/	/	/	16 23%	29 21%	11 28%
	GOVERN	/	/	/	27 39%	45 32%	8 20%
	PARTICIPAT	/	/	/	8 12%	21 15%	14 35%
	URB DES	/	/	/	15 22%	45 32%	11 28%
	GENERAL	/	/	/	1 1%	7 5%	4 10%

Tipologia e struttura dei piani

A proposito della tipologia e della struttura dei piani climatici locali, diverse sono le considerazioni da farsi. Le sei città prese come oggetto dell'analisi hanno strumenti di pianificazione climatica differenti³¹: Londra ha adottato un piano di adattamento locale stand-alone (LAP), così come Copenaghen. Parigi, invece, ha redatto un piano joint di mitigazione e adattamento. I due piani di adattamento autonomi (Londra e Copenaghen) presentano una struttura simile: fondamentalmente, ogni sezione riporta le misure di adattamento selezionate come risposta a uno specifico impatto del cambiamento climatico (onde di calore, inondazioni, siccità, ecc.). La struttura di questi documenti di pianificazione riflette, in un certo senso, l'approccio "a silos", l'approccio verticale, che li caratterizza. Il piano congiunto di mitigazione e adattamento di Parigi, invece, si concentra per gran parte del documento sulla riduzione della CO₂ e non fornisce una tabella riassuntiva o un chiaro elenco di misure di adattamento. Le misure definibili di adattamento sono citate nelle varie sezioni del documento di pianificazione, ma non sono introdotte e suddivise per settori o per impatti. Da un lato, ciò rende più difficile l'identificazione delle misure di adattamento e, di conseguenza, la valutazione del piano stesso; dall'altro, potrebbe suggerire una maggiore consapevolezza dell'importanza di ricercare sinergie tra mitigazione e adattamento e complementarità tra misure hard e soft.

I piani più recenti si distanziano da quelli precedenti per tipologia: viene abbandonata la tipologia stand-alone (come i LAPs), a favore dell'adozione di piani joint mitigation and adaptation o mainstreamed. La Roadmap di Amsterdam e il CCC di Torino rientrano, secondo la classificazione proposta in questo libro, nella categoria joint. La scelta di redigere un unico documento che tenga insieme le questioni della mitigazione e dell'adattamento, comunque, non garantisce una effettiva integrazione operativa tra le diverse misure: ad esempio, nel quadro degli strumenti di piano relativi al clima della città di Amsterdam figura un piano dedicato esclusivamente alle infrastrutture verdi. Le misure che riguardano le green infrastructures non sono incluse nel documento principale che indirizza le azioni della città per il raggiungimento della neutralità climatica, la nuova Roadmap. Ciò compromette la possibilità di avere una visione completa delle azioni per il clima intraprese dall'amministrazione locale ed impedisce di monitorare e valutare l'efficacia di tutto l'insieme delle misure di adattamento sul livello di resilienza della città, così come di stimare l'efficacia di tutte le misure di mitigazione nel

31. La tipologia dei sei piani climatici analizzati è stata definita sulla base del sistema di classificazione e definizioni proposte dagli autori (vedi Tab. 3.1).

ridurre o compensare il totale delle emissioni di CO₂ di Amsterdam. La città di Valencia adotta invece un piano di tipologia mainstreamed ed è una esperienza significativa in termini di integrazione tra pianificazione urbana e neutralità climatica. Nella sua Urban Strategy 2030, tutti i programmi urbani sono esplicitamente connessi agli obiettivi climatici e includono l'indicazione dell'impatto delle misure previsto, i dipartimenti responsabili e riferimenti puntuali ad altri strumenti settoriali collegati. Questo approccio costituisce un esempio concreto e una buona pratica di mainstreaming delle misure climatiche in tutti i processi di management urbano.

Risposta al cambiamento climatico

Nel Local Adaptation Plan della città di Londra, su un totale di 29 misure di adattamento, 11 contribuiscono anche alla riduzione di emissioni di CO₂ (mitigazione). Copenaghen presenta solo 4 misure su 23 che riguardano sia l'adattamento che la mitigazione. Parigi totalizza 20 misure di adattamento che contribuiscono sia alla mitigazione che all'adattamento.

Questa scarsità di misure che sfruttino le sinergie tra le due opzioni di risposta al cambiamento climatico nei piani di adattamento stand-alone porta a lasciare non sfruttate le opportunità derivanti dalle sinergie tra mitigazione e adattamento e dall'implementare di azioni con obiettivi climatici diversi in modo coordinato, coerente ed efficace.

Come anticipato nel commento che riguarda la scelta di diverse tipologie di piano nelle diverse città caso-studio, i piani più recenti, di tipo joint o mainstreamed, riservano una attenzione significativamente maggiore all'aspetto della mitigazione rispetto a quello dell'adattamento. Sul totale di 69 misure di Amsterdam, solo 6 includono elementi relativi anche all'adattamento; 96 misure sulle 139 della Strategia Urbana di Valencia sono di mitigazione, 41 di mitigazione e adattamento e solo 3 sono definibili realmente misure di adattamento; il CCC di Torino presenta 38 misure di mitigazione su 40, di cui 18 classificabili come di mitigazione e adattamento e 2 come di solo adattamento.

Se da un lato l'adozione di tipologie di piano inclusive dei due aspetti dovrebbe garantire una maggiore coerenza, coordinazione ed integrazione tra le misure, dall'altro si traduce – nei casi analizzati – in una sproporzione tra l'alta attenzione dedicata alla mitigazione e gli scarsi sforzi intrapresi nel disegno di misure verso l'adattamento delle città.

Sarà probabilmente necessario attendere i risultati dei monitoraggi sull'impatto di questi nuovi piani e portare avanti ulteriori studi che prevedano anche interviste a rappresentanti di diverse categorie di stakeholder coinvolte nella pianificazione climatica, per definire sulla base di risultati oggettivi vantaggi e svantaggi di diverse tipologie di piano.

Approccio

Il 72% delle misure di adattamento delineate nel piano climatico di Londra sono misure di tipo soft-approach; quelle hard sono limitate a 8 su 29. Qui, l'approccio soft è fortemente predominante. Solo una misura sulle 29 totali incluse nel documento prevede la compresenza di elementi hard e soft. A Copenaghen le misure con approccio hard sono il 52%, mentre il 43% sono quelle con approccio soft. Nessuna misura prevede l'impiego di elementi hard e soft allo stesso tempo. Infine, Parigi mostra 74% di misure di adattamento classificabili come soft, contro 30% di hard. Tra le 14 misure hard di Parigi, 3 sono complementari alle soluzioni soft.

A livello teorico, la complementarità tra misure hard e soft appare ovvia: gli interventi strutturali (hard) senza il supporto di soluzioni soft (manageriali, organizzative) non sarebbero efficaci. Allo stesso modo, una soluzione di soft-approach è implementabile attraverso l'uso di alcuni supporti o strumenti tecnologici, classificabili come elementi hard. Nonostante questa evidenza, la pratica dimostra che non deve essere data per scontata. A causa di diverse potenziali fonti di incompatibilità, che riguardano scelte politiche, disponibilità di risorse, inadeguatezza delle competenze, le due alternative possono risultare reciprocamente esclusive per le amministrazioni locali.

Nel piano di Amsterdam, l'approccio prevalente è quello soft, adottato nell'84% delle misure climatiche, contro il 19% hard. La proporzione si ri-bilancia nei piani successivi: a Valencia, il 60% delle misure è soft, contro il 51% hard e nel CCC di Torino il 60% è soft mentre il 48% delle misure è classificabile come hard.

Proprietà delle misure

Delle 29 misure di adattamento individuate nel piano climatico di Londra, 23 forniscono co-benefici e 19 di queste 23 sono anche a basso low-regret. Solo 6 misure non restituiscono alcun beneficio secondario. Copenaghen presenta un basso numero di misure co-benefits: 8 su 23. Tutte queste 8 misure risultano essere allo stesso tempo anche low-regret. Le misure low-regret sono 13 in totale, mentre 11 misure non forniscono ancillary benefits. Il 72% (33 su 46) delle misure del piano di Parigi sono co-benefits, delle quali 29 sono anche "a basso rimpianto". Solo 5 misure di adattamento non restituiscono benefici secondari.

I nuovi piani climatici di Amsterdam, Valencia e Torino confermano l'attenzione già dedicata alla ricerca di co-benefici nei piani precedenti: l'83% delle misure incluse nella Nuova Roadmap di Amsterdam, il 95% di quelle della Strategia Urbana di Valencia e l'88% delle misure del CCC di Torino rispondono alla definizione di misure co-benefits.

Un numero inferiore di misure presenta la proprietà low-regret nei nuovi piani: il 59% nel caso di Amsterdam, il 43% a Valencia, il 65% a Torino. Questi risultati dipendono dal maggior numero di misure hard nei piani più recenti, rispetto a quelli di Londra, Copenaghen e Parigi. L'integrazione di misure soft nella proposta di soluzioni di adattamento per l'ambiente costruito offrirebbe diversi vantaggi nel contesto di incertezza che i sistemi umani devono affrontare, considerando la loro flessibilità, reversibilità ed efficacia in termini di costi. Il World Energy Council (WEC, 2018), l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014), la Commissione Europea (EC, 2013) e la letteratura in materia (Sovacool, 2011; Araos, 2016; Cortekar, 2016; Pietrapertosa, 2019; Lioubimtseva, 2020; e altri) suggeriscono che il superamento delle barriere all'azione climatica – come l'alto grado di incertezza che caratterizza le proiezioni climatiche, la percezione dell'improbabilità degli impatti del riscaldamento globale, l'intrinseca complessità dei sistemi umani e l'assenza di prescrizioni legislative – richiederebbe il passaggio a un approccio soft alla questione dell'adattamento ai cambiamenti climatici.

La Commissione Europea (EC, 2013) suggerisce anche di includere nelle strategie di adattamento quelle che definisce “opzioni win-win, low-cost e low-regret” per evitare che l'alto grado di incertezza porti a inefficienza e inefficacia dell'azione climatica. La flessibilità, la reversibilità, i costi relativamente contenuti, la sostenibilità ambientale e l'intangibilità rendono le soluzioni soft delle potenziali strategie low-regret.

Nei piani analizzati, i co-benefici associati alle misure si limitano in gran parte a quelli economici. È il caso di molte misure di mitigazione che riguardano l'aspetto energetico. Sono pochi gli esempi di misure con co-benefici in termini sociali, ambientali, di comfort urbano (green infrastructures, soluzioni nature-based, interventi per migliorare i servizi di mobilità).

Impatto climatico target della misura

Mentre nei piani di adattamento stand-alone (LAPs) delle città di Londra e Copenaghen e nel piano joint mitigation and adaptation di Parigi la maggior parte delle misure hanno come obiettivo la mitigazione di specifici impatti climatici (ondate di calore, inondazioni, siccità, ecc.), nei successivi documenti di piano di tipo joint e mainstreamed, data l'ampia prevalenza di misure di mitigazione sulle misure di adattamento, non è più possibile associare le singole misure a specifici impatti climatici. Nei casi di Amsterdam, Valencia e Torino gran parte delle misure climatiche hanno l'obiettivo generico di ridurre le emissioni di CO₂.

Settori urbani coinvolti

Di seguito vengono riportati i risultati relativi all'aspetto dei settori urbani coinvolti nell'implementazione delle misure di adattamento delineate nei documenti di pianificazione analizzati.

Il settore idrico ricopre un ruolo di grande importanza nella pianificazione dell'adattamento dei tre piani meno recenti: il 41% delle misure di adattamento nel piano di Londra prevedono il coinvolgimento di questo settore, il 22% a Copenaghen, il 28% a Parigi. Sorprendentemente, le misure previste nella nuova Roadmap di Amsterdam non sono incentrate sulla gestione delle acque. Questo risultato dipende dalla scarsità di misure di adattamento incluse nel piano e dalla sproporzionata prevalenza dell'aspetto della mitigazione, che porta in genere le amministrazioni locali a concentrarsi maggiormente sui settori dell'energia e dell'ambiente costruito. La stessa considerazione è valida per i piani di Valencia e Torino.

Il settore urbano dell'energia non risulta essere molto coinvolto nei processi di adattamento urbano tracciati nei LAPs stand-alone di Londra e Copenaghen e nell'Action Plan di Parigi: solo 4 misure a Londra e Parigi riguardano questo settore, e una sola misura di adattamento a Copenaghen. La situazione si ribalta invece nei piani più recenti: l'attenzione dedicata a questo settore nel piano di Amsterdam si traduce nel 75% delle misure che coinvolgono aspetti energetici e nel 60% nel caso di Torino. Come è evidente, la mitigazione del cambiamento climatico chiama interventi relativi alla riqualificazione energetica degli edifici, alla sostituzione dei veicoli pubblici e privati a carburanti fossili con nuovi mezzi elettrici, alla redazione di nuovi standard in questo ambito, alla integrazione di energie rinnovabili, ecc. Le misure di Valencia sono invece meno focalizzate su questo settore (14%).

Spesso, le misure che coinvolgono il settore energetico si abbinano ad interventi sull'ambiente costruito (ad esempio, l'installazione di pannelli fotovoltaici sui tetti, la riqualificazione degli edifici, ecc.).

L'ambiente costruito è il settore di riferimento per il 52% delle misure a Londra e per il 35% a Copenaghen e a Parigi.

Le tre città che hanno adottato piani climatici più recentemente presentano numeri simili: il 36% delle misure ad Amsterdam, il 31% a Valencia, il 23% a Torino.

Il verde pubblico e le infrastrutture verdi non sono il focus della pianificazione climatica a Londra: solo 5 misure su 29 includono questo settore. Copenaghen delinea 6 misure su 23 che coinvolgono le infrastrutture verdi, mentre Parigi utilizza 12 misure di adattamento su 46 che riguardano questo tipo di soluzioni. Si può affermare che green infrastructures e nature-based solutions non sono possibilità esplorate a sufficienza nelle

città pionieristiche della pianificazione climatica che hanno redatto piani in anni precedenti al 2020.

Nei piani climatici analizzati per le città di Amsterdam, Valencia e Torino non sono specificate misure che riguardano il verde urbano, ma sarebbe sbagliato affermare che la tendenza recente è di trascurare questo tipo di interventi. Questo risultato dipende da due fattori: il primo, è la grande attenzione riserbata alla mitigazione invece che all'adattamento; il secondo, è la pluralità degli strumenti di piano adottati nelle città. Ad esempio, come già anticipato, Amsterdam e Torino dispongono entrambe di piani settoriali specifici per le green infrastructures. Sicuramente, l'inclusione delle misure che riguardano il verde nei piani climatici più comprensivi, invece che la frammentazione della questione della mitigazione e dell'adattamento in molteplici documenti, permetterebbe una visione più completa dell'azione per il clima implementata nei centri urbani.

In generale, molte misure di adattamento che prevedono l'attivazione di due o più settori urbani contemporaneamente (cross-cutting measures): a Londra, ad esempio, 12 misure su 29 coinvolgono due settori urbani e 6 su 18 ne coinvolgono più di due. Copenaghen presenta 7 misure di adattamento su 23 che richiedono l'attivazione di due settori urbani, mentre il piano per il clima di Parigi include 15 misure sulle 46 individuate che coinvolgono due settori urbani, e su queste 15, 5 ne coinvolgono più di quattro. La stessa tendenza si identifica nei nuovi piani: le misure energetiche si abbinano spesso ad interventi sull'ambiente costruito nei piani di Amsterdam, Valencia e Torino.

La forte interconnessione e la necessità di attivare diversi settori urbani contemporaneamente per implementare la maggior parte delle misure climatiche richiede l'adozione di nuovi modelli di governance, il ridisegno di alcuni processi e la modifica dell'assetto organizzativo delle amministrazioni locali. Questa questione è discussa in modo esauriente nel Capitolo 4 di questo libro.

Il Capitolo 4 include anche la discussione sulle misure che riguardano il settore dei servizi urbani e sociali nelle 6 città caso-studio. Questo settore – insieme al suo coinvolgimento nei processi di adattamento climatico delle città – è di grande interesse e costituisce un aspetto chiave per la ricerca alla base di questo libro.

Ruolo della pianificazione urbana

Nell'analisi dei piani climatici più recenti (Amsterdam, Valencia e Torino) è stata introdotta una ulteriore questione da discutere a partire dai risultati della lettura approfondita dei documenti di piano: il ruolo della pianificazione urbana nei processi di adattamento dei sistemi umani

al cambiamento climatico. Per i casi precedenti (Londra, Copenaghen, Parigi) non erano ancora state incluse nell'analisi le voci specifiche riferite a questo tema, dunque non è possibile desumere considerazioni sulla evoluzione di questo aspetto negli anni.

La relazione tra pianificazione urbana e neutralità climatica è stata dunque esaminata in dettaglio a partire dall'analisi dei tre piani climatici più recenti.

Il 23% delle misure di Amsterdam riguarda il ruolo regolatorio (voce “Regulat” in Tab. 8) della pianificazione urbana: l'esame delle opzioni di risparmio energetico nella legislazione, la definizione di una nuova politica di localizzazione per i *data center*, l'introduzione di standard obbligatori per la costruzione di abitazioni di nuova costruzione a basso consumo energetico, sono solo alcuni esempi. A Valencia, invece, solo il 5% delle misure si riferisce a una funzione normativa dell'*urban planning*: l'implementazione di una zona a basse emissioni è una di queste, così come l'introduzione di nuove specifiche, modelli di contratto e sistemi di monitoraggio per gli l'appalto pubblico (*public procurement*) di servizi food sani e sostenibili. A Torino, misure di policy per lo sviluppo di comunità energetiche e distretti ad energia positiva, limitazioni al traffico privato, introduzione di politiche sistemiche per il settore food sono alcune delle 9 misure di tipo “Regulatory” incluse nel Climate City Contract.

La pianificazione urbana ha un ruolo strategico (“Strategic”, in Tab. 8) nel 23% delle misure previste ad Amsterdam, nel 21% delle misure incluse nella Strategia di Valencia e nel 28% delle misure, nel caso di Torino. Di seguito, alcuni esempi: Amsterdam prevede la sostituzione dei mezzi della flotta municipale per il trasporto di persone e per le consegne con veicoli HVO (biodiesel) durante il periodo di transizione a veicoli elettrici, l'introduzione strategica e *demand-driven* di punti di ricarica per le auto, la facilitazione dell'espansione dei punti di ricarica rapida pubblici per i taxi e il finanziamento della ricerca per studiare la fattibilità del trasporto acquatico a zero emissioni; Valencia prevede invece di creare una città con priorità alla mobilità pedonale, di ridisegnare i confini della città per migliorare il rapporto città-giardino urbano, di incentivare il commercio locale per rivitalizzare i quartieri della città, tra le altre misure strategiche; migliorare l'efficienza dei processi industriali e dei rifiuti (25% in più di efficienza), aumentare la quota di acquisto di elettricità a emissioni zero, accelerare la formazione di startup per la mobilità intelligente, l'industria 4.0 e servizi urbani innovativi per l'adattamento al clima e istituire il “Centro di competenza per l'innovazione sociale – Policy lab” per supportare la progettazione e l'implementazione di servizi pubblici e politiche per l'adattamento al clima sono alcune

delle misure di Torino che riguardano il ruolo strategico della pianificazione urbana.

A proposito di pratiche partecipative in ambito urbanistico (“Participat”, in Tab. 8), non sono oggetto di grande attenzione nei piani climatici di Amsterdam (12% delle misure che prevedono elementi partecipativi) e Valencia (15%). Alcuni esempi di questa categoria di misure nella New Amsterdam Roadmap sono la stesura di piani per la partecipazione dei residenti allo sviluppo di progetti di energia eolica, l’organizzazione di interlocuzioni e attività con i dieci soggetti industriali della città responsabili della maggior parte delle emissioni finalizzate a ridurre i consumi energetici e le emissioni di *green house gases*, la garanzia di un accesso *open* per i cittadini ai processi decisionali. Nella Strategia Urbana di Valencia, alcune delle misure che coinvolgono gli aspetti partecipativi sono: promuovere l’innovazione comunicandone il valore con l’obiettivo di migliorare il coinvolgimento dei cittadini sulla base dei co-benefici, aumentare la consapevolezza sul tema rifiuti promuovendo l’uso da parte delle aziende e dei cittadini di strumenti informativi sulle caratteristiche dei prodotti e dei servizi, creare un portale o una piattaforma elettronica per mettere in rete le organizzazioni dei cittadini, creare un portale per i cittadini (il “Citizen Participation Portal”) che permetta di esercitare il diritto alla partecipazione, nonché di conoscere ciò che viene fatto dalla pubblica amministrazione locale. Torino presenta una quota maggiore (35%) di pratiche partecipative tra le misure previste nel suo piano: l’amministrazione locale organizzerà incontri per coinvolgere i giovani e le associazioni/forum giovanili, terrà tavoli con gli stakeholder, workshop tematici e laboratori distribuiti sul territorio per affrontare le sfide sociali legate all’adattamento climatico e svilupperà la piattaforma “Torino Social Impact” per favorire l’imprenditoria sociale sostenibile, co-svilupperà e sperimenterà soluzioni di mobilità innovative e sostenibili in 3 living lab (“Living Lab ToMove”).

Le misure che riguardano il design urbano ricoprono il 22% ad Amsterdam, mentre Valencia prevede un 28% di interventi di design urbano e Torino vuole implementare solo un 10% di misure che coinvolgono questo ruolo della pianificazione. Nel caso di Amsterdam, esempi di tali misure sono la predisposizione di alloggi per progetti fotovoltaici sulle infrastrutture (es. tetti, parcheggi), lo sviluppo di *masterplan* per scambiatori di calore che prevedono di operare su grandi aree, l’introduzione strategica e *demand-driven* di punti di ricarica per auto e taxi e di punti di ricarica per i traghetti. Valencia prevede di attuare molte misure basate sul design urbano, che vanno da interventi su piccola scala a grandi infrastrutture, come l’installazione di una rete di punti di ricarica per veicoli

elettrici, la creazione di grandi parchi urbani con un design inclusivo, la progettazione di grandi viali per la circolazione pedonale, il recupero di spazi pubblici nei quartieri, la costruzione di una nuova stazione centrale e altre ancora. Il Climate City Contract di Torino comprende anche un progetto urbano di grande scala: la costruzione della Linea 2 della metropolitana. Il piano però opera anche a scala minore, dal punto di vista della progettazione urbana, realizzando piste ciclabili e sviluppando aree verdi sui tetti e boschi verticali.

Considerazioni generali

Nonostante l'incremento della produzione di piani climatici a livello locale negli ultimi anni, si osserva una marcata disomogeneità sia nella tipologia che nella struttura che nei contenuti di tali strumenti. Attualmente non esiste un formato standardizzato né una classificazione ufficialmente condivisa dalle istituzioni di riferimento nell'ambito della risposta dei sistemi umani al cambiamento climatico.

In passato, si distingueva tra Local Adaptation Strategies (LASs) e Local Adaptation Plans (LAPs), ma questi strumenti risultavano spesso privi di azioni puntuali e concretamente poco attuabili. Negli ultimi anni, si è registrato un miglioramento generale nella qualità dei contenuti, con la crescente inclusione di indicatori e procedure di monitoraggio dell'efficacia delle misure. Tuttavia, il panorama dei piani si è ulteriormente frammentato, moltiplicandosi per via del lancio di diverse iniziative europee, della creazione di nuovi network internazionali di città per l'azione climatica e piattaforme web-based, dell'avvio di programmi nazionali e delle decisioni autonome delle singole amministrazioni locali. Il risultato è una sovrapposizione tra i vari strumenti di piano nelle città, con conseguente approccio frammentato e non coordinato e/o eccessivamente settoriale alle politiche climatiche.

In questo contesto, i Climate City Contracts (CCC) rappresentano un recente tentativo dell'Unione Europea di promuovere una nuova tipologia di piano climatico. Tuttavia, l'analisi condotta in questo studio, rivela che i CCC pubblicati sulla piattaforma NetZeroCities sono, ad oggi (Aprile 2025), strumenti orientati prevalentemente – se non esclusivamente – alla mitigazione, con un focus quasi totale sul settore energetico. Tale approccio risulta riduttivo rispetto al concetto più ampio di neutralità climatica, che dovrebbe integrare in modo sinergico adattamento e mitigazione (ICLEI, 2020). I CCC, nella loro configurazione attuale, sembrano dunque ricalcare modelli già esistenti, quali i SEAP e SECAP, portando molte città a doversi dotarsi comunque di ulteriori strumenti settoriali o area-specifici che affrontino la questione dell'adattamento – piani specifici

per le infrastrutture verdi, la resilienza urbana, l'economia circolare – con l'effetto paradossale di vanificare il tentativo di unificazione e convergenza di tutte le misure climatiche su un documento unitario e standardizzato.

Tale frammentazione tipologica, concettuale e metodologica rende particolarmente difficile l'elaborazione di criteri analitici comuni per la valutazione e la comparazione dei piani. La proposta di nuovi metodi per l'analisi di piani climatici come quello proposto in questo libro può facilitare il monitoraggio della pianificazione climatica. Inoltre, la confusione terminologica costituisce un'ulteriore criticità, ostacolando l'analisi comparativa e la valutazione delle azioni pianificate. Termini quali measures, actions, lines of action, programmes, pillars, missions e strategies sono spesso utilizzati in modo intercambiabile e non sistematico, generando ambiguità interpretative.

Allo stesso modo, l'adozione nei più recenti piani climatici di nuovi termini emersi nella letteratura di riferimento o introdotti da istituzioni autorevoli in ambito di adattamento al cambiamento climatico – quali “climate neutrality” in sostituzione di “carbon neutrality” – spesso apporta ulteriore confusione ed è una potenziale causa di fraintendimenti.

4. Approccio soft alla scala locale: la questione della governance e il ruolo dei servizi urbani nei processi di adattamento

4.1. La questione della governance come precondizione per l'adattamento al cambiamento climatico e il settore dei servizi urbani: scenari evolutivi

L'approccio soft all'adattamento al cambiamento climatico a scala locale è strettamente connesso alla questione della governance urbana e al ruolo del settore dei servizi urbani. Le misure di adattamento di tipologia soft si basano infatti principalmente su elementi intangibili, dunque sul ridisegno dell'assetto organizzativo delle istituzioni, delle organizzazioni e di altri soggetti coinvolti, sul ridisegno dei processi di management urbano (governance) e dei processi di fornitura dei servizi urbani tradizionali e/o sull'attivazione di servizi urbani innovativi finalizzati al supporto dell'adattamento.

Questo paragrafo è dedicato alla questione della governance urbana.

Il raggiungimento della neutralità climatica è un processo complesso che varia significativamente da una città all'altra. La questione di “come”, con che approccio le città affrontano e gestiscono questo problema è molto rilevante. In questo libro, ci riferisce a questo approccio come alla governance della neutralità climatica.

Un modello di governance adeguato al coordinamento delle politiche, delle parti interessate e delle risorse è una precondizione fondamentale per l'efficace implementazione delle misure climatiche.

L'implementazione delle misure di adattamento e mitigazione per rispondere al cambiamento climatico richiede il coordinamento tra più stakeholder, gruppi, organizzazione, dipartimenti, settori, politiche e, quindi, modelli di governance solidi per gestire processi complessi. Affrontare i cambiamenti climatici e adattarsi agli impatti attuali e futuri è “fondamentalmente una sfida di governance” (OPM, 2018). Mànuez *et al.* (2014) concordano sul fatto che la solidità delle strutture di governance è di

primaria importanza per perché le città possano reagire ai rischi naturali, individuare i punti deboli che potrebbero dover essere affrontati e valutare le prestazioni dei governi locali nel tempo. Si può affermare che la governance è una precondizione necessaria (ma non sufficiente) per il raggiungimento degli obiettivi climatici e, più nello specifico, per la neutralità climatica. L'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) identifica la “limitata integrazione o coordinamento della governance” come una delle principali barriere che interagiscono ostacolando la buona pianificazione e l'attuazione delle misure climatiche (IPCC, 2023).

Esiste un ampio consenso sul fatto che la governance dei cambiamenti climatici sia un problema “wicked” (letteramente, “malvagio”) (Alford *et al.*, 2017) o addirittura “super wicked” (Lazarus, 2008). Bovair *et al.* (2009) affermano addirittura che “cercare di definire la governance pubblica sembra aprire il vaso di Pandora”. Questa “malvagità” della questione della governance urbana in relazione al cambiamento climatico deriva da i) gli elevati livelli di incertezza che caratterizzano gli effetti e gli impatti del cambiamento climatico sui sistemi antropici; iii) la complessità intrinseca dei sistemi antropici; iv) le conseguenti difficoltà nel valutare i potenziali impatti benefici delle misure di mitigazione e adattamento pianificate e nel valutare l’efficacia delle azioni già implementate sulla riduzione dei rischi; v) l’eterogeneità degli stakeholder coinvolti; vi) la mancanza di risorse per finanziare le azioni; vii) l’influenza di questioni culturali e la mancanza di fiducia nella classe politica e dunque nelle decisioni governative; viii) l’inadeguatezza dei quadri normativi; ix) l’insufficiente quantità e qualità delle informazioni climatiche e/o delle pratiche e degli strumenti di gestione delle informazioni.

È possibile osservare e studiare diverse forme di governance adottate e applicate dai governi locali e da altre organizzazioni e istituzioni; tuttavia, sembra non siano disponibili in letteratura indagini empiriche e metodi rigorosi per analizzare diversi modelli di governance e individuare assetti ottimali per il raggiungimento degli obiettivi di mitigazione e adattamento al clima change nelle città (Molenveld, 2020). La letteratura offre ad ora solo alcuni approcci e linee guida che costituiscono una base utile da cui partire. Ai fini della presente ricerca, tre fonti sono risultate piuttosto rilevanti e per la varietà di approcci e punti di vista sui diversi aspetti della governance climatica:

- i) Il report “*Making EU Climate Governance Fit for Net Zero*”¹, pubblicato nel 2022 dall’Agenzia Tedesca per l’Ambiente, fornisce un’ana-

1. Available at: chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/scientific_opinion_paper_making_eu_climate_governance_fit_for_net_zero.pdf.

lisi dell'attuale panorama dei processi di policy climatica dell'UE e propone raccomandazioni per l'allineamento con gli obiettivi relativi alla neutralità climatica. Il report identifica otto “elementi principali della governance climatica”, che sono:

1. Contesto, quadro normativo e sostegno politico;
 2. Obiettivi a lungo e a breve termine;
 3. Pianificazione strategica;
 4. Ciclo politico;
 5. Monitoraggio dei progressi;
 6. Coordinamento interno;
 7. Consulenza scientifica;
 8. Partecipazione pubblica.
- ii) La Fondazione Europea per il Clima² ha contribuito al dibattito proponendo la visione di “dimensioni intersetoriali considerate sempre più centrali nel raggiungimento della neutralità climatica”: si tratta di elementi che corrispondono a “importanti campi di azione” e che costituiscono la base per la derivazione degli indicatori. Vengono quindi proposti cinque “elementi orizzontali”:
1. Finanza;
 2. Tecnologie;
 3. Cambiamenti nello stile di vita;
 4. Transizione giusta;
 5. Governance.
- iii) L’Oxford Policy Management – un importante gruppo di ricerca dell’Università di Oxford con un’esperienza di quattro decenni in politiche di sostenibilità – ha sviluppato e testato nel 2018 uno strumento di valutazione della governance della neutralità climatica che permette di “identificare le opportunità e le barriere politiche e istituzionali per affrontare il cambiamento climatico” (OPM, 2018). Lo strumento è stato pensato per essere utilizzato nel processo di monitoraggio e valutazione dei progressi nell’azione per il clima. Si suggerisce che la valutazione venga ripetuta ogni anno per evidenziare i cambiamenti in direzione della risposta al cambiamento climatico in ogni località. L’Oxford Policy Management adotta sette dimensioni di governance del clima:
1. Base di evidenza;
 2. Quadro degli strumenti regolatori;
 3. Consapevolezza e comprensione;
2. The European Climate Foundation. <https://europeanclimate.org/>

4. Impegno politico;
5. Partecipazione e influenza;
6. Capacità istituzionale;
7. Finanziamenti e investimenti.

Nonostante questi tre approcci siano stati ampiamente riconosciuti dalla comunità scientifica come validi e siano risultati strumenti utili da applicare nella realtà, tutti mostrano un limite non trascurabile: sono pensati per essere applicati con il supporto di un soggetto intermediario (consulenti, esperti, ecc.). Sarebbe invece preferibile mirare ad accrescere la consapevolezza delle città, a responsabilizzare i governi locali di fronte alla transizione verso la neutralità climatica, a potenziare la capacità di azione dei sistemi urbani attraverso la fornitura di strumenti utilizzabili autonomamente e riapplicabili.

Le misure che agiscono sulla governance rappresentano il 39% nella Nuova Roadmap di Amsterdam, il 32% nel caso della Strategia Urbana di Valencia e il 20% nel Climate City Contract di Torino (vedi Tab. 3.7, Cap. 3).

Amsterdam prevede, tra le misure che riguardano l'ambito governance, di:

- offrire consulenza energetica alle associazioni di proprietari-affittuari attraverso una nuova figura di supporto, quella degli “energy coach”;
- attuare accordi per l’efficienza energetica con società immobiliari, proprietari privati e investitori istituzionali, grandi ospedali, ecc.;
- organizzare schemi di acquisto collettivo di energia; di stipulare accordi con aziende e istituzioni per trasporto taxi al 100% privo di emissioni;
- fornire informazioni e assistenza sull’efficienza energetica ai settori commerciali, attraverso il programma “New Amsterdam Climate platform”;
- utilizzare le gare d’appalto per l’assegnazione dei terreni per sfidare il mercato a costruire edifici “energy-neutral”;
- costruire una “coalizione emissions-free” di soggetti in città ed esplorare opzioni per offrire hub di consulenza (coaches);
- firmare nuovi accordi, modificare e ridisegnare gli schemi di contratto con il settore della logistica;
- partecipare a progetti europei per la neutralita’ climatica e ai network internazionali di città all'avanguardia;
- sviluppare indicatori e procedure per il monitoraggio delle costruzioni ad emissioni zero.

Nella città di Valencia, alcuni esempi delle molte misure basate su interventi relativi alla governance sono i seguenti:

- ridisegnare i contratti con gli operatori logistici e i processi per una logistica sostenibile, implementando modelli innovativi di gestione della distribuzione basati sulla promozione di partenariati orizzontali;
- adottare un nuovo assetto organizzativo che rende operativo un sistema di co-governance delle missioni 2030 e l'innovazione negli appalti pubblici (aumento fino al 3% della domanda pubblica di innovazione da parte del Comune per coprire i bisogni pubblici non soddisfatti associati alle sfide climatiche);
- costruire un laboratorio Govtech nella città di València per promuovere progetti di management pubblico e rafforzare l'uso di tecnologie digitali abilitanti;
- creare una rete di uffici per fornire consulenza energetica gratuita in città, distribuiti tra i quartieri e le provincie;
- creare una società partecipata con un partner privato di minoranza, (scelto tramite appalto pubblico) per svolgere funzioni relative all'efficienza energetica;
- sviluppare un modello competitivo ed efficiente per la raccolta e gestione dei fondi e l'attuazione di progetti urbani strategici. Rafforzare l'Ufficio di supporto tecnico per i progetti europei;
- implementare metodi di gestione smart ed efficiente di un massimo di 194 edifici e strutture comunali (edifici sportivi, musei e monumenti, mercati comunali e scuole) attraverso la piattaforma VLCi;
- stabilire meccanismi normativi, organizzativi e tecnici per garantire l'interoperabilità in situazioni di possibile crisi e nel raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica;
- continuare a partecipare a network e iniziative sovracomunali a diverse scale e aderire a nuove reti;
- sviluppare nuove formule di governance e di cooperazione tra le istituzioni e gli attori dell'area metropolitana che consentano di creare spazi di dialogo e di gestione tra gli attori metropolitani di fronte a sfide comuni;
- integrare, razionalizzare e unificare modelli informativi, funzioni, dipartimenti e criteri per offrire una migliore attenzione al cittadino.

Il Climate City Contract di Torino contiene le seguenti misure che riguardano la governance:

- la creazione di un gruppo interdipartimentale e interdisciplinare per il

- climate change nel governo locale;
- la creazione di un gruppo dedicato esclusivamente al coordinamento tecnico-scientifico dell'azione climatica all'interno dell'amministrazione locale;
 - lo sviluppo di un “Urban Digital Twin” della città per supportare la governance dei processi di transizione climatica;
 - l'istituzione di una piattaforma digitale (CLICC) per la definizione, la mappatura e il monitoraggio delle azioni climatiche;
 - l'organizzazione di tavoli con gli stakeholder, workshop tematici e laboratori distribuiti sul territorio per affrontare le sfide sociali legate all'adattamento al cambiamento climatico;
 - la costituzione di una partnership tra il governo locale e “Torino City Lab”³.

Dalla lettura delle misure che intervengono sul ruolo della governance urbana incluse nei piani analizzati emerge una chiara tendenza a cercare nuovi assetti organizzativi delle istituzioni e nuovi modelli di gestione dell'informazione che facilitino la coordinazione tra diversi soggetti, dipartimenti, settori, scale di governo, politiche. I tre piani analizzati sono accomunati dalla presenza di misure come la creazione di gruppi interdipartimentali dedicati esclusivamente alla pianificazione dell'adattamento e della mitigazione e misure che prescrivono l'adozione di un modello di governance che passi ad operare dalla scala urbana a quella metropolitana, il lancio di piattaforme accessibili e open che abilitino la messa a sistema di dati eterogenei ed assicurino l'interoperabilità (ad esempio, la piattaforma CLICC di Torino o la piattaforma VLCi di Valencia) per finalità legate al raggiungimento della neutralità climatica, l'organizzazione di tavoli e workshop sul territorio per la condivisione di esperienze in tema *climate neutrality*.

Un'altra strategia ricorrente è la ricerca di formule di partnership pubblico-privato (a titolo esemplificativo, la creazione di una compagnia partecipata per l'innovazione in ambito energetico nel caso di Valencia, o la costituzione di una partnership tra il Comune e un centro di innovazione come Torino City Lab) per acquisire competenze esterne e stabilire rapporti di stretta collaborazione che portino a sinergie.

Le misure di governance sono per natura misure di approccio soft,

3. Torino City Lab è un'iniziativa volta a creare condizioni semplificate per imprese e altri soggetti interessati a rispondere a challenge specifiche, in risposta a concreti bisogni del territorio, della Pubblica Amministrazione e dei cittadini, testando soluzioni innovative di interesse pubblico in condizioni reali sul territorio. <https://torinocitylab.it/>.

ossia non-strutturali, che riguardano aspetti gestionali, operativi, organizzativi dei sistemi umani e sono supportate da infrastrutture intangibili (Sovacool, 2011), richiedono investimenti relativamente contenuti e a breve-medio termine, sfruttano la gestione ottimale delle informazioni, prevedono cambiamenti reversibili nel breve periodo, che non limitano altre scelte future, consentono la coesistenza e la sinergia con altre misure. Generalmente, restituiscono co-benefits (o benefici secondari) in termini di riduzione dei costi di gestione per la pubblica amministrazione, risparmi per i privati, coesione sociale, riduzione della vulnerabilità di alcune comunità, incremento dell'occupazione, maggior coinvolgimento e partecipazione dei cittadini, maggior livello di *awarness* degli impatti del cambiamento climatico, maggior fiducia nelle politiche, maggior efficienza dei processi grazie alla digitalizzazione, elevati livelli di qualità dei servizi urbani, maggior benessere dei cittadini, attrattività degli spazi pubblici, comfort urbano e salute umana (EEA, 2020; World Bank, 2021; Hurlbert *et al.*, 2021; WHO, 2023; e molti altri).

Un modello di governance urbana adeguato al coordinamento delle politiche, delle parti interessate e delle risorse è una precondizione fondamentale per l'efficace implementazione delle misure climatiche e dunque per il raggiungimento degli obiettivi di neutralità. Agire sulla ottimizzazione della governance urbana è una strategia di approccio soft.

Come già discusso nei paragrafi precedenti, l'approccio soft all'adattamento al cambiamento climatico a scala locale si basa su elementi intangibili, sul ridisegno dell'assetto organizzativo delle istituzioni, delle organizzazioni e di altri soggetti coinvolti, sul ridisegno dei processi di management urbano (governance) e dei processi di fornitura dei servizi urbani tradizionali e/o sull'attivazione di servizi urbani innovativi finalizzati al supporto dell'adattamento. La manutenzione delle infrastrutture chiave e l'ottimizzazione dei servizi urbani delle città assumono dunque un ruolo ancora più centrale nel contesto dei cambiamenti climatici.

Nonostante questa evidenza, il ruolo del settore dei servizi nell'adattamento delle città ai nuovi parametri climatici è stato esplorato in misura crescente ma ancora non sufficiente dalle istituzioni e dalla letteratura di riferimento.

Nel Quinto Rapporto dell'IPCC (AR5) viene introdotta l'idea che, a scala locale, “le infrastrutture, così come la fornitura di servizi di base – come l'approvvigionamento idrico, lo smaltimento dei rifiuti, l'energia, la gestione delle acque piovane e delle strade, il trasporto pubblico – sono elementi essenziali per aumentare la capacità di adattamento” (IPCC, 2014).

Nella Politica di coesione europea 2014-2020⁴, la Commissione definisce le priorità politiche e di investimento, tra cui “il potenziamento dei servizi pubblici [...] per prevenire o limitare i danni causati dalle catastrofi naturali e i sistemi di *early warning*” (EC, 2014), identificandolo come opzione *low-regret* o addirittura *no-regret*. Il potenziamento delle infrastrutture e dei servizi urbani è normalmente associato a migliori condizioni ambientali, sociali ed economiche e a una maggiore competitività delle città. Agire sul settore dei servizi restituirebbe quindi diversi co-benefici, tra cui un maggiore grado di resilienza e la riduzione della vulnerabilità.

Uno studio del 2016 del World Economic Forum (WEF) prende in esame il potenziale dei “servizi urbani innovativi, intelligenti, *resource-saving* e sostenibili” nel supportare le città ad affrontare la maggiore incertezza legata al *climate change* e identifica questo mercato emergente come molto complesso ma in rapida crescita (WEF, 2016).

Il World Economic Forum (2016) sostiene che “il livello di sviluppo di una città influenza direttamente la quantità e la qualità dei servizi urbani disponibili” e propone una differenziazione dei servizi urbani disponibili in base allo stadio di sviluppo di un determinato sistema urbano. Se ad esempio il livello di sviluppo di una città si colloca nella cosiddetta “fase rudimentale”, caratterizzata da grandi difficoltà da parte dei fornitori di servizi nel soddisfare la domanda degli utenti, i servizi urbani rispondono solo alle esigenze di base. (fornitura di acqua, raccolta e lo smaltimento dei rifiuti, assistenza sanitaria).

Una città in “fase funzionale” attrae invece fornitori di servizi che, oltre a soddisfare le esigenze di base degli utenti, iniziano ad includere nell’offerta energia elettrica, trasporti, e istruzione. La “fase integrata” di una città corrisponde a una situazione in cui i fornitori di servizi rispondono ad esigenze ambiziose di utenti eterogenei. È caratterizzata dalla disponibilità di infrastrutture che migliorano il benessere e il comfort urbano, spazi verdi, offerta culturale e servizi sociali. Infine, la “fase scalabile” di una città, caratterizzata da un alto grado di capacità di adattamento e di preparazione di fronte alle nuove sfide, prevede l’acquisizione di servizi di supporto avanzati e dedicati, che includono l’istruzione avanzata e il trasporto di massa per la competitività economica.

Questo quarto punto, in particolare, avvalora l’ipotesi presentata in questo libro, secondo la quale la transizione delle città verso la *soft-resilience* richiede servizi urbani *ad-hoc*.

4. https://ec.europa.eu/regional_policy/index.cfm/en/policy/what/investment-policy/.

Inoltre, il World Economic Forum introduce la questione del ruolo delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICTs): in questo modello di “maturità della città”, le città possono utilizzare le tecnologie abilitanti (*enabling technologies*) come leva per “saltare le tappe” dello sviluppo (WEF, 2016).

L’Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO) riconosce la necessità di servizi su misura che supportino i sistemi urbani nei processi di adattamento nel 2020, e risponde istituendo il Gruppo di Studio sui Servizi Urbani Integrati (SG-URB⁵).

Il settore dei servizi urbani è identificato come un elemento chiave per l’adattamento urbano nella Tassonomia Europea delle attività sostenibili pubblicata nel 2020 dalla Commissione Europea: questo strumento fornisce criteri di selezione delle prestazioni per le attività economiche che “danno un contributo sostanziale a uno dei sei obiettivi ambientali” (CE, 2020), che includono l’adattamento al cambiamento climatico.

In anni più recenti, si rileva una crescente attenzione a questo tema da parte delle istituzioni più autorevoli in tema di *climate change*. Ad esempio, la nuova Politica di Coesione Europea 2021-2027⁶ dà priorità all’azione per il clima (Obiettivo 2: “Un’Europa più verde e a basse emissioni di carbonio”) e sottolinea l’importante contributo apportato dai servizi urbani, ma limita le considerazioni all’aspetto della mitigazione e quindi al settore dell’energia e alla riduzione delle emissioni di CO₂ nei sistemi di trasporto.

La visione dei servizi urbani come strumento strategico per affrontare i cambiamenti climatici a scala urbana è confermata come elemento di spicco nell’ultimo rapporto IPCC (AR6) presentato nel 2022, ma non è accompagnata da alcuna proposta di classificazione dei servizi che consideri il loro contributo all’adattamento.

Nonostante il crescente numero di riferimenti a questo tema da parte delle istituzioni competenti negli ultimi anni, infatti, questo campo di ricerca risulta ancora parzialmente inesplorato in letteratura e non è ancora disponibile una terminologia condivisa e sedimentata che identifichi chiaramente quello dei servizi come un settore urbano cruciale nel contesto dell’adattamento delle città ai cambiamenti climatici.

La progettazione di nuovi modelli per l’erogazione di servizi urbani smart, finalizzati a migliorare la resilienza climatica, basati sull’applicazione di ICTs e sulla gestione ottimale delle informazioni climatiche, rappresenta un’importante linea di ricerca innovativa che richiede sforzi di ridefinizione della terminologia e specifiche tassonomie condivise (Bernardini, 2024).

5. <https://community.wmo.int/en/governance/commission-membership/sercom/sg-urb>.

6. https://ec.europa.eu/regional_policy/2021-2027_en.

In uno studio pubblicato nel 2024, Bernardini costruisce una nuova tassonomia dei servizi urbani a partire dalla visione del duplice ruolo che potrebbero ricoprire nei processi di adattamento ai cambiamenti climatici: i) da un lato, i servizi urbani devono essere adattati (ruolo passivo) – come qualsiasi altra infrastruttura materiale o immateriale – ai nuovi parametri climatici ed in continua evoluzione, al fine di garantire il loro funzionamento anche in condizioni climatiche critiche; ii) dall’altro, i servizi urbani potrebbero giocare un ruolo attivo e chiave nei processi di adattamento nelle città, poiché è fondamentalmente attraverso i diversi servizi urbani che la gestione delle città viene tradotta in operazioni.

Promuovere lo sviluppo di Adaptation services innovativi fornirebbe un valido supporto alle città nella transizione climatica.

4.2. Una nuova tassonomia per la definizione del ruolo dei servizi urbani nei processi di adattamento e l'integrazione tra Climate services e servizi di Urban Facility Management

L’analisi delle misure di adattamento soft-approach delineate nei piani climatici locali delle 6 città prese come casi studio (Londra, Copenhagen, Parigi, Amsterdam, Valencia e Torino) e l’osservazione delle proprietà delle misure di adattamento che si basano sui servizi (low-regret e co-benefits), hanno portato ad approfondire ulteriormente la questione del potenziale contributo del settore dei servizi urbani all’adattamento ai cambiamenti climatici a scala locale, in una prospettiva di innalzamento dei livelli di soft-resilience dei sistemi umani.

Queste considerazioni suggeriscono la necessità di uno sforzo di definitorio per arrivare alla proposta di una nuova terminologia che identifichi questo potenziale ruolo dei servizi urbani nei processi di adattamento.

Il termine “Adaptation services” (servizi di adattamento), introdotto da una delle organizzazioni europee di riferimento per l’adattamento climatico, Climate-KIC⁷, può essere adattato per comunicare la visione dei servizi urbani innovativi come servizi a supporto del raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica nelle città. Climate-KIC definisce gli “Adaptation services” come servizi il cui scopo è aumentare la capacità della società, delle città e delle infrastrutture di adattarsi ai cambiamenti climatici, estraendo conoscenza dai Climate services [informazioni climatiche] e traducendola in servizi e soluzioni concrete per ottenere un impatto reale. Sulla

7. www.climate-kic.org/.

base di questa definizione, la potenziale transizione dei servizi urbani verso sistemi integrati di servizi di adattamento che integrino informazioni climatiche dovrebbe essere ulteriormente studiata ed enfatizzata: da un lato, gli Adaptation services rappresentano una “versione potenziata” dei servizi urbani relativi ai vari domini delle città, riprogettati per essere resilienti di fronte a nuovi parametrici climatici (ruolo passivo); dall’altro, facilitano e supportano i sistemi di governo locale, facilitando così i processi di adattamento ai cambiamenti climatici dell’intero sistema urbano (ruolo attivo).

Attualmente non sono disponibili definizioni universalmente accettate e condivise di diverse categorie di servizi urbani, né una chiara delineazione delle relazioni, delle interdipendenze e dei potenziali benefici di un’integrazione tra i diversi servizi. Far luce sulle caratteristiche, nonché sulle funzioni e i ruoli dei servizi nel contesto del cambiamento climatico è un passaggio importante e un prezioso contributo alla letteratura scientifica relativa agli studi urbani e alla gestione dei climate change.

La Tab. 4.1 restituisce i risultati di questo sforzo di ridefinizione: riporta la distinzione in macro-classi e classi di servizi, fornendo definizioni e specificando quali servizi sono inclusi in ogni classe.

Si propone una prima distinzione dei servizi presi in esame in due macro-classi (corrispondenti alla prima colonna da sinistra della Tab. 4.1):

- i) servizi di informazione e conoscenza: questa macro-classe comprende tutti quei servizi che hanno lo scopo di fornire informazioni e aumentare il livello di conoscenza degli utenti, in modo da facilitare la pianificazione e i processi decisionali in campo di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici. I Climate services (informazioni climatiche) e servizi di consulenza sono le due classi di servizi (corrispondenti alla seconda colonna della Tab. 4.1) che rientrano in questa macro-classe;
- ii) servizi urbani: questa categoria si riferisce alla fornitura di servizi che rispondono ad esigenze specifiche dei sistemi umani (ad esempio, trasporti, approvvigionamento idrico, gestione dei rifiuti, sgombero neve, servizi sociali, ecc.). Questa macro-classe comprende i servizi municipali, i servizi di Urban Facility Management e i servizi di emergenza (vedi la seconda colonna della Tab. 4.1).

I servizi di informazione costituiscono la base di conoscenza per l’identificazione dei bisogni dei sistemi urbani, per la selezione di misure di adattamento efficaci e per il disegno dei servizi urbani.

Di seguito, la Tab. 4.1 mostra la proposta di una nuova tassonomia di Adaptation services, che è il risultato di un’intera fase di ricerca dedicata alla ridefinizione delle macro-classi e delle classi di servizi urbani nella prospettiva dell’adattamento dei sistemi umani ai cambiamenti climatici.

Tab. 4.1 - Proposta di una nuova tassonomia per la classificazione e la definizione dei servizi inscritti nell'ambiente integrato degli Adaptation services

Ambiente integrato di Adaptation services: servizi che aumentano la capacità della società, delle città e delle infrastrutture di adattarsi ai cambiamenti climatici			
<i>Macro classe</i>	<i>Classe</i>	<i>Definizione</i>	<i>Servizi</i>
SERVIZI DI INFORMAZIONE E CONOSCENZA	CLIMATE SERVICES	<p>Lo sviluppo e la fornitura di conoscenze per la comprensione del clima, dei cambiamenti climatici e dei loro impatti, nonché la guida all'uso di tali conoscenze per ricercatori e responsabili politici e aziendali (JPI-Climate, 2016)</p> <p>La trasformazione dei dati climatici – insieme ad altre informazioni rilevanti – in prodotti personalizzati [...] (EC, 2018)</p>	<p>Previsioni a medio e lungo termine: previsioni e proiezioni climatiche; modelli climatici globali, nazionali, regionali e locali; scenari climatici futuri; tendenze climatiche.</p> <p>Previsioni meteorologiche a breve termine</p> <p>Assesment di impatti, vulnerabilità e rischi</p> <p>Servizi di monitoraggio di: qualità del suolo, qualità dell'acqua, biodiversità, radioattività, rumore ambientale</p>
		<p>Sviluppo di conoscenza e strumenti informativi sulla base dei più avanzati studi scientifici disponibili, per rispondere a specifici bisogni degli utenti, fornendo consulenza specialistica come supporto ai processi decisionali nel campo dell'adattamento e della mitigazione ai cambiamenti climatici (proposta dell'autore)</p>	<p>Servizi di consulenza professionale</p> <p>Toolkit di supporto</p> <p>Piattaforme di conoscenza web-based</p> <p>Programmi di formazione</p>
SERVIZI URBANI	SERVIZI MUNICIPALI	<p>Servizi offerti o controllati da un'amministrazione pubblica con lo scopo di migliorare la salute, il comfort urbano e la qualità</p>	<p>Servizi educativi</p> <p>Servizi di sanità pubblica e di assistenza sanitaria</p> <p>Servizi di sicurezza pubblica</p> <p>Servizi di protezione dell'ambiente</p> <p>Servizi di mobilità e trasporto</p>

Tab. 4.1 - segue

Ambiente integrato di Adaptation services: servizi che aumentano la capacità della società, delle città e delle infrastrutture di adattarsi ai cambiamenti climatici			
<i>Macro classe</i>	<i>Classe</i>	<i>Definizione</i>	<i>Servizi</i>
		della vita della popolazione (proposta dell'autore)	Servizi di fornitura di energia Servizi di fornitura idrica Servizi di telecomunicazione Lavori pubblici Servizi sociali
		Servizi di gestione integrata per l'operatività, la funzionalità e la valorizzazione delle infrastrutture urbane (UNI11447, 2012)	Servizi al territorio Manutenzione, verifica e monitoraggio dei servizi di arredo urbano Servizi di manutenzione, cura e monitoraggio del verde pubblico Servizi di manutenzione e cura del territorio e delle attrezzature Servizi di manutenzione e monitoraggio della segnaletica orizzontale, verticale e luminosa Servizi di ingegneria tecnica per la redazione del catasto stradale Servizi di verifica, monitoraggio e controllo della rete stradale Servizi di manutenzione del manto stradale e di pronto soccorso in caso di buche Servizi di sgombero neve, spargimento sale e trattamento antineve Servizio di gestione parcheggi
			Servizi per edifici, impianti e infrastrutture Servizi di manutenzione di edifici e impianti Servizi di gestione, esercizio e manutenzione di centrali elettriche e impianti termici Servizi di gestione, esercizio e manutenzione di impianti di trattamento dell'aria Servizi di gestione, conduzione e manutenzione di impianti idrici e fognari Servizi di gestione, esercizio e manutenzione di impianti elettrici e di illuminazione Servizi di gestione, conduzione e manutenzione di impianti tecnologici di sicurezza Servizi di gestione, esercizio e manutenzione di sistemi tecnologici di controllo Servizi di gestione e manutenzione di reti telefoniche e di trasmissione dati Servizi di pronto intervento su chiamata
SERVIZI DI URBAN FACILITY MANAGEMENT (UFMs)			

Tab. 4.1 - segue

Ambiente integrato di adaptation services: servizi che aumentano la capacità della società, delle città e delle infrastrutture di adattarsi ai cambiamenti climatici			
Macro classe	Classe	Definizione	Servizi
			<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;">Servizi per l'ambiente e le persone</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;">Servizi di gestione</div> </div> </div> <div style="flex: 1; border-left: 1px solid black; padding-left: 10px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;">Servizi di pulizia e igiene ambientale</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;">Servizi di disinfezione, disinfestazione e derattizzazione</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;">Servizi di raccolta e smaltimento rifiuti</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;">Servizi di accoglienza e sorveglianza</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;">Servizi di call center</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;">Servizi di gestione dei documenti</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;">Servizi di gestione degli spazi</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;">Servizi di creazione e gestione di registri tecnici e inventariali</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;">Servizi di creazione e gestione di sistemi informativi</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;">Servizi di gestione dei centri di comando operativo</div> </div> </div> </div>
	SERVIZI DI EMERGENZA	Servizi di emergenza forniti da organizzazioni pubbliche il cui compito è quello di intervenire rapidamente per affrontare le emergenze quando si verificano (Collins, 2017)	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;">Polizia e esercito</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;">Servizi antincendio e di soccorso</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;">Servizi medici di emergenza (EMS)</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;">Guardia costiera</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;">Servizi sociali di emergenza</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;">Servizio stradale di emergenza</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;">Gestione delle emergenze, Protezione civile</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;">Squadra di risposta agli incidenti</div> </div>

Come anticipato nel precedente paragrafo, da un lato i servizi urbani devono essere adattati (ruolo passivo) – come qualsiasi altra infrastruttura materiale o immateriale – ai nuovi parametri climatici ed in continua evoluzione, al fine di garantire il loro funzionamento anche in condizioni climatiche critiche; dall’altro, i servizi urbani potrebbero giocare un ruolo attivo e chiave nei processi di adattamento nelle città, poiché è fondamentalmente attraverso i diversi servizi urbani che la gestione delle città viene tradotta in operazioni (Bernardini, 2024). Premettendo che una distinzione netta tra servizi con ruolo passivo e servizi con ruolo attivo non aderirebbe alla realtà, per fare ulteriore chiarezza si identificano, sulla base della

nuova tassonomia proposta in Tab. 4.1, le classi di servizi che presentano il potenziale maggiore a supportare (ruolo attivo) l'adattamento delle città. Queste sono la classe dei servizi di Urban Facility Management e quella dei Climate services. I Climate services costituiscono la base informativa fondamentale alla progettazione ed operazione degli Urban Facility Management services.

Qui di seguito, si esplorano più a fondo queste due classi di servizi, partendo dai Climate services.

Dal momento che è fondamentale disporre di una base informativa solida per poter definire misure climatiche efficaci, stimare in modo affidabile i risultati attesi e selezionare indicatori adeguati al monitoraggio degli impatti reali, l'integrazione di informazioni climatiche e la disponibilità di figure professionali capaci di interpretarle risultano imprescindibili per una gestione ottimale della risposta al climate change nei sistemi urbani. Facendo riferimento alla tassonomia proposta (vedi Tab. 4.1), si parla della macro-classe dei servizi di informazione e conoscenza.

In linea generale, la classe dei Climate services comprende tutti i prodotti che consentono di prendere decisioni informate in tutti settori urbani, come l'agricoltura, le risorse idriche, l'energia, la salute, i trasporti e la riduzione del rischio di disastri (Eltazarov *et al.*, 2021).

I servizi climatici sono emersi come campo di indagine specifico solo negli ultimi anni (Soares, Buontempo, 2019), come dimostra un importante studio bibliometrico che esplora l'evoluzione temporale di questa linea di ricerca: lo studio della bibliografia rivela che la prima pubblicazione che menziona la parola chiave “Climate services” risale al 1974 e che il numero di contributi scientifici internazionali su questo tema non ha superato le 20 pubblicazioni all'anno fino al 2015 (Larosa, Mysiak, 2019). La World Climate Conference del 2009 e il lancio del Global Framework for Climate Services⁸ nel 2012 hanno determinato un aumento significativo delle pubblicazioni relative ai servizi climatici a livello mondiale: l'interesse per questo tema cresce fino a raggiungere i 40 articoli pubblicati all'anno e vengono avanzate man mano diverse proposte di definizione.

Tra le definizioni di “Climate services” attualmente disponibili, quelle nominate di seguito sono in linea con l'interpretazione proposta in questo libro. “informazioni sul clima che aiutano i processi decisionali di individui e organizzazioni. [La fruizione di] un servizio deve richiedere uno sforzo adeguato [da parte degli utenti] e un meccanismo di accesso efficace e deve rispondere alle esigenze degli utenti” (WMO, 2017). Secondo

8. <https://gfcs.wmo.int/what-are-climate-services>.

il National Research Council⁹, i servizi climatici sono “la produzione e la fornitura tempestiva di dati e conoscenze climatiche utili ai *decision-makers*”. La Joint Programme Initiative (JPI-Climate) definisce i servizi climatici come “lo sviluppo basato sui bisogni degli utenti e la fornitura di conoscenze per la comprensione del clima, dei cambiamenti climatici e dei loro impatti, nonché la guida al loro utilizzo da parte di ricercatori e decion-makers politici ed economici” (Brasseur *et al.*, 2016).

La Commissione Europea identifica nei servizi climatici la “trasformazione dei dati relativi al clima e di altre informazioni rilevanti in prodotti personalizzati come proiezioni, previsioni, trend, analisi economiche, valutazioni (comprese le valutazioni tecnologiche), consulenza sulle migliori pratiche, sviluppo e valutazione di soluzioni e altri servizi in relazione al clima che possono essere utili per la società in generale” (CE, 2018). Questa definizione introduce l’idea della possibilità di integrare le informazioni relative al clima con altre informazioni rilevanti provenienti da fonti diverse.

Anche la World Meteorological Organization (WMO) considera la relazione tra informazioni climatiche e servizi urbani, definendo i Climate services come “informazioni ad alta risoluzione spaziale su scala urbana del tempo e del clima [...] che supportano i processi decisionali necessari per la fornitura dei servizi urbani generali” (WMO, 2016).

Kathleen (2018) amplia il concetto di Climate services come “sistemi di conoscenza climatica”, sottolineando l’importanza della trasformazione in tre fasi: dai dati grezzi, alle informazioni utilizzabili fino alla conoscenza.

I Climate services sono visti anche come un “mezzo per colmare il divario” tra i dati grezzi e gli strumenti utilizzati dalla comunità scientifica e le esigenze degli utenti finali, dei *decision-makers* e di tutti i soggetti che intraprendono azioni per rispondere agli impatti dei cambiamenti climatici (Swart *et al.*, 2021).

Altri studi più recenti hanno definito i servizi climatici come servizi che forniscono ai *decision-makers* informazioni utili per ridurre i rischi e le perdite legate al clima e li differenziano dalle più generiche informazioni sul clima in quanto sono personalizzati per rispondere alle esigenze di specifici utenti e possono includere una ampia serie di attività, come lo sviluppo di prodotti ad-hoc, l’erogazione di formazione e la fornitura di consulenza (Giordano *et al.*, 2020).

Infine, si è rivelato utile interpretare una definizione fornita dall’UN CTCN (United Nations Climate Technology Centre and Network¹⁰) rife-

9. www.cnr.it/en/about-us.

10. www.ctc-n.org/.

rita alla “climate technologies”. L’idea emergente di un nuovo e innovativo sistema di servizi climatici è ben rappresentata dalla seguente definizione adattata, secondo la quale i Climate service sarebbero “qualsiasi servizio, strumento, tecnica, conoscenza pratica e abilità che può essere utilizzata per aumentare la resilienza del sistemi antropico al climate change”. In questa definizione si sottolinea l’obiettivo fondamentale di trasformare le informazioni scientifiche in informazioni e servizi operativamente disponibili che aiutino la società ad affrontare meglio la variabilità e i cambiamenti climatici.

Negli ultimi anni si è assistito a un forte e costante aumento dell’attenzione delle istituzioni di riferimento verso i Climate services, che è andato di pari passo all’aumento delle perdite dovute agli impatti dei cambiamenti climatici su vari settori ogni anno. Gli Stati Uniti d’America, ad esempio, hanno riconosciuto che la realizzazione di circa un terzo del loro prodotto interno lordo dipende direttamente dalla disponibilità e dall’accuratezza delle informazioni meteorologiche e climatiche (Brasseur *et al.*, 2016). L’Ufficio meteorologico del Regno Unito ha realizzato che le sue competenze in materia di servizi climatici dovrebbero essere rafforzate e ha quindi stanziato ingenti fondi per realizzare questa intenzione, al fine di fornire consulenza ai settori pubblico e privato sulle questioni legate non solo al meteo (breve termine) ma anche al clima (medio e lungo termine).

La maggiore attenzione al tema dei Climate services si è tradotta nella crescente proposta di iniziative internazionali (conferenze e workshop internazionali), nella diffusione di documenti politici come la European Research and Innovation Roadmap for Climate Services nel 2015 e la nuova EU Adaptation strategy nel 2021, che include una trattazione dedicata ai servizi climatici. Inoltre, sono state lanciate numerose piattaforme di conoscenza e iniziative per promuovere l’applicazione delle informazioni climatiche in misure efficaci di adattamento e mitigazione: tra le più autorevoli, la piattaforma Copernicus Climate Change Services (C3S), che fornisce informazioni climatiche open-source; Climate-ADAPT, presentato come “un portale smart di conoscenze sul clima”; comunità di innovazione come Climate-KIC, sostenuta dall’Istituto Europeo di Innovazione e Tecnologia (EIT); e molte altre.

Tuttavia, nonostante i recenti progressi, la relativa immaturità di questo campo di ricerca implica ancora una mancanza di definizioni sedimentate e condivise, che costituisce un problema per gli studi sui Climate services.

Inoltre, la gamma di servizi climatici disponibili rimane spesso limitato a indicatori climatici del passato (ad esempio, indici di temperatura e precipitazioni), dedotti da osservazioni e analisi dei dati. Ad oggi, i servizi climatici si concentrano principalmente sulla fornitura di dati grezzi rela-

tivi al clima, mentre dovrebbero arrivare ad includere, per esempio, informazioni sugli impatti climatici in specifiche località, per essere utilizzabili da utenti eterogenei.

Alcuni esempi di prodotti riconducibili alla classe dei Climate services, mappati in uno studio condotto dal Climate Technologies Centre and Network¹¹ delle Nazioni Unite sono:

- previsioni meteorologiche a breve e medio termine;
- previsioni e proiezioni climatiche (lungo termine);
- modelli climatici globali, nazionali, regionali e locali;
- scenari climatici futuri e trend di specifici indicatori;
- valutazioni di impatto, vulnerabilità e rischio;
- previsioni e avvisi sul livello delle maree;
- avviso di congelamento delle strade;
- indice di calore;
- previsione e avviso di inondazioni pluviali;
- indice degli incendi boschivi;
- servizi di gestione dei dati climatici;
- rianalisi di dati climatici elaborati;
- servizi di consulenza, compresi toolkit di supporto al *decision-making*;
- pubblicazioni su temi specifici relativi al clima;
- sviluppo di capacità e competenze, formazione;

e molti altri servizi che “possono essere utili per la società in generale”.

Alle sempre maggiori pressioni climatiche sui sistemi urbani (IPCC, 2023), corrisponde un forte incremento della domanda di servizi di supporto alla gestione della questione climatica nelle città da parte della pubblica amministrazione (Bernardini *et al.*, 2024). Inoltre, la crescente domanda per la progettazione e la gestione di sistemi umani sostenibili e resilienti, porta a considerare la gestione delle infrastrutture urbane come cruciale per il raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica. I servizi di Urban Facility Management presentano un grande potenziale in questo senso. Michell (2013), Galamba *et al.* (2016), Pearce (2017), Boyle *et al.* (2017) e molti altri sostengono questa visione.

Il Facility Management (FM) è definito come una funzione gestionale volta a integrare risorse umane, spazi fisici e processi operativi all'interno dell'ambiente costruito, con l'intento di accrescere il benessere degli utenti e la produttività delle attività primarie (*core-business*) (ISO, 2017). Tale definizione abbraccia l'insieme dei servizi ausiliari che concorrono al perseguimento degli obiettivi strategici di un'organizzazione. In lette-

11. www.ctc-n.org/.

ratura, alcuni autori hanno esteso l'applicazione del principio di Facility Management dalla scala dell'edificio a quella urbana, introducendo il concetto di Urban Facility Management (UFM). Questo salto di scala si fonda su una visione sistematica della città, interpretata come un'unica infrastruttura da gestire in maniera integrata – una prospettiva sintetizzata nell'espressione “the city is the facility view” (Michell, 2013). Secondo la norma UNI 11447:2012, l'UFM può essere definito come l'insieme dei servizi finalizzati alla gestione coordinata delle strutture urbane, al fine di assicurarne la funzionalità, la continuità operativa e la valorizzazione. Mentre il FM si occupa della manutenzione e della sicurezza degli edifici, l'UFM estende tali finalità all'intero ambito urbano, con l'obiettivo di preservare la continuità delle funzioni economiche e sociali che sono strettamente interconnesse agli spazi e ai servizi pubblici, garantendone l'operatività anche in scenari di mutamento climatico. Alla luce dell'aumento dell'entità e della frequenza dei pericoli dovuti ai cambiamenti climatici di origine antropica, all'Urban Facility Management è sempre più richiesto non solo di soddisfare il requisito primario (garantire una gestione efficiente ed efficace delle infrastrutture urbane attraverso il monitoraggio delle condizioni e le operazioni di manutenzione), ma anche di contribuire direttamente al raggiungimento di altri obiettivi fondamentali dell'organizzazione cittadina. Il raggiungimento della *climate neutrality* rientra senza dubbio tra gli obiettivi fondamentali di qualsiasi sistema umano.

La progettazione di nuovi modelli per l'erogazione e il funzionamento di servizi di Urban Facility Management, finalizzati a migliorare la resilienza climatica (e quindi definibili come Adaptation services), basati sulla gestione e lo sfruttamento ottimali delle informazioni (tra le quali i Climate services), rappresenta una linea di ricerca innovativa che apre a ulteriori sviluppi.

Dal momento che i sistemi urbani sono sistemi complessi e caratterizzati da molteplici interconnessioni, è fondamentale studiare i processi che riguardano la progettazione e la fornitura degli Adaptation services non singolarmente, con un approccio “a silos”, ma piuttosto considerarli inscritti in un sistema, parte di reti complesse di persone, istituzioni, strutture organizzative, tecnologie abilitanti, informazioni e regolamenti interconnessi. Questo approccio consente una comprensione più profonda delle dinamiche che riguardano i servizi urbani che contribuiscono all'adattamento.

La complessità dei modelli di erogazione degli Adaptation services merita particolare attenzione soprattutto in una prospettiva di incremento del grado di resilienza dei sistemi umani e di raggiungimento della neutralità climatica.

L'integrazione tra i servizi urbani, ed in particolare tra i servizi di Urban Facility Management, e i Climate services consentirebbe di disporre di fitte reti di osservazione, previsioni ad alta risoluzione su diverse scale temporali, sistemi di allerta preventiva multi-rischio e misure di adattamento e mitigazione progettate sulla base di informazioni specifiche, aiutando così le città a far fronte ai rischi emergenti.

In letteratura, è rilevabile la recente nascita di una linea di ricerca dedicata all'integrazione tra servizi urbani e informazioni climatiche. Stegmaier *et al.* (2017) esplorano il modo in cui i servizi climatici vengono applicati nella gestione delle acque, fornendo indicazioni sul loro potenziale di integrazione in sistemi più ampi di gestione delle infrastrutture urbane. Similmente, Kirschen *et al.* (2018) analizzano come la gestione integrata delle acque urbane possa essere adatta a gestire molteplici stress idrici urbani in condizioni climatiche e di uso del suolo attuali e future sui sistemi costruiti, naturali e sociali. Street *et al.* (2019) si concentrano sul ruolo dei Climate services nei processi decisionali urbani relativi alla resilienza delle infrastrutture in generale, anche alla luce dell'ottimizzazione dei servizi che rientrano nel dominio della sicurezza. Elmualim *et al.* (2020) approfondiscono il ruolo del Facility Management nella promozione della sostenibilità, identificando barriere e opportunità, essenziali per una gestione urbana resiliente al clima. Bibri *et al.* (2021) dimostrano il valore potenziale dell'utilizzo di grandi quantità di dati urbani per monitorare, comprendere, analizzare e pianificare gli sviluppi, migliorando così l'efficienza energetica e la salute ambientale in tempo reale.

Come a volte accade, comunque, la pratica precede la teoria. Sono già rintracciabili numerosi esempi di misure soft di adattamento ai cambiamenti climatici basate sui servizi urbani nei piani climatici a scala locale; queste misure vanno ben oltre la sola mitigazione della CO₂ e si allineano alla definizione di servizi di adattamento (Adaptation services) proposta nel presente libro. Attraverso l'analisi approfondita dei piani climatici locali delle sei città europee selezionate come casi studio (Londra, Copenaghen, Parigi, Amsterdam, Valencia e Torino), sono stati individuati molti esempi di misure di adattamento soft che implicano l'attivazione di servizi urbani e Climate services. Delle 29 misure di adattamento incluse nel piano climatico di Londra, 12 coinvolgono il settore dei servizi urbani, mentre sono solo 7 su un totale di 23 misure delineate nel piano climatico di Copenaghen si basano sull'attivazione di servizi. Parigi mostra un maggior numero di misure che fanno leva sui servizi urbani per affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici: 22 su un totale di 46 soluzioni. Guardando ai piani più recenti, l'attenzione al settore dei servizi si riconferma: Amsterdam presenta 20 misure che

implicano l'attivazione di servizi su un totale di 69. Le misure basate su classi di servizi urbani sono quasi la metà a Valencia (68 su 139), così come nel caso di Torino (18 su 40). Tra le molte misure rilevate nei piani e categorizzate come opzioni di intervento soft incentrate sul ridisegno dei servizi urbani in un'ottica di supporto all'adattamento, ne figurano alcune che riguardano l'inclusione di una valutazione dei rischi climatici nella progettazione di servizi di assistenza sanitaria e sociale, verso il potenziamento dei servizi sociali e urbani per far fronte ad eventi estremi o a fenomeni visibili nel medio lungo termine, come le migrazioni dovute al clima; altre, l'inclusione di clausole relative all'adattamento climatico nei contratti pubblici con i fornitori di servizi urbani. Altre misure prevedono la diffusione di linee guida per architetti, costruttori e tecnici comunali che forniscano una conoscenza di base dei cambiamenti climatici da integrare nella progettazione, o l'aggiornamento delle normative locali per la pianificazione territoriale e l'edilizia, nonché l'organizzazione di campagne di sensibilizzazione e programmi di formazione per i cittadini sulla questione del *climate change*.

Molti altri esempi di soluzioni di adattamento soft corrispondenti alla definizione di Adaptation services possono essere identificati nei piani e tra le iniziative di città di tutto il mondo, analizzando il loro grado di integrazione con le informazioni climatiche (Climate services) e le tecnologie abilitanti che ne supportano l'implementazione.

La mancanza di una terminologia comune e di tassonomie condivise per i servizi urbani rende però questo compito di ricerca lungo, impegnativo in termini di risorse e poco sistematico. Il rilevamento e classificazione di tali soluzioni di adattamento innovative fornirebbero una maggiore consapevolezza del ruolo potenziale del settore dei servizi nel facilitare il raggiungimento della neutralità climatica nelle città.

Come nota finale, è necessario richiamare in questo dibattito la questione della governance urbana come precondizione per l'implementazione di misure di adattamento e mitigazione efficaci, già introdotta nel Paragrafo 4.1 di questo libro. Per realizzare sistemi integrati di Adaptation services, infatti, sono necessari modelli di governance adattati, che abilitino una integrazione ottimale di informazioni eterogenee, nuovi modelli di erogazione dei servizi e contratti innovativi con i fornitori di Urban Facility Management services. Una governance urbana frammentata potrebbe limitare il potenziale dei servizi di Urban Facility Management (UFM) nel supportare i processi di adattamento all'interno dei sistemi antropici. Salaj *et al.* (2020) discutono i limiti delle attuali strutture di governance nell'affrontare efficacemente le pressanti questioni legate al cambiamento climatico. Questi autori sostengono la necessità di adottare

un modello di governance che favorisca il coordinamento, la negoziazione e la collaborazione tra le varie comunità urbane, i quartieri e i distretti all'interno delle città, nonché tra i diversi settori e livelli istituzionali. Secondo Salaj *et al.*, il potenziamento del ruolo delle UFM nelle aree urbane richiede in particolare un maggiore coinvolgimento dei cittadini. I servizi UFM informati dai Climate services potrebbero migliorare l'attaccamento, la fiducia e il senso di appartenenza dei cittadini, favorendo così l'inclusione e l'integrazione sociale.

In conclusione, l'ottimizzazione dei servizi UFM integrandoli con le informazioni sul clima (servizi climatici) attraverso l'uso delle attuali tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICTs) è da considerarsi una opzione soft, low-regret e co-benefits: basandosi principalmente sullo sfruttamento ottimale delle informazioni, richiede investimenti relativamente bassi; restituisce benefici già nel breve termine e a prescindere dall'evoluzione delle condizioni climatiche; infine, restituisce come benefici secondari un aumentato comfort urbano e un miglioramento dell'attrattività urbana.

Il ridisegno dei modelli di erogazione e la riprogettazione del funzionamento dei servizi urbani tradizionali può contribuire a migliorare la resilienza climatica delle città e a ridurre le emissioni di *greenhouse gases*. L'attivazione di innovativi Adaptation services rappresenta una linea di ricerca particolarmente promettente.

4.3. Adaptation services e nuovi modelli di gestione: il ridisegno dei processi e dei ruoli

Una delle maggiori sfide nella progettazione e gestione degli Adaptation services è il superamento delle barriere che riguardano la struttura organizzativa dei governi locali (spesso, una struttura “a silos”) e le difficoltà di comunicazione e coordinamento interne, così come quelle tra la pubblica amministrazione e i diversi fornitori di servizi e tra i fornitori e gli utenti finali (le comunità urbane), lungo la catena di fornitura degli Adaptation services. L'implementazione di misure climatiche soft-approach efficaci, basate sull'attivazione di servizi di supporto al raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica, richiede il passaggio a una visione delle città e dell'insieme dei servizi come un sistema integrato, al di là delle divisioni tra dipartimenti, giurisdizioni geografiche e settoriali.

Diverse priorità politiche (adattamento o mitigazione) e diversi obiettivi tra gli stakeholder eterogenei inscritti nei sistemi di fornitura degli Adaptation services possono intensificare i silos già esistenti tra le giuri-

sdizioni locali (Landauer *et al.*, 2019). Le interazioni all'interno dei sistemi di servizi di adattamento possono comportare compromessi, conflitti e/o sinergie.

Un rilevante studio basato sull'interlocuzione con stakeholder locali (attraverso interviste, workshop, modellazione partecipativa e altri metodi) esplorava le precondizioni necessarie alla transizione delle città verso la sostenibilità e la resilienza, e individuava i fattori chiave nel livello di scolarizzazione, formazione e *awarness* della popolazione; nella disponibilità, accessibilità e capacità di utilizzare i dati climatici; nell'adeguatezza del quadro normativo e regolatorio; nella capacità di apprendimento dagli eventi estremi; nell'adozione di un modello di governance multilivello e informata, inclusiva e adattiva; nella predisposizione delle autorità e della leadership politica verso innovazioni e cambiamenti dirompenti; nella attivazione di processi di pianificazione e gestione integrate e adattive; nella comunicazione della corresponsabilità, attraverso una stretta interazione pubblico-privato e la partecipazione sociale (Mendizabal *et al.*, 2018).

In uno studio condotto nel 2023 su comuni di piccola-media dimensione (intorno ai 30.000 abitanti in media) del nord Italia, Bernardini (2024) ha studiato casi reali di fornitura di servizi di Urban Facility Management, rappresentando la struttura organizzativa degli enti di governo locali e di altre organizzazioni attive nei processi di adattamento, mappando le reti di soggetti coinvolti, le loro relazioni e i flussi informativi. Questo studio è stato occasione per l'applicazione della nuova tassonomia di Adaptation services proposta e per la validazione delle ipotesi analitico-interpretative avanzate sul ruolo del settore dei servizi nei processi di adattamento al cambiamento climatico dei sistemi urbani. L'identificazione del ruolo strategico del settore dei servizi urbani – e dei servizi di Urban Facility Management, in particolare – nel supportare le città nell'affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici, apre ad applicazioni concrete nelle città.

Gli UFM services analizzati nello studio di Bernardini (2024) sono il servizio di monitoraggio e manutenzione del verde pubblico e il servizio di monitoraggio e manutenzione delle strade, due servizi strettamente interconnessi sia negli ordinari processi di management urbano che in occasione di eventi estremi come venti forti, piogge intense e inondazioni pluviali e fluviali. In Fig. 4.1 e in Fig. 4.2 si riportano, rispettivamente, un esempio di rappresentazione delle relazioni tra stakeholder e dei flussi informativi tra i diversi soggetti coinvolti nella catena di fornitura del servizio di monitoraggio e manutenzione del verde pubblico in un Comune italiano di medie dimensioni.

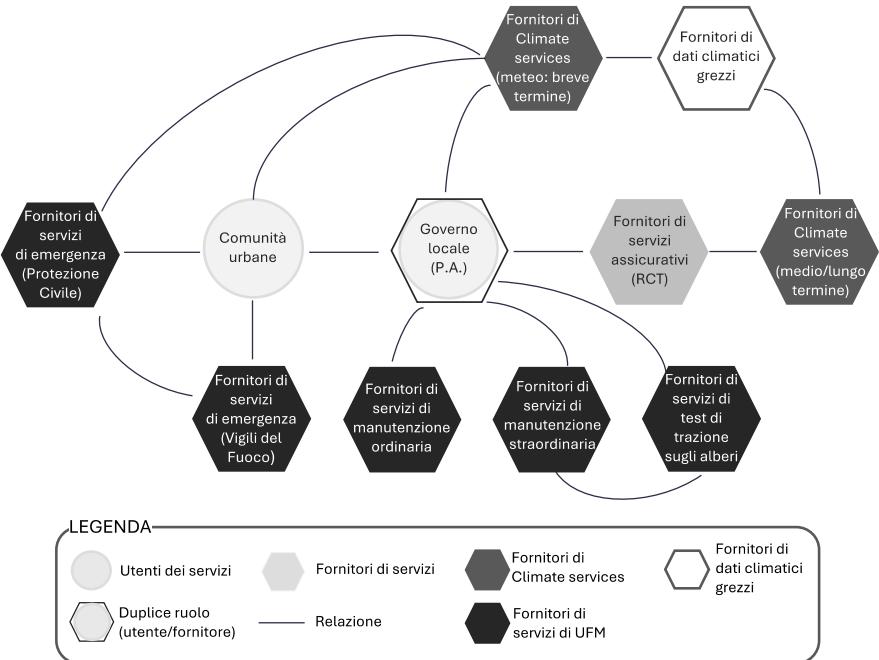


Fig. 4.1 - Relazioni tra gli stakeholder del servizio di monitoraggio e manutenzione del verde pubblico in un Comune italiano di medie dimensioni. Adattato da Bernardini (2024)

L'applicazione al caso pilota della nuova tassonomia e del quadro metodologico appositamente costruito (vedi Bernardini, 2024) per l'analisi dei sistemi complessi di servizi di adattamento comprende la lettura di quattro aspetti interconnessi dei sistemi: i) la struttura organizzativa delle istituzioni coinvolte nei processi di adattamento; ii) le interazioni tra diverse scale e livelli nei sistemi di servizi; iii) le relazioni tra fornitori e utenti di servizi (catena di fornitura); iv) i flussi informativi tra i diversi soggetti e i processi di gestione delle informazioni.

L'analisi ha portato a evidenziare molteplici lacune nell'attuale gestione dei servizi urbani. Tra le altre:

- la mancanza di figure di coordinamento tra i diversi dipartimenti in risposta alla rigidità delle strutture organizzative delle istituzioni ("a silos");
- lacune nei flussi informativi e inefficienze nei processi di gestione delle informazioni relative all'erogazione dei servizi di adattamento;
- l'indisponibilità di figure che possano soddisfare la crescente domanda da parte delle amministrazioni locali di servizi di consulenza specializzati sulle tematiche dell'adattamento climatico nei sistemi urbani che "colmino il divario" tra le informazioni scientifiche e le esigenze pratiche degli utenti finali e/o di altri stakeholder (Climate services).

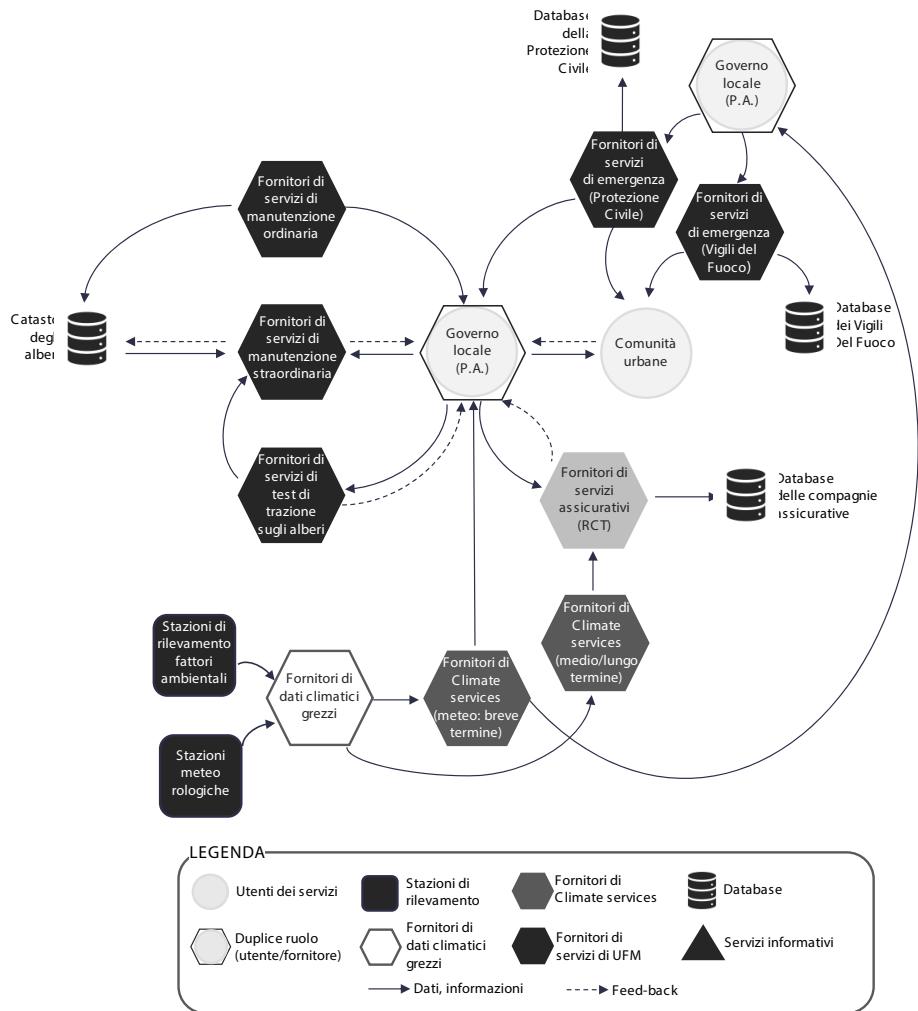


Fig. 4.2 - Mappatura dei flussi informativi tra diversi soggetti coinvolti nella catena di fornitura del servizio di monitoraggio e manutenzione del verde pubblico in un Comune italiano di medie dimensioni. Adattato da Bernardini, 2024

L'osservazione di casi reali ha contribuito a formare l'idea che, in generale, le lacune e le criticità che riguardano i processi di adattamento climatico a scala locale non risiedano tanto nelle singole azioni svolte dai diversi soggetti quanto piuttosto, nella rete di relazioni tra gli stakeholder e nel sistema di contratti e accordi che regolano queste relazioni (Bernardini, 2024).

Di conseguenza, ha preso forma l'ipotesi che, per attivare Adaptation services integrati, sia necessario che le amministrazioni locali (i Comuni) raggiungano le seguenti precondizioni:

- i) la presenza di fornitori di servizi innovativi di consulenza per l'adattamento climatico, che svolgono i seguenti compiti: accesso ai dataset climatici, selezione ed elaborazione delle informazioni climatiche in modo da renderle applicabili e utilizzabili per i processi decisionali strategici a livello locale e (ove necessario) riprogettazione dei processi di gestione e fornitura dei servizi urbani (servizi municipali, servizi di UFM e servizi di emergenza);
- ii) la presenza di fornitori di servizi assicurativi che svolgono i seguenti compiti: valutare i rischi legati al cambiamento climatico (analisi del rischio), stimare gli impatti degli eventi estremi sulla base di statistiche e modelli di previsione raffinati, suggerire soluzioni di adattamento per prevenire le perdite (economiche, sociali, ambientali);
- iii) la presenza di strumenti e procedure per la gestione delle informazioni relative alla catena di fornitura dei servizi urbani, da integrare con le informazioni climatiche fornite dai fornitori di Climate services;
- iv) termini contrattuali flessibili e modulari con i fornitori di servizi urbani tradizionali (servizi municipali, servizi di UFM, servizi di emergenza), al fine di integrare le informazioni climatiche e ricalibrare le operazioni e le pratiche dei servizi su nuovi parametri climatici variabili.

Il ridisegno dei processi di fornitura dei servizi urbani per realizzare l'integrazione con i Climate services ed ottenere così servizi che contribuiscono all'adattamento delle città (Adaptation services) include quindi la ridefinizione dei ruoli e delle responsabilità in ambienti multi-stakeholders, verso una gestione urbana più efficiente ed efficace.

Per sfruttare l'opportunità di impiegare i servizi di Urban Facility Management nell'affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici e per garantire che le informazioni climatiche siano utilizzate come base per la loro progettazione, i capitolati d'appalto e i contratti devono essere riformulati nella prospettiva di questa nuova funzione.

A proposito della disponibilità di consulenza specializzata per il cambiamento climatico, questa svolgerebbe un ruolo chiave capitale in quasi tutte le fasi dei processi di adattamento: dalla pianificazione dell'adattamento alla gestione di eventi estremi, fino alle fasi di recovery e di ripianificazione. I servizi di consulenza specializzata costituirebbero un supporto "su misura" per soggetti pubblici e privati, fornendo conoscenze, facendo diagnosi, formulando raccomandazioni basate sulle diagnosi, assistendo nell'implementazione delle soluzioni raccomandate, costruendo

consenso e coinvolgimento della popolazione per l'implementazione di misure in risposta agli impatti, facilitando l'apprendimento delle diverse parti interessate e migliorando, in generale, la preparazione delle amministrazioni locali e della popolazione relativamente alla gestione del climate change nelle città.

I servizi di consulenza tradizionali per la pubblica amministrazione comprendono numerosi e diversi ambiti di consulenza: tecnico, ambientale, finanziari, assicurativo, settoriale, politico, tra gli altri. I nuovi servizi di consulenza per l'adattamento potrebbero essere forniti da soggetti specializzati che già possiedono competenze rilevanti e utili e che avrebbero accesso a banche dati e fonti di conoscenza climatica in via preferenziale (broker assicurativi, fornitori di servizi climatici, enti di consulenza per aziende private, aziende ambientali e altri).

Si rende necessaria l'introduzione di nuove figure professionali che ricoprono il ruolo chiave di fornitori di servizi di consulenza specializzata per l'adattamento al cambiamento climatico e il raggiungimento della climate neutrality. Questa funzione potrebbe essere espletata da una singola persona o da un team, a seconda delle dimensioni del contesto e delle esigenze degli utenti.

Secondo quanto affermato in questo libro e nella letteratura di riferimento (IPCC, 2023; EEA, 2020; Cortekar *et al.*, 2016 e molti altri), infatti, le soluzioni di adattamento progettate per le amministrazioni locali devono essere adattate alle specificità del contesto, per essere efficaci. Le città sono reti complesse con caratteristiche molto specifiche, come la posizione geografica, la conformazione del territorio, il clima locale, la densità di popolazione, le risorse finanziarie e umane, la cultura ecc. Non è possibile trasferire soluzioni *one-fits-all* (uguali per tutti) da un contesto a un altro.

Pertanto, i fornitori di servizi di consulenza dovrebbero svolgere importanti attività di indagine, valutazione e analisi per individuare e tenere conto di queste specificità nel disegno di misure di adattamento e mitigazione.

L'attivazione di questi servizi innovativi si baserebbe sull'acquisizione di basi di conoscenza specializzate (Climate services) e richiederebbe competenze multidisciplinari che raramente, ad oggi, sono incorporate nello staff di un singolo fornitore.

Le compagnie assicurative e i broker assicurativi sono soggetti che potrebbero essere inclusi nella macro-classe dei servizi di informazione e conoscenza nella nuova tassonomia dei sistemi integrati di servizi di adattamento, per delineare il loro potenziale nuovo ruolo nei processi di adattamento. L'industria assicurativa può svolgere un ruolo importante nel fronteggiare gli impatti dei cambiamenti climatici, in quanto le assicurazioni

sono strumenti economici che possono potenzialmente essere utilizzati per affrontare il tema dell'adattamento ai cambiamenti dei parametri climatici non solo coprendo i danni e le perdite (funzione compensatoria) ma anche – e qui risiederebbe l'innovazione – fornendo informazioni e incentivi per l'adozione di misure di riduzione del rischio e di adattamento (funzione preventiva). Questo auspicabile intervento ex-ante delle compagnie assicurative costituisce di per sé, secondo la visione proposta in questo libro, una soluzione di adattamento soft-approach e può essere annoverato nella categoria dei servizi di consulenza.

In letteratura e nei piani climatici locali delle sei città europee selezionate come casi di studio in questo libro emergono alcuni esempi di nuove figure professionali che svolgerebbero funzioni di consulenza specializzata in questioni che riguardano l'adattamento climatico. Ad esempio, il “Resilience officer” è una nuova figura introdotta dal network internazionale per l'adattamento climatico 100 Resilient Cities¹² con l'obiettivo di supportare le amministrazioni locali nel raggiungimento della climate neutrality e nel miglioramento della resilienza delle città. Un Chief Resilience Officer (CRO) è “una posizione innovativa all'interno del governo [locale] che idealmente riporta direttamente al Sindaco della città e agisce come persona di riferimento per quel che riguarda la resilienza”.

I Chief Resilience Officer assicurano il coordinamento all'interno di sistemi complessi di stakeholder composti da soggetti di natura molto diversa: dal settore privato, alle ONG, alle agenzie governative e non governative, alle organizzazioni non profit e alle comunità urbane (cittadini) e supervisionano l'esecuzione delle singole iniziative. In molti casi, il responsabile della resilienza ricopre il ruolo di “consulente interno” che supporta i diversi dipartimenti delle amministrazioni nell’“applicare una lente di resilienza” a tutti i processi decisionali e nel cercare sinergie tra i diversi piani, progetti e funzioni dei sistemi urbani.

100 Resilient Cities fornisce un elenco dei principali “percorsi” per guidare le città nella transizione climatica, che sono accostabili alle quattro precondizioni necessarie e non sufficienti per il raggiungimento degli obiettivi climatici proposte in questo libro: i) analisi dei rischi e pianificazione dell'adattamento, con proposta di misure climatiche economiche e sociali; ii) consulenza al governo locale per lo sviluppo di un Piano di Resilienza multilivello, che integri rischi ambientali, sociali ed economici; iii) coordinamento intersetoriale e promozione di un approccio integrato tra diversi dipartimenti (urbanistica, protezione civile, mobilità, ambiente,

12. www.rockefellerfoundation.org/100-resilient-cities/.

ecc.); iv) guida finanziaria e logistica per l'introduzione di nuove figure nei processi; v) ricerca di finanziamenti (nazionali ed europei), attraverso la creazione di relazioni con fornitori di servizi e partner del settore privato, pubblico e con le ONG, per attuare le misure incluse nei piani; vi) promozione della partecipazione nelle comunità urbane.

L'Eco manager è un'altra figura di supporto, che viene introdotta per la prima volta nel piano climatico di Parigi e successivamente nominata anche nei piani di Valencia e di Amsterdam. Il suo ruolo è quello di facilitatore energetico operante a livello sub-locale, che utilizzerà una piattaforma di analisi dei dati con analisi sistemiche e in tempo reale per migliorare la progettazione, l'implementazione e il coordinamento di nuovi servizi per i quartieri. Parte dei suoi compiti sarà la proposta di linee guida tecniche per la transizione energetica e il supporto agli utenti nell'adozione di pratiche alternative. L'Eco-manager dovrebbe fungere anche da collegamento tra i diversi fornitori di servizi e le amministrazioni locali; inoltre, supporterà la progettazione di una serie di servizi per migliorare la resilienza e il comfort delle comunità urbane, oltre a incoraggiare i cambiamenti di comportamento degli individui. Infine, è responsabilità dell'Eco-manager tutelare i gruppi di persone più vulnerabili durante gli eventi climatici estremi, gestendo "un mini-hub logistico urbano" (Città di Parigi, 2018).

Una idea molto simile si ritrova anche nella più recente Strategia Urbana 2030 di Valencia: una delle misure previste è creare una rete di uffici di consulenza energetica in città, distribuiti tra i quartieri (Città di Valencia, 2020).

Le figure del Resilience Officier e dell'Eco-manager e altre accostabili a queste offrono un servizio innovativo e che gioca un ruolo cruciale per la gestione di sistemi integrati di Adaptation service. Le funzioni espletate da queste figure sono essenzialmente riconducibili al ruolo di un coordinatore, che potrebbe essere una singola persona o un team, a seconda della specificità del contesto urbano e delle esigenze degli utenti. Questo servizio potrebbe essere incluso nell'offerta dei fornitori di servizi di consulenza per l'adattamento e/o dai fornitori di servizi assicurativi, supportati dai fornitori di Climate services.

In questo libro si sceglie per semplicità di adottare il termine "Coordinatore" per riferirsi a questo tipo di figure innovative. Il Coordinatore sarebbe il soggetto responsabile di comunicare in modo continuativo con l'amministrazione locale e fornire informazioni e consulenza in tempo reale in caso di eventi estremi, oltre a fornire consulenza sulle gare d'appalto e sulla riscrittura dei capitolati e dei contratti per l'acquisizione e la gestione di beni e servizi urbani, così come sulle decisioni strategiche (a medio-lungo termine) relative all'adattamento; si occuperebbe della gestione delle relazioni nelle reti territoriali; collaborerebbe con i fornitori di servizi

assicurativi e con i broker per integrare una forte base informativa climatica nei processi di definizione delle polizze per enti pubblici e privati; assicurebbe il coordinamento tra i diversi dipartimenti comunali; fungerebbe da intermediario tra i fornitori di servizi climatici e gli utenti.

Le quattro precondizioni per attivare servizi di adattamento integrati e, quindi, consentire le transizioni urbane verso l'adattamento ai cambiamenti climatici e la neutralità climatica, sono necessarie ma non sufficienti da sole a garantire il raggiungimento di livelli elevati di coordinamento all'interno dei sistemi antropici, che facilitino l'adattamento climatico a scala locale: come spesso accade, la disponibilità di risorse è un elemento essenziale che abilita (o ostacola) l'adattamento nelle città. Tuttavia, se è vero che gli interventi strutturali previsti nelle strategie di hard-resilience spesso implicano l'impiego di una grande quantità di risorse, nel caso di soluzioni di adattamento soft, invece, le risorse mobilitate sono principalmente di tipo immateriale. L'approccio soft è da questo punto di vista una possibile risposta alle difficoltà delle città che riguardo l'aspetto dei finanziamenti.

Ogni soggetto, sia esso pubblico o privato, conta su una serie di risorse che, in base alla loro natura, sono classificabili in due macro-categorie: risorse materiali e risorse immateriali. La prima categoria corrisponde al capitale fisico, mentre la seconda comprende elementi come il capitale umano e intellettuale, le competenze, la comunicazione e la trasparenza, le reti e le relazioni, le tecnologie e i processi, il contesto lavorativo e la cultura organizzativa, la reputazione, l'adattabilità e la flessibilità (Opresan-Stan *et al.*, 2018). A livello generale, le risorse possono essere distinte in risorse fisiche, risorse umane, risorse intellettuali, risorse finanziarie. Le “5 M” del management sono un altro modo per sintetizzarle: “Manpower”, o le risorse umane coinvolte nei processi produttivi; “Machines”, ossia le attrezzature e tecnologie utilizzate; “Materials”, le materie prime e i componenti necessari alla produzione di un bene o di un servizio; “Methods”, cioè le procedure e i processi operativi adottati; “Measurements”, ossia i sistemi e le procedure di monitoraggio e valutazione delle performance (Slack *et al.*, 2022).

Qualunque sia il metodo adottato per classificare le risorse, identificare e valutare i mezzi disponibili all'interno dei sistemi di stakeholder consente una gestione più mirata e l'applicazione di strategie per il loro impiego. Ciò è ancora più importante nel caso di comuni di piccole o medie dimensioni, che spesso dispongono di risorse materiali e immateriali molto limitate.

La creazione di partenariati (pubblico-privati) e di reti territoriali potrebbe rappresentare una risposta valida a questa problematica, in quanto consentirebbe una condivisione sistematica di risorse complementari, siano esse tangibili o intangibili (come le competenze).

Il concetto europeo di ITI (Integrated Territorial Investments¹³), che prevede l'attuazione di strategie territoriali integrate, suggerisce di riunire “le risorse di diversi assi prioritari di uno o più programmi operativi per l'attuazione di interventi multidimensionali e intersettoriali” (UE, 2015).

Le amministrazioni locali trarrebbero vantaggio dalla condivisione di alcuni servizi, come i servizi di consulenza specializzata per l'adattamento, con altri comuni situati nello stesso territorio. Potrebbero acquisire questi servizi non come singoli comuni, ma associarsi e creare reti di comuni. Questa scelta sarebbe utile non solo per far fronte ai costi ma anche per ottimizzare il coordinamento degli interventi e la ricerca di sinergie e complementarietà alla scala del territorio e per facilitare lo scambio di esperienze e di competenze. Ciò costituirebbe una strategia valida per ottenere una maggiore resilienza urbana e una grande opportunità per le amministrazioni locali di rafforzare le relazioni e le partnership sul territorio.

La Fig. 4.3 propone una rappresentazione schematica e semplificata di un sistema integrato di Adaptation services generici, che include nuove figure professionali di supporto (identificate dal termine “coordinatore” nel diagramma) come parte della stessa offerta dei fornitori di servizi di consulenza (i servizi di consulenza specializzata per l'adattamento). Nel diagramma si rappresenta anche il principio di condivisione delle risorse tra più comuni (tre città, nell'esempio), su scala territoriale: il fornitore di servizi di consulenza (che include la figura del coordinatore) è al centro della rete di stakeholder, e riceve informazioni climatiche e altri Climate services da un fornitore unico. Queste informazioni vengono “tradotte” in forma di prodotti informativi finiti, ad-hoc e direttamente applicabili nei processi decisionali, per essere trasmessi ai governi locali e ai fornitori di servizi assicurativi. Il coordinatore collabora in modo continuativo e a stretto contatto con le pubbliche amministrazioni locali. Con il supporto del coordinatore, che garantisce l'integrazione dei Climate services in tutte le procedure di pianificazione e in tutte le operazioni, le amministrazioni locali progettano e gestiscono i servizi urbani (servizi municipali, servizi di Urban Facility Management e servizi di emergenza). Grazie all'associazione tra diversi comuni dello stesso territorio, anche alcuni servizi urbani possono essere condivisi, in un'ottica di sinergia, ottimizzazione del servizio e potenziale riduzione dei costi.

13. chrome-extension://efaidnbmnnibpcapcglclefindmkaj/https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/reports/iti_en.pdf.

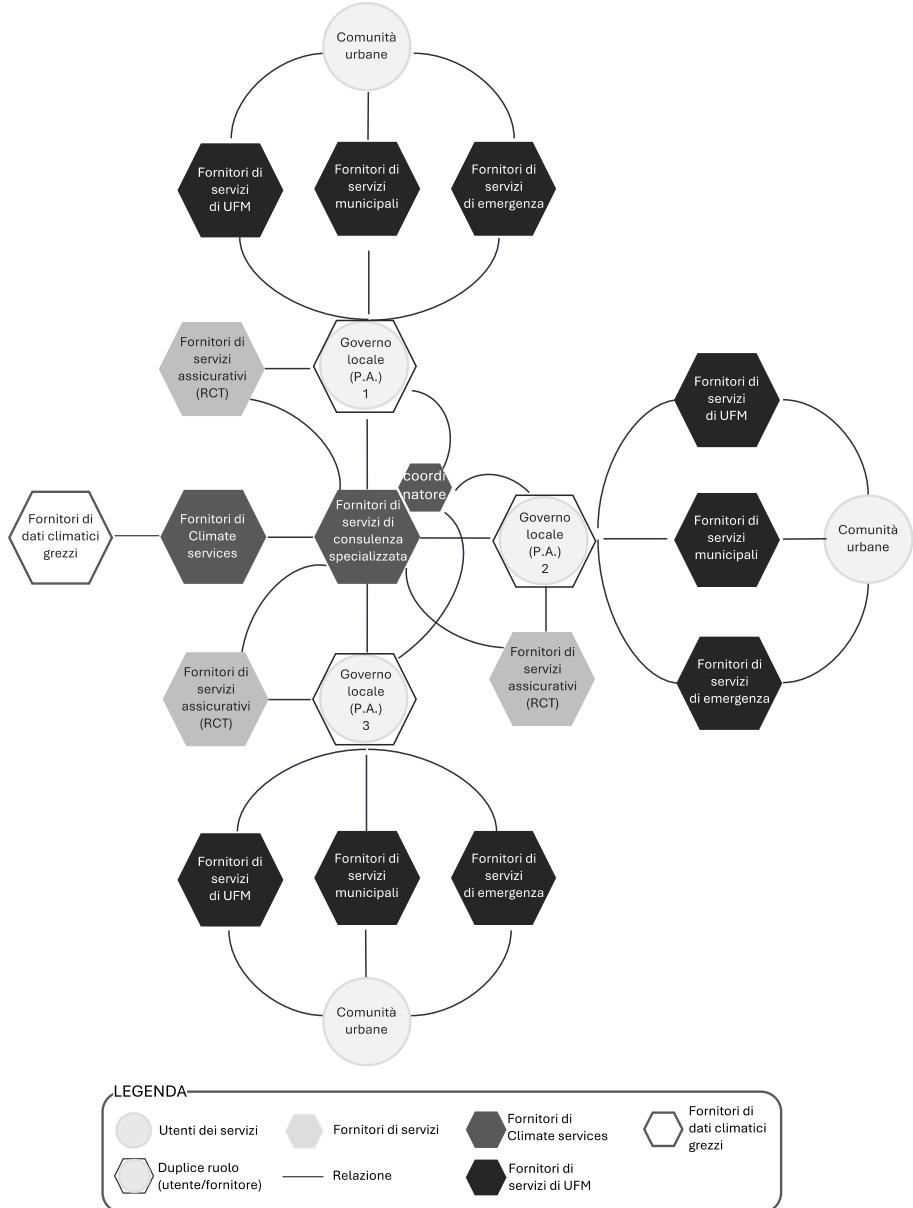


Fig. 4.3 - Proposta di ridisegno delle relazioni tra stakeholder in un ambiente integrato di Adaptation services: ottimizzazione del coordinamento all'interno delle reti territoriali di comuni grazie all'introduzione di un unico fornitore di servizi di consulenza per l'adattamento e della figura innovativa di un coordinatore unico, condiviso tra le tre amministrazioni locali

Questo schema generico costituisce anche un tentativo di sintesi grafica delle diverse questioni emerse nel Cap. 4 e affrontate nei diversi paragrafi: si rintraccia la nuova proposta di tassonomia dei servizi, si evidenzia il ruolo centrale dell'informazione climatica e si chiariscono le relazioni tra i servizi di informazioni e conoscenza (Climate services e servizi di consulenza per l'adattamento) e il settore dei servizi urbani.

5. Nuovi scenari climatici per l'ambiente costruito

5.1. La dimensione del cambiamento climatico

Il tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici possiede ormai una vastissima trattazione e ricchezza di indagini alle diverse scale territoriali (EEA, 2016; EEA, 2017; CMCC, 2021; EEA, 2022a; EEA, 2022b; EEA, 2023; EEA, 2024a; IPCC, 2023, UNEP, 2024). L'adattamento ai cambiamenti climatici pone molte questioni che dovrebbero essere considerate con altrettanta grande attenzione anche alla scala degli edifici nel loro intero ciclo di vita, a partire dalla concezione dell'opera e dalla scelta della sua localizzazione. Sicuramente molte misure di adattamento possono essere attuate anche nella fase di utilizzo del bene in termini sia di migliorie in logica manutentiva sia di riqualificazione. Va però considerato che un edificio non pensato in relazione alla possibilità di adattamento ai fenomeni climatici potrebbe facilmente presentare una serie di vulnerabilità e rigidità alla trasformazione, con importanti ricadute sulle sue prestazioni e sui costi di gestione, sia per l'esercizio che per la manutenzione. La sfida dell'adattamento ai cambiamenti climatici si confronta con una molteplicità di fenomeni che hanno effetti – alcuni con una accelerata tendenza alla cronicizzazione, altri acuti – rispetto ai quali è necessario considerare nuovi approcci al progetto e alle pratiche della costruzione e della gestione degli edifici (Tab. 5.1).

I dati che costantemente monitorano alcuni parametri climatici e gli eventi meteorologici estremi danno la misura dello stress al quale l'ambiente costruito è sottoposto e, allo stesso tempo, evidenziano il rischio della inadeguatezza di infrastrutture ed edifici progettati in riferimento a condizioni ormai profondamente diverse dalle attuali. Si tratta di una pressione sull'ambiente che, come molte fonti dimostrano (IPCC, 2023; Copernicus Climate Change Service, 2024), investe con diverse intensità tutto il mondo senza conoscere frontiere.

Tab. 5.1 - Classificazione dei pericoli (hazard) legati al clima. COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2021/2139 4 June 2021 supplementing Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council by establishing the technical screening criteria for determining the conditions under which an economic activity qualifies as contributing substantially to climate change mitigation or climate change adaptation and for determining whether that economic activity causes no significant harm to any of the other environmental objectives. Appendix A

	Legati alla temperatura	Legati al vento	Legati all'acqua	Massa solida correlata
Cronici	Cambiamento della temperatura (aria, acque dolci, acque marine)	Cambiamento del regime dei venti	Cambiamento del regime e del tipo di precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Erosione costiera
	Stress da calore		Precipitazione o variabilità idrologica	Degrado del suolo
	Variabilità della temperatura		Acidificazione degli oceani	Erosione del suolo
	Scioglimento del permafrost		Intrusione salina	Soliflussione
			Innalzamento del livello del mare	
			Stress idrico	
Acuti	Ondata di caldo	Ciclone, uragano, tifone	Siccità	Valanga
	Ondata di freddo/gelo	Tempesta (comprese bufere di neve, polvere e tempeste di sabbia)	Forti precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Frana
	Incendi boschivi	Tromba d'aria	Alluvioni (costiere, fluviali, pluviali, sotterranei)	Subsidenza
			Collasso di laghi glaciali	

A livello Europeo (EEA, 2017) è ormai accertata l'incidenza degli eventi riferibili ai pericoli cronici e acuti legati al clima sugli aspetti sociali (Fig. 5.1) ed economici¹.

1. Gli eventi meteorologici e climatici estremi hanno causato perdite economiche stimate in 738 miliardi di EUR (vedi anche Tab. 1.1) nel periodo 1980-2023 nell'Unione europea. I

Il recente European Climate Risk Assessment² (EEA, 2024b) si concentra sui pericoli legati al cambiamento climatico (per esempio ondate di calore, siccità prolungate e inondazioni) facendo emergere le loro interazioni con fattori di rischio non legati al clima quali ad esempio la frammentazione degli ecosistemi, l'inquinamento, pratiche agricole e gestione delle risorse idriche non sostenibili, disuguaglianze sociali. Con l'obiettivo di valutare gli effetti a cascata tra sistemi (tra regioni internamente all'Europa, e tra Europa e resto del mondo) sono individuate cinque macroaree critiche: sicurezza alimentare, salute pubblica, ecosistemi, infrastrutture ed economia.

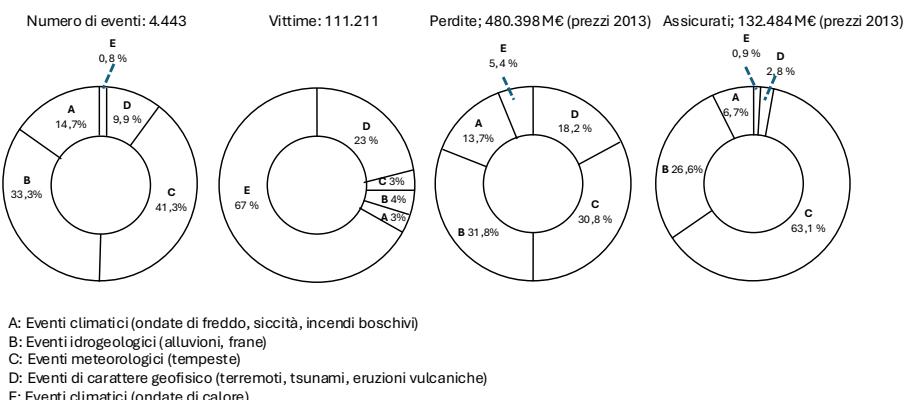


Fig. 5.1 - Eventi, perdite e perdite assicurate a causa di eventi naturali. Fonte: EEA, 2017

Focalizzando l'attenzione sull'Italia è possibile osservare come il numero degli eventi meteo estremi sia in costante crescita; secondo dati dell'Osservatorio Città Clima di Legambiente nel 2024 questo numero è

pericoli idrologici (alluvioni) rappresentano il 44% e i pericoli meteorologici (temporali, inclusi fulmini e grandine) quasi il 29% del totale. Per quanto riguarda i pericoli climatologici, le ondate di calore causano quasi il 19% delle perdite totali (ma sono responsabili del 95% delle vittime) mentre il restante 8% è causato da siccità, incendi boschivi e ondate di freddo insieme (EEA, Economic losses from weather- and climate-related extremes in Europe, rapport, 2024).

2. L'European Climate Risk Assessment (EEA, 2024b) individua 36 rischi climatici con conseguenze potenzialmente gravi in tutta Europa. I rischi sono valutati in base a gravità del rischio, orizzonte politico (tempo e orizzonte decisionale), preparazione politica e propensione al rischio. Il report individua, inoltre, le priorità per l'azione politica dell'UE, sulla base di una valutazione strutturata dei rischi unita a valutazioni di aspetti qualitativi, come ad esempio la considerazione della giustizia sociale. Il report per quanto riguarda le infrastrutture individua, in ordine di urgenza di intervento, i rischi connessi a: inondazioni pluviali e fluviali, inondazioni costiere, danni alle infrastrutture e agli edifici, interruzioni energetiche dovute al caldo e alla siccità (regione hotspot: Europa meridionale), interruzioni energetiche dovute a inondazioni, trasporti marittimi, trasporti terrestri.

stato pari quasi a 6 volte (+485%) quelli registrati nel 2015, con la prevalenza di danni da siccità prolungata (+54,5% rispetto al 2023), da esondazioni fluviali (+24%) e da allagamenti dovuti alle piogge intense (+12%). Sebbene il Nord Italia risulti il più colpito (198 eventi meteo estremi), danni dovuti a casi di allagamenti da piogge intense, vento, esondazioni, siccità prolungata, grandinate, frane da piogge intense, mareggiate, e temperature record sono significativamente presenti in tutto il territorio nazionale.

ISPRRA (2024) conduce annualmente il monitoraggio di alcuni indicatori climatici (Tab. 5.2) descrivendone l'andamento rispetto ai valori normali di lungo periodo attraverso il calcolo dei valori di anomalia, cioè delle differenze percentuali tra i valori registrati in un determinato anno e il valore normale di lungo periodo calcolato su finestre temporali pluriennali di riferimento.

Tab. 5.2 - Indicatori ambientali e variazioni climatiche in Italia, periodo di osservazione 1961-2022. Fonte: Ispra (2024)

Indicatori	Descrizione	Andamento
Temperatura media	Media, in un determinato intervallo di tempo, dei valori di temperatura dell'aria misurata a due metri dalla superficie.	È stato stimato, mediante un modello di regressione lineare semplice, un aumento significativo della temperatura media in Italia di circa 0,39 °C per decade nel periodo 1981-2022.
Precipitazione cumulata	La precipitazione cumulata in un determinato intervallo di tempo rappresenta la quantità di pioggia caduta in quel determinato intervallo di tempo.	Il 2022 si colloca al 1° posto tra gli anni meno piovosi dell'intera serie storica.
Giorni con gelo	Numero di giorni con temperatura minima assoluta dell'aria minore o uguale a 0 °C.	Ultimi 10 anni giorni con gelo inferiori alla norma, eccetto 2017.
Giorni estivi	Numero di giorni con temperatura massima dell'aria maggiore di 25 °C.	Negli ultimi 10 anni i giorni estivi sono stati sempre superiori al trentennio 1991-2020, ad eccezione del 2013, 2014, 2016 e 2020 Il 2022 è al 1° posto fra i più alti dell'intera serie storica.
Giorni torridi	Numero di giorni con temperatura massima dell'aria maggiore di 35 °C.	Negli ultimi 10 anni i giorni torridi sono stati sempre superiori alla norma, ad eccezione del 2014, del 2016 e del 2018. Il 2022 è al 2° posto fra i più alti dell'intera serie storica.

Tab. 5.2 - segue

Indicatori	Descrizione	Andamento
Notti tropicali	Numero di giorni con temperatura minima dell'aria maggiore di 20 °C	Negli ultimi 10 anni le notti tropicali sono state sempre superiori al trentennio di riferimento 1991-2020, ad eccezione del 2013, 2014 e del 2016. 2022 al 1° posto fra gli anni più caldi dell'intera serie storica.
Onde di calore	Evento dalla durata di almeno sei giorni consecutivi nei quali la temperatura massima è superiore al 90° percentile della distribuzione delle temperature massime giornaliere nello stesso periodo dell'anno sul trentennio climatologico 1991-2020	L'andamento della serie annuale del numero medio di giorni con onde di calore rispetto al valore medio calcolato nel trentennio di riferimento 1991-2020 mostra un aumento delle onde di calore negli ultimi venti anni. Il 2022 è al 1° posto fra i valori più alti dell'intera serie storica con 47 giorni rispetto al valore medio calcolato nel trentennio 1991-2020.

Queste analisi consentono di comprendere l'entità dei mutamenti che in modo repentino, ma con tendenze chiaramente leggibili sul medio periodo, stanno ridefinendo i valori di alcuni indicatori climatici, fortemente impattanti sugli edifici e sulla loro capacità di rispondere con continuità ai requisiti per i quali sono stati progettati. La dimensione del rischio di inadeguatezza dell'ambiente costruito di fronte ai cambiamenti climatici è intuibile attraverso la lettura delle anomalie, rispetto ai valori climatologici normali di un periodo di riferimento (1991-2020), che in tempi recenti caratterizzano alcuni degli indicatori climatici, quali (Ispra, 2024):

- le temperature medie (Fig. 5.2). A partire dal 2000, le anomalie rispetto alla base climatologica del periodo di riferimento sono state sempre positive (ad eccezione degli anni 2004, 2005, 2010 e 2013) e il 2022 è stato il nono anno consecutivo con anomalia positiva rispetto alla norma. L'anomalia della temperatura media annuale è stata in media di +1,39 °C al Nord, +1,23 °C al Centro e +1,06 °C al Sud e Isole. L'anomalia rispetto alla media climatologica 1991-2020 in Italia è +1,23 °C. In Italia, il 2022 è risultato l'anno più caldo dell'intera serie annuale dal 1961;
- l'andamento delle precipitazioni. Nel 2022, le precipitazioni cumulate annuali in Italia sono state complessivamente inferiori di circa il 22% alla media climatologia 1991-2020 (-33% circa al Nord, -15% circa al Centro, -13% circa al Sud e Isole);

- giorni con gelo. Nel 2022 è stata osservata una diminuzione di circa 6 giorni con gelo rispetto al valore medio calcolato nel trentennio osservato;
- giorni estivi. Le anomalie medie annuali del numero di giorni estivi (Fig. 5.3) evidenziano per il 2022 un incremento di circa 23 giorni rispetto al valore medio calcolato nel periodo 1991-2020;

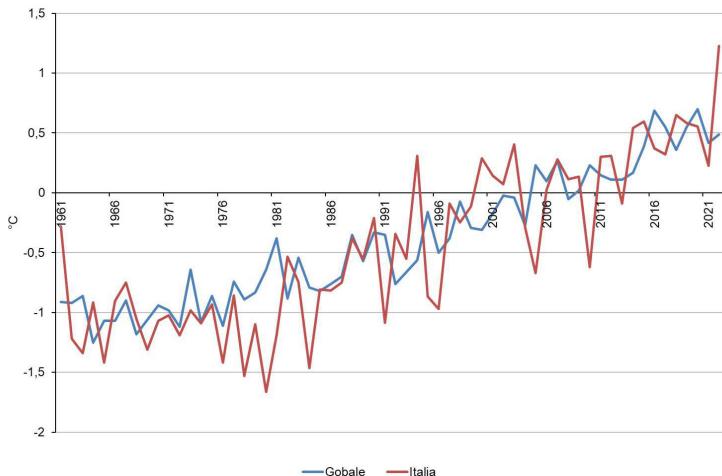


Fig. 5.2 - Serie delle anomalie medie annuali della temperatura media sulla terraferma, globale e in Italia, rispetto ai valori climatologici normali 1991-2020. Fonte: ISPRA 2024

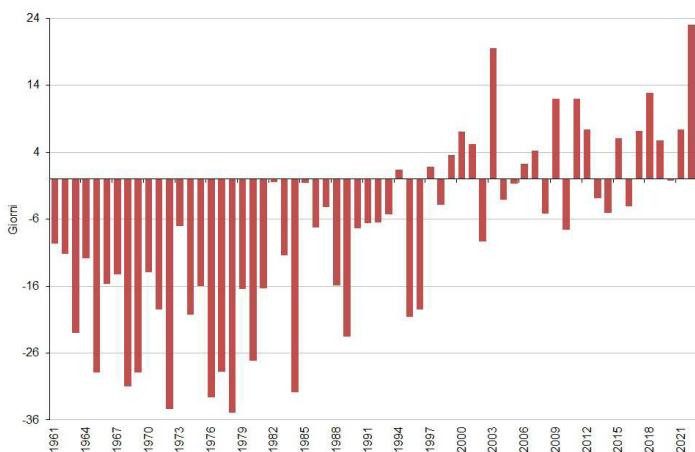


Fig. 5.3 - Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni estivi in Italia rispetto al valore normale Nel periodo 1991-2020. Fonte: ISPRA 2024

- giorni torridi (Fig. 5.4) e ondate di calore (Fig. 5.5). Le anomalie annuali per il 2022 sono riferibili ad un incremento di circa 9 giorni torridi rispetto al valore medio calcolato nel periodo 1991-2020;

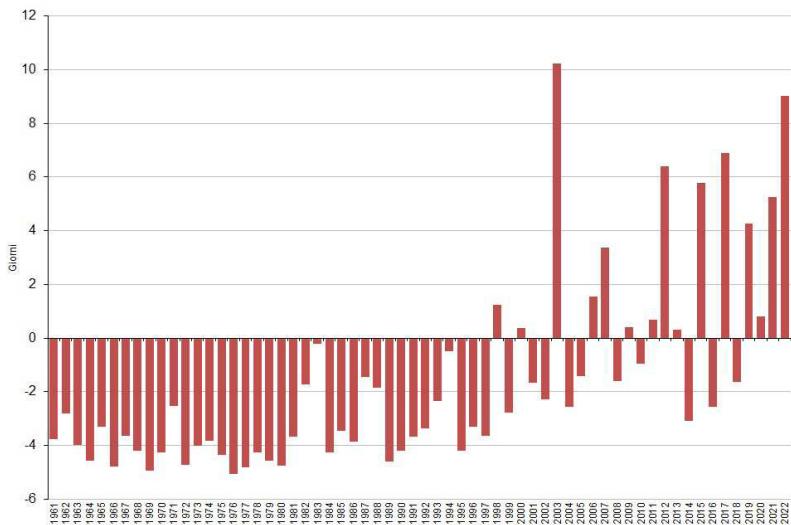


Fig. 5.4 - Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni torridi in Italia rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: ISPRA 2024

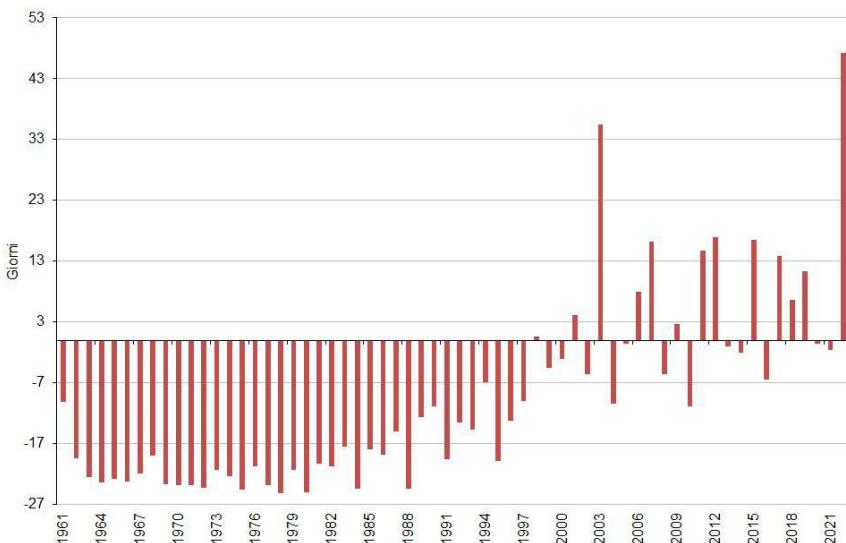


Fig. 5.5 - Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni con onde di calore (WSDI) in Italia rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: ISPRA 2024

- Notti tropicali (Fig. 5.6). Nel 2022 l'incremento è di circa 22 notti tropicali rispetto al valore medio calcolato nel periodo di riferimento.

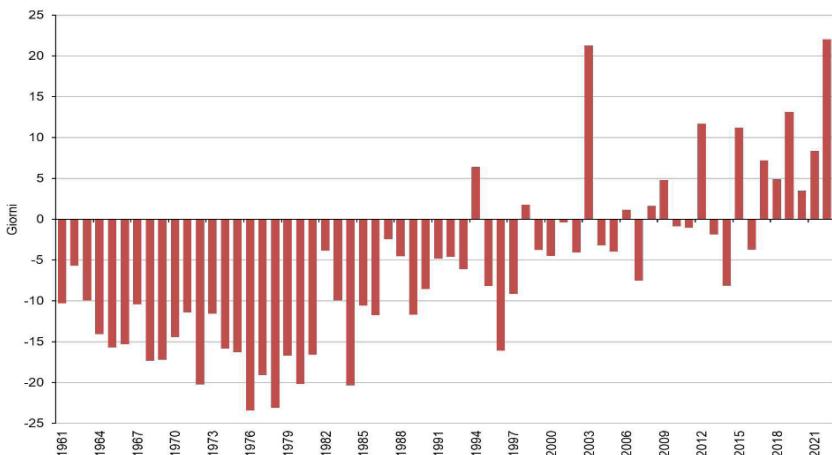


Fig. 5.6 - Serie delle anomalie medie annuali del numero di notti tropicali in Italia rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: ISPRA 2024

I grafici riportati danno nel loro insieme la percezione di come i cambiamenti climatici abbiano visto, rispetto ad alcuni indicatori, una accentuazione nell'ultimo ventennio.

Questi indicatori evidenziano anche che, tra i pericoli conseguenti al cambiamento climatico, i problemi più crescenti sono quelli legati all'innalzamento delle temperature, oltre che agli eventi estremi connessi alle precipitazioni: lotta al surriscaldamento delle superfici, soluzioni per il raffrescamento degli spazi, protezioni delle parti degli edifici più esposte alle azioni aria-acqua diventano temi centrali per una progettazione attenta al cambiamento climatico.

Ne consegue una riflessione su come nuovi quadri prestazionali debbano essere richiesti agli edifici. Avere una visione d'insieme dei tanti effetti, che i cambiamenti climatici possono avere su un edificio, richiede la mobilitazione di tutti gli attori coinvolti nelle diverse fasi del ciclo di vita di un edificio lungo la catena del valore dei beni. È necessaria la consapevolezza che nel ciclo di vita i danni causati da una scarsa resilienza rispetto agli effetti dei cambiamenti climatici possono comportare costi (PEEB, 2020) significativamente superiori rispetto all'investimento necessario a rivedere alcuni criteri di progettazione (Fig. 5.7). Valutare i costi di un edificio non concepito nella prospettiva dell'adattamento ai cambiamenti climatici significa considerare almeno i costi finanziari legati a:

- i costi di riparazione dei danni causati da eventi climatici che potrebbero non essere coperti da regimi assicurativi³;
- la diminuzione del valore locativo o patrimoniale di edifici non adatti⁴, o ridotti nella loro fruibilità o degradati a causa dei fenomeni climatici;
- il fabbisogno energetico legato a consumi anomali dovuti al clima (van Ruijven *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2022; Lan, 2025).

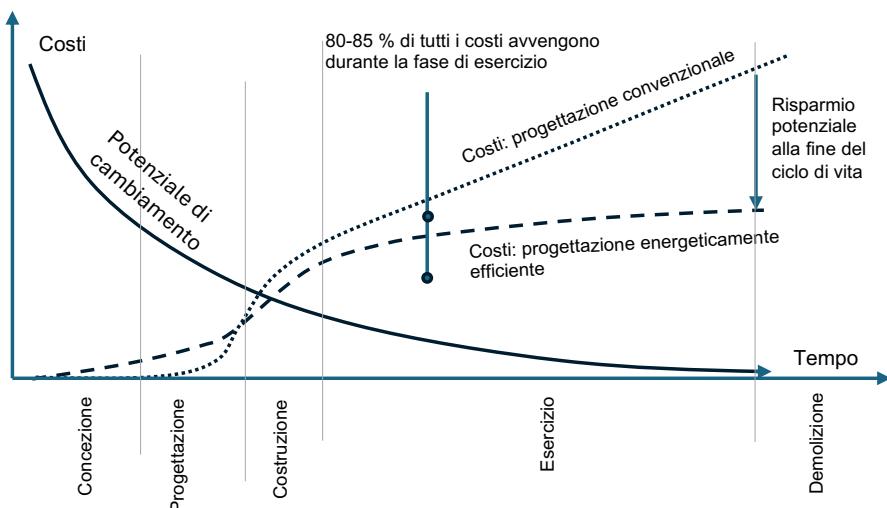


Fig. 5.7 - Progettazione degli edifici e costo dei cambiamenti. Fonte: PEEB, 2020

3. Le assicurazioni svolgono un ruolo cruciale nella mitigazione delle conseguenze economiche e finanziarie di eventi legati ai cambiamenti climatici, in particolare in occasione di catastrofi, fornendo fondi per la ricostruzione e per contribuire a coprire le perdite di entrate e i costi durante la ripresa. Tuttavia, si è osservato che solo il 19,5% delle perdite dovute a eventi meteorologici estremi in Europa nel periodo 1980-2022 erano assicurati, con grandi disparità tra i paesi, facendo emergere un significativo divario a livello globale. Affrontare tale divario assicurativo in Europa è una priorità ampiamente riconosciuta dalla BCE e dall'Unione europea (EEA, 2024a). È da considerare che l'aumento della frequenza e della gravità delle catastrofi naturali potrebbe generare un aumento dei premi assicurativi, incrementando di conseguenza tale divario. Inoltre le compagnie assicuratrici potrebbero anche ridurre le coperture andando ad evitare aree ad alto rischio, come per esempio è stato osservato negli Stati Uniti, dove le principali assicurazioni hanno smesso di emettere nuove polizze in California devastata dagli incendi (Hill, 2023).

4. Esistono evidenze, ad esempio negli Stati Uniti, di edifici esposti al rischio di innalzamento del livello del mare che vedono il loro prezzo di mercato significativamente ridotto (Bernstein *et al.*, 2019). Questi tipi di fenomeni stanno iniziando ad essere considerati molto seriamente da investitori, fondi immobiliari e banche nella valutazione dei loro portafogli di investimenti (UNEP FI, 2019).

5.2. Cambiamento climatico e cambiamento culturale

L'adattamento degli edifici ai cambiamenti climatici richiede per i vari soggetti della filiera delle costruzioni un avvicinamento alla cultura del rischio. Questo presuppone lo sviluppo di capacità, ad oggi poco presenti nell'ambito delle costruzioni, di valutazione dei rischi chiave⁵ (IPCC, 2013), di relazione con gli enti preposti alla gestione dei dati climatici e delle catastrofi, così come di interazione con il mondo assicurativo.

Assumere il tema dei rischi legati al cambiamento climatico significa anche assumere criteri interpretativi dei possibili comportamenti degli edifici e dei loro utilizzatori al fine di definire requisiti e approcci progettuali orientati all'adattamento. Studi recenti evidenziano (André *et al.*, 2023; Englund *et al.*, 2022; Daniels *et al.*, 2020) i benefici sulla capacità di valutare i rischi climatici ottenibili da processi di co-produzione della conoscenza e condivisione di casi di studio, sviluppati con il coinvolgimento attivo di stakeholder di filiera e studiosi. In questo senso interessanti sono le potenzialità dei modelli impact chain⁶ che, attraverso metodiche partecipative ed utilizzo di dati a livello anche locale, sono in grado di legare pericoli, impatti, esposizioni e vulnerabilità per fornire schemi di valutazioni *cause-oriented* dei rischi climatici, fondamentali per la defini-

5. I rischi chiave sono impatti potenzialmente severi riferibili all'articolo 2 del United Nations Framework Convention on Climate Change, che parla di “pericolosa interferenza antropica con il sistema climatico”. I rischi sono definibili chiave in considerazione di una serie di criteri: elevata pericolosità o elevata vulnerabilità delle società e dei sistemi esposti, o di entrambi; grande entità; alta probabilità o irreversibilità degli impatti; tempistica degli impatti; vulnerabilità persistente o esposizione che contribuisce ai rischi; potenziale limitato di riduzione dei rischi attraverso l'adattamento o la mitigazione (IPCC, 2013).

6. La norma EN ISO 14091: 2021 “Adattamento ai cambiamenti climatici — Linee guida sulla vulnerabilità, gli impatti e la valutazione dei rischi” descrive l’impact chain come un approccio analitico che consenta di comprendere in che modo determinati pericolosi generano impatti che si propagano attraverso un sistema a rischio. Le impact chain sono solitamente sviluppate attraverso work shop, visite sul campo, ed altre modalità partecipative, coinvolgendo stakeholder ed esperti. Le finalità sono molteplici: creare un quadro comunemente concordato, relativo alle cause profonde dei rischi climatici in un contesto specifico; consentire l'integrazione di dati, conoscenze sviluppate a livello locale (ad esempio, dati provenienti dai servizi meteorologici nazionali e conoscenze degli operatori locali) e insegnamenti provenienti da passate esperienze; prendere in considerazione ipotesi di adattamento insieme a diversi attori (ad esempio, i responsabili delle decisioni delle autorità nazionali o locali). Lo schema di riferimento risultante dal processo partecipativo può essere poi integrato da dati che consentono l’approfondimento delle valutazioni e il monitoraggio nel tempo delle situazioni. Questo approccio spesso rivela gli elementi critici di un sistema ed elementi relativi a una potenziale situazione futura sulla base di ipotesi sul clima previsto, come pure possibili tendenze future nell'esposizione e nelle vulnerabilità (Dodman *et al.*, 2022).

zione di strategie di adattamento (Menk *et al.*, 2022; Zebisch *et al.*, 2022). In genere si tratta di modelli applicati alla scala urbana e sovraurbana (come l'esempio riportato in Fig. 5.8 (Dodman *et al.*, 2022), ma la metodologia si presta ad essere trasferita anche alla scala dell'edificio.

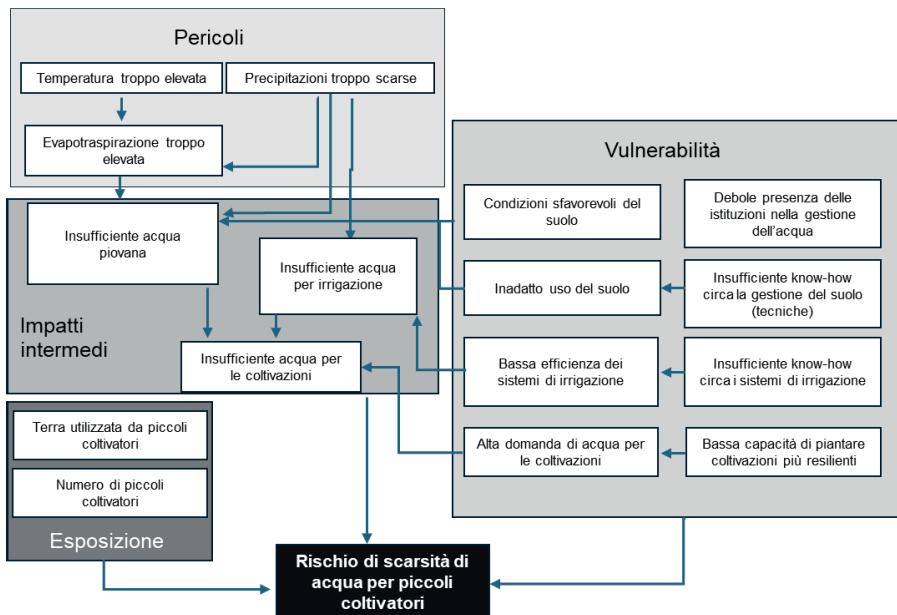


Fig. 5.8 - Esempio di impact chain per la valutazione del rischio di scarsità d'acqua per piccoli agricoltori. Fonte: Menk *et al.*, 2022

Nel quadro della elaborazione e sperimentazione di strategie di adeguamento del patrimonio edilizio, di estrema urgenza è anche lo sviluppo di servizi agli stakeholder per supportare decisioni *risk informed* (Vincent *et al.*, 2018; Vaughan *et al.*, 2018), ossia pienamente consce del quadro di pericoli e impatti derivabili dal cambiamento climatico. In questo senso si apre un importante tema che è quello dell'allargamento delle competenze dei tradizionali operatori come pure di nuove figure, di carattere transdisciplinare, di consulenza e di servizi di supporto alle decisioni in relazione a scenari climatici e ai loro possibili effetti alle diverse scale. Uno studio sviluppato dal UK Green Building Council (UKGBC, 2022) evidenzia la crescente necessità per le organizzazioni, sia pubbliche che private, di strumenti e servizi per la valutazione del rischio da cambiamento climatico riguardante i beni strumentali e individua una gradualità

di approcci in relazione alla dimensione, alla criticità e alla capacità di spesa delle singole realtà (Fig. 5.9). Secondo lo studio citato:

- le piccole imprese possono avviare il loro percorso di valutazione del rischio fisico iniziando con l'autoanalisi come opzione a basso costo (lo studio propone una metodologia di analisi da applicare a questo livello);
- le organizzazioni più grandi possono richiedere servizi di analisi del rischio climatico che utilizzano modelli climatici più accurati per comprendere i rischi;
- le aziende con asset⁷ di alto valore all'interno del loro portafoglio possono nominare direttamente consulenti specializzati per i singoli rischi che devono affrontare.

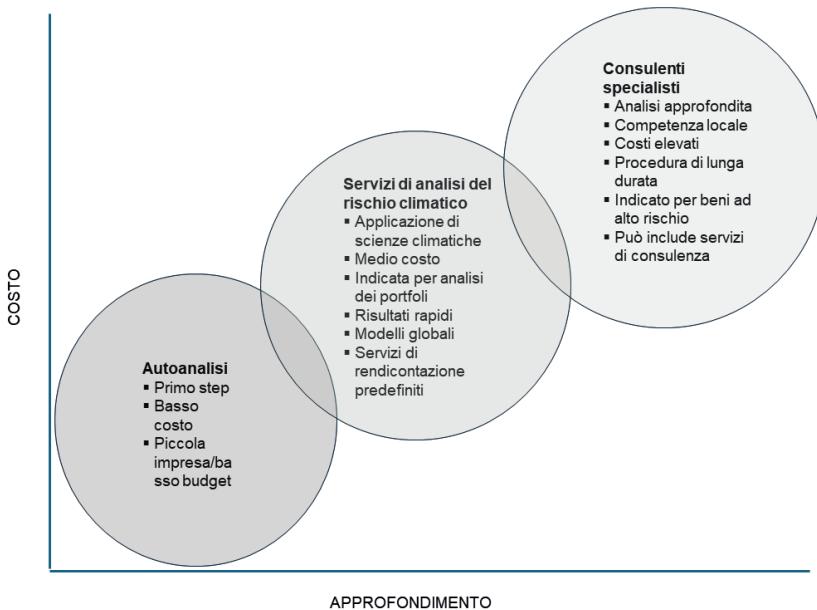


Fig. 5.9 - Caratteristiche e livello di dettaglio dei possibili servizi di analisi del rischio da cambiamento climatico. Fonte UKGBC, 2022

Multidisciplinarità, multiscalarità e incertezza sicuramente concorrono alla complessità della valutazione dei rischi da cambiamento climatico per l'ambiente costruito e rendono impegnativa la definizione di strategie di adattamento del costruito. Diversi aspetti convergono a definire tale comple-

7. La norma ISO 55000:2024 *Asset management – Vocabulary, overview and principles*, definisce il termine asset come: “Elemento, oggetto o entità che ha un valore potenziale o effettivo per un’organizzazione”.

sità. In primo luogo, i fenomeni osservati si possono collocare dal livello territoriale più ampio a quello locale in relazione a diversi archi temporali e perimetri ecosistemici. In secondo luogo i diversi attori, che nell'intero ciclo di vita hanno diversi ruoli nella catena del valore degli edifici, hanno sensibilità e approcci differenti rispetto agli impatti dei cambiamenti climatici. Infine non può essere ignorato l'aspetto economico (Feridun *et al.*, 2020; Monasterolo, 2020). Tutti questi aspetti vanno considerati alla luce sia delle leve, che possono derivare da misure prese a livello macroeconomico (Hallegatte *et al.*, 2020) e comunitario, sia del freno ad investire sull'adattamento sul nuovo e sull'esistente in assenza di previsioni attendibili degli eventi climatici.

In relazione alla complessità di queste questioni, UNEP (United Nations Environment Programme, 2021) individua dieci principi guida per le azioni di adattamento, che interessano le conoscenze e le prassi di tutti gli operatori della filiera delle costruzioni. Si tratta di azioni che si collocano sia al livello locale del singolo edificio sia a livello sistematico e che sono riconducibili ad alcuni concetti chiave:

1. urgenza, ossia definizione di un piano di azione di adattamento per l'edificio (posseduto o utilizzato) considerando un periodo triennale per l'avvio e lo sviluppo delle prime azioni;
2. integrazione sistemica di misure per l'adattamento attraverso l'intera catena del valore, con il coinvolgimento di tutti gli stakeholder in una visione di lungo termine e collaborazioni interdisciplinari;
3. visione integrata di processo, ossia considerare l'adattamento in tutte le fasi del ciclo di vita di un edificio, dalla programmazione fino alla gestione e alle attività di rinnovamento;
4. sinergie tra le misure di adattamento sul breve e medio periodo e di mitigazione sul lungo periodo;
5. conoscenza, comprensione e utilizzo critico dei dati sul rischio climatico, tenendo in considerazione l'incertezza nella previsione. Emerge la necessità di strumenti utili a rendere più comprensibili, accessibili e utilizzabili questi tipi di dati per le parti interessate lungo l'intera catena del valore;
6. definizione delle misure di adattamento in relazione al livello di scala più adeguato (edificio, quartiere, città);
7. integrazione delle misure di adattamento con soluzioni *nature-based* dalla scala dell'edificio a quella della città (per esempio rinverdimento, gestione dell'acqua, preservazione e recupero della biodiversità, tetti verdi, uso di materiali di origine naturale, ecc.);
8. per le scelte di adattamento, riconoscimento della centralità degli utilizzatori del costruito e dei lavoratori del settore delle costruzioni, che sono tra i più vulnerabili rispetto agli impatti del cambiamento climatico;

9. necessario cambiamento dell'approccio finanziario⁸ (Fig. 5.10) da parte degli operatori sia pubblici che privati (promotori, investitori e proprietari). Questo implica la capacità di analizzare i dati sul rischio climatico dei beni in portafogli e migliorare le capacità di valutazione di costi e benefici dell'investimento in adattamento;
10. adattamento alla scala locale. Diagnosi sistematiche alla scala locale dovrebbero essere condotte con continuità durante il ciclo di vita dei beni, per identificare presenti e future vulnerabilità. Inoltre dovrebbe essere data priorità a soluzioni flessibili capaci di assecondare nel tempo le azioni di adattamento.

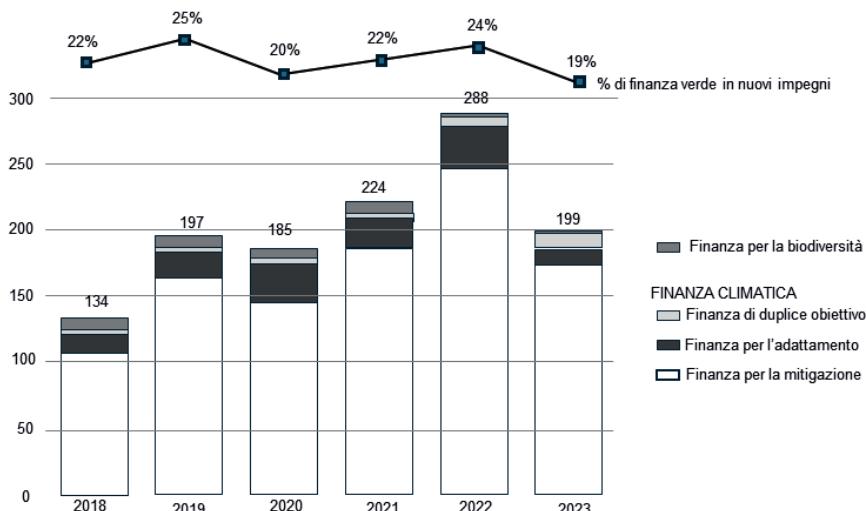


Fig. 5.10 - Impegno dell'International Development Finance Club (IDFC) in finanza verde nel periodo 2019-2023, valori in miliardi di USD. Fonte IDFC, IDFC GREEN. FINANCE MAPPING REPORT 2024

8. In campo di finanza climatica, di significativa importanza sono le azioni dell'International Development Finance Club (IDFC), associazione di banche di sviluppo, i cui membri operano nel quadro delle politiche di sviluppo dei rispettivi paesi e assistono i rispettivi governi nell'adempimento dei loro impegni nazionali e internazionali. Nel 2021 i membri dell'IDFC hanno registrato un livello record di 224 miliardi di dollari di impegni totali di finanza verde, con un aumento del 21% rispetto al 2020. Secondo l'annuale monitoraggio nel 2023 i membri dell'IDFC hanno registrato un totale di 199 miliardi di dollari impegnati nella finanza verde. I membri dell'IDFC stanno mostrando un impegno continuo nella finanza verde. Dei 199 miliardi di dollari di nuovi impegni di finanza verde nel 2023, i finanziamenti per il clima sono pari al 98% (196,4 miliardi di dollari). Ulteriori 2,8 miliardi di dollari sono stati impegnati come finanziamenti a sostegno della biodiversità. Inoltre, 214 milioni di dollari sono stati destinati ad altri progetti ambientali.

All'interno di uno scenario sicuramente complesso, nel quale un compito non semplice è quello di interpretare i cambiamenti climatici negli impatti generati alle diverse scale, scendendo alla scala dell'edificio non possono sfuggire i molteplici punti di vista rispetto all'adattamento.

I soggetti della filiera delle costruzioni esprimono infatti necessità diversificate in ragione delle differenti vulnerabilità rispetto ai tanti fenomeni, dei possibili danni economici e delle criticità percepite:

- gli operatori della costruzione incontrano nuovi rischi sia in termini di sicurezza, sia di tempi prevedibili di realizzazione, sia di logistica della commessa (si veda Cap. 6);
- i produttori di materiali e sistemi per l'edilizia devono riconsiderare cicli di vita e comportamenti dei loro prodotti;
- i proprietari dei beni, sia pubblici che privati, si trovano a fronteggiare il rischio di perdita di valore e di costi di gestione inattesi che, specie nel caso di patrimoni edilizi estesi, possono essere di grande entità;
- le municipalità devono gestire i rischi – legati a sicurezza, perdite economiche e di funzionalità di beni e servizi pubblici – derivanti alla collettività dal mal funzionamento di manufatti edilizi e infrastrutture sottoposti a eventi estremi;
- i gestori dei patrimoni immobiliari devono rivedere le loro priorità organizzative nel fronteggiare nuove tipologie di emergenze e nel ritrarre le consolidate metodiche manutentive;
- gli utenti degli edifici sono soggetti al rischio di incolumità, di perdere la fruizione dei beni o di vederne ridotte le prestazioni attese;
- gli operatori assicurativi⁹ denunciano un aumento del tasso di disastri legati al clima con crescita delle richieste di risarcimento e rischi per la capacità e solvibilità finanziaria delle compagnie (Warren-Myers *et al.*, 2022).

Questi soggetti, nel fronteggiare, ciascuno dal proprio punto di vista, i problemi legati al cambiamento climatico, necessitano di supporti per la valutazione, come pure di scambi informativi trasparenti¹⁰ (Verde,

9. Swiss Re stima che le perdite assicurative dovute a eventi legati al clima siano cresciute annualmente del 5-7% in media negli ultimi 30 anni. Le perdite assicurate annuali globali da catastrofi naturali di oltre cento miliardi di dollari sono diventate la norma.

10. Partendo dalla constatazione dell'attuale assenza di un quadro normativo consolidato e condiviso, in grado di differenziare livelli e tipi di valutazione dei rischi per pericoli naturali e cambiamenti climatici, Arup propone uno strumento di guida alla valutazione del rischio, sviluppato in relazione a diversi stakeholder del processo edilizio. Lo strumento, articolato nella Risk Class Taxonomy e Resilience Class Taxonomy, fornisce uno schema utile a stabilire il livello di valutazione del rischio più appropriato per specifiche categorie di stakeholder in relazione a tipologie di pericoli ed effetti climatici. In particolare la Risk Class Taxonomy individua vari approcci di valutazione del rischio, il livello di detta-

Dell'Acqua, Losasso, 2024). In questa direzione alcuni strumenti di orientamento e controllo dei temi climatici¹¹ – sicuramente ancora non sufficienti, ma in ogni caso utili rispetto alle esigenze delle principali categorie di operatori – iniziano ad articolarsi all'interno di un vasto quadro di iniziative e provvedimenti promossi nell'ambito delle più ampie politiche europee per la sostenibilità, come sintetizzato in Fig. 5.11.

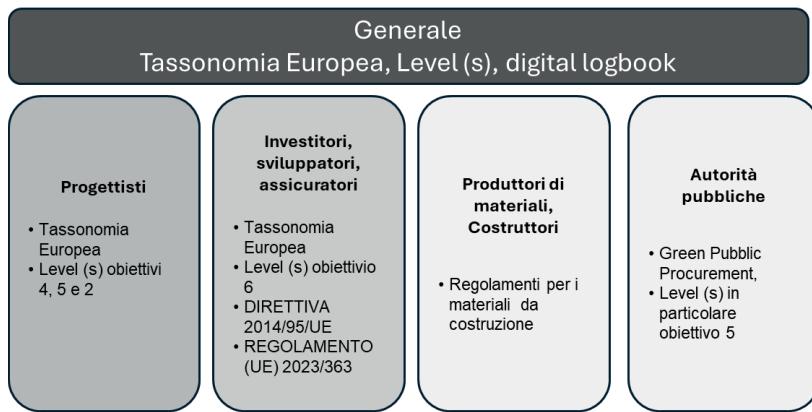


Fig. 5.11 - Strumenti regolatori di supporto ai diversi stakeholder per l'avvio di strategie di adattamento. Tratta e adattata da EU-level technical guidance on adapting buildings to climate change

In sintesi, appare evidente come il progettista sia chiamato su più piani di lettura a confrontarsi con fenomeni climatici complessi, che per loro

glio dell'indagine (classi), i dati necessari, gli esiti e i criteri di scelta in relazione al tipo di decisione da assumere, ai costi e alla complessità della situazione. La Resilience Class Taxonomy evidenzia invece i tipi di possibili soluzioni di resilienza. Lo strumento ha anche l'obiettivo di fornire uno schema di riferimento per l'individuazione delle informazioni di base necessarie per vari livelli di approfondimento delle valutazioni e una piattaforma di dialogo per i diversi stakeholder coinvolti. Si veda Arup, 2024.

11. Si veda il Regolamento (UE) 2021/1119 che istituisce il quadro per il conseguimento della neutralità climatica e che modifica il regolamento (CE) n. 401/2009 e il regolamento (UE) 2018/1999 («Normativa europea sul clima»). Il regolamento, che istituisce un quadro per il conseguimento della neutralità climatica all'interno dell'Unione europea entro il 2050, consiste nell'equilibrio tra emissioni di gas a effetto serra a livello dell'Unione e la loro rimozione come disciplinato nel diritto dell'Unione. Il Regolamento comprende, oltre all'obiettivo vincolante della neutralità climatica, l'obiettivo di raggiungere in seguito emissioni negative nell'Unione e una riduzione netta interna delle emissioni di gas serra di almeno il 55% entro il 2030, rispetto ai livelli del 1990. Stabilisce inoltre un traguardo in materia di clima per il 2040 entro sei mesi dal primo bilancio globale nell'ambito dell'accordo di Parigi e introduce norme a garanzia dei continui progressi verso l'obiettivo di adattamento ai cambiamenti climatici a livello mondiale contemplato nell'accordo di Parigi.

natura hanno effetti multidimensionali. Lo sviluppo di innovativi approcci “*design for climate adaptation*” pone di fronte a nuove sfide culturali per le quali è necessario il confronto con diverse discipline (Losasso, 2017) e aree di competenza come pure l’acquisizione di metodi di monitoraggio e simulazione al fine di riconoscere bisogni emergenti e prefigurare soluzioni di adattamento.

I compiti del progettista, a partire dalla fondamentale fase metaprogettuale (D’Ambrosio, 2017) si allargano anche alla interpretazione dei dati climatici legati alle specificità di contesto, alla analisi delle dinamiche prestazionali dei sistemi edilizi, quando sottoposti ai pericoli cronici e acuti legati al cambiamento climatico (Tab. 5.1), al riconoscimento delle trasformazioni dei comportamenti dei fruitori dell’ambiente costruito¹² (Dong *et al.*, 2022). Questo implica acquisire una duplice capacità. Da una parte accedere e interpretare dati¹³ specifici, locali e micro locali, sia sull’esposizione storica al clima, sia sulle dinamiche di cambiamento recenti. Dall’altra, contemporaneamente, comprendere i meccanismi di reazione agli effetti dei fenomeni climatici da parte dell’ambiente naturale, dei manufatti e degli utilizzatori. Rispetto a questi ultimi, acquisire conoscenze contestuali implica anche utilizzare e finalizzare metodi tipici delle scienze sociali (per esempio focus group e interviste) al fine di indagare reazioni comportamentali e sensibilità al cambiamento climatico a livello sia di collettività che di individui (per esempio in relazione all’età, al genere, al ceto).

Allo stesso modo emerge la necessità di acquisire e applicare indicatori in grado di misurare il livello di rispondenza di un progetto o di un edificio esistente rispetto ai requisiti legati tema dell’adattamento.

12. Esiste una scarsità di informazioni strutturate sulle modalità di adattamento umano che considerino in una prospettiva storica l’esposizione climatica, i comportamenti sociali e le culture. Questa mancanza implica che gli standard attuali potrebbero non soddisfare efficacemente le esigenze di popolazioni che affrontano impatti climatici diversi. Vi è un urgente bisogno di raccogliere dati più completi e sviluppare parametri di progettazione accessibili e adattabili che riconoscano e affrontino le vulnerabilità specifiche delle diverse regioni, in particolare quelle più colpite dai cambiamenti climatici. In questa direzione è possibile citare l’ASHRAE Global Occupant Behavior, che è un database che mira a far progredire la conoscenza e la comprensione dei modelli di occupazione e delle interazioni uomo-edificio. Questo database include 34 set di dati sul comportamento degli occupanti misurati sul campo, forniti da ricercatori provenienti da 15 paesi e 39 istituzioni, che coprono 10 diverse zone climatiche. Il database include i modelli di occupazione, i comportamenti degli occupanti, le misurazioni dell’ambiente interno ed esterno rispetto a varie tipologie edilizie sia in ambito commerciale che residenziale (ad esempio, interazioni con i dispositivi, attrezzature e impianti tecnici negli edifici, accensione della luce, modifiche del setpoint sui termostati, accensione/spegnimento delle ventole, apertura/chiusura di finestre, ecc.).

13. Si veda la Piattaforma Nazionale Adattamento Cambiamenti Climatici. <https://climatodat.isprambiente.it/buone-pratiche/>.

Questo genere di indicatori risulta ancora scarsamente sviluppato e comunque lontano da azioni di sistematizzazione e standardizzazione. In questo senso un riferimento, seppur estremamente parziale, è costituito dallo strumento dei Level(s) che forniscono un quadro di riferimento dei criteri e degli indicatori principali di sostenibilità applicabile ai progetti edilizi per comunicarne le prestazioni e migliorarne l'efficienza. Nello specifico, gli indicatori Level(s) 5.2 e 5.3 riguardano la relazione tra la progettazione di edifici e delle loro aree di pertinenza e gli eventi di piena/rischio di alluvioni. In particolare: l'indicatore 5.2 riguarda le modalità per rendere l'edificio più resiliente e resistente agli eventi meteorologici estremi al loro verificarsi, compresi i tre tipi principali di alluvioni (fluviale, pluviale e costiera); l'indicatore 5.3 riguarda le modalità di utilizzo del bene edilizio e dell'area di pertinenza per ridurre innanzitutto i rischi nel caso che si verifichino alluvioni pluviali nella zona locale e alluvioni fluviali a valle.

5.3. Vulnerabilità, rischio, adattamento

Il tema dell'adattamento al cambiamento climatico allarga il quadro delle competenze e conoscenze necessarie allo sviluppo delle strategie e delle soluzioni progettuali e pone ai tradizionali attori del progetto la necessità di assumere e introiettare i concetti di incertezza¹⁴, probabilità, rischio e anomalia di comportamento.

La ricerca delle soluzioni in grado di massimizzare la resilienza di un edificio agendo sulle sue capacità adattive parte da una non facile analisi istruttoria di molteplici e specifici aspetti di contesto. Si tratta di una indagine finalizzata a valutare rischi legati al clima, vulnerabilità dei manufatti, potenziali effetti dei cambiamenti climatici sui sistemi al fine di identificare le più idonee misure di adattamento e le priorità nella loro

14. L'incertezza è lo stato, anche parziale, di carenza di informazioni, di comprensione o conoscenza di un evento, delle sue conseguenze o probabilità. Le valutazioni del rischio climatico sono soggette a diverse fonti di incertezza, che devono essere affrontate con attenzione. Nel quadro di queste valutazioni, al concetto di incertezza si affiancano i concetti di possibilità e probabilità che un evento avverso specifico (pericolo) o una conseguenza (impatto) si verifichi. Secondo la norma ISO 31000, la possibilità può essere determinata oggettivamente o soggettivamente, qualitativamente o quantitativamente, e descritta in termini generali o per via matematica (come una probabilità o una frequenza in un determinato periodo di tempo). Probabilità è una possibile misura di possibilità, espressa come numero compreso tra 0 e 1, dove 0 è impossibilità e 1 è la certezza assoluta (GIZ and EURAC 2017).

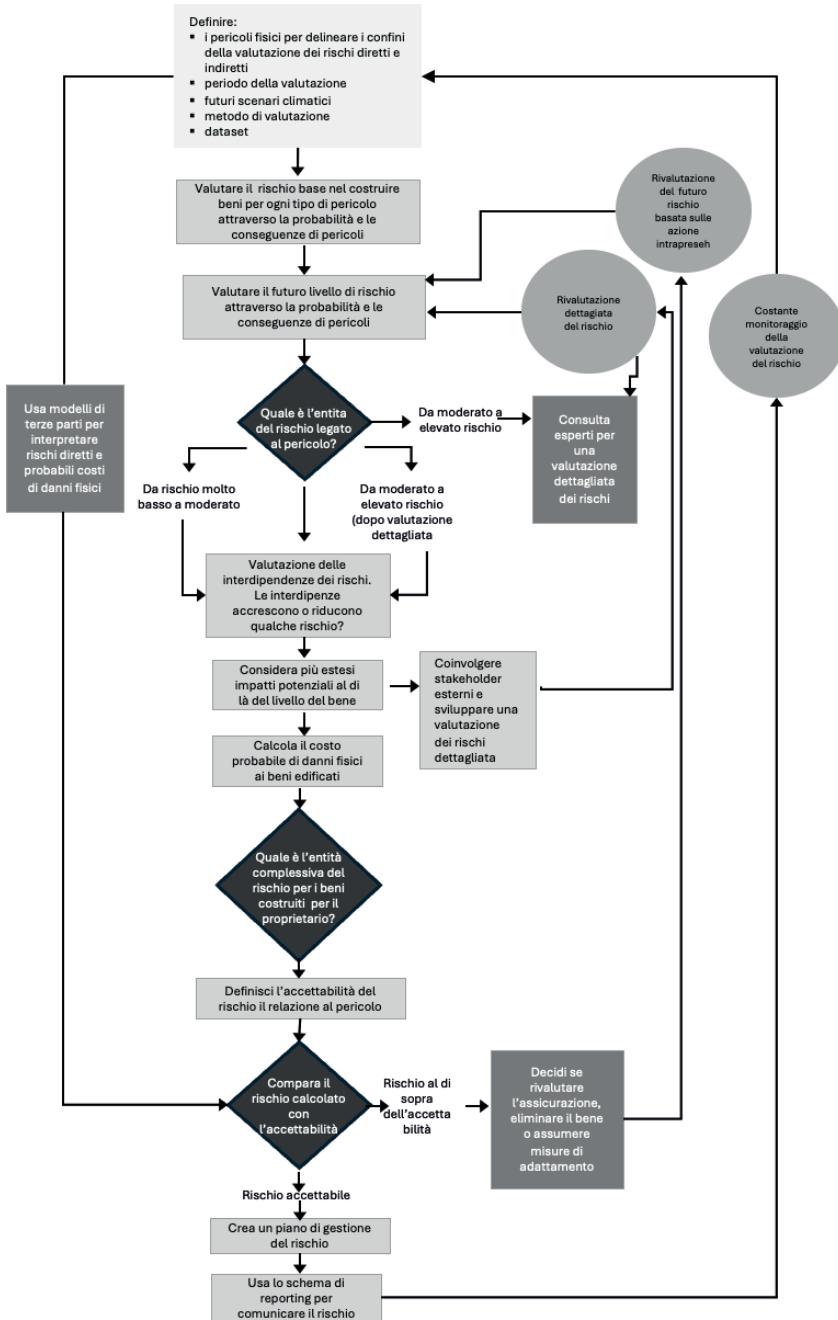


Fig. 5.12 - Metodologia di valutazione dei rischi climatici, esplicitamente sviluppata per i beni edilizi (fonte: UKGBC, 2022)

adozione. Lo schema processuale tracciato da UKGBC¹⁵ (2022) (Fig. 5.12) per una proposta di metodologia di valutazione dei rischi climatici, esplicitamente sviluppata per i beni edilizi, evidenzia la complessità delle azioni e la molteplicità di competenze da esprimere al fine della valutazione, rappresentazione e comunicazione delle informazioni.

Allo stato attuale, molteplici sono i contributi alla definizione degli elementi e delle procedure per la misurazione del rischio legato al clima. Diverse sono infatti le metodologie, sia di tipo volontario che cogente¹⁶, sviluppate a livello internazionale, tese alla valutazione della vulnerabilità climatica e del rischio a diverse scale.

Il documento della commissione Europea Level(s) Technical guidance for adapting buildings to climate change (2023) restituisce un tentativo di sistematizzazione, attraverso l'analisi e il confronto, di molte di queste metodologie¹⁷, delle quali vengono evidenziate similarità e diversità delle componenti considerate nei processi valutativi. Emerge come la gran parte delle metodologie si concentri sulla valutazione della vulnerabilità climatica su scale ampie (regionale o locale/urbana), mentre solo poche di esse si collocano alla scala dell'edificio, anche se diversi approcci, che riguardano le infrastrutture, potrebbero essere adattati e applicati anche agli edifici. Il documento europeo cerca di sintetizzare nello schema in Fig. 5.13 i processi e gli elementi comuni alle metodologie investigate.

15. In seguito all'obbligo di informativa sui rischi legati al clima per le grandi organizzazioni e le istituzioni finanziarie del Regno Unito, in linea con le raccomandazioni della Task Force on Climate-Related Financial Disclosures (TCFD) il UKGBC ha messo a punto una metodologia per misurare i rischi fisici legati al clima a livello di patrimonio costruito. Infatti, sebbene le raccomandazioni della TCFD stiano spingendo il settore industriale verso una maggiore standardizzazione delle informazioni sui rischi fisici, non è presente un livello di dettaglio necessario per guidare esplicitamente le organizzazioni a livello di asset. In questo senso, la metodologia proposta da UKGBC, in linea con le raccomandazioni della TCFD, descrive informazioni da considerare e decisioni da prendere prima di iniziare una valutazione del rischio per un bene costruito, al fine di valutare e comunicare i rischi presenti e futuri derivanti da pericoli climatici.

16. Per esempio alcune metodologie si sviluppano in applicazione del Regolamento della Tassonomia Europea, che richiede alle aziende di effettuare una valutazione di vulnerabilità climatica e rischio per la rendicontazione del loro contributo agli obiettivi di adattamento e mitigazione dei cambiamenti climatici o su spinta del settore assicurativo.

17. In particolare si fa riferimento a: European Commission (2021). Climate proofing of infrastructure; IEMA (2020). EIA Climate Change Resilience; Umwelt Bundesamt (2017). Guidelines for climate and vulnerability assessments; BSI (2021). ISO 14091 Adaptation to climate change; Green Ribbon Commission (2019). Climate Resilience Template for Buildings; UKGBC (2022). A Framework for Measuring and Reporting of Climate-related Physical Risks to Built Assets; The Geneva Association (2021). Climate Change Risk Assessment for the Insurance Industry; PSI-TCFD (2021). Insuring the climate transition: enhancing the insurance industry's assessment of climate change futures; PCRAM (2021). Physical Climate Risk Assessment Methodology; MSCI and Climate-KIC (2021). MSCI Real Estate Climate Value-at-Risk (Climate VaR) Methodology.

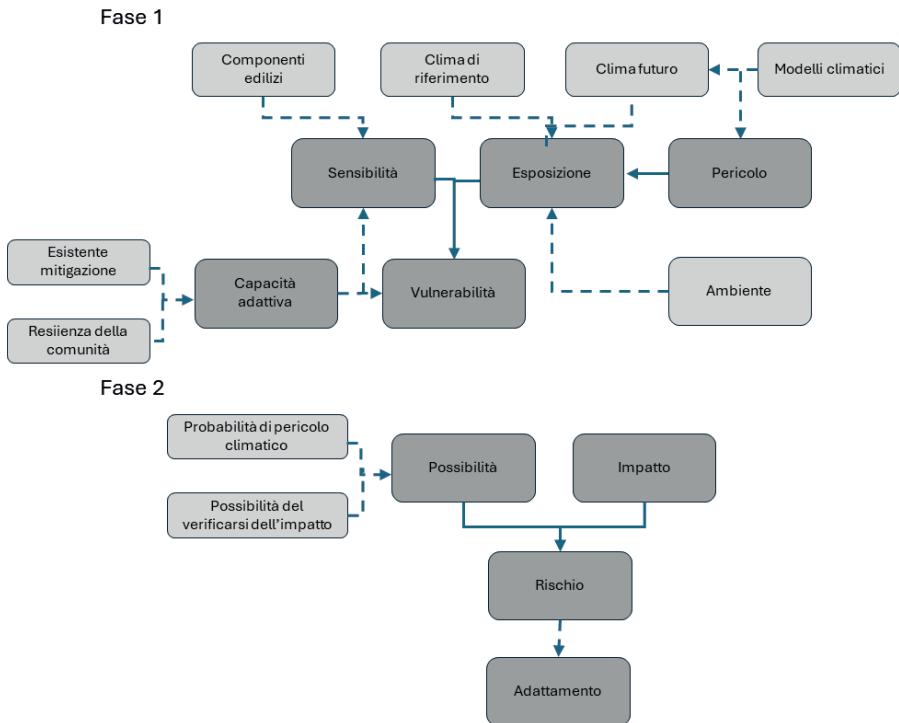


Fig. 5.13 - Sintesi degli elementi delle metodologie di valutazione di vulnerabilità climatica e rischio. Fonte: Level(s), 2023

Tra le tante, la metodologia proposta da IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), e il relativo corollario terminologico, è quella che forse più si presta ad essere riconosciuta come un riferimento condiviso. La metodologia, che ha visto diverse evoluzioni (GIZ and EURAC 2017), è quella presentata nel quinto IPCC Assessment Report (AR 5) (IPCC, 2014). La metodologia si basa sul concetto di rischio degli impatti del cambiamento climatico (Fig. 5.14), sull'assunzione che la gran parte degli impatti è innescata da eventi pericolosi e che la valutazione del rischio necessita di una previsione della probabilità delle potenziali conseguenze (GIZ and EURAC 2017).

In questa prospettiva il rischio si configura come il risultato dell'interazione di vulnerabilità, esposizione dei sistemi naturali e umani e pericolo. Questo approccio alla valutazione, basato sul concetto di rischio degli impatti da cambiamento climatico (IPCC, 2014), rappresenta una evoluzione del precedente approccio, basato sul concetto di vulnerabilità, sviluppato sempre dal IPCC nel quarto Assessment Report (AR4) (in Fig. 5.15 un confronto tra i due approcci).

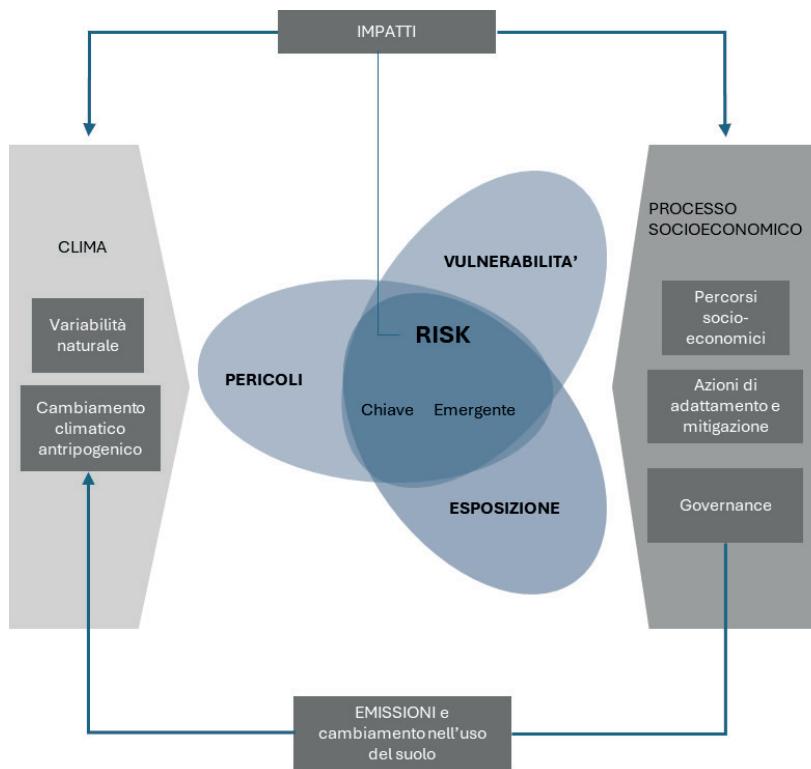


Fig. 5.14 - Schematizzazione delle interazioni tra sistema climatico, esposizione, vulnerabilità e rischio. Fonte IPCC, 2014

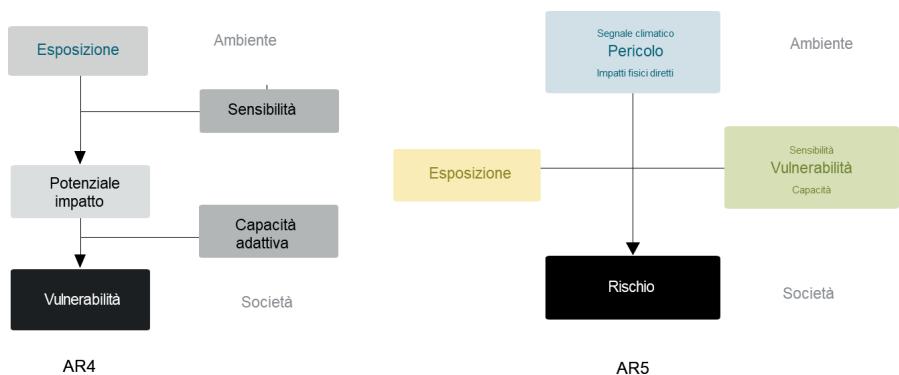


Fig. 5.15 - Comparazione delle componenti della vulnerabilità al cambiamento climatico secondo IPCC AR4 e IPCC AR5. Fonte: GIZ and EURAC, 2017

Questo concetto di rischio è stato mediato dall'approccio e dalle pratiche di valutazione del rischio degli ambiti di studio per la riduzione del rischio di disastri. Assumere questa prospettiva del rischio consente di tenere conto del fatto che gran parte degli impatti interconnessi deriva da eventi pericolosi e consente di perseguire due obiettivi: da una parte incoraggiare i contesti di ricerca sul clima a intensificare gli sforzi per determinare le probabilità di potenziali eventi, dall'altra contribuire all'integrazione dei due ambiti di ricerca sul cambiamento climatico, ossia l'adattamento e la riduzione del rischio di catastrofi.

Il rischio climatico¹⁸, ulteriormente articolabile come rischio chiave e rischio emergente, è inteso come la probabilità di accadimento di eventi pericolosi o dello svilupparsi di tendenze moltiplicata per gli impatti nel caso in cui tali eventi o tendenze si verifichino. Come detto, il rischio deriva dall'interazione di vulnerabilità, esposizione e pericolo, dove:

- la vulnerabilità viene intesa come la propensione o la predisposizione di una entità ad essere colpita negativamente. La vulnerabilità comprende una varietà di concetti ed elementi, compresa la sensibilità o la suscettibilità ai danni e l'incapacità di affrontare e adattarsi. Un'ampia serie di fattori – quali per esempio ricchezza, status sociale e genere – possono determinare la vulnerabilità e l'esposizione al rischio legato al clima;
- l'esposizione è relativa alla presenza di persone, specie o ecosistemi, funzioni ambientali, servizi, risorse e infrastrutture o beni economici, sociali o culturali in luoghi e configurazioni che potrebbero subire effetti negativi;
- gli impatti (o conseguenze o esiti) sono gli effetti sui sistemi naturali e umani. In particolare (in questo contesto) si tratta di effetti dovuti

18. Il concetto di rischio climatico origina negli ambiti della Disaster Risk Reduction (DRR) nei quali l'attenzione è rivolta a eventi pericolosi improvvisi di una certa entità e con il potenziale di avere immediate conseguenze, ad esempio un evento alluvionale con ripercussioni sulle persone o sui beni (come morte, lesioni o perdite significative di raccolto). Si veda anche *United Nations Office for Disaster Risk Reduction Online Glossary* www.unisdr.org/terminology. Oltre agli eventi pericolosi improvvisi, però, i rischi climatici comprendono anche un'ampia gamma di tendenze in costante evoluzione su un arco di tempo più lungo. Le conseguenze avverse di queste tendenze si manifestano in un lento aumento della pressione sull'ambiente, sulle persone e sui beni, piuttosto che negli impatti immediati. Un esempio di queste tendenze e delle loro conseguenze è l'aumento degli organismi nocivi e delle malattie nel settore agricolo a causa di un clima più caldo e umido o la perdita di terreni coltivabili a causa del lento aumento dell'intrusione di acqua salata. Al fine di comprendere gli impatti riferibili ai cambiamenti climatici sul sistema in osservazione, le valutazioni del rischio devono quindi considerare sia gli eventi pericolosi improvvisi che quelli in lenta evoluzione. Questa duplice scala di osservazione ha implicazioni sia sul modo in cui vengono determinate le probabilità sia nelle modalità di elaborazione delle valutazioni (GIZ and EURAC, 2017).

a eventi estremi legati al clima su forme viventi, salute, ecosistemi, economie, società, culture, servizi e infrastrutture. Gli impatti sono determinati dall’interazione tra cambiamenti climatici o eventi climatici pericolosi che si verificano entro un periodo di tempo specifico e la vulnerabilità di sistemi esposti;

- il pericolo rappresenta il potenziale verificarsi di un evento o di tendenza naturale o indotta dall’uomo, che può causare la perdita di vite umane, danni o altri effetti sulla salute, nonché danni e perdite di beni, infrastrutture, mezzi, servizi, ecosistemi, risorse ambientali. Il Regolamento (EU) 2021/2139 definisce i pericoli legati alla temperatura, al vento, all’acqua e alla massa solida e li classifica in cronici e acuti (Tab. 5.1).

Rispetto al quadro di relazioni definite dal IPCC AR5 (Fig. 5.15), a fini valutativi, un ulteriore contributo metodologico deriva dalla norma ISO 14091:2021, “Adaptation to climate change – Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment”. La norma articola le componenti del rischio (Fig. 5.16) e, al fine di rendere evidente il ruolo delle azioni di adattamento nella riduzione del rischio, distingue più chiaramente tra sensibilità e capacità adattiva intendendo per:

- sensibilità il grado al quale un sistema è interessato negativamente o positivamente dalla variabilità climatica o dal clima considerando che l’effetto può essere sia diretto che indiretto;
- capacità adattiva l’abilità di sistemi, istituzioni, uomini e altri organismi ad adattarsi a potenziali danni, per avvantaggiarsi delle opportunità o per rispondere alle conseguenze.

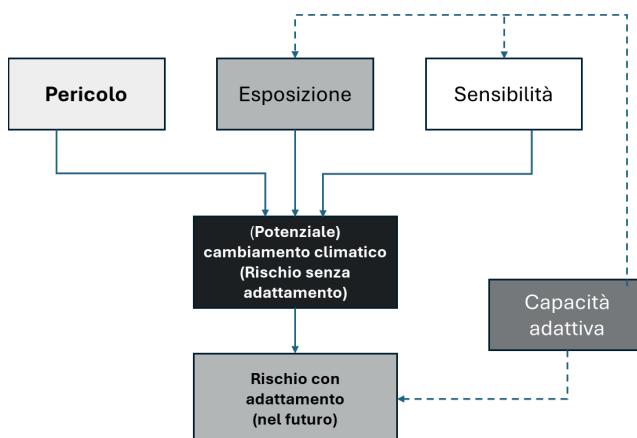


Fig. 5.16 - Relazioni tra le principali componenti del concetto di rischio. Fonte: ISO 14091:2021

Va notato che nella accezione data dalla norma ISO 14091:2021 il concetto di sensibilità estende quello di vulnerabilità del IPCC AR5 includendo la possibilità che un sistema sia interessato anche positivamente dagli effetti del cambiamento (per esempio una minore richiesta energetica a seguito di inverni più miti).

Secondo l'approccio tracciato dalla ISO 14091:2021, gli impatti dei cambiamenti climatici si verificano perché un sistema è esposto a pericoli (ad esempio siccità, inondazioni, stress termico). La sensibilità del sistema (ad esempio tipi di colture, uso del suolo, età della popolazione) determina in che misura questi pericoli lo influenzano. L'impatto è una funzione sia dell'esposizione che della sensibilità del sistema ai pericoli. La capacità di adattamento del sistema influenza il grado in cui l'impatto potenziale diventa un rischio concreto. Di conseguenza, la vulnerabilità del sistema esposto può essere espressa come una combinazione della sensibilità di un'organizzazione e della sua mancanza di capacità di adattamento. Le esemplificazioni nelle Tabb. 5.3 e 5.4 possono aiutare a comprendere relazioni e misuratori delle componenti in gioco nella metodologia per la valutazione del rischio proposta dalla norma.

Tab. 5.3 - Componenti della valutazione del rischio ed esempio di indicatori. Fonte. ISO 14091:2021

Componente del rischio	Esempio di fattore di rischio	Esempio di indicatori	Possibili fonti di dati
Pericolo	Temperature	– Numero di notti con la temperatura minima (T) sopra 25°C	Uffici meteorologici
	Precipitazioni	– Numero di mesi con precipitazioni inferiori a 50 mm	Uffici meteorologici
	Vento	– Aumento della velocità media del vento – Numero di tempeste al di sopra di una certa velocità del vento	Uffici meteorologici
Esposizione	Ubicazione dell'infrastruttura	– Distribuzione delle infrastrutture stradali nelle aree soggette a inondazioni	Amministrazioni locali
	Esposizione dell'agricoltura su piccola scala	– Percentuale di superficie coltivata da piccoli agricoltori/superficie totale – Percentuale della popolazione agricola	Fonti statistiche

Tab. 5.3 - segue

Componente del rischio	Esempio di fattore di rischio	Esempio di indicatori	Possibili fonti di dati
	Esposizione degli ecosistemi	<ul style="list-style-type: none"> – Localizzazione degli habitat nelle aree interessate dall'innalzamento del livello del mare – Ubicazione degli habitat interessati da un grave aumento della temperatura media 	Centri per la protezione della natura
	Esposizione dell'industria	<ul style="list-style-type: none"> – Percentuale di determinati tipi di imprese vulnerabili in diverse regioni – Area di complessi industriali colpiti dall'innalzamento del livello del mare o da cicloni 	<ul style="list-style-type: none"> – Fonti statistiche – Associazione di settore – Agenzie per lo sviluppo economico
Sensibilità	Domanda di acqua	<ul style="list-style-type: none"> – Fabbisogno idrico (m³ per ettaro) per periodo di crescita 	Fonti statistiche
	Condizioni del suolo	<ul style="list-style-type: none"> – Capacità di ritenzione idrica del suolo 	Fonti statistiche
	Produzione industriale	<ul style="list-style-type: none"> – Esistenza di sistemi di allerta precoce 	Protezione civile
	Gruppi vulnerabili (popolazione)	<ul style="list-style-type: none"> – Percentuale di popolazione vulnerabile (ad es. bambini o anziani o persone che lavorano all'aperto) 	Fonti statistiche
Capacità di adattamento	Capacità finanziaria	<ul style="list-style-type: none"> – Percentuale del reddito disponibile per investimenti (per esempio in nuovi tipi di colture) 	Fonti statistiche /esperti
	Capacità tecnica	<ul style="list-style-type: none"> – Disponibilità di tecnologie adeguate (ad es. sistema di irrigazione) 	Associazioni di categoria/esperti
	Capacità organizzativa	<ul style="list-style-type: none"> – Valutazione delle esigenze di formazione per affrontare i cambiamenti climatici 	Esperti
		<ul style="list-style-type: none"> – Piano d'azione per l'adattamento ai cambiamenti climatici 	Esperti/finanziatori

Tab. 5.4 - Componenti del rischio ed esempio di indicatori. Fonte. GIZ and EURAC, 2017

Componenti del rischio	Fattori	Possibili indicatori
Pericolo (segnale climatico)	Precipitazioni intense	Numero di giorni all'anno con precipitazioni superiori a 50 mm
Pericolo (impatto fisico diretto)	Inondazioni	Numero di eventi alluvionali disastrosi in un anno
Vulnerabilità (sensibilità)	Uso del suolo soggetto a erosione	% delle classi di copertura del suolo ad alto rischio di erosione
	Pendenze	% di pendenze con inclinazione superiore al 30%
Vulnerabilità (capacità)	Povertà	% di persone che vivono con meno di US\$ 2 al giorno
Esposizione	Densità di popolazione	Numero di abitanti per km ²
	Rilevanza dell'agricoltura pluviale	% della superficie agricola pluviale all'interno di un distretto

La norma ISO delinea inoltre le attività istruttorie e i passi procedurali necessari allo sviluppo di una valutazione del rischio da cambiamento climatico, per la quale è di estrema importanza l'assunzione di un approccio partecipativo e lo sviluppo di catene di impatti (*impact chains*).

La partecipazione delle parti interessate – che dovrebbe essere perseguita in molte, se non in tutte, le fasi della valutazione – contribuisce alla completezza delle valutazioni grazie al coinvolgimento di competenze adeguate e determina la qualità degli esiti del processo decisionale.

In questo senso risultano interessanti le pratiche di workshop orientati all'adattamento riferito al contesto¹⁹ (*place-based climate adaptation*) (O'Brien *et al.*, 2025). Si tratta di esperienze orientate a sostenere diversi stakeholder nell'assunzione di strategie di adattamento a livello locale per il monitoraggio e la gestione sia di sistemi urbani che di risorse naturali. L'obiettivo su cui si basano queste esperienze è quello di focalizzare le indagini e le strategie di intervento alle scale nelle quali gli impatti si

19. Un esempio di progettazione partecipativa per il clima è una esperienza irlandese (Murphy *et al.*, 2025) dove un team transdisciplinare ha operato in una serie di workshop riunendo le competenze di scienziati, progettisti, esperti in arti visive e comunità locali. Attraverso workshop pubblici, basati su story-telling, co-progettazione e processi valutativi, sono state elaborate sedici idee progettuali, fino alla selezione di una idea, implementata nella terza fase del progetto, costituita da uno spazio di servizi intergenerazionale e rispettoso del clima, orientato alla protezione della fauna selvatica, e capace di fungere da sistema regolatore nella gestione dell'acqua piovana.

verificano, valorizzando le conoscenze sviluppate a livello locale e perseguendo integrazioni con i processi politici e le azioni sociali in corso. Questi workshop, in genere gestiti da facilitatori appartenenti a enti sia pubblici che privati (Stern *et al.*, 2023), hanno esiti sia in termini di acquisizione di strumenti conoscitivi, sia di vere e proprie azioni rispetto ai rischi climatici, come ad esempio l'avvio di campagne di informazione, formazione e sensibilizzazione, l'attivazione di processi di monitoraggio e valutazioni di situazioni riconosciute come critiche, lo sviluppo di infrastrutture e di soluzioni nature-based (Mussinelli *et al.*, 2021).

Naturalmente la scala e la complessità dell'intervento determinano le risorse disponibili, la quantità delle variabili da osservare e la molteplicità delle parti interessate e di conseguenza il livello di approfondimento delle indagini. In generale, dal punto di vista metodologico le fasi necessarie alla valutazione possono essere riconducibili a:

- analisi del contesto e identificazione dei pericoli e/o delle combinazioni di pericoli, delle sensibilità²⁰ e delle esposizioni²¹ riscontrabili a carico del sistema a rischio con identificazione degli elementi che possono essere esposti maggiormente ai cambiamenti climatici e sensibili ai pericoli;
- individuazione delle potenziali conseguenze e, attraverso approcci partecipatori e visioni di esperti, valutazione delle potenziali conseguenze di ogni pericolo su ogni elemento e stima dei probabili impatti (anche con sistemi di pesatura);
- selezione degli impatti²² dei cambiamenti climatici che appaiono particolarmente rilevanti rispetto a requisiti e funzioni del sistema;
- specificazione delle prioritarie strategie di adattamento (di progetto per la nuova costruzione, di riqualificazione e/o manutenzione su edifici esistenti).

Queste metodiche trovano abitualmente applicazione alla scala territoriale, tuttavia una loro applicazione alla scala dell'edificio è fattibile e può rappresentare un supporto estremamente utile nel determinare, all'in-

20. La norma ISO suggerisce di identificare la sensibilità rispondendo alla domanda: “quali sono le caratteristiche del sistema che lo rendono suscettibile agli effetti negativi ai pericoli connessi al cambiamento”?

21. La norma ISO suggerisce di identificare l'esposizione rispondendo alle domande: “chi o cosa è potenzialmente esposto al pericolo e ai relativi impatti?” e “quali fattori contribuiscono al grado di esposizione?”

22. Nei casi più complessi, può essere utile una clusterizzazione degli impatti per argomenti correlati o simili per formare gruppi di impatti. Questi cluster sono utili per dare priorità a impatti chiave che possono essere analizzati con maggiori livelli di approfondimento.

terno di contesti caratterizzati da molteplici pericoli legati al cambiamento climatico, per esempio le parti d'opera di maggiore criticità e le priorità rispetto alle strategie di adattamento, sia nel caso di progetti di nuova edificazione, sia nel caso di valutazioni dell'esistente, sia nell'assunzione di strategia di intervento mantenimento/riqualificazioni del patrimonio costruito. In Fig. 5.17 un esempio di sviluppo di uno schema per la valutazione dei rischi a carico di una copertura piana.

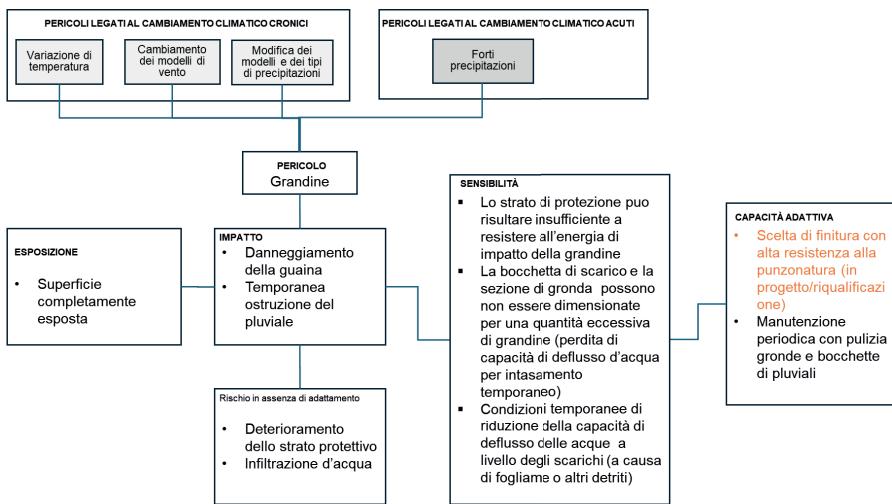


Fig. 5.17 - Esempio di valutazione dei rischi da cambiamento climatico in relazione ad una copertura piana autoprotetta

5.4. Valutare i rischi da cambiamento climatico con approcci alternativi: l'esempio HAZOP

Valutare correttamente i rischi derivanti dalle mutate condizioni climatiche è una condizione essenziale per adottare misure efficaci di adattamento degli edifici. Le metodologie già descritte nel presente capitolo sono strumenti adattabili in fase di progettazione di un nuovo edificio o di valutazione della capacità di adattamento di un edificio esistente. Esiste tuttavia un'area ancora non molto esplorata che riguarda il rapporto tra le metodologie di valutazione dei rischi climatici e le metodologie di progettazione già in essere e consolidate nel loro uso tra gli operatori dell'industria delle costruzioni. La questione può essere sostanzialmente posta in questi termini: se le procedure di valutazione

del rischio climatico sembrano essere esogene rispetto alle attuali prassi progettuali, in che modo gli effetti del cambiamento climatico possono essere considerati in maniera efficace nella concezione delle soluzioni progettuali?

Per alcune aree, ad esempio la progettazione degli impianti di riscaldamento e condizionamento, sono già disponibili alcuni strumenti di riferimento che possono integrare le questioni climatiche nelle normali prassi progettuali. In alcuni casi di progettazione di edifici complessi si fa già esplicito riferimento alla possibilità di variazione nel tempo delle condizioni climatiche di progetto (basandosi sugli scenari RCP descritti nel capitolo 2) e si valutano le conseguenze possibili per il normale funzionamento degli impianti. Anche in questi pochi casi, tuttavia, si può osservare come vi sia un rischio concreto di condurre delle valutazioni parziali rispetto a un unico tipo di azione climatica. A puro titolo di esempio, se si considera un impianto di climatizzazione estiva con pompe di calore con scambio ad acqua, la valutazione del rischio climatico non dovrebbe limitarsi alla considerazione di temperature di progetto più elevate secondo uno scenario predefinito (come, ad esempio, quelle corrispondenti allo scenario RCP 6.0) ma dovrebbe ragionevolmente considerare anche il rischio di avere a disposizione meno acqua per il funzionamento della pompa di calore a seguito, ad esempio, di prolungate condizioni di siccità.

Può quindi risultare utile il ricorso a metodologie di individuazione e valutazione dei rischi che abbiano un carattere pluridisciplinare, che consentano di considerare simultaneamente eventi diversi in maniera dinamica e che, inoltre, permettano di valutare i rischi in relazione con gli intenti progettuali e gli obiettivi attesi. Tra le numerose tecniche di analisi dei rischi che vengono presentate e descritte dalla norma IEC 31010:2019 Risk management – Risk assessment techniques appare interessante, rispetto ai temi dell'adattamento, una riflessione sulla metodologia HAZOP “Hazard and Operability study”. La metodologia HAZOP deriva da tecniche di analisi del rischio sviluppate negli anni '60 dall'industria chimica in particolare nel Regno Unito con la “Critical examination” sviluppata dalla Imperial Chemical Industries; dopo circa un decennio la metodologia è stata formalizzata nella prima linea guida pubblicata nel 1977 dalla Chemical Industries Association in UK fino ad arrivare nel 2001 alla prima norma tecnica internazionale IEC 61882 che ha descritto la HAZOP (Dunjò *et al.*, 2010). Benché la HAZOP sia stata sviluppata nell'ambito della industria chimica legata all'impiego sistematico di sostanze pericolose, nel tempo la sua applicazione si è diffusa anche ad altri ambiti come ad esempio dispositivi medicali, sicurezza

del traffico stradale o esercizio di impianti fotovoltaici (Marhavilas *et al.*, 2019) dimostrandosi in grado di fornire un contributo rilevante nella gestione dei rischi e nel miglioramento di molteplici tipi di sistemi sottoposti a variazioni significative del quadro di parametri progettuali e di esercizio.

La versione più recente della norma IEC/EN 61882:2016 riassume le caratteristiche principali della HAZOP in alcuni punti salienti:

- in primo luogo, si tratta di un processo “collettivo” che deve essere sviluppato da un gruppo di esperti delle diverse discipline attinenti al progetto in esame sotto la guida di un coordinatore specificamente competente nell’uso del metodo;
- è un processo orientato dall’uso di “parole guida” che sono utili strumenti di individuazione dei cambiamenti che possono derivare dalle azioni climatiche;
- è un processo che ha l’obiettivo di individuare possibili deviazioni rispetto agli intenti/obiettivi di progetto (definiti dalla norma come “intervallo di comportamento desiderato o specificato da un progettista per assicurare che un prodotto soddisfi i suoi requisiti”) e valutarne le cause e le possibili conseguenze al fine di adottare appropriate misure di controllo.

Le principali fasi del processo di analisi che la metodologia HAZOP prevede sono:

- divisione del sistema in sezioni o sottosistemi;
- individuazione di un nodo del sistema come oggetto di studio (ad esempio: produzione del freddo, scarico delle acque, distribuzione dell’acqua sanitaria, ecc.);
- descrizione degli intenti/obiettivi progettuali;
- scelta di un parametro di funzionamento del sistema (ad esempio: temperatura esterna, flusso di acqua, vento, ecc.);
- applicazione di una parola guida che rappresenti la deviazione;
- definizione delle cause della deviazione;
- valutazione degli effetti della deviazione sugli intenti/obiettivi progettuali;
- selezione delle azioni o misure di controllo del rischio che è stato individuato e valutato.

Nella metodica HAZOP l’uso delle “parole guida” appare particolarmente utile per gestire i possibili scenari di rischio. Le parole guida rappresentano efficacemente il concetto di deviazione rispetto a una condizione attesa – ad esempio le condizioni di progetto individuate

come obiettivo – e sono quindi di aiuto nella individuazione di possibili eventi che si possono verificare e che determinano l'insorgere di un rischio. I rischi infatti sono normalmente espressi²³ in termini di sorgenti di rischio (o pericoli) associabili ad eventi potenziali con una loro probabilità e delle conseguenze attese. La norma ISO 31073:2022 Risk management – Vocabulary definisce il concetto di evento come “il verificarsi o il cambiamento di un particolare insieme di circostanze” e di conseguenza si può considerare il ruolo delle parole guida come un elemento fondamentale per agevolare il processo di valutazione dei rischi attraverso la individuazione di eventi possibili e delle loro conseguenze prevedibili. La combinazione di parole guida e parametri ai quali tali parole vengono applicate fornisce il quadro di eventi e rischi che possono influire sul raggiungimento degli intenti progettuali.

Le parole guida che vengono suggerite dalla norma sono riportate in Tab. 5.5. A titolo di esempio, si riportano in Tabb. 5.6 e 5.7 dei casi semplificati e non esaustivi di applicazione della metodologia HAZOP ad alcuni elementi di un edificio in considerazione di pericoli legati al cambiamento climatico.

Tab. 5.5 - Esempi di parole guida nella applicazione della metodologia HAZOP (Fonte: EN 61882:2016 Hazard and operability studies (HAZOP studies) – Application guide)

Parola guida	Significato nel contesto di analisi
No	Completa negazione dell'intento progettuale
Più	Aumento quantitativo
Meno	Diminuzione quantitativa
Oltre	Modifica qualitativa/aumento
Parte di	Modifica qualitativa/diminuzione
Inversione	Opposto logico dell'intento progettuale
Altro	Completa sostituzione
Prima	Rispetto ad un ordine o una sequenza
Dopo	Rispetto ad un ordine o una sequenza
In anticipo	Rispetto al tempo
In ritardo	Rispetto al tempo

23. La norma ISO 31073:2022 Risk management – Vocabulary specifica che “Il rischio è solitamente espresso in termini di fonti di rischio, eventi potenziali, loro conseguenze e loro probabilità”.

Tab. 5.6 - Esempio di applicazione della analisi HAZOP all'elemento di impianto HVAC pompa di calore aria-acqua in considerazione di pericoli legati al cambiamento climatico

Parola guida	Elemento	Deviazione	Causa possibile	Conseguenza sulla parte d'opera	Azioni di adattamento
Più	Temperatura esterna	Temperature esterne più elevate della media	Ondate di calore	Diminuzione efficienza della pompa di calore per difficoltà nello scambio lato condensazione, carichi termici eccessivi che aumentano la richiesta di potenza frigorifera	Sistemi ausiliari o booster, ventilazione notturna, eventuale raffrescamento della superficie di scambio, ad esempio, con acqua per aumentare il rendimento
Meno	Temperatura esterna	Temperature molto basse e inferiori alla media	Inverni rigidi o tardivi	Sbrinamento frequente, rischio gelo, blocchi	Resistenza integrativa, pompa di calore ibrida
Altro	Qualità aria esterna	Presenza di polveri/fumi non previsti in fase di installazione	Incendi a seguito ondate di calore	Sporcatura superficie di scambio lato condensatore e riduzione della efficienza della pompa di calore	Filtri, pulizia periodica condensatore, sistemi di lavaggio automatici
Altro	Grandine	Grandine di dimensione ampiamente oltre la media	Tempeste	Danneggiamento superfici di scambio lato condensatore	Protezioni Meccaniche resistenti a impatto

Tab. 5.7 - Esempio di applicazione della analisi HAZOP all'elemento di edificio copertura piana a verde in relazione a pericoli legati al cambiamento climatico

Parola guida	Elemento	Deviazione	Causa possibile	Conseguenza sulla parte d'opera	Azioni di adattamento
Più	Pioggia	Precipitazioni intense	Eventi estremi	Saturazione del substrato, ruscellamento	Strato drenante efficiente, scarichi di troppo pieno
Meno	Pioggia	Prolungata assenza di pioggia	Siccità	Stress idrico per le piante	Irrigazione integrativa con sensori di umidità
Più	Vento	Vento estremo	Tempesta	Erosione del substrato, sradicamento piante	Sistemi di ancoraggio vegetale, substrati pesanti
Inversione	Vento	Turbini o depressioni localizzate	Vento ascendente	Spostamento elementi leggeri o ornamentali	Ancoraggio elementi mobili, bordo rialzato
Altro	Grandine	Impatto forte e localizzato	Grandine intensa	Danneggiamento copertura vegetale e strato superficiale	Specie resistenti, strato protettivo antiurto
Più	Temperatura	Temperature molto elevate	Ondata di calore	Surriscaldamento substrato e stress termico	Piante resistenti al caldo, irrigazione mirata
Meno	Temperatura	Temperature molto basse	Gelo	Congelamento radici, danni alla vegetazione	Piante rustiche, strato di protezione termica

6. Adattamento ai cambiamenti climatici e ciclo di vita degli edifici

6.1. Edifici, cambiamenti climatici e relazioni sistemiche

I pericoli, sia cronici che acuti, del cambiamento climatico obbligano a considerare, in una visione olistica, i manufatti edilizi come sottosistemi integrati all'interno di più vasti sistemi, a loro volta strettamente correlati ad altri settori e sistemi (Losasso *et al.*, 2020).

In questa direzione, una visione sinottica della complessità delle relazioni sistemiche, determinate dagli effetti dei cambiamenti climatici, è quella proposta dalla European Environment Agency (EEA, 2024b), che sviluppa una sintetica *impact chain* dell'ambiente costruito capace di tracciare i nessi tra pericoli e fattori di rischio in relazione al ruolo degli edifici e delle infrastrutture (Fig. 6.1). Come l'*impact chain* evidenzia, i pericoli cronici e acuti legati al clima – tra cui temperature estreme, elevata umidità, piogge torrenziali, grandinate e forti venti – hanno impatti diretti e indiretti sugli edifici e sui loro abitanti in un quadro di effetti sinergici (Tapia *et al.*, 2017). Gli impatti indiretti possono riguardare per esempio le catene di fornitura, le reti idriche ed elettriche e i trasporti e comportare ricadute negative potenzialmente ancora più pesanti di quelle derivanti da impatti diretti.

In relazione a questi impatti, schematizzati in Fig. 6.1, è possibile evidenziare vari tipi di rischio che, singolarmente o in modo combinato, hanno l'effetto di ridurre la fruibilità degli immobili:

- l'accelerazione e l'amplificazione dei processi di degrado (Armstrong, 2018; Lacasse *et al.*, 2020) caratterizzati da disaggregazioni, distacchi e crolli parziali di elementi architettonici, deterioramento delle superfici esposte (Barrelas *et al.*, 2023) e danni agli involucri edilizi per impatti da corpi solidi (grandine e detriti trasportati dal vento);

- la riduzione del comfort termico all'interno degli spazi abitati e l'aumento del surriscaldamento degli involucri edilizi (Heiranipout *et al.*, 2025);
- l'accelerazione del deterioramento degli elementi strutturali in legno (specie se non periodicamente trattati con protettivi), in calcestruzzo armato (specie se già in corso fenomeni di carbonatazione), in muratura (per cicli gelo-disgelo) (Cavalagli *et al.*, 2019) e in acciaio.

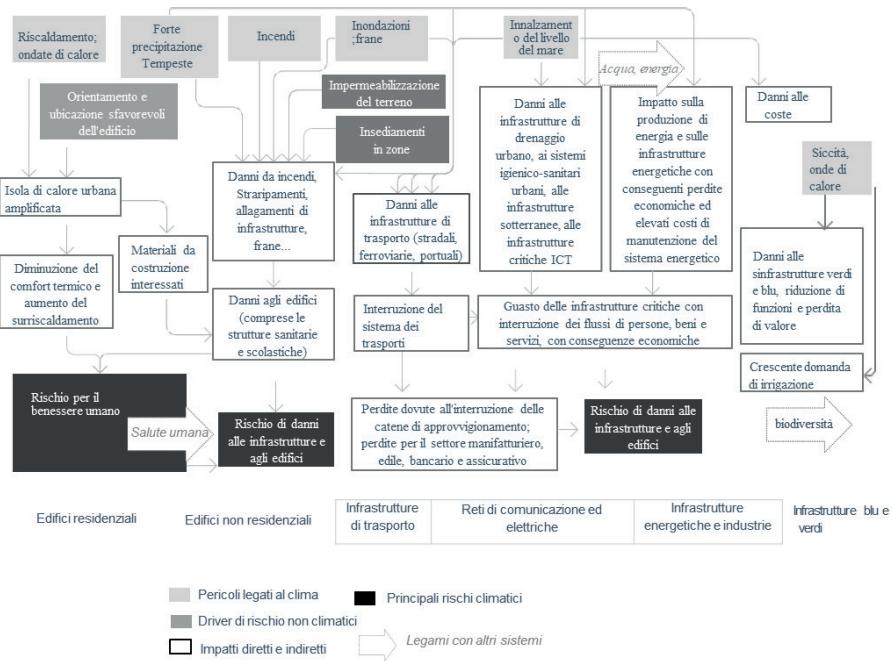


Fig. 6.1 - Impact chain generale per l'ambiente costruito. Fonte EEA, 2024

Una visione di sistema consente di considerare come questi rischi, legati alle caratteristiche costruttive degli edifici, possano essere aggravati da aspetti sia insediativi sia relativi all'organizzazione dei servizi sui territori e comportino importanti e indirette ripercussioni sociali ed economiche¹. In questo senso gli esempi sono molteplici.

1. Secondo stime di Confartigianato, l'Italia è al primo posto tra i 27 Paesi dell'Unione Europea per i maggiori danni economici causati da eventi meteorologici estremi: nel decennio 2013-2022 hanno raggiunto la cifra di 50 miliardi di euro, con una media annua di 5 miliardi di euro, con un impatto di 84 euro per abitante nel 2022.

La configurazione delle aree urbane (Hanberry, 2022) e la scarsità di zone a verde (Aghaloo *et al.*, 2024) possono amplificare gli effetti dei cambiamenti climatici, specie quelli relativi alle ondate di calore, con ricadute sia dirette sui picchi di richieste di energia per il condizionamento estivo degli edifici (Santamouris *et al.*, 2021), sia indirette in tempi di aumento dei costi sociali ed economici riferibili alla maggiore richiesta di cure (colpi di calore, disidratazione, aggravamento delle malattie croniche e respiratorie), alle aumentate spese a carico dei servizi sanitari e alla crescita dei tassi di mortalità².

Crescente impermeabilizzazione dei suoli (Elliot *et al.*, 2025), manutenzioni inadeguate, reti di drenaggio urbano insufficienti e sistemi di raccolta e di smaltimento delle acque meteoriche obsoleti e non dimensionati per i recenti regimi pluviometrici incrementano il rischio che forti precipitazioni, che è presumibile diventeranno sempre più frequenti e intense, causino inondazioni urbane, capaci a catena di interrompere servizi pubblici e reti infrastrutturali (Kourtis *et al.*, 2021; Ferdowsi *et al.*, 2024).

Regioni densamente popolate in aree costiere (Laino *et al.*, 2024), in assenza di edifici e infrastrutture predisposti con le adeguate protezioni e di piani di evacuazione locali, possono dover fronteggiare situazioni pericolose per l'incolumità degli abitanti e la tutela dei beni a causa dell'innalzamento del livello del mare e delle possibili inondazioni.

Insediamenti in vicinanza di pendii ripidi, in presenza di forti precipitazioni e in assenza di azioni di monitoraggi e di opere di consolidamento, sono a rischio di frane come i dati sui crescenti fenomeni con effetti disastrosi dimostrano³ (ISPRA, 2021).

Altre considerazioni riguardano gli effetti che i pericoli climatici possono avere in relazione alle destinazioni d'uso degli edifici.

2. Istat, nel rapporto sugli indicatori demografici del 2022, evidenzia come nei quattro mesi dell'anno con le condizioni meteo più critiche, gennaio e dicembre per il freddo, luglio e agosto per il caldo, si è concentrato quasi il 40% di decessi annuali. Le condizioni climatiche avverse hanno penalizzato nella maggior parte dei casi la popolazione più anziana e fragile, composta principalmente da donne: le percentuali di deceduti con un'età maggiore o pari ai 70 anni aumentano fino all'80,7% per gli uomini e quasi al 90% per le donne.

3. In Italia ogni anno circa mille frane si attivano o riattivano, con qualche centinaio di eventi che causano impatti significativi sulla popolazione, sui centri abitati e sulla rete stradale e ferroviaria. Gli impatti dei cambiamenti climatici sui fenomeni franosi, oltre all'incremento dei fenomeni di instabilità dei versanti legati alla degradazione del permafrost in alta quota, riguardano l'incremento della frequenza dei fenomeni franosi superficiali e delle colate di fango e detrito, legati a piogge brevi e intense. Negli ultimi 50 anni (1972-2021), gli eventi di frana hanno causato 1.071 morti, 10 dispersi, 1.423 feriti e 145.548 evacuati (Report ISPRA 17 maggio 2023 su Evento alluvionale Emilia-Romagna 16-17 maggio 2023).

Per esempio, nel caso degli edifici residenziali aumentano i rischi per i gruppi vulnerabili della società (Nasir *et al.*, 2025), che spesso risiedono in edifici più vecchi, in alloggi sociali o in strutture con standard costruttivi ed energetici che possono essere inadeguati, rendendo più suscettibili gli abitanti agli impatti degli eventi climatici avversi con l'ulteriore rischio di esacerbare le disparità sociali e di peggiorare le condizioni di povertà (Parsons *et al.*, 2024; Méjean *et al.*, 2024).

Per quanto riguarda edifici non residenziali, specifici rischi possono essere individuati in considerazione delle diverse destinazioni d'uso quali edifici pubblici, commerciali (Hasan *et al.*, 2022), industriali, ospedali (World Health Organization, 2023), scuole, ecc.

In questo senso, le strutture socio-sanitarie appaiono particolarmente vulnerabili (Elstow *et al.*, 2024; Gkouliavera *et al.*, 2025), con gravi ripercussioni sui servizi da erogare a persone fragili.

Meno gravi ripercussioni, ma altrettanto indesiderate, sono quelle che riguardano la fruibilità degli spazi, il deterioramento di beni, la mancata erogazione di servizi e i mancati guadagni, come pure l'abbassamento di produttività e di concentrazione (con pericoli anche per l'incolumità degli utilizzatori degli spazi) registrati in presenza di condizioni di discomfort nei luoghi di lavoro e negli edifici pubblici (Tesfaye *et al.*, 2025).

Considerando l'ambito dei beni culturali, gli edifici storici, per le loro caratteristiche, risultano estremamente vulnerabili⁴ rispetto a una pluralità di pericoli derivanti dal cambiamento climatico (Sabbioni *et al.*, 2008; Mosoarca *et al.*, 2017; Sesana *et al.*, 2021; Giglio *et al.*, 2024), come inondazioni, allagamenti, tempeste che possono avere ricadute sia dirette

4. La Commissione Europea ha attivato un gruppo di esperti appartenenti agli Stati Membri al fine di analizzare stato dell'arte e pratiche, evidenziare gap di conoscenze e indicare linee strategiche rispetto al tema dei pericoli del patrimonio culturale da cambiamenti climatici. Il Rapporto prodotto (European Commission, 2022) evidenzia l'esistenza a livello Europeo di grandi criticità. Le minacce derivano principalmente da eventi climatici estremi quali forti precipitazioni, lunghe ondate di calore, siccità, forti venti e innalzamento del livello del mare, che implicano rischi di perdite inestimabili per i beni culturali materiali e immateriali dovuti a alluvioni, incendi ed erosioni. A questi eventi, che hanno esiti immediati e catastrofici, si aggiungono lenti processi di degrado biologico e meccanico accelerati dal continuo innalzamento della temperatura, fluttuazioni di temperature e gradi di umidità e cicli di gelo-disgelo che stressano i materiali e amplificano le necessità di interventi di restauro alle volte attuati in emergenza. Questo aspetto, secondo il Rapporto, crea un ulteriore elemento di pericolo, laddove gli interventi di adattamento, svolti in urgenza, non vengano eseguiti con il necessario livello di approfondimento conoscitivo richiesto per beni unici nelle loro caratteristiche. Il Rapporto evidenzia inoltre un gap conoscitivo rispetto al tema delle conseguenze per i beni culturali di eventi catastrofici concomitanti e delle possibili strategie ex ante ed ex post.

(come danneggiamenti di parti di pregio e distacchi di elementi), sia indirette in termini di fruibilità (va considerato che i lavori di riparazione di un edificio storico, oltre che costosi e complessi, possono essere molto lunghi), e di mancato guadagno da attività ricettive e turistiche (Sharma *et al.*, 2025).

In considerazione della complessità delle interazioni all'interno dell'ambiente costruito, quando si affronta il tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici, gli edifici possono essere considerati rispetto a tre diverse prospettive:

- possono diventare fattori di rischio per il benessere, la salute e l'incolinità degli abitanti oltre che per le rendite economiche. Tali rischi si possono palesare in modo repentino. Gli edifici, infatti, se privi di misure di adattamento, quando soggetti ai pericoli legati al clima, ed eventualmente a influenze sinergiche di altri sistemi, possono vedere le loro prestazioni peggiorare in modo accelerato con effetti inattesi a causa di fenomeni non previsti quando progettati;
- possono rappresentare per gli abitanti fattori di protezione e di mitigazione degli impatti, specie nel caso di eventi estremi;
- possono concorrere a peggiorare le condizioni di rischio dell'ambiente costruito (si pensi ad esempio a come grandi superfici vetrate possono aumentare la temperatura nelle isole di calore (Stewart *et al.*, 2021), o come la dislocazione, la morfologia e l'altezza delle costruzioni possono modificare la velocità del vento in alcune aree circoscritte, andando a condizionare altri sistemi).

Queste diverse prospettive mettono in evidenza quanto l'adattamento ai cambiamenti climatici si configuri come un approccio che impone di rivedere, con attenzione alle interazioni degli edifici con altri sistemi naturali e antropici, criteri e pratiche nell'intero ciclo di vita di un'opera a partire dalla fase di programmazione e progettazione, alla realizzazione, fino alla fase d'uso e alle attività di rinnovo.

6.2. Capacità di adattamento al cambiamento climatico degli edifici e incertezza

In considerazione dei potenziali pericoli derivabili dagli effetti dei fenomeni del cambiamento climatico, il tema dell'adattamento, riferito agli edifici, assume diverse connotazioni in relazione al fatto di considerare nuovi interventi, attività di miglioramento non trasformativo o progetti di riqualificazione.

In tutti i casi è necessario confrontarsi con eventi possibili, ma difficilmente prevedibili per tempo di accadimento e per entità, rispetto ai quali considerare possibili strategie, tra loro non alternative, anzi auspicabilmente integrate. Questa incertezza implica un approccio al progetto per l'adattamento caratterizzato da vari aspetti di complessità:

- i parametri di riferimento non sono stabili e non sono definibili nella loro evoluzione;
- l'analisi dei rischi climatici (cfr. Cap. 5) entra nel processo decisionale e nella valutazione delle soluzioni progettuali alternative;
- in relazione a diversi perimetri e scale di osservazione, le variabili di contesto (regionale, locale, microlocale) implicano possibili influenze sull'edificio e disegnano scenari diversi di comportamento delle componenti edilizie e dei fruitori degli spazi;
- il tema dei servizi, sia a livello urbano che di edificio, deve essere considerato nel valutare i possibili comportamenti dell'edificio e dei suoi abitanti rispetto ai pericoli climatici (per esempio un sistema di monitoraggio o un piano di manutenzione a livello di edificio o un sistema di informazioni alla cittadinanza in caso di allerte o un piano di emergenza a livello di territorio interessato da specifici rischi).

Allo stesso tempo, la ricerca progettuale deve andare nella direzione di soluzioni in grado di rendere gli edifici:

- robusti e durevoli nella loro capacità di garantire costantemente predefinite prestazioni;
- manutenibili (Martani *et al.*, 2013), ossia in grado di essere facilmente monitorati e riparati in caso di guasti e degradi provocati/accelerati dagli eventi climatici;
- flessibili in modo da poter essere agevolmente modificati in caso di future e non previste evoluzioni del clima.

In sintesi, applicare e integrare questi requisiti significa pensare a edifici resilienti ossia pianificati, progettati, costruiti e gestiti in modo da anticipare, prepararsi e adattarsi alle mutevoli condizioni climatiche, capaci di resistere, rispondere ed essere recuperati rapidamente rispetto alle perturbazioni causate da condizioni climatiche.

Inoltre, si deve pensare in modo integrato la progettazione delle componenti fisiche dell'edificio e dei servizi di supporto, considerando questi ultimi come importanti fattori capaci di amplificare la capacità adattiva e reattiva complessiva del sistema di fronte a situazioni di incertezza sistemica (Moure *et al.*, 2023). In particolare:

- applicazioni di BMS (Building Management System), basate su sensori diffusi e sistemi di monitoraggio e controllo, consentono la conoscenza in continuo delle prestazioni e il riconoscimento istantaneo di comportamenti oltre la soglia di accettabilità (per esempio in tema di consumi elettrici) e l'ottimizzazione del funzionamento degli impianti (Manic *et al.*, 2016; Barreiras *et al.*, 2021);
- servizi di Facility Management integrati⁵ sono in grado di fornire servizi di presidio, *help desk*, ottimizzazione degli spazi, manutenzione programmata predittiva e secondo condizione, utili a potenziare la velocità di risposta del sistema edilizio (Talamo *et al.*, 2019);
- modelli digitali dell'edificio, eventualmente integrati da applicazioni di intelligenza artificiale, consentono di simulare e anticipare comportamenti complessi al variare di parametri climatici (Riaz *et al.*, 2023; Amiri *et al.*, 2024; Suleimany *et al.*, 2025; Li *et al.*, 2025).

6.3. Progettare per l'adattamento al cambiamento climatico

A partire dalla consapevolezza delle molteplici interazioni sistemiche, che condizionano le reazioni ai cambiamenti climatici, una progettazione orientata all'adattamento deve essere basata sulla conoscenza degli specifici pericoli da cambiamento climatico ai quali un manufatto edilizio è sottoposto, a partire dalla scala della regione climatica fino nello specifico contesto locale.

L'Atlante interattivo IPCC WGI⁶ fornisce una sintesi dei vari *driver* di cambiamento climatico rispetto a differenti regioni climatiche. In Tab. 6.1 è riportata una sintesi della regione dell'Europa mediterranea con una indicazione, seppur qualitativa, delle previsioni di evoluzione futura in relazione ai principali pericoli climatici.

5. Si veda la serie delle norme EN 15221 “Facility Management”: Part 1: Terms and definitions; Part 2: Guidance on how to prepare Facility Management agreements; Part 3: Guidance on quality in Facility Management; Part 4: Taxonomy, Classification and Structures in Facility Management; Part 5: Guidance on Facility Management processes; Part 6: Area and Space Measurement in Facility Management; Part 7: Performance Benchmarking.

Si veda anche: UNI EN ISO 41011:2018 Facility management – Vocabolario.

6. www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/.

Tab. 6.1 - Pericoli da cambiamento climatico e previsione di sviluppo per la regione climatica dell'Europa mediterranea. Fonte: IPCC WGI Interactive Atlas: Regional synthesis

Driver di impatto climatico	Cambiamenti futuri
<i>Caldo e freddo</i>	
Temperatura superficiale media	Elevata probabilità di aumento
Caldo estremo	Elevata probabilità di aumento
Ondata di freddo	Elevata probabilità di diminuzione
Gelo	Elevata probabilità di diminuzione
<i>Umidità e siccità</i>	
Precipitazioni medie	Elevata probabilità di diminuzione
Inondazione da fiume	Probabilità media di diminuzione
Forti precipitazioni e piene pluviali	Media probabilità di aumento
Aridità	Elevata probabilità di aumento
Siccità	Elevata probabilità di aumento
Siccità agricola ed ecologica	Elevata probabilità di aumento
Caldo intenso	Elevata probabilità di aumento
<i>Vento</i>	
Velocità media del vento	Elevata probabilità di diminuzione
Forte tempesta di vento	Media probabilità di aumento
<i>Neve e ghiaccio</i>	
Neve, ghiacciaio e calotta glaciale	Elevata probabilità di diminuzione
Permafrost	Elevata probabilità di diminuzione
Laghi e fiumi ghiacciati	Elevata probabilità di diminuzione
<i>Coste</i>	
Livello relativo del mare	Elevata probabilità di aumento
Alluvione costiera	Elevata probabilità di aumento
Erosione costiera	Elevata probabilità di aumento
Ondata di caldo marino	Elevata probabilità di aumento
Acidificazione, dell'oceano	Elevata probabilità di aumento
<i>Altri</i>	
CO ₂ atmosferica in superficie	Elevata probabilità di aumento
Radiazione superficiale	Media probabilità di aumento

Le previsioni, che emergono in Tab. 6.1, fanno presagire per l'area mediterranea una costante tendenza all'innalzamento delle temperature, un aumento delle situazioni di aridità e di temporanea siccità, un incremento dei livelli medi delle precipitazioni così come di intense tempeste di vento, forti precipitazioni e inondazioni.

Nelle specifiche situazioni di progetto, la definizione di strategie per l'adattamento climatico dovrebbe quindi focalizzarsi su questi pericolosi climatici tipici regionali per poi individuare a livello locale le priorità definite attraverso metodiche di *impact chain* (si veda Cap. 5) e analisi di dati climatici.

Nella individuazione preliminare delle strategie e priorità, che guideranno le scelte progettuali, è importante abbinare, così come avviene a livello territoriale, al concetto di adattamento quello di limite secondo due declinazioni.

Una declinazione è quella delineata dall'IPCC AR6 (2023), che definisce il concetto di “limiti dell’adattamento” riferendosi a quei vincoli che possono o non possono essere superati da azioni di adattamento, anche in considerazione della velocità con cui si sviluppano gli impatti climatici. Il limite dell’adattamento è, in sostanza, il punto nel quale, anche adottando misure di adattamento, gli obiettivi e i bisogni di un sistema non possono essere messi al sicuro rispetto a rischi non tollerabili. IPCC (2023) distingue tra limiti “soft” e “hard”: “soft sono quelli per i quali non sono attualmente possibili ulteriori opzioni di adattamento, ma che potrebbero essere disponibili in futuro, hard sono quelli per i quali le opzioni di adattamento esistenti cesseranno di essere efficaci e non saranno possibili ulteriori opzioni. Limiti hard cresceranno in relazione a livelli più elevati di riscaldamento”. Considerare il concetto di “limite dell’adattamento” significa quindi perseguire, ai fini della determinazione delle priorità, quelle soluzioni progettuali che consentono di non avvicinarsi sicuramente ai limiti “hard”, scongiurando possibilmente l'avvicinamento anche a quelli “soft”, benché nella valutazione dei limiti “soft” si possa considerare l'esistenza di pratiche e di tecniche note, anche se non immediatamente applicabili nel contesto osservato (Barnett *et al.*, 2015).

L'altra declinazione è quella di “limiti alla capacità di adattamento” di un sistema. Studi e sperimentazioni, condotti alla scala territoriale (UNEP, 2023), evidenziano come nel considerare la capacità di adattamento sia importante tenere in considerazione non solo le caratteristiche fisiche di un sistema. Esistono infatti molteplici fattori che possono inibire la potenziale capacità adattiva o limitarne gli effetti e che sono riconducibili ai costi, alle risorse disponibili, all’organizzazione dei settori coinvolti, alle norme, agli aspetti sociali e alla propensione degli stakeholder a riconoscere

come necessarie alcune misure. Rispetto a questo ultimo aspetto – che è forse quello sul quale è più probabile riuscire ad intervenire – indagini sui “limiti alla capacità di adattamento” possono essere condotte, attraverso metodi di coproduzione di conoscenze e strategie, al fine di riconoscere le “perdite intollerabili” per le comunità osservate. Questo tipo di indagine aiuta infatti ulteriormente a dare priorità alle azioni progettuali per la prevenzione e minimizzazione dei rischi. È possibile considerare, secondo diversi tipi di classificazione, perdite e danni quali, ad esempio: economici (danni alle infrastrutture o perdite di fatturati o produttività) e non economici (perdita di vite, salute, diritti, territorio, patrimonio culturale, conoscenze locali, biodiversità e servizi ecosistemici) o evitabili (se prevenibili con misure definite) e non evitabili (van der Geest *et al.*, 2015). A questo proposito, il report IPCC (IPCC, 2023, Cap. 17) riporta una sintesi dei molti metodi di valutazione di perdite e danni – tuttavia ancora non consolidati e condivisi nonostante la ricchezza dei contributi (Qi *et al.*, 2023) – che trovano attualmente applicazione essenzialmente alla grande scala.

Tutto questo implica che la progettazione per l’adattamento non si deve limitare ad una attenzione per singoli aspetti tecnico-distributivi, ma richiede un articolato insieme di indagini e analisi critiche condotte alle diverse scale.

Tuttavia, pur nella consapevolezza che la varietà delle situazioni di contesto e l’incertezza delle evoluzioni climatiche impongono la definizione di specifiche priorità e la ricerca di soluzioni appropriate localmente, è bene chiarire che sono ormai acquisiti alcuni criteri generali e linee orientative, che possono supportare un approccio progettuale attento all’adattamento al cambiamento climatico. Si tratta di criteri e linee orientative che si collocano in modo diverso nell’iter progettuale, dalla pianificazione degli interventi fino alla definizione di dettaglio, a livello di scelte localizzative, tipologiche e tecniche.

Inoltre, questi criteri possono trovare traduzione e formulazione in relazione a diversi punti di applicazione:

- nel documento di indirizzo alla progettazione (brief di progetto), nel quale il committente, nell’esplicitare set di requisiti riferiti a diversi domini, ha la possibilità di orientare, rispetto a priorità e obiettivi dichiarati, i contenuti della progettazione e di definire i contenuti informativi richiesti, come pure le modalità e i parametri per la valutazione delle proposte in relazione a specifici pericoli climatici;
- nei disciplinari di gara, nei quali la committenza specifica i criteri progettuali e gli obiettivi di riferimento;
- nei diversi livelli di definizione del progetto, dove secondo specifiche modalità di comunicazione (relazioni esplicative, dettagli costruttivi,

- schemi di funzionamento, simulazioni di comportamenti, ecc.) è possibile descrivere rispetto ai diversi e specifici pericoli climatici, considerati come prioritari, la capacità di adattamento in termini di prevenzione e/o riduzione dei rischi;
- nelle puntuale verifiche di conformità nei diversi livelli di definizione progettuale attraverso l'utilizzo di check-list di controllo.

Benché non siano ancora largamente conosciuti, esistono diversi documenti che delineano criteri e linee orientative per lo sviluppo di soluzioni progettuali dotate di capacità adattive. La struttura di tali documenti è prevalentemente articolata in forma di linee guida per la progettazione che propongono sia metodi semplificati per la valutazione del rischio climatico sia soluzioni progettuali e buone pratiche per migliorare l'adattamento degli edifici.

A titolo esemplificativo si riporta di seguito un confronto tra due dei molti documenti che sono stati sviluppati da enti e istituzioni per migliorare la conoscenza e la consapevolezza sulle azioni di adattamento climatico⁷. Le soluzioni proposte dai due documenti vengono riportate in maniera sintetica ed in forma tabellare nella Tab. 6.2, che viene articolata in base ai più conosciuti rischi climatici; per facilità di lettura non sono state inserite le misure di carattere gestionale (soft) previste dalle linee guida, ma solo misure di carattere tecnico-progettuale.

Tab. 6.2 - Confronto tra azioni di adattamento climatico. Rielaborazione degli autori da EU-level technical guidance on adapting buildings to climate change: best practice guidance (2023) e OID Observatoire de l'Immobilier Durable “Guide to action for climate change adaptation” (2025)

Azione climatica	Azioni di adattamento	
	EU-Level	OID
Ondate di calore	<ul style="list-style-type: none"> – Ombreggiatura esterna – Tetti verdi – Vegetazione alta sui lati dell'edificio esposti al sole – Ventilazione notturna 	<ul style="list-style-type: none"> – Scelta di rivestimenti per pareti e tetti ad alto albedo⁸ – Scelta di rivestimenti stradali ad alto albedo

7. I due documenti esaminati sono:

- EU-level technical guidance on adapting buildings to climate change: best practice guidance (2023).
- OID Observatoire de l'Immobilier Durable “Guide to action for climate change adaptation” (2025).

8. Albedo: La frazione di radiazione solare riflessa da una superficie o da un oggetto, spesso espressa in percentuale. (IPCC, 2013: Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change).

Tab. 6.2 - segue

Azione climatica	Azioni di adattamento	
	EU-Level	OID
	<ul style="list-style-type: none"> – Utilizzo di elettrodomestici a basso consumo energetico nell'edificio – Raffrescamento e ventilazione attivi adeguati alle esigenze dell'edificio – Abilitare il flusso d'aria passivo attraverso l'edificio per la ventilazione – Materiali chiari e riflettenti su tetti, pareti, finestre e persiane – Massa termica – Ventilazione passiva tramite camini termici – Facciate verdi – Isolamento di pareti, finestre e tetti – Ridurre la superficie vetrata della facciata in direzione della luce solare – Aumentare l'uso di rivestimenti superficiali protettivi/o cemento attivato con alcali – Orientamento dell'edificio lontano dalla luce solare diretta per controllare gli apporti solari – Impianti fotovoltaici sul tetto – Sporgenza del tetto, verande e tetti per terrazze – Utilizzo della tecnologia dei materiali a cambiamento di fase per immagazzinare calore e rilasciarlo di notte – Collegamento al teleraffrescamento – Raffrescamento per evaporazione – Giunti di dilatazione (per eccessivi movimenti delle strutture) – Geo-raffrescamento 	<ul style="list-style-type: none"> – Realizzazione di un tetto verde – Miglioramento dell'isolamento e dell'inerzia degli elementi opachi dell'edificio – Orientamento dell'edificio e dei suoi spazi – Inverdimento della facciata – Favorire la circolazione dell'aria – Installazione di dispositivi di protezione solare – Limitazione e adattamento delle facciate vetrate – Raffrescamento degli ambienti interni con energia geotermica – Raffrescamento degli ambienti interni con metodi adiabatici – Raffrescamento degli ambienti interni tramite ventilazione – Creazione e gestione di sistemi d'acqua artificiali – Piantumazione attorno all'edificio – Creazione di una corte “oasi” – Previsione di spazi permeabili – Realizzazione di un giardino di raccolta della pioggia – Scelta di apparecchiature a bassa emissione di calore – Allestimento di sistemi di emergenza – Creazione di bacini per la gestione delle acque piovane – Riutilizzo dell'acqua piovana – Connessione alla rete di raffrescamento di quartiere

Tab. 6.2 - segue

Azione climatica	Azioni di adattamento	
	EU-Level	OID
Tempeste e venti estremi	<ul style="list-style-type: none"> - Modifica delle dimensioni e aumento della frequenza dei fissaggi per tegole, ardesie e colmi - Sistemi e clip antiuragano per fissare il tetto alle pareti (edifici leggeri) - Parafulmini/protezione da scariche atmosferiche - Discontinuità fisica tra la copertura dell'edificio e eventuali estensioni (terrazza coperta, veranda, patio) - Sporti e sporgenze ridotte - Preferire siepi e arbusti rispetto agli alberi intorno all'edificio - Dispositivo di protezione dalle sovratensioni - Fissare mobili da esterno e pavimentazioni leggere al terreno - Sigillare i giunti nelle finestre - Ganci antitempesta per fissare le aperture - Tegole resistenti agli urti - Collegamenti robusti tra gli elementi esterni dell'edificio (tetto-pareti, pareti-fondazioni, fondazioni-terreno) - Preferire forme aerodinamiche - Sottotetto e guaina per rinforzare il tetto - Superfici del tetto a basso attrito come tetti in acciaio e tetti con giunti aggraffati - Irrigidimenti delle pareti - Controventatura - Pannelli solari resistenti agli urti - Interramento delle linee di distribuzione dei servizi (luce, gas, acqua) - Protezione meccanica dei serramenti (es.persiane antitempesta) - Vetro resistente agli urti per finestre e porte - Installazione di generatori elettrici ausiliari 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitazione del carico del vento sulle attrezature dell'edificio (gronde, recinzioni, pannelli FV) - Orientamento dell'edificio e dei suoi spazi - Piantumazione attorno all'edificio - Allestimento di sistemi di emergenza - Ancoraggio degli arredi esterni

Tab. 6.2 - segue

Azione climatica	Azioni di adattamento	
	EU-Level	OID
Piogge estreme e inondazioni	<ul style="list-style-type: none"> – Sistema di scarico acque piovane del tetto efficace – Tetto a padiglione (con pendenze di 30 gradi) – Sigillare i giunti nelle finestre – Finitura antipioggia delle chiusure esterne – Impermeabilizzazione aggiuntiva delle pareti esterne contro la pioggia di stravento – Rete antigrandine – Evitare superfici piane quadrate e rettangolari estese e perpendicolari al vento – Tetto verde (estensivo o intensivo) – Tetti a falda – Tracciamento termico antighiaccio nelle grondaie – Ispezione e pulizia di scarico del tetto, grondaie e pluviali, e neve – Trincee drenanti – Valvole di non ritorno per WC e lavandini – Terreni permeabili – Tende e tapparelle antigrandine – Collegare le acque superficiali dalla rete fognaria – Posizionamento di lavandini/ WC sopra il livello di piena – Rete di drenaggio dimensionata per le future proiezioni di deflusso – Giardini drenanti e canali di scolo – Manto di copertura resistente all'impatto (ad es. metallo o laterizio) – Coperture blu (con strato di acqua) o blu-verdi (acqua e vegetazione) – Preparazione del terreno (mitigazione delle frane) 	<ul style="list-style-type: none"> – Adattamento delle fondazioni – Realizzazione di tetti verdi – Installazione di dispositivi anti-infiltrazione – Sopraelevazione degli elementi strutturali e degli impianti critici – Uso di materiali resistenti all'acqua – Inverdimento delle facciate – Permeabilità del suolo – Piantumazione intorno all'edificio – Progettazione di “terreni spugna” – Creazione di giardini pluviali – Ripristino di corsi d'acqua per deflusso – Collocazione delle attività e strutture essenziali ai piani alti – Allestimento di sistemi di emergenza – Creazione di bacini per la gestione dell'acqua piovana – Dimensionamento della gestione delle acque nel lotto – Raccolta e riutilizzo dell'acqua piovana

Tab. 6.2 - segue

Azione climatica	Azioni di adattamento	
	EU-Level	OID
Siccità	<ul style="list-style-type: none"> – Apparecchi e accessori a basso consumo idrico – Fonte idrica in loco, come serbatoi o pozzi in grado di fornire acqua per tre o quattro giorni – Scelta appropriata della vegetazione – Raccolta dell’acqua piovana – Riciclo delle acque grigie – Raccolta e riutilizzo della condensa delle unità di trattamento aria (UTA) 	<ul style="list-style-type: none"> – Adattamento delle fondazioni – Irrigidimento della struttura – Limitazione delle variazioni dell’umidità del suolo – Creazione di una corte oasi – Progettazione di un “terreno spugna” – Realizzazione di un giardino pluviale – Protezione delle reti – Riutilizzo dell’acqua piovana
Inondazioni costiere	<ul style="list-style-type: none"> – Fondazioni progettate tenendo conto di tutte le forze derivanti dall’azione delle onde, dall’impatto dei detriti, dall’erosione e dall’erosione locale – Impiego materiali resistenti all’acqua salata per la struttura primaria – Elevare gli ingressi e le funzioni essenziali al di sopra del livello di piena – Posizionare gli edifici, in particolare quelli che svolgono funzioni critiche, su terreni più elevati. 	<ul style="list-style-type: none"> – Adattamento delle fondazioni – Installazione di dispositivi anti-infiltrazione – Sopraelevazione degli elementi strutturali e impianti critici – Uso di materiali resistenti all’acqua – Creazione di cortili-oasi – Progettazione di “terreni spugna” – Collocazione delle attività essenziali ai piani alti – Allestimento di sistemi di emergenza – Ancoraggio degli arredi esterni

Le misure di adattamento indicate in tabella sono riferite sia all’edificio sia alle aree circostanti e devono essere contestualizzate in relazione alla specifica analisi di rischio sviluppata per il contesto di riferimento. È importante tenere presente che la adozione di una misura di adattamento dovrebbe sempre essere valutata con grande attenzione rispetto agli effetti attesi che possono essere diretti o indiretti e agire su una azione climatica o più azioni climatiche in maniera benefica o negativa. La adozione di sistemi di schermatura esterna delle superfici trasparenti di un edificio, per esempio, ha un effetto benefico diretto nei confronti del rischio “ondata di calore” e un effetto indiretto benefico rispetto al rischio “siccità” in quanto riducendo i carichi termici

porta a una minore richiesta idrica per il consumo umano e per il funzionamento degli impianti di raffrescamento che scambiano con acqua. La stessa misura ha però degli effetti negativi nei confronti del rischio climatico “venti estremi” in quanto aumenta la fragilità dell’edificio rispetto a tale azione.

Nella valutazione dei pro e contro della adozione di una misura di adattamento climatico si usa spesso il termine “maladaptation”, tradotto normalmente con maladattamento che può essere definito⁹ come “l’insieme delle azioni che comportano un aumento del rischio di esiti avversi legati al clima, attraverso:

- a) l’aumento delle emissioni di gas serra (GHG);
- b) l’aumento o lo spostamento della vulnerabilità ai cambiamenti climatici;
- c) risultati più iniqui;
- d) una diminuzione del benessere, ora o in futuro”.

Nella maggior parte dei casi il maladattamento è una conseguenza non voluta”. In base alla definizione precedente si può fare un altro caso particolarmente diffuso di azione di maladattamento che è relativo alla installazione diffusa di impianti di raffrescamento dell’aria a seguito dell’aumento medio generalizzato delle temperature estive e della maggior frequenza delle ondate di calore che sempre più spesso colpiscono le nostre città. Combattere questi fenomeni cronici e acuti con la adozione diffusa di impianti di condizionamento è certamente una azione di adattamento di facile attuazione che, tuttavia, dovrebbe essere valutata nel suo insieme in quanto i maggiori consumi elettrici portano inevitabilmente a un aumento delle emissioni di gas serra e allo stesso tempo l’aria calda rilasciata dalle unità di condensazione esterna degli impianti aumenta l’effetto isola di calore soprattutto nei centri urbani.

La capacità di adattamento viene anche considerata nelle più recenti evoluzioni dei sistemi di certificazione ambientale degli edifici o GBRS Green Building Rating Systems. L’interesse per l’istituzione di sistemi di valutazione degli edifici per misurarne e dichiararne le prestazioni ambientali è iniziato negli anni ’90; nelle fasi iniziali del loro sviluppo, questi sistemi prendevano principalmente in considerazione l’efficienza energetica e, dopo il protocollo di Kyoto del 1997, sono stati aggiornati includendo anche le emissioni di carbonio. Con la loro implementazione, i GBRS hanno fornito agli stakeholder un supporto per dichiarare quanto un edificio fosse “green” o energeticamente efficiente, grazie a una verifica indipendente di terza parte capace di dare credibilità a queste valutazioni

9. ISPRA (2023) Verso città resilienti: gli interventi del Programma sperimentale per l’adattamento ai cambiamenti climatici in ambito urbano.

volontarie. Tra il 1990 e il 2014 sono stati identificati circa 80 sistemi GBRS, con un incremento particolarmente marcato nel periodo 1990-2010.

All'inizio della loro diffusione, i GBRS erano concentrati su tematiche prettamente ambientali, in particolare su consumo energetico ed emissioni di gas serra (GHG). È stato osservato che, rispetto al tema del cambiamento climatico, i GBRS sono stati progettati per valutare il contributo degli edifici certificati nella riduzione delle emissioni di GHG, sia in fase di costruzione che di esercizio, contribuendo così alla mitigazione.

Il funzionamento dei GBRS si basa sostanzialmente sull'uso di crediti, utilizzati per misurare la conformità dei progetti ai requisiti di sostenibilità, suddivisi in diverse categorie come: siti sostenibili, uso dell'acqua, uso dell'energia, impatto sull'atmosfera, utilizzo di risorse naturali, ecc. I crediti sono criteri o requisiti specifici che coprono una serie di aspetti che devono essere soddisfatti nella progettazione, nella costruzione e nella gestione degli edifici oggetto di certificazione; ogni credito riguarda una specifica categoria o area di impatto e i progetti guadagnano punti soddisfacendo i criteri delineati per ciascun credito. Una indagine sulla relazione tra i crediti dei più diffusi GBRS e le azioni di mitigazione e adattamento (Paganin *et al.*, 2025) ha evidenziato come nella maggior parte dei GBRS il tema della mitigazione sia mediamente molto più coperto rispetto al tema dell'adattamento (Tab. 6.3).

Tab. 6.3 - Incidenza degli aspetti di adattamento climatico e mitigazione climatica sui crediti totali attribuiti da alcuni Green Building Rating System internazionali. (Fonte: Paganin *et al.*, 2025)

GBRS	BREEAM	CASBEE	DGNB	Green Star	LEED	SBTool
% crediti riferibili ad adattamento	13,0%	4,2%	10,5%	10,3%	11,9%	6,9%
% crediti riferibili a mitigazione	35,2%	20,8%	13,2%	15,4%	26,2%	11,9%

6.4. Adattamento al cambiamento climatico e cantiere

La fase di realizzazione di un edificio può risentire in modo significativo di alcuni effetti del cambiamento climatico, come dimostrano a livello mondiale¹⁰

10. L'Europa e l'Asia centrale hanno sperimentato il maggiore incremento di esposizione al caldo eccessivo, pari al 17,3% tra il 2000 e il 2020, quasi il doppio del tasso medio globale dell'8,8 per cento. Le Americhe, insieme a Europa e Asia centrale, registrano l'aumento più rapido dal 2000 della percentuale di infortuni sul lavoro legati al calore, rispettivamente del 33,3% e del 16,4% (ILO, 2024a). A livello globale si stima che ogni an-

i dati degli infortuni sul lavoro legati a fenomeni quali in primo luogo caldo estremo, freddo severo, venti forti, precipitazioni intense.

Considerando le particolari condizioni di lavoro del cantiere edile, questi fenomeni nel loro insieme rappresentano un elevato rischio che impone di valutare le esigenze di adattamento sia nella definizione di alcuni aspetti del progetto, sia nella organizzazione e programmazione del cantiere.

Considerando l'esposizione prolungata al caldo eccessivo, i dati dimostrano che questa condizione può avere sui lavoratori gravi effetti, fino a conseguenze letali, specie se in sinergia con altri fattori, spesso compresi nel cantiere quali: alta temperatura dell'aria e alti tassi di umidità, basso consumo di liquidi, esposizione diretta al sole (senza ombra), movimento d'aria limitato (assenza di aree ventilate), attività fisica intensa, alimentazione non adeguata, insufficiente periodo di acclimatamento, uso di indumenti pesanti e dispositivi di protezione, condizioni di suscettibilità individuale (Inail, 2022).

Ad aggravare questi fattori si aggiunga il tema dell'invecchiamento dei lavoratori del settore edile, che rende una grossa percentuale di operatori più sensibile agli effetti del calore. I dati sulla dinamica di invecchiamento progressivo della popolazione lavorativa operaia in edilizia evidenziano – in particolare per Italia, Polonia, Spagna – un progressivo aumento del numero di lavoratori che si collocano nella fascia di età over 50 e una riduzione del numero di lavoratori giovani afferenti alla fascia under 30. Secondo indagini INAIL (2023) il settore delle costruzioni è interessato da un invecchiamento della forza lavoro, con la quota di adulti di età compresa fra 25 e 49 anni contrattasi dal 65,3% nel 2008 al 61,8% nel 2015, a fronte di un aumento dal 22,2% al 28% della fascia tra i 50 e i 64 anni d'età.

Si tratta di situazioni capaci di causare effetti sia diretti, con problematiche e patologie (disidratazione, stress da calore, colpo di calore), sia indiretti con infortuni derivanti dal calo delle prestazioni psicofisiche in seguito a condizioni di malessere. Inail stima che ogni anno oltre 4mila infortuni siano legati al caldo con l'elevato rischio che in futuro questi numeri possano aumentare (Inail, 2022).

Adeguare rispetto al caldo estremo i comportamenti nella fase di realizzazione presuppone l'assunzione di alcune misure quali (Inail, 2025):

- definizione di procedure da applicare in ogni possibile scenario influenzato dalle condizioni meteorologiche, sia in situazioni di lavoro ordinario che di emergenza;

no almeno 2,41 miliardi di lavoratrici e lavoratori (70% della forza lavoro) siano esposti al caldo eccessivo contando cifre come 22,85 milioni di infortuni sul lavoro e 18.970 decessi legati al lavoro (ILO, 2024b).

- adeguamento di orari giornalieri e di turni di lavoro, con pause frequenti se necessario (Inail, 2021), al fine di evitare o ridurre l'esposizione nelle fasce orarie nelle quali le radiazioni solari UV sono più intense, la temperatura ambientale è più elevata e le condizioni di umidità relativa sono sfavorevoli (Fig. 6.2);
- calibrazione del tipo di attività in relazione al clima (Fig. 6.2), programmando i lavori più pesanti nelle ore più fresche, considerando eventualmente orari anche notturni o all'alba;
- possibilità di prevedere in relazione all'andamento delle temperature periodi di fermo delle attività¹¹;
- programmazione di pause per garantire adeguati ristori nelle ore più calde;
- installazione di ripari e coperture provvisionali per creare zone di ombra nelle aree di lavoro all'aperto;
- installazione di punti di fornitura d'acqua in più siti¹²;
- impiego di mezzi da lavoro dotati di cabine chiuse con aria condizionata;
- fornitura di protezioni e indumenti¹³ adatti a caldo e a radiazioni ultraviolette;
- fornitura di ausili per ridurre, laddove possibile, lo sforzo fisico da movimentazione dei carichi;
- installazione di aree/impianti di raffreddamento nei luoghi di lavoro interni;
- piani di evacuazione in caso di eventi estremi e gestione del ripristino dei luoghi di lavoro in sicurezza;
- formazione e informazione¹⁴ dei lavoratori sulle misure di prevenzione e protezione.

11. La Nota n. 5056 del 13 luglio 2023 dell'Ispettorato nazionale del lavoro richiama l'attenzione sulle misure da attuare in caso di temperature molto elevate che rendono difficile o pericoloso il lavoro svolto.

La nota dell'Inps n. 2999 del 28 luglio 2022 evidenzia l'opportunità di concedere la Cassa Integrazione Guadagni Ordinaria per lavori che espongano a temperature superiori a 35°C: il datore di lavoro può sospendere o ridurre lavorazioni in corso per cause legate ai rischi per la salute e sicurezza dei lavoratori.

L'edilizia, l'agricoltura e il florovivaismo sono alcuni dei settori in cui può entrare in vigore lo stop al lavoro nelle ore più calde (nel dettaglio, dalle ore 12.30 alle 16). (Si veda il report Worklimite: CALDO E LAVORO. Gli effetti negativi delle elevate temperature sulla salute dei lavoratori e sulla produttività lavorativa, 2024).

12. È raccomandabile bere acqua fresca in abbondanza (almeno mezzo litro ogni ora) e frequentemente almeno ogni 15 minuti.

13. Cappello/casco a tesa larga, creme solari protettive; indumenti chiari e traspiranti; indumenti di raffreddamento come gilet, magliette e berretti refrigeranti, ecc.

14. È importante informare i lavoratori anche sui fattori predisponenti ad aumentare il rischio quali: età, genere, obesità, assunzione di alcool o caffé, utilizzo di farmaci e condizioni personali di salute (es. cardiopatie).

Umidità relativa dell'aria (%)	72	80	91	108	122	136	144	149	150
	71	79	88	102					
100	72	80	91	108	122	136	144	149	150
90	71	79	88	102	113				
80	71	78	86	97	113	124			
70	70	77	85	93	106	124	144		
60	70	76	82	90	100	114	132	149	
50	69	75	81	88	96	107	120	135	150
40	68	74	79	86	93	101	110	123	137
30	67	73	78	84	90	96	104	113	123
20	66	72	77	82	87	93	99	105	112
10	65	70	75	80	85	90	95	100	105
0	64	69	73	78	83	87	91	95	99
	21	23,9	26,6	29,4	32,2	35	37,5	40,6	43,3

Temperatura dell'aria (all'ombra)

Heat Index	Disturbi per esposizione prolungata a calore e/o a fatica fisica intensa
Da 80 a 90	Fatica
Da 90 a 104	Colpo di sole, crampi muscolari, esaurimento fisico
Da 105 a 129	Esaурimento fisico, colpo di calore possibile
130 e più	Rischio elevato di colpo di calore/colpo di sole

Fig. 6.2 - Indice di calore. Il valore dell'indice va confrontato con la tabella che riassume i possibili effetti negativi. Questi indici sono validi per lavoro all'ombra e con vento leggero. In caso di lavoro al sole l'indice in tabella va aumentato di 15 (Inail, 2024)

Così come per il caldo intenso e le ondate di calore, pure le condizioni di freddo severo¹⁵ portano rischi di patologie anche gravi e possibilità di infortuni: è quindi necessario considerare le questioni di adattamento al freddo nelle procedure e nella programmazione del cantiere (Inail, 2022 b). Sicuramente fino a certi livelli l'abbigliamento è uno strumento efficace di adattamento, tuttavia un abbigliamento eccessivo può limitare nei movimenti l'operatore (specie se lavora in quota), aumentando il rischio di

15. La norma UNI EN ISO 15743:2008 (Ergonomia dell'ambiente termico – Posti di lavoro al freddo – Valutazione e gestione del rischio) fornisce: uno strumento pratico per valutare e gestire il rischio nei posti di lavoro al freddo che comprende modelli e metodi per la valutazione e la gestione del rischio; un elenco di controlli per identificare i problemi legati al lavoro al freddo; un metodo ed un questionario utilizzabili dai medici per identificare i lavoratori che presentano sintomi tali da aumentare la sensibilità al freddo e migliorare la protezione individuale.

infortunio, mentre un eccessivo isolamento termico può impedire la respirazione, determinando un accumulo di sudore; inoltre è necessario considerare il pericolo di raffreddamento eccessivo di alcune parti che per certe lavorazioni non possono essere adeguatamente coperte (mani, viso).

Anche nel caso del freddo, tra le misure di adattamento vi è sicuramente la calibrazione (ora per ora) delle attività in relazione alle condizioni climatiche: “quando l’abbigliamento è insufficiente a garantire la neutralità termica, è necessario stimare la DLE (durata limite di esposizione) e il RT (tempo di recupero). In funzione del carico di lavoro previsto e del valore di EWCT (Equivalent wind chill temperature) è possibile calcolare dei valori limite per la lunghezza massima dei turni di lavoro, da alternare a periodi di riscaldamento; oltre al calcolo degli indici IREQ (Insulation REQuired) e WCI (Wind chill index) può essere quindi definito un adeguato schema di lavoro che tenga conto di un’adeguata combinazione di DLE e RT al fine di ridurre il rischio di ipotermia, con l’introduzione di un’organizzazione del lavoro tale da limitare la durata di permanenza dei lavoratori negli ambienti troppo freddi” (Inail, 2022b).

Un altro fenomeno da considerare è il vento, da solo o in combinazioni con altre condizioni. In presenza di freddo severo si deve considerare l’effetto “Wind Chill”¹⁶ o raffreddamento da vento per il quale, in presenza di vento, la temperatura percepita dall’organismo risulta inferiore rispetto alla temperatura effettiva dell’aria. Non considerare adeguatamente l’effetto “Wind Chill”¹⁷ può far aumentare significativamente il rischio di infortuni derivanti da una ridotta capacità psicofisica (dita contratte, rigidità muscolare e articolare, tempi di reazione rallentati, ridotta capacità di coordinazione e di concentrazione).

Il vento è tradizionalmente un fattore di rischio per il cantiere. Oltre agli aspetti sinergici legati alle temperature, i mutati fenomeni legati al vento possono costituire nuovi potenziali pericoli specie per le attività che prevedono lavori in quota come l’utilizzo di piattaforme di lavoro eleva-

16. UNI EN ISO 11079:2008, Ergonomia degli ambienti termici – Determinazione e interpretazione dello stress termico da freddo con l’utilizzo dell’isolamento termico dell’abbigliamento richiesti (REQ) e degli effetti del raffreddamento locale.

17. Per valutare come gestire i rischi connessi all’esposizione al freddo all’aperto, specialmente alle parti scoperte del corpo (tipicamente il viso), è applicabile il Wind Chill Index relativo alla temperatura reale percepita a livello dell’epidermide in presenza di correnti d’aria. L’indice misura la perdita di calore corporeo in funzione della temperatura dell’aria e della velocità del vento. Secondo la norma UNI EN ISO 11079:2008 il WCI (Wind Chill Index) esprime l’entità della potenza termica per unità di superficie perduta dall’organismo in funzione della temperatura e della velocità del vento. Il parametro da determinare è la EWCT (Equivalent Wind Chill Temperature), che si calcola a partire dai valori misurati di temperatura e di velocità dell’aria.

bili¹⁸ (PLE), gru a torre, montacarichi, ecc. La pianificazione dei lavori di cantiere deve quindi considerare la possibilità di assumere decisioni tese a prevenire¹⁹ i rischi interrompendo o modificando le attività prima del raggiungimento della velocità critica del vento. In ogni caso è di grande importanza la conoscenza dei dispositivi che si utilizzano, il controllo dei dati riportati nella targa identificativa relativi alla velocità massima in m/s consentita per l'utilizzo dell'attrezzatura, la conservazione e il controllo del libretto di uso e manutenzione che riporta le modalità di utilizzo e le prassi operative, nonché i dati tecnici e generalità per l'uso dell'attrezzatura.

I cambiamenti climatici nella fase di realizzazione di un edificio possono condizionare significativamente sia i rischi (può aumentare la magnitudo dei danni a fronte di difficoltà o impossibilità nella valutazione della probabilità di accadimento), sia i tempi della costruzione con ritardi nelle esecuzioni o interruzioni non previste in fase di programmazione.

I temi dell'adeguamento ai cambiamenti climatici, declinati nella fase di realizzazione di un intervento edilizio, impongono quindi una serie di considerazioni relative sia alle misure da assumere per mitigare i rischi, sia alla gestione dei tempi della realizzazione. Questo implica nella fase di progettazione esecutiva e in quella di programmazione e gestione del cantiere una serie di azioni quali, ad esempio:

- l'individuazione dei potenziali rischi e la loro entità in relazione a dinamiche climatiche mutate rispetto alla tradizionale pratica;
- l'inserimento all'interno del progetto di elementi (per esempio aree protette, modalità di accesso, dispositivi di raffrescamento, ecc.), permanenti, o temporanei rispetto al tempo della realizzazione, funzionali alla gestione dei rischi climatici;
- la programmazione delle attività di costruzione accompagnata da una serie di scenari legati ai fenomeni climatici e da percorsi alternativi in modo da ridurre i ritardi di realizzazione;
- il potenziamento della capacità del coordinatore del cantiere nell'accesso alle fonti informative e nell'analisi delle previsioni meteorologiche a medio e breve termine dei dati climatici locali giornalieri al fine di riprogrammare in modo flessibile le attività;
- il miglioramento della formazione dei lavoratori sui rischi legati a eventi climatici estremi e su azioni e presidi possibili.

18. Solitamente le PLE progettate per lavori in esterno ammettono una velocità del vento di 12,5 m/s (circa 45 km/h); inoltre i mezzi che prevedono lavori ad altezze considerevoli da terra dispongono di sistemi di emergenza che bloccano le operazioni che l'addetto gestisce con i comandi manuali in caso di pericolo, anche se, specie nel caso di vento irregolare, è sempre opportuno non attendere il raggiungimento dello stop di emergenza.

19. I principali rischi riguardano il ribaltamento o rovesciamento del cestello, l'oscillazione del carico, l'urto con alberi mossi dal vento o con linee elettriche.

6.5. Manutenzione programmata e cambiamento climatico

La manutenzione degli edifici si confronta con il tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici per diversi aspetti. Complessità delle interazioni tra fenomeni atmosferici, incertezza sulle capacità di previsione delle risposte dei sistemi tecnici e impiantistici, necessità di delineare scenari di rischio rispetto a nuove vulnerabilità impongono infatti cambiamenti negli approcci alla manutenzione in considerazione del fatto che i cambiamenti climatici influenzano:

- i fenomeni di degrado degli edifici, per quanto riguarda il tempo statisticamente atteso per la loro comparsa e progressione;
- i guasti in termini di probabilità e di frequenza di accadimento come pure di estensione e magnitudo;
- la previsione della durata di vita utile di alcune parti d'opera come per esempio gli elementi di involucro trasparente ed opaco (*Charisi et al., 2018*);
- la rapidità di obsolescenza di parti edilizie e impiantistiche che possono risultare, pur se ancora funzionanti, non più adeguate rispetto a nuove esigenze, come per esempio i livelli di isolamento termico, di schermatura solare o i sistemi di raffrescamento;
- i comportamenti degli utilizzatori, modificati in risposta ai cambiamenti climatici, con implicazioni sulle modalità di fruizione e di usura dei beni;
- gli interventi, eseguiti in emergenza in seguito ad eventi estremi, che possono, se non accuratamente progettati, causare la proliferazione di degradi non previsti.

I cambiamenti climatici costringono quindi a rivedere le conoscenze consolidate nel tempo per quanto riguarda la capacità di risposta dei materiali e dei sistemi. Per le attività di manutenzione programmata i dati storici e i modelli previsionali durabilistici e affidabilistici, necessari ai fini di strategie manutentive preventive, non sono più sufficienti a prevedere i comportamenti delle specifiche parti degli edifici rispetto alle azioni di agenti climatici non considerati al momento della progettazione. Ad esempio, i venti estremi sono più rilevanti delle velocità medie quando si progetta una facciata, l'intensità dell'azione combinata vento-pioggia può essere più importante della durata degli eventi di precipitazione per le facciate rivestite in pannelli e la radiazione ultravioletta complessiva può essere più determinante per accelerare la fine della vita utile dei materiali polimerici rispetto alle temperature medie annuali.

Inoltre, gli interventi manutentivi devono anche essere riconsiderati, nella loro programmazione e organizzazione, in relazione al fatto che gli effetti dei cambiamenti climatici comportano alterazioni che si verificano sulla terra, nelle acque e nell'atmosfera con influenze indirette sulle aree edificate e sulle costruzioni (Barrelas *et al.*, 2021). Ad esempio, le alterazioni nel normale regime delle precipitazioni hanno influenze sul contenuto d'acqua nei suoli (sia per eccesso, sia per siccità) con influenze sulla stabilità strutturale degli edifici sia per cedimenti a livello delle fondazioni, sia per la presenza di eventuali movimenti franosi²⁰. Le prestazioni igrotermiche di un edificio possono cambiare, rispetto a quanto abitualmente atteso, sotto l'influenza di mutati microclimi urbani e locali, con imprevisti impatti sulle superfici delle facciate.

Appare necessario approntare studi (Stagrum *et al.*, 2020) e nuovi strumenti (Barrelas *et al.*, 2021) quali:

- modelli di analisi e previsione di guasti e degradi degli edifici costruiti incorporando i dati climatici;
- test di cicli di invecchiamento accelerato in relazione a scenari di cambiamento di diversi parametri climatici;
- linee guida per la manutenzione e la gestione nel contesto dell'adattamento ai cambiamenti climatici.

Rispetto al tema dei cambiamenti climatici in realtà la manutenzione può giocare un importante ruolo nelle strategie di adattamento e di innalzamento della resilienza dei sistemi in relazione a diversi aspetti:

- nell'allungamento della vita utile dei sistemi edilizi attraverso azioni tempestive di manutenzione correttiva e manutenzioni periodiche programmate preventive;
- nell'innalzamento delle capacità di risposta degli edifici attraverso le azioni, tipiche della manutenzione migliorativa²¹, tese ad apportare modifiche di piccola entità (nella logica soft approach), ma capaci di migliorare significativamente la durata e il comportamento dei sistemi, come per esempio inserimento di sporti e protezioni, di sistemi di sigillatura, posizionamenti di paratie, applicazioni di strati

20. I principali eventi di frana in Italia nel 2022 sono stati 97, distribuiti su gran parte del territorio italiano e in particolare nella regione Lombardia, nella Provincia Autonoma di Bolzano, in Campania, Sicilia e Piemonte. Nel periodo 2010-2022 le province più colpite da eventi franosi principali sono Bolzano, Salerno, Genova, Messina, Belluno, Trento e Aosta con più di 50 eventi franosi principali (ISPRA, 2023).

21. Miglioria: Combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali previste per migliorare la fidatezza di un'entità, senza cambiare la sua funzione richiesta (UNI EN 13306).

- protettivi sulle superfici e pellicole solari sulle vetrazioni per ridurre i carichi termici;
- nel potenziare pratiche di valutazione evidence-based degli impatti derivanti da migliorie orientate all'adattamento al fine di misurare set di prestazioni (durabilità, resilienza, appropriatezza all'uso, allungamento del ciclo di vita, riduzione dell'uso di risorse e delle emissioni, ecc.);
- nel fornire indicazioni per il progetto, sia per gli interventi di nuova costruzione che nel caso delle riqualificazioni, circa la vulnerabilità e le possibili criticità di risposta degli edifici agli effetti diretti e indiretti del cambiamento climatico. Attraverso l'osservazione di comportamenti di materiali e componenti edilizi e impiantistici e la raccolta sistematica delle informazioni è possibile definire criteri progettuali e griglie di requisiti di progetto, adeguati alle specificità climatiche locali, nella direzione di un approccio di progettazione per l'adattamento.

Va sottolineato che le strategie di manutenzione programmata assumono particolari connotazioni in relazione alle questioni legate al cambiamento climatico. In particolare:

- manutenzione correttiva a guasto²² e di urgenza²³. Le manutenzioni a guasto avvenuto sono fortemente coinvolte negli scenari del cambiamento climatico. I fenomeni connessi con il cambiamento climatico possono aumentare la frequenza di questi tipi di manutenzione e l'entità dei guasti da riparare. Possono inoltre rendere complessi gli interventi per motivi quali per esempio: il perdurare di eventi estremi, che comportano situazioni di difficoltà e pericolosità per le operazioni; il sovrapporsi di fenomeni, che rendono non semplice l'interpretazione dei guasti e delle loro cause; la natura anomala degli eventi per i quali i mezzi e le modalità di intervento abituali possono rivelarsi non adeguate. Questi aspetti sono tanto più critici nel caso delle manutenzioni di urgenza, che vanno eseguite a seguito di un guasto imprevisto e non sono differibili in considerazione della criticità degli elementi e delle funzioni interessate. In situazioni di elevata incertezza, come quelle generate dai fenomeni del cambiamento climatico, la manutenzione di urgenza gioca un ruolo molto importante nel dare risposte immediate a guasti che possono causare gravi danni a persone e beni ed eventualmente il proliferare di ulteriori guasti e degradi. L'obiettivo

22. Manutenzione eseguita a seguito della rilevazione di un'avaria e volta a riportare l'entità nello stato in cui essa possa eseguire una funzione richiesta (UNI EN 13306).

23. Manutenzione che viene eseguita senza indugio dopo la rilevazione di un guasto in modo da evitare conseguenze inaccettabili (UNI EN 13306).

- di aumentare la capacità reattiva della manutenzione a guasto (specie quella in emergenza) può essere perseguito attraverso un doppio livello: da una parte migliorare, a partire dal progetto, la manutenibilità e alcune prestazioni (resistenza meccanica, al gelo, tenuta agli aeriformi, all'acqua, alla grandine, alla neve, ecc.) dei sistemi riconosciuti come più vulnerabili; dall'altra studiare la logistica in relazione a varie casistiche di interventi in situazioni di eventi estremi e predisporre le relative procedure;
- manutenzione preventiva secondo condizione²⁴. Le manutenzioni preventive basate su monitoraggi, ispezioni e controlli programmati devono essere riviste rispetto alle loro consuete periodicità standard. A livello di programmazione delle attività, infatti, è importante legare le frequenze e i contenuti delle azioni ispettive ai fenomeni locali connessi ai cambiamenti climatici. Questo implica programmare interventi ispettivi prima e dopo alcuni tipi di eventi (per esempio tempeste, grandine, venti forti, ondate di calore e di freddo). Il fine è quello di valutare, specie per i sistemi critici, le prestazioni residue in relazione agli eventi, con verifiche sulle parti d'opera sia ex ante (valutare la capacità di resistere agli eventi che si prevede avvengano anche con poco anticipo) sia ex post (valutare il funzionamento a seguito degli eventi previsti o imprevisti). Rispetto alle normali pratiche di pianificazione degli interventi ispettivi periodici si rende quindi necessario introdurre una flessibilità al fine di poter variare dinamicamente il calendario delle attività programmate in relazione ai fenomeni che si sviluppano a livello locale e con archi temporali anche brevi di previsione;
 - manutenzione ciclica a soglia²⁵. Anche per questa strategia di manutenzione periodica preventiva è necessario prevedere la possibilità di variare le frequenze degli interventi (come, per esempio, sostituzioni parziali o totali di componenti) previsti tradizionalmente su base statistica. I fenomeni, non sempre facilmente prevedibili, legati al cambiamento climatico, possono infatti avere conseguenze quali invecchiamenti accelerati, degradi differenziati o interferenze inattese tra sistemi, modificandone l'affidabilità attesa.

24. Manutenzione preventiva basata sul monitoraggio delle prestazioni di un'entità e/o dei parametri significativi per il suo funzionamento e sul controllo dei provvedimenti conseguentemente presi. (Il monitoraggio delle prestazioni e dei parametri può essere calendarizzato, eseguito su richiesta o effettuato in continuo) (UNI EN 13306).

25. Manutenzione preventiva effettuata in base a intervalli di tempo o cicli di utilizzo prefissati, ma senza una precedente indagine sulle condizioni dell'entità (UNI EN 13306).

In sintesi la manutenzione programmata, nelle sue diverse forme, gioca un significativo ruolo nell'incrementare la reattività degli edifici rispetto ai fenomeni legati al cambiamento climatico; allo stesso tempo questi fenomeni, nella incertezza del loro sviluppo, impongono di rivedere le tradizionali pratiche di previsione e intervento. In questo senso è importante definire modalità di raccolta e trattamento delle informazioni nella prospettiva di migliorare la conoscenza delle relazioni tra fenomeni riconducibili al cambiamento climatico, eventi che si sviluppano a livello locale e comportamenti degli edifici.

Da ultimo è importante ricordare anche il ruolo della manutenzione come strumento essenziale di gestione dei rischi. Il processo di risk management (Fig. 6.3) ripercorre tutti i passaggi già descritti nei capitoli 5 e 6: analisi del contesto, individuazione dei pericoli, analisi e valutazione dei rischi e scelta di appropriate misure di controllo del rischio che possono essere orientate alla mitigazione – con la prospettiva di ridurre la probabilità di manifestazione degli eventi climatici – o all'adattamento che ha la prospettiva di ridurre l'impatto degli eventi climatici sui sistemi umani. La gestione dei rischi non deve però essere limitata a questi passaggi perché, soprattutto quando si affrontano rischi in continua evoluzione quali quelli legati ai cambiamenti climatici, è essenziale mantenere attivi altri due elementi essenziali del processo e cioè la comunicazione/informazione e il monitoraggio/revisione. Pur senza sviluppare in maniera approfondita i diversi aspetti dei processi di comunicazione e informazione è evidente che l'efficacia delle misure di adattamento climatico, soprattutto quelle di tipo soft, è spesso fortemente influenzata dalla partecipazione attiva della popolazione, che deve quindi essere resa consapevole sia della importanza delle misure sia delle azioni da attivare in caso di evento climatico. L'altro versante del processo di risk management, e cioè il processo di monitoraggio e riesame, è altrettanto importante, ma a volte viene sottovalutato o trascurato portando come conseguenza alla mancata o scarsa efficacia delle misure di adattamento. In questo senso la manutenzione è uno strumento critico per il funzionamento delle misure di adattamento climatico che vengono studiate e implementate: monitorare l'efficacia di una misura di controllo del rischio vuol dire semplicemente essere sicuri che in caso di necessità la misura che si è adottata per contenere gli effetti di un evento climatico funzioni come previsto. Nella maggior parte dei casi relativi a disastri climatici la scarsa o mancata manutenzione di edifici e infrastrutture è responsabile della poca efficacia delle misure di controllo previste per tali eventi (Pham *et al.*, 2018); un frequente esempio di questa criticità può essere individuato nella mancata pulizia degli alvei dei fiumi o dei sistemi di scarico delle acque meteoriche, che è una frequente causa di

amplificazione dei danni causati da piogge estreme e inondazioni. È quindi di fondamentale importanza nella progettazione e attuazione delle misure di adattamento climatico dare la giusta rilevanza alla pianificazione della loro manutenzione per garantire una adeguata efficacia nell'assorbimento degli impatti portati dagli eventi climatici.

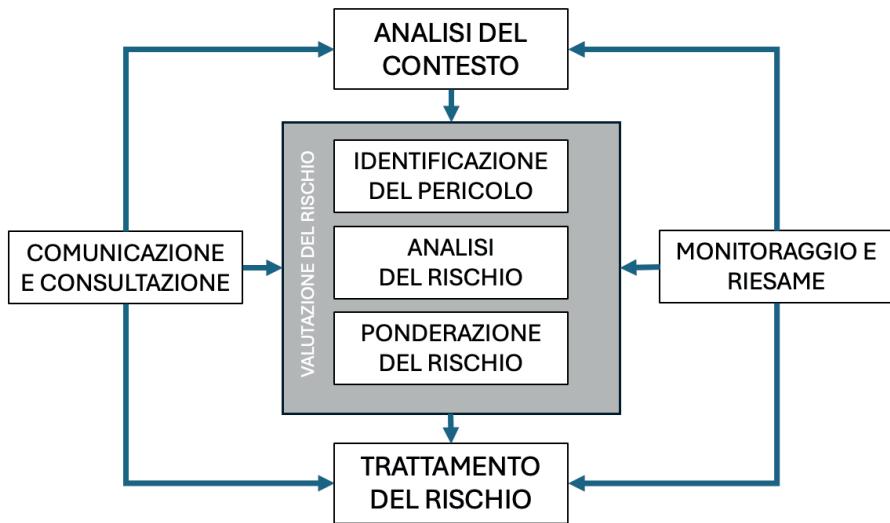


Fig. 6.3 - Processo di risk management secondo lo standard ISO 31000:2018 Risk management – Guidelines

Riferimenti bibliografici

- Action Programme, EEA report No 30/2016, European Environment Agency.
- Aghaloo, K., Sharifi, A., Habibzadeh, N., Ali, T., & Chiu, Y. R. (2024). How nature-based solutions can enhance urban resilience to flooding and climate change and provide other co-benefits: A systematic review and taxonomy. *Urban Forestry & Urban Greening*.
- Aguiar, F. C. et al. (2018). Adaptation to climate change at local level in Europe: An overview. *Environmental Science and Policy*, 86, 38–63.
- Ajuntament de València. (2022). València 2030 Urban Strategy: Local Action Plan. Available at: https://estrategiaurbanavlc2030.es/wp-content/uploads/2022/12/3_LOCAL-ACTION-PLAN-en.pdf.
- Amiri, Z., Heidari, A., & Navimipour, N. J. (2024). Comprehensive survey of artificial intelligence techniques and strategies for climate change mitigation. *Energy*, 132827.
- André, K., Gerger Swartling, Å., Englund, M., Petutschnig, L., Attoh, E. M., Milde, K., ... & Rome, E. (2023). Improving stakeholder engagement in climate change risk assessments: insights from six co-production initiatives in Europe. *Frontiers in Climate*, 5, 1120421.
- Araos, M. et al. (2016). Climate change adaptation planning in large cities: A systematic global assessment. *Environmental Science and Policy*, 66, 375–382.
- Armstrong, M. (2018). Foreword. In *Durability and Climate Change – Changing Climatic loads as may affect the Durability of Building Materials, Components and Assemblies*. Edited by M.A. Lacasse. Proceedings of the CIB/NRC Symposium, 2 September, 2018, National Research Council Canada, Construction Research Center, Ottawa, Ont., Canada.
- Arup (2024), A Universal Taxonomy for Natural Hazard and Climate Risk and Resilience Assessments, Report.
- Aylett, A. (2015). Institutionalizing the urban governance of climate change adaptation: Results of an international survey. *Urban Climate*, 14, 4–16. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.06.005>.
- Ballester J., Quijal-Zamorano M., Méndez Turrubiates R.F. et al. (2023), Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022. *Nat Med* 29, 1857–1866. <https://doi.org/10.1038/s41591-023-02419-z>.

- Barnett, J. et al., (2015), From barriers to limits to climate change adaptation: path dependency and the speed of change. *Ecol. Soc.*, 2.
- Barrelas, J., Ren, Q., & Pereira, C. (2021). Implications of climate change in the implementation of maintenance planning and use of building inspection systems. *Journal of Building Engineering*, 40, 102777.
- Barrelas, J., Silva, A., de Brito, J., & Tadeu, A. (2023). Effects of climate change on rendered façades: expected degradation in a progressively warmer and drier climate – a review based on the literature. *Buildings*, 13(2), 352.
- Bernardini, C. (2024) "Climate Change and Human Systems: Innovative Adaptation Services as a Soft-Resilience Strategy to Tackle Emerging Risks". SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology. Springer Nature, ISBN303157169X, 9783031571695, pp. 143.
- Bernstein, A., Gustafson, M. T., & Lewis, R. (2019). Disaster on the horizon: The price effect of sea level rise. *Journal of financial economics*, 134(2).
- Berrang-Ford, L. et al. (2015). Systematic review approaches for climate change adaptation research. *Regional Environmental Change*, 15, 755–769.
- Betsill M., Hoffmann M. J. (2011), The contours of “cap and trade”: the evolution of emissions trading systems for greenhouse gases. *Review of Policy Research*, 28(1), 83-106.
- Bibri, S. E., & Krogstie, J. (2020). Environmentally data-driven smart sustainable cities: Applied innovative solutions for energy efficiency, pollution reduction, and urban metabolism. *Energy Informatics*, 3(1), 29.
- Boyle, L. et al. (2017) "Urban facilities management: A systemic process for achieving urban sustainability". *International Journal of Sustainable Development and Planning*, Vol. 12(03), pp. 446-456. doi:10.2495/SDP-V12-N3-446-456.
- Bovaird, T. et al. (2009) "More quality through competitive quality awards? An impact assessment framework". *Int Rev Adm Sci*, Vol. 75, Issue 3, pp. 383–401.
- Brasseur, G.P. et al. (2016) "Climate Services: Lessons Learned and Future Prospects", *Earth's Future*, Vol. 4, issue 3. doi:10.1002/2015EF000338.
- Brundtland, G.H. (1987) Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development. Geneva, UN-Dokument A/42/427.
- Busch, H. (2015). Linked for action? An analysis of transnational municipal climate networks in Germany. *Journal of Urban Sustainability Development*, 7(2), 213–231. <https://doi.org/10.1080/19463138.2015.1057144>.
- Campiglio, E., Monnin, P., & von Jagow, A. (2019). Climate risks in financial assets. *Council on Economic Policies*, Discussion, 1-31.
- Campos, I. et al. (2017). Understanding climate change policy and action in Portuguese municipalities: A survey. *Land Use Policy*, 62, 68–78.
- Cavalagli, N., Kita, A., Castaldo, V. L., Pisello, A. L., & Ubertini, F. (2019). Hierarchical environmental risk mapping of material degradation in historic masonry buildings: An integrated approach considering climate change and structural damage. *Construction and Building Materials*, 215, 998-1014.
- City of Amsterdam. (2020) "Roadmap Amsterdam Climate Neutral 2050". Available at: https://assets.amsterdam.nl/publish/pages/943415/roadmap_climate_neutral.pdf.

- City of Turin (2024) “Turin Climate City Contract”. NetZeroCities. Available at: <https://netzerocities.app/resource-4463>.
- CMCC, (2021), G20 Climate Risk Atlas: Impacts, policy, economics – European Union.
- Copernicus (2025) Global climate highlights 2024, available at <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024>.
- Copernicus Climate Change Service (C3S) and the World Meteorological Organization (WMO), (2024) EUROPEAN STATE OF THE CLIMATE, report.
- Cortekar, J. et al. (2016). Why climate change adaptation in cities needs customised and flexible climate services. *Climate Services*, 4, 42–51.
- Cradock-Henry, N. A. et al. (2021). Balancing scales: Enhancing local applications of adaptation pathways. *Environmental Science & Policy*, 121, 42–48.
- D'Ambrosio V., (2017), Processi di adattamento in ambito urbano. La Piattaforma Metropolis come strumento di supporto alle decisioni in D'Ambrosio V., Leone M.F. (a cura di), Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change, CLEAN, Napoli.
- Daniels, E., Bharwani, S., Gerger Swartling, Å., Vulturius, G., and Brandon, K. (2020). Refocusing the Clim. Serv. lens: Introducing a framework for co-designing “transdisciplinary knowledge integration processes” to build climate resilience. *Clim. Serv.* 19, 1–15.
- Dimmelmeier, A. (2023). Sustainable finance as a contested concept: Tracing the evolution of five frames between 1998 and 2018. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 13(4), 1600-1623.
- DIRETTIVA 2014/95/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 22 ottobre 2014 recante modifica della direttiva 2013/34/UE per quanto riguarda la comunicazione di informazioni di carattere non finanziario e di informazioni sulla diversità da parte di talune imprese e di taluni gruppi di grandi dimensioni.
- Dodman, D., Hayward, B., Pelling, M., Broto, V. C., Chow, W., Chu, E., ... & Muñoz, T. A. (2022). Cities, Settlements and Key Infrastructure. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Dong, B., Liu, Y., Mu, W. et al. A (2022) Global Building Occupant Behavior Database. *Sci Data* 9, 369.
- Dunjò, J., Fthenakis, V., Vílchez, J. A., & Arnaldos, J. (2010). Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review. *Journal of hazardous materials*, 173(1-3), 19-32.
- Duwe, M. (2022) “Making EU climate governance fit for net zero. An analysis of the current landscape of relevant EU climate policy processes and recommendations for alignment with the climate neutrality objective”. Scientific opinion paper. Dessau-Roßlau: Federal Environment Agency.
- Ebbesson, J. (2022). Getting it right: Advances of human rights and the environment from Stockholm 1972 to Stockholm 2022. *Environmental Policy and Law*, 52(2), 79-92.

- EC – European Commission (2013) COM (2013) 216 “The European Strategy on adaptation to climate change”, Brussels.
- EC – European Commission (2021) Com (2021) 82 final Plasmare un’Europa resiliente ai cambiamenti climatici – La nuova strategia dell’UE di adattamento ai cambiamenti climatici.
- EEA (2024 a), Responding to climate change impacts on human health in Europe: focus on floods, droughts and water quality’, report.
- EEA (2022b), Trends and projections in Europe 2022 Report.
- EEA (2020), Assessing the costs and benefits of climate change adaptation. [online] Available at: www.eea.europa.eu/publications/assesing-the-costs-and-benefits-of.
- EEA (2020) “Monitoring and evaluation of national adaptation policies throughout the policy cycle”, Report 06/2020.
- EEA (2020b) “Climate-related hazard indices for Europe”, ETC-CCA Technical Paper 1/2020.
- EEA (2024 b), European Climate Risk Assessment, report.
- EEA, (2016), Environmental indicator report – In support to the monitoring of the 7th Environment European Environment Agency.
- EEA, (2017), Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016, EEA report No 1/2017.
- EEA, (2022a), Advancing towards climate resilience in Europe – Status of reported national adaptation actions in 2021, report.
- EEA, (2023), Is Europe on track towards climate resilience? Status of reported national adaptation actions in 2023, report.
- EEA (2024) European Climate Risk Assessment, doi:10.2800/8671471.
- EEA Report 01/2024, European Climate Risk Assessment.
- Elliot, T., Torres-Matallana, J. A., & Teebken, J. (2025). Urbanization under extreme climate events leads to synchronized decreases in flood protection and increases in vulnerability. *Cities*, 160, 105827.
- Elstow, L., Parra, F. R., & MacAskill, K. (2024). Tracking climate adaptation in hospitals: An inventory of structural measures. *Climate Risk Management*, 46.
- Eltazarov, S. et al. (2021) “Mapping weather risk – A multi-indicator analysis of satellite-based weather data for agricultural index insurance development in semi-arid and arid zones of Central Asia”. *Climate Services*, Vol. 23, 100251. ISSN 2405-8807. <https://doi.org/10.1016/j.ciser.2021.100251>.
- EN ISO 14091: 2021 “Adattamento ai cambiamenti climatici — Linee guida sulla vulnerabilità, gli impatti e la valutazione dei rischi”.
- Englund, M., André, K., Gerger Swartling, Å., and Iao-Jørgensen, J. (2022). Four Methodological Guidelines to Evaluate the Research Impact of Co-produced Climate Service. *Front. Climate* 119, 909422.
- EC – European Commission (2022) ‘Strengthening cultural heritage resilience for climate change, report.
- EC – European Commission, Directorate-General for Regional and Urban Policy (2015) “Scenarios for Integrated Territorial Investments”. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2776/32053>.

- Elmualim, A. et al. (2020) "Barriers and commitment of facilities management to the sustainability agenda". *Building and Environment*, Vol. 45(1), pp. 58-64.
- EU – European Union (2013) COHESION POLICY 2014-2020 "The new rules and legislation governing the next round of EU Cohesion Policy investment for 2014-2020".
- EU – European Union (2020) COHESION POLICY 2021-2027 "The new cohesion policy".
- Ferdowsi, A., Piadeh, F., Behzadian, K., Mousavi, S. F., & Ehteram, M. (2024). Urban water infrastructure: A critical review on climate change impacts and adaptation strategies. *Urban Climate*, 58, 102132.
- Feridun, M. and H. Güngör, 2020: Climate-related prudential risks in the banking sector: a review of the emerging regulatory and supervisory practices. *Sustainability*, 12 (13), 5325, doi:10.3390/su12135325.
- Freeman, R. E. (2010). Strategic management: A stakeholder approach. Cambridge University press.
- Füssel H.M., Klein R. J. (2006). Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Climatic change*, 75(3), 301-329.
- Füssel, H. M. (2007) "Adaptation planning for climate change: Concepts, assessment approaches, and key lessons", *Sustainability Science*, Vol. 2, pp. 265-275.
- Galamba, K.R. et al. (2016) "Towards sustainable public FM: collective building of capabilities", *Facilities*, Vol. 34 (3/4), pp. 177–195.
- Giglio, F., Frontera, P., Malara, A., & Armocida, F. (2024). Materials and climate change: A set of indices as the benchmark for climate vulnerability and risk assessment for tangible cultural heritage in Europe. *Sustainability*, 16(5), 2067.
- Giordano, R. et al. (2020) "Urban adaptation to climate change: Climate services for supporting collaborative planning". *Climate Services*, Vol. 17, 100100, ISSN 2405-8807, <https://doi.org/10.1016/j.ciser.2019.04.004>
- GIZ and EURAC, (2017), Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook. Guidance on how to apply the Vulnerability Sourcebook's approach with the new IPCC AR5 concept of climate risk. Bonn.
- Gkouliavera, V., Kalogiannidis, S., Kalfas, D., & Kontsas, S. (2025). Effects of Climate Change on Health and Health Systems: A Systematic Review of Preparedness, Resilience, and Challenges. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 22(2), 232.
- Grade, A.M. et al. (2023) "Appendix 5. Glossary". In: Fifth National Climate Assessment. Crimmins. Eds. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA. <https://doi.org/10.7930/NCA5.2023.A5>.
- Grafakos, S. et al. (2020). Integration of mitigation and adaptation in urban climate change action plans in Europe: A systematic assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 121.
- Gupta, J. et al. (2007). Climate change: a 'glocal' problem requiring 'glocal' action. *Environmental Sciences*, 4(3), 139–148. <https://doi.org/10.1080/15693430701742677>.
- Hughes, S. (2015). A meta-analysis of urban climate change adaptation planning in the U.S. *Urban Climate*, 14(1), 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.06.003>.

- Hallegatte Stephane, Jun Rentschler, Julie Rozenberg. 2020. Adaptation Principles – A Guide for Designing Strategies for Climate Change Adaptation and Resilience. Washington, DC: World Bank Dong, B., Liu, Y., Mu, W. et al. A Global Building Occupant Behavior Database. *Sci Data* 9, 369 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01475-3>.
- Hanberry, B. B. (2022). Global population densities, climate change, and the maximum monthly temperature threshold as a potential tipping point for high urban densities. *Ecological Indicators*, 135, 108512.
- Hasan, A., Bahadori-Jahromi, A., Mylona, A., Ferri, M., & Zhang, H. (2022). Comparing building performance of supermarkets under future climate change: UK case study. *Advances in Energy Research*, 8(1).
- Heiranipout, M., Juaristi, M., Avesani, S., Favoino, F., & Serra, V. (2025). Contrasting Building Performance and Thermal Resiliency: A Simulation-Based Quantitative Evaluation Framework for Evaluating the Impact of Building Envelope Technologies. In *International Association of Building Physics*. Springer, Singapore.
- Hill, A. C., 2023, Climate Change and U.S. Property Insurance: A Stormy Mix, Council.
- Hörisch, J., Schaltegger, S., & Freeman, R. E. (2020). Integrating stakeholder theory and sustainability accounting: A conceptual synthesis. *Journal of Cleaner Production*, 275, 124097.
- Hurlbert, M. et al., 2021. Mitigation co-benefits of climate change adaptation. *Environmental Science & Policy*, 124, pp. 241–249. Available at: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670721008295.
- ICLEI – Local Governments for Sustainability. (2020). Daring Cities 2020: Know More, Act Better, Lead Together. Bonn, Germany. <https://iclei.org/e-library/daring-cities-2020-report-know-more-act-better-lead-together/>.
- ICLEI (2020) “ICLEI’s Climate Neutrality Framework – Accelerating integrated climate action for sustainable urban development”. Version: 5 Lead authors: Yunus Arikan, Cesar Carreño, Maryke van Staden. Available at: https://iclei.org/climate_neutrality.
- ICMA International Capital Market Association (2022), Green Bond Principles. Voluntary Process Guidelines for Issuing Green Bonds.
- IDFC, (20124), IDFC GREEN FINANCE MAPPING REPORT 2024.
- Inail (2019) CONOSCERE IL RISCHIO STRESS TERMICO Ambienti severi caldi – Ambienti di lavoro.
- Inail (2022a), Esposizione a temperature estreme ed impatti sulla salute e sicurezza sul lavoro. Il progetto WORKCLIMATE e la piattaforma previsionale di allerta. Report.
- Inail (2022b) CONOSCERE IL RISCHIO STRESS TERMICO Ambienti severi freddi Norme tecniche e indici di stress termico.
- Inail (2023), Invecchiamento della popolazione attiva: una lettura del fenomeno a partire dai dati del sistema MALPROF. Report.
- Inail (2025), Andamento degli infortuni sul lavoro e delle malattie professionali. Report.

- Inail (2024), CONOSCERE IL RISCHIO STRESS TERMICO Ambienti severi caldi Norme tecniche e indici di stress termico.
- Inail, 2021, CONOSCERE IL RISCHIO STRESS TERMICO Strategie e tecniche di misura. Report.
- International Labour Organization (ILO) (2024a), Ensuring safety and health at work in a changing climate, Geneva, Report.
- International Labour Organization, (ILO) (2024b), Alte temperature durante il lavoro : implicazioni per la salute e la sicurezza : analisi dei dati, delle politiche e della prassi a livello mondiale : sintesi del rapporto. Geneva, Report.
- 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", Geneva, Switzerland, pp. 151.
- IPCC (2014a), Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- IPCC (2015), Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- IPCC (2022): Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press. Cambridge University Press, doi:10.1017/9781009325844.
- IPCC (2023) Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp., doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- IPCC (2013) Climate Change 2013 The Physical Science Basis, Fifth Assessment Report.
- IPCC (2017), Guidelines for Climate Impact and Vulnerability Assessments, report.
- IPCC (2023), Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.
- IPCC (2023), Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.
- IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.).
- IPCC (2019): Annex I: Glossary In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems <https://doi.org/10.1017/9781009157988.010>.

- IPCC, (2021): Annex VII: Glossary In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 2215–2256, doi:10.1017/9781009157896.022.
- ISO 14091:2021 ‘Adaptation to climate change – Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment.
- ISO 31000 “Risk management – Principles and guidelines”.
- Ispra, (2024) rapporto Ambiente in Italia: uno sguardo d’insieme, Annuario dei dati ambientali 2023.
- ISPRA, Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio, 2021.
- Karlsson M., Alfredsson E., Westling N. (2020). Climate policy co-benefits: a review. *Climate Policy*, 20(3), 292–316.
- Kathleen, M. E. (2018) “Opportunities and constraints related to the production and use of knowledge for climate change adaptation efforts in urban, energy, and water systems”, PhD dissertation, University of Tennessee.
- Khan M. R., Roberts J. T. (2013). Adaptation and international climate policy. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 4(3), 171-189.
- Kirschen, P. et al. (2018) “Integrated urban water management applied to adaptation to climate change”. *Urban Climate*, Vol. 24, pp. 247-263.
- Klein R.J. et al. (2007) “Inter-relationships between adaptation and mitigation”, *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 745-777.
- Kourtis, I. M., & Tsirhrintzis, V. A. (2021). Adaptation of urban drainage networks to climate change: A review. *Science of the Total Environment*, 771.
- Lacasse MA, Gaur A, Moore TV (2020), Durability and climate change— Implications for service life prediction and the maintainability of buildings, Buildings.
- Laino, E., & Iglesias, G. (2024). High-level characterisation and mapping of key climate-change hazards in European coastal cities. *Natural Hazards*, 120(4).
- Landauer, M. et al. (2019) “The role of scale in integrating climate change adaptation and mitigation in cities”, *Journal of Environmental Planning and Management*, Vol. 62(5), pp. 741–765. doi: org/10.1080/09640568.2018.1430022.
- Larosa, F., Mysiak, J. (2019) Environmental Research, Letter 14 093006, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab304d>.
- Lazarus, R.J. (2008) “Super wicked problems and climate change: restraining the present to liberate the future”. *Cornell Law Rev*, Vol. 94, Issue 5, pp. 1153–1233.
- Lawrence, Michael, Scott Janzwood, and Thomas Homer-Dixon. (2022). ‘What Is a Global Polycrisis?’ Version 2.0. Discussion Paper 2022-4. Cascade Institute. <https://cascadeinstitute.org/technical-paper/what-is-a-global-polycrisis/>.
- LEVEL(s), TECHNICAL GUIDANCE FOR ADAPTING BUILDINGS TO CLIMATE CHANGE (2023).
- Li, X., & Yan, X. (2025, January). DIGITAL TWIN TECHNOLOGY FOR PREDICTING AND MITIGATING ENVIRONMENTAL HAZARDS IN URBAN AREAS. In The 2nd International scientific and practical conference

- “Innovative technologies for training and educating young people”(January 14–17, 2025) Boston, USA. International Science Group. 2025. 309 p. (p. 110).
- Lim B., Spanger-Siegfried E., Burton I., Malone E., Huq S. (2005). Adaptation policy frameworks for climate change: developing strategies, policies and measures. Cambridge University Press, UNDP.
- Lioubimtseva, E. (2020). Local climate change adaptation plans in the US and France: Comparison and lessons learned in 2007–2017. *Urban Climate*, 31.
- Locke J., Dsilva J., Zarmukhambetova S. (2023). Decarbonization strategies in the UAE built environment: An evidence-based analysis using COP26 and COP27 recommendations. *Sustainability*, 15(15).
- Losasso, M., & D'Ambrosio, V. (2014). Progetto ambientale e riqualificazione dello spazio pubblico: il grande progetto per il centro storico di Napoli sito Unesco/ Environmental project and public space rehabilitation: the great project for the historic center of Naples Unesco World Heritage Site. *Techne*, 7, 64.
- Losasso, M., Rigillo, M., & Valente, R. (2020). Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/Adapting to the Changing Climate. *Knowledge Innovation for Environmental Design*.
- Mañez Costa, M., Carmona, E., & Celliers, L. (2014). A capital approach framework for assessing coastal governance for climate change adaptation. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 70, 306–311.
- Manic, M., Wijayasekara, D., Amarasinghe, K., & Rodriguez-Andina, J. J. (2016). Building energy management systems: The age of intelligent and adaptive buildings. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 10(1), 25-39.
- Marhavilas, P. K., Filippidis, M., Koulinas, G. K., & Koulouriotis, D. E. (2019). The integration of HAZOP study with risk-matrix and the analytical-hierarchy process for identifying critical control-points and prioritizing risks in industry – A case study. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 62, 103981.
- Martani, C., Talamo, C., & Paganin, G. (2013). The control, at the design stage, of risks related to buildings management over time. *TECHNE-Journal of Technology for Architecture and Environment*, 109-116.
- Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., Connors S.L., Péan C. et al., eds. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change – Summary for Policymakers*. Cambridge, UK. Cambridge Univ. Press.
- Méjean, A., Collins-Sowah, P., Guivarch, C., Piontek, F., Soergel, B., & Taconet, N. (2024). Climate change impacts increase economic inequality: evidence from a systematic literature review. *Environmental Research Letters*, 19(4).
- Mendizabal, M. et al. (2018) “Stimulating urban transition and transformation to achieve sustainable and resilient cities”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 94, pp. 410-418.
- Menk, L., Terzi, S., Zebisch, M., Rome, E., Lückerath, D., Milde, K., & Kienberger, S. (2022). Climate change impact chains: a review of applications, challenges, and opportunities for climate risk and vulnerability assessments. *Weather, Climate, and Society*, 14(2), 619-636.

- Mentges, A., Halekotte, L., Schneider, M., Demmer, T., & Lichte, D. (2023). A resilience glossary shaped by context: Reviewing resilience-related terms for critical infrastructures. *International journal of disaster risk reduction*, 96, 103893.
- Michell, K. (2013) "Urban facilities management: a means to the attainment of sustainable cities?", *Journal of Facilities Management*, Vol. 11. doi: 10.1108/jfm.2013.30811caa.001.
- Migliorelli, M. (2021), "What Do We Mean by Sustainable Finance? Assessing Existing Frameworks and Policy Risks". *Sustainability*, Vol. 13, n. 2, 975.
- Mimura, N., R.S. Pulwarty, D.M. Duc, I. Elshinnawy, M.H. Redsteer, H.Q. Huang, J.N. Nkem, and R.A. Sanchez Rodriguez, (2014): Adaptation planning and implementation. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 869-898.
- Moench M. (2009) "Adapting to Climate Change and the Risks associated with Other Natural Hazards: Methods for Moving from Concepts to Action", *The Earthscan Reader on Adaptation to Climate Change*, pp. 249-280.
- Molenveld, A. et al. (2020) "Governance of climate adaptation, which mode? An exploration of stakeholder viewpoints on how to organize adaptation". *Climatic Change*, Vol. 162, pp. 233–254. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02683-9>.
- Monasterolo, I., 2020: Climate change and the financial system. *Annu. Rev. Resour. Econ.*, 12 (1), 299–320, doi:10.1146/annurev-resource-110119-031134.
- Mosoarca, M., Keller, A. I., Petrus, C., & Racolta, A. (2017). Failure analysis of historical buildings due to climate change. *Engineering Failure Analysis*, 82, 666-680.
- Moure, M., Jacobsen, J. B., & Smith-Hall, C. (2023). Uncertainty and climate change adaptation: a systematic review of research approaches and people's decision-making. *Current Climate Change Reports*, 9.
- Murphy, O., Cotterill, S., Bassalat, S. et al., 2025, Ripple: a scalable, radically inclusive, and transdisciplinary approach for engaged design research on climate action. *Urban Transform* 7.
- Mussinelli, E., Tartaglia, A., & Cerati, D. (2021). Progetto e valutazione delle Nature Based Solution per la rigenerazione dello spazio pubblico. In "Transizioni. Conoscenza e progetto climate proof" a cura di D'Ambrosio V., Rigillo M., Tersigni E. Cleanedizioni.
- Nasir, W., & Jaber, S. (2025). Climate Change, Vulnerable Groups, and Social Work: A Holistic Approach to Community Resilience.
- National Centers for Environmental Information (NCEI) (2025), U.S. Billion-Dollar Weather and Climate Disasters. www.ncei.noaa.gov/access/billions/, DOI: 10.25921/stkw-7w73).
- O'Brien, C., Stern, M. J., Brousseau, J. J., & Hansen, L. J. (2025). Climate adaptation as a team process: the role of place-based climate adaptation workshops in catalysing collective action. *Journal of Environmental Planning and Management*, 1–28.

- OECD (2017), *Investing in Climate, Investing in Growth*, OECD Publishing, Paris.
- OECD (2020), *Developing Sustainable Finance Definitions and Taxonomies*.
- OECD (2024), *Global Corporate Sustainability Report 2024*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/8416b635-en>.
- OECD (2025), *Global Outlook on Financing for Sustainable Development 2025: Towards a More Resilient and Inclusive Architecture*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/753d5368-en>. OECD Publishing, Paris, France.
- Olazabal, M. et al. (2021). Adaptation planning in large cities is unlikely to be effective. *Landscape and Urban Planning*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103974>.
- Oprean-Stan, C. et al. (2018) “The national intangible resources and their importance in the current knowledge-based economy”. *Management of Sustainable Development*, Vol. 10(2), pp. 10-2478.
- Otto, F. E. (2023). Attribution of extreme events to climate change. *Annual Review of Environment and Resources*, 48(1), 813-828.
- Outten S., Sobolowski S. (2021). Extreme wind projections over Europe from the Euro-CORDEX regional climate models. *Weather and Climate Extremes*, 33, 100363.
- OPM – Oxford Policy Management (2018) “Climate Governance Assessment”. Oxford University Press.
- Paganin G., Talamo C., Chitanu C., (2025) Assessing Climate Change Adaptation of Buildings: A Review of Performance Indicators in Green Building Rating Systems, in “Getting to Zero – Beyond Energy Transition Towards Carbon-Neutral Mediterranean Cities” (editors Sayigh A., Trombadore A., Calcagno G.) Springer Cham, ISBN 978-3-031-82322-0.
- Paganin, G. (2021). Sustainable finance and the construction industry: new paradigms for design development. *TECHNE*, 22, 79-85.
- Parsons, E. S., Jowell, A., Veidis, E., Barry, M., & Israni, S. T. (2024). Climate change and inequality. *Pediatric research*.
- Pearce A.R. (2017) “Sustainable Urban Facilities Management”. *Encyclopedia of Sustainable Technologies* Pages, pp. 351-363.
- Perry C., Nickson T., Starr C., Grabiell T., Geoghegan S., Porter B., Walravens F. (2024). More to offer from the Montreal protocol: how the ozone treaty can secure further significant greenhouse gas emission reductions in the future. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 21(1). <https://doi.org/10.1080/1943815X.2024.2362124>.
- Pham, L., Palaneeswaran, E., & Stewart, R. (2018). Knowing maintenance vulnerabilities to enhance building resilience. *Procedia Engineering*, 212, 1273-1278.
- Pietrapertosa, F. et al. (2019) “Urban climate change mitigation and adaptation planning: Are Italian cities ready?”, *Cities*, Vol. 91, pp. 93–105.
- Preston, B. L. et al. (2016). Is adaptation a local responsibility? *Environmental Science and Policy*, 48, 89–98.
- PRI (2024), Annual report 2024 (disponibile a www.unpri.org).
- Programme for Energy Efficiency in Buildings (PEEB), (2020), BETTER DESIGN FOR COOL BUILDINGS, Report.

- Qi, J., Dazé, A. and Hammill, A. (2023). Addressing Loss and Damage: What Can We Learn from Countries' National Adaptation Plans? Winnipeg, Canada: International Institute for Sustainable Development.
- Reckien D., Salvia M., Heidrich O., Church J. M., Pietrapertosa F., De Gregorio-Hurtado S., Dawson R. (2018). How are cities planning to respond to climate change? Assessment of local climate plans from 885 cities in the EU-28. *Journal of cleaner production*, 191, 207-219.
- REGOLAMENTO DELEGATO (UE) 2023/363 DELLA COMMISSIONE del 31 ottobre 2022 che modifica e rettifica le norme tecniche di regolamentazione stabilite nel regolamento delegato (UE) 2022/1288 per quanto riguarda il contenuto e la presentazione delle informazioni relative all'informativa nei documenti precontrattuali e nelle relazioni periodiche per i prodotti finanziari che investono in attività economiche ecosostenibili.**
- Reinthalter, J., Paul, F. (2025) Reconstructed glacier area and volume changes in the European Alps since the Little Ice Age, *The Cryosphere*, 19, 753–767, <https://doi.org/10.5194/tc-19-753-2025>.
- Renforth P., Henderson G. (2017). Assessing ocean alkalinity for carbon sequestration. *Reviews of Geophysics*, 55(3), 636-674. <https://doi.org/10.1002/2016RG000533>.
- Riaz, K., McAfee, M., & Gharbia, S. S. (2023). Management of climate resilience: exploring the potential of digital twin technology, 3D city modelling, and early warning systems. *Sensors*, 23(5), 2659.
- Sabbioni, C., Cassar, M., Brimblecombe, P., & Lefevre, R. A. (2008). Vulnerability of cultural heritage to climate change. European and Mediterranean Major Hazards Agreement (EUR-OPA).
- Salaj, A. T. and Lindkvist, C. (2020) "Urban Facility Management", Facilities.
- Santamouris, M., & Vasilakopoulou, K. (2021). Present and future energy consumption of buildings: Challenges and opportunities towards decarbonisation. *e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 1.
- Santé Publique France, (2022), 'Bulletin de santé publique – Heatwaves, France – Summer 2022' (www.santepubliquefrance.fr/en/bulletin-de-sante-publique-heatwaves-france-summer-2022 consultato marzo 2025).
- Semenza, J. C., & Paz, S. (2021). Climate change and infectious disease in Europe: Impact, projection and adaptation. *The Lancet Regional Health-Europe*, 9.
- Sesana, E., Gagnon, A. S., Ciantelli, C., Cassar, J., & Hughes, J. J. (2021). Climate change impacts on cultural heritage: A literature review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 12(4), e710.
- Seyfang, G. (2003). Environmental mega-conferences – from Stockholm to Johannesburg and beyond. *Global Environmental Change*, 13(3), 223-228.
- Sharma, G. D., Taheri, B., Chopra, R., & Parihar, J. S. (2025). Relationship between climate change and tourism: an integrative review. *The Service Industries Journal*, 45(3-4), 426-453.
- Slack, N. et al. (2022). "Operations Management" (10^a ed.). Pearson Education. ISBN: 978-1-292-40824-8.

- Soares, B.M., Buontempo, C. (2019) “Challenges to the sustainability of climate services in Europe”, WIREs Climate Change, pp. 10-587. <https://doi.org/10.1002/wcc.58>.
- Sovacool B. (2011) Hard and soft paths for climate change adaptation, Climate policy, Vol. 11, pp. 1177-1183.
- Stadelmann, M., Michaelowa, A., Butzengeiger-Geyer, S., Köhler, M. (2015). Universal Metrics to Compare the Effectiveness of Climate Change Adaptation Projects. In: Leal Filho, W. (eds) Handbook of Climate Change Adaptation. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-38670-1_128.
- Stagrum A.E., Andenæs E., Kvande T., Lohne J., (2020) Climate change adaptation measures for buildings – a scoping review, Sustainability 12 (2020) 1721.
- Stegmaier, P. and Visscher, K. (2017) “From climate service concepts to concrete applications: The case of Dutch water management”, Climate Services, Vol. 6, pp. 78-86.
- Stern, M. J., K. F. Hurst, J. J. Brousseau, C. O’Brien, and L. J. Hansen, (2023), “Ten Lessons for Effective Place-Based Climate Adaptation Planning Workshops. Climate” Climate 11 (2): 43.
- Stewart, I. D., & Mills, G. (2021). The urban heat island. Elsevier.
- Street, R.B. and Jude, s. (2019) “Adaptation and decision making in urban climate services”, Urban Climate Change Research Network’s Third Assessment Report on Climate Change in Cities, pp. 187-204.
- Suleimany, M., Gonbad, M. R. S., Naghibizadeh, S., & Niri, S. D. (2025). Artificial intelligence as a tool for building more resilient cities in the climate change era: A systematic literature review. Artificial Intelligence and Machine Learning Applications for Sustainable Development, 60-81.
- Suppasri A., Shuto N., Imamura F., Koshimura S., Mas E., Yalciner A. C. (2013). Lessons learned from the 2011 Great East Japan tsunami: performance of tsunami countermeasures, coastal buildings, and tsunami evacuation in Japan. Pure and Applied Geophysics, 170, 993-1018.
- Swart, R. et al. (2021) “Reframing climate services to support municipal and regional planning”. Climate Services, Vol. 22, 100227, ISSN 2405-8807. <https://doi.org/10.1016/j.ciser.2021.100227>.
- Talamo C., Atta N. (2019), Invitations to Tender for Facility Management Services Process Mapping, Service Specifications and Innovative Scenarios, Springer.
- Tapia, C. et al., 2017, “Profiling urban vulnerabilities to climate change: An indicator based vulnerability assessment for European cities”, Ecological Indicators 78.
- Terzi, S. et al. (2019) “Multi-risk assessment in mountain regions: A review of modelling approaches for climate change adaptation”, Journal of Environmental Management. Elsevier, Vol. 232, pp. 759–771.
- Tesfaye, A. H., Prior, J., & McIntyre, E. (2025). Impact of climate change on health workers: a scoping review. Journal of Public Health, 1-19.
- UKGBC (2022). A Framework for Measuring and Reporting of Climate-related Physical Risks to Built Assets, report.

- UN (1972), Stockholm Declaration on the Human Environment, Doc. A/CONF. 48/14, at 2 and Corr. 1.
- UNEP FI (2019), Changing course: a comprehensive investor guide to scenario-based methods for climate risk assessment, in response to the TCFD, May.
- UNFCCC “United Nations Framework Convention on Climate Change” (1997), doc. FCCC/CP/1997/L.7/Add.1 “Kyoto protocol to the united nations framework convention on climate change”.
- UNFCCC “United Nations Framework Convention on Climate Change” (2023), doc. FCCC/PA/CMA/2023/16/Add.1 “Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement on its fifth session, held in the United Arab Emirates from 30 November to 13 December 2023. Addendum Part two: Action taken by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement at its fifth session”.
- UNFCCC “United Nations Framework Convention on Climate Change” (2024), doc. FCCC/SB/2024/6 “Workshop under the United Arab Emirates-Belém work programme on indicators and refined mapping of indicators”.
- UNFCCC “United Nations Framework Convention on Climate Change”, (2015). Paris Agreement. Disponibile a: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement> [consultato 21 gennaio 2025].
- UNI. 2012. UNI 11447:2012 – Servizi di facility management urbano – Linee guida per l'impostazione e la programmazione degli appalti. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI).
- United Nations Environment Programme (2021). 2021 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi.
- United Nations Environment Programme (2024). Adaptation Gap Report 2024: Come hell and high water – As fires and floods hit the poor hardest, it is time for the world to step up adaptation actions. Nairobi. <https://doi.org/10.59117>.
- UNEP United Nations Environment Programme (2024). Global Status Report for Buildings and Construction: Beyond foundations: Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector. Nairobi.
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2023). Adaptation Gap Report 2023: Underfinanced. Underprepared. Inadequate investment and planning on climate adaptation leaves world exposed. Nairobi.
- van der Geest, K. and K. Warner, (2015), Loss and damage from climate change: emerging perspectives. *Int. J. Glob. Warming*, 8.
- van Ruijven, B.J., De Cian, E. & Sue Wing, I. Amplification of future energy demand growth due to climate change. *Nat Commun* 10, 2762 (2019).
- Vaughan, C., Dessai, S., and Hewitt, C. (2018). Surveying Climate service: what can we learn from a bird's-eye view? *Weath. Clim. Soc.* 10, 373–395.
- Verde, S., Dell'Acqua, F., Losasso, M. (2024). Environmental Data, Modeling and Digital Simulation for the Evaluation of Climate Adaptation and Mitigation Strategies in the Urban Environment. *Sustainability*, 16(5), 2179.
- Vincent et al. 2018, K., Daly, M., Scannell, C., and Leathes, B. (2018). What can Climate Service learn from theory and practice of co-production? *Clim. Serv.* 12, 48–58.

- Warren-Myers, G., & Hurlimann, A. (2022). Climate change and risk to real estate. In *A research agenda for real estate* (pp. 139-164). Edward Elgar Publishing.
- WEC – The World Energy Council (2018) “World Energy Issues Monitor 2018. Perspectives on the Grand Energy Transition”. www.worldenergy.org/assets/downloads/Issues-Monitor-2018-HQ-Final.pdf.
- WEF – World Economic Forum (2016) “Inspiring Future Cities & Urban Services Shaping the Future of Urban Development & Services Initiative”.
- Wilbanks, T. J. et al. (1999). Global change in local places: how scale matters. *Climatic Change*, 43, 601-628.
- Woodruff, S. C. et al. (2018). City membership in climate change adaptation networks. *Environmental Science & Policy*, 84, 60-68.
- World Bank (2010). Mainstreaming adaptation to climate change in agriculture and natural resources management projects.
- World Bank, 2021. What You Need to Know About Climate Co-Benefits. [online] Available at: www.worldbank.org/en/news/feature/2021/03/10/what-you-need-to-know-about-climate-co-benefits.
- World Health Organization, (2023) Operational framework for building climate resilient and low carbon health systems, Report.
- World Health Organization (WHO), 2023. Health Co-Benefits of Climate Action. [online] Available at: www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/climate-change-and-health/capacity-building/toolkit-on-climate-change-and-health/cobenefits.
- World Meteorological Organization (WMO) (2025), State of the Global Climate 2024, WMO, Geneva.
- World Meteorological Organization (WMO) (2023), 2023 State of Climate Services: Health (WMO-No. 1335). Geneva.
- World Meteorological Organization /WMO) (2022) Executive Summary. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2022, GAW Report No. 278, 56 pp., WMO, Geneva, Switzerland.
- Yong Lan, Hanxiao Gao, Ping Zhou, Hua Zhang, Hailing Li, (2025), The impact of climate risks on global energy production and consumption: New evidence from causality-in-quantile and wavelet analysis, *Energy*, Volume 319.
- Zebisch, M., Terzi, S., Pittore, M., Renner, K., & Schneiderbauer, S. (2022). Climate impact chains – a conceptual modelling approach for climate risk assessment in the context of adaptation planning. In *Climate adaptation modelling* (pp. 217-224). Cham: Springer International Publishing.
- Zhang, H., Mu, J.E., McCarl, B.A. et al. The impact of climate change on global energy use. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 27, 9.

Glossario

Adattamento

Il processo di adattamento al clima attuale o previsto e ai suoi effetti. Nei sistemi umani, l'adattamento cerca di mitigare o evitare danni o sfruttare opportunità. In alcuni sistemi naturali, l'intervento umano può facilitare l'adattamento al clima previsto e ai suoi effetti. IPCC (2015)

Adattamento al cambiamento climatico

Processo di adeguamento agli effetti correnti o attesi. IPCC (2022)

Benefici dell'adattamento

I costi dei danni evitati o i benefici maturati a seguito dell'adozione e dell'attuazione di misure di adattamento. IPCC (2007)

Cambiamento climatico

Cambiamento nel clima che persiste per un periodo esteso tipicamente decadi o più. I cambiamenti climatici possono essere identificati con strumenti statistici. I cambiamenti climatici possono essere dovuti a processi naturali, interni o esterni al sistema climatico (come le variazioni dei cicli solari, le eruzioni vulcaniche) e a persistenti cambiamenti antropogenici nella composizione dell'atmosfera o nell'uso del suolo. ISO 14091:2021

Capacità adattiva

La capacità dei sistemi, delle istituzioni, degli esseri umani e di altri organismi di adattarsi rispetto ai potenziali danni, per sfruttare le opportunità o per reagire alle conseguenze. IPCC (2015)

Climate services (o Servizi climatici)

I Climate services (o servizi climatici) comprendono la fornitura di informazioni climatiche per supportare l'assunzione di decisioni. Il servizio include un adeguato coinvolgimento di utente e fornitori, si basa su informazioni e compe-

tenze scientificamente credibili, dispone di un efficace meccanismo di accesso e risponde alle esigenze degli utenti. IPCC (2022)

Co-benefits (misura)

Misura finalizzata a un obiettivo che ha un effetto positivo su un altro obiettivo, aumentando così il beneficio totale per la società o l'ambiente. IPCC (2022)

Deficit di protezione dal clima

La percentuale di perdite economiche provocate da catastrofi legate al clima non assicurate. (COM (2021) 82)

Disastro

Una grave perturbazione del funzionamento di una comunità o di una società, a qualsiasi scala, dovuta a eventi pericolosi che interagiscono con le condizioni di esposizione, vulnerabilità e capacità, con conseguente verificarsi uno o più dei seguenti elementi: perdite e impatti umani, materiali, economici e ambientali. IPCC (2022)

Driver climatico

Un aspetto in mutazione del sistema climatico che influenza un componente di un sistema umano o naturale. IPCC (2022)

Esposizione

La presenza di persone, mezzi di sussistenza, specie o ecosistemi, funzioni, servizi e risorse ambientali, infrastrutture o beni economici, sociali o culturali in luoghi e contesti che potrebbero essere influenzati negativamente. IPCC (2022)

Evento meteorologico estremo

Il verificarsi di un valore di una variabile metereologica o climatica superiore o inferiore a un valore di soglia superiore o inferiore di un range di valori osservati. Per definizione, le caratteristiche di ciò che viene chiamato tempo meteorologico estremo può variare da luogo a luogo in un senso assoluto. Quando una situazione di condizioni meteorologiche estreme persiste per un periodo, come una stagione, può essere classificato come un evento climatico estremo, soprattutto se produce una media o un totale che è di per sé estremo (ad esempio, alta temperatura, siccità o forti piogge nel corso di una stagione). Per semplicità, sia agli eventi meteorologici estremi che agli eventi climatici estremi possono essere definiti come estremi climatici. IPCC (2022)

Facility Management Urbano (UFM)

Un servizio integrato di gestione per l'esercizio, la fruibilità e la valorizzazione delle strutture urbane. UNI 11447:2012

Gap di adattamento

La differenza tra l'adattamento effettivamente attuato e un obiettivo stabilito, determinato in gran parte dalle preferenze relative agli impatti tollerati dei

cambiamenti climatici e legato alle limitazioni delle risorse e alle priorità. (UNEP 2024).

Gestione del rischio

I piani, le azioni o le politiche per ridurre la probabilità e/o le conseguenze dei rischi o per rispondere alle conseguenze. IPCC (2015)

Hard-resilience

Resistenza diretta di strutture o istituzioni sottoposte a pressione; aumento della resilienza di una struttura tramite specifiche misure di rinforzo per ridurre la probabilità di collasso. (4th International Conference on Building Resilience)

Impact chain

approccio analitico che consente di comprendere in che modo determinati pericoli generano impatti che si propagano attraverso un sistema a rischio.

ISO 14091:2021

Impatti

Le conseguenze dei rischi sui sistemi naturali e umani, laddove i rischi derivino dalle interazioni di pericoli legati al clima (compresi eventi meteorologici/climatici estremi), esposizione e vulnerabilità. Gli impatti si riferiscono generalmente agli effetti sulla vita, sui mezzi di sussistenza, sulla salute e sul benessere, sugli ecosistemi e sulle specie, sui beni economici, sociali e culturali, sui servizi (compresi i servizi ecosistemici) e sulle infrastrutture. Gli impatti possono essere individuati come conseguenze o esiti e possono essere negativi o benefici. IPCC (2022)

Incendi boschivi

Qualsiasi combustione incontrollata e non prescritta di piante in un ambiente naturale come una foresta, una prateria, una boscaglia o una tundra, che consuma i combustibili naturali e si diffondono in base alle condizioni ambientali. USGCRP (2023)

Incertezza

Uno stato di conoscenza incompleta che può derivare da una mancanza di informazioni o dal disaccordo su ciò che è noto o conoscibile. Può avere molti tipi di cause: imprecisione dei dati, ambiguità di concetti o terminologie, comprensione incompleta di processi critici, o previsioni incerte di comportamenti umani. L'incertezza può essere quindi rappresentata da misure quantitative (ad esempio, una funzione di densità di probabilità) o da definizioni qualitative (ad esempio, il giudizio di un team di esperti). IPCC (2015)

Inondazione costiere ed erosione costiera

Accumulo di acqua marina su aree normalmente non sommerse e perdita netta di sedimenti o di roccia dalla linea di riva, che provoca uno spostamento verso terra della linea di alta marea. IPCC (2022)

Inondazioni pluviali e fluviali

Lo straripamento, dovuto a piogge o anomalie nei corsi fluviali, dei normali confini di un corso d'acqua o di un altro corpo idrico, o l'accumulo di acqua su aree normalmente non sommerse. IPCC (2022)

Limiti di adattamento

Il punto in cui gli obiettivi di un soggetto (o le esigenze di un sistema) non possono essere protetti da rischi intollerabili attraverso azioni adattive. Limite di adattamento hard: non sono possibili azioni adattive per evitare rischi intollerabili. Limite di adattamento soft: azioni di adattamento possono esistere, ma al momento non disponibili. IPCC (2022)

Low-regret (misura)

Misura “a basso rimpianto”, che genererebbe benefici sociali e/o economici netti sia nelle condizioni climatiche attuali che in una serie di scenari futuri di cambiamento climatico. Rielaborazione di IPCC (2014)

Maladattamento (Azioni disadattive)

Azioni che possono portare a un aumento del rischio di esiti avversi legati al clima, anche attraverso l'aumento delle emissioni di gas a effetto serra (GHG), una maggiore o minore vulnerabilità ai cambiamenti climatici, risultati più iniqui o una diminuzione del benessere. Elaborazione degli autori

Misure di mitigazione

Nella politica climatica, le misure di mitigazione sono tecnologie, processi o pratiche che contribuiscono alla mitigazione, ad esempio le tecnologie per l'energia rinnovabile, processi di minimizzazione dei rifiuti e pratiche trasporto pubblico. IPCC (2022)

Mitigazione del cambiamento climatico

Qualsiasi azione adottata da governi, imprese o persone atta a ridurre o prevenire il gas a effetto serra, o migliorare l'assorbimento di carbonio in atmosfera. UNDP: <https://climatepromise.undp.org/news-andstories/what-climatechange-mitigation-andwhy-it-urgent>

No-ancillary benefits (misura)

Misura finalizzata a un obiettivo che non ha un effetto positivo su un altro obiettivo, ossia non genera co-benefici. Elaborazione degli autori

Ondate di calore

Un periodo di temperatura anormalmente caldo spesso definito con riferimento a una soglia di temperatura relativa, che dura da due giorni ad alcuni mesi. IPCC (2022)

Pericolo

Il potenziale verificarsi di un evento fisico o di una tendenza naturale, indotti dalla natura o dall'uomo, o di un impatto fisico che possono causare la perdita di vite umane, lesioni o altri impatti sulla salute, nonché danni e perdite a beni, infrastrutture, mezzi di sussistenza, forniture di servizi, ecosistemi e risorse ambientali. IPCC (2015)

Proiezione climatica

Una proiezione climatica è la risposta simulata del sistema climatico a uno scenario di emissioni o concentrazioni future di gas serra (GHG) e aerosol, generalmente derivato utilizzando modelli climatici. Le proiezioni climatiche si distinguono dalle previsioni climatiche per la loro dipendenza dallo scenario di emissione/concentrazione/forzante radiativo utilizzato. IPCC (2015)

Resilienza

La capacità dei sistemi sociali, economici e ambientali di far fronte ad un evento pericoloso o una tendenza o un disturbo, reagire o riorganizzarsi in modo da mantenere la loro funzione essenziale, la loro identità e struttura, mantenendo anche la capacità di *adattamento*, di apprendimento e *trasformazione*. IPCC (2015)

Riscaldamento globale

Il riscaldamento globale si riferisce all'aumento graduale, osservato o previsto, della temperatura superficiale globale, come una delle conseguenze delle forzanti radiative causate dalle emissioni antropogeniche. IPCC (2015)

Rischi chiave

Impatti potenzialmente gravi rilevanti ai sensi dell'articolo 2 della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, che si riferisce a "pericolose interferenze antropiche con il sistema climatico".

I rischi sono considerati chiave a causa dell'elevata pericolosità o dell'elevata vulnerabilità delle società e dei sistemi esposti, o di entrambi. L'identificazione dei rischi chiave si è basata sul giudizio di esperti utilizzando i seguenti criteri: elevata entità, alta probabilità o irreversibilità degli impatti; tempistica degli impatti; vulnerabilità persistente o esposizione che contribuisce ai rischi; o un potenziale limitato di riduzione dei rischi attraverso l'adattamento o la mitigazione. IPCC (2015)

Rischi emergenti

Un rischio che nasce dall'interazione di fenomeni in un sistema complesso. Ad esempio, i processi risultanti dall'interazione tra i cambiamenti climatici, gli interventi umani che comportano la mitigazione e l'adattamento e i processi nei sistemi naturali possono essere classificati come rischi emergenti se rappresentano una minaccia per la sicurezza umana.

Rischi emergenti potrebbero derivare da situazioni senza precedenti, come la crescente urbanizzazione di basse aree costiere esposte all'innalzamento del

livello del mare o dove emerge un nuovo rischio di inondazioni pluviali a causa dell’urbanizzazione di aree vulnerabili non storicamente popolate. Alcuni rischi emergenti sono stati identificati o discussi solo di recente nella letteratura scientifica e, di conseguenza, la nostra capacità di valutare se si tratta di rischi chiave è limitata. IPCC (2015)

Rischio

Le potenziali conseguenze negative per l'uomo o per l'ambiente riconoscendo la diversità dei valori e obiettivi associati a tali sistemi.

Nel contesto dei cambiamenti climatici, i rischi possono derivare dai potenziali impatti dei cambiamenti climatici e dalle risposte umane ai cambiamenti climatici. Le conseguenze negative pertinenti comprendono quelle sulla vita, sui mezzi di sussistenza, sulla salute e sul benessere, sui beni e gli investimenti economici, sociali e culturali, sulle infrastrutture, sui servizi (compresi i servizi ecosistemici), sugli ecosistemi e sulle specie. Nel contesto degli impatti dei cambiamenti climatici, i rischi derivano da dinamiche interazioni tra i pericoli legati al clima e l'esposizione e la vulnerabilità del sistema umano o ecologico interessato.

I pericoli, l'esposizione e la vulnerabilità possono essere soggetti a incertezza in termini di entità e probabilità di accadimento, e ciascuno di essi può cambiare nel tempo e nello spazio a causa dei cambiamenti socioeconomici e del processo decisionale umano. (...) Rischi possono derivare ad esempio dall'incertezza nell'attuazione, nell'efficacia o nei risultati della politiche climatiche, negli investimenti legati al clima, nello sviluppo o adozione di tecnologie e nelle transizioni di sistema. IPCC (2022)

Rischio globale

Possibilità di accadimento di un evento o una condizione che, al suo verificarsi è in grado di avere impatti negativi a livello globale su una percentuale significativa del PIL, della popolazione o delle risorse naturali globali. WEF (2025)

Rischio sistemico

La possibilità che uno o più eventi scatenanti possano causare una serie di effetti che si diffondono in un sistema sociale o naturale e ne disabilitano le funzionalità. Più che un evento o un danno singolo, è la totalità della minaccia, la probabilità che l'intero sistema possa collassare, che distingue il rischio sistemico da altri tipi di rischio. Lawrence *et al.* (2022)

Sensibilità

Il grado in cui un sistema – o una specie – è influenzato, negativamente o in modo vantaggioso, dalla variabilità dei cambiamenti climatici. L'effetto può essere diretto (ad esempio, una variazione della resa delle colture in risposta a una variazione della temperatura) o indiretti (ad esempio, danni causati da un aumento della frequenza delle inondazioni costiere a causa dell'innalzamento del livello del mare). IPCC (2022)

Siccità e scarsità d'acqua

Un periodo eccezionale di carenza d'acqua per gli ecosistemi esistenti e la popolazione umana (a causa di scarse precipitazioni, alte temperature e/o vento). IPCC (2022)

Sistema climatico

Il sistema climatico è un sistema altamente complesso costituito da cinque componenti principali: l'atmosfera, l'idrosfera, la criosfera, la litosfera e la biosfera e le interazioni tra di esse. Il sistema climatico si evolve nel tempo sotto l'influenza delle proprie dinamiche interne e a causa di componenti esterne come le eruzioni vulcaniche, le variazioni solari e le azioni antropogeniche come il cambiamento della composizione dell'atmosfera e il cambiamento dell'uso del suolo. IPCC (2015)

Soft-resilience

Capacità dei sistemi di assorbire e riprendersi dall'impatto di eventi dirompenti senza cambiamenti fondamentali nella funzione o nella struttura, che dipendono dalla flessibilità e dalla capacità di adattamento del sistema nel suo complesso, piuttosto che dal semplice rafforzamento di strutture o istituzioni in relazione a stress specifici, come nell'approccio della hard-resilience. (4th International Conference on Building Resilience)

Strategie di adattamento

Modifiche ai sistemi socio-tecnici che supportano la vita umana alla luce degli inevitabili cambiamenti climatici. Paris Agreement (2016)

Venti forti

Una tempesta caratterizzata da forti venti ma con poca o nessuna precipitazione. IPCC (2022)

Vulnerabilità

Le conseguenze dei rischi realizzati sui sistemi naturali e umani, in cui i rischi derivano dalle interazioni dei pericoli legati al clima (compresi gli eventi meteorologici/climatici estremi), l'esposizione e la vulnerabilità. Gli impatti si riferiscono generalmente agli effetti sulla vita, sui mezzi di sussistenza, sulla salute e sul benessere, ecosistemi e specie, beni economici, sociali e culturali, servizi (compresi i servizi ecosistemici) e infrastrutture. Gli impatti possono essere indicati come conseguenze o esiti e possono essere avversi o benefico. IPCC (2022)

Riferimenti bibliografici relativi al glossario

- COM(2021) 82 final COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI Plasmare un'Europa resiliente ai cambiamenti climatici – La nuova strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici.
- International Organization for Standardization. (2021). ISO 14091:2021 – Adaptation to climate change – Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment. ISO. www.iso.org/standard/68508.html.
- IPCC (2015), Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- IPCC (2022), Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- Lawrence, Michael, Scott Janzwood, and Thomas Homer-Dixon. 2022. ‘What Is a Global Polycrisis?’ Version 2.0. Discussion Paper 2022-4. Cascade Institute. <https://cascadeinstitute.org/technical-paper/what-is-a-global-polycrisis/>.
- Proceedings of the 4th International Conference on Building Resilience* (2015): *Incorporating the 3rd Annual Conference of the ANDROID Disaster Resilience Network*. Ed. Amaratunga, D. et al., *Procedia Economics and Finance*, vol. 18, Elsevier, 2015. (Conferenza: MediaCityUK, Salford Quays, Regno Unito, 8-11 settembre 2014).
- UNDP – United Nations Development Programme (2023, 15 novembre). *What is climate change mitigation and why it is urgent?* Climate Promise. UNDP. <https://climatespromise.undp.org/news-and-stories/what-climate-change-mitigation-and-why-it-urgent>.

- UNEP – United Nations Environment Programme (2014). *The Adaptation Gap Report 2014*. Nairobi.
- UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (2016). *Paris Agreement*. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf.
- UNI (2012) UNI 11447:2012 – Servizi di facility management urbano – *Linee guida per l'impostazione e la programmazione degli appalti*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI).
- USGCRP, Grade, A.M. *et al.* (2023) “Appendix 5. Glossary”. In: Fifth National Climate Assessment. Crimmins. Eds. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA. <https://doi.org/10.7930/NCA5.2023.A5>.
- World Economic Forum (WEF), The Global Risks Report 2025 20th Edition, 2025.

Gli Autori

Cinzia Talamo, architetto e PhD, è professore ordinario di Tecnologia dell'Architettura presso il Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito (DABC) del Politecnico di Milano. Dal 2019 è Membro del Senato Accademico del Politecnico di Milano, e coordinatrice della Laurea Magistrale in Management of Built Environment. Partecipa come Principal Investigator a ricerche su scala nazionale e internazionale riguardanti l'innovazione nel campo della gestione dell'ambiente costruito. Sviluppa la sua attività scientifica nell'ambito della disciplina della Tecnologia dell'Architettura concentrando sul ruolo dell'innovazione tecnologica nella progettazione architettonica e nella gestione degli edifici. Le sue ricerche e i suoi prodotti scientifici si concentrano in particolare su alcuni temi: strategie e pratiche di economia circolare nel settore delle costruzioni; approcci intersettoriali e modelli organizzativi per il riciclo, remanufacturing e riutilizzo di prodotti edili; manutenzione programmata alla scala edilizia e urbana; modelli evoluti di Facility Management per la gestione di patrimoni immobiliari; strategie di adattamento al cambiamento climatico per l'ambiente costruito.

Giancarlo Paganin, ingegnere, dottore di ricerca, professore associato di Tecnologia dell'Architettura presso il Politecnico di Milano, Dipartimento DASTU. La sua attività di ricerca riguarda la gestione dell'ambiente costruito nel suo ciclo di vita con specifica attenzione ai temi della qualità, sicurezza e ambiente affrontati in una prospettiva di risk management. Svolge attività di ricerca e normazione sui temi della manutenzione edilizia, della valutazione tecnica e ambientale del costruito alle sue diverse scale e della applicazione dei principi di economia circolare nel settore delle costruzioni.

Chiara Bernardini ha conseguito il dottorato di ricerca (PhD) presso il Dipartimento ABC (Architettura, Ambiente Costruito e Ingegneria delle Costruzioni) del Politecnico di Milano nel 2022, con una tesi intitolata “Climate change and human systems. Innovative adaptation services as a softresilience strategy to tackle emerging risks”, pubblicata nel 2025 nella collana *SpringerBriefs*.

Attualmente è ricercatrice Postdoc presso GERICS – Climate Service Center Germany, un'unità scientifica autonoma del HelmholtzZentrum Hereon, con sede ad Amburgo. La sua attività di ricerca, finanziata dal programma Horizon Europe nell'ambito del progetto CLIMABOROUGH, è finalizzata allo sviluppo di uno strumento basato su *Key Performance Indicators* per monitorare i progressi verso la neutralità climatica nelle città e alla co-progettazione di servizi climatici per la pianificazione urbana.

Questo libro affronta il tema del cambiamento climatico in relazione all'ambiente costruito focalizzando l'attenzione sulla questione delle strategie di adattamento.

La gran parte degli studi in materia di cambiamento climatico concorda sul fatto che l'aumento della temperatura media globale è ormai vicino a 1,5°C (limite auspicato dagli accordi di Parigi) con stime di costante crescita se le misure di mitigazione non saranno immediate, efficaci e assunte a livello mondiale. Il cambiamento climatico sta già colpendo duramente tutto il mondo, con esiti ancora più drammatici nelle aree, spesso le più povere, maggiormente esposte e vulnerabili. Anche se gli sforzi globali per ridurre le emissioni di gas a effetto serra dovessero risultare efficaci, gli effetti dei cambiamenti climatici, che sono già in atto, proseguiranno per decenni. In questo scenario, come le organizzazioni internazionali più autorevoli in materia di clima e ambiente da tempo evidenziano, l'adattamento climatico non può più essere considerato un'opzione futura o alternativa, ma una priorità che si deve sviluppare in una dimensione multiscale e su un orizzonte temporale di breve e medio periodo, in sinergia e coordinamento con le azioni di mitigazione che guardano al lungo periodo.

La sfida dell'adattamento ai cambiamenti climatici si confronta con una varietà di fenomeni che hanno

effetti – alcuni con un'accelerata tendenza alla cronicizzazione, altri acuti – su più scale e su molteplici sistemi interconnessi. Rispetto a tale complessità si rende necessario assumere i concetti di incertezza, probabilità e rischio sistemico e dunque considerare nuovi approcci al progetto, alla costruzione e alla gestione dell'ambiente costruito. Affrontare l'adattamento al cambiamento climatico impone conseguentemente di allargare il quadro delle tradizionali conoscenze e competenze, di sviluppare e sperimentare originali approcci interdisciplinari e transdisciplinari, di creare nuove figure professionali e di assumere inedite chiavi interpretative con l'ausilio di adeguati strumenti e metodi di analisi e simulazione a supporto delle decisioni.

Il fine è massimizzare la resilienza dei sistemi agendo sulle capacità adaptive delle loro componenti materiali e immateriali. Questo presuppone la capacità di valutare i rischi in considerazione della vulnerabilità di reti, edifici e infrastrutture rispetto a potenziali effetti dei cambiamenti climatici, alla ricerca delle più idonee soluzioni e delle priorità nella loro adozione.

Sulla base di questi presupposti il libro propone, nella sua articolazione, una lettura multiscale dell'adattamento al cambiamento climatico, dal livello globale, a quello delle strategie delle città e dei servizi urbani fino al livello degli edifici nelle varie fasi del ciclo di vita.



FrancoAngeli
La passione per le conoscenze