



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

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

DOCUMENTO DI SINTESI DELLE

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

AUTORI:

per ISPRA: Lorenzo Barbieri, Viviana Lucia, Francesca Giordano

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. Pregnolato (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

v. documento originario

Sommario

Analizzare il clima passato e prevedere scenari futuri.....	4
L'Analisi dei trend climatici	4
Le Proiezioni climatiche future	5
Definizioni e framework concettuali sulla vulnerabilità e sui rischi associati ai cambiamenti climatici	6
La valutazione della vulnerabilità: approcci qualitativi e quantitativi	9
L'approccio metodologico per l'analisi di vulnerabilità del progetto MASTER ADAPT	10
Passo 1: Caratterizzare il contesto dal punto di vista ambientale e socio-economico.....	15
Passo 2: Identificare le sorgenti di pericolo di natura climatica	17
Passo 3: Identificare i potenziali impatti	19
Passo 4: Individuare gli elementi esposti	21
Passo 5: Valutare la sensibilità	22
Passo 6: Valutare la capacità di adattamento.....	23
Passo 7: Valutare la vulnerabilità ai cambiamenti climatici	24
Considerazioni conclusive e prospettive future.....	25

Questo documento costituisce il secondo *deliverable* dell'azione A1 *Climate analysis and vulnerability assessment at Regional level* e si basa sull'esperienza maturata dal partenariato in occasione della realizzazione del primo *deliverable* "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 fornire agli amministratori regionali e locali, impegnati in percorsi istituzionali finalizzati all'adattamento ai cambiamenti climatici dei propri territori, gli elementi indispensabili alla definizione di un quadro delle conoscenze scientifiche propedeutico alla pianificazione delle più opportune misure di adattamento.

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

- A. analisi climatiche (trend passati e presenti, scenari futuri);
- B. valutazione della vulnerabilità.

Analizzare il clima passato e prevedere scenari futuri

L'osservazione delle variazioni climatiche del passato e la stima di quelle future costituisce il presupposto indispensabile alla previsione degli impatti sul territorio e alla definizione delle strategie/piani di adattamento ai cambiamenti climatici.

La **ricostruzione del clima** del passato rappresenta la fonte primaria di informazioni e consente di valutare se eventuali segnali climatici siano riconoscibili sul territorio.

La principale criticità dell'analisi riguarda la disponibilità di un insieme rappresentativo per la regione in esame, di serie di dati che rispondono a requisiti di qualità, completezza e continuità.

La previsione dei cambiamenti climatici futuri si basa sulle proiezioni di modelli climatici.

A tal fine vengono utilizzati:

- **modelli di circolazione generale atmosfera-oceano (AOGCM)**: sono rappresentativi delle caratteristiche medie del clima passato e recente, con risoluzione orizzontale di 250-600 km; poco adatti a valutare i cambiamenti climatici su scala regionale, non includono diversi processi fisici che si verificano ad una scala più piccola della risoluzione del modello.
- **"Regional Climate Models" (RCM)**: forniscono una migliore simulazione dei fenomeni a scala regionale e locale, con una più elevata risoluzione (10-50 km) e una più completa rappresentazione dei processi fisici, **producono proiezioni climatiche su una specifica area di interesse**.

L'Analisi dei trend climatici

Lo studio delle variazioni climatiche passate e in corso, viene effettuato tramite tecniche statistiche di riconoscimento e stima dei trend e prevede diverse fasi:

- Controllo della qualità dei dati (temperatura e precipitazioni) dalle stazioni disponibili e selezione delle serie utili per l'analisi, secondo criteri di lunghezza, completezza e continuità;

- Verifica dell'omogeneità delle serie, tramite test statistici e il supporto di metadati disponibili;
- Calcolo degli indici¹ estremi (temp. e precipitazioni);
- Calcolo delle serie regionali, sia i valori medi che gli indici estremi (temp. e precipitazioni);
- Valutazione delle tendenze delle serie regionali, tramite metodi statistici di riconoscimento e stima dei trend.

Una sintesi dei valori climatici medi e degli indici estremi viene pubblicata annualmente da ISPRA nello specifico Rapporto "Gli indicatori del clima in Italia".

Le 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 socioeconomico globale che tengono conto di una serie di variabili tra cui il cambiamento tecnologico, energetico e l'uso del suolo, le emissioni di gas serra e di inquinanti atmosferici.

Il Panel Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (IPCC) mette a disposizione gli scenari futuri a scala globale (*Representative Concentration Pathways* - RCP) utili da utilizzare come input per i modelli climatici. I quattro RCP includono:

- uno scenario di mitigazione (RCP2.6),
- due scenari intermedi (RCP4.5 e RCP6)
- uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione (RCP8.5).

La fonte più importante e aggiornata di proiezioni modellistiche sull'area del Mediterraneo è costituita da Med-CORDEX, una parte del CORDEX (*Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment*), le cui proiezioni si basano sugli scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5 e utilizzano modelli RCM ad alta risoluzione. Le simulazioni hanno una risoluzione di 50x50km e sono fornite da diversi modelli fino all'anno 2100.

Nel progetto LIFE MASTER ADAPT è stata applicata la stessa metodologia utilizzata nell'ambito del Rapporto ISPRA "Il clima futuro in Italia" in cui vengono analizzate le proiezioni del clima per il XXI secolo. Dall'insieme delle simulazioni di Med-CORDEX sono stati estratti ed elaborati gli output giornalieri di temperatura (max, min e media) e di precipitazione cumulata relative al territorio italiano, dei quattro modelli RCM nei due scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5. Per tre orizzonti temporali (2021-2050, 2041-2060 e 2061-2090), sono stati calcolati sia i valori medi che gli indici estremi ETCCDI di temperatura e precipitazioni, significativi per il clima italiano e riportati in termini di differenze rispetto al valore medio di 1971-2000.

¹ Gli indici si possono dividere in diverse categorie: indici definiti da un valore di soglia fisso; indici assoluti; indici basati sui percentili; indici di durata; altri indici.

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

Tabella 1-Modelli RCM selezionati dal programma Med-CORDEX, per l'analisi del clima futuro in Italia

Le proiezioni climatiche sono state realizzate secondo la seguente procedura:

1. Estrazione delle proiezioni di temperatura e precipitazione dai modelli climatici disponibili, relativi all'area di interesse. Considerazione degli output di più modelli, in diversi scenari di emissione (per avere anche una stima dell'incertezza);
2. Calcolo dei valori medi e degli indici rappresentativi degli estremi di temperatura e precipitazione per orizzonti temporali di 30 anni (es. 2021-2050, 2041-2060 e 2061-2090);
3. Valutazione delle proiezioni climatiche in termini di differenze tra il valore di una variabile/indice su un trentennio e il valore corrispondente nel periodo climatologico di riferimento, al fine di rendere confrontabili i risultati dei diversi modelli.

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

Il concetto e la definizione di "vulnerabilità" climatica nei Rapporti che l'IPCC ha prodotto negli ultimi decenni ha subito delle evoluzioni. Questa rielaborazione concettuale definisce nel V Rapporto IPCC 2014 (AR5) come "**rischio**" ciò che nel IV Rapporto IPCC 2007 (AR4) veniva considerata "**vulnerabilità**".

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

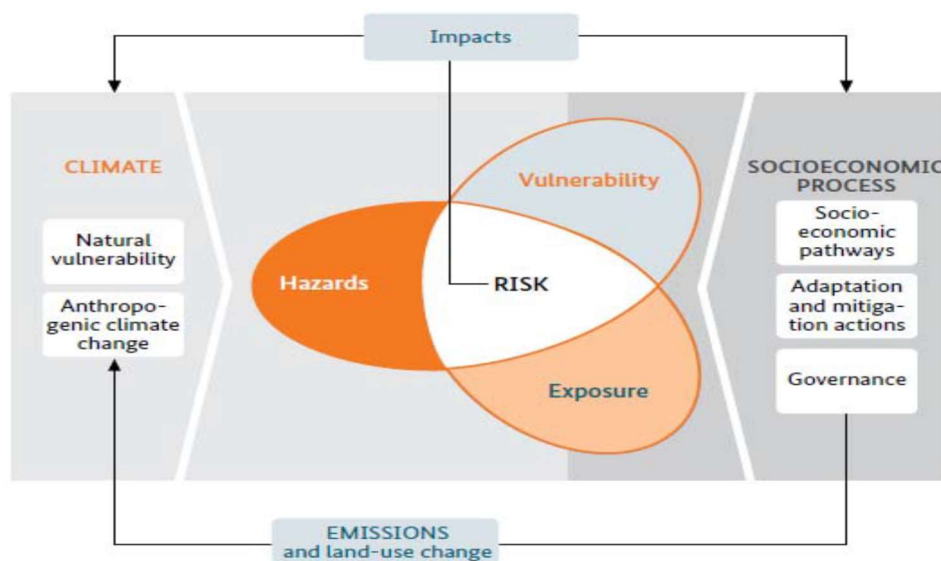


Figura 1 – Illustrazione dei concetti chiave proposti dal Panel Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (IPCC, 2014)

Per l'analisi di vulnerabilità eseguita nell'Azione A1 di MASTER ADAPT è stata seguita la definizione modulata nel modo seguente:

rischio = vulnerabilità (A) + esposizione (B) + hazard o sorgente di pericolo (C)

dove

- **rischio** = le potenziali conseguenze in cui 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 accadessero. Il rischio risulta dall'interazione tra la vulnerabilità, l'esposizione e la sorgente di pericolo.

Se nel framework concettuale precedente (AR4) la vulnerabilità combinava insieme l'esposizione, la sensibilità e la capacità di adattamento, nella sua ridefinizione (AR5) essa viene determinata sulla base della sensibilità e della capacità di adattamento, secondo le seguenti enunciazioni:

- **(A) - vulnerabilità (sensibilità + capacità)** = "la propensione o la predisposizione ad essere negativamente colpiti. La Vulnerabilità comprende una varietà di concetti ed elementi inclusa la Sensibilità o la suscettibilità al danno e la mancanza di capacità di far fronte ed adattarsi" 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;
 - **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.
- **(B) - 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

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

- **(C) - hazard** o sorgente di pericolo: *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. Eventi fisici associati al clima o a trend o ai loro impatti fisici.*
- **sensività:** *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]*
- **capacità** (capacità di fronteggiare + capacità di adattamento): *è la capacità delle società e delle comunità di prepararsi e rispondere agli impatti climatici attuali e futuri. Essa comprende:*
 - **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);*
 - **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 oggi.*

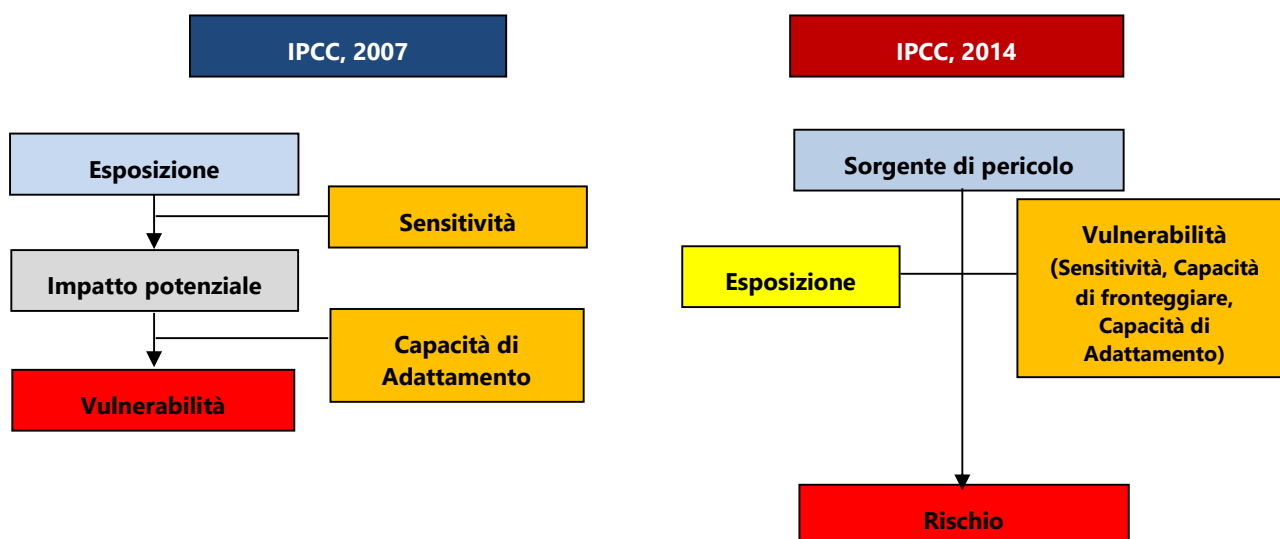


Figura 2 –Confronto tra i fattori componenti la vulnerabilità ai cambiamenti climatici (IPCC 2007) ed il rischio associato ai cambiamenti climatici (IPCC 2014)

Entrambi i *framework* distinguono cause esterne al sistema associate al clima ma in entrambi i casi solo la combinazione di tutte le componenti permette di delineare il risultato finale: **vulnerabilità** o **rischio**.

Tabella 2– Confronto tra i significati dei concetti chiave nei report IPCC 2007 e IPCC 2014

ESEMPIO		IPCC 2007	IPCC 2014
Segnale climatico esterno	Scarsità di precipitazione	Esposizione	Sorgente di pericolo (Hazard)
Impatto fisico diretto	Siccità	Impatto potenziale	Sorgente di pericolo (Hazard)
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

La valutazione della vulnerabilità: approcci qualitativi e quantitativi

La vulnerabilità non è una caratteristica misurabile di un sistema e non può essere facilmente sintetizzata con un numero, ma va interpretata per lo più attraverso la descrizione di una situazione o condizione e sulla base dell'interazione tra più fattori insieme.

Quando si parla di vulnerabilità i fattori da considerare sono quindi:

- *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)*: cause esterne ad un sistema come una tempesta, una 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*: a quale orizzonte temporale si riferisce la vulnerabilità (presente o futuro).

Una comprensione approfondita di come un settore/sistema/territorio si comporti rispetto ai cambiamenti climatici contribuisce a stabilire obiettivi e 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 adattamento.

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.

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

Vi sono numerosi esempi, nella letteratura scientifica internazionale, di valutazioni di vulnerabilità sia qualitative che quantitative.

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

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

Avviata nell'Ottobre 2016, l'analisi è stata realizzata a partire dalla definizione di vulnerabilità proposta più recentemente dall'IPCC (AR5 del 2014), facendo riferimento ai metodi di elaborazione e di aggregazione degli indicatori proposti nell'ambito di metodi già precedentemente sperimentati.

Le criticità metodologiche riscontrate hanno messo in evidenza come ci siano diverse problematiche da risolvere per far sì che questo tipo di valutazione possa diventare più accessibile alle amministrazioni regionali e locali che vogliono intraprendere un percorso di adattamento ai cambiamenti climatici.

Sulla base della sperimentazione effettuata queste Linee Guida illustrano in **sette passi** il percorso metodologico realizzato ai fini della valutazione della vulnerabilità, fornendo la descrizione degli indicatori e del metodo adottati per l'elaborazione degli indici sintetici:

- *Passo 1: Caratterizzare il contesto dal punto di vista ambientale e socio-economico*
- *Passo 2: Identificare le sorgenti di pericolo di natura climatica*
- *Passo 3: Identificare i potenziali impatti*
- *Passo 4: Individuare gli elementi esposti*
- *Passo 5: Valutare la sensibilità*
- *Passo 6: Valutare la capacità di adattamento*
- *Passo 7: Valutare la vulnerabilità ai cambiamenti climatici*

La valutazione della vulnerabilità ai cambiamenti climatici proposta si basa sull'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 (Passi 1-2-3), per identificare e valutare i principali fattori e beni del sistema maggiormente influenzati dal cambiamento climatico (Passo 4), per valutare la sensibilità al danno derivante dai cambiamenti climatici (Passo 5) e la capacità di rispondere e adattarsi a tali cambiamenti (Passo 6). Il tutto viene completato nell'ultima fase (Passo 7) con la valutazione finale della vulnerabilità.

Per ciascuna azione è necessario procedere, attraverso fasi successive e conseguenti, a elaborare i singoli indicatori per il calcolo finale della vulnerabilità:

- 1) Raccolta dati;
- 2) Normalizzazione e allineamento degli indicatori;
- 3) Ponderazione degli indicatori;
- 4) Calcolo dell'Indice Globale e presentazione dei risultati.

1. Raccolta dati.

Almeno un indicatore per singola categoria (esposizione, sensibilità e capacità di adattamento) deve essere selezionato. Elementi utili per la selezione degli indicatori sono descritti nei Passi 4, 5 e 6. Per ciascun indicatore selezionato è necessario 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 tra cui ad esempio:

- 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*).

2. Normalizzazione e allineamento degli indicatori.

E' necessario uniformare gli indicatori selezionati per ciascuna categoria (esposizione, sensibilità e capacità di adattamento) per elaborare un indice globale sintetico e poter 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, 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, possono essere utilizzati diversi metodi di normalizzazione.

Normalizzazione dei valori dell'indicatore metrico.

Gli indicatori misurati usando una scala metrica (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 il *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;

vulnerabilità: valori bassi=condizioni positive

valori alti =condizioni negative

più il valore è alto, maggiore è la vulnerabilità.

capacità di adattamento: valori bassi = condizioni positive

valori alti =condizioni negative

più il valore è basso, maggiore è la capacità di adattamento

In questo caso il *range* di valori dell'indicatore deve essere invertito in modo che il valore più basso sia rappresentato dal valore 1 e il più alto sia rappresentato dal valore 0. Questa inversione si applica sottraendo il valore dell'indicatore da 1.

Maggiore è la capacità di adattamento minore è la vulnerabilità.

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 le 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 metrici.

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

3. 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 (in questo caso i diversi indicatori avranno stessa influenza ai fini dell'analisi). E' raccomandabile assegnare diversi pesi agli indicatori in modo che riflettano la loro reale (e diversa) importanza.

Anche nel processo di assegnazione di pesi *l'approccio partecipativo* consente il coinvolgimento di *stakeholder* ed esperti (ad es. attraverso *workshops* o questionari) per attivare un processo trasparente e condiviso di riconoscimento degli indicatori più rilevanti per singolo fenomeno. 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.

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)**.

Metodo AHP

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. 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.

4. 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, combinando gli ultimi due ai fini dell'elaborazione finale dell'Indice Globale di Vulnerabilità.

I metodi di aggregazione proposti sono due:

Aggregazione aritmetica ponderata

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

Aggregazione geometrica ponderata

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

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'analisi.

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

Il primo passo (*Caratterizzare il contesto dal punto di vista ambientale e socio-economico*) per la valutazione della vulnerabilità e dei rischi di un territorio ai cambiamenti climatici consiste nell'analisi del contesto, cioè delle circostanze e situazioni in cui un fenomeno si verifica. Si tratta quindi di sintetizzare e interpretare come le qualità, le sensibilità e le criticità di un territorio contribuiscano ad influenzarne la resilienza, vale a dire la capacità di risposta a fattori di stress esogeni.



Questo va fatto attraverso la selezione e il popolamento di un adeguato set di indicatori che sia in grado di sostenere una lettura della situazione attuale, la comprensione delle tendenze in atto e la capacità di monitorare le azioni di piano nel corso del loro sviluppo. Per indicatori si possono intendere parametri, cioè proprietà misurate o osservate, oppure dati, che derivano dall'elaborazione di uno o più parametri. Inoltre essi possono avere un rapporto diretto con il fenomeno da misurare, oppure un rapporto indiretto: sono quindi *proxy*, approssimazioni indirette del fenomeno stesso.

È utile tenere conto di tre requisiti nella selezione degli indicatori: rilevanza e utilità, consistenza analitica e misurabilità. L'indicatore deve quindi: poter rappresentare adeguatamente il fenomeno, essere facilmente interpretabile e rappresentare le variazioni nel tempo e nello spazio; essere attendibile dal punto di vista teorico e scientifico; basarsi su dati ragionevolmente disponibili, documentati e aggiornati regolarmente.

Una volta effettuati la raccolta e il popolamento degli indicatori, che dovranno rappresentare diversi temi in maniera omogenea, sarà opportuno redigere un rapporto di analisi di contesto che descriva i risultati dell'analisi fatta sui singoli indicatori.

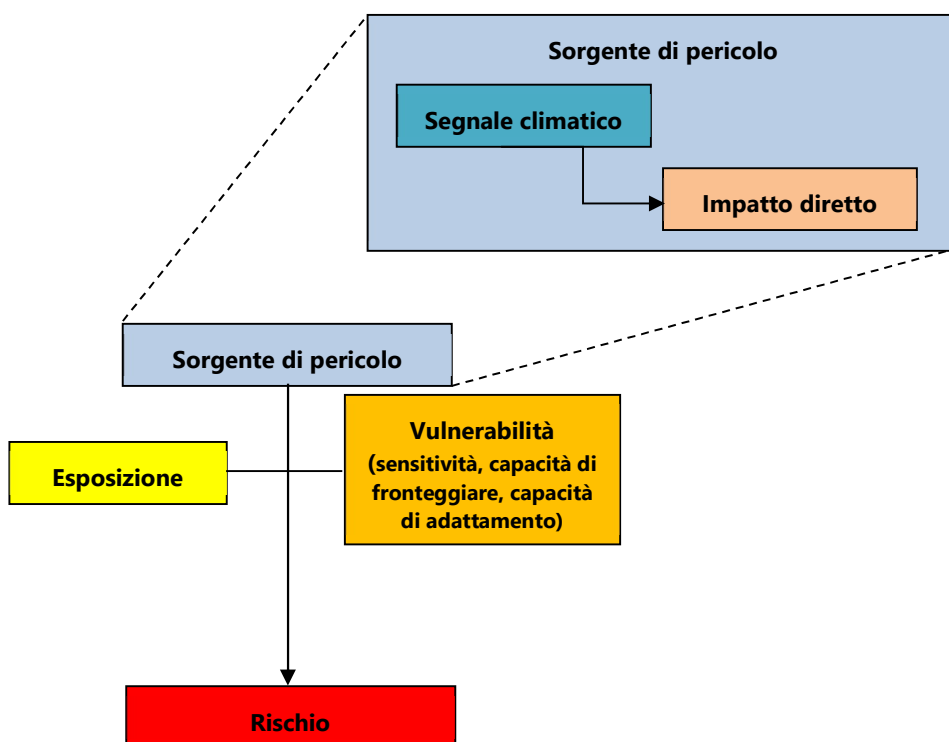
All'interno delle linee guida viene proposto un primo possibile set di indicatori popolabile a tutti i livelli amministrativi, che è possibile trovare nel documento originale alle pagine 45-50, come descritti ad esempio nella tabella seguente (*Indicatori ambientali e socio-economici – Struttura produttiva*).

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	Istat	Passo 4: Fattori esposti

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

Tema	Indicatori	UM	Serie storica	Fonte dei dati	Relazione con successivi passi
			dei servizi		
	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 costruzioni 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

Passo 2: Identificare le sorgenti di pericolo di natura climatica



Il secondo passo (*Identificare le sorgenti di pericolo di natura climatica*) consiste nell'indagare sui fattori climatici che influenzano una data area e sul loro cambiamento in futuro. Le sorgenti di pericolo risultano dallo stretto legame tra i segnali climatici e gli impatti diretti, al punto da rendere difficile una netta distinzione tra i due fattori. I primi consistono in valori climatici che possono indicare un cambiamento climatico, mentre i secondi sono gli impatti conseguenti al verificarsi di un segnale climatico.

La sorgente di pericolo è un elemento non influenzabile alla fonte da azioni di adattamento. È importante tenerne conto, perché grazie alla conoscenza di un dato fenomeno è possibile capire come agire per prevenire, mitigare o evitare i rischi provocati da un impatto.

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

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

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
--	---	--

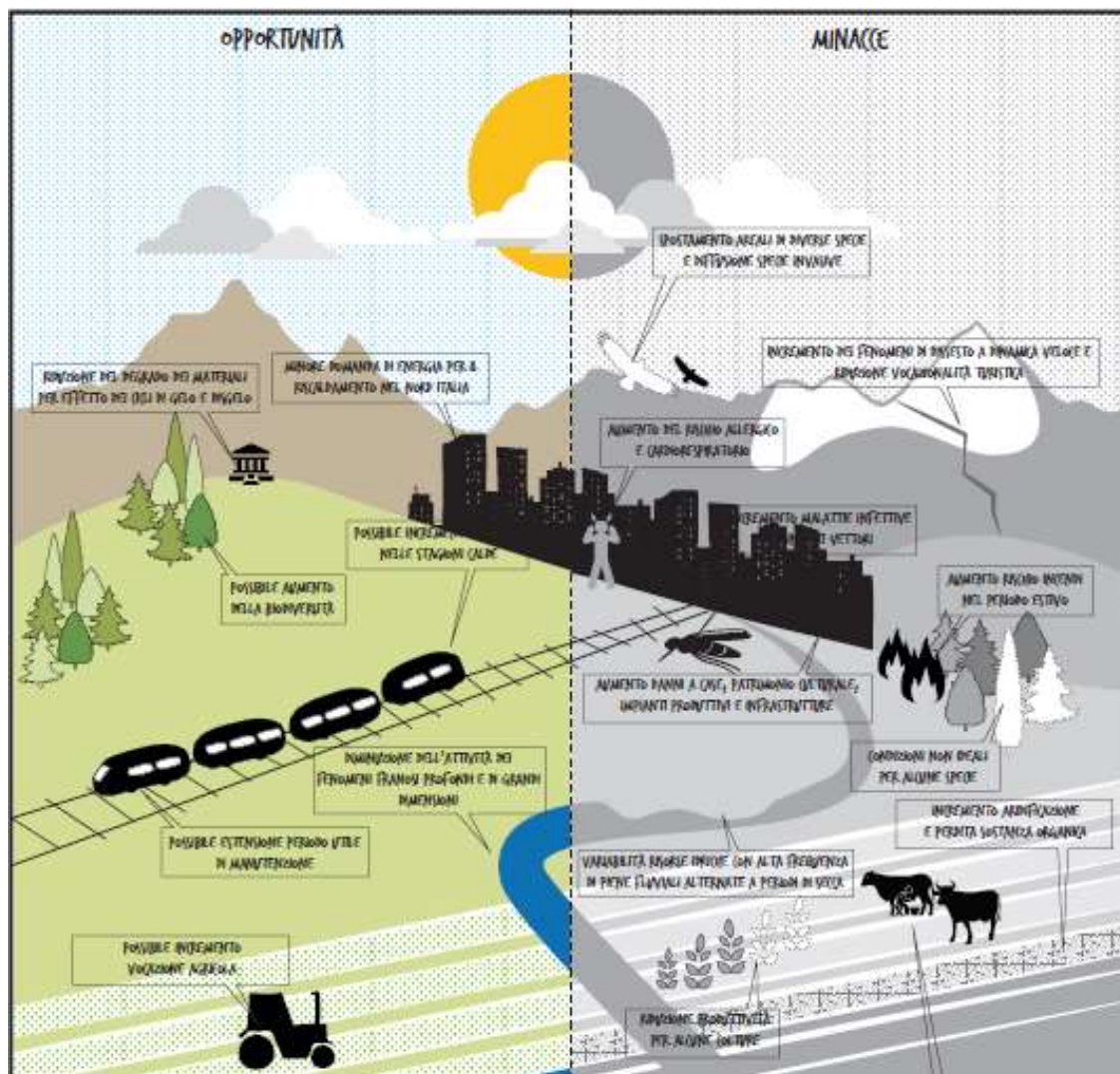
In questa tabella alcuni esempi illustrativi del legame tra segnale climatico, impatto diretto e rischio. Seguono le due domande guida per identificare le sorgenti di pericolo:

- *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?*

Per quanto riguarda l'uso di indicatori il documento indica come riferimento per i segnali climatici le tabelle 1 e 2, rispettivamente alle pagine 14 e 15. Come fonti sono indicati due documenti fondamentali a livello italiano, la SNACC e il PNACC. Quest'ultimo in particolare definisce delle aree climatiche omogenee. Oltre a questo, si consiglia di considerare la letteratura scientifica in campo climatico, che nel corso degli anni potranno fornire analisi più aggiornate. Si consiglia infine di instaurare già a partire da questo passo un processo di confronto e partecipazione con il territorio.

Passo 3: Identificare i potenziali impatti



Il passo 3 (*Identificare i potenziali impatti*) interessa un altro tipo di impatti rispetto a quelli indicati sopra, gli impatti potenziali o intermedi che, a differenza di quelli diretti, possono essere influenzati da azioni di adattamento. L'identificazione avviene sulla base del lavoro svolto nei passi precedenti e grazie a un'analisi della documentazione disponibile limitatamente all'area di interesse.

Le tre domande guida per l'identificazione degli impatti potenziali:

- 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?

Per quanto concerne la costruzione di indicatori quantitativi per la definizione degli impatti potenziali, una tabella a pagina 65 offre alcuni esempi., indicando: Descrizione impatto potenziale,

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

Indicatore quantitativo, Periodo. Oltre a quanto detto sopra, altre fonti primarie sono documenti e dati di natura ambientale e socio-economica prodotti da istituzioni e centri di ricerca locali e nazionali, tra i quali vale la pena ricordare il PNACC. In termini di partecipazione, è importante in questa fase allargare la platea di attori coinvolti nel processo in modo da raccogliere maggiori informazioni sul territorio in analisi.

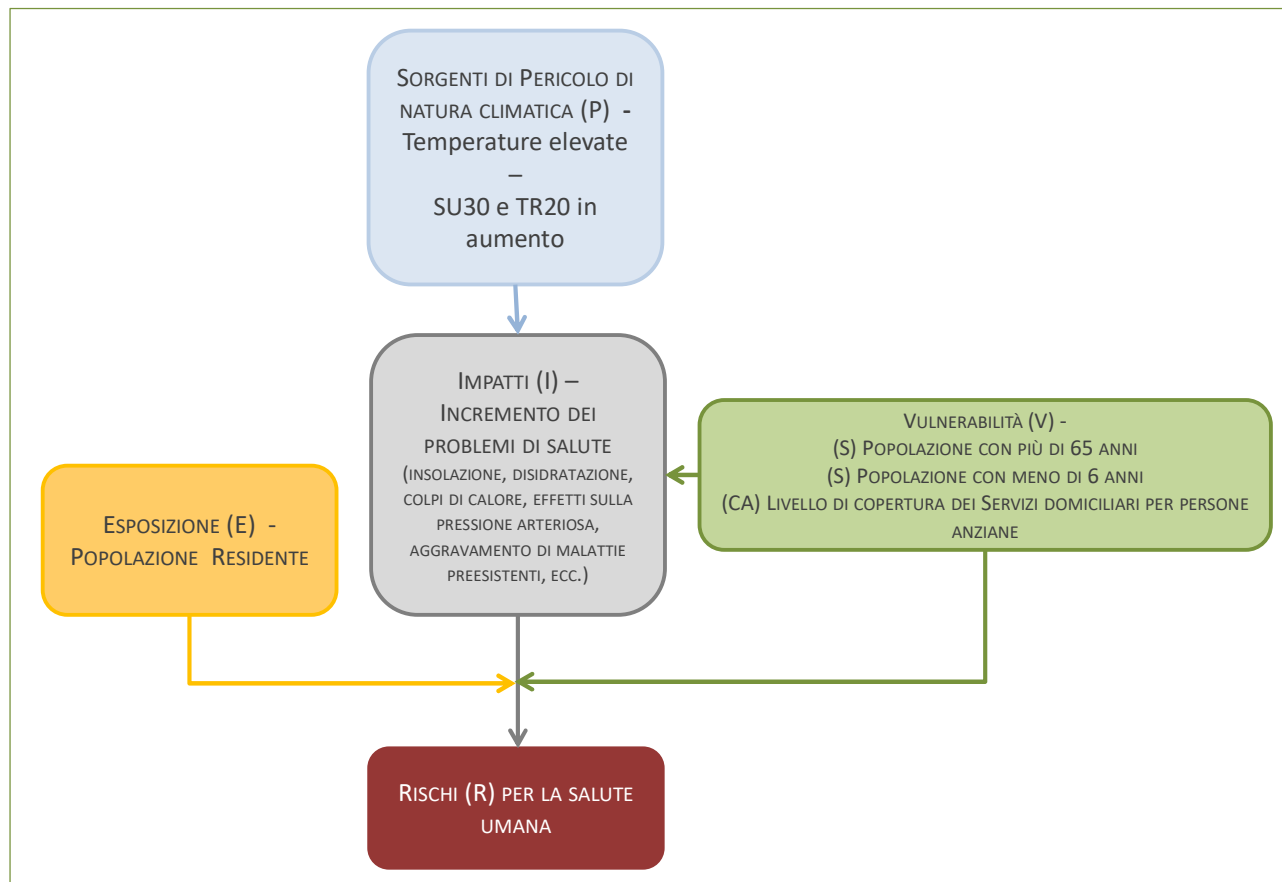


Con il contributo dello strumento finanziario LIFE dell'Unione Europea
With the contribution of the LIFE financial instrument of the European Community

www.masteradapt.eu | info@masteradapt.eu

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

Passo 4: Individuare gli elementi esposti

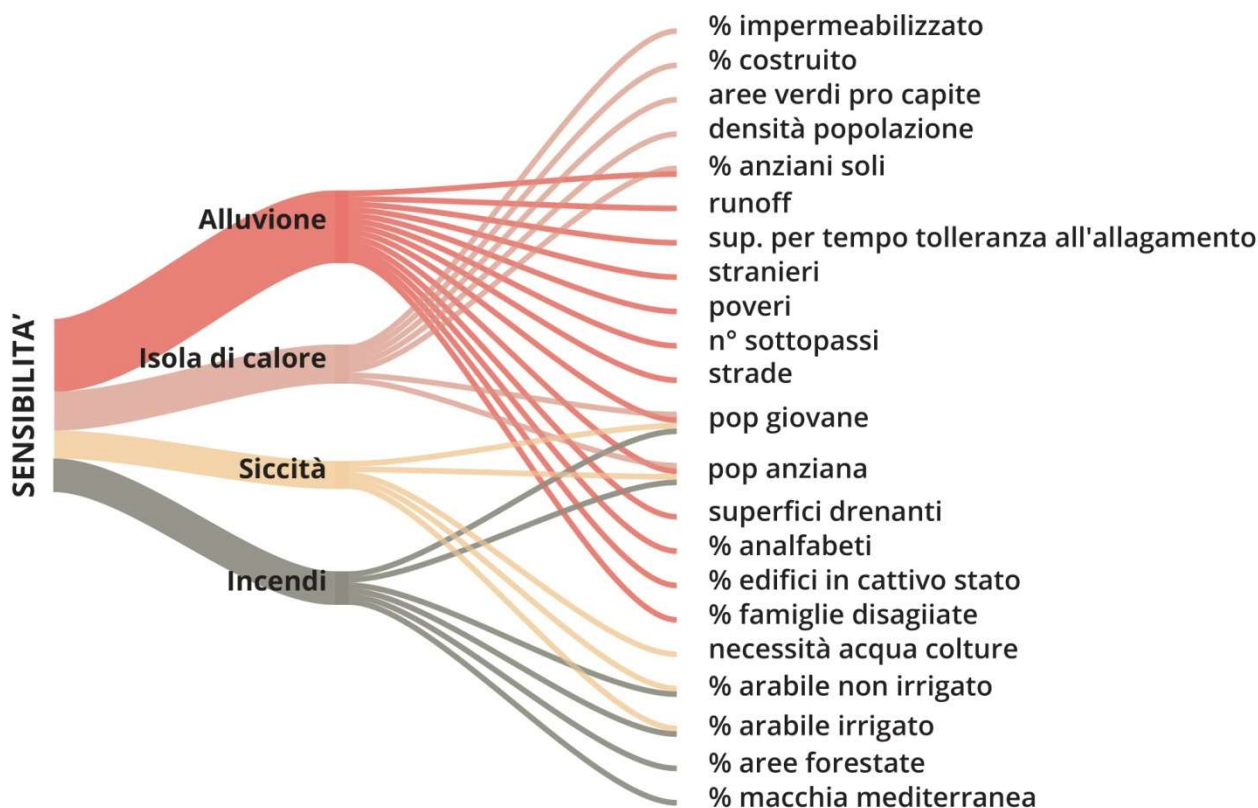


Il quarto passo (*Individuare gli elementi esposti*) riguarda il concetto di esposizione ai cambiamenti climatici. Un elemento esposto è una persona, cosa o risorsa che può essere colpita negativamente dagli effetti dei cambiamenti climatici, per esempio la popolazione residente in una data area. In questo senso è distinto da altri elementi simili ma legati alla vulnerabilità, che come è possibile vedere sotto è un passo distinto da quello qui illustrato.

Per identificare gli elementi esposti un buon punto di partenza è l'analisi del contesto fatta nel primo passo. In seguito, per ciascun rischio associato ai cambiamenti climatici che si intende valutare sarà necessario comprendere quali sono gli elementi esposti. La tabella a pagina 75 illustra le quattro categorie (capitale naturale, umano, infrastrutturale, finanziario e economico) di elementi esposti da analizzare in relazione al contesto ambientale e socio-economico del territorio oggetto di analisi, insieme ad alcuni esempi di indicatori di esposizione. L'indice globale di esposizione si calcola secondo la formula descritta a pagina 39:

$$\text{Indice globale} = (E1 * w1 + E2 * w2 + \dots + En * wn) / (w1 + w2 + \dots + wn).$$

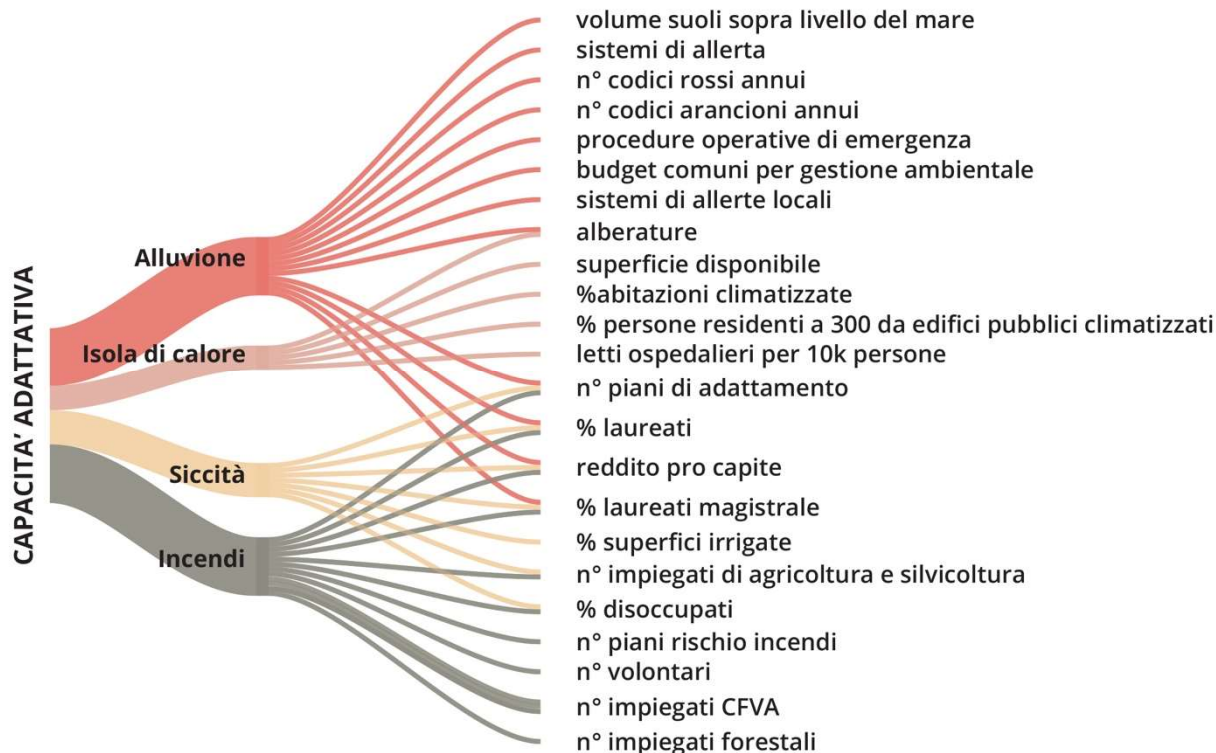
Passo 5: Valutare la sensitività



Il passo 5 (*Valutare la sensitività*) consiste nella valutazione della sensitività ai cambiamenti climatici. Quest'ultima è il grado secondo cui un sistema è influenzato, positivamente o negativamente, dagli stimoli climatici in modo diretto o indiretto. Secondo l'esempio del passo precedente, la sensitività riguarda una fascia specifica di popolazione, come ad esempio la popolazione con più di 65 anni di età.

Anche in questo caso quattro categorie (fattore naturale, umano, morfologico urbano, economico e finanziario) aiutano a identificare la sensitività. Una tabella a pagina 79 e quattro figure schematiche nelle altrettante pagine successive propongono una serie di indicatori utili alla valutazione della sensitività e dell'esposizione. Nella scelta dell'indicatore hanno un ruolo sia il tipo di impatto, sia, naturalmente, l'effettiva disponibilità del dato nel territorio oggetto dell'analisi. L'indice globale di sensitività si calcola secondo la formula:
$$\text{Indice globale} = \frac{E1 * w1 + E2 * w2 + \dots + En * wn}{w1 + w2 + \dots + wn}$$

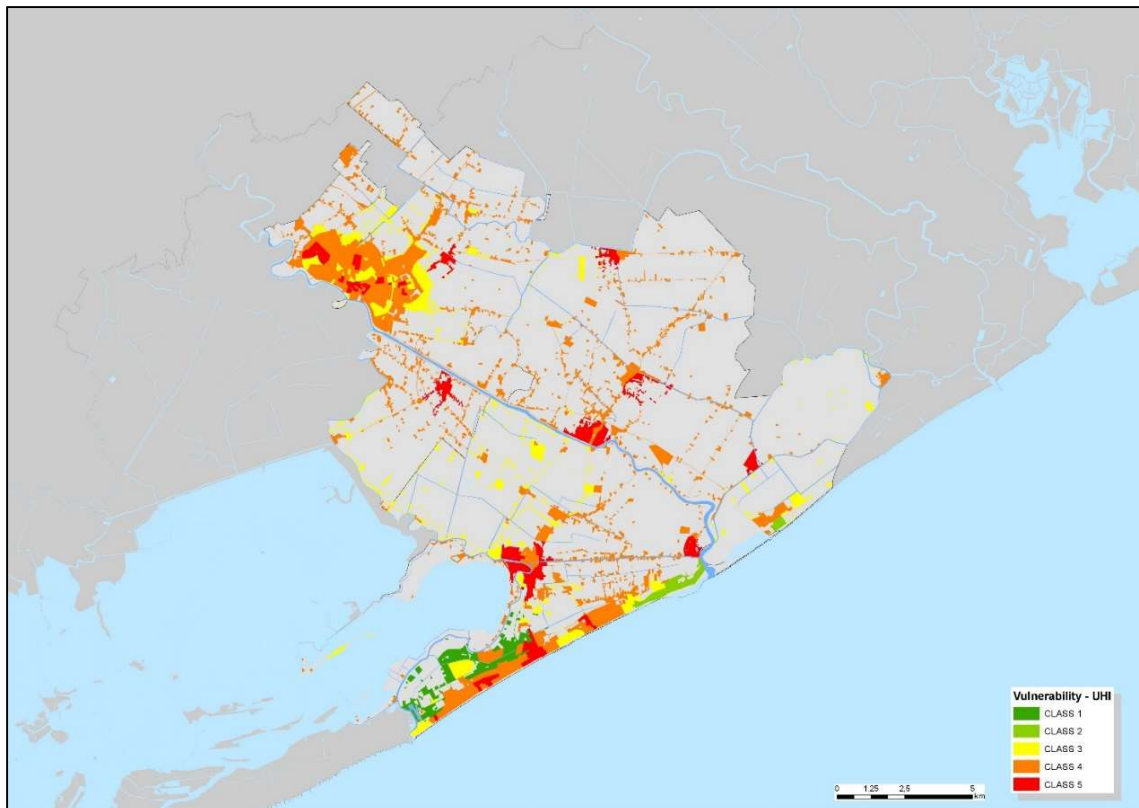
Passo 6: Valutare la capacità di adattamento



Il passo 6 (*Valutare la capacità di adattamento*) concerne la capacità di adattamento, vale a dire la capacità di sistemi, istituzioni, persone e organismi di adattarsi ai danni, sfruttando le opportunità o rispondendo alle conseguenze. Secondo l'esempio descritto nel quarto passo, la capacità di adattamento riguarda una fascia ancora più specifica di popolazione, come ad esempio coloro che hanno un dato titolo di studio.

Le quattro categorie in cui si organizzano le dimensioni della capacità di adattamento sono: istituzioni, conoscenza e tecnologia, produzione/infrastruttura, risorse economiche. Anche in questo caso sono proposti alcuni esempi nell'immagine a pagina 91. Si evidenzia la forte interconnessione tra questo passo e quello immediatamente precedente, che nell'applicazione delle linee guida possono essere portati avanti in modo parallelo. Gli indicatori devono essere scelti anche in questo caso sulla base della disponibilità del dato nell'area di studio. Naturalmente, per rappresentare la capacità di adattamento di un sistema è necessario che molti degli indicatori siano invertiti di segno, sottraendo cioè il valore da 1: i valori più bassi dovrebbero riflettere condizioni positive di capacità di adattamento, mentre valori più alti condizioni negative. L'indice globale di capacità di adattamento si calcola secondo la formula: $\text{Indice globale} = (E1 * w1 + E2 * w2 + \dots + En * wn) / (w1 + w2 + \dots + wn)$.

Passo 7: Valutare la vulnerabilità ai cambiamenti climatici



Analisi dei trend climatici

Punti di forza

- 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

Punti di debolezza

- Scarsa disponibilità di serie storiche di dati climatici in alcune aree
- Diverse serie storiche non utilizzabili perché non rispondono ai criteri di qualità richiesti

Proiezioni climatiche future

Punti di forza

- 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)

Punti di debolezza

- Risoluzione dei modelli di 50x50 km, troppo bassa per la stima delle variazioni previste a livello locale

Analisi di vulnerabilità

Punti di forza

- 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

Punti di debolezza

- Limitata disponibilità di dati per il popolamento degli indicatori e necessità di ricorrere ad indicatori proxy
- 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

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

La metodologia illustrata in queste Linee Guida 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.

L'affidabilità dei risultati dipende dalla qualità dei dati di input. È consigliabile quindi 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

Anche la normalizzazione dei dati rappresenta una fase delicata che può inficiare la significatività dei risultati. A seconda dei valori soglia che si impiegano come valore minimo e massimo, infatti, varia la lettura del dato ottenuto.

Per una valutazione che possa avere 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, si è ritenuto 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 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. La vulnerabilità resta un concetto teorico e difficilmente "misurabile". Ancora una volta si può considerare che gli unici "strumenti di verifica" utili a tale scopo potrebbero essere basati sulla conoscenza del territorio da parte degli esperti locali che possano confermare o meno l'attendibilità dei risultati rispetto alla situazione reale.

In una prospettiva futura migliorare l'attendibilità delle analisi di vulnerabilità significherebbe 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 per l'implementazione di misure di adattamento.



MASTER ADAPT

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



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

Coordinatore



REGIONE AUTÓNOMA
DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA

Partners



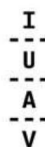
Regione
Lombardia



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



uniss
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SASSARI



Fondazione Lombardia
per l'Ambiente



AGENDE 21 LOCALI ITALIANE

AMBIENTEITALIA

RICERCA, CONSULENZA E PROTEZIONE PER LA SOSTENIBILITÀ

Con il contributo di:

Fondazione
CARIPLO

