

# CRITERI PER LA DEFINIZIONE DI INDICATORI PRIORITARI DI IMPATTO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI: VERSO UN SET A LIVELLO NAZIONALE

Francesca Giordano<sup>1,\*</sup>, Claudia Sebbio<sup>1</sup>, Gabriele Antolini<sup>2</sup>, Lucio Botarelli<sup>2</sup>, Federica Flapp<sup>3</sup>, Veronica Bonati<sup>4</sup>, Luca Onorato<sup>4</sup>, Nicola Loglisci<sup>5</sup>, Graziella Priod<sup>5</sup>, Renata Pelosini<sup>5</sup>, Andrea Motroni<sup>6</sup>, Umberto Morra di Cella<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

<sup>2</sup> Agenzia Regionale per la Prevenzione, l'Ambiente e l'Energia dell'Emilia-Romagna.

<sup>3</sup> Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia.

<sup>4</sup> Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente ligure.

<sup>5</sup> Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Piemonte.

<sup>6</sup> Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sardegna.

<sup>7</sup> Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta.

**Sommario** – Come evidenziato nella Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici (MATTM, 2015), in Italia si stanno già manifestando i cambiamenti climatici ed i relativi impatti, con differente intensità e disomogenea distribuzione sul territorio. In questo contesto di cambiamento, emergeranno con ogni probabilità nuove problematiche, mentre alcuni fenomeni già esistenti potranno subire un'amplificazione. La comunità scientifica sarà quindi chiamata ad affrontare nuove sfide, che richiederanno nuovi strumenti conoscitivi, nonché sistemi innovativi di supporto alle decisioni. Nel 2016 il Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), costituito dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale e dalle Agenzie Regionali e delle province autonome di Trento e Bolzano per la Protezione dell'Ambiente, ha avviato un'iniziativa finalizzata a definire un *set* di indicatori di impatto dei cambiamenti climatici a livello nazionale. L'obiettivo è quello di migliorare il quadro conoscitivo sulle conseguenze ambientali, sociali ed economiche dei cambiamenti climatici, favorire i processi di comunicazione per aumentare la consapevolezza dei cittadini su tali temi, supportare i processi decisionali ed, infine, contribuire a stabilire uno scenario di riferimento rispetto al quale poter monitorare l'efficacia delle future azioni di adattamento. Ad oggi sono stati individuati circa 150 "potenziali indicatori di impatto dei cambiamenti climatici" appartenenti ai seguenti settori: a) risorse idriche; b) desertificazione, degrado del territorio e siccità; c) dissesto idrogeologico; d) biodiversità ed ecosistemi terrestri, marini e di acque interne e di transizione; e) salute; f) foreste e produttività forestale; g) agricoltura e produzione alimentare; h) pesca marittima; i) acquacoltura; j) energia; k) zone costiere; l) turismo; m) insediamenti urbani; n) patrimonio culturale; o) trasporti e infrastrutture; p) industrie pericolose; q) aree alpine e appenniniche; r) bacino fluviale del Po. Essi costituiscono un portfolio di indicatori molto ampio, necessario al fine di mettere a sistema un monitoraggio ottimale degli impatti. Nel breve termine, soltanto un numero limitato di indica-

tori verrà selezionato sulla base di opportuni criteri e successivamente popolato, con l'obiettivo di stabilire una prima *baseline* di riferimento su scala nazionale.

**Parole chiave:** *cambiamenti climatici, impatti chiave, criteri, indicatori di impatto dei cambiamenti climatici, adattamento.*

## CRITERIA FOR THE PRIORITIZATION OF CLIMATE CHANGE IMPACT INDICATORS: TOWARDS A NATIONAL SET OF INDICATORS

**Abstract** – As highlighted by the National Adaptation Strategy (MATTM, 2015), climate change and its impacts are already ongoing in Italy, even with different intensity and uneven distribution in space. In this context, new problems will arise and existing phenomena will be exacerbated. The scientific community will be therefore required to face new challenges, which will call for new know-how and decision support systems. In 2016, the National System for Environmental Protection, which includes the Institute for Environmental Protection and Research and the Regional/Provincial Agencies for Environmental Protection, launched an initiative aiming at the definition of a climate change impact indicators set with the purpose: i. to improve knowledge on the current climate change impacts in Italy; ii. to facilitate communication and awareness raising processes on such themes; iii. to support the decision processes; and finally iv. to establish a reference scenario for the future monitoring of effectiveness of adaptation measures. The National System has therefore worked in order to establish a wide portfolio of climate change impact indicators. For the purpose of the work, an impact indicator has been intended as an observed measure that indicates a "relevant" environmental, social, economic impact, and whose causes can be linked – in some way – to the interaction between changes in climate and the system it portrays (Costa et al., 2016). To date, about 150 "potential climate impact indicators" have been identified, based on existing literature and guided by an expert judgement. The indicators belong to different sectors, such as: a) water resources; b) desertification, land degradation and drought; c) hydrogeological risk; d) biodiversity and terrestrial, marine and freshwater ecosystems; e) health; f) forestry; g) agriculture;

\* Per contatti: Viale Cesare Pavese 305, 00144 Roma. Tel. 06.50072547; e-mail: francesca.giordano@isprambiente.it.

h) fisheries; i) aquaculture; j) energy; k) coastal areas; l) tourism; m) urban settlements; n) cultural heritage; o) transport and infrastructure; p) hazardous industries; q) Alpine and Apennines; r) Po river basin. These indicators constitute a very broad portfolio, finalised at the optimal monitoring of the impacts of climate change. In the short term, the objective will be to calculate a limited number of these indicators and to provide a first baseline reference. For this purpose, criteria for the prioritization of key impacts of climate change as well as criteria for the evaluation and selection of the most appropriate indicators have been defined. Among the first category of criteria are: i. the cause-effect link and the attribution of a phenomenon to climate change; ii. the magnitude; iii. the timing; iv. the occurrence rate; v. the persistence/reversibility; vi. the likelihood; vii. the value of the potentially affected resource. Among the criteria for the evaluation and selection of key indicators there are general criteria, such as the SMART approach criteria (specific, measurable, achievable, relevant, time-bounded), and specific criteria, such as: i. link with the impact; ii. feasibility; iii. sensitivity; iv. timeliness; v. uncertainties description; vi. data availability; vii. use in the European context; viii. reliability of methodology; ix. policy relevance; x. costs; xi. measure of the effectiveness of adaptation. Existing barriers for the implementation of this activity are various. Lack of scientific evidence about the cause-effect link, limited availability of data in term of time and spatial coverage, lack of adequate monitoring systems, and uncertainties affecting the evaluation are among the main examples. For this reason, there is an obvious need to continue scientific research that could establish and better understand the links between the phenomena and climatic factors.

**Keywords:** *climate change, key impacts, criteria, climate change impact indicators, adaptation.*

*Ricevuto il 14-11-2017. Modifiche sostanziali richieste il 13-12-2018. Accettato il 2-10-2018.*

## 1. INTRODUZIONE

Il clima della Terra sta cambiando e gli effetti sono visibili sia in Italia sia nel resto del mondo: aumento delle temperature, modifica dei regimi delle precipitazioni, eventi climatici estremi sempre più violenti – come precipitazioni intense, siccità e ondate di calore –, riscaldamento degli oceani, fusione dei ghiacciai, sono tra i fenomeni più evidenti.

Gli impatti dei cambiamenti climatici, definiti come “*gli effetti degli eventi meteorologici e climatici estremi e dei cambiamenti climatici sui sistemi naturali ed umani*” si riferiscono generalmente agli effetti su persone, mezzi di sussistenza, salute, ecosistemi, beni e risorse economiche, sociali e culturali, servizi e infrastrutture dovuti all’interazione dei cambiamenti climatici o degli eventi climatici pericolosi che si presentano entro uno specifico periodo di tempo, con la vulnerabilità di una società

o di un sistema esposti ai cambiamenti climatici stessi (IPCC, 2014).

In questo contesto di cambiamento, probabilmente molti fenomeni già esistenti potranno subire un’accelerazione e potranno emergere problematiche ambientali fino ad oggi sconosciute, rendendo necessari nuovi strumenti di osservazione, nonché sistemi innovativi di supporto alle decisioni. Questa crescente esigenza conoscitiva richiederà quindi capacità diagnostiche e di monitoraggio assai più adeguate di quelle attuali: una buona comprensione dei fenomeni rappresenta, infatti, il primo passo verso l’individuazione delle migliori azioni finalizzate a ridurre gli impatti e la vulnerabilità ai cambiamenti climatici, assicurandone in questo modo appropriatezza e tempestività.

Come sottolinea la Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici (MATTM, 2015), in Italia vi è una necessità crescente di sviluppare e mettere a sistema un *set* di indicatori di impatto dei cambiamenti climatici a livello nazionale, al fine di migliorare il quadro conoscitivo alla base dei processi di implementazione dell’adattamento. Per poter essere efficaci, infatti, le azioni di adattamento dovranno essere basate su elementi scientifici solidi che consentano di agire nella maniera più opportuna e tempestiva sugli effetti dei cambiamenti climatici con l’obiettivo di ridurre la vulnerabilità dei sistemi ambientali e dei settori socio-economici e limitare gli eventuali danni associati. Quindi, se gli indicatori climatici hanno l’obiettivo di favorire la comprensione dei cambiamenti del clima nel tempo, quelli di impatto e vulnerabilità mirano a valutarne le conseguenze e a determinare la capacità dei sistemi ambientali e dei settori socio-economici di far fronte ad essi.

La Strategia stessa individua nel Sistema delle Agenzie per la Protezione dell’Ambiente il possibile responsabile “*per norma della valutazione integrata di indicatori per la stima degli impatti, per misurare l’efficacia delle misure di adattamento e di mitigazione*” (MATTM, 2015).

In questo contesto, il Sistema Nazionale di Protezione dell’Ambiente (SNPA) che include l’Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e le Agenzie Regionali per la Protezione dell’Ambiente (ARPA), ha avviato nel 2016 un’iniziativa finalizzata a definire un *set* di indicatori di impatto dei cambiamenti climatici a livello nazionale, con l’obiettivo di:

- a) contribuire a colmare le lacune conoscitive in tema di impatti dei cambiamenti climatici, definendo tipologie ed entità degli impatti, su cui

dovranno essere calibrate strategie e piani di adattamento;

- b) favorire i processi di comunicazione e aumentare la consapevolezza dei cittadini sulle tendenze in atto e sul significato di tali cambiamenti per le persone, l'ambiente e l'economia;
- c) supportare i processi decisionali con elementi scientifici solidi, chiari e comprensibili;
- d) concorrere a stabilire uno scenario attuale di riferimento rispetto al quale poter monitorare l'efficacia delle future azioni di adattamento ai cambiamenti climatici nel ridurre vulnerabilità e rischi.

Lo scopo finale del lavoro sarà quello di popolare un numero limitato di indicatori di impatto chiave, selezionati sulla base di opportuni criteri ed in grado di fornire un adeguato quadro conoscitivo dei principali effetti che i cambiamenti climatici stanno determinando sul contesto ambientale e socio-economico italiano.

## 2. MATERIALI E METODI

Nell'ambito del presente studio, con il termine "indicatore di impatto dei cambiamenti climatici" si intende *uno strumento atto a misurare una conseguenza negativa o positiva ambientale, sociale o anche economica, le cui cause possono essere messe in una qualche relazione ad un cambiamento nel clima* (Costa et al., 2016).

Il lavoro, svolto tra la fine del 2016 e la prima metà del 2017, ha preso avvio a partire dal patrimonio conoscitivo messo a disposizione dai documenti propedeutici della Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici (Castellari et al., 2014a; Castellari et al., 2014b; Castellari et al., 2015c), ed in particolare dal *Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia* (Castellari et al., 2014a). Con l'obiettivo di individuare un *set* di indicatori di impatto dei cambiamenti climatici a livello nazionale, che fosse coerente con quanto emerso nei documenti citati, sono state individuate quindi due differenti fasi:

- selezione di un portfolio di "potenziali indicatori di impatto dei cambiamenti climatici", che prevede un'eshaustiva individuazione degli impatti dei cambiamenti climatici in corso e dei relativi potenziali indicatori di impatto;
- identificazione di criteri per la valutazione e la selezione di indicatori prioritari, finalizzata a definire un *set* più ristretto di indicatori chiave da popolare prioritariamente.

### 2.1. Selezione di un portfolio di "potenziali indicatori di impatto dei cambiamenti climatici"

L'implementazione della prima fase ha previsto dapprima la definizione dei principali impatti dei cambiamenti climatici in atto o previsti sul territorio italiano sui più sensibili sistemi ambientali e settori socio-economici, così come individuati e descritti nell'ambito del *Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia* (Castellari et al., 2014):

- risorse idriche;
- desertificazione, degrado del territorio e siccità;
- dissesto idrogeologico;
- biodiversità ed ecosistemi (terrestri, marini, acque di transizione);
- salute;
- foreste;
- agricoltura e produzione alimentare;
- pesca marittima;
- acquacoltura;
- energia;
- aree costiere;
- turismo;
- insediamenti urbani;
- patrimonio culturale;
- trasporti;
- industrie e infrastrutture pericolose;
- area alpina e appenninica;
- distretto idrografico padano.

In coerenza con i principali *set* di indicatori di impatto definiti a livello nazionale da parte di alcuni paesi europei nei rispettivi processi di pianificazione dell'adattamento ai cambiamenti climatici (EEA, 2017; Castellari et al., 2014; OECC, 2012; ONERC 2010; OFEV, 2007; Umweltbundesamt, 2015; Flanders Environmental Agency, 2015) (Tabella 1, a pagina seguente), e con il supporto di un approccio basato sul giudizio sia di esperti interni al Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente che esterni, a ciascun impatto settoriale è stato associato uno o più possibili indicatori di impatto, indicatori cioè di potenziale interesse e rilevanza ai fini del monitoraggio del relativo impatto a cui si riferiscono.

L'identificazione dei potenziali indicatori di impatto è stata effettuata, in questa prima fase, sulla base della frequenza di utilizzo dell'indicatore nell'ambito dei processi di adattamento dei paesi europei analizzati, nonché tenendo in considerazione l'attuale impiego di indicatori in ambito SNPA e la potenzialità di nuovi indicatori nel supportare il monitoraggio di fenomeni emergenti.

*Tabella 1 – Esempi di indicatori di impatto utilizzati in ambito europeo (su un campione di paesi: Germania, Belgio, Francia, Spagna, Svizzera ed Europa)*

Settore	Indicatore	Utilizzo in ambito europeo
Ambiente alpino e appenninico	Bilancio di massa dei ghiacciai	EEA, Francia, Spagna, Svizzera
Ecosistemi marini	Temperature superficiale del mare	EEA, Francia, Germania, Spagna
Zone costiere	Innalzamento del livello del mare	EEA, Belgio, Francia, Germania
Risorse idriche	Portata dei fiumi	EEA, Belgio
Ecosistemi terrestri	Fenologia animale	EEA, Spagna
Degrado del suolo	Contenuto in humus del terreno arabile	Germania
Dissesto idrogeologico	Eventi alluvionali	Belgio
Agricoltura	Fabbisogno idrico per l'irrigazione	EEA, Germania
Foreste e produttività forestale	Incendi boschivi	EEA, Francia, Germania, Spagna
Ecosistemi di acque interne e di transizione	Presenza di specie termofile nelle acque interne	Germania, Spagna
Salute	Ondate di calore e mortalità	EEA, Belgio, Germania, Spagna
Energia	Interruzioni di fornitura elettrica dovuta a cause meteorologiche	Germania
Trasporti e infrastrutture	Incidenti stradali dovuti a cause meteorologiche	Germania
Turismo	Preferenze delle destinazioni di vacanza	Germania

Al fine di evitare ridondanze e duplicati, gli indicatori afferenti ai settori interdisciplinari e rappresentativi di ambiti territoriali, come “Insediamenti urbani”, “Aree alpine e appenniniche”, “Distretto idrografico del Po”, sono stati coerentemente ridistribuiti all’interno dei settori tematici di competenza, in particolare:

- i. gli indicatori relativi agli “Insediamenti urbani” sono stati redistribuiti in “Risorse idriche”, “Dissesto idrogeologico”, “Salute”, “Energia”, “Zone costiere” e “Trasporti e infrastrutture”;
  - ii. gli indicatori di “Aree alpine e appenniniche” sono confluiti in “Risorse idriche”, “Dissesto idrogeologico”, “Ecosistemi terrestri”, “Ecosistemi di acque interne e di transizione”, “Energia”, “Turismo”;
  - iii. gli indicatori relativi al “Distretto idrografico del Po” sono stati inclusi in “Risorse idriche”.
- Si precisa, inoltre, che nel caso di alcuni particolari settori quali “Ecosistemi terrestri”, “Ecosistemi marini” e “Ecosistemi di acque interne e di transizione”, per i quali i documenti consultati e le esperienze in corso nell’ambito SNPA non hanno fornito un supporto sufficiente ad operare un’adeguata selezione di veri e propri indicatori, si è optato per l’individuazione di macro-categorie di indicatori.

## **2.2. Identificazione di criteri per la valutazione e la selezione di indicatori di impatto prioritari**

Sebbene popolare completamente il *set* di indicatori individuato potrebbe rappresentare un impre-

scindibile obiettivo di lungo termine, nell’orizzonte temporale più immediato appare chiara l’esigenza di restringere il campo di analisi ad un sistema di indicatori più limitato: l’applicazione di opportuni criteri risulta necessaria per far sì che l’attenzione venga posta prioritariamente su pochi indicatori, altamente significativi.

L’approccio per la definizione dei criteri di selezione degli “indicatori prioritari” ha previsto essenzialmente due fasi consequenziali:

- a) definizione di criteri per l’individuazione degli impatti chiave;
- b) definizione di criteri per la selezione degli indicatori prioritari.

### *2.2.1. Criteri per l’individuazione degli impatti chiave*

Prima di chiedersi quale indicatore selezionare prioritariamente ai fini della definizione di un *set* di indicatori di impatto a scala nazionale, è necessario stabilire un ordine di importanza anche tra gli impatti. Infatti, non tutti gli impatti sono uguali, equamente distribuiti sul territorio, similmente correlati al cambiamento climatico, contemporanei nel manifestarsi sul territorio, omogeneamente probabili, ecc. L’urgenza e la priorità nel trattare dapprima un impatto piuttosto che un altro viene quindi definita sulla base di una combinazione di criteri, da valutare con il supporto della letteratura scientifica disponibile in materia.

- a) *Relazione causa-effetto* (EEA, 2017). Questo criterio mira a verificare quanto sia conosciuta e documentata la relazione causa-effetto tra cambia-

mento climatico e suo (eventuale) effetto: la relazione può essere scientificamente dimostrata, inconfutabile e talmente forte che specifici cambiamenti climatici vengono chiaramente riflessi nel relativo impatto, cui verrà data massima priorità. In altri casi, la relazione causa-effetto potrà essere meno consolidata dal punto di vista scientifico: alcuni fenomeni, infatti, sebbene innescati da forzanti climatiche, sono la conseguenza di una combinazione complessa di più fattori ambientali, sociali, economici, culturali di cui non sempre è chiara l'interazione. In tal caso, di fatto, non essendo stata ancora riscontrata un'esatta correlazione tra i cambiamenti climatici ed il presunto impatto, saranno necessarie ulteriori azioni di approfondimento. Ad esempio, gli impatti sugli ecosistemi glaciali sono strettamente legati al cambiamento climatico, dal momento che su tali ecosistemi agiscono solo dinamiche naturali: è stato mostrato che le aree proglaciali delle Alpi italiane presentano una risposta analoga e praticamente sincrona del ghiacciaio e della vegetazione, con una notevole accelerazione delle dinamiche nell'ultimo decennio. In particolare, le dinamiche di colonizzazione sono quasi sincrone al trend di ritiro dei ghiacciai (Cannone et al., 2008). Meno chiara è, invece, la relazione in termini di tipologia, intensità, collocazione e frequenza dei fenomeni franosi in risposta al cambiamento del clima (Gariano e Guzzetti, 2016). Tali fenomeni risultano, infatti, dalla combinazione complessa di più fattori non esclusivamente climatici.

- b) *Intensità dell'impatto*. Più rilevante sarà l'intensità dell'impatto, maggiore sarà l'urgenza con cui esso dovrà essere trattato. L'intensità di un impatto potrà avere differenti unità di misura a seconda che venga considerato, ad esempio, in termini di potenziale danno economico (es. danni alle infrastrutture di trasporto, agli immobili, ai servizi di distribuzione di energetica e idrica, ecc.), numero di persone colpite (es. morti e feriti per ondate di calore, fenomeni franosi e alluvionali, ecc.), specie a rischio di estinzione (es. specie non in grado di adattarsi ai cambiamenti), risorse perse (es. suolo, acqua, ecc.) (Oppenheimer, 2014; IPCC 2012a).
- c) *Orizzonte temporale*. Gli impatti dei cambiamenti climatici non avvengono simultaneamente. Vanno pertanto distinti gli impatti già in corso o che si manifesteranno nel breve termine, e quindi più urgenti, da quelli che potrebbero accadere in un lasso di tempo più lungo, consentendo l'opportunità di costruire nel tem-

po una opportuna capacità di adattamento (Schneider et al., 2007). I ghiacciai alpini, ad esempio, si stanno significativamente già ritirando ovvero estinguendo nel caso dei ghiacciai più piccoli (Castellari et al., 2014).

La scala temporale con cui i cambiamenti climatici modificano l'ecosistema può variare, invece, dai giorni, per quanto riguarda ad esempio l'attività microbica del suolo, all'anno qualora si consideri il flusso di carbonio nell'ecosistema, alle decine di anni relativamente alla modifica della composizione di una comunità, alle centinaia o addirittura migliaia di anni, nel caso dell'adattamento ed evoluzione di una o più specie o associazioni vegetale (Huntley e Baxter, 2003).

- d) *Tasso di accadimento*. A seconda del tasso di accadimento si considereranno chiave gli impatti improvvisi piuttosto che quelli destinati a manifestarsi gradualmente, poiché la potenziale capacità di adattamento, sia per i sistemi umani che per quelli naturali, sarà più limitata. Cambiamenti molto rapidi e imprevisi potranno intensificare altre vulnerabilità ed innescare reazioni a catena inaspettate (IPCC, 2007). Ad esempio, impatti improvvisi associati ai cambiamenti climatici sono quelli conseguenti agli eventi meteorologici estremi come le alluvioni, le frane, le valanghe, le inondazioni costiere che possono determinare importanti conseguenze economiche e per la salute umana (SNAC, 2015).
- e) *Persistenza/Reversibilità*. Un impatto persistente e, soprattutto, potenzialmente irreversibile (es. fusione di un ghiacciaio, estinzione di una specie, perdita di una cultura unica al mondo) richiederà un'attenzione prioritaria rispetto ad un impatto transitorio e reversibile (es. danni ad infrastrutture ed immobili, interruzione dei servizi di distribuzione energetica e idrica, ecc.), che potrà regredire nel tempo o a seguito di opportune e semplici misure di adattamento (IPCC, 2014).
- f) *Probabilità*. Sulla base degli output di modelli in grado di prevedere il manifestarsi di determinati fenomeni, si potrà ipotizzare una maggiore o minore probabilità di accadimento di un determinato impatto, nel caso in cui esso non si sia già verificato. Poiché la probabilità è una componente del rischio, maggiore sarà la probabilità di accadimento dell'impatto, più elevato sarà il rischio ad esso associato e maggiore sarà la necessità di considerarlo tra le priorità. A livello globale, ad esempio, i cambiamenti climatici produrranno con elevata probabilità un incremento del rischio di mortalità e morbilità dovute ad on-

date di calore, ad incendi più intensi e a patologie trasmesse da cibo e acqua (IPCC, 2014).

- g) *Valore delle risorse potenzialmente a rischio.* Sebbene non di facile stima, il valore della risorsa potenzialmente a rischio è un ulteriore elemento da considerare qualora risulti necessario stabilire delle priorità: per esempio un habitat unico in cui vivono specie endemiche, rare o minacciate sarà considerato un ecosistema ad elevato valore; oppure, se dalle risorse di un sistema dipende la vita e la sopravvivenza di molte persone, rispetto ad uno stesso sistema collocato in un'area isolata, esso sarà considerato di cruciale importanza (IPCC, 2007).

### 2.2.2. Criteri per la selezione degli indicatori prioritari

Stabilito il contesto per l'individuazione degli impatti chiave, anche la selezione degli indicatori prioritari dovrà essere effettuata sulla base di opportuni criteri, siano essi generali e specifici.

Tra i primi si considerano quelli ormai ampiamente condivisi e previsti dall'approccio SMART (Doran, 1981) che propone la seguente lista di criteri:

- S (specific), cioè concreti;
- M (measurable), cioè associati a chiari criteri e unità di misura;
- A (achievable), cioè realizzabili e realistici;
- R (relevant), cioè significativi rispetto a ciò che dovrà essere misurato;
- T (time-bounded), cioè accompagnati da una chiara indicazione dei tempi.

Appartengono invece alla seconda categoria, i criteri più specifici rispetto alla valutazione di un indicatore di impatto dei cambiamenti climatici. Come sottolineato in Costa et al (2016), è possibile definire un *set* di possibili criteri che gli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici dovrebbero rispettare. Nell'ambito del presente lavoro sono stati identificati i seguenti criteri, definiti sulla base di quelli già in uso presso l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale in merito alla selezione di indicatori (ISPRA, 2017) e di alcuni autorevoli riferimenti in materia (Costa et al., 2016; Hildén e Marx, 2013; EEA, 2017):

- *Relazione rispetto all'impatto.* Il criterio mira a verificare se esiste una relazione documentata tra l'indicatore e ciò che si suppone esso debba misurare. In alcuni casi tale legame esiste sia a livello teorico che sulla base di un'evidenza statistica, in altri casi tale relazione è solo teorica e andrebbe maggiormente dimostrata nei fatti (Costa et al., 2016). Per esempio gli ecosistemi glaciali sono indicatori molto efficaci del cambia-

mento climatico, perché sono ambienti soggetti solo a dinamiche naturali, nei quali vegetazione e ghiacciaio sono strettamente legati e rispondono allo stesso input che è il clima (MATTM, 2015).

- *Sensitività.* L'indicatore dovrà essere in grado di distinguere differenze significative nelle condizioni del fenomeno da misurare e nei suoi cambiamenti (Hildén e Marx, 2013; ISPRA, 2017).
- *Tempestività.* L'indicatore dovrà essere in grado di evidenziare cambiamenti nei sistemi in un lasso di tempo rilevante per i decisori politici e permettere loro di prendere le decisioni più opportune. Un esempio di indicatore tempestivo è il "Bilancio di massa dei ghiacciai" che viene aggiornato annualmente al termine del ciclo fusione/accumulo della massa glaciale, consentendo valutazioni opportune in merito all'andamento del fenomeno (Hildén e Marx, 2013; ISPRA, 2017).
- *Descrizione dell'incertezza.* Ai fini di una corretta valutazione dell'impatto è importante che all'indicatore venga associata una descrizione dei fattori di incertezza che potrebbero condizionare l'interpretazione del fenomeno. L'incertezza può derivare dal metodo utilizzato per calcolare l'indicatore o essere associata agli indicatori di base utilizzati per il calcolo. In assenza di simili considerazioni, l'indicatore potrebbe essere erroneamente inteso e quindi non può essere considerato prioritario (EEA, 2017; Hildén e Marx, 2013).
- *Disponibilità dei dati.* Questo criterio si riferisce sia alla disponibilità di dati in termini di serie temporali sufficienti a tracciare un trend ed apprezzarne l'eventuale correlazione rispetto al cambiamento climatico (es. serie di almeno 30 anni), sia di dati che abbiano una copertura spaziale sufficiente alla rappresentazione del fenomeno e a supportare politiche nazionali o regionali. Anche l'aggiornamento regolare e frequente dell'indicatore rappresenta un elemento di fondamentale importanza in tal senso (Hildén e Marx, 2013; Costa et al 2016; EEA, 2017; ISPRA, 2017). Ne sono un esempio i dati relativi alla temperatura superficiale del mare: esistono diversi studi di variabilità a lungo termine per il Mar Mediterraneo in cui sono state analizzate serie storiche di dati dal 1904 al 2006, rilevando delle variazioni nella temperatura superficiale nel Mediterraneo Occidentale di +0.85°C, nello Ionio di +0.92°C e nell'Adriatico di +1.45°C (Axaopoulos e Sofianos, 2010). Un ulteriore esempio è dato dall'aggiornamento annuale della serie rappresentativa delle anomalie medie delle temperature dei mari italiani da parte di ISPRA (ISPRA, 2018).

- *Utilizzo nel contesto europeo.* Questo criterio si basa sul confronto con indicatori proposti sia a livello europeo (EEA, 2017; Hildén e Marx, 2013), sia nell'ambito dei processi di adattamento di alcuni paesi europei, con particolare riferimento a quelli che sono potenzialmente colpiti da simili problematiche e presentano comparabili vulnerabilità.
- *Affidabilità della metodologia* (Hildén e Marx, 2013; Costa et al., 2016; EEA, 2017; ISPRA, 2017). La metodologia utilizzata per l'elaborazione dell'indicatore deve essere scientificamente solida, chiara e replicabile.
- *Target/rilevanza per i decisori politici* (EEA, 2017; Hildén e Marx, 2013). La capacità dell'indicatore di valutare il conseguimento di specifici obiettivi e di verificare il raggiungimento di un target rappresenta un elemento fondamentale nella selezione dell'indicatore, sebbene nella realtà in materia di adattamento non sia ancora condiviso l'uso di veri e propri target quantitativi. In ogni caso è importante che esso sia funzionale al fine di fornire utili elementi alla base dei processi di supporto alle decisioni.
- *Costi.* Il costo di realizzazione dell'indicatore è un ulteriore criterio importante da tenere in considerazione, soprattutto se considerato rispetto alle risorse disponibili per questo scopo. L'obiettivo è quello di far sì che l'indicatore possa essere facilmente realizzato e popolato, monitorato nel tempo sia su scala nazionale che, se necessario, alla scala regionale.
- *Efficacia dell'adattamento.* Il criterio richiede che l'indicatore, oltre a contribuire a colmare i gap conoscitivi esistenti e a fornire utili elementi per la comunicazione e la sensibilizzazione della popolazione, possa essere anche utilmente im-

piegato ai fini della valutazione dell'efficacia delle misure di adattamento. Con tale obiettivo, esso verrà elaborato sia prima dell'implementazione della misura sia successivamente, in modo tale da poterne apprezzare le differenze nel tempo.

### 3. RISULTATI

La Figura 1 e la Tabella 2 riportano i risultati del lavoro fino ad oggi realizzato, relativo alla selezione di un portfolio di "potenziali indicatori di impatto dei cambiamenti climatici". Il percorso implementato ha consentito di individuare circa 150 indicatori, suddivisi a seconda dei settori considerati (Castellari et al., 2014a).

Come si evince dalla Figura 1 la numerosità degli indicatori per ciascun settore non è costante, passando dai 21 indicatori/macro-categorie del settore "Ecosistemi terrestri" fino all'unico indicatore del settore "Pesca marittima". Ciò dipende dal livello di complessità del singolo settore, dalla molteplicità delle tipologie di impatto che si possono verificare al suo interno nonché dall'attuale disponibilità di possibili indicatori, ancorché a livello potenziale. La Tabella 2 (da pagina seguente) riporta per ciascuno dei settori individuati a partire dalla SNAC (prima colonna), i diversi impatti attuali/previsti dei cambiamenti climatici così come identificati nell'ambito del Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici (Castellari et al., 2014a). La terza colonna riporta la lista dei 148 potenziali indicatori di impatto individuati: con asterisco sono contrassegnati tutti quei casi in cui invece dell'indicatore sono state definite le macro-categorie di interesse che verranno approfondite nel prosieguo del lavoro.

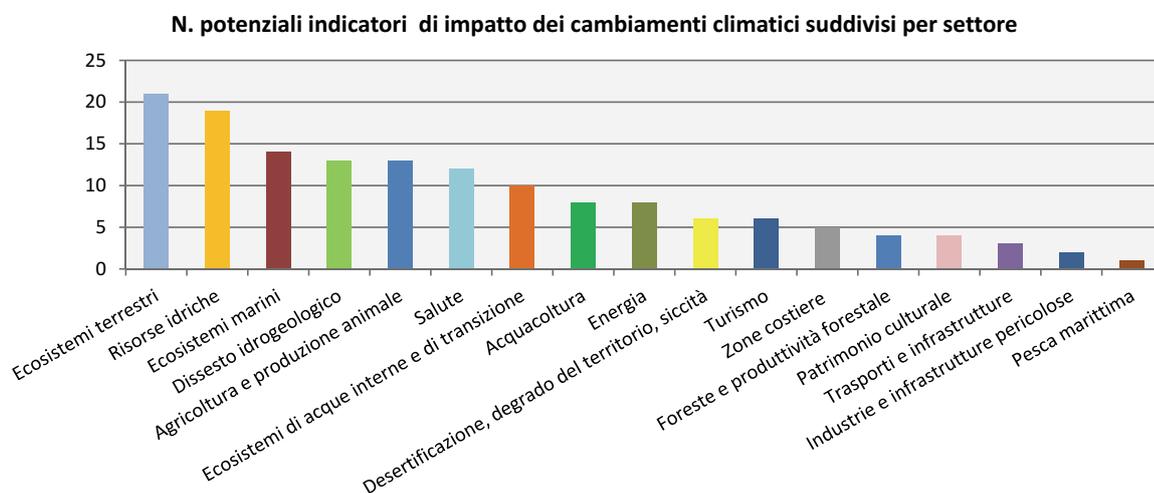


Figura 1 – Suddivisione per settore dei potenziali indicatori di impatto dei cambiamenti climatici

**Tabella 2a – Portfolio di potenziali indicatori di impatto dei cambiamenti climatici per ciascun settore analizzato**

SETTORE	IMPATTO	INDICATORE
RISORSE IDRICHE (quantità e qualità)	Modifica/diminuzione disponibilità idriche Modifiche del ciclo idrologico	Portata dei fiumi
		<i>Standardized Flow Index</i>
		Indice alterazione idrologica
		Siccità fluviali
		Stato quantitativo acque di falda
		Indice utilizzo idrico
		<i>Snow Water Equivalent</i>
		Inizio periodo fusione primaverile
	<i>Runoff</i> a livello di bacino	
	Peggioramento stato ecologico dell'ambiente acquatico	Temperatura dell'acqua (laghi e fiumi)
	Diminuzione della sopravvivenza degli ecosistemi acquatici temporanei	Durata del periodo di stagnazione delle acque stagnanti
	Effetti dei cambiamenti climatici sui nutrienti nei corpi idrici superficiali	Livello di inquinamento espresso dai Macrodescrittori per lo stato ecologico (LIMeco) e LTLeco
	Effetto sullo stato dei corpi idrici	Indice di Qualità Morfologica (IQM)
Effetti sulla risorsa idrica	Variazioni chimico-fisiche delle sorgenti idriche in alta quota (concentrazioni di ioni metallici e temperatura °C)	
	Variazione del fronte glaciale	
Fusione dei ghiacciai	Bilancio di massa	
	Andamento dei volumi di invaso/rilasci	
Variazione disponibilità idrica dei grandi laghi	<i>Run method</i> (durata e deficit volumetrico)	
Magre e siccità	Consumo di acqua potabile	
Riduzione disponibilità delle risorse idropotabili		
DESERTIFICAZIONE, DEGRADO DEL TERRITORIO E SICCIÀ	Riduzione della qualità del suolo	Carbonio organico nel suolo
		Umidità del suolo
		Indici di Qualità Biologica del Suolo
		Salinizzazione dei suoli
	Perdita del suolo	Erosione del suolo
		Pascolo permanente
DISSESTO IDROGEOLOGICO	Modifica della frequenza/distribuzione spaziale degli eventi franosi	Numero di eventi franosi per anno
	Aumento del rischio idraulico	Indice di Dinamica Morfologica (IDM)
		Numero di esondazioni (in determinate sezioni di bacino); numero di eventi alluvionali
		Numero di allagamenti urbani
		Portata massima
	Aumento instabilità della litosfera e pericoli associati	Stato termico del permafrost
		Spessore dello strato attivo del permafrost
		Area soggetta a permafrost
		Numero di frane attive o di nuova attivazione in area alto-montana
		Numero di colate detritiche/processi torrentizi attivatesi in area alto-montana
	Aumento dei danni legati al rischio idrogeologico	Danni a beni pubblici e privati
Costi legati all'interruzione di servizi di pubblica utilità		
ECOSISTEMI TERRESTRI	Modifica del ciclo vitale (fenologia)	Stagione pollinica di piante spontanee con diversi periodi di fioritura
		Andamento fenologico riproduttivo e vegetativo di specie o comunità vegetali selezionate
		Biomassa degli ecosistemi terrestri
		Produttività netta degli ecosistemi (NEP)

Tabella 2b – Portfolio di potenziali indicatori di impatto dei cambiamenti climatici per ciascun settore analizzato

SETTORE	IMPATTO	INDICATORE
ECOSISTEMI TERRESTRI	Modifica del ciclo vitale (fenologia)	Tempistica migrazione avifauna Mis-match interspecifici (sfasamento tra cicli di vita di diverse specie con ripercussioni sulla disponibilità di risorse)
	Modifica del ciclo vitale (fenologia) Aumento di specie aliene/invasive/problematiche	Stagione pollinica dell' <i>Ambrosia artemisifolia</i>
	Modifica della composizione delle comunità ecologiche terrestri Aumento di specie aliene/invasive/problematiche	Diffusione di specie vegetali aliene/invasive termofile
	Modifica della composizione delle comunità ecologiche terrestri Aumento di specie aliene/invasive/problematiche Modifica della distribuzione geografica delle specie	Diffusione di specie animali aliene/invasive termofile
	Modifica del ciclo vitale (fenologia) Modifica della distribuzione geografica delle specie Aumento di specie aliene/invasive/problematiche	Abbondanza, distribuzione e ciclo vitale della Processionaria del pino ( <i>Thaumetopoea pityocampa</i> )
	Modifica della distribuzione geografica delle specie Modifica della composizione delle comunità ecologiche terrestri	Quota limite vegetazione arborea/arbustiva ed estensione praterie alpine
	Riduzione/perdita di habitat e di biodiversità	Struttura, dinamismo, composizione e distribuzione altitudinale di comunità vegetali alpine-appenniniche*
	Modifica della distribuzione geografica delle specie- Modifica della composizione delle comunità ecologiche terrestri	Abbondanza e distribuzione altitudinale di fauna alpina (vertebrati) *
		Abbondanza e distribuzione altitudinale di fauna alpina (invertebrati) *
		Areali di svernamento degli uccelli*
		Abbondanza e distribuzione di specie faunistiche particolarmente vulnerabili ai cambiamenti climatici*
	Modifica della distribuzione geografica delle specie	Areali e distribuzione latitudinale di specie faunistiche termofile/mediterranee*
	Modifica della distribuzione geografica delle specie- Modifica del ciclo vitale (fenologia) Modifica della composizione delle comunità ecologiche	Anfibi e rettili: condizioni, areali e abbondanza delle popolazioni; tempistica cicli riproduttivi*
	Modifica del ciclo vitale (fenologia) Modifica della fisiologia	Dati demografici, produttivi e biometrici di avifauna migratoria e nidificante ad ampio areale riproduttivo*
Riduzione/perdita di habitat e di biodiversità Alterazione dei cicli biogeochimici	Torbiere alte attive: estensione e componenti biotiche e abiotiche	
Modifica della composizione delle comunità ecologiche (pedofauna) e alterazione del suolo	Indice di qualità biologica del suolo (QBS-ar, QBS-c) e gruppi sistematici indicatori in ambienti di alta quota	
ECOSISTEMI MARINI	Alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici (scambi calore)	Temperatura superficiale del mare
	Alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici (evaporazione, apporto acque dolci)	Salinità
	Alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici (colonna d'acqua) Alterazione delle reti trofiche marine	Frequenza di Brunt Vaisala
	Alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici (apporti fluviali da scioglimento nevi)	Spessore aloclino nel periodo primaverile
	Alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici	Portata (altezza idrometrica) alla foce fluviale
	Alterazione delle caratteristiche ottiche delle acque marine Alterazione delle reti trofiche marine	Irradianza (PAR)
	Alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici (compensazione carbonati) Alterazione delle comunità ecologiche e delle reti trofiche marine Modifica della fisiologia degli organismi marini	pH e CO <sub>2</sub>
	Alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici Alterazione delle comunità ecologiche e delle reti trofiche marine	Ossigeno disciolto

**Tabella 2c – Portfolio di potenziali indicatori di impatto dei cambiamenti climatici per ciascun settore analizzato**

SETTORE	IMPATTO	INDICATORE
ECOSISTEMI MARINI	Alterazione delle comunità ecologiche e delle reti trofiche marine (popolamenti planctonici)	Stima della biomassa planctonica attraverso la fluorescenza indotta (Clorofilla a)
	Alterazione delle comunità ecologiche e delle reti trofiche marine (popolamenti planctonici)/Modifica della fisiologia degli organismi marini	Nanoplancton calcareo: abbondanza e spessore del coccolite*
	Alterazione delle comunità ecologiche (fitoplancton) e delle reti trofiche marine	Composizione e spettro dimensionale della componente autotrofa planctonica*
	Alterazione delle comunità ecologiche e delle reti trofiche marine	Areale, copertura e composizione della componente autotrofa bentonica (macroalghe e fanerogame) *
	Tropicalizzazione dei mari Alterazione delle comunità ecologiche e delle reti trofiche marine	Presenza di specie termofile aliene (es. pesci, ctenofori, molluschi, meduse)
	Meridionalizzazione dei mari Alterazione delle comunità ecologiche e delle reti trofiche marine	Areali delle specie termofile indigene e delle specie a indole boreale (es. pesci, molluschi, meduse)
ECOSISTEMI DI ACQUE INTERNE E DI TRANSIZIONE	Modifica del ciclo vitale (fenologia)	Curva di volo di insetti che svolgono parte del ciclo vitale in acqua
	Modifica della composizione e delle dinamiche delle comunità ecologiche acquatiche	Rapporto tra entità microterme ed entità termofile all'interno di gruppi tassonomici di invertebrati delle acque dolci
		Successioni fitoplanctoniche in ambiente lacustre
	Modifica della composizione delle comunità ecologiche acquatiche Aumento di specie aliene/invasive/problematiche	Presenza, abbondanza e diffusione di specie vegetali aliene in ecosistemi delle acque interne*
		Presenza, abbondanza e diffusione di specie aliene/invasive/problematiche di invertebrati che compiono almeno parte del loro ciclo vitale in ecosistemi delle acque interne*
	Modifica della distribuzione geografica delle specie	Presenza, abbondanza e diffusione di specie vegetali acquatiche microterme*
	Alterazioni delle caratteristiche ecologiche dei laghi alpini, perdita di biodiversità Modifica della composizione delle comunità ecologiche acquatiche Riduzione/perdita di habitat e di biodiversità Alterazione dei cicli biogeochimici e dello stato termico dei laghi	Profilo sulla colonna d'acqua di O <sub>2</sub> , T°C, Cond, pH, trasparenza. Durata del periodo libero dai ghiacci
	Alterazioni delle caratteristiche ecologiche dei laghi alpini, perdita di biodiversità	Paleolimnologia/analisi sedimenti lacustri storici e attuali
Alterazioni del ciclo idrologico, riduzione/perdita di habitat e di biodiversità	Estensione, idroperiodo, connettanza degli ecosistemi di acque temporanee e composizione, struttura e dinamica dei loro popolamenti (animali e vegetali) *	
Effetti dei cambiamenti climatici sui singoli Elementi di Qualità Biologica (EQB) (valutazione delle specie)	Valutazione degli Elementi di Qualità Biologica (EQB) dei corpi idrici, in riferimento alle specie	
SALUTE	Incremento della morbilità in relazione alle ondate di calore	Ricoveri/accessi alle strutture sanitarie per patologie attribuibili a onde di calore
		Costi dei ricoveri per patologie attribuibili a ondate di calore
	Incremento della mortalità in relazione alle ondate di calore	Mortalità per esposizione a ondate di calore
		Mortalità per cause specifiche in relazione alle ondate di calore
	Aumento dell'incidenza di allergopatie polliniche in relazione alle variazioni di quantità e distribuzione temporale dei pollini allergenici	Primo accesso alle strutture sanitarie per esposizione a pollini (incidenza di nuovi casi/diagnosi/per anno)
		Variazione della quantità e della distribuzione temporale dei pollini allergenici
	Incremento della prevalenza delle allergopatie polliniche	Accesso alle strutture sanitarie (ricoveri/accessi al P.S./ambulatori) per riacutizzazione sintomatologia asmatico-allergica
	Aumento dell'incidenza di malattie infettive da vettore	Numero di segnalazioni di malattie trasmesse da vettori animali (solo casi endemici)
Numero di generazioni del vettore		
Aumento dell'impatto di frane/alluvioni sulla salute	Numero di morti/feriti a seguito di eventi franosi e alluvionali	

Tabella 2d – Portfolio di potenziali indicatori di impatto dei cambiamenti climatici per ciascun settore analizzato

SETTORE	IMPATTO	INDICATORE
SALUTE	Aumento dell'impatto delle mareggiate sulla salute	Numero di morti/feriti a seguito di mareggiate
FORESTE E PRODUTTIVITÀ FORESTALE	Perdita biodiversità/variazione composizione specifica	Composizione specifica arborea delle foreste
	Aumento del rischio di incendio	Entità degli incendi boschivi – incendi boschivi [potenziale di innesco e sviluppo incendi boschivi]
	Impatto sulla produttività forestale	Produttività netta degli ecosistemi forestali (NEP)
		Incremento corrente di volume dei soprassuoli forestali
AGRICOLTURA E PRODUZIONE ALIMENTARE	Variazione del calendario fenologico	Variazione data fioritura frumento
	Variazione della stagione utile di crescita	Giorni di crescita effettivi
	Variazione delle condizioni per la raccolta	Giorni utili con campi praticabili
	Variazione delle condizioni per la semina	Giorni utili per la semina
	Riduzione acqua nel suolo	Frazione di acqua disponibile
	Aumento della richiesta idrica	Richiesta di acqua irrigua
	Variazione della stagione irrigua	Data di apertura della stagione irrigua
		Durata della stagione irrigua
	Aumento del rischio di siccità agricola	Deficit traspirativo
		Numero di giorni con stress idrico
	Incremento della pressione parassitaria	Numero di generazioni delle popolazioni di insetti
Variazione della produttività agricola	Radiazione globale effettiva	
	Produttività agricola del frumento	
PESCA MARITTIMA	Diminuzione locale delle specie ad affinità fredda/Cambiamento di areale di distribuzione di specie target della pesca	Composizione delle catture della pesca commerciale/Aumento relativo delle specie ad affinità calda
ACQUACOLTURA	Modifica della qualità ambientale nei siti di produzione	Delocalizzazione degli impianti in risposta ai cambiamenti ambientali
		Mortalità di specie allevate in relazione ad anomalie climatiche
	Diminuzione della produttività impianti acquacoltura	Indici di crescita specie allevate
		Produzione annuale (per alcune tipologie produttive)
	Aumento delle contaminazioni e rischio per la salute pubblica	Classe e numero dei corpi idrici conformi per la vita dei molluschi
		Giorni di sospensione della raccolta di molluschi nelle aree di produzione
Peggioramento dello stato di salute delle specie allevate	Eventi di malattie specie allevate per cambiamenti climatici	
Danni strutturali agli impianti	Domande di sostegno per eventi calamitosi climatici estremi	
ENERGIA	Modifica dei consumi energetici	Punta oraria di fabbisogno energia elettrica nei mesi estivi
		Consumi elettrici nei mesi estivi e nei mesi invernali
		Consumo di energia per raffrescamento e raffreddamento
	Variabilità/diminuzione della produzione energetica	Produzione di energia idroelettrica
	Variabilità della produzione energetica	Energia idroelettrica da impianti a serbatoio
	Variabilità della fornitura energetica	Interruzioni/indisponibilità di fornitura elettrica dovuta a cause meteorologiche
	Variabilità della trasmissione e della distribuzione energetica	Perdita di trasmissione e di distribuzione di energia elettrica
Decremento della potenzialità idroelettrica	Potenziale <i>inflow</i> nei bacini idroelettrici	
ZONE COSTIERE	Variazione del livello del mare	Innalzamento del livello del mare
	Variazione del livello del mare/ingressione marina	Erosione costiera
	Variazione del clima ondosio/frequenza mareggiate	Frequenza di condizioni di mare agitato
Aumento delle superfici inondate nelle città costiere		

Tabella 2d – Portfolio di potenziali indicatori di impatto dei cambiamenti climatici per ciascun settore analizzato

SETTORE	IMPATTO	INDICATORE
ZONE COSTIERE	Variazione del clima ondoso/frequenza mareggiate	Danni a beni pubblici e privati dovuti a eventi estremi/mareggiate
TURISMO	Modifica dei flussi turistici/spostamento a livello stagionale, con un aumento dell'afflusso di turisti dei mesi caldi estivi verso i mesi primaverili e autunnali/spostamento della scelta delle destinazioni turistiche verso maggiori latitudini e altitudini	Flussi turistici stagionali sul totale
	Modifica dei flussi turistici	Durata della stagione sciistica (data apertura/chiusura impianti)
		Numero di skipass venduti (e introiti €)
		Numero di contratti di lavoratori stagionali (e costi €)
Modifica della richiesta idrica per produzione di neve programmata	Consumo idrico per produzione di neve programmata	
Modifica dei consumi energetici per produzione di neve programmata	Consumo di energia per produzione di neve programmata	
PATRIMONIO CULTURALE	Perdita di materiale e processi di corrosione	Recessione superficiale per materiali lapidei e metalli
	Annerimento	Mappatura delle concentrazioni di particolato atmosferico
	Decoesione dei materiali lapidei	Termoclastismo (stima delle tensioni interne dei materiali lapidei)
	Biodegrado	Accumulo di biomassa e stima della ricchezza di specie licheniche
TRASPORTI E INFRASTRUTTURE	Aumento dei danni alle infrastrutture e dei disservizi a causa di un evento meteorologico estremo/mareggiate o di una conseguenza (frane/alluvioni)	Chiusura di una infrastruttura al traffico
		Danni alle infrastrutture urbane
		Danni alle infrastrutture costiere
INDUSTRIE E INFRASTRUTTURE PERICOLOSE	Incremento degli incidenti e dei danni alle industrie ed infrastrutture (gasdotti, oleodotti, ecc) dovuti ad eventi meteorologici estremi e/o ai loro effetti (es. frane, inondazioni, fulminazioni, ecc)	Numero annuo di eventi NaTech occorsi sul territorio nazionale originato dagli effetti di un evento meteorologico estremo in uno stabilimento industriale o in una infrastruttura con coinvolgimento di sostanze pericolose
	Incremento danni a componenti ambientali e salute umana a seguito di incidenti dovuti ad eventi meteorologici estremi	Magnitudo (entità) dei danni a componenti ambientali e salute umana a seguito di incidenti dovuti ad eventi meteorologici estremi in uno stabilimento industriale o in una infrastruttura con coinvolgimento di sostanze pericolose

#### 4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Il portfolio di indicatori fino ad oggi individuato rappresenta un *set* ideale a cui tendere per un monitoraggio capillare degli impatti dei cambiamenti climatici sul territorio nazionale. Gli indicatori individuati, perlopiù riferiti ad impatti negativi del cambiamento climatico, non vanno intesi come strumenti già consolidati e definitivi, ma piuttosto come un insieme dinamico in continua evoluzione, anche in linea con le nuove evidenze scientifiche che emergeranno nel tempo.

Definire un sistema di indicatori di impatto dei cambiamenti climatici rappresenta una sfida scientifica di elevato interesse e utilità ma tutt'altro che semplice e di immediata fattibilità. Le barriere che oggi si presentano sono molteplici e di varia natura. Dal punto di vista scientifico occorre sottolineare che nella maggior parte dei casi i fenomeni che si manifestano sul nostro territorio sono il risultato della

combinazione di un insieme di fattori, non esclusivamente di natura climatica. Stabilire quindi quanto pesi la componente legata al clima rispetto alle altre è ad oggi una questione aperta sul piano scientifico, soprattutto per alcuni settori di indagine. Una corretta interpretazione dovrà quindi tenere in considerazione questo aspetto, al fine di evitare di trarre conclusioni errate e attribuire al cambiamento climatico eventi perlopiù derivanti da una vulnerabilità preesistente e dovuta principalmente a fattori di stress di altro tipo, siano essi economici, sociali o territoriali. Un'ulteriore barriera alla realizzabilità di un simile sistema di indicatori è certamente rappresentata dalla disponibilità dei dati. Definire correttamente un indicatore di impatto del cambiamento climatico richiede di poter disporre di adeguate e sufficienti serie temporali di dati e di una copertura spaziale sul territorio, oggi non ancora disponibili per tutti i settori. Quando esistenti, molto spesso le serie temporali sono brevi, discontinue e irregolarmente aggiornate.

Nel portfolio sono, inoltre, presenti indicatori oggi non ancora popolati e che richiederanno la messa in opera di nuovi sistemi di monitoraggio, con costi aggiuntivi e risorse da dedicare.

Inoltre, le osservazioni relative ai cambiamenti climatici e agli impatti ad essi associati sono sempre accompagnate da un certo livello di incertezza, rendendo le informazioni parziali o imperfette. Per questo motivo si può affermare di conoscere la direzione o l'intensità approssimativa del fenomeno ma non la sua esatta entità. Sono fonti di incertezza, ad esempio, gli errori nella misurazione, le imperfezioni nell'aggregazione dei dati, soprattutto quando la rete di misurazione sia ridotta e l'indicatore presenti ampie variazioni nello spazio e nel tempo, limitazioni dei modelli dovute ad una comprensione incompleta delle componenti del sistema da studiare nonché le loro interazioni e meccanismi di feedback.

Il presente lavoro si pone come attività di interfaccia tra la comunità scientifica e il mondo dei decisori politici. Come evidenziato, la messa a punto di indicatori corretti, significativi ed adeguati richiede la disponibilità di chiare evidenze scientifiche, che testimonino prioritariamente la relazione causa-effetto tra i cambiamenti climatici ed il conseguente manifestarsi di un fenomeno, e forniscano altresì rilevanti elementi per la verifica dei criteri sopra menzionati. Naturalmente, migliore sarà la base informativa sul cambiamento climatico ed i suoi effetti, maggiore sarà la possibilità di fornire un più adeguato supporto ai decisori politici per l'implementazione dei processi di adattamento ai cambiamenti climatici. Alla luce di quanto già affermato nella Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici, che evidenziava l'esigenza di rafforzare e standardizzare il sistema di monitoraggio degli impatti dei cambiamenti climatici e di disporre di un *set* di indicatori a livello nazionale, l'attività promossa dal Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente si pone l'obiettivo di contribuire a colmare i gap conoscitivi esistenti: ad oggi in Italia non esiste, infatti, un sistema di indicatori omogeneo e standardizzato che consenta una rappresentazione evolutiva nel tempo dei principali effetti dei cambiamenti climatici sulle risorse ambientali e sui settori socio-economici (MATTM, 2017). I risultati di questa iniziativa, e soprattutto i suoi sviluppi futuri, dovranno necessariamente inserirsi e convergere con coerenza nel contesto più ampio che si delinea con la predisposizione del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici (PNACC). Il Piano, infatti, offrirà il quadro di riferimento e gli strumenti necessari per istituire

un adeguato sistema di Monitoraggio, Reporting e Valutazione (MRV) che sarà basato su un *set* di "indicatori di adattamento", in grado cioè di monitorare sia lo stato di avanzamento di ciascuna azione di adattamento sia la sua efficacia nel tempo.

I due sistemi di indicatori in corso di predisposizione, "di impatto" quelli relativi all'iniziativa promossa dal Sistema Nazionale per la Protezione Ambientale e "di adattamento" quelli di competenza del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare nell'ambito del PNACC, dovranno essere coerenti e sinergici fra loro al fine di garantire che la base informativa prodotta dagli indicatori di impatto venga considerata tra gli elementi propedeutici per il sistema di MRV: essa consentirà, infatti, di costruire un quadro conoscitivo sugli impatti dei cambiamenti climatici attuali (*baseline*) rispetto al quale poter monitorare l'efficacia nel tempo di alcune azioni di adattamento. Con quest'obiettivo, il portfolio di "potenziali indicatori di impatto dei cambiamenti climatici" verrà valutato attraverso l'analisi dei criteri illustrati e, in linea con quanto già realizzato in ambito europeo (EEA, 2017; OECC, 2012; ONERC, 2010; OFEV, 2007; Umweltbundesamt, 2015; Flanders Environment Agency, 2015), gli indicatori ritenuti "prioritari" verranno successivamente popolati al fine di stabilire la prima *baseline* di riferimento. L'auspicio è quello di poter costruire una base conoscitiva scientificamente solida, aggiornabile nel tempo e affidabile, che consenta di fornire un valido strumento a supporto delle strategie e dei piani di adattamento ai cambiamenti climatici e di comunicare altresì ai cittadini cosa implica già oggi il cambiamento climatico sul nostro territorio, sulla nostra società, sui nostri stili di vita e sulla nostra sicurezza.

## 5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Axaopoulos P., Sofianos S. (2010) Long Term Variability of Sea Surface Temperature in Mediterranean Sea. AIP Conference Proceedings. 1203. 10.1063/1.3322579.
- Cannone N., Diolaiuti G., Guglielmin M., Smiraglia C. (2008) Accelerating climate change impacts on alpine Glacier forefield ecosystems in the European Alps. Ecological Applications, 18, 637-648.
- Castellari S., Venturini S., Ballarin Denti A., Bigano A., Bindi M., Bosello F., Carrera L., Chiriaco M.V., Danovaro R., Desiato F., Filpa A., Gatto M., Gaudio D., Giovanardi O., Giupponi C., Gualdi S., Guzzetti F., Lapi M., Luise A., Marino G., Mysiak J., Montanari A., Ricchiuti A., Rudari R., Sabbioni C., Sciortino M., Sinisi L., Valentini R., Viaroli P., Vurro M., Zavatarelli M. (a cura di.) (2014a) Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma.

- Castellari S., Venturini S., Pozzo B., Tellarini G., Giordano F. (2014b). *Analisi della normativa comunitaria e nazionale rilevante per gli impatti, la vulnerabilità e l'adattamento ai cambiamenti climatici*. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma.
- Castellari S., Venturini S., Giordano F., Ballarin Denti A., Bigano A., Bindi M., Bosello F., Carrera L., Chiriaco M.V., Danovaro R., Desiato F., Filpa A., Fusani S., Gatto M., Gaudio D., Giovanardi O., Giupponi C., Gualdi S., Guzzetti F., Lapi M., Luise A., Marino G., Mysiak J., Montanari A., Pasella D., Pierantonelli L., Ricchiuti A., Rudari R., Sabbioni C., Sciortino M., Sinisi L., Valentini R., Viaroli P., Vurro M., Zavatarelli M. (2014c). *Elementi per una Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma.
- Costa L., Hildén M., Kropp J., Böttcher, Fronzek S., Swart R., Otto J., McCormick N., Radojevic M., Lückenköter, Kep-Thiel E., Luoju K., Singh T., Pöyry J., Sanchez E., Juckes M. (2016) *Assessing climate impact indicators: Evaluation criteria and observed strengths and weaknesses*. Reports of the Finnish Environment Institute 41/2016.
- Doran G.T. (1981) *There's a S.M.A.R.T. way to write management's goals and objectives*. *Management Review* 70: 35-36.
- EEA (2017) *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 – An indicator-based report*. EEA Report No 1/2017.
- FAO (2007) *Adaptation to climate change in agriculture, forestry and fisheries: perspective, framework and priorities*. Interdepartmental Working Group on Climate Change, Rome 2007.
- Flanders Environment Agency (2015) *Climate Report 2015 about observed and future climate changes in Flanders and Belgium*.
- Gariano S.L., Guzzetti F. (2016) *Landslides in a changing climate*. *Earth-Science Reviews*, Vol. 162, November 2016, Pages 227-252.
- Hildén M. e Marx A. (2013) *Evaluation of climate change state, impact and vulnerability indicators*. ETC CCA Technical Paper 02/2013.
- Huntley B., Baxter R. (2003). *Insights on Synergies: Models and Methods*. In: *Climate Change and Biodiversity: Synergistic Impacts* (Hannah, J.L., Lovejoy, T.E., eds.). Center for Applied Biodiversity Science at Conservation International, 4, 15-23. Washington.
- 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. Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.
- IPCC (2012a) *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K. J. Mach, G. K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 582 pp.
- IPCC (2007) *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- ISPRA (2018) *Rapporto annuale Gli indicatori del clima in Italia nel 2017 – Anno XIII, Serie Stato dell'Ambiente 80/2018*, ISBN: 978-88-448-0904-1.
- ISPRA (2017) *Annuario dei Dati Ambientali 2017*. ISPRA, Stato dell'Ambiente 76/2017. ISBN 978-88-448-0796-2.
- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2017) *Prima stesura pubblica del PNACC per la Consultazione Pubblica del 2 agosto 2017*.
- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2015) *Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*.
- Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (2010) *Impacts du changement climatique* (<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/observatoire-national-sur-effets-du-rechauffement-climatique-onerc#e1>).
- Office Fédéral de l'Environnement (OFEV), 2007. *Changements climatiques en Suisse: Indicateurs des causes, des effets et des mesures*. Berne, 2007.
- Oficina Espanola de Cambio Climatico (2012) *Evidencias del cambio climatico y sus efectos en Espana*. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC).
- Oppenheimer M., Campos M., Warren R., Birkmann J., Luber G., O'Neill B., and Takahashi K. (2014) *Emergent risks and key vulnerabilities*. In: *Climate Change (2014) Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1039-1099.
- Schneider S.H., Semenov S., Patwardhan A., Burton I., Magadza C.H.D., Oppenheimer M., Pittock A.B., Rahman A., Smith J.B., Suarez A. and Yamin F. (2007) *Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change*. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 779-810.
- Umweltbundesamt (2015) *Evaluation of the German Strategy for Adaptation to Climate Change (DAS) – Reporting and Closing Indicator Gaps*.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano i colleghi dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale che hanno attivamente contribuito alla definizione del portfolio di "potenziali indicatori di impatto dei cambiamenti climatici": Dott. ssa F. Aldighieri, Dott. A. Caputo, Dott. V. De Gironimo, Dott. ssa F. De Maio, Dott. M. Di Leginio, Dott. ssa P. Di Marco, Dott. G. Finocchiaro, Dott. T. Fortibuoni, Dott. ssa R. Gaddi, Dott. ssa A. Galosi, Ing. D. Gaudio, Dott. ssa M. Insolubile, Dott. ssa I. Leoni, Ing. S. Mariani, Dott. ssa G. Marino, Ing. G. Nardone, Dott. C. Piccini, Ing. A. Ricchiuti, Dott. F. Spina, Dott. A. Trigila, Dott. ssa J. Tuscano, Arch. C. Vicini, Dott. ssa S. Viti.



# INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

per il 2018 è sostenuta da:



**ecopneus**

il futuro dei pneumatici fuori uso, oggi

**xylem**  
Let's Solve Water



Veolia Water Technologies Italia S.p.A.



**UNICALCE**

*Innoviamo la tradizione*

**SOLV**air® Solutions

 **suez**



**TECHNO**

Vacuum Evaporation Systems

 **SIAD**

**VOMM**

**EcH<sub>2</sub>Osid**  
Ingegneria e Impianti srl

**ALLEGRI**  
ecologia  
trattamento acque



**CONOU**

**KSB** 

 **comieco**  
Consorzio Nazionale Recupero e Riciclo  
degli imballaggi a base Cellulosica

**SESEAM**  
engineering  
l'acqua e l'ambiente

**STADLER®**  
STADLER ITALIA S.r.l.



INGEGNERIA  
DELL'AMBIENTE



N. 3/2018

