



Interreg



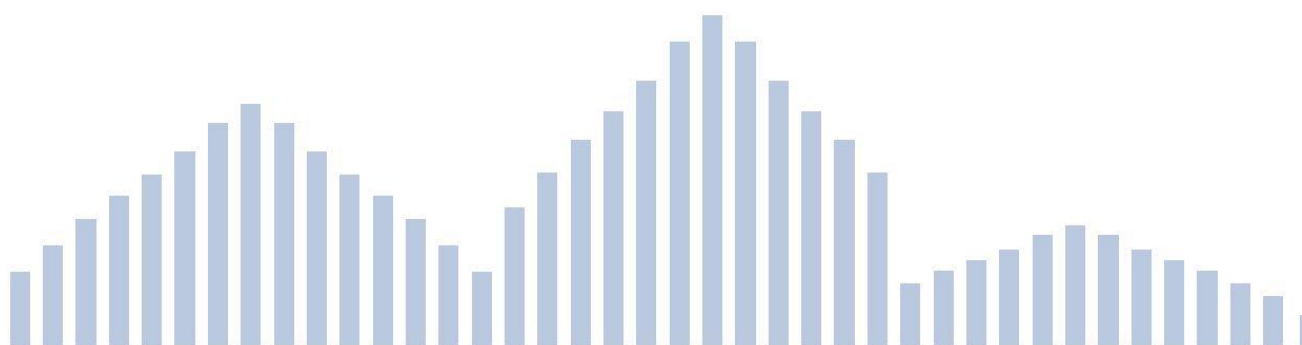
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

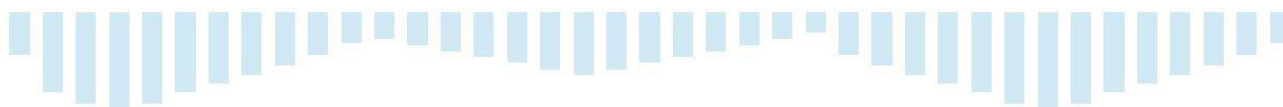
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ADAPT



Linee guida per lo sviluppo di profili climatici locali





Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Introduzione	2
Struttura del documento “Profilo climatico locale”	2
Sezione introduttiva	2
Sezione inerente l’andamento temporale della variabilità climatica osservata	3
Sezione inerente gli scenari climatici locali disponibili	4
Glossario	5
Bibliografia	5
Metodologia	5
Indicazioni per la redazione della sezione relativa alla variabilità climatica osservata	5
Indicazioni per la redazione della sezione relativa alla variabilità climatica futura	8
Analisi territoriali per la caratterizzazione della vulnerabilità	11
Bibliografia	14
Link a siti internet	16



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Introduzione

Lo scopo principale del presente documento è l'identificazione, sulla base di una *review* dello stato dell'arte e dei progetti/attività esistenti e il background maturato dall'affidatario, di una serie di linee guida per lo sviluppo di profili climatici locali da parte di alcuni dei partner del progetto ADAPT. La redazione di un profilo climatico locale ha come obiettivo principale quello di fornire una conoscenza della condizione climatica attuale e futura del territorio per i prossimi decenni, fondamentale per la successiva analisi delle sue vulnerabilità legata al cambiamento climatico.

Tali linee guida devono identificare:

- una struttura da adottare per la documentazione che gli esperti scientifici scelti dovranno presentare per quanto attiene la presentazione dei profili climatici locali.
- una metodologia da utilizzare per la redazione delle analisi contenute in tale documentazione. In particolare, esse devono indicare le principali fonti di reperimento dei dati climatici che possono utilizzarsi nella redazione del profilo climatico locale, sia per quanto attiene dati osservati che da modello, includendo le loro caratteristiche, le finestre temporali e spaziali da analizzare, le metodologie applicabili per la definizione degli indicatori medi ed estremi.

È possibile trovare nella letteratura specializzata vari esempi di tracciamento di profili climatici. Si citano a titolo di esempio quello effettuato in Italia per la città di Bologna nell'ambito del progetto BLUEAP (*Bologna Adaptation Plan for a resilient city*) [K].

Struttura del documento “Profilo climatico locale”

Di seguito sono elencate le principali sezioni che un documento di profilo climatico locale deve contenere, al fine di fornire una conoscenza della condizione climatica attuale e futura del territorio.

Sezione introduttiva

Nella sezione introduttiva è necessario inquadrare le caratteristiche di base del clima osservato e del cambiamento climatico atteso nell'area di appartenenza (area regionale, macroregione di riferimento utilizzata nel documento PNACC, scala nazionale) al fine di individuare chiaramente un contesto di riferimento. Questo contesto deve essere specificato facendo riferimento almeno agli andamenti dei valori medi ed estremi di temperatura e precipitazione, osservati su scala annuale. Per alcuni indicatori che abbiano marcate dipendenze nell'andamento su scala stagionale, si suggerisce anche lo studio su tale scala temporale.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Tra i documenti in lingua italiana da utilizzarsi al fine di richiamare le conoscenze sullo stato dell'arte del clima presente osservato e futuro, si citano, a titolo di esempio, i seguenti report:

- la documentazione redatta dall'ISPRA [A];
- i report preparati dagli enti regionali e aggiornati periodicamente (se disponibili), ad esempio quelli redatti dalla provincia autonoma di Trento [B] oppure della regione Emilia Romagna [C], dalla regione Piemonte [D]);
- SNACC [E];
- PNACC [G].

Invece, per un inquadramento generale della problematica, si può far riferimento alla documentazione prodotta dall' IPCC [F].

Sezione inerente l'andamento temporale della variabilità climatica osservata

La completezza di questa sezione determina in modo fondamentale la qualità del documento di profilo climatico. Infatti, gli andamenti osservati di determinati indicatori (medi e/o estremi) sono fondamentali per la conoscenza delle caratteristiche del clima locale e per avere evidenza dell'eventuale presenza di cambiamenti climatici già in atto. Nella sezione "Metodologia" del presente documento sono dettagliate le caratteristiche che le serie temporali di osservazioni utilizzate per redigere la presente sezione devono avere. Al fine di poter fornire un profilo climatico completo del clima osservato, la sezione deve includere grafici e tabelle che abbiano come oggetto l'analisi della variabilità temporale e spaziale del clima nel contesto locale di interesse. Questa analisi deve rappresentare la sintesi di quanto osservato sul territorio, evidenziando comportamenti comuni a diversi siti di osservazione ma anche la presenza di eventuali comportamenti singolari.

Essa deve contenere sia analisi degli andamenti medi (ovvero principalmente andamenti annuali e/o stagionali di temperatura e precipitazione), sia analisi dei valori estremi. Gli eventi estremi sono definiti come eventi che differiscono, nelle loro caratteristiche, in maniera sostanziale dalla media climatologica dell'area. Essi possono essere analizzati attraverso un set di indicatori definiti in letteratura, ad esempio quelli resi disponibili dall' ETCCDI¹ [J]. Tali indicatori descrivono principalmente l'intensità e la frequenza degli eventi estremi in termini di precipitazione e temperatura, e sono certamente molto utili per i successivi studi di settore volti a valutare i principali impatti locali del cambiamento climatico su cui si basano le strategie di adattamento. Tuttavia, al fine di opportunamente considerare le peculiarità dell'area, si suggerisce di organizzare incontri con gli operatori locali, al fine di valutare quali siano gli eventi atmosferici con maggiore impatto sull'area, in modo da giungere alla definizione congiunta, tra esperti scientifici ed operatori locali, degli indicatori specifici che tengano in conto le caratteristiche del territorio (che possono riguardare anche altre variabili quali vento, neve, umidità). Per una trattazione più ampia su tale problematica a livello nazionale si faccia riferimento al lavoro di ISPRA [P].

¹ Questi indicatori stimano le caratteristiche di eventi identificati come "*moderately rare weather events*", ed includono la frequenza, l'intensità e la persistenza di una condizione atmosferica; essi sono largamente utilizzati per valutare la variazione di questo tipo di eventi nel contesto del cambiamento climatico.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Al fine di rendere chiaro quanto evidenziato dalle analisi, si suggerisce di corredare la sezione di grafici e tabelle, arricchendola di valutazioni che indichino le caratteristiche degli eventuali trend presenti (crescita, diminuzione) e che confermino o meno, ad esempio, l'aderenza di questi trend locali (eventualmente esistenti) a quelli regionali e/o nazionali. Si suggerisce, infine, di concludere tale sezione sintetizzando i principali risultati dell'analisi effettuata, così come le eventuali evidenze riscontrate dell'impatto del cambiamento climatico in atto sulla scala locale.

Sezione inerente gli scenari climatici locali disponibili

A differenza della sezione inerente l'andamento del clima osservato su scala locale, che si basa su osservazioni, tale sezione deve basarsi essenzialmente sull'analisi di proiezioni di cambiamento climatico su scala locale ottenuti a partire da modelli climatici a scala globale (Winkler et al., 2011) [Q]. Questi ultimi si basano sugli scenari di concentrazioni di gas climalteranti prodotti dall'IPCC (Van Vuuren et al., 2011). Si suggerisce un breve inquadramento per quanto attiene la definizione e il significato degli scenari IPCC, che saranno utilizzati nelle analisi riportate nella presente sezione, e generiche indicazioni sulle caratteristiche di base dei modelli climatici globali, così come delle tecniche di *downscaling* o regionalizzazione (Maraun et al., 2018). Queste ultime rappresentano lo strumento allo stato dell'arte per fornire indicazioni sugli scenari di cambiamento climatico su scala locale e per valutare gli impatti del cambiamento climatico sulla medesima scala.

Per quanto attiene le tecniche di *downscaling* da utilizzare per caratterizzare gli scenari climatici locali è possibile utilizzare sia quelle dinamiche che statistiche. Va altresì sottolineato che questi strumenti presentano un'incertezza che può avere entità diversa a seconda delle caratteristiche climatiche che essi rappresentano. Per dettagli sulle principali motivazioni che causano l'incertezza nei modelli climatici si faccia riferimento al lavoro di Collins (Collins et al., 2007).

Le tecniche di tipo statistico si basano sull'utilizzo di relazioni statistiche tra i predittori sinottici (su larga scala) e le variabili locali, quest'ultime disponibili tramite lunghe serie temporali di osservazioni utili per derivare e validare le relazioni statistiche. Le tecniche di *downscaling* statistico hanno il vantaggio di permettere di arrivare al punto/stazione.

Le tecniche di *downscaling* dinamico utilizzano, invece, modelli climatici regionali. Essendo basati su leggi fisiche, essi generalmente riescono a fornire una buona rappresentazione del clima locale; tuttavia essi sono soggetti ad errore, specialmente per effetto della risoluzione non adeguata (a rappresentare alcuni fenomeni) e delle parametrizzazioni adottate. Per tale motivo, si suggerisce di riportare in tale sezione una valutazione dell'effettiva capacità del modello di rappresentare, su un periodo di riferimento trentennale, l'andamento della variabile atmosferica o dell'indicatore climatico di interesse sull'area, attraverso i cosiddetti coefficienti di *skills* (ad esempio BIAS, MAE, correlazione). Si rimanda alla sezione metodologica per ulteriori dettagli.

Al fine di utilizzare i risultati prodotti dai modelli climatici regionali per successive analisi di impatto, diversi studi di letteratura suggeriscono l'utilizzo di tecniche di *bias correction* che sono utili per la rimozione dell'errore sistematico presente in tali modelli. La metodologia di *bias correction* maggiormente utilizzata è quella del *quantile mapping* (Gudmundsson et al., 2012). Tuttavia, vi sono diversi algoritmi di *quantile mapping* disponibili in letteratura; la selezione di quello che meglio si adatta alla rimozione del bias per analisi successive di impatto richiede studi di dettaglio che esulano dalla compilazione di un profilo climatico locale.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Tra i modelli climatici regionali maggiormente utilizzati in ambito nazionale vi sono il set (o ensemble) di quelli disponibili nell'ambito del programma EURO-CORDEX² e in particolare si suggerisce l'uso di quelli alla massima risoluzione spaziale (attualmente di circa 11-13 km). Inoltre, è possibile anche l'utilizzo del modello climatico regionale alla maggior risoluzione (circa 8 km) spaziale, ottimizzato sulla regione italiana dalla Fondazione CMCC (Bucchignani et al., 2015), (Zollo et al., 2015). Esso risulta utilizzato in molti lavori scientifici riguardanti il clima e gli impatti del cambiamento climatico sull'area italiana.

Per quanto riguarda il programma EURO-CORDEX sono disponibili diverse configurazioni di modelli basate sullo scenario IPCC RCP4.5 e grossomodo altrettante basate sullo scenario IPCC RCP8.5, mentre un numero minore è disponibile per lo scenario RCP2.6.

L'utilizzo di tutti i modelli disponibili nel programma EURO-CORDEX, sebbene più oneroso dal punto di vista metodologico e computazionale, permette di effettuare una stima dell'incertezza da associare allo scenario di variazione della variabile o indicatore climatico di interesse. Si rimanda alla letteratura di riferimento per maggiori dettagli rispetto a tale problematica.

In tale sezione quindi andranno dettagliati, a valle della scelta della tecnica di regionalizzazione effettuata, gli andamenti delle anomalie per le variabili atmosferiche e gli indicatori climatici di interesse, rispetto ad un periodo di riferimento, ma anche indicazioni quantitative sui loro trend su base stagionale e annuale. Al fine di rendere chiaro quanto evidenziato dalle analisi, si suggerisce di corredare la sezione di grafici e tabelle, arricchendola di valutazioni che indichino le caratteristiche degli eventuali trend. Si suggerisce, infine, di concludere tale sezione sintetizzando i principali risultati dell'analisi effettuata al fine di dare indicazioni utili per le successive analisi di impatto e variabilità.

Glossario

Si raccomanda di redigere nel documento una sezione glossario, al fine di disporre di una valutazione comune della terminologia utilizzata. Risulta altresì consigliato utilizzare terminologie afferenti a documentazione scientifica pubblicata. In particolare, si suggerisce la terminologia utilizzata dall'IPCC [H], della quale sono anche disponibili traduzioni in italiano per i termini di base [I].

Bibliografia

È necessario, infine, redigere una sezione bibliografia che identifichi i lavori scientifici di riferimento utilizzati.

Metodologia

Tale sezione del presente documento ha lo scopo di suggerire i metodi da utilizzare per la redazione delle analisi contenute. Essa rappresenta solo una sintesi dei principali metodi utilizzati in letteratura per analisi di base da svolgere per redigere un profilo climatico locale. Per una più ampia trattazione di faccia riferimento all'ampia letteratura disponibile [O].

Indicazioni per la redazione della sezione relativa alla variabilità climatica osservata

In tale sezione si forniscono indicazioni sulla metodologia da adottare per valutare la variabilità climatica osservata di riferimento nella specifica area di interesse, sia in termini di valori medi che estremi.

² EURO-CORDEX è il ramo europeo dell'iniziativa internazionale CORDEX, sponsorizzato dal World Climate Research Programme (WRC), al fine di coordinare la produzione delle migliori proiezioni di cambiamento climatico su scala regionale per tutte le regioni terrestri del mondo. Per maggiori informazioni si consulti il sito <http://www.euro-cordex.net/>



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



A tal fine, sulla base dell'area di interesse, è possibile utilizzare differenti fonti di dati:

- *Dataset in situ*: osservazioni puntuali fornite da enti locali, regionali o nazionali. Nello specifico, si utilizzano archivi di dati meteorologici relativi a reti di monitoraggio. Questi dati sono disponibili in diversi formati, in base all'ente di provenienza. A titolo di esempio, a livello nazionale i principali organismi fornitori sono il Centro Operativo per la Meteorologia (COMet), il Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura – Unità di ricerca per la Climatologia e la Meteorologia applicate all'Agricoltura (CRA-CMA, ex UCEA), l'Istituto Superiore per la Ricerca e la Protezione Ambientale (ISPRA), che mette a disposizione il dataset SCIA [M] e la rete di osservazione dell'ENAV. A livello regionale, sono disponibili i dati forniti dalle Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente (ARPA), dai servizi agrometeorologici regionali, dai Centri Funzionali di Protezione Civile Regionale e da enti di ricerca o università (e.g. CNR).
- *Dataset grigliati*: osservazioni disponibili su una griglia di punti per una specifica area geografica. Questi dati sono caratterizzati da una assegnata risoluzione spaziale, espressa in gradi o km, e sono ottenuti mediante tecniche di interpolazione *ad hoc* sulla base dei dati osservati presenti sull'area. Per l'Italia, ad esempio, sono disponibili i dataset E-OBS (Haylock et al. 2008), EURO4M (Isotta et al, 2014), NWIOI (Ronchi et al., 2008). Inoltre, per l'Italia centrale e Settentrionale è in via di rilascio il dataset ARCIS [N].

Ogni dato è caratterizzato da una sua specifica copertura temporale e geografica e una determinata risoluzione temporale; nel caso dei punti stazione (*in situ*) le osservazioni rappresentano le caratteristiche puntuali delle variabili osservate, mentre nel caso dei dataset grigliati il dato è rappresentativo di un'area media la cui estensione è legata alla risoluzione del dataset grigliato stesso.

Per effettuare analisi climatiche locali, si suggerisce di utilizzare dataset *in situ* rispetto a dataset grigliati in quanto, a meno di qualche eccezione, solitamente la risoluzione che caratterizza tali dataset grigliati non è sufficiente a delineare caratteristiche dettagliate del clima; questa tipologia di dataset tipicamente risulta più adatta all'analisi del clima a livello di macroaree.

È opportuno tenere presente che lo studio del clima, per definizione, richiede l'utilizzo di lunghe serie temporali di dati. In particolare, la *World Meteorological Organization* (WMO, 2007) assume un periodo di 30 anni come periodo standard su cui effettuare delle analisi statistiche che possano essere considerate rappresentative del clima.

Inoltre, prima di effettuare analisi climatiche mediante i dataset selezionati, le serie di dati disponibili devono essere sottoposte ad un controllo. Tra i prerequisiti più importanti per eseguire un'analisi climatica rigorosa vi sono:

- il controllo della continuità e completezza della serie,
- il controllo e la gestione dell'eventuale presenza di *outlier* (ovvero di dati che sono molto distanti dalla maggior parte dei valori della serie),
- il controllo sulla omogeneità della serie, utile a garantire che le variazioni presenti siano da attribuire esclusivamente a fattori climatici (Conrad et al. 1950). Questo ultimo controllo riguarda essenzialmente l'individuazione di eventuali *breakpoint* che rappresentano l'istante temporale in cui la serie comincia a manifestare una perturbazione (che comporta una variazione sul valore medio della serie). La disponibilità di informazioni (metadati) che



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



documentano la storia delle stazioni di rilevamento facilita lo studio delle disomogeneità di una serie.

Per valutare correttamente tutte queste problematiche, sono state sviluppate diverse metodologie, per lo più di carattere statistico. Per maggiore informazioni su di esse si può fare riferimento ai documenti (ISPRA, 2012), (ISPRA, 2013).

Una volta effettuati tali controlli, è possibile applicare diversi metodi statistici di riconoscimento e stima dei trend e di caratterizzazione della variabilità climatica osservata. Quelli maggiormente usati sono:

- calcolo della media mensile, sul periodo di riferimento, della variabile di interesse (ciclo stagionale o anche ciclo annuale) con la dispersione rispetto o al minimo e massimo valore oppure al 5° e al 95° percentile³ della distribuzione mensile;
- calcolo dei valori medi, sul periodo di riferimento, delle variabili di interesse su scala annuale;
- calcolo dei valori medi, sul periodo di riferimento, delle variabili di interesse su scala stagionale;
- calcolo della serie temporale di valori annuali della variabile di interesse, con trend e calcolo significatività statistica⁴;
- calcolo della serie temporale di valori stagionali della variabile di interesse, con trend e calcolo significatività statistica;
- calcolo dei percentili a partire dalla distribuzione giornaliera della variabile di interesse; ad esempio, calcolo del 95° e 99° percentile della precipitazione giornaliera e della temperatura massima giornaliera e calcolo del 1° e del 5° percentile della temperatura minima giornaliera;
- calcolo della serie temporale dell'anomalia media annua della variabile di interesse rispetto ad un periodo di riferimento (periodo di almeno 30 anni);
- calcolo della serie temporale dell'anomalia media stagionale della variabile di interesse rispetto ad un periodo di riferimento (periodo di almeno 30 anni).

Sebbene i valori medi siano fondamentali per la definizione delle caratteristiche climatiche di un'area, i valori estremi sono importanti per fornire informazioni inerenti le maggiori criticità sul territorio, soprattutto in base al contesto geomorfologico e costruito presente. Nello specifico, è possibile calcolare, su base stagionale ed annuale, differenti indicatori estremi climatici che descrivono sia l'intensità che la frequenza degli eventi estremi legati alle specifiche variabili di interesse e consentono di ottenere un inquadramento generale relativo allo studio della variabilità climatica. In tale contesto, l'ETCCDI [J] ha definito un set di indicatori sintetici, principalmente basati su valori di temperatura e precipitazione, rappresentativi dei principali impatti meteo indotti. Nella tabella di seguito sono stati riportati alcuni dei principali indicatori ETCCDI, ampiamente utilizzati per descrivere la variabilità climatica di un'area geografica:

Acronimo	Indicatore
HW/HD	(hot wave o warm days) numero di giorni all'anno con temperatura massima giornaliera maggiore di 35°C

³ Il percentile è un valore, su una scala da 0 a 100, che indica la probabilità che un elemento del dataset analizzato abbia valori minori o uguali ad esso. Il percentile è spesso utilizzato per stimare gli estremi della distribuzione. Ad esempio il 95° (5°) percentile può essere utilizzato come riferimento di soglia dei valori più alti (bassi).

⁴ Il calcolo del trend e della significatività statistica è necessaria per l'individuazione di un trend di crescita/decrecita significativo. A tal fine, uno dei metodi ampiamente utilizzati è il test di Mann-Kendall (Hirsch,1982; Kendall, 1975; Mann,1945).



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



SU	(summer days) numero di giorni all'anno con temperatura massima giornaliera maggiore di 25°C
TR/TN	(tropical nights) numero di giorni all'anno con temperatura minima maggiore di 20°C
ID	(ice days) numero di giorni all'anno con temperatura massima giornaliera di 0°C
FD	(frost days) il numero di giorni di gelo definiti come il numero di giorni all'anno con temperatura minima giornaliera inferiore ai 0°C
R10	numero di giorni all'anno con precipitazione maggiore o uguale a 10 mm
R20	numero di giorni all'anno con precipitazione maggiore o uguale a 20 mm
PRCPTOT	cumulata (somma) della precipitazione annuale per i giorni con precipitazione maggiore o uguale ad 1 mm
SDII	precipitazione media giornaliera nei giorni precipitazione maggiore o uguale ad 1 mm
CDD	numero massimo di giorni consecutivi all'anno con precipitazione minore di 1 mm
CWD	numero massimo di giorni consecutivi all'anno con precipitazione maggiore o uguale ad 1 mm
RX1DAY	massimo valore di precipitazione su 24 ore su scala annuale
RX5DAY	massimo di precipitazione su 5 giorni consecutivi su scala annuale

Tabella 1: Lista degli indicatori mutuati dall'elenco fornito da ETCCDI (J).

Anche per questi indicatori, così come per i valori medi annuali e stagionali sul periodo di riferimento, è opportuno calcolare il trend e la significatività statistica al fine di una corretta valutazione di quanto trovato.

Indicazioni per la redazione della sezione relativa alla variabilità climatica futura

In tale sezione viene fornita la metodologia da adottare per valutare le variazioni climatiche future all'interno di un profilo climatico locale, sia in termini di valori medi che estremi.

Per quanto attiene i dataset da utilizzare per le analisi oggetto di questa sezione, si suggerisce di far riferimento comunque sempre a dati pubblicati su riviste scientifiche (vedi *Sezione inerente gli scenari climatici locali disponibili*, nel presente documento).

Per valutare le variazioni climatiche future, è possibile seguire due tipi di approccio:

- approccio *single model*: vengono analizzati i risultati ottenuti utilizzando uno specifico modello (ottenuto mediante downscaling dinamico o statistico).
- approccio *multi-model*: vengono analizzati i risultati ottenuti da diversi modelli. Tale metodo viene principalmente usato in riferimento all'utilizzo di modelli climatici regionali quali quelli disponibili nell'ambito del programma EURO-CORDEX (Kotlarski, et al., 2015) (Jacob et al.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



2014); tale approccio⁵, rispetto al precedente, permette di valutare l'incertezza e la robustezza del cambiamento atteso dai diversi modelli.

Il primo passo necessario, prima di procedere allo studio della variabilità climatica futura, è verificare se il modello scelto (approccio single-model) o i diversi modelli (approccio multi-model) sono in grado di rappresentare il clima attuale sulla specifica area geografica di interesse rispetto alle variabili/indicatori di interesse. A tal fine, è necessario confrontare il risultato del modello/modelli con le osservazioni disponibili su un periodo di riferimento di almeno 30 anni. A titolo di esempio, è possibile effettuare diversi tipi di analisi: calcolo del BIAS (errore sistematico), l'errore assoluto medio (MAE), l'errore quadratico medio (RMSE) e il coefficiente di correlazione (R). Ad esempio, il BIAS del modello rispetto ad una certa variabile o indicatore climatico rappresenta la distorsione in media tra il valore ottenuto dal modello e quello osservato in un intervallo temporale. Un bias positivo indica una sistematica tendenza del modello a sovrastimare la variabile/indicatore mentre un bias negativo una sistematica tendenza del modello alla sottostima.

Per ulteriori dettagli e approfondimenti si rimanda alla letteratura di riferimento.

A valle di tale verifica delle performance del modello, è possibile effettuare differenti analisi per valutare la variazione (anomalia) della condizione climatica su un periodo futuro rispetto ad un periodo di riferimento, entrambi della durata di 30 anni. Tali anomalie possono essere valutate in termini di valori medi ed estremi per le variabili di interesse, per ciascuno scenario IPCC selezionato. Nello specifico, nel caso in cui si selezioni l'approccio single-model, tra le analisi che è possibile effettuare per ciascuna variabile o indicatore vi sono:

- anomalie stagionali e annuali per i diversi periodi futuri e per i diversi scenari IPCC selezionati insieme al calcolo della significatività statistica dell'anomalia⁶;
- calcolo del trend (su base stagionale e/o annuale) e della sua significatività statistica per i diversi scenari IPCC selezionati.

Invece, nel caso dell'approccio *multi model*, è possibile effettuare diversi tipi di analisi per le variabili o indicatori di interesse, che tengano conto anche della valutazione dell'incertezza; tra queste vi sono:

- media (ottenuta a partire dai diversi modelli disponibili) delle anomalie stagionali e annuali sul periodo futuro (almeno trentennale) selezionato e per ciascuno scenario IPCC;
- dispersione intorno al valore medio. L'ampiezza della dispersione può ottenersi sia utilizzando il valore minimo e massimo ottenuti dal set di modelli utilizzati, oppure utilizzando dei percentili;
- robustezza del segnale climatico. Essa misura l'accordo tra i diversi modelli dell'ensemble nell'individuare la significatività e il segno del cambiamento climatico (Tebaldi et al. 2011).

Nel caso del profilo climatico locale è molto importante valutare preliminarmente il numero dei punti del modello da utilizzarsi per rappresentare il clima e la sua relativa variazione. Solitamente, nel caso in cui si debba effettuare l'analisi su un singolo punto stazione, tra le tecniche maggiormente utilizzate vi è quella dell'utilizzo del punto vicino, che tuttavia può comportare notevoli errori. Un'altra scelta è l'utilizzo della media dei punti del modello che ricadono vicino a quello di studio (un buon compromesso può essere considerare un box di 9 punti del modello centrati sul punto di interesse. Ad ogni modo, si suggerisce di effettuare un'analisi preliminare per la selezione del miglior criterio in base allo specifico

⁵ L'assunzione che i modelli considerati nell'approccio multi-model siano indipendenti e distribuiti attorno al valore climatico vero implica che l'incertezza nella proiezione diminuisca al crescere del numero dei modelli (Knutti et al., 2010)

⁶ Uno dei metodi più utilizzati in letteratura per il calcolo della significatività statistica delle anomalie climatiche è il test di Wilcoxon-Mann-Whitney (DePuy et al., 2014)



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



caso studio). Nel caso invece che l'analisi vada effettuata su di un'area è opportuno valutare il numero dei punti del modello da considerare per la rappresentazione del clima sulla base dell'estensione dell'area, delle sue caratteristiche e della risoluzione del modello climatico utilizzato.

Per quanto attiene la scelta dei periodi solitamente utilizzati per lo studio delle variazioni climatiche, quella ampiamente utilizzata in letteratura è la seguente:

- 2011-2040 (breve termine)
- 2041-2070 (medio termine)
- 2071-2100 (lungo termine)

Per quanto riguarda il periodo di riferimento (o controllo), invece, quello maggiormente utilizzato è 1981-2010.



Analisi territoriali per la caratterizzazione della vulnerabilità

L'analisi e l'individuazione di strategie di adattamento per fronteggiare gli impatti del cambiamento climatico prevede, oltre alla caratterizzazione climatica (presente e futura) del territorio, l'analisi delle caratteristiche territoriali al fine di valutare la vulnerabilità e il rischio del territorio per lo specifico settore in esame, con l'obiettivo finale di basare su queste la scelta delle più opportune strategie di adattamento.

I concetti di vulnerabilità e rischio sono spesso utilizzati con interpretazioni e significati differenti e nel tempo hanno subito un'evoluzione come riportato nei diversi rapporti del Panel Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (IPCC). Nell'ultimo rapporto dell'IPCC (2014), le tre componenti fondamentali per la valutazione e gestione dei rischi legati al cambiamento climatico sono: la pericolosità (*hazard*), l'esposizione (*exposure*) e la vulnerabilità (*vulnerability*). Nella componente vulnerabilità rientrano come elementi determinanti la sensibilità, ossia "suscettibilità" al danno, e la capacità di adattamento. Di seguito si riportano le definizioni come riportate dall'ultimo report IPCC (2014):

Pericolosità: qualsiasi evento naturale o indotto dalle attività umane che può potenzialmente causare perdite di vite umane o impatti sulla salute, danni e perdite alle proprietà, infrastrutture, servizi e risorse ambientali. Il cambiamento climatico può agire su diverse tipologie di pericoli (es. inondazioni, mareggiate, ondate di calore, frane, siccità) determinando variazioni nella loro frequenza, distribuzione spaziale o intensità.

Esposizione: presenza di persone, mezzi di sostentamento, specie o ecosistemi, funzioni ambientali, servizi e risorse, infrastrutture o risorse economiche, sociali o culturali in luoghi e condizioni che potrebbero essere soggetti ad impatti avversi.

Vulnerabilità: propensione o predisposizione di un sistema ad essere negativamente alterato. Include una varietà di concetti ed elementi quali la sensibilità al danno e l'incapacità di fronteggiare un fenomeno e di adattarsi.

Sensibilità: il grado con cui un sistema è influenzato, negativamente o positivamente, dalla variabilità e dal cambiamento del clima. L'effetto può essere diretto (ad es. un cambiamento nella resa delle colture in risposta ad una variazione della temperatura) o indiretto (ad es. i danni causati da un aumento della frequenza di inondazioni costiere a causa dell'innalzamento del livello del mare)

Capacità di adattamento: abilità di sistemi, istituzioni umane e di altri organismi di modificarsi in risposta a danni potenziali, in modo tale da sfruttare opportunità vantaggiose e da ridurre alterazioni negative.

Strategie efficaci per la riduzione del rischio e per l'adattamento, pertanto, devono basarsi sull'identificazione e la stima dei pericoli e sulla valutazione delle condizioni di esposizione e vulnerabilità dei sistemi naturali e umani, considerandone le interazioni.

Al fine di determinare la vulnerabilità di un territorio per un determinato rischio è quindi fondamentale caratterizzare il contesto ambientale e socio-economico del territorio in cui una determinata variazione



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



del clima, e quindi determinate condizioni di pericolosità, andranno a ripercuotersi, mettendo in luce sia le minacce sia le opportunità che i cambiamenti climatici determineranno nei prossimi anni.

L'analisi del contesto ambientale e socio-economico mira a definire l'esposizione, la sensibilità e la capacità di adattamento di un territorio, che si riflettono poi nelle sue caratteristiche in termini di impatto e di capacità di resilienza ad un determinato stress esogeno, ed rappresenta la base fondamentale per la successiva valutazione e definizione della vulnerabilità e del rischio.

Questa analisi di contesto ambientale e socio-economico rappresenta quindi uno strumento fondamentale per mettere in evidenza le criticità di un territorio e le interrelazioni fra componente ambientale in senso stretto, attività economiche e caratteristiche sociali.

L'analisi territoriale dovrà quindi prevedere, oltre alla caratterizzazione climatica presente e futura descritta nei paragrafi precedenti, la raccolta di una serie di informazioni al livello più elevato di dettaglio disponibile e per il contesto territoriale comunale.

Le principali informazioni che ogni comune dovrà raccogliere, necessarie al popolamento di relativi indicatori di esposizione, sensibilità e capacità adattativa, compatibilmente con la disponibilità di dati e risorse, sono divise per categoria e riassunte nella tabella seguente:

Ambientali	<ul style="list-style-type: none">- Modelli digitali di elevazione- Geomorfologia e idrologia- Assetto idrogeologico, aree a rischio esondazione e allagamento, aree a rischio frana- Impermeabilizzazione e capacità drenante del suolo- Sistema idrico superficiale- Impermeabilizzazione e capacità drenante- Qualità dei corpi idrici superficiali- Stato qualitativo e quantitativo delle acque sotterranee- Uso del suolo- Aree sottoposte a tutela- Distribuzione del verde urbano e rete ecologica locale- Territorio urbanizzato e da urbanizzare- Nuovi ambiti di trasformazione e/o insediamento
Socio-economici	<ul style="list-style-type: none">- Popolazione e densità territoriale- Categorie di popolazione più vulnerabile- Livello di istruzione- Economia (reddito pro-capite, settori produttivi)
Infrastrutturali	<ul style="list-style-type: none">- Canali artificiali- Reti di trasporto- Reti energetiche- Sistema fognario- Acquedotti
Urbanistici	<ul style="list-style-type: none">- Carte tecniche comunali- Database geo-topografico



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



	- Analisi della struttura urbana
Pianificatori	<ul style="list-style-type: none">- Pianificazione paesaggistica- Pianificazione urbanistica- Piani di gestione del rischio di alluvioni- Piani di utilizzo del litorale- Altre pianificazioni di settore
Altro	- Campagne di misure ed allerta

Si fa presente che la precedente elencazione non è esaustiva (ulteriori informazioni potranno essere aggiunte ad integrazione delle precedenti) né strettamente vincolante, in quanto alcune informazioni possono essere sostituite con altre qualora in possesso di altri dati simili disponibili.

Tali informazioni potranno essere utilizzate per il popolamento di uno specifico set di indicatori a supporto della valutazione della vulnerabilità e del rischio associato ai cambiamenti climatici per le alluvioni di acque meteoriche.

Per indicatore si intende un parametro da utilizzare come *proxy* per identificare i principali fattori e beni esposti al cambiamento climatico, per valutare la sensibilità al danno derivante dai cambiamenti climatici e la capacità di rispondere e adattarsi a tali cambiamenti.

Non esiste un set di indicatori predefinito, ma la scelta andrà effettuata in base allo specifico contesto, tenendo conto nella scelta degli stessi di alcune caratteristiche fondamentali: (i) gli indicatori devono essere rappresentativi del fenomeno che vanno ad analizzare e devono essere facilmente interpretabili; (ii) devono essere attendibili da un punto di vista teorico e scientifico e (iii) devono essere misurabili (GIZ, 2014).

Tali informazioni permetteranno infatti di mettere in relazione la situazione attuale e le tendenze in atto, ed effettuare analisi comparative con altre situazioni territoriali e monitorare nel tempo l'evoluzione della vulnerabilità e gli effetti di eventuali azioni di adattamento implementate.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Bibliografia

1. Bucchignani, E., Montesarchio, M., Zollo, A. L., & Mercogliano, P. (2016). High-resolution climate simulations with COSMO-CLM over Italy: Performance evaluation and climate projections for the 21st century. *International Journal of Climatology*, 36(2), 735–756.
2. Collins, M., Brierley, C. M., MacVean, M., Booth, B. B. B. and Harris, G. R. (2007) "The Sensitivity of the Rate of Transient Climate Change to Ocean Physics Perturbations," *J. Clim.*, 20, 23315–23320.
3. Conrad V., Pollack C., 1950: "Methods in Climatology". Harvard University Press, 459 pp.
4. DePuy, V., Berger, V. W., & Zhou, Y. (2014). Wilcoxon-Mann-Whitney Test: Overview. Wiley StatsRef: Statistics Reference Online.
5. GIZ 2014: The Vulnerability Sourcebook. Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments. Bonn and Eschborn: GIZ. http://www.adaptationcommunity.net/?wpfb_dl=203
6. Gudmundsson, L., Bremnes, J. B., Haugen, J. E. & Engen Skaugen, T. (2012) Technical Note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations - a comparison of methods. *Hydrology and Earth System Sciences* 9, 6185-6201.
7. Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M. G., Klok, E. J., Jones, P. D., and New, M.: A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006, *J. Geophys. Res.*, 113, D20119, doi:10.1029/2008JD010201, 2008
8. Hirsch, R.M., J.R. Slack, and R.A. Smith. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data, *Water Resources Research* 18(1):107-121.
9. IPCC (2014) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
10. ISPRA, 2012. "Linee guida per l'analisi e l'elaborazione statistica di base delle serie storiche di dati idrologici – Stato dell'Ambiente 32/2012"
11. ISPRA, 2013. "Elaborazione delle serie temporali per la stima delle tendenze climatiche" – Manuali e Linee Guida 84/13
12. Isotta, Francesco A., et al. "The climate of daily precipitation in the Alps: development and analysis of a high-resolution grid dataset from pan-Alpine rain-gauge data." *International Journal of Climatology* 34.5 (2014): 1657-1675.
13. 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.
14. Kendall, M.G. 1975. *Rank Correlation Methods*, 4th edition, Charles Griffin, London.
15. Knutti, R., Furrer, R., Tebaldi, C., Cermak, J., & Meehl, G. A. (2010). Challenges in combining projections from multiple climate models. *Journal of Climate*, 23(10), 2739-2758.
16. Kotlarski, S., et al. (2014), Regional climate modeling on European scales: A joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble, *Geosci. Model Dev.*, 7(4), 1297–1333, doi:10.5194/gmd-7-1297-2014.
17. Mann, H.B. 1945. Non-parametric tests against trend, *Econometrica* 13:163-171



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



18. Maraun, D. & Widmann, M. (2018). Statistical Downscaling and Bias Correction for Climate Research. 10.1017/9781107588783.
19. MATTM, 2014. Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità e adattamento ai cambiamenti climatici in Italia
20. Ronchi, C., Luigi, C. D., Ciccarelli, N., and Loglisci, N.: Development of a daily gridded climatological air temperature dataset based on a optimal interpolation of ERA-40 reanalysis downscaling and a local high resolution thermometers network, in: 8th EMS Annual Meeting and 7th European Conference on Applied Climatology, Amsterdam, The Netherlands, EMS8/ECAC7 Abstracts, Vol. 5, EMS2008-A-00492, 2008.
21. Tebaldi, C., J. M. Arblaster, and R. Knutti (2011), Mapping model agreement on future climate projections, Geophys. Res. Lett., 38, L23701, doi:10.1029/2011GL049863
22. Van Vuuren et. al. (2011). The representative concentration pathways: an overview. Climatic Change 109:5–31, DOI 10.1007/s10584-011-0148-z
23. WMO, 2007: The Role of Climatological Normals in a Changing Climate. WCDMP-No. 61, WMO.TD No. 1377.
24. Winkler J et al, 2011, Climate Scenario Development and Applications for Local/Regional Climate Change Impact Assessments: An Overview for the Non-Climate Scientist, Geography Compass, 5(6), 275-300.
25. 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. International Journal of Climatology, 36(2), 987–1004



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Link a siti internet

- A. <http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/cambiamenti-climatici/indicatori-climatici>
- B. http://www.climatrentino.it/clima_trentino/ct_dati_rapporti/ct_dr_reports_climatici/
- C. https://www.arpae.it/report_ambientali_full.asp?idlivello=1563&tipo_elenco=rep_ambientale&idmateria=4
- D. <https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/tematismi/clima/rapporti-di-analisi/annuale.html>
- E. http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/snacc_2014_rapporto_stat_o_conoscenze.pdf
- F. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml,
- G. http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio_immagini/adattamenti_climatici/allegato_1_analisi_condizione_climatica_attuale_e_futura.pdf
- H. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_Glossary.pdf
- I. http://www.cmcc.it/wp-content/uploads/2014/04/IPCC_AR5_Glossario_IT.pdf
- J. <http://etccdi.pacificclimate.org/index.shtm>
- K. <http://www.blueap.eu/site/>
- L. <http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/meteorologia-e-clima>
- M. http://www.scia.isprambiente.it/home_new.asp
- N. <https://www.arcis.it/wp/>
- O. http://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/projekte/csc-report13_englisch_final-mit_umschlag.pdf
- P. http://www.isprambiente.gov.it/files2017/snpa/Delibera15_indicatoriimpatticambiamenticlimatici.pdf
- Q. <https://public.wmo.int/en/bulletin/addressing-climate-information-needs-regional-level-cordex-framework>



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ABBREVIAZIONI, ACRONIMI

ADAPT	ADAPTation
ADURB	Adaptation URBan
ARCIS	Archivio Climatologico per l'Italia Centro-Settentrionale
ARPA	Agenzia Regionale Protezione Ambiente
BLUEAP	Bologna Adaptation Plan for a resilient city
CCI	Commission for Climatology
CMCC	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici
COMet	Centro Operativo per la Meteorologia
CLIVAR	CLImate VARiability
CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche
CRA-CMA	Consiglio Ricerca Agricoltura- Climatologia Meteorologia Agricoltura
ENAV	Ente Nazionale Assistenza al Volo
E-OBS	European OBServational dataset
ETCCDI	Expert Team on Climate Change Detection and Indices
EURO4M	European Reanalysis Observation for Monitoring
GCM	Global Climate Model
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
JCOMM	Joint Technical commission for Oceanography and Marine Meteorology
MATTM	Ministero Ambiente Tutela Territorio Mare



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



NWIOI	North West Italy Optimal Interpolation
PNACC	Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici
RCM	Regional Climate Model
SCIA	Sistema dati Climatici Interesse Ambientale
SNACC	Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici
WMO	World Meteorological Organization

Il documento è stato sviluppato con il supporto scientifico della Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC).

Persone di riferimento: Paola Mercogliano (paola.mercogliano@cmcc.it); Valentina Mereu (valentina.mereu@cmcc.it).