



MASTER ADAPT

MAInSTreaming Experiences
at Regional and local level
for ADAPTation to climate change

**LINEE GUIDA, PRINCIPI E PROCEDURE
STANDARDIZZATE PER L'ANALISI CLIMATICA E LA
VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ A LIVELLO
REGIONALE E LOCALE**



Con il contributo dello strumento finanziario LIFE dell'Unione Europea
With the contribution of the LIFE financial instrument of the European Community

LIFE MASTER ADAPT – MAInStreaming Experiences at Regional and local level
for ADAPTation to climate change - LIFE15 CCA/IT/000061

COORDINAMENTO GENERALE

F. Giordano (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), L. Barbieri (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), T. Freixo Santos (Ambiente Italia srl), L. Bono (Ambiente Italia srl), A. Ballarin Denti (Fondazione Lombardia per l'Ambiente), M. Lapi (Fondazione Lombardia per l'Ambiente), L. Cozzi (Fondazione Lombardia per l'Ambiente), M. Pregnotato (Ecometrics srl), S. Oliveri (Ecometrics srl), S. Marras (Università degli Studi di Sassari), D. Maragno (Istituto Universitario di Architettura di Venezia), F. Magni (Istituto Universitario di Architettura di Venezia), F. Musco (Istituto Universitario di Architettura di Venezia), G. Satta (Regione Sardegna), A. Congiu (Regione Sardegna), F. Arras (Regione Sardegna).

AUTORI E CONTRIBUTORI PER CAPITOLO/PARAGRAFO

Introduzione

F. Giordano (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), L. Barbieri (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale)

Analizzare il clima passato e prevedere scenari futuri

E. Piervitali (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), G. Fioravanti (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), F. Desiato (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale)

Valutare la Vulnerabilità ai cambiamenti climatici in 7 passi

F. Giordano (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), L. Barbieri (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), S. Marras (Università degli Studi di Sassari), V. Bacciu (Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici), V. Mereu (Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici)

Passo 1: Caratterizzare il contesto dal punto di vista ambientale e socio-economico

Teresa Freixo Santos (Ambiente Italia srl), Mario Zambrini (Ambiente Italia srl), S. Marras (Università degli Studi di Sassari)

Passo 2: Identificare le sorgenti di pericolo di natura climatica

M. Pregolato (Ecometrics srl), S. Oliveri (Ecometrics srl), M. Lapi (Fondazione Lombardia per l'Ambiente), L. Cozzi (Fondazione Lombardia per l'Ambiente)

Passo 3: Identificare i potenziali impatti

M. Pregolato (Ecometrics srl), S. Oliveri (Ecometrics srl), M. Lapi (Fondazione Lombardia per l'Ambiente), L. Cozzi (Fondazione Lombardia per l'Ambiente)

Passo 4: Individuare gli elementi esposti

Teresa Freixo Santos (Ambiente Italia srl), S. Marras (Università degli Studi di Sassari)

Passo 5: Valutare la Sensitività

D. Maragno (Istituto Universitario di Architettura di Venezia), F. Magni (Istituto Universitario di Architettura di Venezia), S. Marras (Università degli Studi di Sassari)

Passo 6: Valutare la Capacità di Adattamento

D. Maragno (Istituto Universitario di Architettura di Venezia), F. Magni (Istituto Universitario di Architettura di Venezia)

Passo 7: Valutare la Vulnerabilità ai cambiamenti climatici

D. Maragno (Istituto Universitario di Architettura di Venezia), F. Magni (Istituto Universitario di Architettura di Venezia), S. Marras (Università degli Studi di Sassari)

Conclusioni

F. Giordano (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), L. Barbieri (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale)

INDICE

1	Introduzione	6
2	Analizzare il clima passato e prevedere scenari futuri.....	8
2.1	Introduzione	8
2.2	Analisi dei trend climatici	9
2.2.1	Controlli di qualità e selezione delle serie di dati	9
2.2.2	Calcolo degli indici estremi	13
2.2.3	Serie regionale.....	17
2.3	Proiezioni climatiche future	19
3	Valutare la vulnerabilità e il rischio associato in 7 passi.....	24
3.1	Introduzione	24
3.1.1	Definizioni e framework concettuali sulla vulnerabilità e sui rischi associati ai cambiamenti climatici.....	24
3.1.2	La valutazione della vulnerabilità: approcci qualitativi e quantitativi.....	30
3.1.3	L'approccio metodologico per l'analisi di vulnerabilità del progetto MASTER ADAPT	32
3.2	Passo 1: Caratterizzare il contesto dal punto di vista ambientale e socio-economico	41
3.3	Passo 2: Identificare le sorgenti di pericolo di natura climatica	51
3.4	Passo 3: Identificare i potenziali impatti	61
3.5	Passo 4: Individuare gli elementi esposti.....	71
3.6	Passo 5: Valutare la sensibilità.....	77
3.7	Passo 6: Valutare la capacità di adattamento.....	88
3.8	Passo 7: Valutare la vulnerabilità ai cambiamenti climatici.....	94
4	Considerazioni conclusive e prospettive future	99
5	Bibliografia	104

ABSTRACT

The "Guidelines, standardized principles and procedures for climate analysis and the assessment of vulnerability at regional level" constitute the second deliverable of the preparatory action A1 - Climate analysis and vulnerability assessment at the Regional level realized within the MASTER ADAPT project, with the coordination of the Institute for Environmental Protection and Research and the contributions of Ambiente Italia srl, Lombardia Foundation for the Environment (with Ecometrics srl), IUAV University of Architecture of Venice, University of Sassari and Sardinia Region (project leader).

The Guidelines, in addition to benefiting from the previous expertise of authors and contributors in the field of vulnerability analysis to climate and risk changes, are based on the experience gained by the partnership under the A1 action on the occasion of the realization of the first deliverable of the project "Report on climate analysis and vulnerability assessment results in the pilot region (Sardinia Region) and in the areas targeted in Action C3".

The aim of this document is to provide regional and local administrators, involved in institutional paths aimed at adapting to climate change in their territories, the basic operational elements essential for the definition of a framework of scientific knowledge that is a prerequisite for planning the most appropriate adaptation measures.

The structure of the document reflects the approach proposed under Action A1 of the project, which essentially identifies two sub-actions:

- climate analysis (past and present trends, future scenarios);
- vulnerability assessment.

In fact, any Climate Change Adaptation Plan cannot ignore the knowledge of the past climate and the estimation of possible future climatic variations, which are the indispensable prerequisite for assessing the impacts of climate change on natural resources and on the various socio-economic sectors. as well as an assessment of sectoral vulnerabilities.

The experience gained in the implementation of the analysis made it possible to test each phase of the process operatively, identifying the strengths to be exploited as well as the most critical methodological aspects on which a reflection is proposed in the concluding paragraph of this document.

The methodology illustrated represents one of the first attempts to quantify the levels of vulnerability of a territory and proposes a simplified approach that, however, can hardly describe the complexity of environmental phenomena and the chain dynamics triggered by climate change. The impact chains, in fact, like any model, have the aim of reducing the complexity of the real world: the more complex the model, the more complex the assessment, the greater the time and economic resources necessary, but certainly closer to

reality the results will be. Moreover, even with the aim of analyzing the Vulnerability to climate change, it is necessary to keep in mind that in reality there are many non-climatic factors that should not be neglected in the analysis.

The reliability of the results also depends on the quality of the input data. In this regard, it is recommended to devote every possible effort to the collection of quality data and the most significant data in order to populate adequate indicators, also in order to reduce the use of proxy indicators that will only feed the level of approximation of results.

Even the normalization of data is a delicate phase that can undermine the significance of the results and lead to incorrect interpretations. Depending on the threshold values used as minimum and maximum values, in fact, the reading of the data obtained varies: if the minimum and maximum values are used, as in the case suggested in this document, the minimum value and the maximum value within the considered series, the result obtained will have a relative value with respect to that series. This means that the "red" color will mean "more vulnerable than green" but will not have an absolute "highly vulnerable" value. We therefore recommend that you take this into consideration to avoid drawing wrong conclusions.

For an evaluation that may have, instead, an absolute connotation, it will be necessary to resort to the use of specific thresholds proposed in the relevant scientific literature or to the expert judgment of the local territorial context.

As far as the weighing of the indicators is concerned, in the absence of valid scientific references, it was considered more appropriate to consider a weight equal to 1, in the knowledge that this is not the ideal choice nor the one that is closer to reality. The determinants of Vulnerability do not, in fact, have equal weight in determining the phenomena analyzed: the weight that a factor can have depends on the local context as well as on the type of other factors at stake with which it is compared. In this regard, the Guidelines propose, only by way of example, the Analytic Hierarchy Process approach (which can be useful in analyzing and supporting the understanding of complex decision-making problems).

Any procedure is adopted, even in the case of weighing it may be useful to consult local experts who can in some way orientate and provide addresses on the most correct and most responsive to reality.

Finally, it remains to think about which is the most appropriate approach in order to correctly validate the results obtained. Not being quantifiable, vulnerability remains a theoretical concept and difficult to "measure on the ground" as would require an appropriate validation procedure through checkpoints. The only "verification tools" useful for this purpose could be based, once again, on the knowledge level of the territory by local experts who can confirm or not the reliability of the results with respect to the real situation.

In a future perspective it will be necessary to promote further research and pilot applications that will allow the creation of new elements useful to overcome the critical methodological aspects mentioned above and to make further progress in this area. Improving the reliability of vulnerability analyzes will, in fact, strengthen the ability to monitor and evaluate the changes that will occur over time in a given area, both at the total value level and in individual indices and indicators, thus providing the elements necessary to political decision-makers who will have to implement adaptation measures or who will be engaged in evaluating the effectiveness of actions implemented in the meantime.

1 INTRODUZIONE

Le "Linee Guida, principi e procedure standardizzate per l'analisi climatica e la valutazione della vulnerabilità a livello regionale" costituiscono il secondo *deliverable* dell'azione preparatoria A1 – *Climate analysis and vulnerability assessment at Regional level* realizzato nell'ambito del progetto LIFE MASTER ADAPT (*MAInStreaming Experiences at Regional and local level for ADAPTation to climate change*) – LIFE15 CCA/IT/000061, con il coordinamento dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale ed i contributi di Ambiente Italia srl, Fondazione Lombardia per l'Ambiente (con Ecometrics srl), Istituto Universitario di Architettura di Venezia, Università degli Studi di Sassari e Regione Sardegna (Capofila del progetto).

Le Linee Guida, oltre a beneficiare della competenza pregressa degli autori e dei contributori in materia di analisi di vulnerabilità ai cambiamenti climatici e di rischio, si basano sull'esperienza maturata dal partenariato nell'ambito dell'Azione A1 in occasione della realizzazione del primo *deliverable* di progetto "Report on climate analysis and vulnerability assessment results in the pilot Region (Sardinia Region) and in the areas targeted in Action C3".

Obiettivo di questo documento è quello di fornire agli amministratori regionali e locali, impegnati in percorsi istituzionali finalizzati all'adattamento ai cambiamenti climatici dei propri territori, gli elementi operativi di base indispensabili alla definizione di un quadro delle conoscenze scientifiche che sia propedeutico alla pianificazione delle più opportune misure di adattamento.

La struttura del documento riflette l'approccio proposto nell'ambito dell'Azione A1 del progetto, che identifica essenzialmente due sotto-azioni:

- analisi climatiche (trend passati e presenti, scenari futuri);

- valutazione della vulnerabilità.

Un qualsivoglia Piano di Adattamento ai cambiamenti climatici non può prescindere, infatti, dalla conoscenza del clima passato e dalla stima delle possibili variazioni climatiche future, che rappresentano il presupposto indispensabile alla valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici sulle risorse naturali e sui diversi settori socio-economici, nonché da una valutazione delle vulnerabilità settoriali.

L'esperienza realizzata nell'implementazione dell'analisi ha consentito di testare operativamente ogni fase del processo, individuandone i punti di forza da valorizzare nonché gli aspetti metodologici più critici su cui si propone, nel paragrafo conclusivo di questo documento, una riflessione.

2 ANALIZZARE IL CLIMA PASSATO E PREVEDERE SCENARI FUTURI

2.1 Introduzione

Gli impatti dei cambiamenti climatici sono già evidenti in molte aree geografiche del mondo¹. In Europa alcuni dei cambiamenti osservati negli ultimi anni hanno fatto registrare valori climatici record; per esempio la temperatura europea ha raggiunto il valore più elevato nel 2014, mentre si è registrata la minima estensione invernale del ghiaccio artico nel 2016². In particolare, la regione del Mediterraneo è considerata come un'area *hot spot*³, ovvero come un'area particolarmente sensibile ai cambiamenti climatici. Gli impatti determinati da tali cambiamenti coinvolgono importanti settori socio-economici e produttivi, quali energia, trasporti, agricoltura e turismo, nonché risorse ambientali naturali, quali aree montuose e foreste, ecosistemi e biodiversità, risorse idriche, aree costiere e marine. Sono inoltre possibili ripercussioni sulla salute dell'uomo, specialmente per le categorie più vulnerabili della popolazione.



L'osservazione delle variazioni climatiche del passato recente e in corso e la stima di quelle future costituiscono il presupposto indispensabile alla valutazione degli impatti e alla definizione delle strategie e dei piani di adattamento ai cambiamenti climatici.

La **ricostruzione del clima del passato**, che si riferisce generalmente agli ultimi decenni, costituisce la fonte primaria di informazioni sul clima e le sue variazioni e consente di valutare se eventuali segnali climatici siano già riconoscibili sul territorio. Queste informazioni sono fornite dall'analisi di serie temporali di osservazioni meteorologiche rappresentative delle località in esame e dall'applicazione di modelli statistici per il riconoscimento e la stima delle tendenze. Particolarmente rilevante è l'**analisi degli estremi climatici**, che possono causare impatti consistenti sull'ambiente. La principale criticità riguardo all'analisi del clima del passato consiste nel fatto che non sempre è disponibile un insieme abbastanza ricco e rappresentativo della regione in esame di lunghe serie temporali che rispondono a requisiti di qualità, completezza e continuità tali da garantire una stima affidabile delle variazioni climatiche nel tempo e quindi delle tendenze.



La valutazione dei cambiamenti climatici futuri si basa sulle proiezioni di modelli climatici. I **modelli di circolazione generale atmosfera-oceano (AOGCM)**, basati

¹ IPCC, Fifth Assessment Report (AR5), Hartmann et al., 2013

² EEA, 2017

³ Diffenbaugh et al., 2007; Giorgi, 2006

su leggi fisiche ben definite, sono in grado di riprodurre le caratteristiche medie del clima passato e recente, alla risoluzione orizzontale di 250-600 km⁴ e **costituiscono lo strumento principale per valutare l'evoluzione del clima futuro**. Questi modelli tuttavia risultano poco adatti a valutare i cambiamenti climatici su scala regionale⁵ nella quale, infatti, il clima è fortemente influenzato da fattori locali come la conformazione del territorio ed in particolare l'orografia, che sono rappresentati solo approssimativamente all'interno degli AOGCM. Inoltre le simulazioni AOGCM non includono diversi processi fisici che si verificano ad una scala più fine della risoluzione del modello⁶. I **"Regional Climate Models" (RCM)** rispondono alla necessità di fornire una migliore simulazione dei fenomeni a scala regionale e locale, grazie ad una più elevata risoluzione (10-50 km) e ad una più completa rappresentazione dei processi fisici. Tali modelli, innestandosi su un modello globale da cui acquisiscono le condizioni iniziali e al contorno, **producono proiezioni climatiche su una specifica area di interesse**.

In maniera analoga all'analisi delle variazioni climatiche passate e in corso, dagli output dei modelli è importante valutare non solo le proiezioni dei valori medi delle principali variabili climatiche, ma anche quelle dei valori estremi. Dalle molteplici proiezioni prodotte dai modelli climatici, inoltre, è possibile estrarre gli elementi di incertezza più significativi sull'evoluzione del clima futuro.

2.2 Analisi dei trend climatici

2.2.1 Controlli di qualità e selezione delle serie di dati

Lo studio delle variazioni climatiche passate e in corso si basa sull'analisi di lunghe serie delle principali variabili climatiche disponibili dalle reti osservative di monitoraggio; l'analisi delle tendenze viene effettuata tramite tecniche statistiche di riconoscimento e stima dei trend. Al fine di ottenere stime affidabili delle tendenze è necessario elaborare ed applicare criteri rigorosi di controllo e selezione delle serie stesse.

Un primo requisito riguarda la **lunghezza della serie**, che deve ricoprire un periodo di tempo di 50-60 anni.



Prima di affrontare qualunque tipo di analisi a lungo termine, è necessario effettuare un attento **controllo della qualità del dato**. Errori frequenti consistono

⁴ Olsson et al., 2013

⁵ Il termine "regionale" indica aree geografiche di estensione compresa all'incirca tra 104 e 107 km², come da definizione dell'IPCC

⁶ Ehret et al., 2012

nella presenza di valori giornalieri ripetuti, mesi o anni duplicati, valori di una variabile inconsistenti con altri elementi, valori fisicamente impossibili o climatologicamente inverosimili. Come raccomandato dal WMO (World Meteorological Organization), il controllo della qualità dei dati dovrebbe essere effettuato in modo semi-automatico. Quando la mole di dati è elevata, infatti, è necessario sviluppare procedure che operino in modalità automatica e che permettano di individuare in breve tempo i dati errati o sospetti. D'altra parte, è necessaria una revisione manuale degli elenchi di dati sospetti generati in maniera automatica, per ulteriori azioni da intraprendere tra cui l'eventuale correzione del dato⁷.

Box 1 – Controllo automatico della qualità del dato

Un esempio di applicazione di sequenza di test completamente automatica è costituito dalla procedura implementata per il controllo di qualità (QA) del dataset globale di osservazioni meteorologiche giornaliere (Global Historical Climatological Network – GHCN) del National Climatic Data Center (NCDC) della NOAA⁸. Questo sistema QA è stato progettato per rilevare diverse tipologie di errori, mantenendo al contempo una bassa probabilità di "falsi positivi" (vale a dire osservazioni valide erroneamente identificate come non valide).

*I controlli applicati si possono raggruppare in cinque categorie generali: i) **controlli di integrità di base**, che identificano i casi di valori ripetuti, mesi o anni duplicati, valori sospetti uguali a zero e valori impossibili; ii) **test per l'individuazione dei valori anomali**, che identificano gap eccessivamente elevati nella distribuzione dei dati nonché le osservazioni che si discostano in modo eccessivo dai parametri climatologici specifici della stazione; iii) **controlli di coerenza interna e temporale**, che rispettivamente controllano le violazioni di relazioni logiche o fisiche tra due o più elementi e identificano valori che si discostano significativamente dalle osservazioni dei giorni precedenti o successivi; iv) **controlli di coerenza spaziale**, che identificano valori che si discostano significativamente dalle osservazioni delle stazioni limitrofe; v) **test di megaconsistenza**, che applicano ulteriori controlli di consistenza sull'intera serie.*

*Un sottoinsieme di questi controlli è stato implementato ed applicato al dataset italiano delle serie giornaliere di temperatura e precipitazione⁹, prima di includere le serie stesse nel **Sistema per la raccolta, l'elaborazione e la diffusione di dati Climatologici di Interesse Ambientale** (SCIA, www.scia.isprambiente.it). Il sistema SCIA¹⁰, realizzato dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), assicura una banca dati di valori statistici di qualità controllata a diverse scale temporali (decadale, mensile ed annuale) per le principali variabili climatiche, utilizzando dati provenienti da diverse reti osservative nazionali e regionali; recentemente SCIA è stato integrato con un nuovo set di osservazioni giornaliere di temperatura (massima e minima) e precipitazione per l'Italia. La procedura di controllo di qualità prevede una sequenza di test mutuati da quelli del GHCN della NOAA, opportunamente modificati tenendo conto di alcune caratteristiche peculiari del clima italiano.*

⁷ WMO, 2011; Brunet et al., 2006

⁸ Durre et al., 2010; www.ncdc.noaa.gov/ghcn-daily-methods

⁹ Fioravanti et al., 2016

¹⁰ Desiato et al., 2011

La selezione delle serie temporali include anche **l'applicazione di criteri di completezza e continuità**. I valori mancanti possono rappresentare una criticità, soprattutto per alcuni elementi climatici, come la precipitazione cumulata mensile o gli estremi¹¹. Gli indici rappresentativi degli estremi climatici vengono calcolati a partire dalle osservazioni giornaliere di *temperatura* (massima e minima) e *precipitazione*; la selezione delle serie prevede requisiti di completezza piuttosto stringenti a livello mensile e annuale. I criteri generalmente applicati sono i seguenti:

- 1) non più di 3 giorni mancanti in un mese (comunque distribuiti) per gli indici mensili,
- 2) non più di 15 giorni mancanti in un anno, con la condizione che siano validi tutti gli indici mensili dell'anno considerato¹².

A livello dell'intera serie è richiesta la presenza di almeno il 75-80% degli anni¹³ e non più di 4 anni consecutivi mancanti¹⁴.

Un altro aspetto rilevante consiste nella **valutazione dell'omogeneità delle serie**, poiché eventuali fattori non climatici possono influenzare la corretta stima di trend.

Le discontinuità artificiali possono essere dovute a numerose cause, quali lo *spostamento della stazione di misura*, la *sostituzione della strumentazione*, *cambiamenti nell'esposizione dello strumento* o *l'adozione di nuove procedure di elaborazione dei dati*¹⁵. La disponibilità di informazioni (**metadati**) che documentano la storia delle stazioni di rilevamento, facilita lo studio delle disomogeneità di una serie e delle relative cause¹⁶. Quando tuttavia i metadati risultano incompleti o assenti, la valutazione di omogeneità delle serie si basa esclusivamente su tecniche statistiche, in grado di individuare le disomogeneità artificiali (*breakpoint*) ed eventualmente correggere la serie¹⁷.

¹¹ Come evidenziato dal Rapporto WMO "Guide to Climatological Practices" (2011)

¹² Vincent et al., 2005; Donat et al., 2013

¹³ Alexander et al., 2006; Klein Tank and Können, 2003; Toreti and Desiato, 2008a

¹⁴ Desiato et al., 2010; Fioravanti et al., 2015

¹⁵ Klein Tank et al., 2009

¹⁶ Peterson et al., 1998

¹⁷ Kuglitsch et al., 2009; Aguilar et al., 2003

Box 2 - Test assoluti e relativi

Generalmente i **test assoluti**, che si basano su **test statistici applicati alla sola serie candidata**, sono considerati meno affidabili dei **test relativi**, che controllano invece l'omogeneità della serie candidata utilizzando una serie di riferimento altamente correlata alla serie stessa¹⁸. I test assoluti, tuttavia, forniscono una visione generale dell'omogeneità delle serie di dati, in particolare nelle regioni in cui il numero di stazioni disponibili è limitato e risulta difficile creare una serie di riferimento. L'approccio di Wijngaard et al.¹⁹, utilizzando quattro test assoluti (lo "Standard normal homogeneity test"²⁰; il "Buishand range test"²¹; il "Pettitt test"²²; il "Von Neumann ratio test"²³) classifica le serie in tre categorie: serie utili (valide per l'analisi delle tendenze climatiche), dubbie (da usare con cautela nell'analisi delle tendenze e della variabilità del clima) e serie sospette (da non utilizzare per l'analisi dei trend). Questi test assoluti sono in grado di identificare le disomogeneità più evidenti, legate a brusche variazioni nella media.

Per quanto riguarda i **test relativi**, l'approccio più comune per la creazione di una serie di riferimento consiste nel calcolare una **media pesata dei dati delle stazioni vicine, per ciascuna serie candidata**. Seguendo la metodologia di Peterson e Easterling²⁴, le serie limitrofe vengono selezionate in base alla loro correlazione con la serie candidata, dove i coefficienti di correlazione sono calcolati utilizzando le serie delle differenze prime ($FD_i = T_{i+1} - T_i$, per l'anno i). Nel costruire la serie di riferimento, vengono utilizzati come pesi i quadrati dei coefficienti di correlazione²⁵.

Un test di omogeneità utilizzato da diversi autori è il "*two phase regression test*", implementato nel pacchetto RHtest²⁶ del software R²⁷.

La Figura 1 illustra, a titolo esemplificativo, i risultati dell'applicazione dell'RHtest alla serie di temperatura media annuale della stazione di Ciampino (serie candidata). Il test individua tre possibili disomogeneità nel 1965, 1972 e 1977.

I test di omogeneità sono stati applicati a livello annuale o mensile in diversi lavori²⁸. L'individuazione delle disomogeneità a livello giornaliero e l'eventuale correzione della serie è un problema complesso; generalmente viene richiesta un'alta densità di stazioni per la

¹⁸ Peterson et al. 1998, Venema et al., 2012

¹⁹ Wijngaard et al. 2003

²⁰ Alexandersson 1986

²¹ Buishand, 1982

²² Pettitt, 1979

²³ Von Neumann, 1941

²⁴ Peterson & Easterling, 1994

²⁵ cfr. Desiato et al., 2012

²⁶ <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>

²⁷ Wang et al., 2007; Wang 2008a; Wang 2008b

²⁸ Aguilar et. al., 2003; Brunet et.al., 2006

creazione di una serie di riferimento altamente correlata con la serie candidata²⁹. Nelle linee guida del WMO sull'analisi degli estremi³⁰ il suggerimento è quello di escludere dall'analisi le serie temporali disomogenee e di utilizzare solo le serie omogenee, se il numero di record disponibili per le elaborazioni è sufficiente.

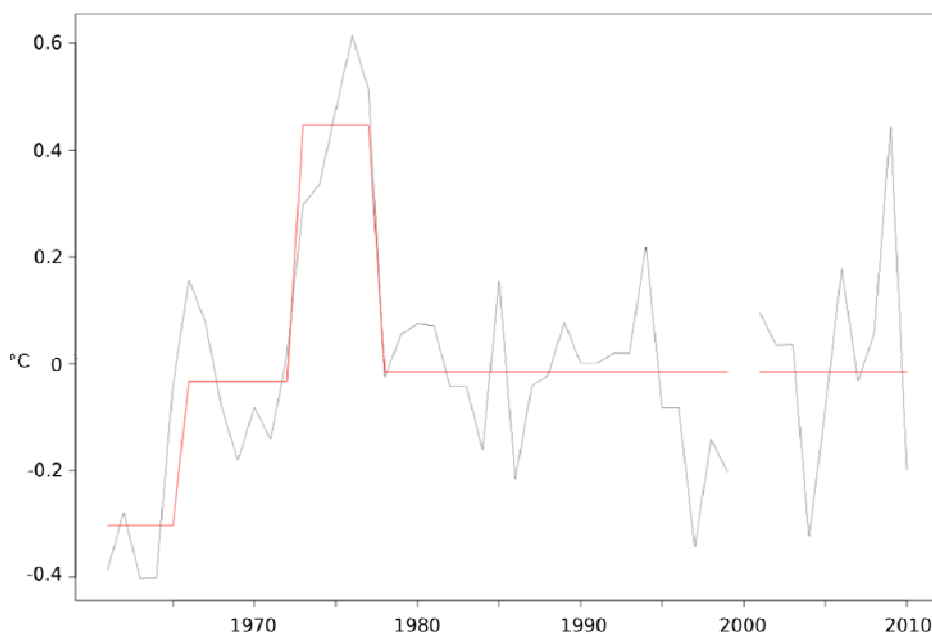


Figura 1 – Risultato dell'applicazione dell'RHtest alla serie di temperatura media della stazione di Ciampino (le anomalie sono state calcolate rispetto ad una serie di riferimento costruita utilizzando le stazioni limitrofe). Tre disomogeneità sono state individuate nel 1965, 1972, 1977³¹.

2.2.2 Calcolo degli indici estremi

La valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici richiede stime aggiornate delle tendenze sia dei valori medi che degli estremi di temperatura e precipitazione.

Al fine di descrivere la variabilità degli estremi climatici, sono stati definiti alcuni indici dall'*Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI)*³², un gruppo congiunto della *Commission for Climatology (CCL)* della *World Meteorological Organization (WMO)/Climate Variability and Predictability (CLIVAR)/Joint Technical Commission for Oceanography and Marine*

²⁹ Della Marta e Wanner 2006; Kuglitsch et al., 2009; Toreti et al., 2010

³⁰ Klein Tank et al., 2009

³¹ Desiato et al., 2012

³² Peterson et al., 2001

Meteorology (JCOMM).

Gli indici ETCCDI³³, sono stati utilizzati in numerosi studi³⁴; un sottoinsieme di tali indici, significativo per il clima italiano, è stato selezionato (Tabella 1; Tabella 2) per lo studio delle variazioni recenti della frequenza e intensità degli estremi di temperatura e precipitazione in Italia³⁵. Per quanto riguarda la temperatura, la tabella include l'indice SU30 (numero di giorni con temperatura massima maggiore di 30°C), selezionato dall'insieme degli indici definiti dalla *Expert Team on Sector-specific Indices (ET SCI)* della *Commission for Climatology (CCI)* del WMO, rilevanti per diversi settori, quali la salute, le risorse idriche, l'agricoltura.

Temperatura

Tabella 1 - Indici estremi di temperatura selezionati dall'insieme degli indici ETCCDI ed ET SCI ();
TN = temperatura minima, TX = temperatura massima*

Indice	Definizione	Unità
FD0 (giorni con gelo)	Numero di giorni l'anno in cui TN < 0°C	giorni
TR20 (notti tropicali)	Numero di giorni l'anno in cui TN > 20°C	giorni
TXx (massimo di Tmax)	Valore massimo delle temperature massime giornaliere	°C
TNx (massimo di Tmin)	Valore massimo delle temperature minime giornaliere	°C
TXn (minimo di Tmax)	Valore minimo delle temperature massime giornaliere	°C
TNn (minimo di Tmin)	Valore minimo delle temperature minime giornaliere	°C
TN10P (notti fredde)	Percentuale di giorni l'anno in cui TN < 10° percentile del periodo climatologico di riferimento	%
TN90P (notti calde)	Percentuale di giorni l'anno in cui TN > 90° percentile del periodo climatologico di riferimento	%
TX10P (giorni freddi)	Percentuale di giorni l'anno in cui TX < 10° percentile del periodo climatologico di riferimento	%
TX90P (giorni caldi)	Percentuale di giorni l'anno in cui TX > 90° percentile del periodo climatologico di riferimento	%
SU25 (giorni estivi)	Numero di giorni l'anno in cui TX > 25°C	giorni
SU30* (giorni molto caldi)	Numero di giorni l'anno in cui TX ≥ 30°C	giorni
WSDI (Onde di calore)	Numero di giorni l'anno in cui TX > 90° percentile del periodo climatologico di riferimento per almeno 6 giorni consecutivi	giorni

³³ http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml

³⁴ Alexander et al., 2006; Toreti and Desiato, 2008b; Donat et al., 2013

³⁵ Fioravanti et al., 2013; Fioravanti et al., 2015

Precipitazione

Tabella 2 - Indici estremi di precipitazione selezionati dall'insieme degli indici ETCCDI

Indice	Definizione	Unità
RX1 day (precipitazione massima giornaliera)	Valore massimo di precipitazione giornaliera	mm
R95p (giorni molto piovosi)	Totale annuale delle precipitazioni > 95° percentile del periodo climatologico di riferimento	mm
R99p (giorni estremamente piovosi)	Totale annuale delle precipitazioni > 99° percentile del periodo climatologico di riferimento	mm
SDII (intensità di precipitazione giornaliera)	Totale annuale di precipitazione diviso per il numero di giorni piovosi nell'anno (definiti come giorni con precipitazione ≥ 1.0 mm)	mm/giorno
CWD (giorni piovosi consecutivi)	Numero massimo di giorni consecutivi con precipitazione giornaliera ≥ 1 mm	
CDD (giorni secchi consecutivi)	Numero massimo di giorni consecutivi con precipitazione giornaliera < 1 mm	mm
R10 (giorni con precipitazione intensa)	Numero di giorni l'anno con precipitazione ≥ 10 mm	giorni
R20 (giorni con precipitazione molto intensa)	Numero di giorni l'anno con precipitazione ≥ 20 mm	giorni
PRCPTOT (precipitazione cumulata annuale)	Totale annuale di precipitazione nei giorni piovosi (con precipitazione ≥ 1 mm)	mm

Box 3 - Indici

Gli indici riportati nelle tabelle si possono dividere in diverse categorie³⁶:

Indici definiti da un valore di soglia fisso

Rientrano in questa categoria i seguenti indici annuali di temperatura: il numero di giorni con gelo (FD0), il numero di notti tropicali (TR20), il numero di giorni estivi (SU25), il numero di giorni molto caldi (SU30). Per la precipitazione gli indici definiti da un valore di soglia fisso sono il numero annuale di giorni con precipitazione intensa (R10) e il numero annuale di giorni con precipitazione molto intensa (R20).

Questi indici, pur non significativi in tutte le aree climatiche, sono di particolare rilievo poiché una loro variazione può avere un impatto significativo sulla società e sull'ambiente naturale.

Indici assoluti

Gli indici assoluti rappresentano il più alto e il più basso valore registrato nel corso di un mese o di un anno. Per la temperatura sono indici assoluti il valore massimo delle temperature massime giornaliere (TXx), il valore minimo delle temperature massime giornaliere (TXn), il valore massimo delle temperature minime giornaliere (TNx) e il valore minimo delle temperature minime giornaliere (TNn); per la precipitazione, il valore massimo di precipitazione giornaliera (RX1day).

³⁶ Alexander et al., 2006; Klein Tank et al., 2009

Indici basati sui percentili

Gli indici basati sui percentili permettono di valutare l'evoluzione degli estremi climatici moderati, ovvero quegli estremi con un tempo di ritorno generalmente inferiore a un anno³⁷.

A differenza degli indici basati su un valore soglia prefissato, quelli basati sui percentili conteggiano le eccedenze rispetto a valori soglia definiti in termini di frequenza (spesso il 10%), calcolati sulla distribuzione degli eventi nel periodo climatologico di riferimento (es. 1961-1990, 1971-2000 o 1981-2010). Poiché i valori soglia utilizzati per il calcolo delle eccedenze sono specifici della serie climatica in esame, gli indici basati sui percentili sono rappresentativi del clima locale e permettono inoltre di confrontare risultati ottenuti in regioni diverse.

Rientrano in questa categoria le notti fredde (TN10P), le notti calde (TN90P), i giorni freddi (TX10P) e i giorni caldi (TX90P), cioè la percentuale di giorni dell'anno inferiori alla soglia del 10° percentile (TN10P e TX10P) o superiori al 90° percentile (TN90P e TX90P). Per tenere conto del ciclo annuale della temperatura e assicurare quindi che agli eventi estremi sia associata la stessa probabilità di verificarsi nel corso dell'anno, i valori soglia (10° e 90° percentile) vanno definiti per ciascuno dei 365 giorni dell'anno. I percentili sono calcolati sulla base della distribuzione dei dati nel periodo climatologico 1961-1990, definita tramite una finestra di 5 giorni centrata sul giorno in esame³⁸, cioè su un campione di 150 dati (5 giorni per 30 anni).

Gli indici di precipitazione basati sui percentili sono la precipitazione nei giorni molto piovosi (R95p) e la precipitazione nei giorni estremamente piovosi (R99p). Gli indici R95p e R99p sono espressi in millimetri di pioggia e rappresentano la somma nell'anno delle precipitazioni giornaliere superiori rispettivamente al valore soglia del 95° e del 99° percentile. In questo caso i percentili sono calcolati rispetto alla distribuzione climatologica 1961-1990 delle precipitazioni giornaliere nei giorni piovosi.

Indici di durata

Gli indici di durata identificano periodi prolungati e intensi di caldo (WSDI), periodi di giorni consecutivi di pioggia (CWD) o di siccità (CDD).

L'indice WSDI rappresenta la durata delle onde di calore e si definisce come il numero di giorni nell'anno che fanno parte di un "periodo caldo", definito come una sequenza di almeno sei giorni consecutivi in cui la temperatura massima giornaliera è superiore al 90° percentile della distribuzione climatologica di riferimento. Anche in questo caso, i valori dei percentili sono calcolati su una finestra di 5 giorni centrata su ogni giorno dell'anno. L'utilizzo di valori soglia definiti dai percentili rende gli indici di durata della temperatura rappresentativi delle variazioni del clima locale.

Gli indici CWD e CCD individuano rispettivamente il più lungo periodo di giorni di pioggia o di giorni di siccità nel corso dell'anno.

Per tutti gli indici di durata, i periodi che iniziano alla fine di un anno e terminano all'inizio dell'anno successivo, vengono conteggiati nell'anno successivo.

Altri indici

Alcuni indici non rientrano in nessuna delle categorie precedenti, ma permettono di avere un quadro completo dell'evoluzione degli estremi di temperatura e precipitazione. Questi sono l'indice annuale di precipitazione totale (PRCPTOT) e l'indice di intensità di pioggia (SDII).

³⁷ Klein Tank & Können, 2003

³⁸ Zhang & Yang, 2004

2.2.3 Serie regionale

Le variazioni climatiche su un'area specifica vengono rappresentate da una serie media regionale per ogni variabile o indice climatico. Le serie regionali sono calcolate aggregando, tramite media aritmetica, le anomalie di ogni singola serie rispetto alla propria media climatologica o normale (es. 1961-1990, 1971-2000 o 1981-2010) per evitare che nella serie regionale siano predominanti le stazioni con i valori assoluti più elevati. I valori normali, definiti dal WMO nella prima metà del ventesimo secolo, con l'obiettivo di consentire il confronto tra le osservazioni di tutto il mondo, costituiscono un insieme di valori di riferimento rispetto ai quali confrontare le osservazioni e calcolare le serie di anomalie (scostamenti dai valori normali). Nella serie regionale gli anni per i quali sono disponibili meno del 70-75% delle stazioni con dati validi vengono considerati mancanti, ai fini della stima dei trend³⁹.

Per quanto riguarda le precipitazioni, in considerazione sia della notevole variabilità spaziale e temporale che della distribuzione spesso non omogenea dei dati disponibili, la serie regionale può essere calcolata utilizzando metodi di interpolazione spaziale quali, ad esempio, il metodo dei poligoni di Thiessen o tassellatura di Voronoi⁴⁰.

A scala nazionale una sintesi dei valori climatici medi e degli indici estremi viene pubblicata annualmente da ISPRA nello specifico Rapporto *"Gli indicatori del clima in Italia"*. La Figura 2 illustra la serie delle anomalie della temperatura media rispetto alla media climatologica 1961-1990, dal 1961 al 2016, calcolata utilizzando un set di stazioni disponibili sul Sistema SCIA, distribuite in maniera uniforme sul territorio italiano⁴¹.

³⁹ Klein Tank & Können, 2003; Fioravanti et al., 2015

⁴⁰ Li & Heap, 2008

⁴¹ Desiato et al., 2017

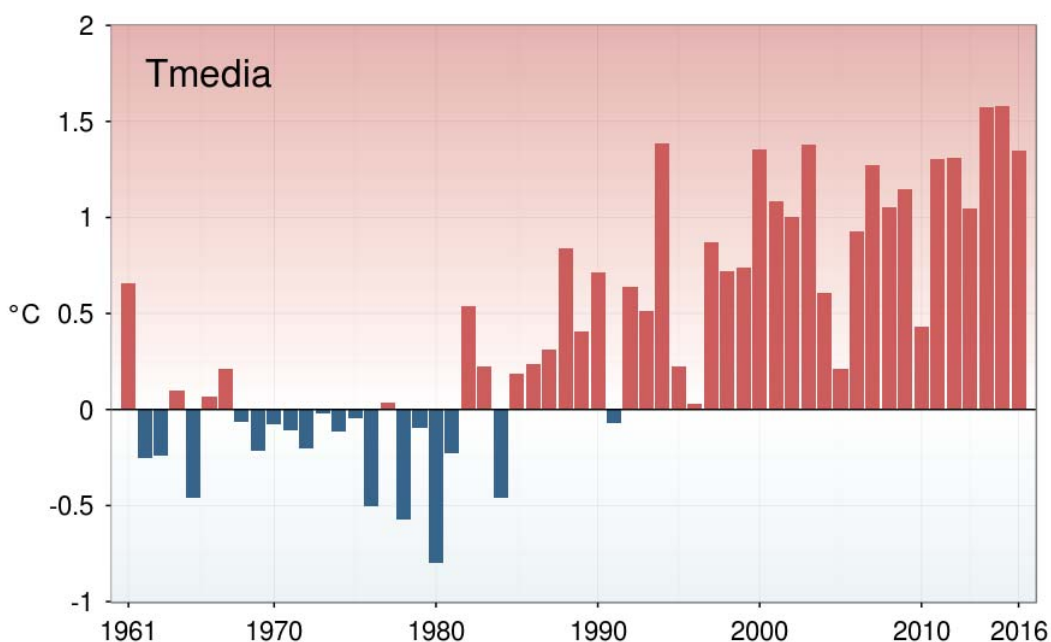


Figura 2 - Serie delle anomalie medie annuali in Italia della temperatura media rispetto al valore normale 1961-1990.

Lo studio delle tendenze viene effettuato tramite modelli statistici, lineari o non lineari, di riconoscimento e stima dei trend⁴².

Per le variabili climatiche, in particolare per la precipitazione, l'analisi dei trend viene generalmente effettuata in modo non parametrico utilizzando il test di Mann-Kendall⁴³ e lo stimatore di Theil-Sen⁴⁴, che è un approccio più robusto per la stima dei trend rispetto al metodo dei minimi quadrati. L'intervallo di confidenza viene calcolato tramite il metodo definito da Sen⁴⁵.

La presenza di autocorrelazione positiva, abbastanza frequente nelle serie climatiche, potrebbe alterare i risultati del test di Mann-Kendall, favorendo l'ipotesi di trend monotono a discapito dell'ipotesi di assenza di trend⁴⁶. Si può ovviare a tale inconveniente facendo precedere l'analisi dei trend dalla procedura di "pre-whitening", che permette di rimuovere l'autocorrelazione dalla serie temporale⁴⁷.

⁴² Seidel & Lanzante, 2004; Tomé & Miranda, 2004

⁴³ Mann 1945; Kendall, 1976

⁴⁴ Sen 1968

⁴⁵ *Ibid.*

⁴⁶ von Storch, 1995; Zhang et al., 2000


⁴⁷ Wang & Swail, 2001

Ricapitolando

L'analisi dei trend climatici prevede in sintesi queste fasi:

1. Controllare qualità dei dati di temperatura e precipitazione delle stazioni disponibili e selezionare le serie utili per l'analisi, secondo criteri di lunghezza della serie, completezza e continuità.
2. Verificare l'omogeneità delle serie di temperatura, tramite l'applicazione di test statistici e con il supporto dei metadati, se disponibili.
3. Calcolare gli indici estremi di temperatura e precipitazione.
4. Calcolare le serie regionali, sia dei valori medi che degli indici estremi di temperatura e precipitazione.
5. Valutare le tendenze delle serie regionali, tramite metodi statistici di riconoscimento e stima dei trend.

2.3 Proiezioni climatiche future

 Le proiezioni dei modelli forniscono indicazioni riguardo alle possibili variazioni climatiche per i prossimi decenni, in relazione a diverse ipotesi di sviluppo socio-economico globale che tengono conto di una serie di variabili tra cui il cambiamento socioeconomico, il cambiamento tecnologico, l'energia e l'uso del suolo, le emissioni di gas serra e di inquinanti atmosferici. Recentemente sono stati ridefiniti gli scenari futuri a scala globale (*Representative Concentration Pathways - RCP*), allo scopo di fornire informazioni sulla probabile evoluzione delle diverse componenti della forzante radiativa (emissioni di gas serra, inquinanti e uso del suolo), da utilizzare come input per i modelli climatici. Questi RCP completano e, per alcuni scopi, sostituiscono i precedenti scenari pubblicati dall'IPCC nello *Special Report on Emission Scenarios*⁴⁸ (SRES). I quattro nuovi RCP includono uno scenario di mitigazione (RCP2.6), due scenari intermedi (RCP4.5 e RCP6) e uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione⁴⁹ (RCP8.5). Dai modelli numerici si ottiene un insieme di molteplici previsioni di ogni variabile climatica nei diversi scenari. Alla stima del valore medio della variabile climatica (*ensemble mean*) è associato anche un intervallo di valori previsti in un determinato periodo di tempo, dovuto a diversi fattori, che comprendono l'incertezza

⁴⁸ IPCC, 2000

⁴⁹ Van Vuuren et al., 2011

intrinseca di ogni modello, lo spettro dei valori simulati dai diversi modelli e lo spettro di valori corrispondenti a diversi scenari.

La fonte più importante e aggiornata di proiezioni modellistiche sull'area del Mediterraneo e quindi sull'Italia è costituita da Med-CORDEX⁵⁰, un'iniziativa proposta dalla comunità scientifica che studia il clima del Mediterraneo⁵¹, che costituisce una parte del più ampio esperimento CORDEX⁵² (*Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment*). Le proiezioni fornite da Med-CORDEX si basano sui nuovi scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5 e utilizzano modelli RCM ad alta risoluzione. Le simulazioni con risoluzione 50x50km sono fornite da diversi modelli fino al 2100. Proprio la disponibilità di proiezioni da parte di più modelli permette di ottenere, insieme ad valutazione delle variabili climatiche del futuro, anche una stima delle incertezze associate alla previsione.

L'analisi del clima futuro viene generalmente focalizzata su diversi orizzonti temporali e riguarda sia i valori medi che gli indici rappresentativi degli estremi di temperatura e precipitazione, particolarmente rilevanti nella definizione delle strategie di adattamento ai cambiamenti climatici. In maniera analoga all'analisi delle variazioni climatiche passate e in corso, anche per il futuro gli estremi climatici sono stati studiati attraverso gli indici ETCCDI in numerosi lavori⁵³.

Le variazioni climatiche future vengono generalmente valutate in termini di differenze tra il valore di una variabile o di un indice su un trentennio e il valore corrispondente nel periodo climatologico di riferimento, al fine di confrontare i segnali climatici evidenziati dai diversi modelli, indipendentemente dall'abilità di ciascun modello nel riprodurre i valori assoluti di una certa variabile nell'area geografica di interesse. I valori di riferimento variano ovviamente da modello a modello e vengono prodotti eseguendo i modelli in modalità "hindcast", cioè effettuando simulazioni riferite a periodi passati.

A scala nazionale, nel Rapporto ISPRA "Il clima futuro in Italia"⁵⁴ sono state analizzate le proiezioni del clima nel corso del XXI secolo. Dall'insieme delle simulazioni di Med-CORDEX sono stati estratti ed elaborati gli output giornalieri di temperatura (massima, minima e media) e di precipitazione cumulata relativi al territorio italiano, di quattro modelli RCM (Tabella 3) che forniscono previsioni fino al 2100 nei due scenari di emissione RCP4.5 e

⁵⁰ www.medcordex.it

⁵¹ Ruti et al., 2015

⁵² Giorgi et al., 2006

⁵³ Russo & Sterl, 2011; Sillmann et al., 2013; Jacob et al, 2014; Zollo et al., 2016

⁵⁴ Desiato et al., 2015

RCP8.5.

Per tre orizzonti temporali, rappresentati da periodi di 30 anni (2021-2050, 2041-2060 e 2061-2090), sono stati calcolati sia i valori medi di temperatura e precipitazione che gli indici estremi ETCCDI di temperatura e precipitazione significativi per il clima italiano e riportati in termini di differenze rispetto al valore medio di 1971-2000, con la relativa incertezza. I risultati sono stati presentati attraverso grafici, mappe, box-plot e tabelle di sintesi.

La stessa metodologia è stata applicata nel progetto LIFE MASTER ADAPT. A titolo di esempio nella Figura 3 è riportata la mappa delle variazioni delle notti tropicali rispetto alla media 1971-2000 per l'area regionale della Sardegna, previste dai modelli e dall'*ensemble mean* per i tre orizzonti temporali 2021-2050, 2041-2070 e 2061-2090, scenario RCP4.5.

Tabella 3 - Modelli RCM selezionati dal programma Med-CORDEX, per l'analisi del clima futuro in Italia⁵⁵

Acronimo	Istituto	RCM	GCM
ALADIN	Centre National de Recherches Météorologiques	CNRM-ALADIN5.2	CNRM-CM5
GUF	Goethe University Frankfurt	GUF-CCLM4-8-18	MPI-ESM-LR
CMCC	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici	CMCC-CCLM4-8-19	CMCC-CM
LMD	Laboratoire de Météorologie Dynamique	LMD-LMDZ4-NEMOMED8	IPSL-CM5A-MR

⁵⁵ Desiato et al., 2015

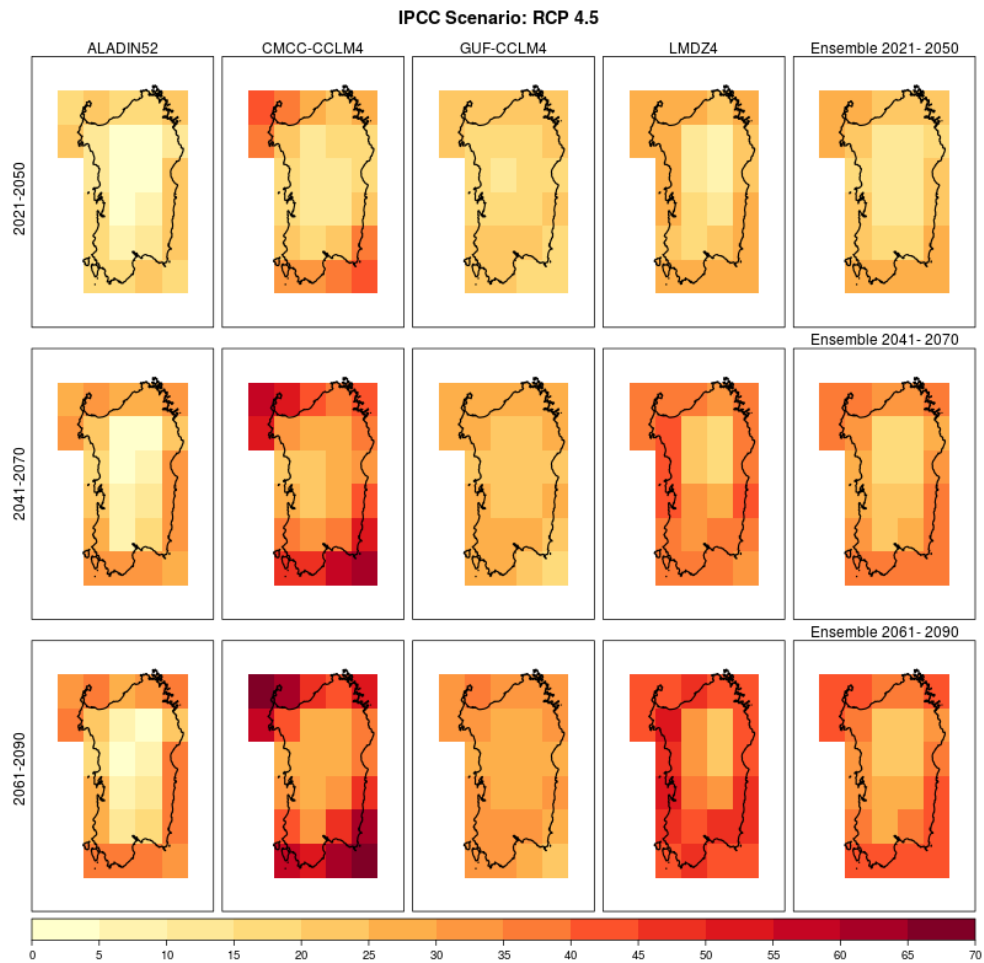


Figura 3 – Notti tropicali (giorni), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli e dall'ensemble mean ai tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga), rispetto ai valori medi 1971-2000.

Ricapitolando

Le proiezioni climatiche future prevedono in sintesi queste fasi:

1. Estrarre le proiezioni di temperatura e precipitazione dei modelli climatici disponibili, relative all'area di interesse. Possibilmente considerare gli output di più modelli, in diversi scenari di emissione, per avere anche una stima dell'incertezza.
2. Calcolare i valori medi e gli indici rappresentativi degli estremi di temperatura e precipitazione per orizzonti temporali, rappresentati da periodi di 30 anni (pe es. 2021-2050, 2041-2060 e 2061-2090).
3. Valutare le proiezioni climatiche future in termini di differenze tra il valore di una variabile o di un indice su un trentennio e il valore corrispondente nel periodo climatologico di riferimento, al fine di rendere confrontabili i risultati dei diversi modelli, indipendentemente dall'abilità di ciascun modello nel riprodurre i valori assoluti di una certa variabile.

3 VALUTARE LA VULNERABILITÀ E IL RISCHIO ASSOCIATO IN 7 PASSI

3.1 Introduzione

3.1.1 Definizioni e framework concettuali sulla vulnerabilità e sui rischi associati ai cambiamenti climatici

Il termine “vulnerabilità” viene utilizzato in modi differenti nell’ambito di innumerevoli discipline. Nel contesto specifico dei cambiamenti climatici, il concetto di “vulnerabilità” ha subito un’evoluzione significativa nel tempo, come testimoniano i Rapporti che il Panel Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (IPCC) ha prodotto nel corso degli ultimi decenni.

Nel 2001 l’IPCC definiva la **vulnerabilità** come:

“il grado al quale un sistema è suscettibile, o incapace di far fronte, agli effetti avversi dei cambiamenti climatici, inclusa la variabilità climatica e gli estremi”⁵⁶

ed era presentata come funzione di tre componenti quali:

- **esposizione:** *la natura e il grado al quale un sistema è esposto a significative variazioni climatiche⁵⁷;*
- **sensitività:** *grado in cui un sistema è affetto, sia negativamente che positivamente, da stimoli di natura climatica. L’effetto può essere diretto (i.e. un cambiamento nella resa colturale in risposta ad un cambiamento della media o variabilità della temperatura) o indiretto (i.e. danni causati da un aumento nella frequenza delle inondazioni costiere dovute all’innalzamento del livello del mare)⁵⁸;*
- **capacità di adattamento:** *la capacità di un sistema di adeguarsi ai cambiamenti climatici (inclusa la variabilità e gli estremi), di moderare i potenziali danni, di trarre vantaggio delle opportunità, o di far fronte alle conseguenze⁵⁹.*

⁵⁶ IPCC, 2001

⁵⁷ Ibid.

⁵⁸ Ibid.

⁵⁹ Ibid.

Nel 2007, l'IPCC integra il concetto di **vulnerabilità** riportato nel Rapporto del 2001 come segue:

[...] il grado in cui un sistema è suscettibile, o incapace di far fronte, agli effetti avversi dei cambiamenti climatici, inclusa la variabilità climatica e gli estremi. La vulnerabilità è funzione della tipologia, dell'intensità e del tasso di cambiamento e della variazione del clima al quale un sistema è esposto, della sua sensitività e della sua capacità di adattamento⁶⁰

basandosi sulle definizioni di "esposizione", "sensitività" e "capacità di adattamento" del Rapporto precedente.

È con il Rapporto Speciale sugli Estremi che l'IPCC introduce dei cambiamenti, definendo la vulnerabilità come:

"la propensione o la predisposizione ad essere colpiti negativamente"⁶¹

adottando i concetti già utilizzati e condivisi nell'ambito della comunità scientifica che opera sul tema della gestione del rischio e definendo:

- **esposizione:** *la presenza di persone, mezzi di sussistenza, servizi e risorse ambientali, infrastrutture, beni economici, sociali, culturali, in luoghi che potrebbero essere negativamente colpiti⁶²;*

- **capacità di adattamento:** *la combinazione delle forze, degli attributi, e delle risorse disponibili per un individuo, una comunità, una società, un'organizzazione che può essere utilizzata per prepararsi o per intraprendere azioni che riducano gli impatti negativi, moderare i danni, o sfruttare opportunità positive⁶³.*

Il più recente Rapporto dell'IPCC conferma e rafforza i concetti proposti due anni prima,

⁶⁰ IPCC, 2007

⁶¹ IPCC, 2012

⁶² *Ibid.*

⁶³ *Ibid.*

definendo come **vulnerabilità**:

*"la propensione o la predisposizione ad essere negativamente colpiti. La Vulnerabilità comprende una varietà di concetti ed elementi inclusa la Sensitività o la suscettibilità al danno e la mancanza di capacità di far fronte ed adattarsi"*⁶⁴

ed introducendo anche i concetti di:

- **vulnerabilità contestuale** (vulnerabilità di partenza): *attuale incapacità di far fronte a pressioni o modifiche esterne, come le condizioni associate ai cambiamenti climatici. La Vulnerabilità contestuale è una caratteristica dei sistemi sociali ed ecologici generata da fattori e processi multipli*⁶⁵;
- **vulnerabilità risultato** (vulnerabilità finale): *punto finale di una sequenza di analisi che prendono avvio con le proiezioni dei futuri trend delle emissioni, proseguono con lo sviluppo di scenari climatici, e si concludono con gli studi relativi agli impatti biofisici ed all'identificazione delle opzioni di adattamento. Ogni conseguenza residua risultante a valle dell'adattamento definisce i livelli di vulnerabilità*⁶⁶.

In quest'ultimo Rapporto si definisce:

- **esposizione**: *la presenza di persone, mezzi di sussistenza, specie ed ecosistemi, funzioni ambientali, servizi, e risorse, infrastrutture, o beni economici, sociali, culturali in luoghi e contesti che potrebbero essere negativamente colpiti*⁶⁷;
- **sensitività**: *il grado in cui un sistema o una specie è affetto, sia negativamente che positivamente, dalla variabilità o dai cambiamenti climatici. L'effetto può essere diretto (i.e. un cambiamento nella resa colturale in risposta ad un cambiamento della media o variabilità della temperatura) o indiretto (i.e. danni causati da un aumento nella frequenza delle inondazioni costiere dovute all'innalzamento del livello del mare)*⁶⁸;

⁶⁴ IPCC, 2014

⁶⁵ O'Brien et al, 2007; IPCC, 2014

⁶⁶ Kelly & Adger, 2000; O'Brien et al., 2007

⁶⁷ IPCC, 2014

⁶⁸ *Ibid*

- **capacità di adattamento:** la capacità dei sistemi, delle istituzioni, degli esseri umani, e di altri organismi di adeguarsi ai potenziali danni, di trarre vantaggio dalle opportunità, o di rispondere alle conseguenze⁶⁹.



L'evoluzione sopra descritta ha quindi portato, negli anni più recenti, ad intendere la vulnerabilità secondo la terminologia utilizzata nell'ambito della gestione del rischio discostandosi, di fatto, dal *framework* teorico proposto nel precedente Rapporto IPCC⁷⁰: in pratica ciò che oggi viene definito "rischio" corrisponde, in qualche modo, a ciò che nel IV Rapporto IPCC veniva considerata "vulnerabilità" (Figura 4).

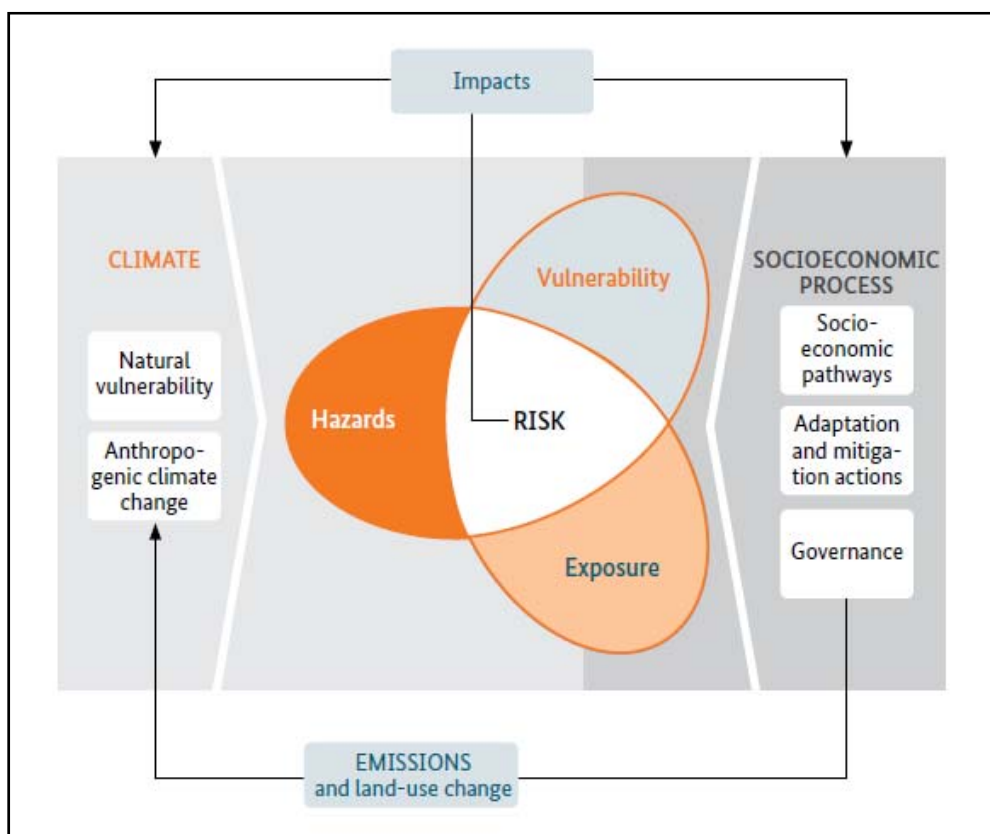


Figura 4 – Illustrazione dei concetti chiave proposti dal Panel Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (IPCC, 2014)

Come si evince dalla Figura 4 la vulnerabilità costituisce ora, insieme all'esposizione (*exposure*)

⁶⁹ Ibid

⁷⁰ IPCC, 2007

ed alla sorgente di pericolo (*hazard*), uno degli elementi costitutivi del "rischio", dove:

- **sorgente di pericolo** (*hazard*): *il potenziale verificarsi di un evento fisico naturale o di origine antropica o di un trend o di un impatto fisico che potrebbe causare perdita di vite umane, feriti, o altri impatti sulla salute, così come danni o perdite di proprietà, infrastrutture, mezzi di sussistenza, fornitura di servizi, ecosistemi, e risorse ambientali. Nel contesto climatico, questo termine si riferisce ad eventi fisici associati al clima o a trend o ai loro impatti fisici*⁷¹.

- **rischio**: *il potenziale associato alle conseguenze, dove qualcosa è in gioco ed il risultato è incerto, riconoscendo la diversità dei valori. Il rischio è frequentemente rappresentato come la probabilità di accadimento di un evento o trend pericoloso moltiplicato per gli impatti in caso tali eventi o trend accadano. Il rischio risulta dall'interazione tra la vulnerabilità, l'esposizione e la sorgente di pericolo*⁷².

Se nel *framework* concettuale precedente la vulnerabilità combinava insieme l'esposizione, la sensibilità e la capacità di adattamento, oggi essa viene determinata sulla base della sensibilità e della capacità di adattamento (Figura 5), secondo le seguenti definizioni:

- **sensitività**: si veda definizione a pagina 25;
- **capacità**: è la capacità delle società e delle comunità di prepararsi e rispondere agli impatti climatici attuali e futuri. Essa comprende:
 - i. la **capacità di fronteggiare**: l'abilità delle persone, delle istituzioni, delle organizzazioni e dei sistemi di indirizzare, gestire e superare condizioni avverse nel breve-medio periodo, utilizzando competenze, valori, credenze, risorse e opportunità disponibili (i.e. sistema di allerta precoce);
 - ii. la **capacità di adattamento**: l'abilità dei sistemi, delle istituzioni, degli esseri umani e di altri organismi di adeguarsi al potenziale danno, trarre vantaggio dalle opportunità, o di rispondere alle conseguenze (i.e. conoscenza per introdurre nuovi metodi agricoli). Questa seconda tipologia di capacità è stata già definita ed utilizzata nell'ambito del *framework* IPCC del 2007 ed è quindi quella più ampiamente utilizzata fino ad oggi⁷³.

⁷¹ Ibid

⁷² Ibid

⁷³ GIZ, 2017

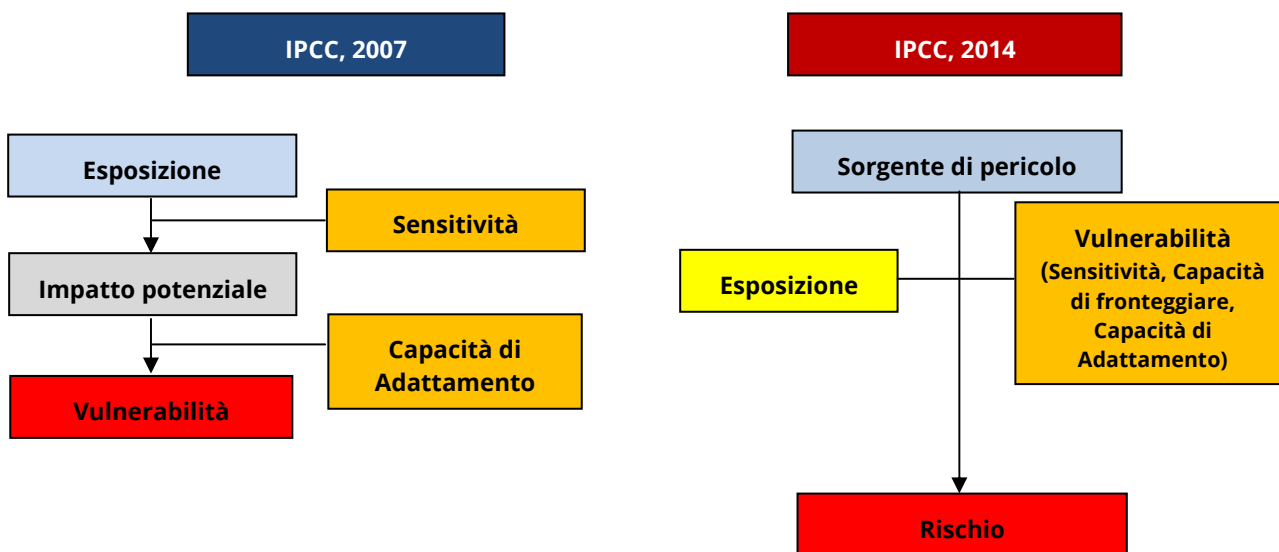


Figura 5 – Confronto tra i fattori componenti la vulnerabilità ai cambiamenti climatici (IPCC, 2007) e il rischio associato ai cambiamenti climatici (IPCC, 2014). Nota: si sono utilizzati stessi colori per stessi concetti (es. alla vulnerabilità di IPCC 2007 corrisponde il rischio IPCC 2014). Fonte: GIZ, 2017.

Come si deduce dalla Figura 5 entrambi i *framework* concettuali distinguono cause esterne al sistema associate al clima: in un caso esse vengono descritte dall'esposizione, nel secondo caso dalla sorgente di pericolo (*hazard*). Fra i fattori interni al sistema vanno, invece, menzionati i concetti di vulnerabilità, sensibilità e capacità. Il *framework* del 2014 considera esplicitamente la presenza degli elementi esposti come una componente aggiuntiva (esposizione) che nel *framework* precedente era implicitamente inclusa nella sensibilità. In entrambi i casi solo la combinazione di tutte le componenti permette di disegnare un'immagine completa che permetta di delineare il risultato finale: vulnerabilità⁷⁴ o rischio⁷⁵. La Tabella 4 illustra un esempio concreto al fine di facilitare la comprensione dei concetti e della loro evoluzione nel tempo⁷⁶.

⁷⁴ IPCC 2007

⁷⁵ IPCC 2014

⁷⁶ GIZ, 2017

Tabella 4 – Confronto tra i significati dei concetti chiave nei report IPCC 2007 e IPCC 2014⁷⁷

ESEMPIO		IPCC 2007	IPCC 2014
Segnale climatico esterno	Scarsità di precipitazione	Esposizione	Sorgente di pericolo (<i>Hazard</i>)
Impatto fisico diretto	Siccità	Impatto potenziale	Sorgente di pericolo (<i>Hazard</i>)
Sensitività	Tipologia di coltura	Sensitività	Vulnerabilità (Sensitività)
Capacità	Conoscenza relativa alla gestione idrica	Capacità di adattamento	Vulnerabilità (Capacità)
Presenza e rilevanza degli elementi esposti	Rilevanza di piccole aziende agricole	Implicitamente inclusa in Sensitività	Esposizione
Risultato finale	Scarsità idrica in agricoltura	Vulnerabilità	Rischio

3.1.2 La valutazione della vulnerabilità: approcci qualitativi e quantitativi

Come si evince dai *framework* concettuali sopra descritti, la vulnerabilità non è una caratteristica misurabile di un sistema, come la temperatura, la precipitazione o la produzione agricola⁷⁸. Non esiste, infatti, un “vulnerometro” che la possa misurare né, come illustrato sopra, *framework* concettuali o approcci metodologici universalmente condivisi e validi. Indipendentemente dal carattere qualitativo o quantitativo della valutazione, va precisato che la vulnerabilità non può essere comunque sintetizzata solo con un numero, ma interpretata perlopiù attraverso la descrizione di una situazione o condizione e sulla base dell’interazione tra più fattori insieme.

Quando si parla di vulnerabilità è meglio, quindi, utilizzare il termine “valutazione” piuttosto che “misurazione”, con l’obiettivo di stimare la vulnerabilità di qualcuno/qualcosa rispetto a qualcosa (i.e. un evento climatico) in uno specifico momento (i.e. presente o futuro).



I fattori fondamentali da considerare qualora si voglia realizzare una valutazione della vulnerabilità sono, quindi, i seguenti:

⁷⁷ *Ibid*

⁷⁸ GIZ et al, 2014

- *chi/cosa è vulnerabile*: un ecosistema, una specie, una porzione di popolazione, un settore economico, etc;
- *a cosa il sistema potrebbe essere vulnerabile (le cause potenziali del danno)*: si tratta generalmente di cause esterne ad un sistema come, ad esempio, una tempesta, un evento di precipitazione intensa, un'ondata di calore che, a seconda dell'intensità e durata, potrebbero essere responsabili di rilevanti conseguenze, come la perdita di vite umane, un danno ambientale, la perdita di biodiversità, un danno economico, etc.
- *riferimento temporale*: la vulnerabilità non è un concetto statico ma può cambiare nel tempo, pertanto una corretta valutazione della vulnerabilità deve stabilire a quale orizzonte temporale essa si riferisce (presente o futuro).

La necessità di effettuare tali valutazioni è cresciuta negli ultimi decenni in conseguenza della maggiore attenzione rivolta alle politiche di adattamento, che si basano imprescindibilmente sulla conoscenza della vulnerabilità dei settori economici, dei sistemi ambientali e dei sistemi sociali rispetto agli eventi associati ai cambiamenti climatici. Una comprensione più approfondita di come un settore/un sistema/un territorio si comporti rispetto ai cambiamenti climatici contribuisce, infatti, a stabilire gli obiettivi ed i target dell'adattamento, a fornire gli elementi necessari alla pianificazione delle misure di adattamento, ad aumentare la consapevolezza della comunità e a monitorare e valutare le politiche di adattamento⁷⁹.

La letteratura scientifica, in particolar modo quella internazionale, riporta innumerevoli esempi di valutazioni di vulnerabilità, sia qualitative che quantitative (

Tabella 5).

Tabella 5 – Esempi di possibili fonti per le valutazioni di vulnerabilità qualitative e quantitative

Approccio qualitativo
<i>Urban vulnerability to climate change in Europe – an interactive Mapbook</i>
<i>Preparing for Climate Change: A Guidebook for Local, Regional, and State Governments</i>
Approccio quantitativo
<i>The Vulnerability Sourcebook – Concepts and guidelines for standardized vulnerability assessments</i>
<i>ESPON - Climate Change and Territorial Effects on Regions and Local Economies</i>
<i>CLIMSAVE – Climate Change Integrated Assessment Methodology for Cross-Sectoral Adaptation and Vulnerability in Europe</i>
<i>PESETA I and II – Projections of economic impacts of climate change in sectors of the European Union</i>

⁷⁹ Giordano et al, 2013


based on bottom-up analysis

Le valutazioni qualitative hanno come obiettivo quello di raccogliere informazioni che, pur non essendo facilmente misurate o tradotte in numeri, contribuiscono comunque a definire in maniera affidabile un quadro o una situazione in termini di vulnerabilità. Generalmente questo tipo di analisi viene percepito come meno affidabile ed accurato di quelle quantitative, ma ciò non è vero. Semmai esse sono effettivamente meno comparabili fra loro.

Le principali ragioni che possono portare ad optare a favore di un approccio più qualitativo sono:

- la mancanza o indisponibilità di dati o di capacità tecniche;
- la necessità di rispondere a domande che non possono essere soddisfatte da valutazioni quantitative (*come e perché?*);
- la preferenza verso un coinvolgimento più attivo e allargato dei portatori di interesse (*stakeholders*) e della comunità in generale.

Per quanto riguarda, invece, le valutazioni quantitative esse vengono espresse in termini numerici e possono rispondere più efficacemente a domande, quali: *"quanto?"*, *"chi è più vulnerabile?"*. Tale tipologia di analisi viene più frequentemente richiesta dai decisori politici perché considerata più affidabile, i risultati possono essere comparati, sono più facili da comunicare e si prestano più facilmente ad indicare l'efficacia delle azioni di adattamento. In questo caso si prevedono approcci basati sull'elaborazione e sulla combinazione numerica di indicatori e indici che risultano, tuttavia, assai limitate dalla disponibilità dei dati.

 In sintesi, si può affermare che i metodi qualitativi e quantitativi per la valutazione della vulnerabilità sono complementari tra loro, dal momento che l'uno presenta punti di forza e di debolezza che l'altro non ha, e viceversa. Combinati insieme essi possono, invece, fornire un più accurato quadro della situazione e, quindi, risultati più rispondenti e adatti all'obiettivo dell'analisi. Laddove possibile si raccomanda, quindi, di utilizzare entrambi gli approcci.

3.1.3 L'approccio metodologico per l'analisi di vulnerabilità del progetto MASTER ADAPT

L'azione preparatoria A1 – *Climate analysis and vulnerability assessment at regional level* del progetto LIFE MASTER ADAPT ha previsto l'implementazione di una valutazione quantitativa della vulnerabilità nell'ambito delle seguenti aree target:

- Regione Sardegna;

- Aggregazione di Città a nord di Milano;
- Città Metropolitana di Venezia;
- Rete Metropolitana di Sassari;
- Area Metropolitana di Cagliari;
- Unione dei Comuni del Nord Salento.



Essendo stata avviata nell'Ottobre 2016, e quindi ben dopo l'acquisizione del nuovo *framework* concettuale proposto dall'IPCC⁸⁰, **l'analisi è stata realizzata a partire dalla più recente definizione di vulnerabilità**, facendo riferimento ai metodi di elaborazione e di aggregazione degli indicatori proposti nell'ambito di metodi già precedentemente sperimentati⁸¹.

Come noto la valutazione della vulnerabilità rappresenta una delle più complesse fasi dell'intero processo di adattamento ai cambiamenti climatici: le analisi svolte nell'ambito del progetto MASTER ADAPT per ognuna delle aree target non fa altro che confermare questa convinzione. Le criticità metodologiche riscontrate, infatti, hanno messo in evidenza quante siano ancora le problematiche da risolvere per far sì che la valutazione della vulnerabilità possa diventare più accessibile anche alle amministrazioni regionali e locali che vogliono intraprendere un percorso di adattamento ai cambiamenti climatici. Senza un'adeguata valutazione della vulnerabilità e dei rischi associati ai cambiamenti climatici, infatti, non è possibile individuare le più efficaci misure di adattamento da mettere in atto in un determinato territorio.

Sulla base della sperimentazione effettuata nelle aree target del progetto, le presenti Linee Guida cercano, pertanto, di illustrare passo per passo – in sette passi – il percorso metodologico realizzato ai fini della valutazione della vulnerabilità, fornendo nei paragrafi successivi una descrizione dettagliata degli indicatori utilizzati nonché del metodo adottato per l'elaborazione degli indici sintetici.

Alcune fasi, tuttavia, sono ripetitive e comuni, in particolare, ai Passi 4, 5 e 6.

La valutazione della vulnerabilità e del rischio associato ai cambiamenti climatici proposta in queste Linee Guida si basa, infatti, su diversi passi che prevedono l'identificazione e la selezione di alcuni indicatori da utilizzare come *proxy* per descrivere un fenomeno e/o specifiche caratteristiche di un sistema o di un territorio, per identificare e valutare i principali fattori e beni del sistema maggiormente influenzati dal cambiamento climatico (Passo 4), per

⁸⁰ IPCC, 2014

⁸¹ IPCC, 2007

valutare la sensitività al danno derivante dai cambiamenti climatici (Passo 5) e la capacità di rispondere e adattarsi a tali cambiamenti (Passo 6).

Per ciascuna di queste categorie, è necessario procedere, attraverso fasi successive e conseguenti, a processare i singoli indicatori per il calcolo finale della vulnerabilità:

- i. Raccolta dati;
- ii. Normalizzazione e Allineamento degli indicatori;
- iii. Ponderazione degli indicatori;
- iv. Calcolo dell'Indice Globale e presentazione dei risultati.

Raccolta dati. Almeno un indicatore per singola categoria (esposizione, sensitività e capacità di adattamento) deve essere selezionato. Elementi utili per la selezione degli indicatori sono descritti nei rispettivi Passi 4, 5 e 6. Per ciascun indicatore selezionato è necessario comunque reperire i dati che portano alla sua determinazione e al suo calcolo.

A seconda dell'impatto potenziale dei cambiamenti climatici considerato nell'analisi di vulnerabilità, i dati possono essere di diverso tipo (es. puntuali, georeferenziati, etc.) ma è importante che rispondano in maniera adeguata alle esigenze dell'analisi. Alcune caratteristiche da considerare sono:

- avere adeguata risoluzione spaziale e temporale;
- presentare continuità (assenza di dati mancanti nel database);
- accessibilità (provenire da un database facilmente accessibile);
- fornire informazioni aggiornate;
- affidabilità.

I dati possono provenire da diverse fonti. Si citano qui le principali:

- documentazione regionale e locale;
- studi specifici di settore;
- Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT);
- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA);
- Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPA);
- portali web e/o geo-database disponibili;
- dati da analisi di telerilevamento (*remote sensing analysis*).

Normalizzazione e Allineamento degli indicatori. Se è stato selezionato più di un indicatore per ciascuna categoria di esposizione, sensibilità e capacità di adattamento, è necessario procedere ad uniformare i singoli indicatori per elaborare un indice globale sintetico, e poter successivamente calcolare gli indici finali di vulnerabilità. Il fine della normalizzazione è di trasformare i valori degli indicatori, misurati a diverse scale e in unità differenti, in valori comparabili, slegati da unità di misura che possono essere considerati su una scala comune (valori tra 0 e 1). Il valore 0 rappresenta il livello ottimale, mentre il valore 1 rappresenta la situazione più critica.

A seconda della scala di misura, cioè metrica, nominale, ordinale, vengono utilizzati diversi metodi di normalizzazione.

Normalizzazione dei valori dell'indicatore metrico. Gli indicatori misurati usando una scala metrica (valori numerici definiti e di eguale intervallo, ad es. temperatura, precipitazione) sono generalmente normalizzati applicando il metodo del Min-Max, attraverso la seguente formula:

$$X_i, \text{ da } 0 \text{ a } 1 = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

dove,

X_i , da 0 a 1 = il nuovo valore normalizzato

X_i = il punto dati da trasformare

X_{\min} = il valore più basso per quell'indicatore

X_{\max} = il valore più alto per quell'indicatore

Il processo di normalizzazione trasforma i valori dell'indicatore in valori standardizzati da 0 a 1, sottraendo il valore minimo e dividendo per la *range* di valori dell'indicatore.

Questi nuovi valori devono essere "allineati" tra i diversi indicatori in modo che "la direzione" dell'intervallo sia la stessa per tutti gli indicatori della stessa categoria: valori più bassi dovrebbero riflettere condizioni positive in termini di vulnerabilità e valori più alti condizioni più negative (più il valore è alto maggiore è la vulnerabilità).

Nel caso della capacità di adattamento, valori più bassi dovrebbero indicare condizioni positive per la vulnerabilità mentre valori più alti condizioni negative (maggiore è la capacità di adattamento minore è la vulnerabilità). In questo caso il *range* di valori dell'indicatore deve essere invertito in modo che il valore più basso sia rappresentato dal valore standardizzato di 1 e il più alto sia rappresentato dal valore standardizzato 0. Questa inversione si applica

sottraendo il valore dell'indicatore da 1.

Normalizzazione dei valori degli indicatori di categoria o nominali.

Indicatori di categoria (ad es. livello di istruzione) e indicatori nominali (ad es. tipo di coltura) vengono normalizzati attraverso la loro attribuzione in cinque classi, in cui la classe più bassa rappresenta condizioni ottimali e quella più alta condizioni più critiche, secondo il seguente schema:

CLASSE N.	DESCRIZIONE
1	Ottimale
2	Piuttosto positiva
3	Neutrale
4	Piuttosto negativa
5	Critica

I valori classificati nelle cinque classi devono successivamente essere ricondotti nell'intervallo di valori da 0 a 1 (come riportato nella tabella sotto), per essere comparabili e confrontabili con gli altri indicatori metrici⁸².

CLASSE N.	DESCRIZIONE	VALORE		Range indicatore (0-1)
1	Ottimale	0 - 0,2	=>	0,1
2	Piuttosto positiva	0,2 - 0,4		0,3
3	Neutrale	0,4 - 0,6		0,5
4	Piuttosto negativa	0,6 - 0,8		0,7
5	Critica	0,8 - 1		0,9

Ponderazione degli indicatori. Nel caso in cui alcuni indicatori siano considerati più importanti di altri, è necessario assegnare dei pesi a ciascun indicatore che indentifichino la loro maggiore (o minore) influenza all'interno della valutazione. Peso maggiore significa maggiore influenza di quell'indicatore ai fini dell'analisi e viceversa.

I pesi da assegnare agli indicatori possono essere diversi tra singoli indicatori oppure uguali

⁸² GIZ et al, 2014

(in questo caso i diversi indicatori avranno stessa influenza ai fini dell'analisi).

Questa seconda ipotesi si manifesta soprattutto in caso di carenza di informazioni da letteratura scientifica, informazioni e opinioni da parte di esperti, mancanza di consenso o a causa della complessità del processo analizzato. In questi casi si può assegnare il valore 1 come peso per ciascun indicatore⁸³.

Ogniquale sia possibile è comunque raccomandato assegnare i corrispettivi pesi ai diversi indicatori in modo che riflettano la loro reale (e diversa) importanza.

Nell'ambito di MASTER ADAPT, per l'assegnazione di pesi agli indicatori relativi all'area target Nord di Milano è stato utilizzato uno strumento basato su un approccio statistico, nello specifico il metodo AHP (Analytic Hierarchy Process)⁸⁴. Il box sottostante illustra sinteticamente lo strumento.

È opportuno ricordare che anche nel processo di assegnazione di pesi *l'approccio partecipativo* consente il coinvolgimento di *stakeholder* ed esperti (ad es. attraverso *workshops* o questionari) e di attivare un processo trasparente, efficace, informato e condiviso di riconoscimento degli indicatori più rilevanti per singolo fenomeno e la successiva attribuzione dei singoli pesi. Questo approccio garantisce robustezza all'analisi e riduzione di eventuali conflitti, in quanto frutto di piena condivisione e accettazione sia della metodologia e sia dei risultati prodotti.

Box 4 - Metodo AHP

L'Analytic Hierarchy Process (processo analitico di gerarchizzazione), introdotto da Thomas Saaty nel 1980, è uno strumento di supporto per i processi decisionali complessi, in cui il decisore si trova chiamato ad esprimere delle priorità rispetto ad un set di opzioni nel compiere una scelta.

Le decisioni complesse vengono semplificate riducendo il set di opzioni multiple a una serie di comparazioni di coppie di criteri. I risultati delle singole comparazioni vengono a loro volta correlati per produrre un risultato sintetico finale. Un esempio pratico può aiutare a comprendere meglio lo strumento.

Es. Quale peso assegnare ai seguenti indicatori di esposizione? Quale è "relativamente" più importante?

Ambito: Esposizione

Fattori:

- A. Popolazione*
- B. Beni culturali*

⁸³ GIZ et al, 2014

⁸⁴ Saaty, 1980

- C. Mezzi di produzione
- D. Beni individuali materiali
- E. Infrastrutture critiche

	È più importante A o B?		uguale	quanto più importante?							
1	<input checked="" type="radio"/> Popolazione	or <input type="radio"/> Beni culturali	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input checked="" type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
2	<input checked="" type="radio"/> Popolazione	or <input type="radio"/> Mezzi di produzione	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input checked="" type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
3	<input checked="" type="radio"/> Popolazione	or <input type="radio"/> Beni individuali materiali	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input checked="" type="radio"/> 9
4	<input checked="" type="radio"/> Popolazione	or <input type="radio"/> Infrastrutture critiche	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input checked="" type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
5	<input type="radio"/> Beni culturali	or <input checked="" type="radio"/> Mezzi di produzione	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input checked="" type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
6	<input checked="" type="radio"/> Beni culturali	or <input type="radio"/> Beni individuali materiali	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input checked="" type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
7	<input type="radio"/> Beni culturali	or <input checked="" type="radio"/> Infrastrutture critiche	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input checked="" type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
8	<input checked="" type="radio"/> Mezzi di produzione	or <input type="radio"/> Beni individuali materiali	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input checked="" type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
9	<input checked="" type="radio"/> Mezzi di produzione	or <input type="radio"/> Infrastrutture critiche	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
10	<input type="radio"/> Beni individuali materiali	or <input checked="" type="radio"/> Infrastrutture critiche	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input checked="" type="radio"/> 9

Consistenza = 16.8% Rivedere il punteggio assegnato ai criteri evidenziati per migliorare il tasso di consistenza

Gerarchizzazione risultante:

Category	Priority	Rank
1 Popolazione	58.5%	1
2 Beni culturali	7.2%	4
3 Mezzi di produzione	14.1%	3
4 Beni individuali materiali	2.6%	5
5 Infrastrutture critiche	17.6%	2

L'AHP è un metodo che consente di trasporre opinioni soggettive in relazioni numeriche misurabili. Matematicamente, l'AHP si basa sulla soluzione di un cosiddetto problema del valore di Eigen. Il risultato di comparazioni a coppie è organizzato dentro ad una matrice. Nella matrice sono rappresentati sia la scala di relazioni (i pesi assegnati alle varie opzioni), sia il tasso di consistenza delle comparazioni (una misura della

coerenza delle preferenze espresse e quindi della solidità della scelta operata).

Dal punto di vista teorico, l'AHP assume il concetto che, in presenza di criteri che tra loro potrebbero essere contrastanti, non è vero in generale che l'opzione migliore sia quella che ottimizza tutti i singoli criteri (cioè che assegna la posizione più corretta a ciascuna opzione in una classifica), ma quella che ottiene il compromesso più efficace tra i criteri diversi: è previsto cioè che la scelta definitiva venga presa pur con qualche limitata incongruenza logica (rappresentata dal tasso di consistenza).

L'uso del metodo AHP può aiutare nell'analizzare e comprendere meglio un problema decisionale complesso (dove ci siano molti criteri da considerare), come ad esempio il peso da assegnare a diversi fattori di sensitività o capacità di adattamento in una analisi di vulnerabilità.

Strutturare la questione come uno schema di gerarchie o di preferenze e quantificare ad un certo livello le preferenze espresse tra i vari criteri, consente di decidere con un approccio più razionale, ma anche con maggior trasparenza, requisito non secondario nell'applicazione in processi partecipativi.

Lo strumento AHP è infatti particolarmente efficace se utilizzato in processi partecipativi (come ad esempio workshop che riuniscano diversi esperti e portatori di interesse di un territorio o una certa materia). In questo senso, vi possono essere modalità diverse di somministrazione del metodo: in primo luogo, la scelta stessa dei criteri può essere demandata ai partecipanti; le scelte sull'importanza relativa dei vari criteri possono essere amministrare singolarmente a ciascun partecipanti e i risultati dei singoli confrontati, con eventualmente un calcolo di una media dei pesi assegnati alle varie opzioni e l'analisi puntuale di casi particolarmente contrastanti; infine, la scelta sulle importanze relative dei criteri può essere direttamente argomento di dibattito tra i partecipanti, fino ad addivenire ad una scelta collettiva per ciascun criterio. In ogni caso, l'AHP restituirà una quantificazione delle opinioni espresse dalla comunità rispetto al set di opzioni.

Calcolo dell'Indice Globale e presentazione dei risultati. Gli indicatori precedentemente normalizzati e ricondotti ai valori nel range 0-1 devono essere aggregati per elaborare i tre Indici Globali di Esposizione, Sensitività e Capacità di Adattamento e per il calcolo finale dell'Indice Globale di Vulnerabilità.

I metodi di aggregazione proposti sono due, di seguito descritti.

Aggregazione aritmetica ponderata

I valori normalizzati degli indicatori vengono moltiplicati per il peso (w) loro assegnato, sommati, e successivamente divisi per la somma dei loro pesi in base alla seguente formula:

$$\text{Indice globale} = (E_1 * w_1 + E_2 * w_2 + \dots + E_n * w_n) / (w_1 + w_2 + \dots + w_n)$$

In caso di pesi uguali (pari a 1) gli indicatori vengono semplicemente sommati e divisi per il

numero di indicatori. È importante sottolineare che tutti gli indicatori devono avere il verso "allineato" (vedi Normalizzazione e Allineamento degli indicatori)⁸⁵. Questo tipo di aggregazione è quello consigliato nelle presenti Linee Guida.

Aggregazione geometrica ponderata

Si tratta di effettuare una media geometrica tra gli indicatori, che rappresenta l'*N*-esima radice del prodotto di tutti gli *N* valori degli indicatori. La media geometrica viene usata soprattutto quando i diversi valori vengono per loro natura moltiplicati tra di loro e non sommati (ad es. per i tassi di crescita).

La media geometrica viene quindi ponderata assegnando singoli pesi (*w*) agli *N* valori come mostrato nella formula seguente:

$$\text{Indice Globale} = (N_1^{w_1} * N_2^{w_2} * N_3^{w_3} * \dots * N_n^{w_n})^{1/(w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n)}$$

A differenza della aggregazione aritmetica, in questo caso i valori estremi non vengono "compensati" tra loro (es. un valore molto basso viene "compensato" da un valore molto alto nella aggregazione aritmetica, mentre in questo caso la compensazione è parziale). Non sono inoltre ammissibili valori pari o inferiori a zero.

I valori degli Indici Globali calcolati possono essere utilizzati e rappresentati secondo diverse modalità, sulla base della finalità di analisi. Forme tabellari di sintesi degli indicatori, mappe a diversa risoluzione spaziale (regionale, comunale, o sub-locale), rappresentazioni grafiche per singolo indicatore o con sintesi dei diversi Indici Globali, sono comunemente utilizzati per la rappresentazione dei risultati dell'analisi⁸⁶.

⁸⁵ GIZ et al, 2014

⁸⁶ GIZ et al, 2014

3.2 Passo 1: Caratterizzare il contesto dal punto di vista ambientale e socio-economico



Foto: F. Iozzoli (ISPRA)

Passo 1	Passo 2	Passo 3	Passo 4	Passo 5	Passo 6	Passo 7
Contesto ambientale e socio-economico	Sorgenti di pericolo di natura climatica	Potenziali impatti	Elementi esposti	Sensitività	Capacità di adattamento	Vulnerabilità ai cambiamenti climatici
✓						

i Il primo passo per la valutazione della vulnerabilità e dei rischi di un determinato territorio ai cambiamenti climatici consiste ovviamente in un'analisi di "contesto", inteso come *"complesso delle circostanze e delle situazioni nelle quali un fatto o un fenomeno si*

verificano". Analizzare il contesto territoriale (declinandolo nelle tre dimensioni dello sviluppo sostenibile: ambientale, sociale ed economico) significa caratterizzare una situazione attuale, individuare tendenze in atto, elaborare scenari di breve e medio termine che consentano di evidenziare i punti di forza e i punti di debolezza dell'area di studio, in relazione alle minacce, ma anche alle opportunità che i cambiamenti determineranno nei prossimi anni.

Il **contesto ambientale e socio-economico** costituisce dunque la sintesi interpretativa delle qualità, delle sensibilità, delle criticità di un territorio, ovvero delle relazioni che su quel territorio intercorrono fra matrice ambientale, insediamento umano, attività economiche e caratteristiche sociali, influenzandone la capacità di risposta a fattori di stress esogeni, ovvero la **resilienza**.



La caratterizzazione del contesto territoriale non è dunque un esercizio fine a sé stesso ma il primo, e per certi versi più rilevante, passo di un processo di analisi e caratterizzazione dei profili ambientale, sociale ed economico di un determinato ambito, mediante il quale individuare i fattori di rischio e di pericolo, i potenziali bersagli di impatto, i percorsi di esposizione (ovvero le relazioni causali), con l'obiettivo di valutarne la vulnerabilità ai cambiamenti climatici.

A questo scopo dovrà essere selezionato un adeguato set di indicatori, che possa supportare da un lato una lettura di sintesi – e per quanto possibile comparabile con altre situazioni territoriali – del contesto nella situazione attuale, e dall'altro analizzare le tendenze in atto, consentendo di apprezzare l'andamento dei fenomeni rappresentati nel recente passato, ovvero di ipotizzarne le tendenze future, o ancora di monitorare le azioni di piano man mano che queste saranno implementate. Sotto questo profilo, si ritiene opportuno suggerire – compatibilmente con la disponibilità di dati e risorse - di popolare gli indicatori selezionati sulla base di serie storiche di almeno 15 anni. Si ritiene inoltre opportuno ribadire che la restituzione di ogni indicatore dovrà garantire il livello massimo di disaggregazione territoriale compatibile con la base dati disponibile: se il territorio oggetto di analisi si riferisce – per esempio – a un comune gli indicatori dovranno essere calcolati almeno a livello comunale.

Da oltre venti anni diversi organismi sia nazionali che sovranazionali utilizzano sistemi di indicatori per caratterizzare lo stato dell'ambiente e monitorare le politiche in atto. L'OCSE individua due funzioni principali per l'utilizzo di indicatori⁸⁷:

- ridurre il numero di misurazioni e parametri che sarebbe richiesto per dare una presentazione esatta di una situazione;

⁸⁷ OCSE, 2013

- semplificare il processo di comunicazione dei risultati.

Per indicatori s'intendono *parametri* (intesi come proprietà misurate o osservate) o *dati* (che derivano dall'elaborazione di uno o più parametri) che forniscono informazioni circa lo specifico stato o condizione di un fenomeno e vengono utilizzati per valutarne la sua evoluzione. Gli indicatori vengono utilizzati in diversi ambiti scientifici essendo utilizzati da organizzazioni private e pubbliche, ad esempio, per comprendere i legami tra economia, società e ambiente e controllarne la relativa evoluzione. Gli indicatori possono avere un rapporto diretto con il fenomeno che si vuole misurare o avere un rapporto indiretto (o *proxy*) e in tali casi rappresentano il fenomeno in assenza di misure dirette.

La caratterizzazione del contesto socio-economico e ambientale attraverso indicatori potrebbe comunque essere un primo passo utile nell'individuazione dei temi sui quali l'analisi di rischio dovrà concentrare l'attenzione. Il set di indicatori da selezionare non è pre-definito e potrà variare a seconda del contesto, ma è utile tener conto dei seguenti tre requisiti⁸⁸:

- **rilevanza e utilità** (rappresentativo del fenomeno che si vuole analizzare; facile da interpretare e in grado di rappresentare le variazioni nel tempo e nello spazio);
- **consistenza analitica** (attendibile dal punto di vista teorico e scientifico);
- **misurabilità** (dati disponibili o comunque resi disponibili ad un ragionevole rapporto costi/benefici, adeguatamente documentati e aggiornati ad intervalli regolari secondo procedure affidabili).

Si tratta dunque di selezionare alcuni profili (opportunamente qualificabili e quantificabili) che rappresentino sinteticamente, ma con adeguata efficacia, altrettante aree tematiche utili a comprendere e caratterizzare il territorio di riferimento, le sue valenze ambientali, i fattori di rischio, il modello insediativo e l'uso del suolo. Ciascun tema dovrà essere rappresentato e analizzato in termini quanto più possibile omogenei, con l'obiettivo di rendere immediata la lettura dei diversi argomenti e di essere funzionale all'aggiornamento periodico dell'analisi di rischio, della valutazione della vulnerabilità ovvero, in prospettiva, del piano di adattamento.

Il rapporto di analisi di contesto includerà quindi una breve sintesi descrittiva dei risultati dell'analisi condotta sui singoli indicatori che potranno essere restituiti mediante tabelle o grafici, ovvero, nel caso di analisi fatte a scala regionale e/o di area metropolitana, mediante adeguati stralci cartografici. Il rapporto di analisi dovrà ovviamente contenere l'elenco degli

⁸⁸ OECD, 1993; GIZ, 2014

indicatori analizzati e descriverne le relative metriche (unità di misura, risoluzione spaziale, etc.) riportando le fonti dei dati utilizzabili (se nota, anche la periodicità di aggiornamento).

Si ritiene che l'elenco di seguito proposto possa costituire un primo possibile set di indicatori, popolabile a tutti i livelli (regionale, area metropolitana o di singolo comune); tale set comprende, in altri termini, le informazioni necessarie a caratterizzare la popolazione presente nell'ambito di indagine, la struttura economica e produttiva, il modello insediativo, le valenze ambientali, i principali fattori di rischio e di sensibilità (Tabelle 6-13). In funzione delle specifiche caratteristiche di ogni ambito territoriale, sarà ovviamente possibile estendere il set riportato nelle tabelle seguenti ad ulteriori indicatori mirati. Allo stesso modo, la serie storica è indicativa e potrà variare in funzione delle caratteristiche di ogni ambito territoriale.

Gli indicatori potranno essere calcolati con riferimento al solo livello territoriale oggetto dell'analisi, ovvero per il livello superiore e per quello inferiore; ad esempio, nell'analisi di contesto di un'area metropolitana gli indicatori potranno fare riferimento al territorio metropolitano ma potrebbe essere utile calcolarli anche a livello regionale e senz'altro a livello comunale. O, ancora, nel caso di un singolo comune potrebbe essere opportuno analizzare gli indicatori a livello di sezione censuaria. La decisione circa il livello di dettaglio al quale ricondurre il calcolo degli indicatori dipenderà dal livello di variazione territoriale della tematica rappresentata dall'indicatore, essendo quindi possibile analizzare alcuni indicatori a più livelli e altri ad un solo livello.

Alcuni degli indicatori indicati nell'elenco verranno, di fatto, utilizzati e ulteriormente dettagliati nei passaggi successivi legati all'analisi dei fattori esposti, della sensibilità e della capacità di adattamento, alla lettura dei quali si rimanda per ulteriori elementi di dettaglio.

Tabella 6 - Indicatori ambientali e socio-economici – Popolazione

Tema	Indicatori	UM	Serie storica	Fonte dei dati	Relazione con successivi passi
Popolazione	Popolazione residente (POP tot) e relativa variazione	n° / %	Ultimi 15 anni	Istat – Anagrafica comunale	Passo 4: Fattori esposti
	Popolazione residente con più di 65 anni (POP>65) e relativa incidenza e variazione	n° / % / %	Ultimi 15 anni	Istat – Anagrafica comunale	Passo 5: Sensibilità
	Popolazione anziana (POP>80) e relativa incidenza e variazione	n° / % / %	Ultimi 15 anni	Istat – Anagrafica comunale	Passo 5: Sensibilità
	Popolazione residente con meno di 6 anni (POP<6) e relativa incidenza e variazione	n° / % / %	Minimo ultimi 15 anni	Istat – Anagrafica comunale	Passo 5: Sensibilità
	Popolazione senza alcun titolo di studio e relativa incidenza	n° / %	Ultimo censimento della popolazione	Istat	Passo 5: Sensibilità
	Popolazione con titolo di studio Diploma di scuola secondaria superiore e laurea e relativa incidenza	n° / %	Ultimo censimento della popolazione	Istat	Passo 6: Capacità di Adattamento
	Densità della popolazione e relativa variazione	ab/km ² / %	Ultimo anno disponibile (con riferimento alla popolazione residente)	Istat – Anagrafica comunale	Passo 4: Fattori esposti

Tabella 7 - Indicatori ambientali e socio-economici – Struttura produttiva

Tema	Indicatori	UM	Serie storica	Fonte dei dati	Relazione con successivi passi
Struttura produttiva	Numero di unità attive e relativa variazione	n° / %	Ultimi due censimenti dell'industria e dei servizi	Istat	Passo 4: Fattori esposti
	Numero di addetti e relativa variazione	n° / %	Ultimi due censimenti dell'industria e dei servizi	Istat	Passo 4: Fattori esposti
	Numero di addetti al settore delle costruzioni e relativa variazione	n° / %	Ultimi due censimenti dell'industria e dei servizi	Istat	Passo 4: Fattori esposti
	Numero di addetti al settore dei trasporti e relativa variazione	n° / %	Ultimi due censimenti dell'industria e dei servizi	Istat	Passo 4: Fattori esposti
	Numero di persone (manodopera familiare + altra manodopera aziendale in forma continuativa + in forma saltuaria)	ha / %	Ultimi due censimenti dell'agricoltura	Istat	Passo 4: Fattori esposti

Tabella 8 - Indicatori ambientali e socio-economici – Agricoltura e zootecnia

Tema	Indicatori	UM	Serie storica	Fonte dei dati	Relazione con successivi passi
Agricoltura e zootecnia	Superficie Agricola Utilizzata (SAU) e relativa variazione	ha / %	Ultimi due censimenti dell'agricoltura	Istat	Passo 4: Fattori esposti
	Superficie Agricola Totale (SAT) e relativa variazione	ha / %	Ultimi due censimenti dell'agricoltura	Istat	Passo 4: Fattori esposti
	Destinazione dei suoli delle aziende agricole – estensione a seminativi (distinto per tipologia) e relativa incidenza e variazione	ha / % / %	Ultimi due censimenti dell'agricoltura	Istat	Passo 5: Sensibilità
	Destinazione dei suoli delle aziende agricole – estensione a cereali (distinto per tipologia) e relativa incidenza e variazione	ha / % / %	Ultimi due censimenti dell'agricoltura	Istat	Passo 5: Sensibilità
	Capi di bestiame allevati per tipologia e relativa incidenza e variazione	n° / % / %	Ultimi due censimenti dell'agricoltura	Istat	Passo 4: Fattori esposti

Tabella 9 - Indicatori ambientali e socio-economici – Uso del suolo

Tema	Indicatori	UM	Serie storica	Fonte dei dati	Relazione con successivi passi
Uso del suolo	Superfici artificiali e relativa incidenza e variazione	km ² / % / %	Codice CLC 2006 e 2012 (o ultimo anno disponibile) 1°livello: 1	Corine Land Cover (CLC) o se disponibile Carta d'uso del suolo regionale (CR)	Passo 4: Fattori esposti
	Superfici agricole utilizzate e relativa incidenza e variazione	km ² / % / %	Codice CLC 2006 e 2012 (o ultimo anno disponibile) 1°livello: 2	Corine Land Cover (CLC) o se disponibile Carta d'uso del suolo regionale (CR)	Passo 4: Fattori esposti
	Territori boscati e ambienti semi-naturali e relativa incidenza e variazione	km ² / % / %	Codice CLC 2006 e 2012 (o ultimo anno disponibile) 1°livello: 3	Corine Land Cover (CLC) o se disponibile Carta d'uso del suolo regionale (CR)	Passo 4: Fattori esposti
	Zone umide e relativa incidenza e variazione	km ² / % / %	Codice CLC 2006 e 2012 (o ultimo anno disponibile) 1°livello: 4	Corine Land Cover (CLC) o se disponibile Carta d'uso del suolo regionale (CR)	Passo 4: Fattori esposti
	Corpi idrici e relativa incidenza e variazione	km ² / % / %	Codice CLC 2006 e 2012 (o ultimo anno disponibile) 1°livello: 5	Corine Land Cover (CLC) o se disponibile Carta d'uso del suolo regionale (CR)	Passo 4: Fattori esposti

Tabella 10 - Indicatori ambientali e socio-economici – Natura

Tema	Indicatori	UM	Serie storica	Fonte dei dati	Relazione con successivi passi
Natura	Aree protette e/o Siti Natura 2000 e relativa incidenza sul territorio	km ² / %	Ultimo dato disponibile	MATT / Regione	Passo 4: Fattori esposti
	Aree boschive percorse da incendio e relativa incidenza	km ² / %	Ultimo dato disponibile e/o analisi storica se disponibile (e se pertinente perché tema significativo)	Regione (SIT/ geoportale)	Passo 5: Sensitività

Tabella 11 - Indicatori ambientali e socio-economici – Dissesto idrogeologico

Tema	Indicatori	UM	Serie storica	Fonte dei dati	Relazione con successivi passi
Dissesto idrogeologico	Aree a diversa pericolosità da alluvioni (P3, P2) e relativa incidenza	%	Ultima versione approvata	Piano di gestione rischio alluvioni	Passo 3: Potenziali impatti
	Aree a diversa pericolosità da frana (P4, P3) e relativa incidenza	%	Ultima versione approvata	Piano di assetto idrogeologico	Passo 3: Potenziali impatti

Tabella 12 - Indicatori ambientali e socio-economici – Salute pubblica

Tema	Indicatori	UM	Serie storica	Fonte dei dati	Relazione con successivi passi
Salute pubblica	Centri socio sanitari pubblici (appartenenti all'unità locale socio sanitaria)	n°	Ultimo dato	ULSS	
	Posti letto nella / nelle struttura/e ospedaliera/e	n°/ POP tot	Ultimo dato	Regione	Passo 6: Capacità di Adattamento
	Dichiarazioni di stato di allarme climatico	n° giorni / anno	Dall'avvio del monitoraggio	Regione - Protezione civile (in funzione del protocollo regionale)	

Tabella 13 - Indicatori ambientali e socio-economici – Turismo

Tema	Indicatori	UM	Serie storica	Fonte dei dati	Relazione con successivi passi
Turismo	Arrivi e relativa variazione	n° / %	Minimo ultimi 15 anni	Regione - Istat	
	Presenze turistiche e relativa variazione	n° / %	Minimo ultimi 15 anni	Regione - Istat	

Ricapitolando

Il passo 1 prevede in sintesi queste fasi:

1. Raccolta dati ed informazioni funzionali alla caratterizzazione del contesto territoriale (declinandolo nelle tre dimensioni dello sviluppo sostenibile: ambientale, sociale ed economico).
2. Popolamento degli indicatori ambientali, sociali ed economici selezionati in relazione alle specifiche caratteristiche dell'ambito territoriale in analisi.
3. Predisposizione del rapporto di analisi di contesto, compresa una breve sintesi descrittiva dei risultati dell'analisi condotta sui singoli indicatori.

3.3 Passo 2: Identificare le sorgenti di pericolo di natura climatica



Foto: F. Iozzoli (ISPRA)

Passo 1	Passo 2	Passo 3	Passo 4	Passo 5	Passo 6	Passo 7
Contesto ambientale e socio-economico	Sorgenti di pericolo di natura climatica	Potenziali impatti	Elementi esposti	Sensitività	Capacità di adattamento	Vulnerabilità ai cambiamenti climatici
	✓					

Dopo aver compreso e descritto le caratteristiche salienti del territorio (Passo 1), è necessario capire quali fattori climatici esterni hanno un'influenza sull'area e, in termini di cambiamento climatico, come cambieranno quei fattori climatici nel futuro. Saranno questi fattori di natura

climatica infatti, singoli o combinati, a produrre potenziali impatti sul territorio.



Sotto il termine di sorgenti di pericolo (*hazard*), segnali climatici e impatti diretti sono strettamente legati fra di loro, al punto che in alcuni casi è difficile operare una distinzione netta tra questi fattori.

Esempio: i "segnali" climatici che indicano rispettivamente una sostanziale stazionarietà nelle precipitazioni medie mensili e una diminuzione dei giorni piovosi nel mese, conducono a individuare un possibile trend di aumento di intensità dei singoli eventi di precipitazione. In altre parole, si prevede di avere forti temporali o grandinate o pesanti nevicate.

*Gli impatti potenziali che ne conseguono, correttamente formulati, sono quindi **danni** causati da temporali forti, grandinate, forti nevicate.*

Lo schema proposto in questo documento prevede che si identifichino innanzitutto quali *segnali climatici* (es. aumenti di temperature, variazioni nel regime pluviometrico, etc.) potrebbero generare "pericolo" e quindi impatti sul territorio.

È vero anche che, rispetto allo schema qui proposto (Passo 2: identificazione sorgenti pericolo climatico – Passo 3: identificazione degli impatti), in taluni casi potrebbe essere più efficace operare in maniera inversa: partire dagli impatti osservati e risalire poi tramite meccanismi causa-effetto ai fattori climatici che li determinano.



Adottando questa soluzione però potremmo per l'appunto solo analizzare impatti già **osservati** e studiare in senso previsionale come le anomalie climatiche (le variazioni del clima rispetto al passato) andranno a modificare gli impatti di cui già si ha esperienza.

Se d'altro canto volessimo proporre un'analisi completa del territorio e dei suoi scenari climatici che individui anche impatti **potenziali**, che potrebbero prodursi nel futuro ma mai osservati fino a quel momento, allora dovremo necessariamente partire da uno studio di proiezioni climatiche e definire quali fattori possono essere fonti ipotizzabili di pericolo.



Il processo di definizione di sorgenti di pericolo e impatti è iterativo. Si dovrebbe prevedere una ricorsiva integrazione di nuovi elementi e considerazioni che emergano durante i vari passaggi del processo e ritornare ai passi precedenti per verificare, correggere, completare anche ciò che era già stato definito.

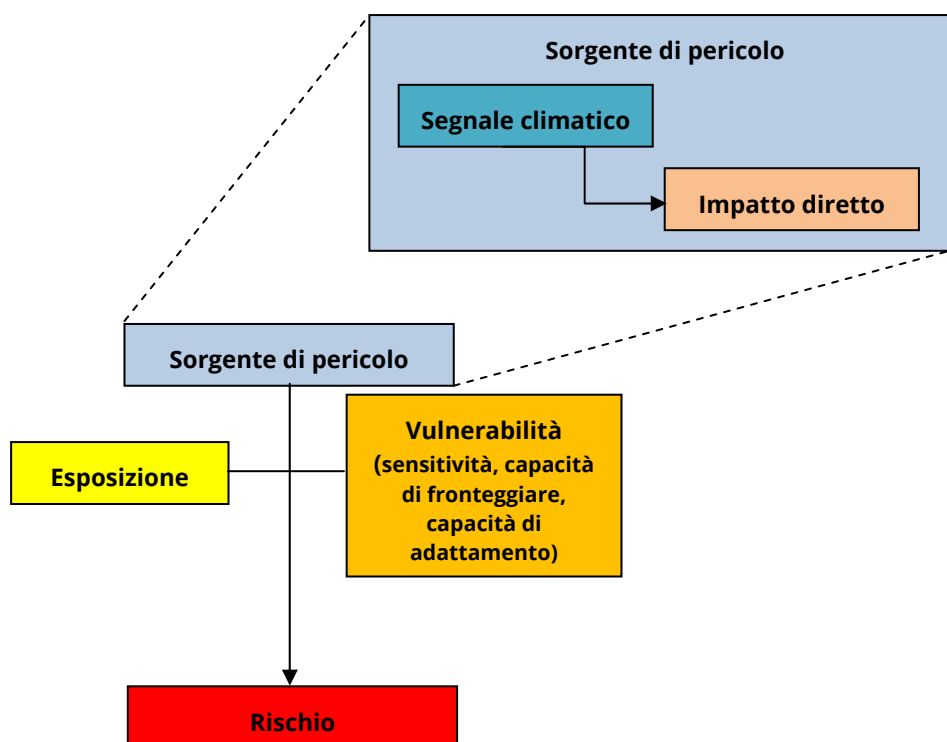


Figura 6 - Schema concettuale per la definizione dei fattori del rischio (rielaborazione da IPCC AR5)

Uno degli scopi fondamentali di tutti i passaggi indicati nelle presenti Linee Guida è, in ogni caso, quello di capire su quali elementi sia possibile agire per produrre un'azione di adattamento, minimizzando il rischio conseguente ai cambiamenti climatici o addirittura trasformandolo in una opportunità. Identificare quindi gli elementi influenzabili.

Identificazione delle sorgenti di pericolo. Riprendiamo in questo paragrafo la definizione di **sorgente di pericolo** (*hazard*)⁸⁹ già vista prima:

*il potenziale verificarsi di un **evento** fisico naturale o di origine antropica o di un **trend** o di un **impatto** fisico che potrebbe causare perdita di vite umane, feriti, o altri impatti sulla salute, così come danni o perdite di proprietà, infrastrutture, mezzi di sussistenza, fornitura di servizi, ecosistemi, e risorse ambientali. Nel contesto climatico, questo termine si riferisce ad **eventi fisici associati al clima o a trend o ai loro impatti fisici.***

⁸⁹ come espressa dall'Assessment Report 5 dell'IPCC (2014)

Anche da questa definizione ci accorgiamo che in realtà, nel contesto dell'adattamento ai cambiamenti climatici, il termine **sorgente di pericolo** (*hazard*) comprende in sé sia l'idea del segnale climatico, sia quella del potenziale impatto ad esso associato.



Un'altra considerazione che può essere molto utile a livello pratico per definire in questo contesto la sorgente di pericolo è la seguente:

*"l'hazard rappresenta un **fattore** (climatico) esterno, che **non dipende** dal sistema esposto (il territorio, la sua popolazione, etc.), né dalla sua vulnerabilità e che **non può di per sé essere influenzato da azioni di adattamento** o da altre misure orientate a gestire perdite e rischi naturali.⁹⁰*



Se la sorgente di pericolo non può essere influenzata alla fonte da azioni di adattamento, perché è importante conoscerla?

In primo luogo, le sorgenti di pericolo climatiche sono legate in maniera molto diretta agli scenari climatici di riferimento, ovvero i quadri conoscitivi che ci forniscono sia le analisi degli stati attuali, sia le previsioni su ciò che accadrà in futuro, permettendoci di pensare in senso strategico alle azioni da intraprendere per l'adattamento.

Inoltre, non meno importante, la conoscenza dei meccanismi fisici che contribuiscono con relazioni causa-effetto a creare gli impatti ci aiuta a definire su quali fattori lavorare per prevenire, mitigare o evitare i rischi provocati dagli impatti stessi.

Esempio: l'effetto isola di calore negli ambienti urbani è acuito da periodi prolungati di intenso irraggiamento solare in estate. Sapere che un fattore fisico nell'impatto è la radiazione solare, è la prima indicazione per le possibili soluzioni, come per esempio operare su ombreggiamento e albedo delle superfici urbane.

Analogamente, questo avviene per le eventuali opportunità di sviluppo del territorio. Ad esempio, solide previsioni sull'instaurarsi di più favorevoli condizioni climatiche possono orientare scelte strategiche su nuove colture agricole con potenzialità di reddito o sul potenziamento del settore turistico in determinate zone.



Costruire con chiarezza lo schema concettuale di Figura 6 per il proprio caso specifico è alla base di un'analisi del rischio efficace.

⁹⁰ GIZ & EURAC 2017

LINEE GUIDA, PRINCIPI E PROCEDURE STANDARDIZZATE PER L'ANALISI CLIMATICA E LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ A LIVELLO REGIONALE E LOCALE

I fattori da tenere in considerazione sono: individuare con chiarezza *segnali climatici* e *impatti diretti (hazard)* e i *rischi* che ne possono conseguire; formulare in modo corretto i fattori, così da descrivere adeguatamente la criticità rilevata, tenendo presente la distinzione fondamentale: *segnali climatici* e *impatti diretti* non sono influenzabili attraverso azioni di adattamento; *impatti intermedi* e *rischi* sono influenzabili, agendo sui vari fattori del rischio (*esposizione, sensibilità, capacità di adattamento*) che verranno illustrati nelle sezioni successive delle Linee Guida.

La tabella sottostante riporta degli esempi illustrativi.

Segnale climatico	Impatto diretto	Rischio
<i>non influenzabile attraverso misure di adattamento</i>	<i>non influenzabile attraverso misure di adattamento</i>	<i>influenzabile attraverso misure di mitigazione del rischio e adattamento</i>
Innalzamento globale delle temperature medie annuali	Aumento del volume delle acque oceaniche e marine, innalzamento del livello degli oceani e dei mari	Danni provocati dal fenomeno "acqua alta" a Venezia
Elevato numero di giorni consecutivi senza pioggia	Deficit di apporto idrico naturale al terreno	Diminuzione delle rese agricole a causa di incapacità delle risorse idriche disponibili di far fronte alla richiesta per l'irrigazione

Nel condurre il processo di identificazione delle sorgenti di pericolo, così come successivamente degli impatti, è opportuno tenere a mente che la loro definizione è certamente passibile di soggettività. In taluni casi, è peraltro possibile e utile definire gli *impatti intermedi*, che fungono da ponte concettuale tra le sorgenti di pericolo (*hazard*) e i fattori del *rischio* e che, sebbene molto direttamente legati ai segnali climatici e agli impatti diretti, risultano influenzabili da azioni di adattamento.

Esempio: *Elevato numero di giorni consecutivi senza pioggia + temperature elevate (segnali climatici)* → *deficit di apporto idrico naturale al terreno + stress idrico per terreno e piante (impatti diretti)* → *necessità di (maggiore) apporto di acqua irrigua e possibile indisponibilità della risorsa (impatto intermedio)* → *diminuzione delle rese agricole a causa di incapacità delle risorse idriche disponibili di far fronte alla richiesta per l'irrigazione (rischio)*

Le domande guida per l'identificazione delle sorgenti di pericolo sono dunque:



- *che tipo di pericoli legati a segnali climatici si sono manifestati nell'area oggetto di studio nei passati decenni?*
- *come ci si aspetta che varino le sorgenti di pericolo climatico per quanto riguarda l'area oggetto di studio nei prossimi decenni?*

L'uso di indicatori. La definizione delle sorgenti di pericolo climatico non richiede necessariamente l'uso di indicatori metrici quantitativi, ma potrebbe limitarsi ad una caratterizzazione qualitativa delle stesse. L'indisponibilità di indicatori quantitativi per le sorgenti di pericolo non inficia la possibilità di definire un Indice di Rischio e i suoi fattori di esposizione, sensibilità e capacità di adattamento.

Tuttavia, l'uso di indicatori può aiutare sia a descrivere più efficacemente le sorgenti, riferendole ad un set di indici standard, sia a legarsi più agevolmente alla modellistica che descrive gli impatti, la vulnerabilità del sistema e il suo rischio. Di conseguenza l'uso di indicatori già in questa fase può aiutare addirittura le successive fasi di monitoraggio dell'efficacia delle azioni di adattamento.

Per quanto riguarda i segnali climatici, ci si può riferire agli indici che sono proposti in questo documento in Tabella 1 e Tabella 2, e in generale al paragrafo 2.2.

Fonti primarie. Abitualmente le sorgenti di pericolo climatico vengono individuate da una analisi climatologica che includa il territorio oggetto di studio. Il primo passo per individuare queste sorgenti di pericolo è quindi una revisione della conoscenza disponibile.



Per ottenere tali analisi climatologiche sarà probabilmente necessario riferirsi a **documenti quadro, studi ed analisi preesistenti** e prodotti da una fonte affidabile e scientificamente solida. In Italia al momento sono disponibili sia la

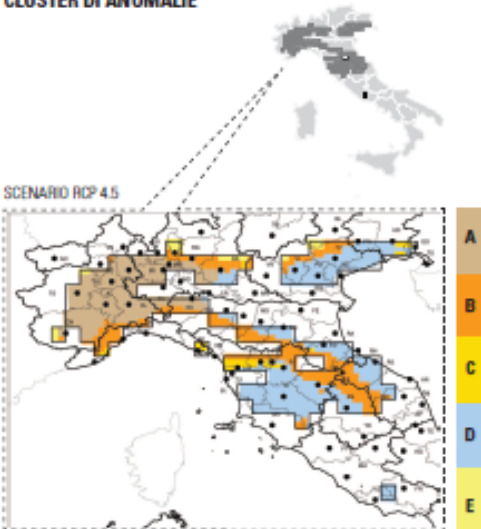
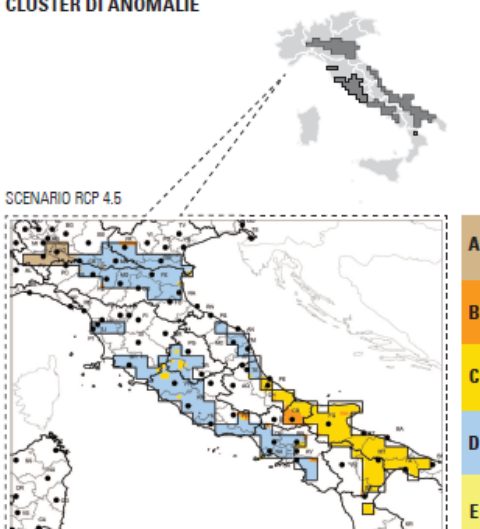
Strategia Nazionale per l'Adattamento ai Cambiamenti Climatici, sia soprattutto il **Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici**, che contiene la più aggiornata analisi climatica per il territorio nazionale, prodotto a partire dall'elaborazione di dati climatici alla più alta risoluzione ad oggi disponibile (una griglia di dati di 8 chilometri di lato).

Il Piano Nazionale definisce peraltro delle aree climatiche omogenee, caratterizzate dalle medesime anomalie climatiche (es. in diversi scenari di cambiamento climatico, mutamenti nelle medie stagionali di temperatura, variazioni quantitative nel regime delle precipitazioni, etc.).

LINEE GUIDA, PRINCIPI E PROCEDURE STANDARDIZZATE PER L'ANALISI CLIMATICA E LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ A LIVELLO REGIONALE E LOCALE

È pertanto possibile, come prima caratterizzazione, individuare il proprio territorio in una o più delle suddette aree e verificare quali indicatori di anomalia climatica vi sono associati. La tabella sottostante riporta un esempio sintetico della caratterizzazione per macroregioni climatiche operata nel Piano Nazionale⁹¹. Ciascun territorio può identificare le proprie caratteristiche di riferimento all'interno di una o più di questi ambiti.

Tabella 14 – Caratterizzazione per macroregioni⁹²

<p>MACROREGIONE 1: Prealpi e appennino settentrionale</p>	<p>MACROREGIONE 2: pianura padana, alto versante adriatico, aree costiere centro meridione</p>
<p>CLUSTER DI ANOMALIE</p>  <p>SCENARIO RCP 4.5</p> <ul style="list-style-type: none"> Tmean: -22 MM (%), -24 MM (%), -25 MM (%) R20: -20 GORNI/ANNO, -19 GORNI/ANNO, -9 GORNI/ANNO FD: 12 GORNI/ANNO, 9 GORNI/ANNO, 4 GORNI/ANNO SU25p: 12 GORNI/ANNO, 9 GORNI/ANNO, 4 GORNI/ANNO WP: -4 MM (%), -5 MM (%), -8 MM (%) SP: -27 MM (%), -18 MM (%), -25 MM (%) CDD: 18 GORNI/ANNO, 12 GORNI/ANNO, 4 GORNI/ANNO R95p: 18 GORNI/ANNO, 12 GORNI/ANNO, 4 GORNI/ANNO 	<p>CLUSTER DI ANOMALIE</p>  <p>SCENARIO RCP 4.5</p> <ul style="list-style-type: none"> Tmean: -4 MM (%), -5 MM (%), -8 MM (%) R20: -27 MM (%), -18 MM (%), -25 MM (%) FD: 18 GORNI/ANNO, 12 GORNI/ANNO, 4 GORNI/ANNO SU25p: 18 GORNI/ANNO, 12 GORNI/ANNO, 4 GORNI/ANNO WP: -4 MM (%), -5 MM (%), -8 MM (%) SP: -27 MM (%), -18 MM (%), -25 MM (%) CDD: 18 GORNI/ANNO, 12 GORNI/ANNO, 4 GORNI/ANNO R95p: 18 GORNI/ANNO, 12 GORNI/ANNO, 4 GORNI/ANNO

⁹¹ MATTM (2017a)

⁹² *Ibid.*

È tuttavia possibile che vi sia a disposizione letteratura scientifica che abbia prodotto analisi di maggior dettaglio per il territorio specifico. In questo senso, le fonti più ovvie a cui rivolgersi sono le locali Università e le Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale, nonché Istituti di ricerca in campo ambientale e affini.

Infine, è possibile verificare se siano a disposizione dati a scala locale sufficienti per qualità e quantità a permettere una analisi *ex novo* per l'area oggetto di studio. Tale possibilità, tuttavia, comporta presumibilmente costi elevati e tempi di produzione lunghi, nonché la necessità di una struttura scientifica a supporto, in grado di effettuare le analisi e produrre scenari solidi e coerenti.

Il processo partecipativo. Benché, per quanto riguarda i segnali climatici, la fonte di informazione più probabile sia quella accademica o istituzionale, altri attori potrebbero apportare conoscenze utili in merito, in particolare nella verifica di un riscontro a livello locale dei segnali stessi e al successivo legame con gli impatti osservabili sul territorio.

Per questo motivo, è bene instaurare già da questo passaggio un processo di confronto e partecipazione con il territorio. È bene pertanto individuare esperti, portatori di interesse chiave a livello locale ed istituzioni territoriali competenti per coinvolgerli in un proficuo scambio e iter di co-produzione della conoscenza necessaria.



Il confronto con il territorio sarà più efficacemente organizzato portando al confronto in maniera integrata una visione che comprenda sia l'informazione sui segnali climatici, sia quella sugli impatti e gli altri fattori del rischio (*esposizione, sensibilità, capacità di adattamento*), nel tentativo di costruire congiuntamente dei modelli concettuali del rischio completi per il territorio considerato.

Box 5 - L'esempio di MASTER ADAPT

Nel corso del progetto MASTER ADAPT cinque aree studio (un'area del Salento, un'area della Lombardia, le aree metropolitane di Venezia, Sassari e Cagliari) e una regione (la Sardegna) hanno prodotto una selezione di sorgenti di pericolo per i loro territori.

A partire dall'analisi di sorgenti di pericolo climatiche effettivamente osservate nel passato in ogni area target e, basandosi sui risultati delle analisi climatiche prodotte nell'ambito dell'Azione A1, per ciascuna area sono state selezionate alcune sorgenti di pericolo (hazard) climatiche "più probabili". Laddove possibile, tali sorgenti di pericolo sono stati riferiti a indici climatici standard e valutati, secondo giudizio esperto, in funzione della loro probabilità di accadimento.

Una lista esemplificativa, non necessariamente esaustiva, delle sorgenti di pericolo (hazard) individuate è questa:

- *variazioni nei pattern di precipitazione*
- *incremento del numero di episodi di precipitazione intensa e prolungata (> 100 mm / giorno)*
- *alta temperatura dell'aria in fenomeni di ondata di calore*
- *prolungati periodi di irraggiamento solare intenso*
- *numero di giorni estivi con temperature superiori ai 25°C*
- *numero di giorni consecutivi senza pioggia*
- *innalzamento del livello del mare*

Nel caso di MASTER ADAPT questo passaggio è stato risolto principalmente attraverso fonti documentali ed il giudizio esperto dei ricercatori coinvolti, che tuttavia rappresentavano nella grande maggioranza dei casi enti o istituzioni con ampie conoscenze dei rispettivi territori oggetto di studio.

Ricapitolando

Il passo 2 prevede in sintesi queste fasi:

1. Familiarizzare con le definizioni dei concetti in uso: *sorgente di pericolo (hazard)*, *segnale climatico*, *impatto diretto*, relazioni causa-effetto.
2. Raccogliere informazioni di base rispetto ai fattori di interesse (o individuare una fonte affidabile per il *knowledge brokerage*) attraverso revisione di letteratura e conoscenza disponibile.
3. Possibilmente associare degli indicatori quantitativi ai fattori di sorgenti di pericolo individuati.
4. Verificare, integrare, migliorare le conoscenze di base acquisite attraverso un processo partecipativo di coinvolgimento di attori chiave territoriali.

3.4 Passo 3: Identificare i potenziali impatti



Foto: F. Giordano (ISPRA)

Passo 1	Passo 2	Passo 3	Passo 4	Passo 5	Passo 6	Passo 7
Contesto ambientale e socio-economico	Sorgenti di pericolo di natura climatica	Potenziali impatti	Elementi esposti	Sensitività	Capacità di adattamento	Vulnerabilità ai cambiamenti climatici
		✓				

Riprendiamo anche in questo caso la definizione di **impatti** (anche *conseguenze, esiti*), secondo il riferimento IPCC 2014:

Gli effetti sui sistemi naturali e umani. Nel Rapporto WGII AR5 dell'IPCC, il termine impatti è usato principalmente per riferirsi agli effetti degli eventi meteorologici e climatici estremi e dei cambiamenti climatici, sui sistemi naturali e umani. Gli impatti generalmente si riferiscono agli effetti su persone, abitazioni, salute, ecosistemi, beni e risorse economiche, sociali e culturali, servizi (inclusi quelli ambientali) e infrastrutture dovuti all'interazione dei cambiamenti climatici o degli eventi climatici pericolosi che si presentano entro uno specifico periodo di tempo, e alla vulnerabilità di una società o di un sistema esposti ai cambiamenti climatici stessi.



Ricordiamo tuttavia la distinzione applicata operativamente in queste Linee Guida: gli *impatti potenziali* (anche chiamati *intermedi*) sono fattori che è possibile influenzare (mitigare, ridurre, annullare, etc.) attraverso lo sviluppo di misure di adattamento; nel passo 2 sono stati invece analizzati gli effetti derivanti da anomalie climatiche che non possono essere direttamente influenzati (se non tramite misure di mitigazione del cambiamento climatico, ovvero di riduzione delle emissioni di gas serra, su scala globale) e che generano situazioni di potenziale pericolo (anche chiamate sorgenti di pericolo o *hazard*, che includono i segnali climatici e i loro impatti diretti).

La corretta formulazione di questi elementi è di grande utilità nel costruire lo schema logico dell'analisi dei fattori di rischio e soprattutto in prospettiva per un confronto con il territorio. Un processo di valutazione dei fattori di rischio completo e solido richiede, infatti, auspicabilmente una fase partecipativa attraverso la quale mettere a sistema le conoscenze e le informazioni apportate dagli attori locali, quella competenza territoriale fondamentale che difficilmente può essere surrogata dalla ricerca di letteratura ed accademica.

Identificazione degli impatti potenziali. L'identificazione degli impatti potenziali prenderà l'avvio dall'identificazione delle sorgenti di pericolo, come definite nel passo precedente di queste Linee Guida. Sulla base della selezione prodotta al passo 2, si dovranno identificare quali impatti si potrebbero potenzialmente verificare nell'area oggetto di studio nei decenni a venire.

In primo luogo, dunque sarà necessaria un'analisi della documentazione disponibile riferita all'area di interesse, tra cui in particolare i documenti di pianificazione territoriale, che abbia trattato e analizzato i potenziali impatti dei cambiamenti climatici. Analogamente a quanto visto prima, la conoscenza così raccolta dovrà essere condivisa e confrontata con la conoscenza e la competenza territoriale offerta da esperti locali, attori chiave e tutti i portatori di interesse regionali.



Il **Documento d'Azione per l'Adattamento al Cambiamento Climatico della Regione Lombardia** propone una classificazione teorica dei potenziali fattori di rischio che possono derivare dal cambiamento climatico su un territorio. Tale classificazione⁹³ può risultare utile come punto di partenza per l'individuazione di possibili impatti e, attraverso i successivi passaggi, dei rischi associati. Viene proposta di seguito, come

⁹³ rielaborazione da Regione Lombardia & Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2016

strumento di supporto in questo passaggio:

- *Danno alla salute, alla sicurezza, all'autonomia anche economica (formulazione generale)*
- *Danno per mancanza o impossibilità di accesso a risorse (es. diminuzione della disponibilità di risorse idriche adeguate)*
- *Danno per diminuzione della redditività delle risorse (es. diminuzione rese agricole)*
- *Danno per il persistere di condizioni negative e conseguente danno biologico (es. persistenza inquinanti in atmosfera)*
- *Danno per Rischio percepito, senso di insicurezza, senso di disagio nel territorio (es. percezione di forte Rischio idro-geologico in aree montane, spopolamento)*
- *Danno all'incolumità personale a causa di un evento specifico*
- *Danno a risorse e mezzi di sostentamento (o tale da impossibilitare l'accesso a tali mezzi) a causa di un evento specifico (es. distruzione e interruzione vie d'accesso o infrastrutture critiche)*
- *Degrado o danno dell'ecosistema con conseguente perdita di resilienza (fattori biologici) (es. perdita di biodiversità)*
- *Degrado o danno del territorio con conseguente perdita di resilienza (fattori fisici) (es. perdita di capacità drenante)*
- *Degrado o danno del paesaggio con conseguente perdita di resilienza (fattori antropologici) (es. spopolamento e perdita di funzioni di presidio, cura e tutela del territorio)*



Nel considerare gli impatti potenziali, inoltre, non bisogna dimenticare che essi possono essere non solo effetti fisici ma anche conseguenze di tipo economico e sociale su un sistema territoriale.

Esempio: il blocco delle infrastrutture di trasporto a causa di una esondazione produce disagi e perdite economiche; la siccità provoca perdite nel reddito degli agricoltori ed effetti sui prezzi al mercato delle produzioni agricole.

Oltre a ciò, poiché la risposta agli impatti potenziali su un territorio viene governata o amministrata da un sistema di politiche locale, può essere molto utile declinare gli impatti stessi su diversi settori.

Esempio: le ondate di calore possono avere effetti sia su rischi per la salute umana, sia sull'efficienza delle infrastrutture ferroviarie, sia sul rischio di incendi boschivi, ecc.



Le domande guida per l'identificazione degli impatti potenziali sono in sintesi:

- *Sono identificabili impatti derivanti da fenomeni climatici in relazione al territorio oggetto di studio nei decenni precedenti?*
- *Quali tipi di risorse o opportunità sono state influenzate come risultato di quegli impatti?*
- *Quali settori socio-economici sono stati influenzati come risultato di quegli impatti?*

L'uso di indicatori. Nella definizione degli impatti potenziali, l'uso di indicatori quantitativi può dimostrarsi utile su almeno tre livelli. Gli indicatori infatti possono essere utilizzati:

- come descrittori degli impatti;
- come strumento per definire priorità di intervento;
- come opportunità per valutazioni di costo efficacia.

L'uso di indicatori per descrivere gli impatti può aiutare una migliore comprensione del fenomeno, così come una sua più efficace rappresentazione e comunicabilità a tutti i portatori di interesse.

La tabella sottostante presenta alcuni esempi possibili di descrizione quantitativa degli impatti.

Tabella 15 - Esempi di indicatori quantitativi per la descrizione di impatti potenziali (fonte: Strategia Regionale per l'Adattamento al Cambiamento Climatico – Regione Lombardia)

Descrizione impatto potenziale	Indicatore quantitativo		Periodo
Diminuzione della produttività delle rese agricole a causa della maggiore variabilità climatica e l'incremento di eventi climatici estremi (incremento dello stress idrico e termico delle colture per aumenti di frequenza di ondate di calore, ondate di freddo, piogge di forte intensità e periodi siccitosi)	Mais	(-) 6.5%	2030
		(-) 1.7	2020
		(-) 2.2	2050
		(-) 1.3	2080
	Grano duro	(-) 5%	2030
	Vite/Uva	(-) 4.1%	2011-2030
(-) 6.5%		2031-2050	
Alterazione quantitativa degli afflussi e dei deflussi a causa delle variazioni nei processi idrologici e nel ciclo stagionale dei fiumi e laghi	Alterazione dei deflussi medi nel bacino del Po	(-) 15%; (-) 18%	2071-2100
		(-)10%	2020-2050
		(-) 15%	2050-2070
		(-) 18%	2071-2100
		• annui	
	• primaverili	(-) 10%; (-) 5%	2071-2100
		(-)20%	2020-2050
	• estivi	(-) 50%; (-) 45%	2071-2100
		(-)10%	2020-2050
	• autunnali	(-)15%; (-) 20%;	2071-2100
	(-) 20%	2020-2050	
• invernali	(+) 50%; (+) 90%;	2071-2100	
	(+) 30%	2020-2050	

Inoltre, la possibilità di associare indicatori metrici agli impatti rende più agevole il confronto tra una pletera di impatti stessi, la loro quantificazione e l'operazione di attribuire priorità di intervento rispetto agli stessi.

Infine, la quantificazione degli impatti potenziali è condizione necessaria per valutazioni di tipo “costo/efficacia” o “costo/beneficio”, allorché si individuino misure di adattamento da implementare e se ne compia una stima economica, nel momento in cui sia possibile monitorare l'effetto della misura stessa sulla variazione quantitativa dell'indicatore di impatto.

Tuttavia, è opportuno ricordare che l'assegnazione di priorità, così come la valutazione costo/efficacia è più correttamente esercitata sul fattore *rischio*, e non sull'*impatto potenziale*, valutato come il prodotto di tutte le componenti di *esposizione*, *sensibilità* e *capacità di adattamento*, come sarà illustrato nei passaggi successivi delle Linee Guida. La quantificazione degli impatti rimane però fondamentale nella successiva formulazione in senso quantitativo del rischio associato.

Esempio: il rischio associato all'impatto potenziale “diminuzione delle rese agricole” potrebbe essere formulato come “danno economico per il comparto agricolo dovuto a...”, avendo preso in considerazione il numero di aziende agricole (esposizione), le caratteristiche rispetto alle risorse idriche di colture e terreni (sensibilità) e la disponibilità di finanziamenti per sistemi di irrigazione efficienti (capacità di adattamento).

Fonti primarie. Analogamente ai segnali climatici e alle sorgenti di pericolo illustrate nel precedente Passo 2, la prima identificazione degli impatti nell'area potrà avvenire tramite una ricerca di materiale e documentazione esistente per l'area oggetto di studio. Anche in questo caso fonti di riferimento possono essere le istituzioni territoriali competenti, le agenzie regionali per la protezione dell'ambiente, le università e i centri di ricerca del territorio. Più la letteratura e le informazioni saranno riferibili alla scala territoriale di interesse, più accurata sarà la base di partenza su cui costruire le successive analisi.

Va inoltre ricordato che gli impatti non sono solo di tipo esclusivamente ambientale, ma realisticamente anche di carattere economico o sociale. Si dovranno dunque ricercare fonti informative competenti in materia (per esempio camere di commercio, associazioni di categoria, dipartimenti universitari di economia, etc.).

Fonti documentali importanti anche in questo caso saranno gli strumenti nazionali: Strategia e Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC).

Il Piano Nazionale per l'Adattamento ai Cambiamenti Climatici, documento ad oggi ancora in fase di finalizzazione, presenta una vasta analisi degli impatti potenziali, declinati su vari ambiti e, geograficamente, sulle aree climatiche omogenee individuate.

Gli impatti e le vulnerabilità sono poi descritti sia sinteticamente nel documento finale del

Piano, sia più approfonditamente in un apposito allegato tecnico-scientifico.

L'elenco qui sotto descrive la declinazione degli impatti e delle vulnerabilità settoriali proposta dal PNACC.

IMPATTI E VULNERABILITÀ SETTORIALI

- ACQUA
 - Risorse idriche
 - Ambienti marini: biodiversità, funzionamento e servizi ecosistemici
 - Ecosistemi e biodiversità in acque interne e di transizione
 - Zone costiere
- TERRA
 - Dissesto geologico, idrologico e idraulico
 - Desertificazione, degrado del territorio e siccità
 - Ecosistemi terrestri
 - Foreste
- UOMO (ATTIVITÀ ANTROPICHE)
 - Agricoltura e produzione alimentare
 - Pesca marittima
 - Acquacoltura
 - Turismo
 - Insediamenti urbani
 - Infrastruttura critica – Trasporti
 - Infrastruttura critica - Industrie e infrastrutture pericolose
 - Infrastruttura critica – Patrimonio culturale
 - Energia
 - Salute

Tuttavia, è bene tener presente che nella rappresentazione degli impatti, il PNACC non segue necessariamente le definizioni qui utilizzate per distinguere tra sorgenti di pericolo (*hazard*), impatti potenziali e rischi. In alcuni casi, come nella figura qui sotto, gli stessi concetti sono sintetizzati diversamente ed espressi come “minacce” ed “opportunità”.

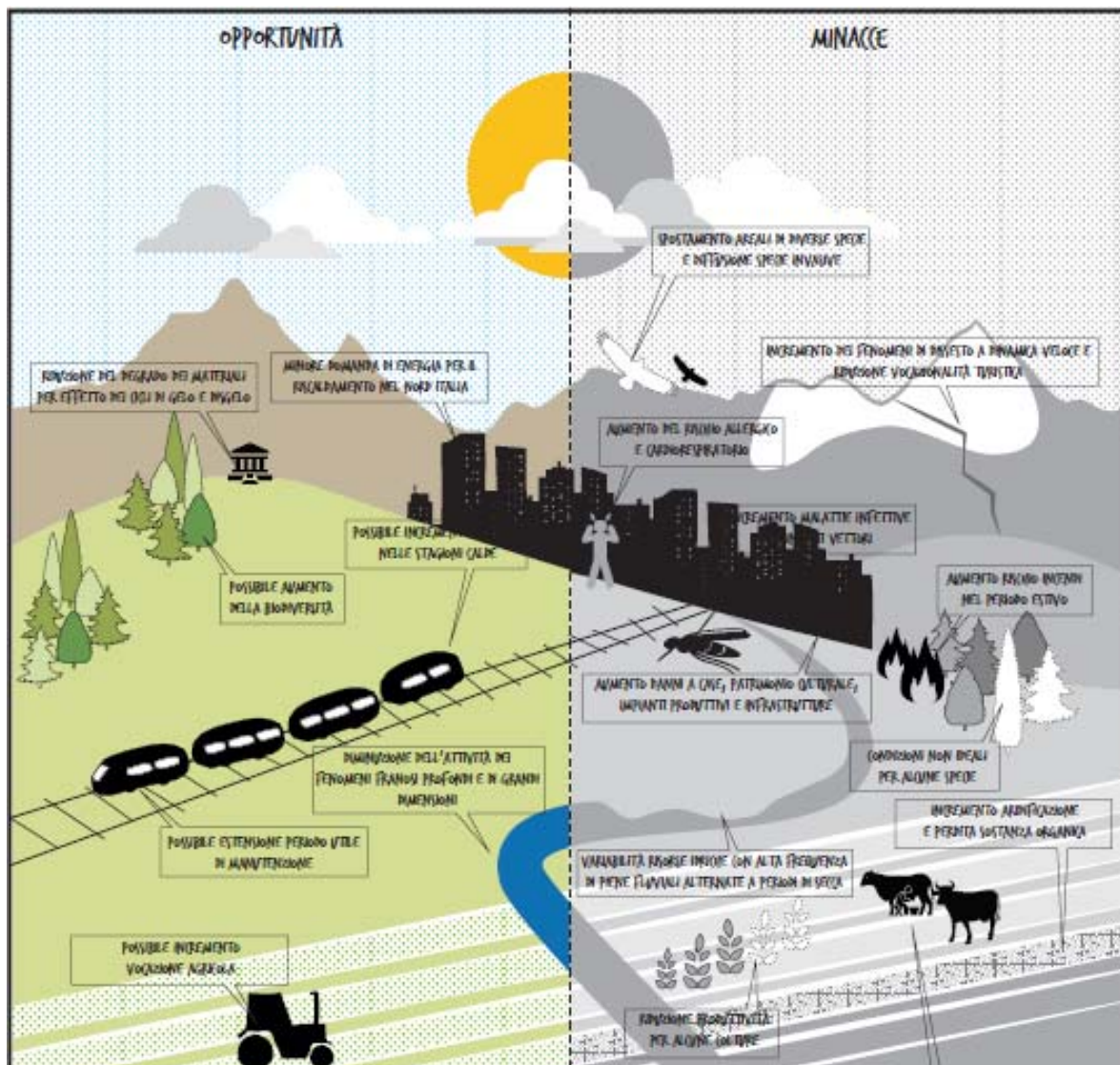


Figura 7 – Esempio di rappresentazione degli impatti del cambiamento climatico come proposta nelle tavole infografiche allegate al Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici⁹⁴.

Inoltre, è necessario tenere presente che potrebbero essere a disposizione degli studi sugli impatti potenziali dei cambiamenti climatici prodotti per il livello regionale, o addirittura una Strategia o un Piano di livello regionale o locale.

Il processo partecipativo. In questa fase tuttavia risulterà ancora più importante che nel passo 2 il coinvolgimento di portatori di interesse locali in una platea molto allargata, coinvolgendo

⁹⁴ MATTM, 2017a

cioè tutti i possibili attori che essendo attivi sul territorio possano avere esperienza degli impatti più rilevanti. Questo permetterà di raccogliere informazioni e di completare un panorama completo degli impatti sul territorio.

In sintesi, gli **attori tecnici** sono in questa fase di importanza prevalente, benché non esclusiva, rispetto agli attori scientifici.



La conoscenza di prima mano degli impatti sul territorio, acquisita tramite il coinvolgimento e la partecipazione degli attori territoriali, è imprescindibile in questa fase di analisi.

Box 6 L'esempio di MASTER ADAPT.

Analogamente a quanto avvenuto per la definizione delle sorgenti di pericolo (passo 2 delle presenti Linee Guida), il progetto MASTER ADAPT ha prodotto una valutazione degli impatti potenziali per le cinque aree studio (un'area del Salento, un'area della Lombardia, le aree metropolitane di Venezia, Sassari e Cagliari) e una regione (la Sardegna). Anche in questo caso, la valutazione è stata compiuta principalmente attraverso l'analisi di fonti documentali ed il giudizio esperto delle istituzioni di ricerca coinvolte.

La tabella sottostante presenta in sintesi gli impatti che sono stati individuati per le varie aree di studio.

Tabella 16 - Le aree studio e i relativi impatti potenziali selezionati nell'ambito del progetto MASTER ADAPT

Impatto	Sardegna	Venezia	Nord Milano	Cagliari e Sassari (aree metropolitane)	Salento
Danni provocati da esondazioni di fiumi e torrenti in ambiente urbano					
Danni provocati da allagamenti urbani a seguito di eventi meteorici					
Danni e pericoli dovuti alle ondate di calore in ambiente urbano					
Danni provocati dagli incendi boschivi di interfaccia					
Riduzione della produttività in agricoltura a causa della siccità					
Effetti dell'erosione costiera					

Ricapitolando

Il passo 3 prevede in sintesi queste fasi:

1. Familiarizzare con le definizioni dei concetti in uso: *sorgente di pericolo (hazard), segnale climatico, impatto diretto, impatto potenziale o intermedio, relazioni causa-effetto.*
2. Raccogliere informazioni di base rispetto ai fattori di interesse (o individuare una fonte affidabile per il *knowledge brokerage*) attraverso revisione di letteratura e conoscenza disponibile.
3. Possibilmente associare degli indicatori quantitativi ai fattori individuati.
4. Verificare, integrare, migliorare le conoscenze di base acquisite attraverso un processo partecipativo di coinvolgimento di attori chiave territoriali.
5. Selezionare, attribuire priorità e convalidare i fattori (*sorgenti di pericolo e impatti potenziali*) in vista dei successivi passaggi dell'analisi dei fattori del rischio (*esposizione, sensibilità, capacità di adattamento*).

3.5 Passo 4: Individuare gli elementi esposti



Foto: F. Giordano (ISPRA)

Passo 1	Passo 2	Passo 3	Passo 4	Passo 5	Passo 6	Passo 7
Contesto ambientale e socio-economico	Sorgenti di pericolo di natura climatica	Potenziali impatti	Elementi esposti	Sensitività	Capacità di adattamento	Vulnerabilità ai cambiamenti climatici
			✓			

Nel più recente rapporto IPCC AR5⁹⁵, l'**esposizione** viene definita come:

la presenza di persone, mezzi di sussistenza, specie o ecosistemi, funzioni ambientali, servizi e risorse, infrastrutture, beni economici, sociali o culturali in luoghi che potrebbero essere colpiti negativamente

L'analisi dell'esposizione risulta costituire, secondo l'approccio IPCC AR5 ripreso dal progetto LIFE MASTER ADAPT, un passo indipendente e che rimane distinto dall'analisi di vulnerabilità (si veda la definizione al paragrafo 3.1).

⁹⁵ IPCC, 2014b



Un tipico esempio, utilizzato spesso per spiegare la differenza tra esposizione e vulnerabilità, riguarda la valutazione dei rischi per la salute legati alle alte temperature e alle ondate di calore. In questo caso, uno degli elementi esposti riguarda la “popolazione residente” sul territorio, laddove invece la vulnerabilità riguarderà sia la sensibilità (o suscettibilità) della medesima popolazione che può essere espressa mediante indicatori quali ad esempio la “popolazione con più di 65 anni” e “popolazione con meno di 6 anni” (corrispondenti alle fasce di età indicate dai piani di emergenza come le fasce di età più suscettibili) sia la capacità di adattamento del territorio espressa attraverso un indicatore che restituisca ad esempio “livello di copertura del servizio di assistenza domiciliare a persone anziane durante le ondate di calore” (Figura 8). Il fatto che un territorio abbia un livello di esposizione elevato alle ondate di calore non significa necessariamente che abbia un altrettanto elevato livello di vulnerabilità; il medesimo territorio potrà essere densamente popolato ma avere una ridotta quota di popolazione suscettibile (> 65 e > 6 anni) e/o avere un elevato livello di copertura dei servizi di assistenza domiciliari.

Nell'individuazione di indicatori di esposizione è quindi importante tenere sempre in mente il significato di esposizione assunto dall'IPCC.

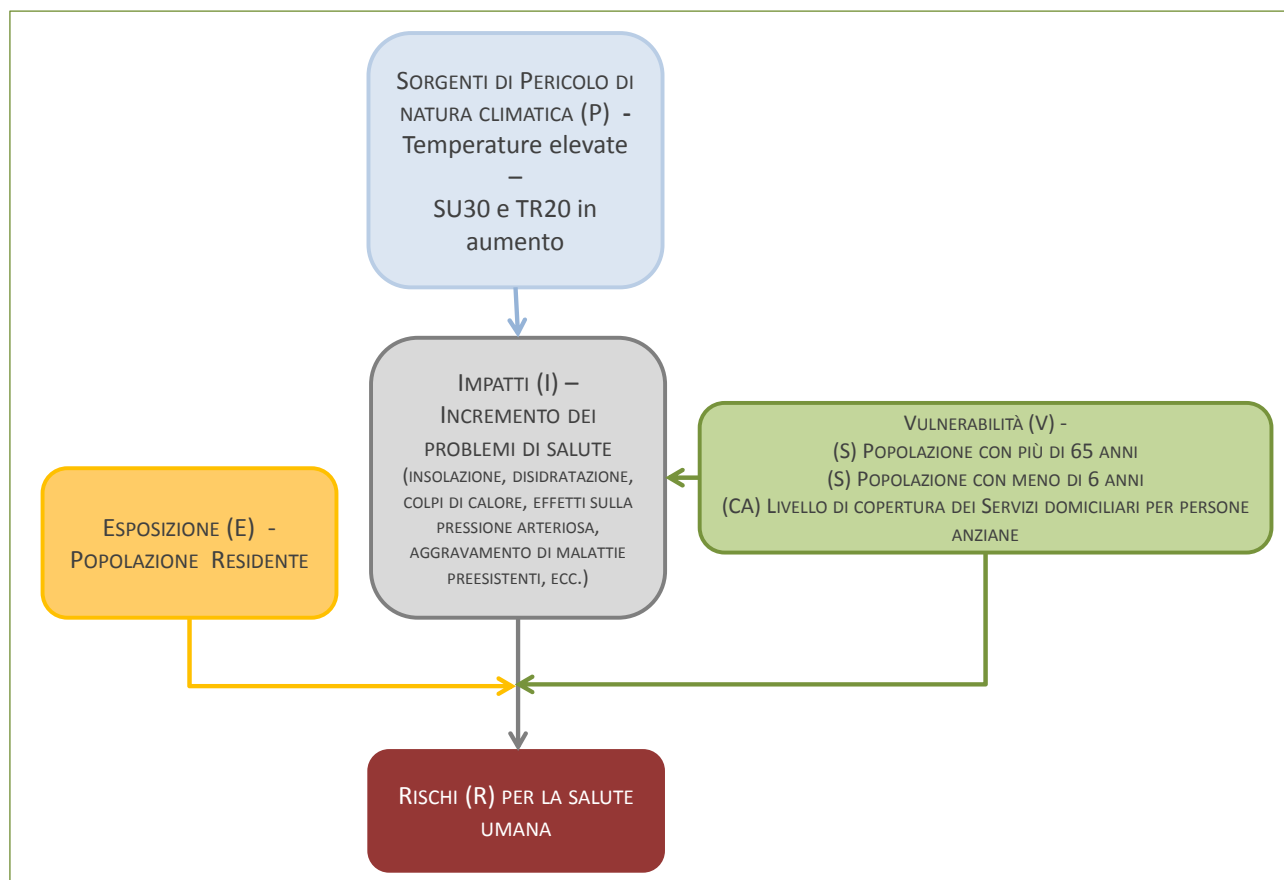


Figura 8 - Esempio di indicatori di esposizione e di vulnerabilità associati ai rischi per la salute umana per incremento delle temperature estreme

La procedura per elaborare l'Indice di Esposizione Globale del territorio oggetto di analisi, ripercorre i medesimi passaggi utilizzati per l'elaborazione degli altri indici e descritti nel paragrafo 3.1.3, ovvero:

- i. Selezione degli indicatori di esposizione;
- ii. Raccolta dati;
- iii. Normalizzazione e Allineamento degli indicatori;
- iv. Ponderazione degli indicatori;
- v. Calcolo dell'Indice Globale e presentazione dei risultati.

Il punto di partenza per la selezione degli indicatori di esposizione è chiaramente legato alla presenza di determinati elementi sul territorio oggetto di analisi. Essi possono essere, come abbiamo visto nella definizione di esposizione, "persone, mezzi di sussistenza, specie o ecosistemi, funzioni ambientali, servizi e risorse, infrastrutture, beni economici, sociali o culturali". Il passo 1 "Contesto ambientale e socio-economico", nel caratterizzare il territorio nelle sue tre

dimensioni dello sviluppo sostenibile, e cioè ambientale, sociale ed economica, restituisce almeno in parte gli elementi esposti presenti sul medesimo territorio a partire dai quali stimare l'Indice Globale di Esposizione associato a ciascun rischio che si intende valutare.

Per ogni potenziale rischio associato ai cambiamenti climatici che s'intende analizzare e valutare, dovranno quindi essere valutati tutti gli elementi fisici che potenzialmente potranno subire degli effetti negativi.

Si riportano di seguito ulteriori esempi di elementi esposti la cui presenza deve essere verificata, partendo da un possibile elenco di potenziali rischi che si vuole analizzare per un determinato territorio:

- Rischio di esondazione – verificare la presenza di elementi potenzialmente esposti quali le persone e beni;
- Rischi legati all'incremento della temperatura media – verificare la presenza di persone e infrastrutture viarie;
- Rischi dovuti alla siccità - verificare la presenza di persone, fauna e flora, settori manifatturieri ad elevato fabbisogno idrico, pratiche agricole;
- Rischi legati all'incremento di parassiti e specie aliene – verificare la presenza di persone (malattie infettive – effetti sanitari), fauna e flora (parassiti/specie aliene – impatto sugli habitat naturali), pratiche agricole (parassiti – diffusione di malattie con diminuzione del rendimento), pesca (parassiti – diffusione di malattie e/o competizione tra specie e diminuzione della produttività).

La tabella che segue (Tabella 17) sintetizza quali sono le categorie e gli elementi esposti che dovranno essere analizzati, in relazione al contesto ambientale e socio-economico del territorio,. Nella stessa tabella vengono riportati alcune esempi di indicatori di esposizione.

Tabella 17 – Categorie, elementi esposti e indicatori di esposizione

Categorie	Descrizione	Elementi esposti	Indicatori di esposizione
Capitale naturale	Stock finito di beni naturali (aria, acqua, suolo, habitat) da cui provengono beni e servizi a beneficio della società e dell'economia. È costituito da ecosistemi (che forniscono risorse e servizi rinnovabili) e da risorse non rinnovabili (combustibili fossili e risorse minerarie).	<ul style="list-style-type: none"> • Aree protette e aree natura 2000 • Area forestale e boscata • Fauna • Flora e vegetazione • Aree agricole 	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie di territori boscati e ambienti semi-naturali • Corpi idrici (presenza) • Superficie di aree protette • Superficie di aree natura 2000 • Superficie Agricola Utilizzata (SAU) e Superficie Agricola Totale (SAT)
Capitale umano	Insieme di capacità, competenze, conoscenze, abilità professionali e relazionali possedute in genere dall'individuo, acquisite non solo mediante l'istruzione scolastica, ma anche attraverso un lungo apprendimento o esperienza, finalizzate al raggiungimento di obiettivi sociali ed economici, singoli o collettivi.	Popolazione	<ul style="list-style-type: none"> • Popolazione residente • Densità della popolazione • Superfici aree urbanizzate residenziali
Capitale infrastrutturale	Sistema di supporto creato dall'uomo per lo svolgimento delle attività economiche e che comprende le dotazioni di strumenti di comunicazione (strade, ferrovie, aeroporti, sistemi di telecomunicazione, etc.) e installazioni fisse (immobilizzazioni del settore industriale e dei servizi).	Infrastrutture Industria Commercio	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie destinata a settore industriale • Superficie destinata al settore commerciale • Superficie destinata a servizi pubblici e privati
Capitale finanziario e economico	Il capitale economico e finanziario è costituito da tutte le fonti o mezzi liquidi o facilmente liquidabili che consentono la proprietà e il commercio dei precedenti tipi di capitale	Valore aggiunto lordo Prodotto interno lordo	<ul style="list-style-type: none"> • Valore aggiunto lordo in agricoltura • Valore aggiunto lordo nell'industria

Ricapitolando

Il passo 4 prevede in sintesi queste fasi:

1. Familiarizzare con la definizione del concetto "esposizione" in uso dall'IPCC.
2. Individuazione d'indicatori di esposizioni (in parte già individuati e analizzati nel passo 1).
3. Raccolta dati ed informazioni funzionali al popolamento degli indicatori d'esposizione individuati in relazione alle sorgenti di pericolo e/o impatti potenziali presenti sul territorio oggetto di analisi e valutazione.
4. Popolamento degli indicatori d'esposizione.
5. Analisi dei risultati degli indicatori d'esposizione, relativa normalizzazione e ponderazione.
6. Calcolo dell'Indice Globale di Esposizione e quindi analisi e descrizione dei risultati.

3.6 Passo 5: Valutare la sensitività



Foto: Dennis Jernberg⁹⁶

Passo 1	Passo 2	Passo 3	Passo 4	Passo 5	Passo 6	Passo 7
Contesto ambientale e socio-economico	Sorgenti di pericolo di natura climatica	Potenziali impatti	Elementi esposti	Sensitività	Capacità di adattamento	Vulnerabilità ai cambiamenti climatici
				✓		

⁹⁶ Fonte: <https://www.flickr.com/photos/capnkidd/3770941844>

La sensibilità viene definita come:

il grado secondo il quale un sistema viene influenzato, in maniera negativa o positiva, da stimoli correlati al clima. L'effetto può essere diretto (ad esempio cambiamento della resa delle colture in risposta ad un cambiamento della media, gamma, o variabilità della temperatura) o indiretto (ad esempio danni provocati da un aumento della frequenza di alluvioni costiere dovuto all'innalzamento del livello del mare).⁹⁷

La sensibilità fornisce informazioni sulla suscettibilità delle città a determinati impatti e per questo è influenzata da proprietà specifiche del sistema di riferimento, come ad esempio le sue caratteristiche fisiche e biofisiche, la percentuale di copertura vegetativa del suolo, la composizione della popolazione, etc.

La sensibilità è identificata secondo quattro categorie:

- **Fattore naturale:** recettori naturali (per esempio: percentuale di aree verdi, tipi di copertura vegetativa, etc.) caratterizzati dallo stato, struttura ed elementi biofisici e fisiologici del capitale naturale. Gli elementi naturali possono contribuire ad aumentare la sensibilità dei sistemi ai cambiamenti climatici.
- **Fattore umano:** recettori (per esempio: percentuale di popolazione anziana, percentuale di bambini famiglie basso reddito, etc.) che presentano uno status fisiologico e/o socioeconomico tale da renderli suscettibili di essere influenzati dai cambiamenti climatici.
- **Fattore morfologico urbano:** recettori compositivi (per esempio: bassa densità di costruito, percentuale di impermeabilizzazione del suolo, materiali, colori etc.) con caratteristiche fisiche, struttura, stato tale da renderlo suscettibile agli effetti dei cambiamenti climatici. In alcuni casi questi elementi possono contribuire ad aumentare la Sensibilità del sistema al cambio climatico.
- **Fattori economici e finanziari:** recettori economici e finanziari (per esempio: redditi di produzione vinicola, agricoltura, turismo etc.) suscettibili agli effetti dei cambiamenti climatici.

La selezione degli indicatori di sensibilità risponde a una valutazione della specificità del sistema rispetto a un impatto atteso. Alcuni esempi sono riportati in Tabella 18.

⁹⁷ PON GAS 2007, 2013; IPCC 2013

Tabella 18 – Esempi di indicatori di sensitività

Impatto	Categoria	Indicatori %
Allagamenti	Capitale infrastrutturale	Indice di runoff, sottopassi, % strade, % superficie drenante, % edifici pessimo stato, beni storici, % aree allagate (storico)
	Fattore umano	popolazione giovane, % popolazione anziana
Effetto isola di calore urbano UHI	Fattore umano	% popolazione giovane, % popolazione anziana
	Capitale infrastrutturale	Densità di costruito, permeabilità dei suoli, aree verdi, suolo impermeabile
Siccità	Fattore naturale	Aree irrigue, % aree verdi, % acqua necessaria per culture, aree non irrigue
Fuoco/incendi	Fattore naturale	Aree vegetate, miste e scarsamente boscate, % aree irrigue, % macchia mediterranea, % aree di foresta
	Fattore umano	% popolazione giovane, % popolazione anziana

Nelle figure seguenti vengono illustrati, a titolo d'esempio, alcuni indicatori utilizzabili per determinare l'esposizione e la sensitività per gli impatti: allagamento urbano, isola di calore, siccità e incendi.

LINEE GUIDA, PRINCIPI E PROCEDURE STANDARDIZZATE PER L'ANALISI CLIMATICA E LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ A LIVELLO REGIONALE E LOCALE

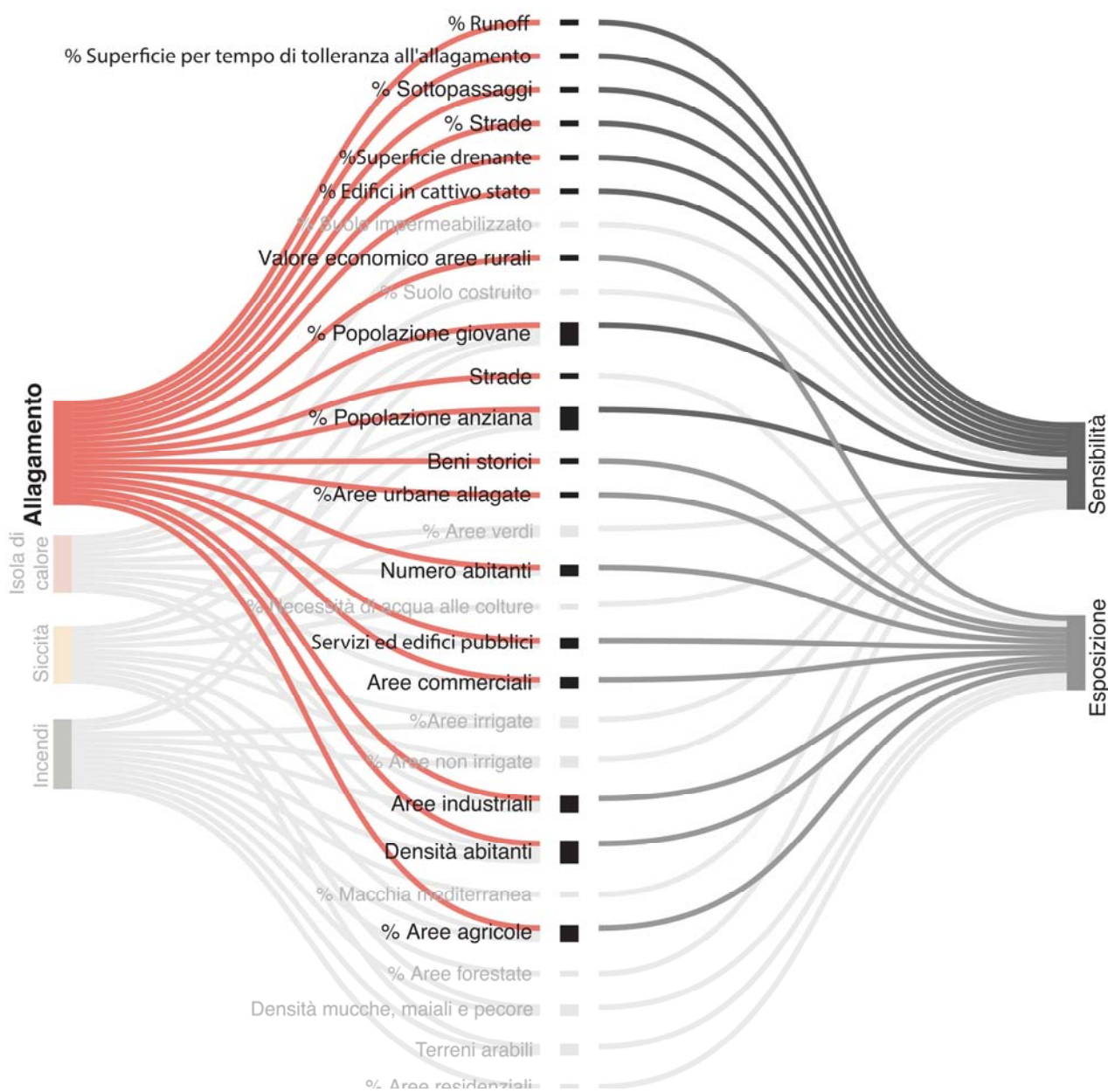


Figura 9 - Indicatori utili alla valutazione della sensibilità e dell'esposizione in relazione agli allagamenti.

LINEE GUIDA, PRINCIPI E PROCEDURE STANDARDIZZATE PER L'ANALISI CLIMATICA E LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ A LIVELLO REGIONALE E LOCALE

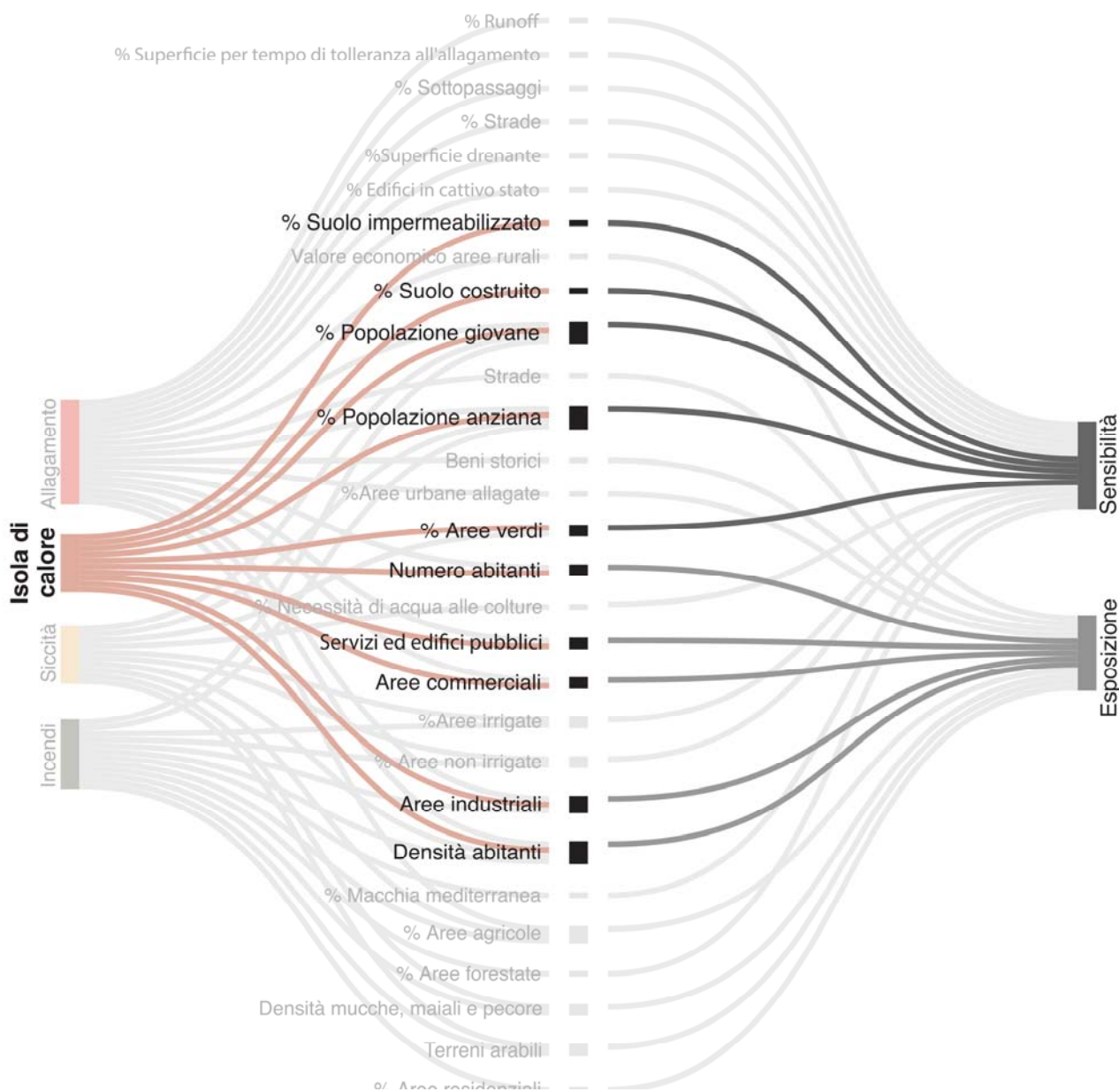


Figura 10 - Indicatori utili alla valutazione della sensitività e dell'esposizione in relazione all'isola di calore.

LINEE GUIDA, PRINCIPI E PROCEDURE STANDARDIZZATE PER L'ANALISI CLIMATICA E LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ A LIVELLO REGIONALE E LOCALE

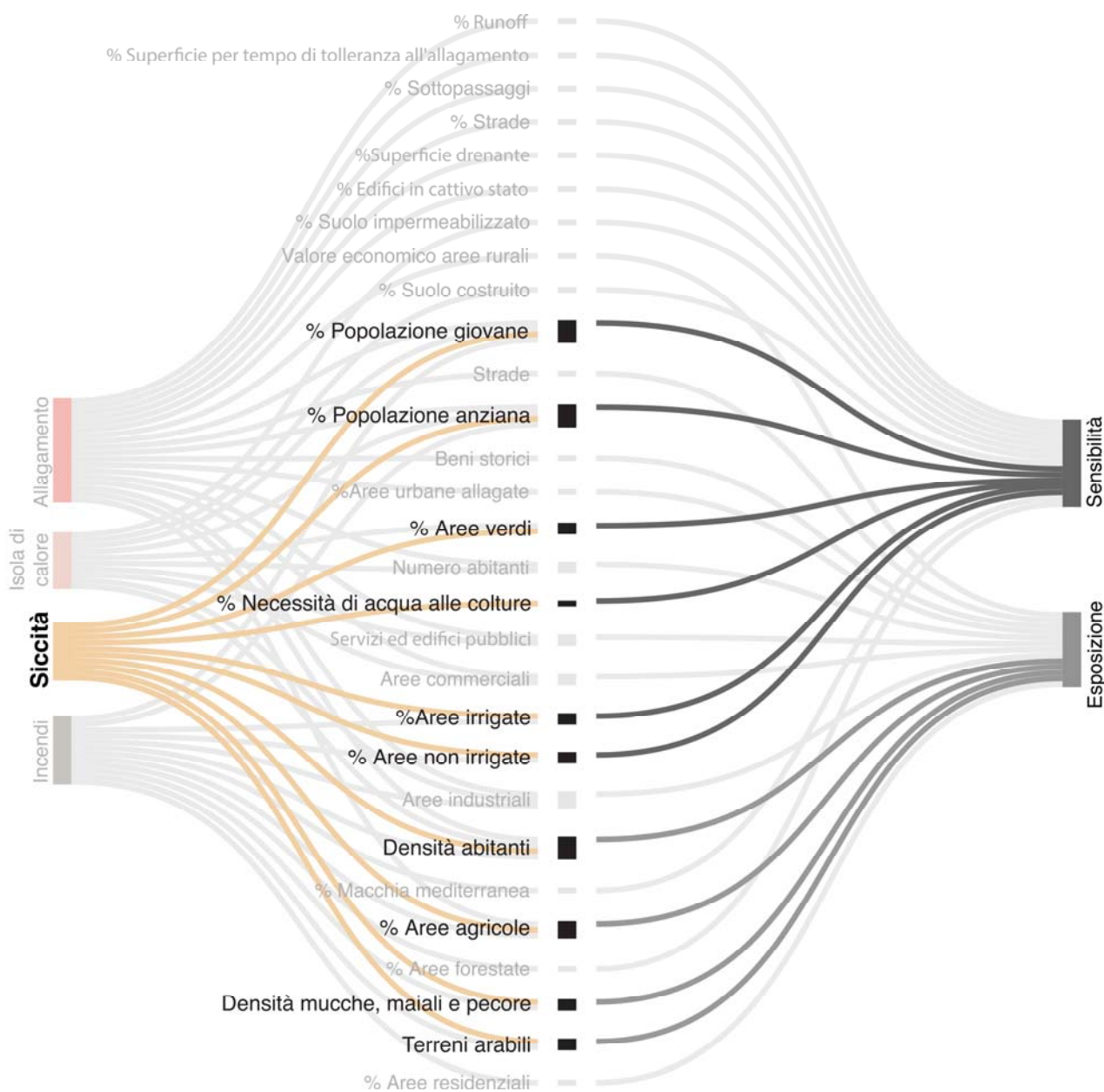


Figura 11 - Indicatori utili alla valutazione della sensibilità e dell'esposizione in relazione alla siccità.

LINEE GUIDA, PRINCIPI E PROCEDURE STANDARDIZZATE PER L'ANALISI CLIMATICA E LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ A LIVELLO REGIONALE E LOCALE

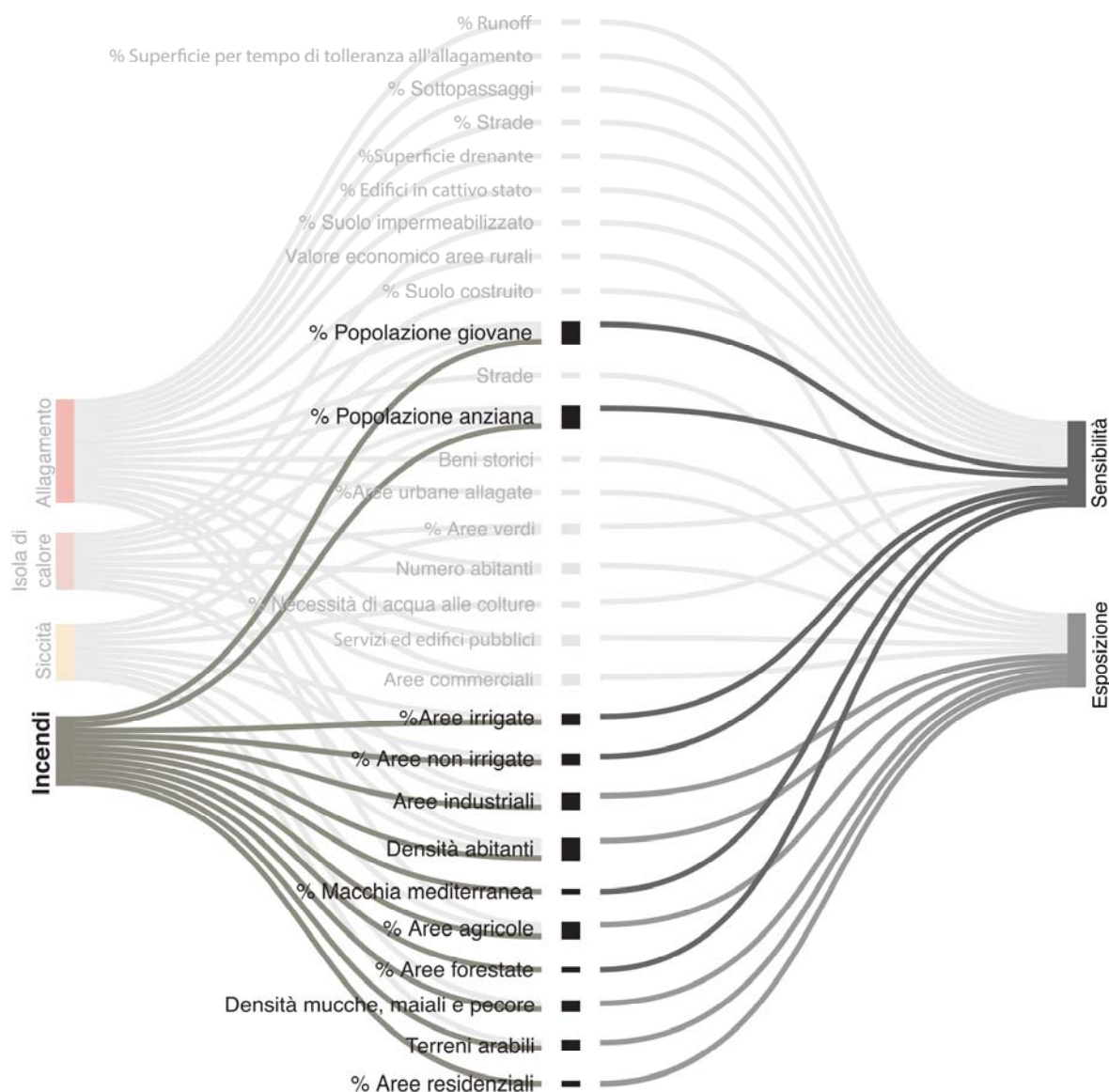


Figura 12 - Indicatori utili alla valutazione della sensibilità e dell'esposizione in relazione agli incendi.

Come si può evincere dalle Figure 9-12, gli indicatori hanno un ruolo importante in quanto, attraverso essi, si può produrre una valutazione numerica e confrontabile del valore della sensibilità e dell'esposizione di un territorio rispetto ad un impatto atteso.

La scelta di quali indicatori utilizzare, all'interno del lavoro di valutazione di vulnerabilità complessiva, assume un ruolo centrale ad alto valore strategico e deve considerare due aspetti importanti. Il primo aspetto determina la scelta degli indicatori rispetto al tipo di impatto da valutare. Ciò significa che per ogni tipologia di impatto si individua una serie di indicatori capaci di esprimere e misurare l'impatto. Il secondo aspetto guida alla scelta degli

indicatori che possano essere soddisfatti dalle informazioni presenti nel quadro conoscitivo a disposizione del comune.

Esempio: è possibile scegliere l'indicatore "permeabilità urbana [%]", utile per valutare la sensibilità di un'area ad accumulare calore e contribuire a valutare le aree predisposte a creare l'isola di calore urbana, ma se non si ha a disposizione la misura omogenea delle aree permeabili di un comune diviene un indicatore inutilizzabile.

Gli indicatori di sensibilità suggeriti nella tabella sono quindi il risultato di queste due riflessioni, rispetto agli impatti considerati e al livello generale dei quadri conoscitivi italiani.

Per l'impatto *isola di calore urbana* vengono suggeriti indicatori in grado di valutare la capacità di un territorio di accumulare calore e indicatori ritenuti idonei a valutare la presenza di persone "sensibili" al calore come gli anziani e bambini.

Per l'impatto *allagamento urbano*, gli indicatori mirano a valutare gli elementi urbani (come superficie drenante, sottopassaggi, aree verdi, etc.) che concorrono, in un territorio urbano costruito, ad aumentarne o diminuirne la capacità di deflusso negli eventi meteorologici estremi.

Per l'impatto *siccità* si osservano le caratteristiche urbane e rurali meno resilienti alle ondate di calore e ai periodi prolungati di siccità.

Per l'impatto *incendi* si consiglia di utilizzare quegli indicatori in grado di valutare e classificare le diverse porzioni del territorio in base alla predisposizione agli incendi e alla vicinanza con popolazione e funzioni urbane rilevanti.



N.B. Nel metodo proposto gli indicatori sono espressi in percentuale e dovrebbero dare un'indicazione delle tipologie di aree e di popolazione che potrebbero essere maggiormente colpite da uno specifico impatto.

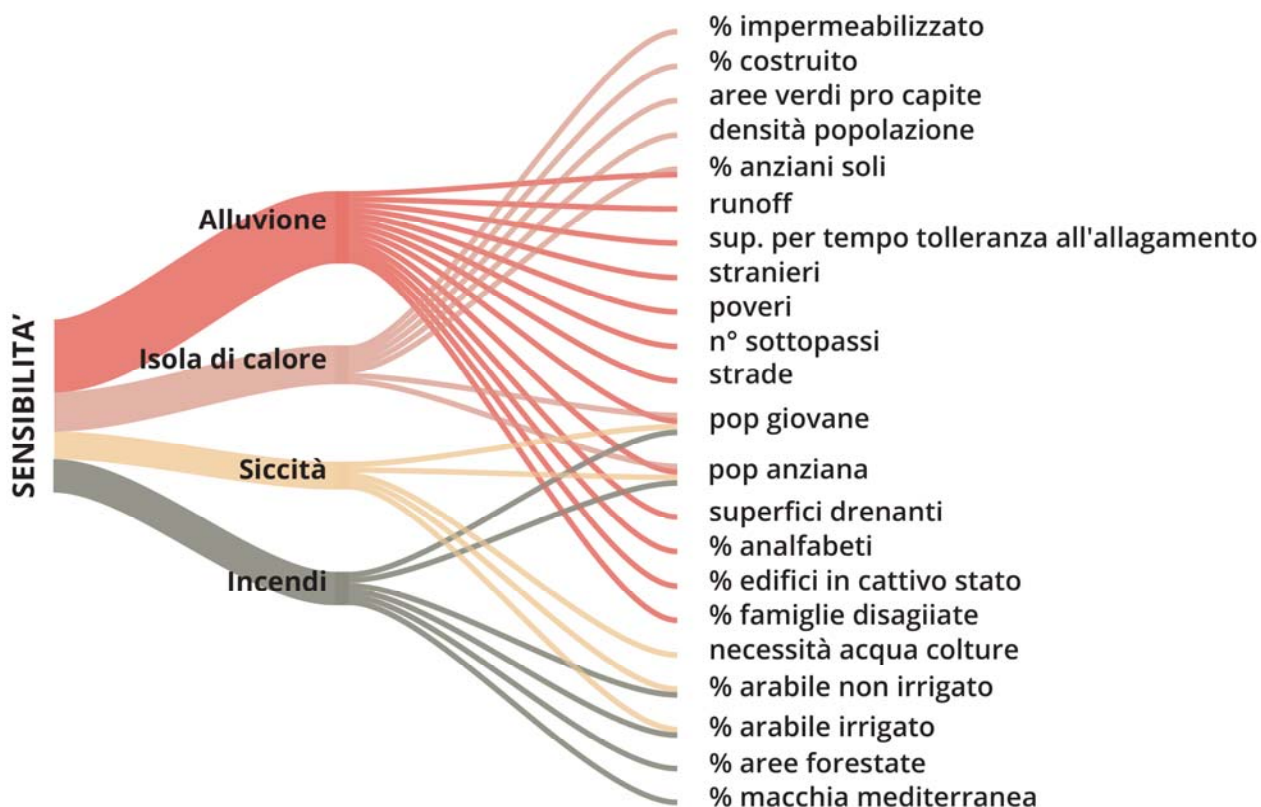


Figura 13 - Schema degli indicatori di sensitività utilizzati nelle diverse aree target del progetto MASTER ADAPT per ciascun impatto

Box 7 - L'esempio di MASTER ADAPT

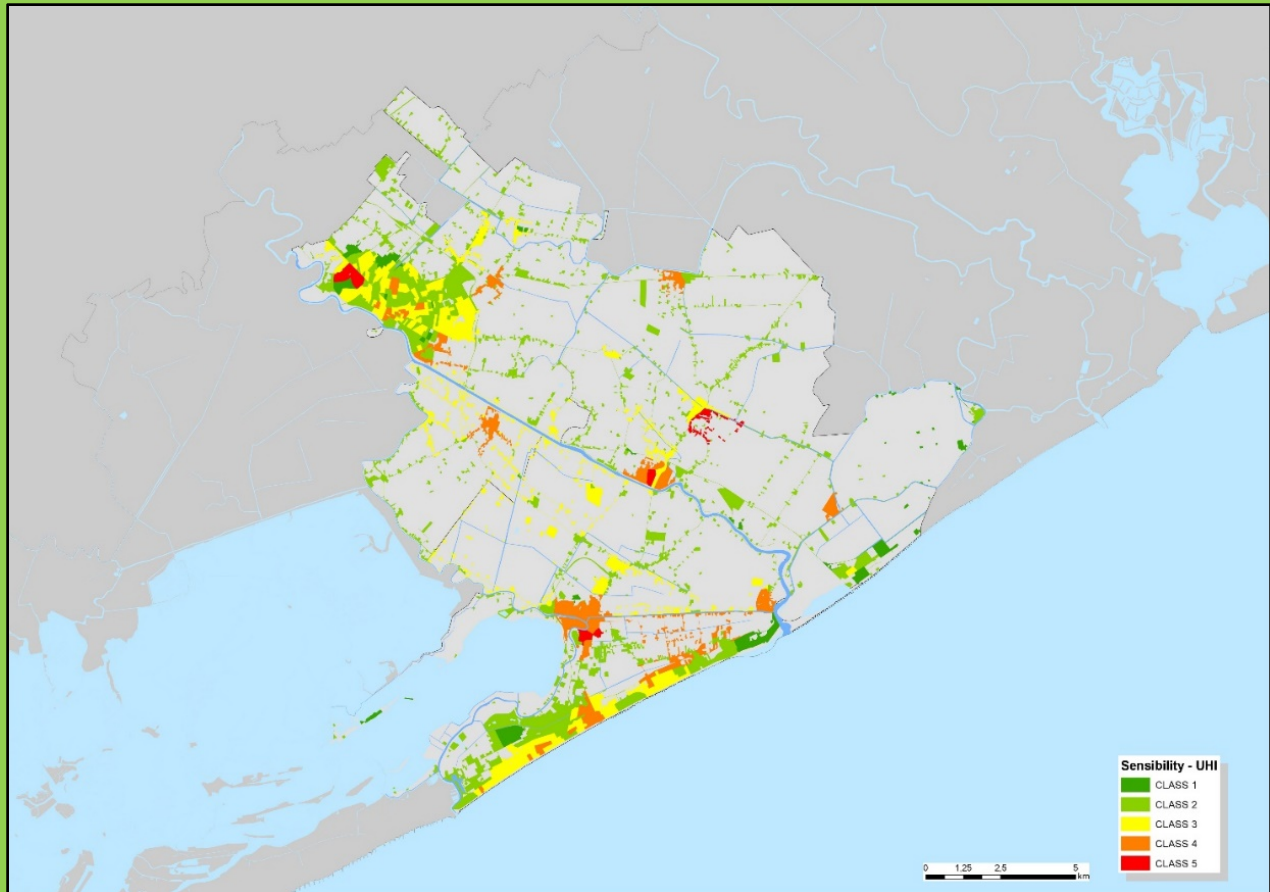


Figura 14 - Mappa della valutazione della sensitività dei territori target dell'area metropolitana veneziana

La vulnerabilità è stata calcolata per aree aggregate per ogni singolo censo dell'ISTAT. In questo modo il risultato ottenuto è una classificazione dei territori a piccola scala, utile nell'individuazione delle aree di intervento prioritarie (arancione e rosso).

Ricapitolando

Il passo 5 prevede in sintesi queste fasi:

1. Individuare gli indicatori di sensitività utilizzabili per ciascun impatto definito in relazione alle informazioni in possesso e reperibili attraverso i sistemi informativi territoriali.
2. Catalogare le informazioni territoriali utili al calcolo degli indicatori scelti.
3. Calcolo degli indicatori di sensitività per ciascun impatto.
4. Normalizzazione degli indicatori di sensitività.
5. Valutazione dell'Indice Globale per ciascun impatto aggregando il risultato degli indicatori normalizzati seguendo la formula espressa a pagina 39.

3.7 Passo 6: Valutare la capacità di adattamento



Foto: F. Giordano (ISPRA)

Passo 1	Passo 2	Passo 3	Passo 4	Passo 5	Passo 6	Passo 7
Contesto ambientale e socio-economico	Sorgenti di pericolo di natura climatica	Potenziali impatti	Elementi esposti	Sensitività	Capacità di adattamento	Vulnerabilità ai cambiamenti climatici
					✓	

La **Capacità di adattamento** è definita come

la capacità dei sistemi, delle istituzioni, degli esseri umani e altri organismi di adattarsi a potenziali danni, per sfruttare le opportunità o rispondere alle conseguenze⁹⁸



Sensitività e capacità di adattamento potrebbero essere talvolta confuse. La capacità di adattamento include la qualità intrinseca di un sistema che lo rende più o meno capace di adattarsi, ma può anche riflettere le capacità di raccogliere e analizzare informazioni, comunicare, pianificare e attuare strategie di adattamento che riducano la vulnerabilità agli impatti dei cambiamenti climatici⁹⁹. La capacità di un sistema di affrontare un impatto sul clima dovrebbe quindi essere valutato in una prospettiva futura, mentre la sensitività è intesa come una caratteristica attuale del sistema analizzato.

Le dimensioni della capacità di adattamento sono riconducibili alle seguenti categorie:

- **Istituzioni**

Come contribuisce l'ambiente istituzionale alla capacità di adattamento?

Corruzione, bilancio locale, aggiornamento del piano urbano locale, coinvolgimento e responsabilità, efficacia dell'azione governativa, etc.

L'obiettivo è indagare la capacità delle Pubbliche Amministrazioni di contribuire al processo di adattamento.

Esempio: un territorio con un alto grado di sensitività ad un impatto al cambiamento climatico, come le ondate di calore, ma con un piano di gestione delle emergenze approvato o una politica di coinvolgimento e sensibilizzazione avviata, è caratterizzato da una vulnerabilità limitata.

- **Conoscenza e tecnologia**

Ci sono conoscenze o competenze che potrebbero aiutare l'adattamento? Ci sono opzioni tecniche disponibili e accessibili che potrebbero migliorare la capacità di adattamento?

Livello di istruzione, Laurea, Master, brevetti di ricerca e sviluppo.

Esempio: la percentuale di persone con diploma (il livello di istruzione nel territorio è considerato indicativo della capacità di rispondere o gestire un evento. Le persone con un alto livello di istruzione (Laurea e Master) possono essere agevolate per avere un accesso più facile a informazioni e strumenti (ad esempio strumenti di allerta precoce) per capire e

⁹⁸ IPCC, 2013

⁹⁹ Giordano et al., 2013

gestire un evento. Quindi un livello educativo più elevato è considerato un indicatore di maggiore capacità della società di rispondere e gestire eventi avversi (cioè minore contributo alla vulnerabilità).

Le nuove tecnologie, come le nuove soluzioni di tecnica urbanistica, sono strumenti di adattamento al cambiamento climatico che, se presenti in un territorio con elevata sensibilità, contribuiscono a ridurre la vulnerabilità.

- **Produzione / Infrastruttura**

Quali infrastrutture sono disponibili per migliorare la capacità di adattamento?

Trasporti (strade, ferrovie, ecc.), reti informali (famiglie con telefono, mobile e connessione a Internet), condizioni di vita, accesso all'acqua, utilizzo di internet, uso della rete elettrica, distanza dalle strutture sanitarie pubbliche, ecc.

Le funzioni urbane, come le caratteristiche fisiche di un territorio precedentemente osservate, contribuiscono a determinare una vulnerabilità maggiore o minore rispetto ad un determinato impatto.

Esempio: in un'area generica, sensibile al potenziale allagamento urbano a causa delle caratteristiche fisiche, la presenza di parchi, vasche di laminazione oppure edifici con residenza sopra il piano terra, aumenta la capacità di adattamento diminuendone la vulnerabilità. Al contrario, la presenza di sottopassi, aree produttive con prodotti inquinanti, magazzini di stoccaggio medicinali etc., diminuisce la capacità di adattamento, aumentando la vulnerabilità dell'area.

- **Risorse economiche**

Quali risorse economiche e finanziarie sono disponibili per migliorare la capacità di adattamento o attuare misure di adattamento?

Reddito pro capite (PIL, etc.), povertà (% persone che vivono in povertà, etc.), mancanza di accesso alle risorse finanziarie, standard di vita, crescita della popolazione, diversificazione del reddito, tasso di dipendenza, tasso di disoccupazione etc.

Esempio: la percentuale di persone con alto reddito disponibile nel territorio è considerata un'indicazione della capacità di rispondere o gestire un evento. Le persone con un reddito pro capite più elevato possono essere agevolate ai fini di un accesso più facile a informazioni e strumenti (ad esempio strumenti di allerta precoce) sviluppando, quindi, una migliore capacità di comprendere e gestire determinati eventi. Quindi, un livello economico più elevato è considerato un indicatore di maggiore capacità della società di rispondere e gestire eventi avversi (cioè minore contributo alla vulnerabilità). Al contrario,

un alto livello di disoccupazione rappresenta una bassa capacità di adattamento e un importante contributo alla vulnerabilità.)

In assenza di progetti di adattamento, la disponibilità economica e finanziaria (interna o proveniente da fondi dedicati, anche europei) della Pubblica Amministrazione da destinare alla riqualificazione delle aree urbane o all'implementazione di specifiche azioni di adattamento, contribuisce ad aumentare la capacità di adattamento dell'area.

La capacità di adattamento di uno specifico sistema è studiata in relazione a ogni impatto potenziale identificato nel Passo 3.

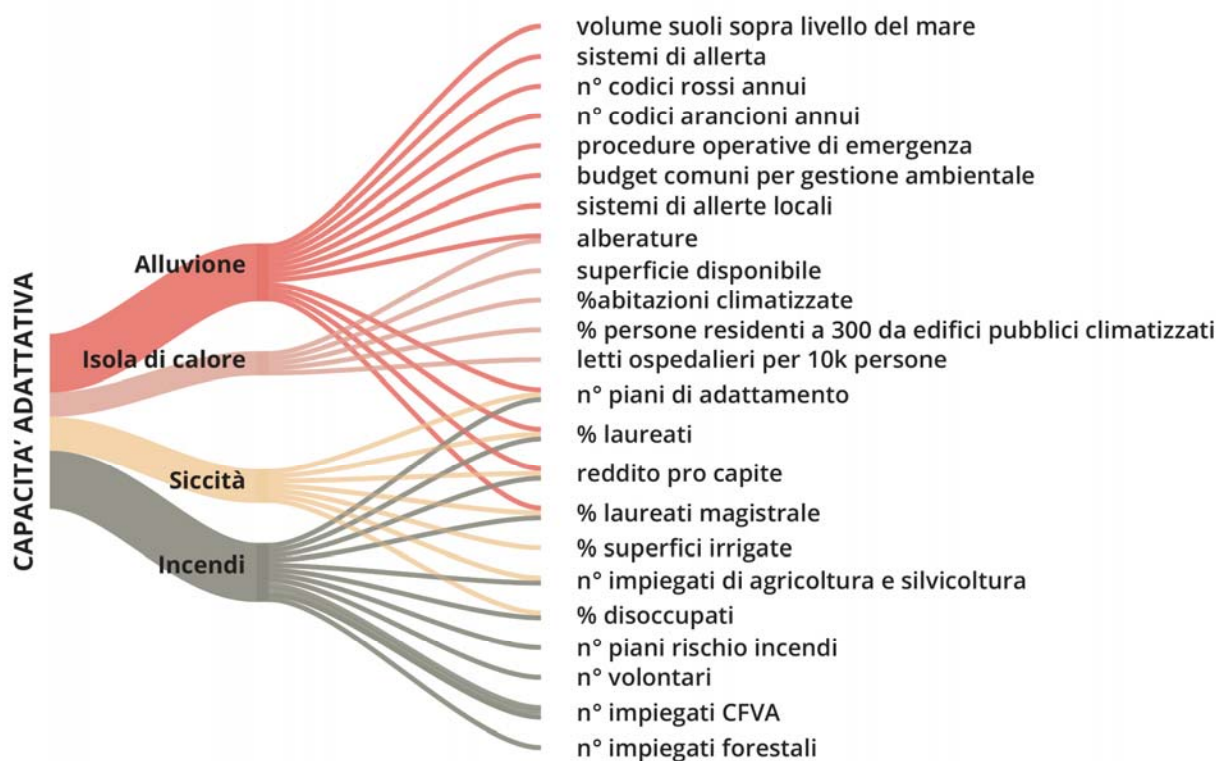


Figura 15 – Schema di sintesi degli indicatori di capacità di adattamento utilizzati nelle diverse aree italiane per ciascun impatto.

Esattamente come per la valutazione della sensibilità, la raccolta dei dati rappresenta una fase centrale per il calcolo degli indicatori.

Anche se nei passi di lavoro suggeriti in queste Linee Guida, questa fase è trattata come passo

distinto dall'individuazione degli indicatori, nella realtà applicativa è bene vi sia un dialogo tra le due fasi che si produrranno in modo parallelo. Gli indicatori saranno dunque scelti anche sulla base dei dati disponibili.



Uno degli errori da **evitare** è **la scelta di indicatori difficili da gestire o compilare**. Per ogni indicatore quindi è bene controllare se le informazioni presenti nei quadri conoscitivi siano sufficienti ad esprimere i valori in modo uniforme per tutta l'area nella scala scelta.

Box 8 – L'esempio di MASTER ADAPT

Nelle analisi svolte nell'area metropolitana di Venezia, la scala di analisi è costituita dai limiti censuari dell'ISTAT (Figura 15). La volontà di classificare il territorio comunale secondo il grado di vulnerabilità ha comportato una valutazione delle informazioni che necessariamente dovevano essere maggiormente dettagliate rispetto ai limiti censuari.

Esempio: se conosciamo la percentuale di vegetazione a scala comunale, non è possibile usare l'indicatore impermeabilità per classificare il territorio, mentre se l'informazione in merito alla presenza di vegetazione ha un dettaglio sull'ordine dei metri, è possibile utilizzarlo.

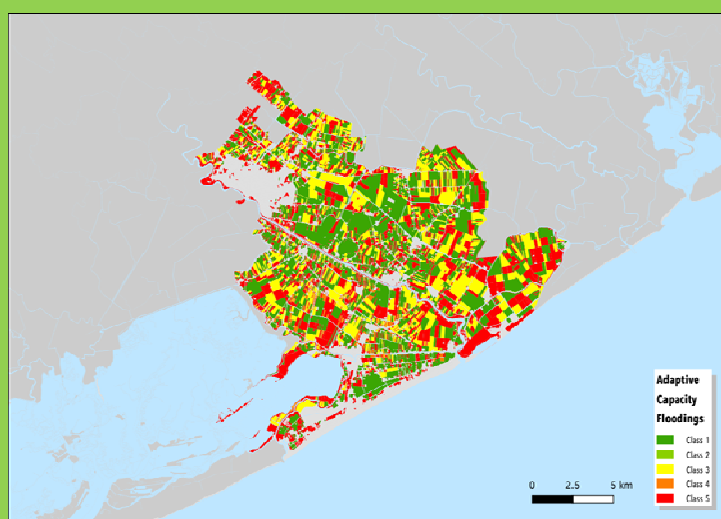


Figura 16 – Sintesi relativa alla capacità di adattamento per l'area di studio della Città Metropolitana di Venezia. La mappa illustra la classificazione del territorio sulla base della sua capacità di adattamento rispetto al possibile allagamento nelle aree rurali



Per rappresentare la capacità di adattamento di un sistema, la maggior parte degli indicatori sono stati “invertiti in segno”: i valori più bassi dovrebbero riflettere le condizioni positive in termini di capacità di adattamento (capacità di adattamento più elevata) e di valori più alti condizioni negative (minore capacità di adattamento). L’inversione significa semplicemente sottrarre il valore da 1.

Ricapitolando

Il passo 6 prevede in sintesi queste fasi:

1. Individuare gli indicatori di capacità di adattamento utilizzabili per ciascun impatto definito in relazione alle informazioni in possesso e reperibili attraverso i sistemi informativi territoriali.
2. Catalogare le informazioni territoriali utili al calcolo degli indicatori scelti
3. Calcolo degli indicatori di capacità di adattamento per ciascun impatto
4. Normalizzazione degli indicatori di sensitività e capacità di adattamento
5. Valutazione dell’Indice Globale per ciascun impatto aggregando il risultato degli indicatori normalizzati seguendo la formula espressa a pagina 39.

3.8 Passo 7: Valutare la vulnerabilità ai cambiamenti climatici



Foto: Mario Fornasari¹⁰⁰

Passo 1	Passo 2	Passo 3	Passo 4	Passo 5	Passo 6	Passo 7
Contesto ambientale e socio-economico	Fonti di pericolo di natura climatica	Potenziali impatti	Elementi esposti	Sensitività	Capacità di adattamento	Vulnerabilità ai cambiamenti climatici
						✓

Sulla base del Quinto Rapporto di Valutazione sui Cambiamenti Climatici dell'IPCC (AR5), la vulnerabilità può essere elaborata come risultato della combinazione degli Indici Globali di Sensitività e di Capacità di Adattamento (Figura 17).

¹⁰⁰ Fonte: <https://www.flickr.com/photos/76474729@N02/12155918465>

LINEE GUIDA, PRINCIPI E PROCEDURE STANDARDIZZATE PER L'ANALISI CLIMATICA E LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ A LIVELLO REGIONALE E LOCALE

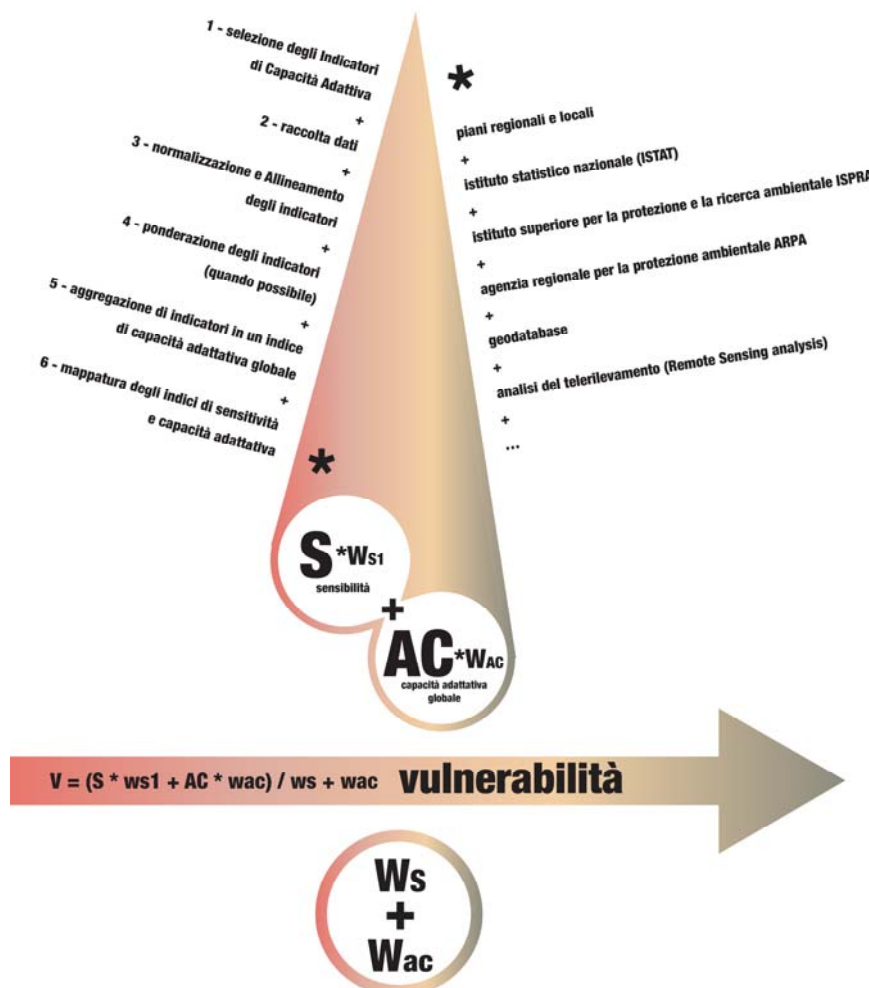


Figura 17 – Lo schema riassume le fasi di lavoro descritte nei paragrafi precedenti per determinare la sensitività e la capacità di adattamento al fine di valutare la vulnerabilità di un territorio rispetto ad un impatto climatico

Il fine sostanziale di un processo di adattamento locale è diminuire la vulnerabilità di un ambito territoriale rispetto ad un impatto atteso, aumentandone di fatto la resilienza. Il termine **resilienza** è accostato di frequente al concetto di cambiamento climatico e viene principalmente impiegato in riferimento a

la capacità di un sistema di affrontare e recuperare dopo un'interruzione, facendo riferimento a fattori di stress generali derivanti dalla fisica, dall'economia, dall'ecologia, etc¹⁰¹.

¹⁰¹ UNISDR, 2013

Il concetto di resilienza, riferito alla scienza del clima, si orienta sui disturbi causati dal cambiamento climatico e sulla capacità di ripresa del territorio in seguito ad un eventuale shock climatico¹⁰².

In sintesi, si può affermare che riducendo la sensitività e aumentando la capacità di adattamento, diminuisce la vulnerabilità e, di fatto, aumenta la resilienza.

Per procedere quindi con la stesura delle strategie e delle misure di adattamento è propedeutico definire e valutare le vulnerabilità.

Come indicato nel *Report on climate analysis and vulnerability assessment results in the pilot Region (Sardinia Region) and in the areas targeted in action C3* del progetto LIFE MASTER ADAPT ed in letteratura¹⁰³, l'Indice Globale di Vulnerabilità ottiene può essere elaborato sulla base della seguente formula:

$$V = (S * w_{s1} + AC * w_{ac}) / w_s + w_{ac}$$

dove

V = è l'Indice Globale di Vulnerabilità

S = è l'Indice Globale di Sensitività

AC = è l'Indice Globale di Capacità di Adattamento

w_i = è il peso assegnato ogni volta a ciascun componente

¹⁰² OECD, 2013

¹⁰³ GIZ et al, 2014

LINEE GUIDA, PRINCIPI E PROCEDURE STANDARDIZZATE PER L'ANALISI CLIMATICA E LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ A LIVELLO REGIONALE E LOCALE

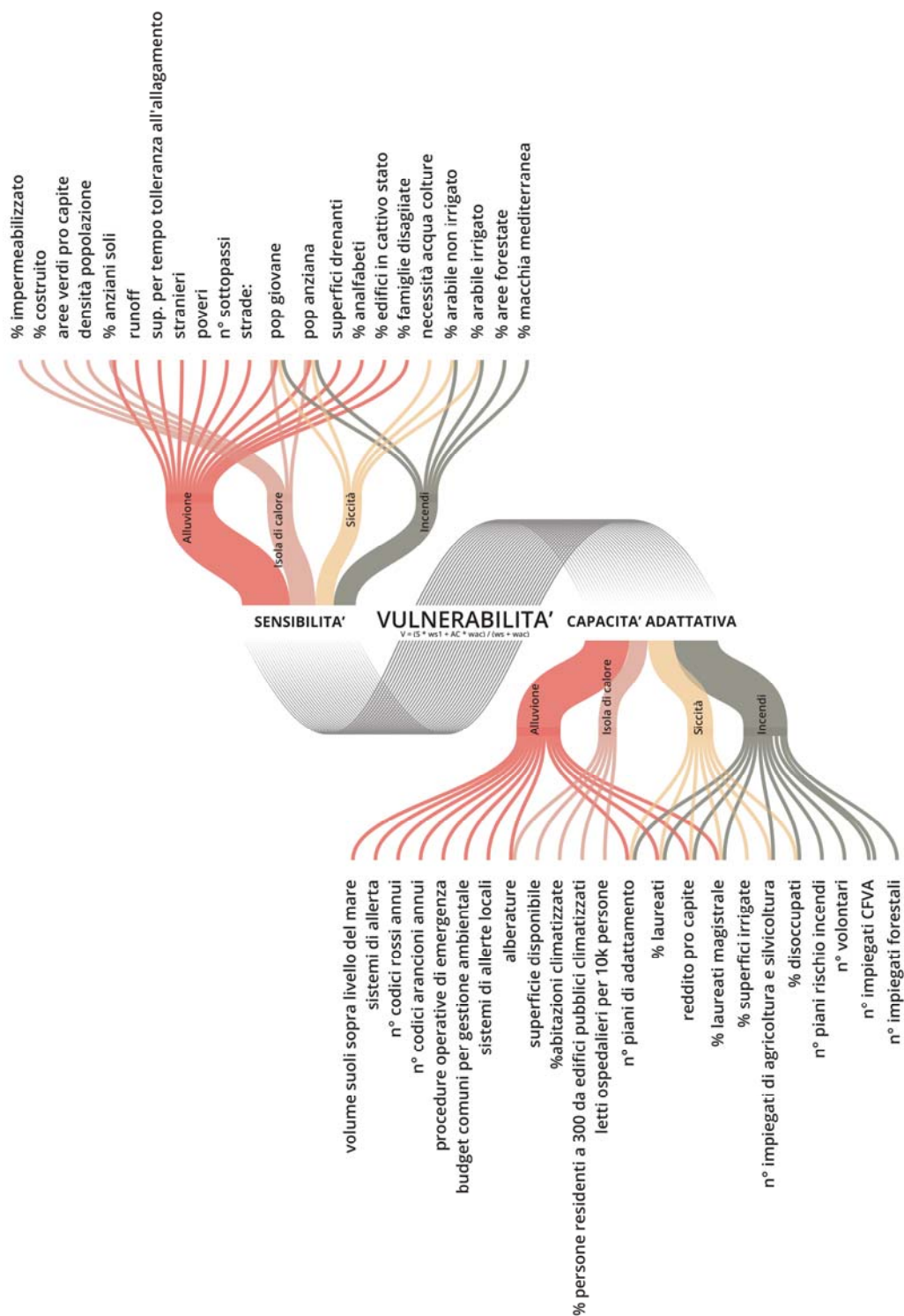


Figura 18 - Schema completo di valutazione della vulnerabilità con gli indicatori utilizzabili per ciascuna variabile (sensitività, capacità di adattamento e vulnerabilità) e ciascun impatto considerato (alluvione, isola di calore, siccità e incendi)

Box 9 - L'esempio di MASTER ADAPT

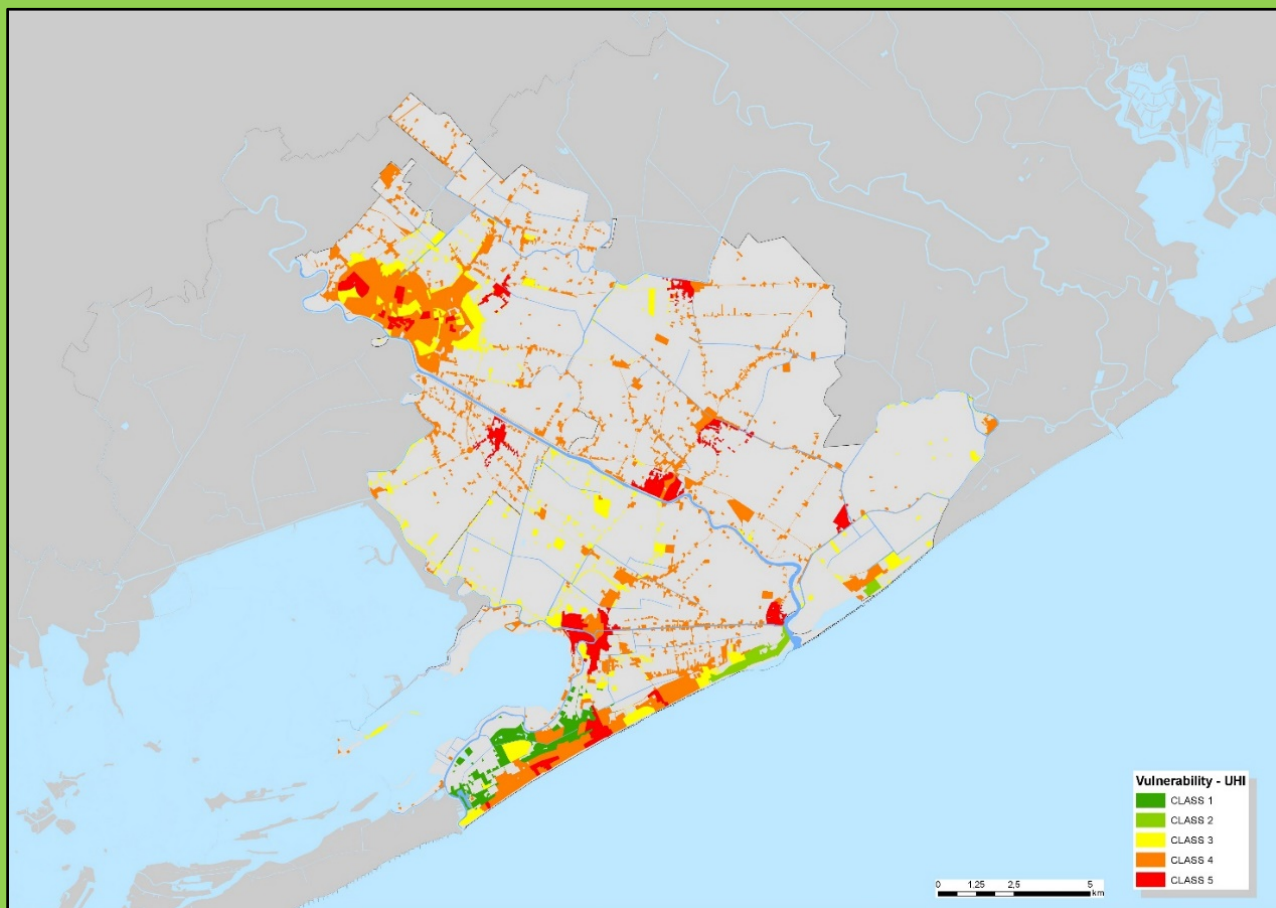


Figura 19 - Mappa della valutazione della vulnerabilità dei territori target dell'area metropolitana veneziana. La vulnerabilità è stata calcolata per aree aggregate per ogni singolo censo dell'ISTAT. In questo modo il risultato ottenuto è una classificazione dei territori a piccola scala, utile nell'individuazione delle aree di intervento prioritarie (arancione e rosso).

Ricapitolando

Il passo 7 prevede in sintesi questa fase:

1. Valutazione della vulnerabilità per ciascun impatto aggregando il risultato degli indicatori normalizzati seguendo la formula espressa nella pagina 39.

4 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E PROSPETTIVE FUTURE

L'implementazione delle analisi descritte nei paragrafi precedenti ha consentito di testare ogni aspetto metodologico e di rilevarne punti di forza e di debolezza. Se, come nel caso delle analisi dei trend climatici (Tabella 19) e delle proiezioni climatiche future (

Tabella 20), il superamento dei fattori critici individuati dipende in larga parte da dinamiche e processi che si svolgono al di fuori delle competenze di chi opera all'interno del progetto LIFE MASTER ADAPT (per esempio migliorare la disponibilità e la qualità delle serie storiche dei dati climatici, incrementare la risoluzione dei modelli liberamente accessibili per la stima delle variazioni previste a livello locale), nel caso delle analisi di vulnerabilità (Tabella 21) è possibile, almeno riguardo ad alcuni punti, proporre alcune raccomandazioni e riflessioni che possano contribuire ad arricchire la discussione in relazione ad una lettura più affidabile dei risultati.

Tabella 19 – Punti di forza e di debolezza relativi all'analisi dei trend climatici

Punti di forza	Punti di debolezza
<ul style="list-style-type: none"> - Metodologia robusta di controllo di qualità delle serie giornaliere basata su test effettuati da Istituzioni europee ed internazionali responsabili della raccolta e della diffusione di dati climatici - Metodologia statistica robusta di stima delle tendenze climatiche, applicata a un set di indici rappresentativi dei valori medi e degli estremi climatici, definiti dalla Commissione per la Climatologia della WMO 	<ul style="list-style-type: none"> - Scarsa disponibilità di serie storiche di dati climatici in alcune aree - Diverse serie storiche non utilizzabili perché non rispondono ai criteri di qualità richiesti

Tabella 20 – Punti di forza e di debolezza relativi alle proiezioni climatiche future

Punti di forza	Punti di debolezza
<ul style="list-style-type: none"> - Analisi delle proiezioni degli RCM che partecipano all'iniziativa Med-CORDEX, la fonte più importante e aggiornata di proiezioni modellistiche sull'area del Mediterraneo e quindi sull'Italia - Disponibilità di output di più modelli (con risoluzione 50x50 km) nei due scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5 fino al 2100; questo permette di stimare la proiezione media di ogni variabile o indice (ensemble mean) e la relativa incertezza (spread) 	<ul style="list-style-type: none"> - Risoluzione dei modelli di 50x50 km, troppo bassa per la stima delle variazioni previste a livello locale

Tabella 21 – Punti di forza e di debolezza relativi all'analisi di vulnerabilità

Punti di forza	Punti di debolezza
<ul style="list-style-type: none"> - Metodologia accessibile e facile da implementare - Possibilità di mettere a confronto differenti realtà sulla base di opportuni indicatori - Risultati come utili input ai fini dell'individuazione delle priorità di intervento e della predisposizione di misure di adattamento 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitata disponibilità di dati per il popolamento degli indicatori e necessità di ricorrere ad indicatori <i>proxy</i>; - Aggregazione tramite media geometrica degli indicatori poco rappresentativa di una realtà più complessa; - Scarsità di riferimenti scientifici solidi in letteratura a supporto dei sistemi di pesatura degli indicatori; - Allineamento non coerente degli indicatori rispetto alla vulnerabilità (es. capacità di adattamento) - Risultati prodotti in termini di vulnerabilità relativa (il rosso è più vulnerabile del verde) e non assoluta (il rosso è altamente vulnerabile); - Mancanza di metodologie e approcci significativi per la validazione dei risultati;

La metodologia illustrata rappresenta uno dei primi tentativi di quantificare i livelli di vulnerabilità di un territorio e propone un approccio semplificato che, tuttavia, difficilmente riesce a descrivere la complessità dei fenomeni ambientali e le dinamiche a catena innescate

dai cambiamenti climatici. Le catene di impatti, infatti, come qualsiasi modello, hanno lo scopo di ridurre la complessità del mondo reale: più complesso è il modello, più complessa è la valutazione e maggiori sono le risorse di tempo ed economiche necessarie, ma certamente più aderenti alle realtà saranno i risultati. Inoltre, pur con l'obiettivo di analizzare la Vulnerabilità ai cambiamenti climatici, è necessario tenere presente che nella realtà intervengono numerosi fattori *non climatici* che non andrebbero pertanto trascurati nell'analisi.

L'affidabilità dei risultati dipende, inoltre, dalla qualità dei dati di input. Si raccomanda, a tal proposito, di dedicare ogni sforzo possibile alla raccolta di dati di qualità e quanto più significativi ai fini del popolamento di indicatori adeguati, anche al fine di ridurre il ricorso ad indicatori *proxy* che non faranno che alimentare il livello di approssimazione dei risultati.

Anche la normalizzazione dei dati rappresenta una fase delicata che può inficiare la significatività dei risultati e condurre ad interpretazioni scorrette. A seconda dei valori soglia che si impiegano come valore minimo e massimo, infatti, varia la lettura del dato ottenuto: se come minimo e massimo si utilizzano, come nel caso suggerito nel presente documento, il valore minimo ed il valore massimo *nell'ambito della serie considerata*, il risultato ottenuto avrà un valore relativo rispetto a quella serie. Ciò significa che il colore "rosso" significherà "più vulnerabile di verde" ma non potrà avere un valore assoluto di "altamente vulnerabile". Si consiglia, pertanto, di tenere in considerazione questo aspetto per evitare di trarre conclusioni errate.

Per una valutazione che possa avere, invece, una connotazione assoluta si dovrà ricorrere all'utilizzo di soglie specifiche eventualmente proposte nella letteratura scientifica di riferimento o al giudizio di esperti del contesto territoriale locale.

Per quanto riguarda la pesatura degli indicatori, in mancanza di riferimenti scientifici validi si è ritenuto più adeguato considerare un peso pari a 1, nella consapevolezza che questa non sia comunque la scelta ideale né la più aderente alla realtà. I determinanti della Vulnerabilità non hanno, infatti, egual peso nel determinare i fenomeni analizzati: il peso che un fattore può avere dipende dal contesto locale nonché dalla tipologia degli altri fattori in gioco rispetto ai quali esso viene confrontato. A questo proposito le Linee Guida propongono, solo a titolo esemplificativo, l'approccio *Analytic Hierarchy Process* (processo analitico di gerarchizzazione) che può essere utile nell'analizzare e supportare la comprensione di problemi decisionali complessi.

Qualsiasi procedura venga adottata, anche nel caso della pesatura potrà essere comunque utile consultare esperti locali che possano in qualche modo orientare e fornire indirizzi sulle

scelte più corrette e maggiormente rispondenti alla realtà.

Resta, infine, da riflettere su quale sia l'approccio più adeguato al fine di validare correttamente i risultati ottenuti. Non essendo quantificabile, la vulnerabilità resta un concetto teorico e difficilmente "misurabile a terra" come richiederebbe un'appropriata procedura di validazione tramite punti di controllo. Gli unici "strumenti di verifica" utili a tale scopo potrebbero essere basati, ancora una volta, sul livello conoscitivo del territorio da parte degli esperti locali che possano confermare o meno l'attendibilità dei risultati rispetto alla situazione reale.

In una prospettiva futura sarà necessario promuovere ulteriori ricerche ed applicazioni pilota che possano consentire di mettere a sistema nuovi elementi utili a far superare gli aspetti metodologici critici sopra menzionati e a compiere ulteriori passi avanti in questo ambito. Migliorare l'attendibilità delle analisi di vulnerabilità significherà, infatti, rafforzare la capacità di monitorare e valutare i cambiamenti che si verificheranno nel tempo in una determinata area, sia a livello di valore complessivo che di singoli indici e indicatori, fornendo così gli elementi necessari ai decisori politici che dovranno implementare le misure di adattamento o a chi sarà impegnato nella valutazione dell'efficacia delle azioni nel frattempo realizzate.

5 BIBLIOGRAFIA

Aguilar E., Auer I., Brunet M., Peterson T.C., & Wieringa J., (2003) *Guidance on metadata and homogenization*, WMO TD 1186.

Alexander L. V., Zhang X., Peterson T. C., Caesar J., Gleason B., Klein Tank A.M.G., Haylock M., Collins D., Trewin B., Rahimzadeh F., Tagipour A., Rupa Kumar K., Revadekar J., Griffiths G., Vincent L., Stephenson D.B., Burn J., Aguilar E., Brunet M., Taylor M., New M., Zhai P., Rusticucci M. & Vazquez-Aguirre J.L. (2006), "Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation" *J. Geophys. Res.*, 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.

Alexandersson H. (1986) "A homogeneity test applied to precipitation data", *J. Climate*, 6: 661–675.

Brunet M., Saladié O., Jones P., Sigró J., Aguilar E., Moberg A., Lister D., Walther A., Lopez D. & Almarza C. (2006), "The development of a new dataset of Spanish Daily Adjusted Temperature Series (SDATS) (1850–2003)" *Int. J. Climatol.*, 26: 1777–1802. doi:10.1002/joc.1338.

Buishand T.A. (1982), "Some methods for testing the homogeneity of rainfall records" *J. Hydrol.*, 58: 11–27. doi: 10.1016/0022-1694(82)90066-X.

Cardona, O.D., van Aalst M.K., Birkmann J., Fordham M., McGregor G., Perez R., Pulwarty R.S., Schipper E.L.F. & Sinh B.T. (2012), "Determinants of risk: exposure and vulnerability. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation" [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 65–108.

Della Marta P.M. & Wanner H. (2006), "A Method of Homogenizing the Extremes and Mean of Daily Temperature Measurements", *J. Climate*, 19: 4179–4197. doi:10.1175/JCLI3855.1

Desiato F., Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W. & Piervitali E. (2012), "Elaborazione delle serie temporali per la stima delle tendenze climatiche". Rapporto ISPRA/Stato dell'Ambiente 32/2012.

Desiato F., Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W. & Piervitali E. (2015), "Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali". Rapporto ISPRA/Stato dell'Ambiente 58/2015.

Desiato F., Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W. & Piervitali E. (2017), "Gli indicatori del clima in Italia nel 2016". Rapporto ISPRA/Stato dell'Ambiente 72/2017.

Desiato F., Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W. & Toreti A. (2011), "Climate indicators for Italy: calculation and dissemination". *Adv. Sci. Res.*, 6: 147–150.

Diffenbaugh N.S., Pal J.S., Giorgi F., & Xuejie G. (2007). "Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot". *Geoph. Res. Letters*, 34, L11706, doi:10.1029/2007GL030000.

Donat M.G., Alexander L.V., Yang H., Durre I., Vose R., Dunn R., Willett K., Aguilar E., Brunet M., Caesar J., Hewitson B., Jack C., Klein Tank A.M.G., Kruger A.C., Marengo J., Peterson T.C., Renom M., Oria Rojas C., Rusticucci M., Salinger J., Sekele S.S., Srivastava A.K., Trewin B., Villarroel C., Vincent L.A., Zhai P., Zhang X. & Kitching S. (2013) "Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset", *J. Geophys. Res.*, 118: 2098-2118. doi: 10.1002/jgrd.50150.

Durre I., M. J. Menne, B. E. Gleason, T. G. Houston & Vose R. S. (2010), "Comprehensive automated quality assurance of daily surface observations", *J. Appl. Meteor. Climat.*, 8: 1615-1633.

EEA (2017), *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 - An indicator-based report*, EEA Report N.1 2017.

Ehret U., E. Zehe, V. Wulfmeyer, K. Warrach-Sagi & J. Liebert (2012), "Should we apply bias correction to global and regional climate model data?", *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16: 3391-3404. doi:10.5194/hess-16-3391-2012.

Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W., Piervitali E. & Desiato F. (2013), "Variazioni e tendenze degli estremi di temperatura e precipitazione in Italia". Rapporto ISPRA/Stato dell'Ambiente 37/2013.

Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W., Piervitali E. & Desiato F. (2016), "Controlli di qualità delle serie temporali di temperatura e precipitazione". Rapporto ISPRA/Stato dell'Ambiente 66/2016.

Fioravanti G., Piervitali E. & Desiato F. (2015), "Recent changes of temperature extremes over Italy: an index-based analysis", *Theor. Appl. Climatol.*, 119, doi: 10.1007/s00704-014-1362-1.

FAO (2016), *Glossary Full-cost accounting*.

Giordano F., Capriolo A., Mascolo R. (2013). *Planning for adaptation to climate change - Guidelines for Municipalities*. Progetto LIFE ACT - Adapting to Climate change in Time.

Giorgi F. (2006), "Climate change hot-spots", *Geoph. Res. Letters*, 33, L08707, doi:10.1029/2006GL025734.

GIZ, Adelphi and EURAC research (2014), *The Vulnerability Sourcebook - Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments*.

GIZ & 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, GIZ.

Hartmann D.L., Klein Tank A.M.G., Rusticucci M., Alexander L.V., Brönnimann S., Charabi Y., Dentener F.J., Dlugokencky E.J., Easterling D.R., Kaplan A., Soden B.J., Thorne P.W., Wild M., Zhai P.M. (2013), *Observations: Atmosphere and Surface*. In: Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V. & Midgley P.M. (eds) (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: 159-254.

IPCC (2000), *Special Report on Emissions Scenarios*. Nakicenovic N. & Swart R. (eds), Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC (2014a), *Annex II: Glossary* [Agard, J., E. L. F. Schipper, J. Birkmann, M. Campos, C. Dubeux, Y. Nojiri, L. Olsson, B. Osman-Elasha, M. Pelling, M. J. Prather, M. G. Rivera-Ferre, O. C. Ruppel, A. Sallenger, K. R. Smith, A. L. St. Clair, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea and T. E. Bilir (eds.)]. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V. R., C. B. Field, D. J. Dokken, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea and L. L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1757–1776.

Jacob D. et al. (2014), *"EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research"*, Reg Environ Change, 14: 563–578. doi 10.1007/s10113-013-0499-2.

Kendall M.G., (1976), *Rank Correlation Methods*, 4th edn. Griffin, London.

Klein Tank A.M.G. , Zwiers F.W. & Zhang X. (2009), *"Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation"*, Climate Data and Monitoring WCDMP, 72, WMO-TD N. 1500, 56pp.

Klein Tank A.M.G. & Können G.P. (2003), *"Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99"* J. Climate, 16: 3665-3680.

Kuglitsch F.G., Toreti A., Xoplaki E., Della-Marta P.M., Luterbacher J. & Wanner H. (2009), *"Homogenization of daily maximum temperature series in the Mediterranean"*, J. Geoph. Res., 114, D15108, doi:10.1029/2008JD011606.

Li J. & Heap A.D. (2008), *"A review of spatial interpolation methods for environmental scientists"*, Geoscience Australia, Record 2008/23, 137 pp.

Mann H.B. (1945), "Nonparametric tests against trend", *Econometrica*, 13: 245-259 doi:10.2307/1907187.

MATTM (2017a), *Prima stesura pubblica del PNACC per la Consultazione Pubblica del 2 agosto 2017*.

MATTM (2017b), *Primo Rapporto sullo Stato del Capitale Naturale in Italia*.

Olsson J., Yang W. & Bosshard T. (2013), "Climate model prediction in hydrological impact studies: limitations and possibilities", *J. Water Manag. Res.*, 69: 221-230.

OECD (1993), *OECD Core set of indicators for environmental performance reviews - A synthesis report by the Group on the State of the Environment*.

OECD (2003), *OECD Environmental indicators, development, measurement and use - Reference paper* (<http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/latestdocuments/6/>).

Peterson T.C. & Easterling D.R. (1994), "Creation of homogeneous composite climatological reference series", *Int. J. Climatol.*, 14: 691-679.

Peterson T.C., Easterling D.R., Karl T.R., Groisman P., Nicholls N., Plummer N., Torok S., Auer I., Boehm R., Gullett D., Vincent L., Heino R., Tuomenvirta H., Mestre O., Szentimrey T., Salinger J., Førland E.J., Hanssen-Bauer I., Alexandersson H., Jones P. & Parker D. (1998), "Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review", *Int. J. Climatol.*, 18: 1493-1517. doi: 10.1002/(SICI)1097-0088(19981115) 18:13<1493::AID-JOC329>3.0.CO;2-T.

Peterson T.C., Folland C., Gruza G., Hogg W., Mokssit A. & Plummer N. (2001), *Report on the activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001*, World Meteorological Organization, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneva, Switzerland, 143 pp.

Pettitt A. N. (1979), "A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem", *Journal of the Royal Statistical Society, C*, 28: 126-135. doi: 10.2307/2346729.

Regione Lombardia (Gian Luca Gurrieri, Nadia Carfagno, Alberto Suppa, Maria Grazia Pedrana) & Fondazione Lombardia per l'Ambiente (M. Pregolato, F. Frascini, A. Ballarin Denti) (2016), *Documento di Azione Regionale per l'Adattamento al Cambiamento Climatico*.

Russo S. & Sterl A. (2011), "Global changes in indices describing moderate temperature extremes from the daily output of a climate model", *J. Geophys. Res.*, 116: D03104, doi:10.1029/2010JD014727.

Ruti P., Somot S., Giorgi F., Dubois C., Flaounas E., Obermann A., Dell'Aquila A., Pisacane G.,

Harzallah A., Lombardi E., et al. (2015), "*MED-CORDEX initiative for Mediterranean climate studies*", Bull Amer Meteor Soc., doi:10.1175/BAMS-D-14-00176.1.

Seidel D.J. & Lanzante J.R. (2004), "*An assessment of three alternatives to linear trends for characterizing global atmospheric temperature changes*", J. Geoph. Res., 109, D14108, doi:10.1029/2003JD004414.

Sen P.K. (1968), "*Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau*", J. Am. Stat. Assoc., 63: 1379–1389. doi: 10.1080/01621459.1968.10480934.

Sillmann J., Kharin V.V., Zwiers F. W., Zhang X. & Bronaugh D. (2013) "*Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections*", J. Geophys. Res. Atmos., 118: 2473–2493, doi:10.1002/jgrd.50188.

Tomé A.R. & Miranda P.M.A. (2004), "*Piecewise linear fitting and trend changing points of climate parameters*", Geoph. Res. Letters, 31, L02207, doi:10.1029/2003GL019100.

Toreti A. & Desiato F. (2008a), "*Temperature trend over Italy from 1961 to 2004*", Theor. Appl. Climatol., 91: 51-58.

Toreti A. & Desiato F. (2008b), *Changes in temperature extremes over Italy in the last 44 years.*

Toreti A., Kuglitsch F.G., Xoplaki E., Luterbacher J. & Wanner H. (2010), "*A Novel Method for the Homogenization of Daily Temperature Series and Its Relevance for Climate Change Analysis*", J. Climate, 23: 5325–5331. doi: 10.1175/2010JCLI3499.1.

Van Vuuren D.P., Edmonds J., Kainuma M., Riahi K., Thomson A., Hibbard K., Hurtt G.C., Kram T., Krey V., Lamarque J.F., Masui T., Meinshausen M., Nakicenovic N., Smith S.J. & Rose S.K. (2011), "*The representative concentration pathways: an overview*", Clim. Change, 109: 5-31. doi: 10.1007/s10584-011-0148-z.

Venema V. K. C., Mestre O., Aguilar, E., Auer I., Guijarro J. A., Domonkos P., Vertacnik G., Szentimrey T., Stepanek P., Zahradnicek P., Viarre, J., Müller-Westermeier G., Lakatos M., Williams C. N., Menne M. J., Lindau R., Rasol D., Rustemeier E., Kolokythas K., Marinova T., Andresen L., Acquavotta F., Fratianni S., Cheval S., Klancar M., Brunetti M., Gruber C., Prohom Duran M., Likso T., Esteban P. & Brandsma T. (2012), "*Benchmarking homogenization algorithms for monthly data*", Clim. Past, 8: 89-115. doi:10.5194/cp-8-89-2012.

Vincent L.A., Peterson T.C., Barros V.R., Marino M.B., Rusticucci M., Carrasco G., Ramirez E., Alves L.M., Ambrizzi T., Berlato M.A., Grimm A.M., Marengo J.A., Molion L., Moncunill D.F., Rebello E., Anunciação Y.M.T., Quintana J., Santos J.L., Baez J., Coronel G., Garcia J., Trebejo I., Bidegain M., Haylock M.R. & Karoly D. (2005), "*Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960–2000*", J. Clim., 18: 5011–5023. doi: 10.1175/JCLI3589.1.

UK Natural Capital Committee (2013), *The State of Natural Capital (2013): Towards a framework for measurement and valuation*, First Report.

Von Neumann (1941), "Distribution of the Ratio of the Mean Square Successive Difference to the Variance", *Ann. Math. Statist.*, 12: 367-395.

Von Storch H. (1995), "Misuses of statistical analysis in climate research", in Von Storch H. & Navarra A. (eds), *Analysis of Climate Variability*, Springer, New York, pp 11–26.

Wang X.L. (2008a), "Penalized maximal F-test for detecting undocumented mean-shifts without trend-change", *J. Atmos. Ocean. Technol.*, 25: 368–384.

Wang X.L. (2008b), "Accounting for autocorrelation in detecting mean-shifts in climate data series using the penalized maximal t or F test", *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, 47: 2423–2444.

Wang X.L. & Swail V.R. (2001), "Changes in extreme wave heights in northern hemisphere oceans and related atmospheric circulation regimes", *J. Climate*, 14: 2204-2221. doi: 10.1175/1520-0442(2001)014<2204:COEWHI>2.0.CO;2.

Wang X.L., Wen Q.H. & Wu Y. (2007), "Penalized maximal t test for detecting undocumented mean change in climate data series", *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, 46: 916–931. doi: 10.1175/JAM2504.1.

Wijngaard A. M., Klein Tank G. & Können G. P. (2003), "Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series", *Int. J. Climatol.*, 23: 679–692. doi:10.1002/joc.906.

WMO (2011), *Guide to Climatological Practices*, WMO-No.100, Geneva.

Zhang X., Vincent L. A., Hogg W. D. & Niitsoo A. (2000), "Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century", *Atmos. Ocean*, 38: 395 – 429.

Zollo A. L., Rillo V., Bucchignani E., Montesarchio M. & Mercogliano P. (2016), "Extreme temperature and precipitation events over Italy: assessment of high-resolution simulations with COSMO-CLM and future scenarios", *Int. J. Climatol.*, 36: 987–1004. doi:10.1002/joc.4401.



MASTER ADAPT

MAInSTreaming Experiences
at Regional and local level
for ADAPtation to climate change



Contribution to the 2014-2020 Operational Program "Regional Development"
with the contribution of the LIFE financial instrument of the European Community

LIFE 2014/2020 - MAInSTreaming Experiences at Regional and local level
for ADAPtation to climate change - LIFE15/CA/2014/0004

Coordinatore



Partners

AMBIENTEITALIA



uniss



1
2
3
4
5
6
7



Con il contributo di

fondazione
cariplo

