

Competenze e Reti
per l'Integrazione
Ambientale per il
Miglioramento delle
Organizzazioni della
PA

Linee Guida sugli Indicatori di Siccità e di Scarsità Idrica

LINEE GUIDA SUGLI INDICATORI DI SICCITÀ E DI SCARSITÀ IDRICA DA UTILIZZARE NELLE ATTIVITÀ DEGLI OSSERVATORI PERMANENTI PER GLI UTILIZZI IDRICI



STATO ATTUALE
E PROSPETTIVE
FUTURE

GIUGNO 2018

CReIAMO PA

CReIAMO PA

Per un cambiamento sostenibile



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Agencia per la Regione Siciliana



Ministero degli Interni
Dipartimento della
Funzione Pubblica



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE



GOVERNANCE
E STRATEGIA
NATIONALE
2014-2020

Linee guida redatte da



Con la collaborazione di



a cura di

SOGESID

coordinamento



LINEE GUIDA SUGLI INDICATORI DI SICITÀ E SCARSITÀ IDRICA DA UTILIZZARE NELLE ATTIVITÀ DEGLI OSSERVATORI PERMANENTI PER GLI UTILIZZI IDRICI

STATO ATTUALE E PROSPETTIVE FUTURE

GIUGNO 2018

Attività condotta nell'ambito del sottogruppo "Indicatori" del Comitato tecnico di coordinamento nazionale degli Osservatori permanenti per gli utilizzi idrici

Autori: Stefano Mariani¹, Giovanni Braca¹, Emanuele Romano², Barbara Lastoria¹ e Martina Bussetti¹

¹ ISPRA – Istituto Superiore per la Ricerca e la Protezione Ambientale, Dipartimento per il Monitoraggio e la Tutela dell’Ambiente e per la Conservazione della Biodiversità

² IRSA-CNR – Istituto di Ricerca sulle Acque, Consiglio Nazionale delle Ricerche

Con il supporto del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione generale per la salvaguardia del territorio e delle acque, degli Osservatori permanenti per gli utilizzi idrici, del Dipartimento della Protezione Civile, dell’Istituto Nazionale di Statistica e del Consiglio per la ricerca in agricoltura e l’analisi dell’economia agraria.

Hanno contribuito al testo:

Claudia Vezzani (Distretto Idrografico Padano), Andrea Braidot, Daniele Rossi e Roberto Veltri (Distretto Idrografico delle Alpi Orientali), Bernardo Mazzanti (ex Distretto Idrografico dell’Appennino Settentrionale), Remo Pelillo (Distretto Idrografico dell’Appennino Centrale), Pasquale Cocco (Distretto Idrografico dell’Appennino Meridionale), Mariano Tullio Pintus (Distretto Idrografico della Sardegna), Andrea Duro, Emanuela Campione e Flavia Massimi (Dipartimento della protezione civile), Marco Casaioli (Istituto Superiore per la Ricerca e la Protezione Ambientale), e Nicolas Guyennon (Istituto di Ricerca sulle Acque, Consiglio Nazionale delle Ricerche).

Sommario

1	Quadro di riferimento.....	1
1.1	Gli Osservatori permanenti per gli utilizzi idrici.....	6
1.2	Gli obiettivi delle Linee guida	7
2	Il monitoraggio della siccità e della scarsità idrica a livello europeo.....	10
3	Attività nazionali e strumenti finalizzati al monitoraggio della risorsa idrica e alla valutazione della siccità e della scarsità idrica.....	14
4	Attività a livello di distretto idrografico per il monitoraggio e la gestione della siccità e della scarsità idrica	18
4.1	Distretto Idrografico Padano	18
4.2	Distretto Idrografico delle Alpi Orientali	20
4.2.1	Esempi di stima della copertura del manto nevoso e del suo equivalente in acqua	23
4.3	Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale	24
4.4	Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale.....	25
4.5	Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale	27
4.6	Distretto Idrografico della Sardegna.....	28
4.7	Distretto Idrografico della Sicilia	29
5	Proposta di indicatori comuni da adottare negli Osservatori permanenti per gli utilizzi idrici	30
5.1	SPI.....	30
5.2	SRI.....	35
5.3	SSPI.....	36
5.4	SPEI.....	38
5.5	WEI+	40
5.6	fAPAR	45
5.7	SAI.....	46
6	Bibliografia	51

Indice delle tabelle

Tabella 1. Strutture regionali e provinciali competenti in Italia per il monitoraggio idro-meteorologico.....	4
Tabella 2. Severità degli eventi di umidità e di siccità in termini di SPI, così come definiti dal WMO.....	33
Tabella 3. Classificazione dello SRI.....	36
Tabella 4. Classificazione dello SSPI.....	37
Tabella 5. Classificazione della severità idrica puntuale in funzione del valore espresso dall'indicatore SAI.....	50

Indice delle figure

Figura 1. Sequenza dell'occorrenza degli eventi di siccità e relativi impatti per le tipologie di siccità comunemente riconosciute (Fonte: <i>National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, USA</i>).	1
Figura 2. Interrelazione tra i diversi tipi di siccità rispetto alla durata dell'evento (Fonte: World Meteorological Organization, 2006).	2
Figura 3. Esempio di monitoraggio della siccità tramite il "Combined drought Indicator" del portale EDO per la seconda decade di gennaio 2018 (Fonte: JRC).	11
Figura 4. Esempio di mappe di SPI a 6 mesi in cui i valori sono riportati a livello di stazione pluviometrica (pannello di sinistra) e interpolati su grigliato regolare (pannello di destra), che sono disponibili sul portale EDO per il mese di gennaio 2018 (Fonte: JRC).	11
Figura 5. Esempio di mappa di fAPAR con risoluzione 1 km (zoom sull'Italia) per l'ultima decade di febbraio 2017 prodotte utilizzando i dati giornalieri PROBA-V nell'ambito del <i>Copernicus Global Land Service</i> (Fonte: Copernicus).	12
Figura 6. Mappe stagionali (primavera ed estate) di WEI+ per il periodo 2012–2014 prodotte dall'EEA a scala di distretto idrografico (layer ECRINS) per l'indicatore "Use of freshwater resources" (Fonte: EEA).	13
Figura 7. Esempi di SPI, a diverse scale temporali, per: (a) la stazione pluviometrica di Cagliari dell'ARPA Sardegna con dati dal 1922–2010; (b) la stazione pluviometrica di Bracciano del Centro Funzionale della Regione Lazio (tratto dalla relazione ISPRA "Analisi e valutazione dello stato ambientale del Lago di Bracciano riferito all'estate 2017").	16
Figura 8. Esempio di applicazione del modello BIGBANG per la stima della variazione dell' <i>internal flow</i> ottenuta rispetto alla media 1996–2015 considerando: (a) lo scenario IPCC RCP2.6 per la proiezione 2020–2039; (b) lo scenario peggiorativo IPCC RCP8.5 per la proiezione 2080–2099.	17
Figura 9. Mappe a scala nazionale del "Bollettino mensile di siccità" di ISPRA rappresentanti i valori di SPI a 3 mesi per giugno 2017 (a), SPI a 6 mesi per ottobre 2017 (b) e SPI a 12 mesi per gennaio 2018 (c), ottenuti utilizzando le reanalisi di precipitazione a 2.5° del NCEP. Valori negativi indicano situazioni di siccità, mentre valori positivi indicano situazioni di surplus di precipitazione rispetto alla corrispondente media climatologica, che è calcolata sul periodo 1948–2016 per i pannelli (a)–(b) e sul periodo 1948–2017 per il pannello (c).	17

Figura 10. Esempio di andamento dello SPI12 (linea verde), SPEI12 (linea rossa) e SPEI12 calcolato considerando un incremento medio delle temperature pari a 2 °C.....	40
Figura 11. Esempio di WEI calcolato dall'EEA per paesi europei: in rosso sono indicati i paesi con WEI ≥ 20%, in giallo quelli con 10% ≤ WEI < 20% e in verde quelli con WEI < 10% (Fonte: EEA).....	41
Figura 12. Esempio di mappa di WEI+ nel bacino del Danubio, calcolata sul periodo 1995–2004 (tratto da Karabulut et al., 2016).	43
Figura 13. Esempio di mappe di WEI+ declinate a scala mensile nel bacino del Danubio, calcolate sul periodo 1995–2004 (tratto da Karabulut et al., 2016)	43
Figura 14. Esempio di grafico di WEI+ declinato a scala annuale nel bacino del Po (tratto dal Piano stralcio del Bilancio Idrico del Distretto Idrografico Padano).	44
Figura 15. Esempio di grafico del WEI+ declinato a scala mensile nel bacino del Po (tratto dal Piano stralcio del Bilancio Idrico del Distretto Idrografico Padano).	44
Figura 16. Andamento della portata giornaliera della sorgente Lupa, afferente al Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale, per il periodo gennaio 1997–dicembre 2017.....	47
Figura 17. Area di ricarica per la sorgente Lupa.....	48
Figura 18. Esempio di individuazione della portata minima per ogni anno idrologico per la sorgente Lupa.....	49
Figura 19. Esempio di matrice di correlazione $SPI_n(m) - Q_a^{min}$ per la sorgente Lupa.	49
Figura 20. <i>Scatter plot</i> delle coppia $(SPI_n(m), Q_a^{min})$ che prestano la massima correlazione, con indicazione della retta di regressione e della portata D_a richiesta nella stagione estiva.	50

1 Quadro di riferimento

La **siccità** è un fenomeno naturale determinato da una condizione temporanea di riduzione o deficit della disponibilità idrica definita come lo scostamento rispetto alle condizioni climatiche medie di un determinato luogo di interesse (si veda, ad es., Schmidt et al., 2012). Non esiste, tuttavia, un'unica definizione di siccità, in quanto occorre specificare a quale ambito di fenomeni si faccia riferimento, siano essi naturali, sociali o economici. Si parla, ad esempio, di **siccità meteorologica** in caso di relativa diminuzione delle precipitazioni; di **siccità idrologica** in presenza di un apporto idrico relativamente scarso nel suolo, nei corsi d'acqua, o nelle falde acquifere; di **siccità agricola** in caso di deficit del contenuto idrico al suolo che determina condizioni di stress nella crescita delle colture; e di **siccità socio-economica** se riferita al complesso dei consumi sul territorio (Wilhite, 2000, World Meteorological Organization, 2006; [Figura 1](#), [Figura 2](#)).

L'impatto che tale fenomeno ha sull'ambiente è poi legato al perdurare delle condizioni siccitose. Una carenza di pioggia prolungata per molti mesi (6–12 mesi) avrà effetti sulla portata dei fiumi; mentre per un periodo maggiore (uno o due anni) graverà sulla disponibilità di acqua nelle falde. Altri fattori climatici (quali, ad es., alte temperature, venti forti e bassi valori di umidità relativa) possono ulteriormente peggiorare la gravità di questo fenomeno.

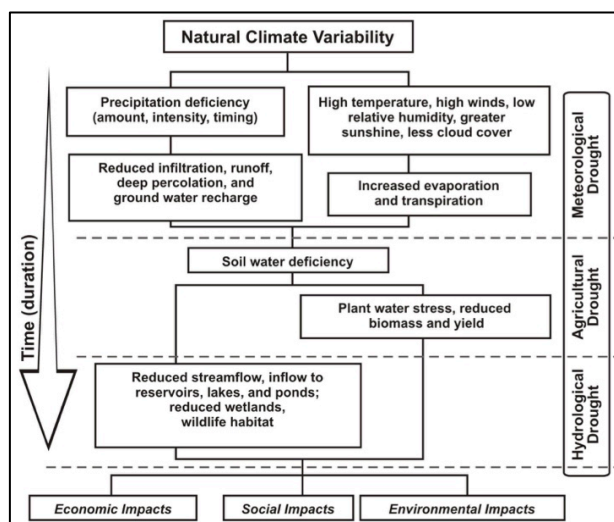


Figura 1. Sequenza dell'occorrenza degli eventi di siccità e relativi impatti per le tipologie di siccità comunemente riconosciute (Fonte: National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, USA).

In generale, eventi di **scarsità idrica** sono associati a una riduzione della disponibilità di risorsa idrica (capacità di offerta del sistema naturale) che rende insufficiente il soddisfacimento della domanda media a lungo termine, o quando la portata erogata è inferiore alla domanda istantanea per quei sistemi idrici alimentati da sorgenti che non dispongono di invasi per l'immagazzinamento. La valutazione di situazioni di scarsità idrica

deve anche tenere conto di quei casi in cui la domanda è estremamente variabile nel corso dell'anno. Questo avviene, ad esempio, in quegli invasi a uso plurimo nei quali la componente irrigua sia rilevante o, per contro, in quegli invasi che sebbene a uso singolo abbiano una domanda particolarmente elevata durante la stagione turistica. Inoltre, nella valutazione degli eventi di scarsità idrica si deve tenere conto della variabilità di anno in anno nella disponibilità fornita dal volume invasato.

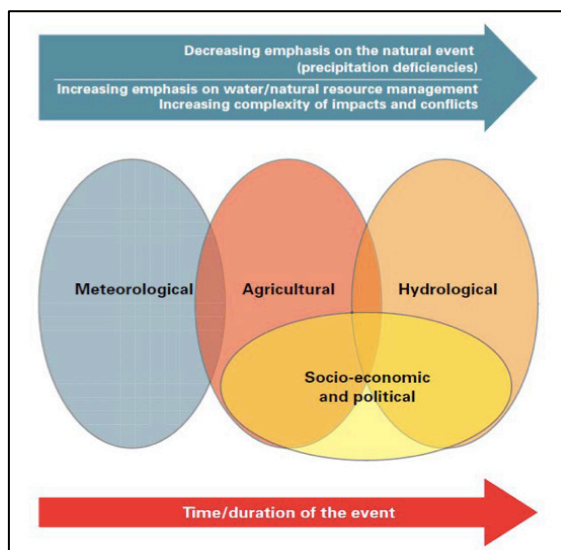


Figura 2. Interrelazione tra i diversi tipi di siccità rispetto alla durata dell'evento (Fonte: World Meteorological Organization, 2006).

I problemi di disponibilità idrica sono frequenti in aree soggette a scarse precipitazioni, ma anche in quelle aree caratterizzate da alta densità di popolazione e/o soggette a intensa attività agricola (irrigazione) e industriale. Oltre che per problemi strettamente legati alla quantità di risorsa idrica, una riduzione della disponibilità di tale risorsa può manifestarsi a seguito del deterioramento della sua qualità (Schmidt et al., 2012).

Nel 2007 è stato stimato che l'11% della popolazione europea e il 17% del suo territorio sono stati affetti da eventi di scarsità idrica, con un impatto economico di 100 miliardi di euro per i danni causati dalla siccità in Europa tra il 1976 e il 2006 (Vogt et al., 2011). Recenti studi sugli eventi siccitosi occorsi nel periodo 1951–2015 hanno evidenziato per il sud dell'Europa, specie nel periodo estivo, un aumento della frequenza e della severità di tali eventi, in particolare nell'area Mediterranea (si veda Poljanšek et al., 2017 e fonti citate nel testo). Questo trend per il Mediterraneo sembra essere confermato considerando gli scenari climatologici per il periodo 2041–2100 (e.g., Poljanšek et al., 2017). A livello nazionale, recenti analisi sull'impatto dei cambiamenti climatici sulla disponibilità della risorsa idrica hanno evidenziato una possibile riduzione significativa dell'ordine del 10% nella proiezione a breve termine 2020–2039, qualora si assumesse un approccio di mitigazione aggressivo, e dell'ordine del 40% nella proiezione a lungo termine 2080–2099, qualora si mantenesse la situazione attuale di emissione di gas serra (Braca et al., 2018; v. [Capitolo 3](#) delle presenti Linee guida).

Ecco perché il verificarsi di perduranti condizioni di siccità e scarsità idrica sul territorio italiano impone sempre di più l'esigenza di predisporre un governo integrato dell'acqua che preveda la partecipazione attiva di tutti i soggetti coinvolti nella gestione della risorsa idrica e garantisca un supporto tecnico-specialistico alle decisioni politiche, specie nelle situazioni critiche di emergenza idrica, e tenendo conto anche dei possibili impatti dovuti ai cambiamenti climatici. La gestione della risorsa idrica, a causa delle notevoli incertezze a essa connesse, non può che essere affrontata con un approccio adattivo (Wilhere, 2002), basato sulla conoscenza dettagliata e coordinata della disponibilità e fruibilità della risorsa idrica nel tempo e nello spazio, e proattivo, basato sulla capacità di agire in maniera consapevole e responsabile con azioni preventive in presenza di eventi che potrebbero avere effetti sulla disponibilità e qualità della risorsa. Una gestione adattiva della risorsa idrica deve pure tenere conto della maggiore frequenza e intensità con cui si manifestano gli eventi estremi siccitosi, anche a seguito dei cambiamenti climatici.

Le condizioni di scarsità idrica si manifestano da una parte in termini di forte riduzione dei livelli nei corpi idrici interessati dai prelievi e/o delle portate fluenti o erogate (nel caso delle sorgenti) e dall'altra in termini di difficoltà di sopperire ai fabbisogni per i diversi usi della risorsa idrica. Tali condizioni occorrono generalmente per una concomitanza di fattori meteo-climatici (siccità) e di natura antropica (pressioni esercitate sul corpo idrico e sul suo bacino idrogeologico). Pertanto, è necessario disporre in tempo reale dei dati del monitoraggio delle principali grandezze idrologiche, quali precipitazioni, temperature, portate dei corsi d'acqua e delle sorgenti, livelli di falda, e di quelli relativi agli utilizzi delle risorse idriche, ossia prelievi dai corsi d'acqua, dalle falde e dalle sorgenti (nonché le restituzioni nei corpi idrici recettori), includendo anche i fabbisogni idrici necessari alla tutela dei servizi ecosistemici (Art. 70, punto f) della [L. 221/2015](#)), ai fini del raggiungimento degli obiettivi ambientali di tutela e conservazione di cui alla [Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE](#) (DQA), [Direttiva Habitat 92/43/CEE](#) e la [Direttiva Uccelli 2009/147/CE](#) (e.g., deflussi ecologici).

Per quanto riguarda le grandezze idrologiche, con la riforma del titolo V della Costituzione e i successivi provvedimenti attuativi, le reti di monitoraggio meteo-idrologico e le competenze del [Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale](#) (SIMN) sono state trasferite nel 2002 alle Regioni e alle Province autonome, mentre le competenze di carattere nazionale in materia di idrologia (linee guida, indirizzi, bilancio nazionale, etc.) sono transitate prima nell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT) e poi nell'Istituto Superiore per la Ricerca e la Protezione Ambientale (ISPRA). Allo stato attuale, le reti meteo-idrologiche risiedono principalmente¹ nei Centri Funzionali (CF) di Protezione Civile, afferenti al Servizio Nazionale della Protezione Civile ([D.Lgs. 1/2018](#)), che, nella maggioranza delle situazioni, afferiscono alle Agenzie Regionali/Provinciali per la Protezione Ambientale (ARPA/APPA) facenti parte del [Sistema Nazionale di Protezione](#)

¹ Sono presenti in Italia anche la Rete Agrometeorologica Nazionale del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, la rete dell'ENAV-Ente Nazionale Assistenza al Volo, costituita da stazioni situate presso gli aeroporti civili, la rete dell'Aeronautica Militare, costituita da stazioni situate presso gli aeroporti o le installazioni militari, nonché altre reti secondarie e amatoriali.

[dell'Ambiente](#) (SNPA; istituito con [L. 132/2016](#) e operativo dal 14 gennaio 2017, che con il nuovo “Codice della protezione civile” [D.Lgs. 1/2018](#) diventa struttura operativa del Servizio Nazionale della Protezione Civile). L'[SNPA](#) supporta il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) nell'attuazione del Titolo III del [D.Lgs. 152/2006](#), il quale, tra l'altro, recepisce la [DQA](#). Negli altri contesti, le reti fanno capo a differenti strutture o uffici regionali (ad es., in Campania il CF è collocato presso la Direzione Generale per il governo del territorio, i lavori pubblici e la protezione civile).

Al fine di poter ricostituire un sistema coeso e coordinato che assicurasse un livello nazionale omogeneo di qualità e funzionalità in merito alle attività idrologiche, è stata promossa da ISPRA, sotto il proprio coordinamento, l'istituzione nel 2013 del [Tavolo Nazionale per i Servizi di Idrologia Operativa](#) a cui partecipano proprio quegli uffici e centri che nelle ARPA-APPa o nelle Regioni e Province Autonome si occupano di idrologia operativa ([Tabella 1](#)), nonché l'Aeronautica Militare e il Dipartimento della Protezione Civile (DPC), in qualità di enti nazionali presenti nella rappresentanza italiana della [Commission for Hydrology](#) (CHy) del *World Meteorological Organization* (WMO).

Tabella 1. Strutture regionali e provinciali competenti in Italia per il monitoraggio idro-meteorologico.

Regione/Provincia	Ente	Struttura
Abruzzo	Regione Abruzzo	Ufficio Idrografico
Basilicata	Regione Basilicata	Dip. Infrastr. Opere Pubbliche e Mobilità/Ufficio Protezione Civile
Bolzano	Provincia Autonoma di Bolzano	Ufficio Idrografico
Calabria	ARPA Calabria	Centro Funzionale Multirischi
Campania	Regione Campania	Dir. Generale Lavori Pubblici di Protezione Civile/Centro Funzionale
Emilia Romagna	ARPAE Emilia Romagna	Servizio Idro-Meteo-Clima
Friuli Venezia Giulia	Protezione Civile	Centro Funzionale
Lazio	Regione Lazio	Centro Funzionale
Liguria	ARPA Liguria	Centro Funzionale Meteo-Idrologico di Protezione Civile
Lombardia	ARPA Lombardia	Servizio Meteorologico Regionale e Centro Nivometeorologico
Marche	Regione Marche	Centro Funzionale
Molise	Agenzia Regionale Protezione Civile	Centro Funzionale
Piemonte	ARPA Piemonte	Dip. Sistemi Previsionali
Puglia	Regione Puglia	Protezione Civile Puglia/Centro Funzionale
Sardegna	Regione Sardegna	Dir. Generale Agenzia Regionale del Distretto Idrografico Sardegna
	ARPA Sardegna	Dip. Regionale Specialistico Idro Meteo Climatico
Siciliana	Regione Siciliana	Osservatorio delle Acque
Toscana	Regione Toscana	Centro Funzionale/Servizio Idrologico Regionale
Trento	Provincia Autonoma di Trento	Ufficio Dighe
Umbria	Regione Umbria	Idrografico Regionale/Centro Funzionale
Valle d'Aosta	Regione Valle d'Aosta	Centro Funzionale
Veneto	ARPA Veneto	Servizio Idrologico/Centro Funzionale

I membri di questo Tavolo Nazionale, le cui azioni sono guidate dalle risoluzioni in materia del WMO che nei dettagli e sotto il profilo tecnico indirizza le attività di idrologia operativa, promuovono il potenziamento dei servizi idrologici nazionali, al fine di garantire la conoscenza e lo stato delle risorse idriche nel Paese e di contribuire efficientemente a fronteggiare problemi quali il dissesto idrogeologico, la carenza idrica e gli impatti del cambiamento climatico in atto, che oggi più di ieri affliggono un territorio in continuo sviluppo.

La [L. 183/89](#) sulla difesa del suolo garantiva attraverso un apposito fondo sul bilancio dello Stato la copertura delle attività di monitoraggio delle risorse idriche. Con la sua abrogazione (Art. 175, [D.Lgs. 152/2006](#)), le risorse finanziarie per tali attività sono decadute significativamente e il monitoraggio assicurato, in parte, solamente per la difesa dalle alluvioni. Ciò ha comportato, in molti casi, la cessazione del monitoraggio, già esiguo, delle portate dei corsi d'acqua grandezza questa rilevante anche per la gestione delle alluvioni.

Le reti di monitoraggio in essere delle acque superficiali e sotterranee non sono generalmente sufficienti a fornire un quadro conoscitivo completo e omogeneo a livello nazionale per supportare una gestione adattiva e sostenibile delle risorse idriche e degli eventi siccitosi poiché le situazioni regionali si presentano in maniera molto diversificata e non omogenea. Esistono, difatti, regioni in cui non si eseguono più misure di portata e altre in cui il numero di misure effettuate annualmente nelle varie sezioni è stato fortemente ridotto, determinando un decadimento dell'affidabilità delle scale di deflusso, con le quali è possibile ricavare le portate dalla misura dei livelli idrometrici, e di conseguenza del numero di sezioni in cui si dispone di dati di portata. Una indagine condotta in ambito del [Tavolo Idrologia](#) sullo stato del monitoraggio delle portate dei corpi idrici e sulla quantificazione dei costi ha evidenziato le criticità maggiori affrontate dai soggetti attuatori, che sono legate, in particolare, alla carenza o disponibilità discontinua di personale e/o di fondi per l'esecuzione delle misure di portata (con particolare riferimento alla stima delle scale di deflusso) e per le attività di manutenzione necessarie per garantire il funzionamento delle strumentazioni (idrometri) e dei siti di misura. Con l'introduzione della [DQA](#), il problema della gestione sostenibile delle risorse e delle emergenze idriche ha comportato una nuova modalità di monitoraggio basata sul rischio di non raggiungimento degli obiettivi ambientali dei corpi idrici. Per quanto riguarda i corpi idrici superficiali, la Direttiva impone il monitoraggio in continuo delle portate dei corsi d'acqua e dei livelli dei fiumi. Nel caso delle falde, essa impone il monitoraggio dei livelli al fine del raggiungimento del "buono stato quantitativo", che si verifica se i prelievi non superano la disponibilità della riserva rinnovabile.

Per quanto riguarda la conoscenza e le informazioni sugli usi della risorsa, la situazione presenta numerose problematiche. Il monitoraggio dei prelievi idrici, ancorché obbligatorio per legge, non sempre è effettuato e i dati sui prelievi non sempre sono di facile accesso, tanto è che lo stesso Istituto nazionale di statistica (ISTAT) desume alcuni dei dati sugli usi

sulla base di stime dei fabbisogni. Al momento, risulta assente un'informazione coordinata, continua e dettagliata sui prelievi idrici.

Solo disponendo di dati di monitoraggio delle grandezze idrologiche e degli usi in modo continuo è possibile, ad esempio, alimentare un modello di bilancio in tempo reale che consenta di conoscere, con accettabile incertezza, la quantità della risorsa in un certo punto della rete idrografica e delle falde, oppure calcolare indicatori per il monitoraggio e la quantificazione delle situazioni di siccità. La conoscenza della risorsa idrica disponibile è quanto mai necessaria anche a una valutazione delle concessioni in essere e a comprendere se e come rivederne la distribuzione in maniera maggiormente sostenibile. Nondimeno, una conoscenza puntuale della risorsa idrica disponibile permette di meglio affrontare, con opportune misure, le condizioni di scarsità idrica che possono verificarsi a seguito di severi eventi siccitosi. Infine, tale conoscenza è fondamentale a comprendere, unitamente al rilievo dello stato dei corpi idrici e di conservazione degli habitat e delle specie, quali siano le condizioni di utilizzo delle risorse idriche che non compromettano i requisiti ecologici necessari al mantenimento della biodiversità e dei servizi ecosistemici.

Una corretta gestione della risorsa idrica è un problema essenzialmente di conoscenza, che rispetto al passato deve essere sempre più dettagliata e puntuale, specie durante eventi di crisi, poiché si tende a utilizzare risorse idriche sempre meno abbondanti e allocarle tra utilizzi sempre più concorrenti. Ciò richiede informazioni sempre più dettagliate e sistemi di elaborazione sempre più raffinati e sofisticati.

In generale, alla mancanza di dati non si può rimediare con il solo utilizzo di modelli. Affinché un modello possa fornire valutazioni affidabili e quindi supportare risposte efficaci, esso ha bisogno di essere calibrato e verificato sulla base di dati; minore la quantità e la definizione dei dati, più grossolana la stima effettuata dal modello; con i dati idrologici attualmente a disposizione, in assenza di dati sulle acque superficiali e sotterranee e sui prelievi, i modelli di bilancio idrologico possono fornire stime alla scala mensile, stagionale o annuale con elevati, ma comunque accettabili allo scopo, margini di errore.

1.1 Gli Osservatori permanenti per gli utilizzi idrici

Nel contesto sopra indicato, sono stati promossi a febbraio 2016 dal MATTM e, successivamente, istituiti per ciascuno dei sette Distretti Idrografici individuati dalla [L. 221/2015](#) (in vigore dal 2 febbraio 2016), gli **Osservatori permanenti per gli utilizzi idrici** ai quali, oltre alle Autorità di Distretto, partecipano come soggetti attivi il MATTM, il Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali (MiPAAF) e il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT), nonché il DPC, l'ISPRA, l'ISTAT, il Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA), il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), le Regioni, l'Associazione Nazionale delle Bonifiche, delle Irrigazioni e dei miglioramenti fondiari (ANBI), i consorzi di regolazione dei laghi, le aziende idriche energetiche e ambientali e le imprese elettriche.

Come specificato nei protocolli che ne accompagnano l'istituzione, l'Osservatorio costituisce una struttura operativa permanente di tipo volontario e sussidiario a supporto del governo integrato dell'acqua che, in particolare, cura la raccolta, l'aggiornamento e la diffusione dei dati relativi alla disponibilità e all'uso della risorsa idrica nel Distretto Idrografico. Scopo dell'Osservatorio è quello di fornire indirizzi per la regolamentazione dei prelievi e degli usi e delle possibili compensazioni, in particolar modo in occasione di eventi di siccità e/o di scarsità idrica, nel rispetto degli obiettivi del Piano di Gestione del Distretto Idrografico e del controllo dell'equilibrio del Bilancio Idrico, tenendo altresì in considerazione la Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SNACC).

All'operato dei sette Osservatori si affianca quello del Comitato tecnico di coordinamento nazionale, istituito presso il MATTM nell'ottobre 2016, con lo specifico compito di *“promuovere l'armonizzazione, su tutto il territorio nazionale, dei criteri per la determinazione dei livelli di severità dei fenomeni di scarsità, per l'identificazione dei parametri di riferimento (idrologici, idraulici, agronomici, ambientali di siccità e impatto economico) necessari al monitoraggio e alla valutazione delle condizioni ambientali e degli effetti delle misure adottate e per la definizione delle procedure di trasmissione e validazione dei dati”*.

Il Comitato, presieduto dal MATTM, vede la partecipazione dei rappresentanti delle Autorità di Distretto, nonché quella del DPC, dell'ISPRA, dell'ISTAT, del CREA, dell'ANBI e del CNR e ha definito come sue prime attività:

- 1) l'individuazione dei dati necessari alla gestione delle risorse idriche, in particolare in merito a quelli relativi a prelievi e usi, delle modalità di trasferimento degli stessi tra gli Osservatori e i soggetti che devono acquisirli e conservarli. Tale attività è coordinata da ISTAT, in collaborazione con ISPRA, CREA e ANBI e con la partecipazione di tutte le Autorità che costituiscono il Comitato;
- 2) l'individuazione degli indicatori utili al monitoraggio degli eventi di siccità e scarsità idrica, con particolare riguardo alla definizione di un protocollo/set di indicatori comune da adottare in ogni Osservatorio. Tale attività è coordinata da ISPRA, in collaborazione con DPC, CREA, ANBI e IRSA-CNR e con la partecipazione di tutte le Autorità che costituiscono il Comitato.

1.2 Gli obiettivi delle Linee guida

Il presente documento risponde alle esigenze indicate al punto 2) della lista sopra-riportata, e tiene conto di quanto già analizzato, sviluppato e utilizzato a livello europeo ([Capitolo 2](#)) e nazionale ([Capitolo 3](#)). Inoltre, sebbene a livello di ciascun Distretto Idrografico sussistano delle peculiarità fisico-ambientali che hanno comportato nel corso degli anni l'adozione di indicatori e strumenti di monitoraggio specifici per il relativo territorio (che sono illustrati nel [Capitolo 4](#)), con la creazione degli Osservatori e mediante il lavoro di supporto del Comitato istituito dal MATTM, si è proceduto all'individuazione di un set comune di indicatori ([Capitolo 5](#)) da aggiungere, ove non già presenti, a quelli già

popolati in modo da avere una visione omogenea a livello nazionale della situazione in materia di siccità e scarsità idrica.

Si precisa che gli indicatori descritti nel documento consentono di esprimere una valutazione che riguarda prevalentemente i diversi aspetti della siccità (meteorologica, idrologica, agricola, etc.). Pertanto, ai fini della definizione delle condizioni di severità idrica da parte di ciascun Osservatorio permanente per gli utilizzi idrici, gli indicatori dovranno essere necessariamente integrati da ulteriori valutazioni riguardanti la disponibilità idrica, la domanda da parte dei differenti comparti d'uso, le caratteristiche del sistema di approvvigionamento idrico e, in generale, da un giudizio esperto inerente il grado di soddisfacimento delle richieste della risorsa idrica. Tale valutazione potrà scaturire anche all'esito di un articolato confronto tecnico tra l'Autorità di Distretto, le Regioni, gli Enti Gestori e gli altri soggetti e portatori di interesse presenti all'Osservatorio. È auspicabile altresì che, in funzione dello scenario di siccità definito dagli indicatori e, ancor di più, dei livelli di severità idrica (bassa, media, alta), siano fatte corrispondere adeguate misure di mitigazione da parte degli Enti e dei soggetti istituzionalmente competenti.

Gli indicatori proposti fanno parte del set di indicatori individuati da un apposito gruppo di lavoro europeo "*Expert Group on Water Scarcity and Droughts*" (EGWSD; TYP SA, 2013, Faergemann, 2012) istituito nell'ambito della programmazione 2010–2012 del *Common Implementation Strategy* (CIS) della Commissione Europea per la [DQA](#). La scelta di selezionare tali indicatori è dettata dalla necessità di fornire una visione di insieme a livello nazionale che sia in linea con quanto già monitorato a livello europeo, utilizzando quegli strumenti ritenuti come necessari per il monitoraggio di eventi di siccità e di situazioni di scarsità idrica. Ove non altrimenti specificato, i termini di "severità" e "severità idrica" si riferiscono strettamente agli indicatori, e non al livello di severità idrica che ciascun Osservatorio dovrà definire, ai sensi del relativo protocollo istitutivo.

Tale set di indicatori, che sarà nel seguito descritto nel dettaglio, è costituito da:

- lo **Standardized Precipitation Index (SPI)**; McKee et al., 1993, World Meteorological Organization, 2012) che è ampiamente diffuso a livello internazionale, nazionale e regionale/locale per il monitoraggio, a diverse scale temporali, della siccità in termini di deficit (o surplus) di precipitazione rispetto alla media climatologica. Le soglie SPI associate ai diversi livelli di severità della siccità sono già definite e note in letteratura;
- il **Water Exploitation Index Plus (WEI+)**; Faergemann, 2012), versione modificata dell'originale WEI, il cui utilizzo come indicatore di stress idrico è stato testato dall'EGWSD anche su due bacini italiani, l'Arno e il Po, ed è stato successivamente richiesto nel Reporting 2016 dei Piani di Gestione delle Acque sensu [DQA](#) laddove i prelievi costituiscano pressioni significative;
- il **fraction of Absorbed Photosynthetically Active Solar Radiation (fAPAR)**; Gobron et al., 2000) e l'anomalia di fAPAR, indicatori utilizzati per individuare e

valutare l'impatto della siccità sulla vegetazione, la cui stima si basa sull'utilizzo di immagini satellitari.

Il set comune di indicatori è, inoltre, arricchito dai seguenti:

- lo **Standardized Run-off Index (SRI)**; Shukla e Wood, 2008), noto anche come **Standardized Discharge Index (SDI)** o come **Standardized Flow Index (SFI)**, da adottare in maniera complementare allo SPI come indicatore per la siccità idrologica. Il suo calcolo richiede la disponibilità di serie adeguatamente lunghe e stazionarie di portate medie mensili;
- lo **Standardized SnowPack Index (SSPI)**, indicatore analogo allo SPI in cui si utilizzano i valori dell'equivalente in acqua della neve (*SWE–snow water equivalent*; in kg m^{-2}) anziché quelli di pioggia, e di cui si consiglia l'utilizzo in quei distretti idrografici/aree in cui è rilevante per la disponibilità della risorsa idrica l'apporto fornito dal manto nevoso/*snowpack*. La stima del manto nevoso richiede, però, l'utilizzo di specifici modelli che sono stati già testati e valutati in diverse realtà alpine del territorio italiano;
- lo **Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)**; Vicente-Serrano et al., 2010; Begueria et al., 2014) che, a differenza dello SPI, considera anche le variazioni in termini di evapotraspirazione potenziale. La scelta del modello da adottare per la stima dell'evapotraspirazione potenziale è in primis determinata dai dati meteorologici a disposizione per l'area in esame;
- lo **Spring Anomaly Index (SAI)**; Romano et al., 2013), da utilizzare in quelle realtà distrettuali in cui le sorgenti, alimentate perlopiù da acquiferi fratturati e captate all'emergenza, costituiscono una risorsa idrica ampiamente sfruttata, in particolar modo a scopo idropotabile.

Gli indicatori proposti in queste Linee guida sono in generale rappresentativi delle condizioni meteo-climatiche e delle condizioni idrologiche (stato della risorsa) e permettono, pertanto, una caratterizzazione, anche in termini di impatti, del grado di gravità degli eventi di siccità. Unica eccezione è costituita dall'indice WEI+ che quantifica, per un assegnato intervallo temporale e un determinato territorio, il rapporto tra le pressioni antropiche (prelievi – restituzioni) che insistono sulla risorsa idrica e la sua disponibilità. Questo indicatore permette, anche, di identificare sul medio-lungo periodo quelle aree in cui l'uso della risorsa è meno sostenibile, che comporta una maggiore frequenza di situazioni di scarsità idrica.

2 Il monitoraggio della siccità e della scarsità idrica a livello europeo

Il tema della siccità e della scarsità idrica è stato affrontato a livello europeo con una specifica Comunicazione emanata nel 2007 dalla Commissione Europea: “[Affrontare il problema della carenza idrica e della siccità nell'Unione europea \(COM/2007/0414 definitiva\)](#)”. La Comunicazione ha identificato sette obiettivi strategici principali che prevedevano una serie di azioni da attuare sia a livello dei singoli Stati Membri che a livello europeo:

1. Attribuire un giusto prezzo all'acqua;
2. Maggiore efficienza nella distribuzione dell'acqua e nel relativo finanziamento;
3. Migliorare la gestione del rischio di siccità;
4. Considerare la creazione di ulteriori infrastrutture per l'approvvigionamento idrico;
5. Promuovere le tecnologie e le pratiche che consentono un uso efficiente dell'acqua;
6. Favorire lo sviluppo di una cultura del risparmio idrico in Europa;
7. Migliorare le conoscenze e la raccolta di dati.

La Commissione ha, quindi, valutato i progressi compiuti nell'attuazione di tali strategie attraverso [relazioni annuali \(2008–2010\) di follow-up](#) e attraverso la “[Relazione sul riesame della politica europea in materia di carenza idrica e di siccità \(COM/2012/672 final\)](#)”. Questa relazione era volta a monitorare i progressi nelle azioni previste, a valutare il raggiungimento degli obiettivi di riduzione della carenza idrica e della vulnerabilità ai periodi di siccità, nonché a esaminare se le azioni adottate in attuazione della [DQA](#) avessero contribuito positivamente ad affrontare tali problematiche.

In particolare, nelle azioni previste a livello europeo per migliorare la gestione del rischio di siccità (obiettivo strategico #3) e le conoscenze e la raccolta di dati (obiettivo strategico #7) era prevista la realizzazione di un osservatorio sulla siccità, la valutazione di questi fenomeni basata su indicatori concordati e dati forniti dagli Stati Membri e dai soggetti interessati, e lo sfruttamento di dati satellitari e servizi dell'iniziativa della Commissione Europea GMES–*Global Monitoring for Environment and Security*, ora [Copernicus](#).

Queste azioni hanno portato alla realizzazione e all'operatività dell'[EDO–European Drought Observatory](#) del *Joint Research Centre* (JRC) della Commissione Europea che, utilizzando anche dati (da reti a terra tradizionali, satelliti o modelli) a livello europeo, regionale e locale, fornisce un sistema di monitoraggio della siccità a scala europea che utilizza indicatori di siccità (e.g., [Figura 3](#)) rappresentanti differenti componenti del ciclo idrologico (precipitazione, umidità del suolo, portate, ecc.) e specifici impatti associati a particolari tipologie di siccità (ad es., stress idrico per la vegetazione). Tra gli indicatori presi in considerazione e rappresentati nelle mappe EDO figura anche lo SPI che è riconosciuto, sia in campo internazionale (World Meteorological Organization, 2012) che Europeo (come riportato successivamente), come uno degli strumenti più efficaci per il monitoraggio della siccità. Sulle mappe disponibili sul portale EDO, i valori di SPI sono riportati graficamente sia come singoli valori associati alla corrispondente stazione

pluviometrica sia interpolati su grigliato regolare, come mostrato in [Figura 4](#). Per quanto riguarda l'Italia, è da rilevare che la distribuzione dei dati meteorologici utilizzati nel calcolo di questi indicatori non è omogenea (v. [Figura 4a](#)); il bollettino EDO potrebbe pertanto fornire delle valutazioni parziali in merito all'entità e all'estensione spaziale dei fenomeni di siccità, in parte diverse da quelle effettuate in Italia a livello nazionale, regionale o di distretto idrografico.

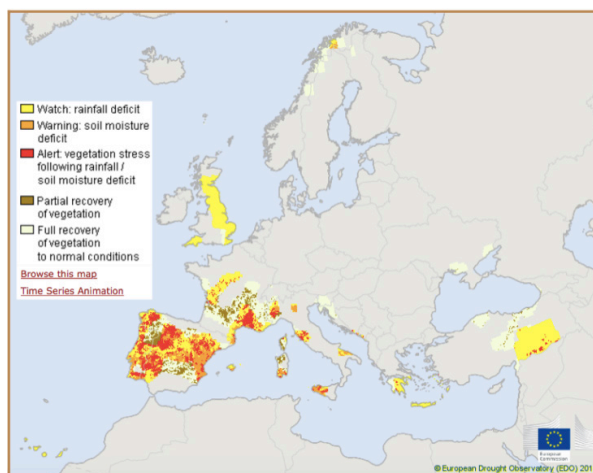


Figura 3. Esempio di monitoraggio della siccità tramite il “Combined drought Indicator” del portale EDO per la seconda decade di gennaio 2018 (Fonte: JRC).

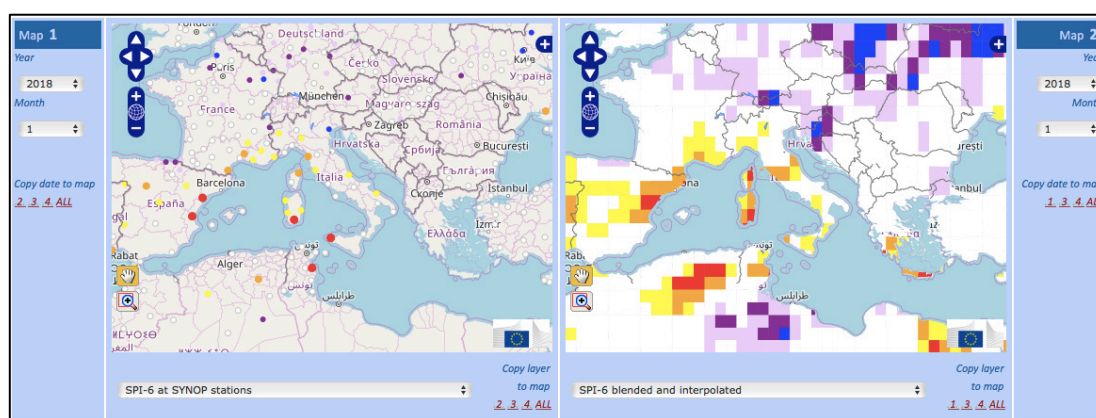


Figura 4. Esempio di mappe di SPI a 6 mesi in cui i valori sono riportati a livello di stazione pluviometrica (pannello di sinistra) e interpolati su grigliato regolare (pannello di destra), che sono disponibili sul portale EDO per il mese di gennaio 2018 (Fonte: JRC).

La definizione di un set comune di indicatori, indicata come azione prioritaria nella Comunicazione sulla siccità, ha invece visto impegnata la Commissione Europea insieme al gruppo di esperti degli Stati Membri presenti nell'EGWSD. Durante il periodo di attività (2010–2012), il gruppo di lavoro ha selezionato e testato su diversi bacini campioni in Europa, tra cui cinque bacini italiani (Arno, Po, Serchio, Liri-Garigliano e Volturno), diversi indicatori per il monitoraggio della siccità e dei fenomeni di scarsità idrica (TYPISA, 2013). Di questi, alla fine dell'esercizio di test, è stato selezionato un set ristretto di indicatori, costituito da SPI, fAPAR e WEI+, di cui si è suggerito l'adozione comune negli Stati Membri (Faergemann, 2012).

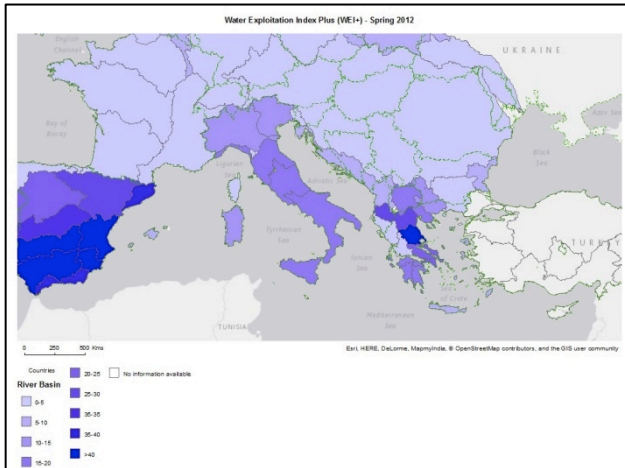
Oltre al citato SPI, anche il fAPAR e l'anomalia di fAPAR, che è calcolata rispetto alla media a lungo termine per un determinato periodo di tempo, fanno parte degli indicatori disponibili sul portale EDO. Il fAPAR rappresenta la frazione della radiazione solare assorbita dalle piante, costituisce un ottimo indicatore per valutare lo stress della vegetazione a eventi di siccità, e compare nella lista delle *variabili climatiche essenziali* del WMO *Global Climate Observing System* (GCOS) e del *Global Terrestrial Observing System* (GTOS) del *Food and Agriculture Programme* (FAO) delle Nazioni Unite. Essendo difficile una sua misura diretta, è comunemente stimato utilizzando dati satellitari. Le mappe fAPAR sul portale EDO sono attualmente disponibili su grigliato 1 km x 1 km e ottenute tramite le immagini acquisite dal sensore VEGETATION a bordo del sistema satellitare SPOT–*Satellite Pour l'Observation de la Terre* dell'*European Space Agency* (ESA). Il provider per il JRC di queste mappe è il *Flemish institute for technological research*. Il fAPAR è inoltre disponibile come prodotto Copernicus nell'ambito del [Global Land Service](#) (Figura 5). Sono disponibili tre dataset: due su grigliato regolare a 1 km x 1 km in due versioni, una operativa e una dimostrativa, e uno su grigliato regolare a 300 m x 300 m in versione dimostrativa. Il prodotto a 1 km utilizza sia i dati del sensore VEGETATION del satellite SPOT che quelli del sensore PROBA-V (successore del sensore VEGETATION) del satellite PROBA dell'ESA. Il prodotto dimostrativo a 300 m utilizza invece i soli dati del sensore PROBA-V.



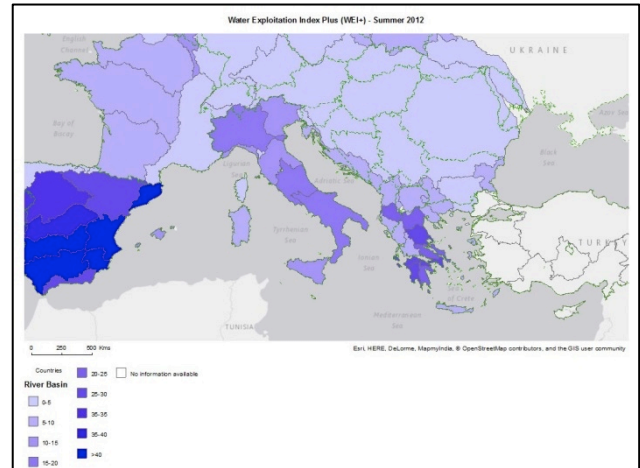
Figura 5. Esempio di mappa di fAPAR con risoluzione 1 km (zoom sull'Italia) per l'ultima decade di febbraio 2017 prodotte utilizzando i dati giornalieri PROBA-V nell'ambito del *Copernicus Global Land Service* (Fonte: Copernicus).

La terna è completata dal WEI+, un indicatore di scarsità idrica che, per un determinato territorio (ad es., bacino, sotto-bacino) e per una definita scala temporale (ad es., mensile, semestrale), fornisce informazioni sul livello di pressione che le attività umane (*water use*) esercitano sulle risorse idriche rinnovabili (*renewable freshwater resources*), identificando così le aree più soggette a stress idrico (Faergemann, 2012). Sul portale dell'[EEA-European Environmental Agency](#), è possibile trovare le mappe stagionali di WEI+ per il periodo 2002–2014 (Figura 6) associate a ciascun distretto idrografico. Tuttavia, i distretti idrografici rappresentati nell'*European catchments and rivers network system* (ECRINS) utilizzato per le mappe, non sono aggiornati con le modifiche territoriali intervenute a valle

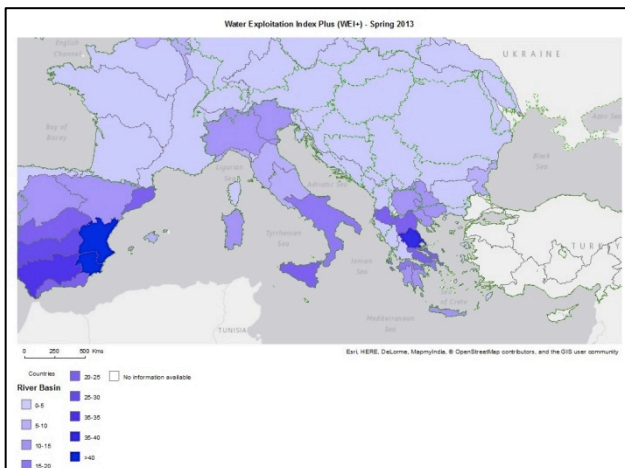
della [L. 221/2015](#). Le valutazioni di WEI+, ottenute sulla base dei database disponibili presso EEA, sono utilizzate per valutare a scala europea l'uso della risorsa idrica nonché la sostenibilità dei prelievi (indicatore "[Use of freshwater resources](#)").



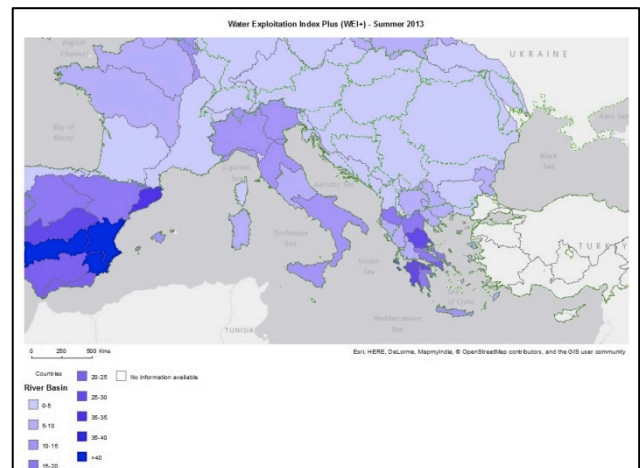
(a) Primavera 2012.



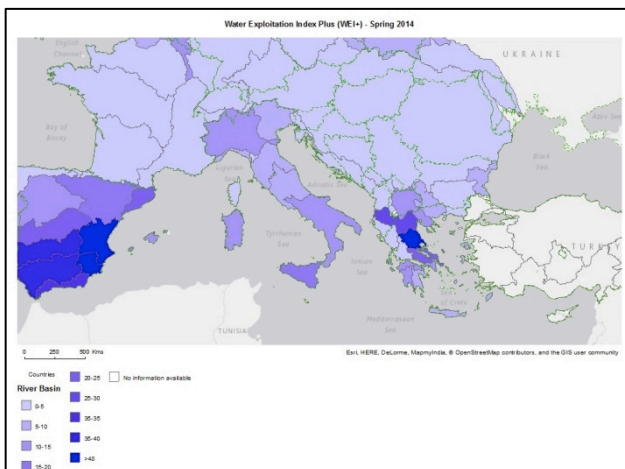
(b) Estate 2012.



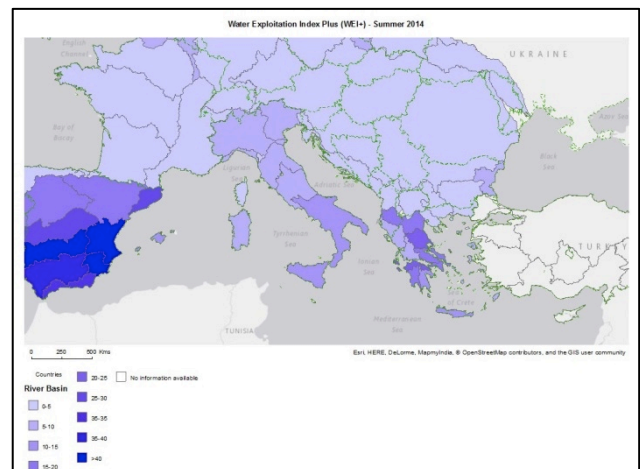
(c) Primavera 2013.



(d) Estate 2013.



(e) Primavera 2014.



(f) Estate 2014.

Figura 6. Mappe stagionali (primavera ed estate) di WEI+ per il periodo 2012–2014 prodotte dall'EEA a scala di distretto idrografico (layer ECRINS) per l'indicatore "[Use of freshwater resources](#)" (Fonte: EEA).

3 Attività nazionali e strumenti finalizzati al monitoraggio della risorsa idrica e alla valutazione della siccità e della scarsità idrica

A sensi della normativa vigente, il soggetto nazionale di riferimento istituzionale per l'idrologia e l'idromorfologia, anche ai fini della gestione delle risorse idriche, è l'ISPRA, supporto tecnico-scientifico del MATTM. L'istituto coordina, tra l'altro, il reporting relativo alla [DQA](#), alla [Direttiva Alluvioni 2007/60/CE](#), alla [Direttiva Habitat 92/43/CEE](#) e alla [Direttiva Uccelli 2009/147/CE](#), che raccoglie le informazioni sullo stato e sugli impatti delle pressioni sugli ecosistemi, incluse quelle relative alla siccità. Le attività dell'ISPRA a supporto della gestione della risorsa idrica e della valutazione della siccità e della scarsità idrica riguardano:

- la caratterizzazione dei bacini e l'analisi delle pressioni;
- il monitoraggio, la validazione dei dati, l'analisi e l'aggregazione in opportune stime e indicatori;
- le previsioni meteorologiche, attraverso il [Sistema previsionale Idro-Meteo-Mare \(SIMM\)](#);
- l'identificazione di misure e interventi e la valutazione della loro efficacia.

In virtù di ciò, l'ISPRA coordina il [Tavolo Nazionale per i Servizi di Idrologia Operativa](#) e concorre ai tavoli tematici sulla gestione della risorsa idrica e sul monitoraggio e previsione idro-meteorologica all'interno dell'[SNPA](#), che sono anche essi finalizzati a una crescita organica e armonizzata del sistema paese e alle esigenze emergenti di uniformità determinate dalla rapida evoluzione della normativa in campo ambientale. Le attività di questi Tavoli sono tra di loro coordinate come nel caso della recente realizzazione congiunta delle "Linee guida per il controllo di validità dei dati idro-meteorologici" (Barbero et al., 2017).

L'Istituto, in collaborazione con gli enti gestori delle reti quali-quantitative, elabora le valutazioni nazionali sullo stato dei corpi idrici e delle risorse attraverso stime periodiche (e.g., [Annuario dei dati ambientali](#)) e relazioni specifiche, come quella sul Lago di Bracciano a seguito degli eventi siccitosi del 2017 (Rapporto ISPRA "Analisi e valutazione dello stato ambientale del Lago di Bracciano riferito all'estate 2017", ottobre 2017), e collabora, inoltre, con i portatori di interesse del settore, sia a livello nazionale (e.g., 3° Rapporto Generale sulle Acque: Obiettivo 2030, a cura di Utilitalis) che locale (e.g., nell'ambito del progetto EU "[PAWA-Pilot Arno Water Account](#)" per migliorare il processo decisionale relativo alla gestione della risorsa idrica attraverso l'uso del sistema di contabilità idrica [SEEA-Water](#)).

A livello europeo, l'ISPRA ha partecipato alla redazione della Comunicazione su scarsità idrica e siccità e alla sua implementazione insieme alle Autorità di Bacino del fiume Arno, del fiume Po, del fiume Serchio e dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno, volta anche alla stesura di importanti indicazioni sulla stima della quantità e disponibilità delle risorse idriche (e.g., *Water Scarcity and Drought* e *Water Account*). A livello internazionale, DPC,

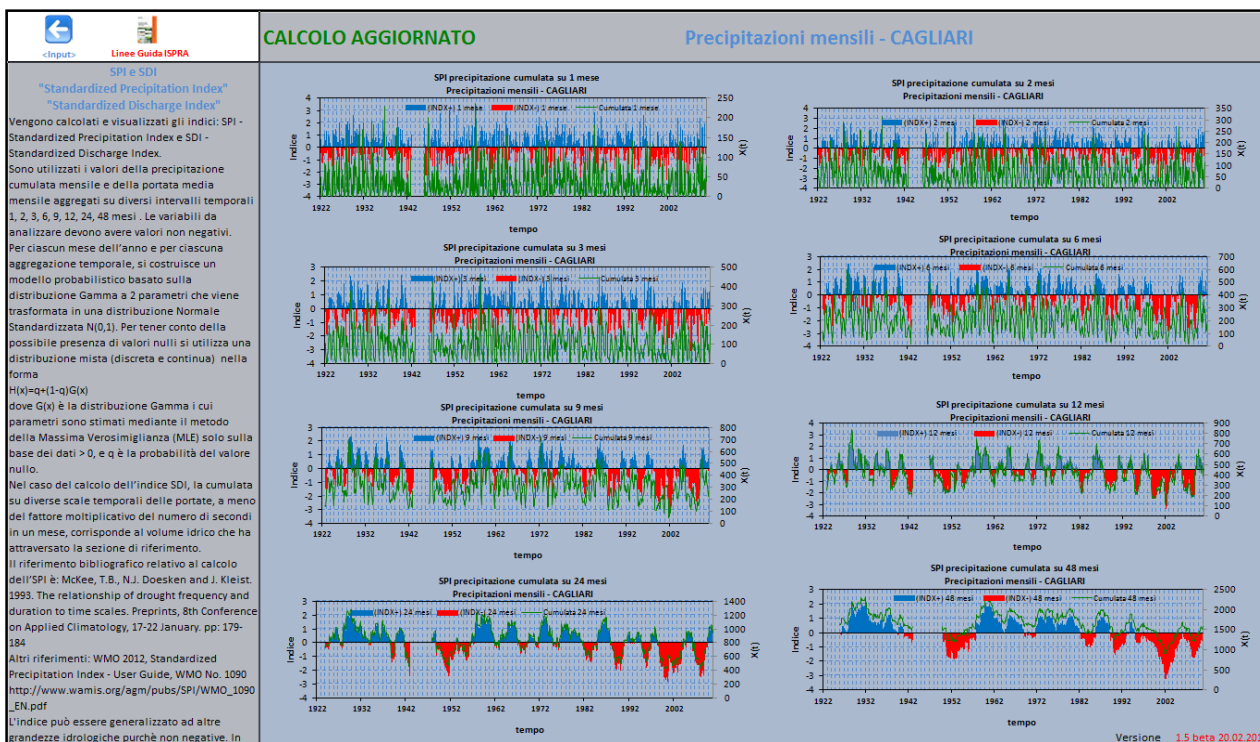
ISPRA e ARPAE Emilia Romagna partecipano alla WMO [CHy](#) e rappresentano in tale commissione, tra l'altro, l'expertise per il tema delle risorse idriche e dei deflussi ecologici.

A supporto degli enti territoriali preposti al monitoraggio idro-meteorologico, alla valutazione della risorsa idrica e alla caratterizzazione dei corpi idrici, l'ISPRA ha predisposto i seguenti metodi e standard, alcuni dei quali in collaborazione con i soggetti afferenti al [Tavolo idrologia](#) e all'[SNPA](#):

- il sistema informativo idrologico [HIS Central](#) per l'accesso diretto ai dati idro-meteorologici regionali, direttamente attraverso l'interrogazione delle banche dati dei gestori delle reti idro-meteorologiche riportati in [Tabella 1](#).
- le [Linee guida per il controllo di validità dei dati idro-meteorologici](#) (Barbero et al., 2017), corredate da schede descrittive con esempi, per le variabili idro-meteorologiche pioggia, temperatura, altezza neve al suolo e fresca, livello idrometrico e portata.
- i metodi per le analisi statistiche dei dati idro-meteorologici (Braca et al., 2013), che sono supportati da un tool denominato [ANÁBASI–ANALisi statistica di BAsi delle Serie di dati Idrologici](#), basato su Microsoft Excel, che permette di utilizzare i suddetti metodi e di calcolare diversi indicatori, tra cui alcuni inerenti il monitoraggio della siccità alla scala di singola stazione pluviometrica e/o idrometrica (e.g., SPI, v. [Figura 7](#), e SRI); tale tool è stato messo a disposizione degli uffici regionali e provinciali che gestiscono le reti di monitoraggio idro-meteorologiche e degli Osservatori permanenti per gli utilizzi idrici;
- l'Indice di Alterazione del Regime Idrologico (IARI) e l'Indice di Qualità Morfologica (IQM) per la [valutazione dell'alterazione idrologica e morfologica dei corsi d'acqua](#), obbligatori ai sensi del [D.M. 260/10](#);
- il *framework* IDRAIM per la gestione e la caratterizzazione idromorfologica dei corsi d'acqua (Rinaldi et al., 2016a,b);
- il modello [BIGBANG-Bilancio Idrologico Gis BAsed a scala Nazionale su Griglia regolare](#) (Braca, 2017) con il quale sono valutati i termini a scala mensile e annuale del bilancio idrologico con un approccio spazialmente distribuito sul territorio, che consente di cogliere l'estrema variabilità, spaziale e temporale, delle risorse idriche naturali, caratteristica del nostro Paese; inoltre, il modello può essere utilizzato per [la valutazione della disponibilità della risorsa idrica sotto gli scenari di cambiamento climatico](#) definiti dall'IPCC–*Intergovernmental Panel on Climate Change* ([Figura 8](#); Braca et al., 2018).
- il [Bollettino mensile siccità](#), in cui mensilmente sono prodotte e pubblicate sul portale ISPRA le mappe SPI a 3, 6, 12 e 24 mesi a scala nazionale (v. [Figura 9](#)), oltre che quelle a scala europea e sul bacino del Mediterraneo, ottenute utilizzando i dati di reanalisi a 2.5° del *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP); dal portale del bollettino è possibile collegarsi all'osservatorio europeo

EDO (riportato nel precedente [Capitolo 2](#)) e ai bollettini regionali (v. [Capitolo 4](#)) che utilizzano l'indicatore SPI per il monitoraggio delle condizioni di siccità;

- il metodo e-MesoHABSIM per la stima dei deflussi ecologici dei corsi d'acqua atti a garantire il buon funzionamento degli ecosistemi acquatici e a quelli a essi collegati (Veza et al., 2017).



(a)

Tabella 1 – Andamento dei valori di SPI su varie scale temporali per il periodo settembre 2016–agosto 2017. Fonte dati: Centro Funzionale della Regione Lazio - Elaborazione: ISPRA con software ANABASI.

Mese di riferimento	SPI a 1 mese	SPI a 2 mesi	SPI a 3 mesi	SPI a 6 mesi	SPI a 9 mesi	SPI a 12 mesi	SPI a 24 mesi
settembre 2016	1.5	1.1	0.9	0.2	0.1	-1.0	-0.2
ottobre 2016	0.3	1.1	0.8	0.7	0.3	-1.2	0.0
novembre 2016	-0.1	-0.1	0.7	0.5	-0.2	-0.7	-0.3
dicembre 2016	-2.1	-1.1	-0.9	-0.4	-0.7	-0.6	-0.8
gennaio 2017	-0.5	-1.8	-1.3	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8
febbraio 2017	-0.8	-1.0	-2.0	-0.6	-0.8	-1.3	-1.2
marzo 2017	-0.8	-1.4	-1.6	-1.7	-1.2	-1.5	-1.8
aprile 2017	-1.0	-1.5	-1.7	-2.1	-1.3	-1.3	-1.9
maggio 2017	-1.5	-1.8	-2.1	-2.9	-1.4	-1.5	-2.0
giugno 2017	-1.5	-2.6	-2.5	-2.6	-2.3	-1.8	-2.0
luglio 2017	-0.8	-1.9	-2.9	-2.7	-2.7	-1.8	-2.0
agosto 2017	-1.1	-1.8	-2.6	-3.1	-3.6	-1.8	-2.4

(b)

Valori SPI	Classe
$SPI \geq 2$	umidità estrema
$1.5 \leq SPI < 2.0$	umidità severa
$1.0 \leq SPI < 1.5$	umidità moderata
$-1.0 < SPI < 1.0$	nella norma
$-1.5 < SPI \leq -1.0$	siccità moderata
$-2.0 < SPI \leq -1.5$	siccità severa
$SPI \leq -2.0$	siccità estrema

Figura 7. Esempi di SPI, a diverse scale temporali, per: (a) la stazione pluviometrica di Cagliari dell'ARPA Sardegna con dati dal 1922–2010; (b) la stazione pluviometrica di Bracciano del Centro Funzionale della Regione Lazio (tratto dalla relazione ISPRA “Analisi e valutazione dello stato ambientale del Lago di Bracciano riferito all'estate 2017”).

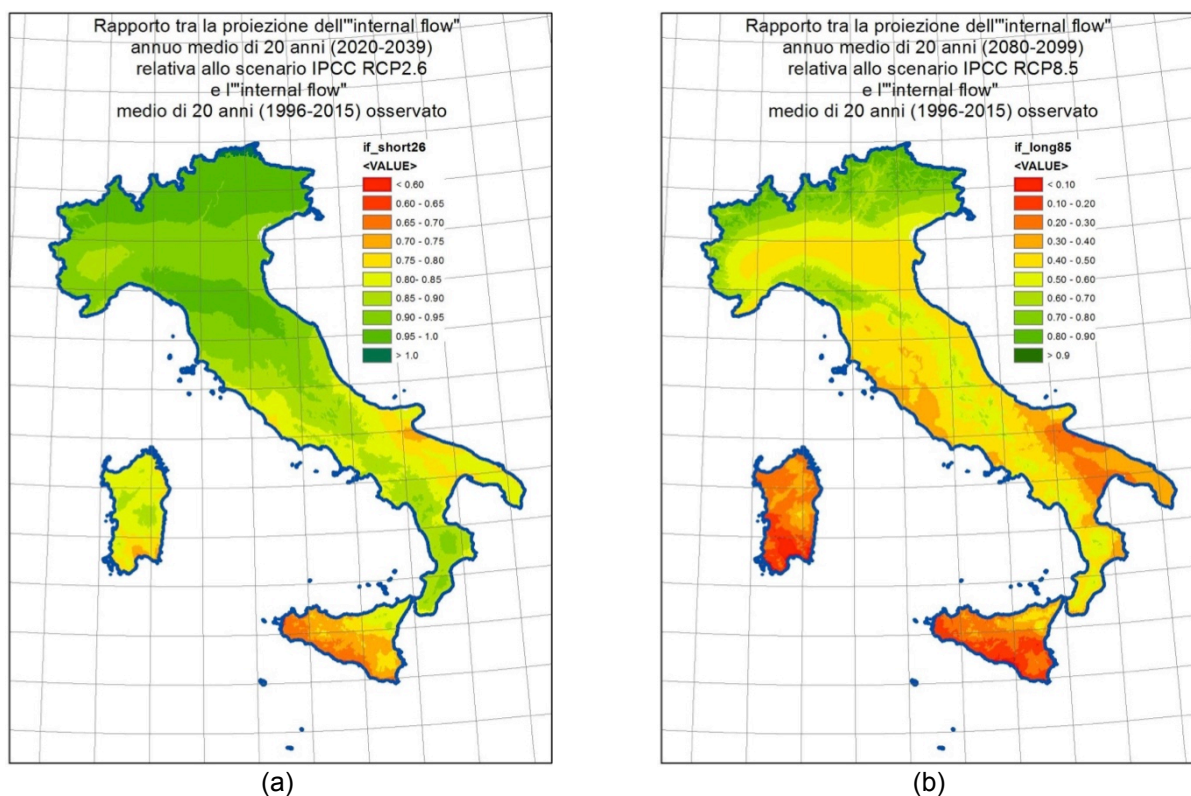


Figura 8. Esempio di applicazione del modello BIGBANG per la stima della variazione dell'*internal flow*² ottenuta rispetto alla media 1996–2015 considerando: (a) lo scenario IPCC RCP2.6³ per la proiezione 2020–2039; (b) lo scenario peggiorativo IPCC RCP8.5⁴ per la proiezione 2080–2099.

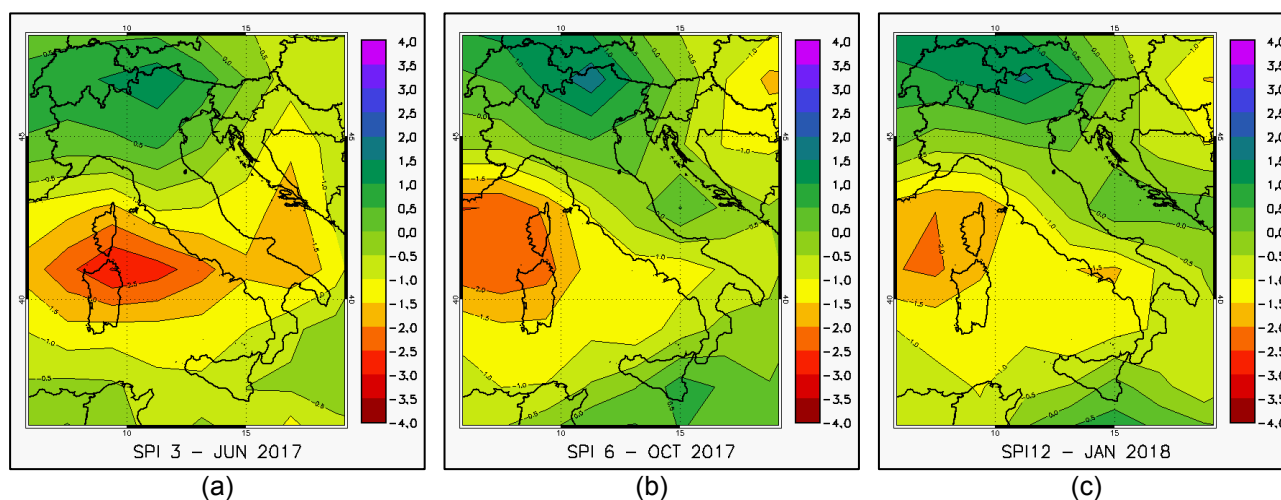


Figura 9. Mappe a scala nazionale del "Bollettino mensile di siccità" di ISPRA rappresentanti i valori di SPI a 3 mesi per giugno 2017 (a), SPI a 6 mesi per ottobre 2017 (b) e SPI a 12 mesi per gennaio 2018 (c), ottenuti utilizzando le reanalisi di precipitazione a 2.5° del NCEP. Valori negativi indicano situazioni di siccità, mentre valori positivi indicano situazioni di surplus di precipitazione rispetto alla corrispondente media climatologica, che è calcolata sul periodo 1948–2016 per i pannelli (a)–(b) e sul periodo 1948–2017 per il pannello (c).

² Per *internal flow* si intende la differenza tra precipitazione ed evapotraspirazione.

³ Lo scenario RCP2.6 prevede un aumento limitato della temperatura media globale sotto i 2 °C (prevede strategie di mitigazione *aggressive*).

⁴ Lo scenario RCP8.5 prevede un aumento di gas serra senza alcuna limitazione (cosiddetto approccio *business-as-usual*).

4 Attività a livello di distretto idrografico per il monitoraggio e la gestione della siccità e della scarsità idrica

Di seguito sono riportate le attività condotte a livello di distretto idrografico in merito al monitoraggio e alla gestione degli eventi di siccità e di scarsità idrica. Le attività di monitoraggio sono, in generale, condotte in collaborazione con i servizi regionali preposti al monitoraggio idro-meteorologico ([Tabella 1](#)), molti dei quali producono e pubblicano periodicamente bollettini contenenti indicatori sullo stato di siccità del proprio territorio (ad es., i bollettini idrologici mensili).

4.1 Distretto Idrografico Padano

Nel Protocollo di Intesa per la costituzione dell'Osservatorio del Po si fa esplicito riferimento all'attuazione del "Piano di Gestione delle siccità e Direttiva Magre" del Piano di Bilancio Idrico per il Distretto Idrografico Padano, che è stato adottato con Delibera del Comitato Istituzionale del 7 dicembre 2016.

Sono pertanto prodotti nell'ambito della modellistica per la gestione delle magre nel Bacino del Po quattro indici statistici per la caratterizzazione di siccità: lo SPI; lo SFI; il *Surface Water Supply Index* (SWSI; Shafer and Dezman, 1982), e il *run method* (RUN; Yevjevich, 1967). Oltre ai già citati SPI e SFI, il SWSI è utile laddove l'apporto dello scioglimento nivale riveste importanza fondamentale nella gestione idrica ed è calcolato sulla base dei dati di portata, di estensione del manto nevoso e dello stato degli invasi principali del sistema, mentre il RUN è stato sviluppato per offrire una identificazione oggettiva dei periodi di siccità e per caratterizzarne la severità e la durata.

Dal 2010 è attivo il *Drought Early Warning System for the Po river* (DEWS-Po). In tale ambito, sono stati selezionati e testati gli indicatori di siccità summenzionati, il cui calcolo è integrato nel sistema di modellistica per la previsione DEWS-Po, attualmente in uso. La gestione delle crisi idriche nel distretto del Po sono poi basate sull'analisi dei parametri ottenuti dal sistema DEWS-Po, e pertanto sui valori degli indicatori richiamati, e sull'analisi dell'assetto organizzativo presente nel Distretto Idrografico.

La gestione degli eventi calamitosi, che è operativa presso il Distretto, è definita nell'Ambito dell'[Allegato 3](#) alla Relazione Generale del Piano del Bilancio Idrico del Distretto Idrografico del Fiume Po, in coerenza con quanto descritto nei "Metodi e criteri per l'omogeneizzazione dei messaggi del Sistema di allertamento nazionale per il rischio meteo-idrogeologico e idraulico e della risposta del sistema di protezione civile", contenuti nelle "Indicazioni operative per l'omogeneizzazione dei messaggi di allertamento e delle relative Fasi operative per rischio meteo-idro" firmate dal Capo DPC il 10 febbraio 2016. Pertanto, oltre alla situazione normale cui corrisponde un'assenza di criticità, a ciascuno dei tre scenari di severità idrica crescente sono associati i livelli di criticità ordinaria, moderata ed elevata, cui consegue un livello di allerta individuato con i codici giallo, arancione e rosso, rispettivamente. La definizione del livello di allerta serve quindi ad

attivare nel Distretto la corrispondente fase operativa prevista dal piano di gestione dell'emergenza.

In assenza di criticità il sistema gestionale si trova nello stato di "previsione" che comporta:

- azioni di analisi mensili o stagionali (osservazione dei livelli di riempimento di laghi e serbatoi, temperatura e umidità del suolo, livelli delle falde e livelli idrometrici, censimento della risorsa accumulata);
- monitoraggio della situazione meteo climatica stagionale e riferita ai 14 giorni successivi;
- diffusione passiva delle informazioni (pubblicazione sul sito del Distretto, emissione di bollettini).

In presenza di una criticità ordinaria, il sistema gestionale passa alla fase di "vigilanza" il cui obiettivo è accrescere la consapevolezza della possibilità di crisi imminente al fine di promuovere l'avvio di misure preliminari di salvaguardia della risorsa, quali buone pratiche irrigue e risparmi. Pertanto, l'attività di monitoraggio e previsione è intensificata, le analisi sono condotte a intervalli settimanali o più brevi, e si iniziano incontri tra i gestori del sistema. Se le previsioni evidenziano un possibile peggioramento, vengono studiati i possibili scenari mediante anche analisi statistiche sull'evento atteso e censimenti delle aree maggiormente vulnerabili. In questa fase c'è una diffusione attiva delle informazioni.

Per criticità moderata, il sistema gestionale passa alla prima fase operativa di "monitoraggio" che è finalizzata a evitare l'emergenza idrica. Sono necessarie misure di gestione/restrizione della domanda, scelte in relazione agli impatti socio-economici e ambientali e concertate con i portatori di interesse a scala di Distretto. La gestione della risorsa viene decisa in tempo reale sulla base di aggiornamenti giornalieri delle analisi del sistema con riferimento a previsioni meteorologiche di brevissimo termine (2–3 giorni). Sono condotte azioni specifiche per la valutazione dei possibili effetti sul territorio ed entrano in vigore a pieno regime tutte le misure previste in caso di siccità dalla Direttiva Magre.

Invece, per criticità elevata, il sistema gestionale passa nella seconda fase di "monitoraggio". In questa fase, poiché si prevede, o è avvenuto, il superamento delle soglie minime di sicurezza del sistema, sono necessarie misure per:

- garantire i servizi essenziali;
- contenere i disagi per la popolazione;
- minimizzare gli impatti sullo stato di qualità dei corpi idrici e sugli ecosistemi naturali dipendenti dalle risorse idriche.

Le misure di emergenza sono concordate dall'Unità di Crisi e sono strettamente dipendenti dalla situazione in corso. La tipologia delle misure deve comunque essere prevista negli atti di pianificazione.

4.2 Distretto Idrografico delle Alpi Orientali

Le attività in tema di monitoraggio dei fenomeni di siccità e scarsità idrica riportate sotto si riferiscono ai quattro ambiti amministrativi che compongono il territorio distrettuale delle Alpi Orientali, e precisamente:

- Provincia Autonoma di Trento;
- Provincia Autonoma di Bolzano;
- Regione Veneto;
- Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.

Tuttavia, uno dei gruppi di lavoro funzionali all'operatività dell'Osservatorio permanente distrettuale, dedicato allo "stato della risorsa idrica", ha lo scopo, tra le altre cose, di individuare indicatori condivisi a scala distrettuale della carenza idrica e della siccità. L'Osservatorio in tal senso, come già emerso in sede comunitaria, ritiene che la caratterizzazione della siccità e della carenza idrica debba tener conto del diverso stadio evolutivo dei fenomeni (tant'è che, come si è riportato nel [Capitolo 1](#), "in letteratura" si parla di siccità meteorologica, siccità agricola, siccità idrologica e siccità "socio-economica") e, in certi casi, di specifiche situazioni geologiche ed idrodinamiche locali.

Per questo motivo, l'orientamento dell'Osservatorio è quello di operare una distinzione tra il "monitoraggio di sorveglianza", finalizzato a descrivere i fenomeni a scala regionale, e il "monitoraggio operativo", valutato invece a scala locale, della carenza idrica/siccità, individuando eventualmente, per i due sistemi sopra indicati, set di indicatori non necessariamente uniformi.

In particolare, la Provincia Autonoma di Trento, per quanto attiene il tema della carenza idrica, si è dotata già da qualche anno del "[Bilancio idrico](#)" (cfr. Delibera Giunta Provinciale n. 1999 del 29 settembre 2013) all'interno del quale è stata analizzata la situazione territoriale utilizzando l'equazione di bilancio di massa, tra la disponibilità idrica reale presente nei corsi d'acqua ed il Deflusso Minimo Vitale (DMV) previsto dal Piano generale di utilizzazione delle acque pubbliche. Tale verifica ha condotto all'elaborazione di un indice di equilibrio e disequilibrio del bilancio idrico per ciascun sottobacino analizzato, i cui valori sono rappresentati in 12 mappe mensili.

A seguito delle gravi situazioni di carenza idrica verificatesi in particolare nell'estate 2003 e successivamente nel 2005 e 2006, ARPA Veneto ha attivato un monitoraggio sistematico della situazione idrologica nel territorio veneto tramite la pubblicazione periodica, a partire del 2007, di due prodotti:

- il "Rapporto sulla risorsa idrica", aggiornato mensilmente ;
- il "Bollettino della risorsa idrica", bollettino di sintesi, senza allegati grafico-tabellari, aggiornato quindicinalmente;

aventi l'obiettivo di offrire un valido supporto alle decisioni di Enti e Istituzioni territoriali, fornendo loro un quadro sintetico delle conoscenze sulla disponibilità delle risorse idriche superficiali e sotterranee.

Il "[Rapporto sulla risorsa idrica](#)" aggiorna, con cadenza mensile, la situazione idrologica del territorio regionale facendo riferimento alle seguenti grandezze idrologiche:

- precipitazioni (piogge nel mese e cumulate);
- indice SPI;
- *Water Scarcity Index* (WSI);
- manto nevoso ed equivalente in acqua (SWE);
- portate dei maggiori corsi d'acqua;
- volume invasato nei principali serbatoi idroelettrici;
- livelli freaticometrici;
- livello dei principali invasi artificiali.

L'indice SPI è calcolato a livello regionale sulla base dei dati pluviometrici di 160 stazioni dell'ARPA Veneto, spazializzati su 8 aree omogenee (si tratta delle zone di allerta in cui è suddiviso il territorio regionale ai fini della valutazione del rischio idraulico nell'ambito del CF Decentrato), a partire dal periodo 1994 e riferiti agli ultimi 1, 3, 6 e 12 mesi. Le previsioni SPI per il mese successivo sono, inoltre, effettuate utilizzando i valori al 50°, 75° e 25° percentile delle precipitazioni del periodo.

All'interno del progetto europeo "Alp Water Scarce", che si è concluso nel 2010, l'ARPA Veneto ha sviluppato per il bacino montano del Piave una metodologia per la valutazione delle disponibilità idriche e il preannuncio di eventuali situazioni di carenza idrica (*early warning system*). La valutazione analizza i dati di alcune stazioni della rete dell'ARPA Veneto ritenute maggiormente significative, individua a una certa data il quantile dei parametri di interesse (precipitazione, manto nevoso, portata, temperatura) e determina, con opportuna pesatura dei quantili risultanti, l'indicatore numerico sintetico WSI: tanto minore risulta il WSI tanto più forte è lo scostamento dai valori normali e quindi l'anomalia della situazione.

L'equivalente in acqua del manto nevoso si riferisce al solo bacino del fiume Piave, limitatamente ai sottobacini di interesse per la regolazione del sistema idroelettrico Piave-Boite-Maè (ca. 1.360 km² a fronte di una superficie totale del bacino di ca. 4.000 km²). Sono utilizzati dati forniti da ENEL su 39 punti/stazione, integrati con i dati di 5 stazioni della rete idro-nivo-meteorologica dell'ARPA Veneto.

Ulteriori indicatori di carenza idrica/siccità riportati nel Rapporto sono:

- il confronto statistico tra i dati di precipitazione del periodo attuale e le serie storiche di riferimento e il calcolo del bilancio idro-climatico, saldo tra la precipitazione ed evapotraspirazione del periodo, basato sulla equazione di calcolo della

- evapotraspirazione potenziale di Hargreaves; sono considerati i dati delle stazioni pluviometriche della rete di telemisura dell'ARPA Veneto (160 stazioni);
- il confronto statistico tra i dati di altezza neve, spessore neve al suolo e copertura nevosa del periodo attuale e le corrispondenti serie storiche di riferimento; i dati fanno riferimento alle stazioni nivometriche della rete di telemisura dell'ARPA Veneto (16 stazioni) e riguardano le Dolomiti e le Prealpi venete;
 - i volumi totali invasati nei principali serbatoi del fiume Piave e nel serbatoio del Corlo (fonti dati ENEL) e livello idrometrico nel lago di Garda (fonte dati l'Agenzia Interregionale per il fiume Po), messi a confronto con i corrispondenti valori precedenti registrati a partire dal 1994 e con il massimo volume invasabile;
 - i livelli freaticometrici di 11 stazioni di riferimento della pianura veneta; per ciascuna stazione è valutato il valore percentile della misura riferita al giorno 29 del mese, che corrisponde al valore percentuale del rapporto tra il numero delle osservazioni inferiori al livello misurato e il numero totale delle osservazioni nel periodo di riferimento. Il confronto statico è effettuato con le serie storiche di riferimento;
 - il confronto statistico tra i dati di portata delle stazioni idrometriche della rete di telemisura dell'ARPA Veneto (13 stazioni) e dell'ARPAE Emilia Romagna (1 stazione) del periodo attuale e le serie storiche di riferimento riferiti; l'analisi è effettuata con cadenza bimensile e riguarda i principali corsi d'acqua del Veneto.

Il monitoraggio delle risorse idriche nella Regione Friuli Venezia Giulia avviene mediante una fitta rete di stazioni che copre tutto il territorio regionale e che recentemente è stata inglobata nelle reti idro-meteorologica della Protezione Civile Regionale (v. [Tabella 1](#)). Le stazioni di rilevamento meteo-climatico (nivometri, pluviometri, sensori di temperatura, radiazione, vento, idrometri e livelli di falda) di proprietà dell'Amministrazione regionale sono gestite da tre Direzioni Centrali (Protezione Civile Regionale, Direzione Centrale Ambiente ed Energia, Direzione Centrale Risorse Agricole, Forestali e Ittiche) che collaborano strettamente. Oltre a queste, ci sono le stazioni dell'Osservatorio meteorologico regionale (OSMER) di ARPA Friuli Venezia Giulia e quelle dei consorzi di bonifica, anch'esse destinate a essere integrate nella rete della Protezione Civile Regionale.

Per quel che concerne la raccolta, validazione ed elaborazione dei dati questa è effettuata dall'Unità Idrografica Regionale, in capo al Servizio Disciplina Servizio Idrico Integrato, Gestione Risorse Idriche, Tutela Acque da Inquinamento, che fa capo alla Direzione Centrale Ambiente ed Energia. Tra le attività di questa direzione c'è anche il monitoraggio delle risorse durante situazioni di carenza idrica.

I fenomeni di siccità e scarsità idrica hanno un impatto sul territorio in termini strutturali e sono legati, in particolare, al soddisfacimento delle esigenze irrigue nel periodo estivo. Infatti, la prolungata assenza di precipitazioni sommata ad alti valori di temperatura innesca una "curva di esaurimento" dei corsi d'acqua principali da cui avvengono i

maggiori prelievi per uso irrigo. In questo contesto si è sperimentato che un buon indicatore, semplice ma immediato, è basato sull'analisi decadale.

Con l'avvio delle attività dell'Osservatorio si è iniziato a discutere sulla possibilità di implementare e utilizzare a livello di distretto alcuni degli indici normalmente utilizzati per il monitoraggio e la quantificazione dei fenomeni di siccità. È attualmente in corso la discussione sull'implementazione dell'indice SPI e sulla scelta delle stazioni pluviometriche da considerare, nonché sull'applicazione del WEI+.

4.2.1 Esempi di stima della copertura del manto nevoso e del suo equivalente in acqua

Il Distretto Idrografico delle Alpi Orientali ha analizzato tre diverse metodologie da adottare per avere un indicatore relativo allo stato del manto nevoso.

La prima metodologia prevede l'analisi statistica dei dati di spessore del manto nevoso registrati dalle stazioni nivometriche (ritenute significative) presenti sul territorio, al fine di definire un indice di neve al suolo basato sui percentili rispetto al quale valutare statisticamente (ossia nell'inquadrare la fascia di percentile nella quale si cade nell'anno in corso) lo spessore medio della neve caduta al suolo. L'indice si basa su 5 classi relative al 10° percentile, al primo quartile, alla mediana, al terzo quartile e al 90° percentile.

La seconda utilizza immagini satellitari (dati del MODIS–*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* della NASA) per stimare l'estensione del manto nevoso, i dati delle stazioni nivometriche per spazializzare l'altezza del manto nevoso al suolo e considera alcuni modelli di stima noti in letteratura per trasformare la neve al suolo nel suo equivalente in acqua SWE. L'applicazione di questa metodologia, che è stata utilizzata per uno studio sul bacino dell'Adige, è però possibile solo quando sul territorio di riferimento non vi è copertura nuvolosa.

La stima di SWE dipende dalla scelta della funzione di densità del manto nevoso ρ_b che, in generale, è funzione dell'altezza della neve al suolo (H_s), della stagione e del territorio considerato.

Il primo modello testato è quello empirico proposto da Jonas et al. (2009) per la Svizzera, che stima la densità in funzione di H_s , della stagione, della quota della stazione e della regione delle alpi svizzere nella quale la si valuta. Tale modello empirico non può tuttavia essere utilizzato per la ricostruzione dell'andamento giornaliero di ρ_b in quanto prevede la stima dei parametri su base mensile. Il modello di stima di Sturm et al. (2010), che si basa sullo spessore e sul giorno dell'anno in esame, ha invece la peculiarità di considerare gli effetti delle condizioni meteorologiche del sito monitorato (quali temperatura, vento, ecc.), tarando i parametri del modello sui singoli campioni di dati raccolti nelle regioni climaticamente omogenee. Pistocchi (2016) ha recentemente analizzato e applicato i due modelli (senza la calibrazione) al territorio della Provincia Autonoma di Bolzano e ha proposto una funzione di densità specifica per il territorio.

Si sono eseguite successive applicazioni di questa metodologia al bacino dell'Adige. A fine gennaio 2018, l'utilizzo dei tre modelli sopra menzionati ha evidenziato una variabilità nella stima di ρ_b compresa nell'intervallo 217–277 kg m⁻³ e, di conseguenza, una variabilità nell'equivalente in acqua della neve SWE compresa nell'intervallo 960–1079 Mm³.

La terza metodologia testata si basa sull'utilizzo della modellistica numerica idrologica: le equazioni di bilancio di massa e di bilancio energetico sono risolte, permettendo di avere previsioni in continuo di H_s . Questa modellistica richiede in input i dati meteorologici relativi alla temperatura, umidità, vento, pioggia e radiazione globale. Lo studio di verifica condotto per il periodo 2015–2016 ha evidenziato un'accuratezza in termini di errore assoluto medio (MAE–*Mean Absolute Error*) dell'ordine del 10%. Dal confronto con le altre metodologie, quest'ultima è quella che è risultata essere più affidabile, in quanto permette di avere previsioni in continuo nello spazio e nel tempo, può essere applicabilità su morfologie complesse, può essere automatizzata, può essere esportata dove non ci sono dati, ecc.

4.3 Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale

Il Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale ha inserito all'interno degli strumenti di pianificazione, in particolare nel Piano di Bilancio Idrico e nel Piano di Gestione delle Acque, alcuni indicatori quali strumenti per l'individuazione di criticità o per la valutazione dello stato delle risorse idriche (e delle pressioni) e la loro gestione da parte della Commissione Tutela Acque.

Gli indicatori (adimensionali, escluse le soglie piezometriche e i volumi invasati) sono i seguenti:

- WEI+ (JJAS), quale indicatore di sfruttamento della risorsa idrica, calcolato con riferimento ai soli mesi estivi (giugno, luglio, agosto, settembre), espresso come rapporto tra i prelievi netti (differenza tra prelievi e restituzioni) e il volume relativo alla portata "naturale". Nell'ambito dell'EGWSD, l'uso del WEI+ a scala mensile era stato testato sul bacino del fiume Arno. È ritenuto dal Distretto un indicatore dal contenuto informativo medio e richiede la conoscenza dei termini del bilancio idrico su base mensile o almeno stagionale. Per questo motivo, la possibile indisponibilità di una ricostruzione tempo-variante del bilancio e, in particolare dei prelievi, e la possibile impossibilità di differenziare le stime dei prelievi tra anno e singolo mese o singola stagione rappresentano due criticità rilevanti per l'utilizzo di questo indicatore.
- Dmvf–Frazione dei giorni in un anno in cui la portata non supera il DMV. L'indicatore dal contenuto informativo alto richiede la conoscenza dei termini del bilancio idrico su base giornaliera, nonché la stima del DMV (la cui incertezza rappresenta una criticità per l'indicatore).
- Dmvf (JJAS)–Frazione di giorni nella stagione estiva in cui la portata non supera il DMV. Questo indicatore è analogo al Dmvf, ed è soggetto alle stesse criticità.

- SPI per quantificare il deficit o surplus di pioggia rispetto ai valori medi, basato sulla precipitazione cumulata a diverse scale temporali (30, 60, 120, 180, 365, 730 gg) su aree/bacini predefiniti. Questo indicatore ha un contenuto informativo alto e utilizza le precipitazioni cumulate mediate su aree di riferimento (ad es., tramite la tecnica dei topoi). Le informazioni utilizzate derivano dalle reti di monitoraggio dei CF regionali e dagli Annali Idrologici (ex SIMN). La non validazione dei dati in tempo utile da parte degli enti gestore può rappresentare una criticità per la produzione di questo indicatore.
- Soglie piezometriche (in m s.l.m.), quale indicatore dello stato quantitativo di un acquifero, dipendente sia da fattori naturali (precipitazioni e tempo di ricarica) che antropiche (prelievi). Come indicatore ha un contenuto informativo medio per il Distretto Idrografico. Si basa ovviamente sui dati raccolti dalle Reti di monitoraggio ambientali regionali e necessità di misure in continuo e in tempo reale (spesso non disponibili o validate) e di conoscenza specifica dell'andamento della falda interessata per individuare il valore di riferimento.
- Volumi invasati disponibili, che fornisce indicazione dal contenuto informativo alto sulle disponibilità residue dell'invaso. I dati sono forniti dagli Enti gestori degli invasi.

4.4 Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale

Il Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale ha inserito all'interno dei propri strumenti di pianificazione (Piano di Gestione Acque sensu [DQA](#) e Piani-stralcio ex [lege 183/89](#)) alcuni indicatori di stato della risorsa idrica, di seguito illustrati, che sono utili per l'individuazione di criticità e per la gestione della risorsa idrica. La ratio che ha guidato la scelta di questi indicatori discende dall'imprescindibile collegamento tra condizioni ordinarie e condizioni critiche (valutabile solo in elaborazioni tempo-dipendenti) e dalla particolare struttura di gestione della risorsa idrica nel Distretto costituita da:

- schemi idrici per la produzione idroelettrica con potenza installata di 1.400 MW;
- schemi idrici del Sistema Idrico Integrato (SII);
- schemi idrici dei consorzi di bonifica e dei gestori di impianti collettivi (20 soggetti) che gestiscono circa il 25% dell'attuale fabbisogni irriguo;
- circa un miliardo di metri cubi di risorsa in vaso geometrico (ma non corrispondente ai volumi normal-regolati che sono stimati una percentuale intorno al 50%);
- auto-provvigionamento, soprattutto nel settore irriguo e tramite prelievi da acque sotterranee.

Nel 2009, a seguito del progetto "La vulnerabilità dei grandi sistemi di approvvigionamento idrico del bacino del Tevere in relazione al verificarsi di condizioni di scarsità della risorsa idrica. Definizione di un sistema di azioni di prevenzione e mitigazione degli effetti" tra l'Autorità di bacino del fiume Tevere e l'IRSA-CNR, si è iniziato ad adottare lo SPI a 12 mesi.

Successivamente, nel progetto “Siccità e cambiamenti climatici – SECLI” del 2011, che vedeva la partecipazione della Regione Umbria e l’Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IRPI-CNR), è stata sviluppata una procedura per utilizzare lo SPI con possibili scenari termo-pluviometrici perturbati per orizzonti temporali fino a 60 anni. Scopo del progetto era difatti l’individuazione di possibili soluzioni per adattare il sistema delle risorse idriche del territorio umbro a scenari di cambiamenti climatici, garantendo così un uso razionale. La scelta di aggregare l’analisi della siccità a quella del bilancio idrico discende dalle indicazioni del [D.M. del 28 luglio 2004](#) del MATTM che prescrive l’analisi dei deficit (e delle eccedenze) idrici (rispetto ai fabbisogni minimi) “che possono ritenersi accettabili in relazione al tipo di utilizzazione”. Lo SPI, inteso quindi quale indicatore delle frequenze probabili delle risorse utilizzabili, è pertanto sempre aggregato alla valutazione di deficit (e di eccedenze) affinché sia possibile il confronto in occasione di periodi di siccità. Lo SPI e il bilancio idrico, relativo al solo bacino del fiume Tevere, non sono stati aggiornati regolarmente per mancanza di dati di caratterizzazione idrologica e sugli usi. Sono previste misure nell’aggiornamento del Piano di Gestione per la loro attualizzazione.

L’Osservatorio permanente del Distretto ha indicato, per le attività del proprio programma triennale, lo sviluppo e l’estensione a tutto il distretto del modello di bilancio idrico delle acque superficiali, denominato SimBaT, e la sua integrazione con il modello INOPIA, sviluppato dal DPC e dall’IRSA-CNR, per la definizione degli scenari di criticità. Inoltre, nel corso dell’estate 2017, l’IRSA-CNR ha condotto per conto dell’Osservatorio il monitoraggio della siccità per l’intero territorio tramite la stima dei valori dello SPI a diverse scale temporali.

Al fine di determinare i fabbisogni minimi, il Distretto ha fatto riferimento al Capitolo 6 “Direttive e parametri tecnici per la individuazione delle aree a rischio di crisi idrica con finalità di prevenzione delle emergenze idriche” dell’Allegato al [D.P.C.M. del 4 marzo 1996](#) “Disposizioni in materia di risorse idriche”. In particolare, sono stati utilizzati i seguenti parametri di gestione degli schemi idrici di fornitura:

- valore di soglia: limite massimo di consumo in grado di soddisfare i bisogni senza creare reali disagi;
- valore di crisi: soglia di disagio comunque ammissibile, a seconda del tipo di utenza e delle particolari esigenze locali, con il criterio di evitare danni irreparabili tenuto conto della durata di permanenza di detto disagio.

Questi valori sono rapportati ai dati di fabbisogno utilizzati nella progettazione degli schemi idrici. In via provvisoria, sono stati assunti i valori dichiarati dai singoli gestori degli schemi idrici (consorzi irrigui per gli usi irrigui, gestori idroelettrici per l’uso industriale e gestori del SII per l’uso civile). Tali valori devono essere aggiornati con l’analisi puntuale degli schemi idrici.

Il valore d'infiltrazione efficace (IE; alimentazione degli acquiferi) è stato rapportato all'ammontare dei prelievi (Der) costruendo un indicatore uguale al rapporto Der/IE. Da questo rapporto è possibile poi ottenere il WEI+ (come rapporto tra consumo totale e risorsa rinnovabile), in quanto il valore IE rappresenta per i corpi idrici sotterranei, secondo le procedure di identificazione del D.M. n. 31/2008, la risorsa rinnovabile se espressa come variazione di volume sotterraneo immagazzinato. Infatti, operando in condizioni tempo-dipendenti (in accordo con il [D.M. del 28 luglio 2004](#)), è possibile corrispondere alla definizione dell'art. 2.27 della [DQA](#). Nel caso di auto-provvigionamento la valutazione del Der è affiancata ai dati di concessione/autorizzazione per la valutazione di analoghi valori di soglia e di crisi. L'aggregazione, a causa della forte dispersione degli utilizzatori, è effettuata a scala di corpo idrico. La valutazione della IE e del rapporto Der/IE è disponibile per la sola provincia vulcanica del Distretto, ma deve essere aggiornata con i nuovi dati di caratterizzazione idrologica e sugli usi. Sono previste misure nell'aggiornamento del Piano di Gestione per la loro attualizzazione.

Tra gli indicatori presi in considerazione c'è anche il DMV. In accordo con le indicazioni del [D.M. del 28 luglio 2004](#), questa portata istantanea è considerata "vincolo ambientale" nella procedura di bilancio idrico secondo uno schema che tiene conto della risorsa riservata agli usi non regolati e agli incrementi di DMV per corrispondere all'*E-flow* e della quota di risorsa riservata agli (incrementi degli) usi regolati che devono sostenere il DMV in condizioni di siccità. Il DMV deriva provvisoriamente dalle attività di sperimentazione effettuate dalle Regioni afferenti al territorio del Distretto Idrografico nel periodo 2011–2015.

Un ulteriore indicatore utilizzato dal Distretto si riferisce alla risorsa dell'anno di riferimento. La predominante presenza di invasi di regolazione (superficiali realizzati con dighe e sotterranei costituiti dagli acquiferi anche non confinati) richiede, in fase di attuazione delle misure di bilancio idrico, la preliminare valutazione dello scostamento tra le originarie previsioni progettuali (concentrate tra gli anni 20 e 50) e la situazione attuale determinata dall'evoluzione delle condizioni climatiche. Si è provveduto a determinare alcuni elementi del bilancio idrico riferiti agli anni 30 per i complessi idrogeologici carbonatici e vulcanici (e i relativi bacini idrografici strumentati) sulla base dei dati storici delle "stazioni permanenti" dei soppressi Uffici compartimentali di Roma, Pescara e Bologna del SIMN. I dati sono riportati nell'Allegato "e" alla Relazione integrativa e di sintesi dell'Aggiornamento del Piano di Gestione del Distretto dell'Appennino Centrale.

4.5 Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale

Il Piano di Gestione Acque Il Ciclo riporta per l'intero territorio distrettuale dell'Appennino Meridionale il bilancio idrologico e idrico così come valutato per i singoli territori delle Autorità di Bacino (AdB) ex. [L. 183/89](#) o dalle Regioni, chiaramente laddove disponibile. I bilanci attualmente disponibili non fanno riferimento a indicatori specifici previsti dai

documenti dell'EGWSD, mentre riportano il valore del DMV valutato, secondo diverse metodologie, come valore medio annuo.

Nella redazione del Piano di Gestione Acque Il Ciclo, in particolare nella fase di predisposizione del report [WISE–Water Information System for Europe](#), attesi i dati disponibili, è stato effettuato il calcolo del WEI+ relativamente al territorio distrettuale. In sintesi, le informazioni di riferimento per il calcolo del WEI+ sono le seguenti:

- Dati elaborati da parte delle Regioni e/o AdB competenti a partire dall'inventario degli utilizzi, dati ex SIMN, dati INEA–Istituto Nazionale di Economia Agraria e ANBI, ecc.;
- Copertura spaziale inerente l'intero territorio distrettuale, con dati di calcolo aggregati su base regionale;
- I dataset utilizzati fanno riferimento a periodi temporali diversi; il calcolo dell'indicatore ha fatto riferimento alla scala media annuale.

Attesa la criticità informativa inerente la disponibilità e l'omogeneità dei dati e del bilancio, anche di carattere spaziale, una delle attività salienti prevista dal Protocollo sottoscritto per l'Osservatorio del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale è la valutazione del bilancio per l'intero distretto.

4.6 Distretto Idrografico della Sardegna

La Regione Sardegna ha avviato l'attività di "monitoraggio della siccità" attraverso l'individuazione di una serie di indicatori che, attraverso l'elaborazione di informazioni con periodicità temporale e per diverse aree idrografiche, forniscono dal 2007 un utile strumento per migliorare la gestione delle risorse idriche sia alla stessa Regione che alle altre autorità competenti.

Questo ha consentito, sinora, di caratterizzare gli scenari dei bilanci risorse-fabbisogni, in atto e prevedibili nel breve e medio termine, nei sistemi idrografici che compongono l'intero territorio regionale. In questo modo, non sono valutati i rischi legati alla siccità ma la stessa viene introdotta nella pianificazione generale del Distretto Idrografico per una sua gestione proattiva.

Il sistema utilizzato dal Distretto Idrografico della Sardegna è costituito da indicatori:

- meteorologici (precipitazioni, temperature, ecc.);
- idrologici e agrari (deflussi, livelli di falda, umidità del terreno, ecc.);
- indicatori di stato sull'operatività dei sistemi idrici (volumi invasati, qualità delle acque, ecc.);

ed è stato realizzato mediante l'impegno di diversi soggetti territoriali: Ente Acque della Sardegna (ENAS); ARPA Sardegna; Servizio Idrografico; Hydrocontrol; Enti agricoli. L'ARPA Sardegna è responsabile della pubblicazione mensile del [Bollettino di monitoraggio della siccità](#) che descrive la situazione del mese mediante l'elaborazione di

indicatori meteorologici, tra cui le mappe di SPI a 3, 6, 12 e 24 mesi riferite all'intero territorio regionale.

Con frequenza mensile, il Distretto Idrografico Sardegna elabora il “Bollettino dei serbatoi artificiali del sistema idrico multisetoriale della Sardegna” con i valori degli indicatori di stato per il monitoraggio e il preallarme della siccità per ciascun invaso dell'isola, che valuta le misure da porre in essere nel brevissimo, nel breve e nel medio termine, d'intesa con i soggetti istituzionali competenti, in funzione dei valori ottenuti per tali indicatori.

Analogamente è stato predisposto un Sistema Informativo attraverso il quale poter interrogare i dati inseriti relativi ai volumi invasati, anche in tempo reale ove fosse necessario:

- [Metodologia relativa al calcolo dell'indice;](#)
- [Situazione degli invasi a passo mensile e relativi indici;](#)
- [Sistema Informativo dedicato ai volumi invasati.](#)

4.7 Distretto Idrografico della Sicilia

La Regione Sicilia ha avviato già dall'inizio degli anni 2000 un percorso per l'implementazione di un sistema per il monitoraggio e la previsione degli eventi di siccità e la definizione di misure di mitigazione degli impatti prodotti da tali eventi.

Il Piano di Gestione del Distretto Idrografico della Sicilia prevede un'attività di monitoraggio della siccità basata in particolare sull'analisi dell'andamento pluviometrico tramite l'elaborazione dello SPI a diversi intervalli temporali e il costante monitoraggio dei volumi idrici disponibili presso gli invasi.

L'adozione dello SPI è avvenuta già dal 2003 all'interno di un [Bollettino di Siccità](#) elaborato dall'Osservatorio delle Acque nell'ambito del progetto “SEDEMED–*Sécheresse et Désertification dans le bassin Méditerranée*” del Programma Comunitario INTERREG III B MEDOCC. Inizialmente, tale Bollettino comprendeva anche le mappe di deficit di precipitazione e le mappe dell'indice di Palmer, mentre attualmente vengono elaborate le mappe di SPI a 3, 6, 12 e 24 mesi oltre ai grafici su pluviometrie e volumi invasati.

Nell'ambito delle attività dell'Osservatorio permanente per gli utilizzi idrici è stata suggerita da ISPRA, con il supporto della Regione Siciliana, del MATTM e del DPC, una metodologia per la stima probabilistica delle variazioni dei volumi di invaso. Si tratta di uno schema speditivo per la previsione della disponibilità della risorsa idrica immagazzinata negli invasi per effetto di scenari climatici basati su precipitazioni di assegnata frequenza di accadimento, ovvero di assegnato periodo di ritorno. Questa metodologia, attualmente proposta su base trimestrale ma facilmente estendibile su base mensile, si avvale dell'uso dello SPI per definire le proiezioni delle precipitazioni al trimestre successivo. In altre parole, gli scenari “ottimistici”, “medi” e “pessimistici” sono ottenuti sulla base dei percentili corrispondenti agli estremi degli intervalli di classificazione dell'indice SPI per la caratterizzazione dei periodi siccitosi ($SPI < 0$) e dei periodi piovosi ($SPI > 0$).

5 Proposta di indicatori comuni da adottare negli Osservatori permanenti per gli utilizzi idrici

Come illustrato nel [Capitolo 4](#), a livello di Distretto Idrografico sussistono delle peculiarità fisico-ambientali che hanno comportato nel corso degli anni l'implementazione e l'adozione di indicatori e strumenti specifici di monitoraggio e valutazione della siccità e della scarsità idrica.

Sulla base di queste attività e di quelle condotte a livello nazionale ed europeo (si veda, ad es., *EC Communication on drought and water scarcity COM/2007/0414* e attività correlate in ambito CIS [DQA](#)), si è proceduto all'individuazione di un set comune di indicatori, costituito da SPI, SRI, SSPI, SPEI, WEI+, fAPAR e SAI, in supporto e a integrazione, ove non già considerati, a quelli popolati e operativi in seno a ciascun Osservatorio permanente, in modo da avere a livello nazionale una visione e un monitoraggio omogeneo delle situazioni di siccità e scarsità idrica. Tali indicatori concorreranno alla caratterizzazione e alla gestione della risorsa idrica del territorio di riferimento di ciascun Osservatorio.

I paragrafi che seguono descrivono ognuno di questi indicatori, fornendo informazioni sulle modalità di calcolo, sulle scale temporali da considerare e sui dati e sulle stime idro-meteorologiche necessarie per il loro popolamento. Nessuna specifica è fornita in merito alla scelta del numero di punti/stazioni da considerare per l'implementazione di tali indicatori, che è invece lasciata a ciascun Osservatorio, in quanto dipendente dalle caratteristiche dei bacini e sotto-bacini considerati nelle analisi. Ciononostante, regola generale consiste nell'effettuare sull'intero territorio di pertinenza il monitoraggio e la valutazioni degli eventi di siccità e delle condizioni di scarsità idrica, pur nei limiti delle disponibilità di adeguate serie idro-meteorologiche.

Le classificazioni dei livelli di severità associati a questi indicatori sono quelle riconosciute a livello internazionale e consolidate nella letteratura di settore. Unica eccezione è l'indicatore di scarsità idrica WEI+, su cui non c'è ancora un accordo univoco a livello internazionale (sebbene nelle presenti Linee guida siano indicati come riferimento i livelli adottati dall'EEA) e per il quale è necessario un supplemento di discussione all'interno del Comitato tecnico di coordinamento nazionale, anche in considerazione della tipologia di dati richiesti per il popolamento di questo indicatore.

5.1 SPI

Lo SPI è un indicatore statistico basato sul confronto tra la precipitazione registrata in un determinato periodo di t mesi (dove $t = 1, 2, \dots, 24$ mesi) con la distribuzione a lungo termine della precipitazione aggregata per lo stesso periodo di tempo. In altre parole, se si vuole calcolare lo SPI a 1 mese per il mese di giugno, si dovrà considerare la serie delle precipitazioni registrate nel mese di giugno per gli anni passati, mentre se si vuole calcolare lo SPI a 6 mesi alla fine di giugno si metterà confronto la pioggia registrata nel

periodo gennaio–giugno con la serie a lungo termine della pioggia gennaio–giugno registrata negli anni passati, e così via.

A seconda della durata del periodo t considerato, l'indice SPI potrà fornire informazioni utili per valutare i potenziali impatti della siccità meteorologica:

- SPI riferito a periodi brevi di aggregazione temporale (da 1 a 3 mesi) fornisce indicazioni sugli impatti immediati, quali quelli relativi alla riduzione di umidità del suolo, del manto nevoso e della portata nei piccoli torrenti;
- SPI riferito a periodi medi di aggregazione temporale (da 3 a 12 mesi) fornisce indicazioni sulla riduzione delle portate fluviali e delle capacità negli invasi;
- SPI riferito a più lunghi periodi di aggregazione temporale (oltre i 12 mesi) fornisce indicazioni sulla ridotta ricarica degli invasi e sulla disponibilità di acqua nelle falde.

Le indicazioni di riferimento in merito alla lunghezza delle serie temporali delle stazioni pluviometriche da considerare per il calcolo di SPI sono del WMO (2012). Secondo il WMO, è necessario considerare serie con almeno 30 anni di dati. In generale, una climatologia più robusta porta a una conseguente maggiore robustezza statistica dell'indicatore, e quindi a una minore incertezza nella valutazione della condizione di siccità o di surplus di acqua. Pertanto, nel calcolo dello SPI è auspicabile considerare i dati di pioggia a partire dalla data più in là nel tempo fino ad arrivare agli ultimi valori registrati, in modo da utilizzare serie storiche che via via si allungano. Nel calcolo del SPI, andare oltre i 24 mesi può essere statisticamente poco significativo, a meno che non si abbiano a disposizione serie molto lunghe di dati dell'ordine degli 80–100 anni (World Meteorological Organization, 2012).

Per ciascun punto analizzato, la serie storica di precipitazione aggregata è interpolata mediante una distribuzione di probabilità teorica. Il World Meteorological Organization (1966) ha evidenziato come la distribuzione gamma sia quella che meglio interpola tale serie.

La procedura da applicare è la seguente. Sia X la serie temporale di precipitazione costituita da n osservazioni aggregate al passo temporale t (dove t può assumere i valori 1, 2, 3, ..., 24 mesi). Per ogni $x > 0$ la distribuzione gamma $g(x)$ è così definita:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, \quad (\text{Eq. 1})$$

dove $\alpha (> 0)$ è il parametro di forma, $\beta (> 0)$ è il parametro di scala e $\Gamma(\alpha)$ è la funzione gamma. L'interpolazione si ottiene mediante una stima (indicata con $\hat{\cdot}$) dei parametri α e β mediante il metodo della massima verosimiglianza:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (\text{Eq. 3})$$

dove $A = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{n} \sum_n \ln(x)$ e \bar{x} è la media delle osservazioni. Tanto più lunga sarà la serie utilizzata per il calcolo dello SPI, tanto maggiore sarà la robustezza statistica delle stime che si otterranno per i parametri della distribuzione $g(x)$.

La distribuzione cumulativa di probabilità è quindi data da:

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\hat{\beta}\hat{\alpha}\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx, \quad (\text{Eq. 4})$$

che può essere facilmente stimata utilizzando le approssimazioni numeriche note in letteratura (si veda, ad es., Abramowitz e Stegun, 1965, Press et al., 2007). Tuttavia, dato che la distribuzione gamma non è definita per i valori di x uguale a zero e la serie delle precipitazioni cumulate può contenere degli zeri, la distribuzione cumulativa è ridefinita come segue:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x), \quad (\text{Eq. 5})$$

dove q è la probabilità di precipitazione nulla, che può essere stimata come il rapporto tra il numero m di zeri nella serie temporale delle precipitazioni e il numero totale di osservazioni di precipitazione, ossia: $q = m/n$.

La distribuzione cumulativa $H(x)$ è poi trasformata in una distribuzione normale (v. Panofsky e Brier, 1958), pertanto il valor medio dello SPI per un determinato luogo e periodo di aggregazione considerato è uguale a zero (Edwards e McKee, 1997). La trasformazione conserva la probabilità cumulativa, nel senso che la probabilità della variabile di trovarsi al di sotto di un certo valore nella distribuzione gamma è uguale alla probabilità della variabile trasformata normalmente distribuita di trovarsi al di sotto della trasformata di quel valore.

Da un punto di vista computazionale, il valore di SPI può essere ottenuto utilizzando l'approssimazione proposta in Abramowitz e Stegun (1965) che converte la distribuzione cumulativa $H(x)$ a una variabile aleatoria normale Z :

$$Z = \text{SPI} = \begin{cases} -\left(h - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) & \text{per } 0 < H(x) \leq 0.5 \\ +\left(h - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) & \text{per } 0.5 < H(x) < 1 \end{cases} \quad (\text{Eq. 6})$$

dove si ha che:

$$h = \begin{cases} \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} & \text{per } 0 < H(x) \leq 0.5 \\ \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)} & \text{per } 0.5 < H(x) < 1 \end{cases} \quad (\text{Eq. 7})$$

e

$$\begin{aligned} c_0 &= 2.515517 \\ c_1 &= 0.802853 \\ c_2 &= 0.010328 \end{aligned} \quad (\text{Eq. 8})$$

$$d_1 = 1.432788$$

$$d_2 = 0.189269$$

$$d_3 = 0.001308.$$

Lo SPI fornisce un'indicazione sulla relazione tra la quantità di precipitazione caduta in un determinato intervallo di tempo e la sua climatologia, portando così a definire se la stazione o l'area monitorata è affetta da condizioni di siccità oppure no. Dal momento che lo SPI è distribuito secondo una funzione di probabilità normale, è possibile monitorare sia periodi secchi che periodi umidi. Valori negativi di SPI corrispondono a periodi più secchi rispetto alla climatologia, ossia indicano un deficit di precipitazione (siccità), mentre valori positivi di SPI corrispondono a periodi più umidi, ossia indicano un surplus di precipitazione. Maggiore è la distanza dalla norma (climatologia), maggiore è la severità dell'evento ([Tabella 2](#); World Meteorological Organization, 2012). La normalizzazione che è alla base di questo indice permette di rappresentare nello stesso modo (e di riportare quindi su una stessa mappa) aree soggette a climatologie differenti.

Tabella 2. Severità degli eventi di umidità e di siccità in termini di SPI, così come definiti dal WMO.

Valori SPI	Classe
SPI \geq 2	umidità estrema
1.5 \leq SPI $<$ 2.0	umidità severa
1.0 \leq SPI $<$ 1.5	umidità moderata
-1.0 $<$ SPI $<$ 1.0	nella norma
-1.5 $<$ SPI \leq -1.0	siccità moderata
-2.0 $<$ SPI \leq -1.5	siccità severa
SPI \leq -2.0	siccità estrema

L'applicazione dello SPI può seguire diverse possibili alternative di calcolo e rappresentazione: è possibile calcolare lo SPI a livello di singola stazione e poi procedere a una spazializzazione sull'area in esame; si può preferire di spazializzare le piogge su un grigliato di interesse e poi calcolare lo SPI su ciascun punto del grigliato; oppure si può preferire di aggregare le precipitazioni per aree di interesse (ad es., bacini idrografici) e poi calcolare lo SPI per le singole aree.


Calcolo del SPI a scala di stazione e successiva spazializzazione su area:

- Per come è costruito lo SPI, è possibile mettere a confronto valori di SPI provenienti da stazioni diverse e calcolati sulla base di serie con lunghezze differenti. La "normalizzazione" avviene alla scala della stazione e questo permette di mettere a confronto stazioni rappresentative di zone climatiche differenti.
- La metodologia da adottare per il calcolo dello SPI a livello di singola stazione deve essere la stessa. Questo aspetto non è difficile da ottenere, visto che in generale i

software e le procedure disponibili (come, ad es., il tool ANÁBASI sviluppato da ISPRA) si basano tutte sullo stesso modello descritto nelle [Eq. 1–Eq. 8](#).

- La spazializzazione dei valori di SPI può risultare più facile in quanto ottenibile utilizzando modelli di spazializzazione di facile applicazione, quali il *kriging* o l'*inverse distance weighting*.

Spazializzazione della pioggia su grigliato e successivo calcolo dei valori di SPI per ciascun elemento del grigliato:

- L'approccio di spazializzazione della pioggia su grigliato richiede alla base un notevole lavoro sulla definizione del modello di spazializzazione da adottare e sulla sua successiva applicazione, in quanto deve tener conto della morfologia del territorio e della sua climatologia.
- Una volta definito il modello di spazializzazione, devono essere generate le serie di pioggia su grigliato a 1, 3, 6, 12 mesi, ecc., per poi effettuare su ciascun elemento del grigliato il calcolo di SPI. Ad esempio, questo è l'approccio adottato da oltre 10 anni dall'ARPA Piemonte nel suo [bollettino idrologico mensile](#) e, più recentemente, dall'ARPAE Emilia Romagna, grazie alla realizzazione di un opportuno [dataset osservativo di precipitazioni giornaliere su grigliato per l'intera Emilia-Romagna a partire dal 1961](#). 
- L'applicazione di un tale approccio a livello di distretto idrografico richiede pertanto non solo un grosso sforzo computazionale, ma anche un alto livello di coordinamento per la generazione delle precipitazioni su grigliato a scala di distretto e il successivo calcolo di SPI. In altre parole, poiché in questo approccio non è possibile mosaicare grigliati di precipitazione prodotte in ambiti diversi, è necessario che un unico soggetto si faccia carico dell'intera produzione delle mappe, ossia di raccogliere i dati di precipitazione dai vari gestori, produrre/aggiornare le serie di precipitazioni e calcolare l'indice SPI per ogni cella del grigliato.

Aggregazione della pioggia per aree di interesse e calcolo dello SPI a scala di area

- Al fine di ridurre il carico computazionale per ottenere le mappe di SPI, si potrebbe pensare di procedere al calcolo dell'indicatore a scala di area. Questo richiede la definizione di opportune aree su cui poi calcolare le piogge aggregate considerando le misure registrate dai pluviometri presenti in ciascuna area in esame. La scelta dell'area deve avvenire in maniera ottimale in modo da non perdere con il processo di aggregazione importanti informazioni sulla naturale variabilità spaziale della precipitazione.

Qualora ci fossero problemi a condividere i dati pluviometrici tra le diverse autorità presenti nel Distretto Idrografico, potrebbe essere preferibile adottare la prima procedura, ossia far calcolare i valori di SPI a livello di singola stazione da parte degli enti gestori delle reti di

monitoraggio idro-meteorologico (utilizzando, ad es., il tool ANÁBASI) e produrre poi le mappe di SPI a scala di distretto e/o di bacino o sotto-bacino idrografico.

Il calcolo dello SPI a livello di singola stazione può, comunque, essere anche utile qualora sia necessario valutare in una determinata località la variazione dello SPI su una determinata finestra temporale per le diverse scale di aggregazione. Questo permette, specie in presenza di una situazione perdurante di siccità, di avere un quadro più di dettaglio sullo stato e sulla criticità del fenomeno, anche in termini di analisi degli impatti sul territorio.

Inoltre, nell'ambito delle attività degli Osservatori diventa necessario definire un numero minimo di stazioni pluviometriche da monitorare e sulle quali calcolare lo SPI. La scelta delle stazioni deve avvenire a livello di distretto, in modo da essere rappresentativa delle varie situazioni climatologiche e da prevedere una copertura uniforme del territorio distrettuale.

5.2 SRI

Lo SRI è un indicatore per la siccità idrologica basato sulla valutazione della probabilità di osservare una portata media mensile su una determinata scala temporale. Come per lo SPI, questo indicatore può essere calcolato per differenti scale temporali a seconda delle caratteristiche del bacino e delle finalità del monitoraggio. In generale, scale temporali di breve durata (SRI1 e SRI3) sono utili nei piccoli bacini e in quelli non artificiali, mentre scale temporali maggiori (SRI12, SRI18, SRI24, ...) sono, ad esempio, più adatte ai grandi bacini caratterizzati da un ciclo idrologico più complesso.

Ovviamente, questo indicatore può essere calcolato solo in corrispondenza di sezioni in cui si hanno serie storiche di dati di portata sufficientemente lunghe e stazionarie, rappresentative di bacini naturali o poco antropizzati. È un indicatore che può essere utilizzato nella valutazione dell'impatto della siccità sui volumi degli invasi qualora la sezione di riferimento considerata sia quella in ingresso all'invaso. Attenzione deve, invece, essere posta nell'utilizzo di tale indicatore in presenza di stazioni i cui dati di portata risentono in modo significativo degli effetti delle attività antropiche, in quanto potrebbero distorcere il naturale trend dell'evento in esame e falsarne la valutazione di severità.

Sebbene SRI e SPI siano simili e fortemente correlati quando si considerano scale temporali dell'ordine dell'anno o superiori, differenze si riscontrano tra i due indicatori su scale temporali più brevi (1, 3 e 6 mesi) e su bacini di grandi dimensioni. Le differenze aumentano alla diminuzione della scala temporale e all'aumentare della dimensione del bacino. Lo SRI incorpora nella sua valutazione quei processi idrologici che determinano uno sfasamento stagionale nell'influenza del clima sulle portate (Shukla e Wood, 2008). Per questo motivo, lo SRI è da considerarsi complementare allo SPI per grandi bacini e durate brevi.

Benché le modalità di calcolo dello SRI siano simili a quelle illustrate per lo SPI ([Eq. 1–Eq. 8](#)) e prevedano l'utilizzo della funzione gamma $g(x)$ come funzione di densità di probabilità per la serie delle portate medie mensili aggregate alle diverse scale temporali (TYP SA, 2013, Faergemann, 2012), in alcuni bacini potrebbe essere più appropriato utilizzare altre funzioni di probabilità, come ad esempio la log-normale o la Pearson Type III (e.g., Duan e Mei, 2014; Vicente-Serrano et al., 2012; Shukla e Wood, 2008).

Nell'ambito delle attività dell'EGWSD (TYP SA, 2013), le soglie di severità dello SRI sono state definite sulla base della probabilità di eccedere un osservato valore di portata secondo quanto riportato in [Tabella 3](#).

Tabella 3. Classificazione dello SRI.

Classificazione della severità	Probabilità dell'evento [%]	Probabilità cumulata	Valore dello SRI
Estremamente umido	5%	0 – 5	$SRI \geq 1.65$
Molto umido	10%	5 – 10	$1.65 > SRI \geq 1.28$
Moderatamente umido	20%	10 – 20	$1.28 > SRI \geq 0.84$
Vicino alla norma	50%	20 – 80	$0.84 > SRI > -0.84$
Siccità moderata	20%	80 – 90	$-0.84 \geq SRI > -1.28$
Siccità severa	10%	90 – 95	$-1.28 \geq SRI > -1.65$
Siccità estrema	5%	95 – 100	$SRI \leq -1.65$

5.3 SSPI

La disponibilità di risorsa nei corpi idrici è normalmente collegata alle precipitazioni. In alcune aree del territorio italiano, soggette a un clima più freddo, diventa rilevante per la disponibilità della risorsa idrica anche l'apporto fornito dalla precipitazione che cade in forma nevosa. L'acqua contenuta nel manto nevoso riduce nei mesi invernali le portate e le ricariche degli acquiferi, e di contro aumenta il deflusso (per la fusione delle nevi) nei mesi primaverili e all'inizio dell'estate. Un cambiamento in questo schema (dovuto, ad es., anche ai cambiamenti climatici) può ovviamente incidere sulla disponibilità della risorsa.

L'indicatore SSPI, che è simile (e complementare) agli indicatori SPI e SRI, è basato pertanto sulla valutazione della probabilità di osservare un certo valore giornaliero di equivalente in acqua della neve (lo SWE, definito in kg m^{-2}) su determinate scale temporali. La difficoltà nel calcolo di questo indicatore risiede nella stima dello SWE. Questo argomento è, tra l'altro, materia di discussione all'interno degli Osservatori, come nel caso del Distretto delle Alpi Orientali che ha analizzato il comportamento di diversi metodologie di stima dello SWE, anche al fine di ottenere un indicatore relativo allo stato del manto nevoso (cfr. [§ 4.2.1](#)).

Lo SSPI fornisce pertanto informazioni concernenti il volume di neve accumulato nel bacino, standardizzato rispetto alla climatologia, a un passo temporale tipicamente decennale e mensile. Valori minori uguali a -2 indicano che, statisticamente, l'accumulo nivale è notevolmente inferiore alla norma, mentre valori maggiori uguali a 2 indicano che l'accumulo è notevolmente superiore alla norma (Tabella 4). Questo indicatore deve essere analizzato in combinazione con lo SPI e con lo SRI per avere una fotografia completa della situazione di siccità.

Le modalità di calcolo dello SSPI sono simili a quelle già illustrate per lo SPI (Eq. 1–Eq. 8). Tuttavia, nell'ambito delle attività dell'EGWSD è stata proposta una modalità alternativa di calcolo del SSPI sviluppata dal *Finnish Meteorological Institute* (FMI) che utilizza le stime di SWE prodotte per l'intero emisfero Nord dal progetto *GlobSnow* dell'ESA. Il progetto prevede la produzione di stime dell'innevamento dell'emisfero Nord, espresso sia come estensione (SE) sia come equivalente in acqua SWE, basate su *remote sensing* e corrette in base a misure effettuate al suolo. Le mappe di SSPI prodotte con questa metodologia sono disponibili anche sul portale EDO.

Tabella 4. Classificazione dello SSPI.

Classificazione della severità	Probabilità dell'evento [%]	Probabilità cumulata	Valore dello SSPI
Notevolmente superiore alla norma	2.3%	0.977 – 1	SSPI \geq 2.00
Molto superiore alla norma	4.4%	0.933 – 0.977	1.50 \leq SSPI < 2.00
Superiore alla norma	9.2%	0.841 – 0.933	1.00 \leq SSPI < 1.50
Vicino alla norma	68.2%	0.159 – 0.841	$-1.00 <$ SSPI < 1.00
Inferiore alla norma	9.2%	0.067 – 0.159	$-1.50 <$ SSPI \leq -1.00
Molto inferiore alla norma	4.4%	0.023 – 0.067	$-2.00 <$ SSPI \leq -1.50
Notevolmente inferiore alla norma	2.3%	0 – 0.023	SSPI \leq -2.00

Secondo la metodologia sviluppata dal FMI, lo SSPI è calcolato come l'anomalia (normalizzata) delle condizioni correnti di SWE valutata rispetto alla media climatologica su lungo periodo delle condizioni di SWE.

La formulazione dello SSPI mediato su giorni k ($= 10$ o 30) relativo al giorno d dell'anno y , indicata con $SSPI_{y,d,k}$, è la seguente:

$$SSPI_{y,d,k} = \frac{SWE_{y,d,k} - SWE_{avg,d,k}}{SWE_{std,d,k}}, \quad (\text{Eq. 9})$$

dove $SWE_{y,d,k}$ è il valore dello SWE mediato su k giorni per il giorno d dell'anno y e $SWE_{avg,d,k}$ è la corrispondente media calcolata sull'intera serie disponibile compresa tra l'anno y_0 e l'anno y_1 :

$$SWE_{y,d,k} = \frac{1}{n} \sum_{i=d-(k-1)}^{n=k} SWE_{y,i} \quad (\text{Eq. 10})$$

$$SWE_{avg,d,k} = \frac{1}{y_1 - y_0} \sum_{i=y_0}^{y_1} SWE_{i,d,k} \quad (\text{Eq. 11})$$

avendo indicato con $SWE_{std,d,k}$ la corrispondente deviazione standard:

$$SWE_{std,d,k} = \sqrt{\frac{1}{(y_1 - y_0) - 1} \sum_{i=y_0}^{y_1} (SWE_{i,d,k} - SWE_{avg,d,k})^2}. \quad (\text{Eq. 12})$$

5.4 SPEI

Come presentato nel [paragrafo 5.1](#), lo SPI può essere considerato un indice dell'anomalia di precipitazione valutata su scale di aggregazione crescenti, da 1 fino a 24 mesi. Tuttavia, è riconosciuto come anche le temperature possano giocare un ruolo fondamentale nell'esacerbare condizioni siccitose. In particolare, temperature elevate e, di conseguenza, alti tassi di evapotraspirazione, possono influenzare in maniera significativa i processi di interazione suolo-atmosfera e quindi i meccanismi di formazione dei deflussi superficiali, nonché di infiltrazione e conseguente ricarica ai corpi idrici sotterranei. Al fine di considerare nella definizione di un indice di anomalia pluviometrica anche le temperature dell'aria e, indirettamente, i fenomeni di evapotraspirazione, si propone l'utilizzo dello SPEI (Vicente-Serrano et al., 2010; Begueria et al., 2014).

Lo SPEI considera come variabile meteorologica di interesse la differenza tra la precipitazione e l'evapotraspirazione di riferimento.

In queste Linee guida è proposto per il calcolo dell'evapotraspirazione potenziale (*ETP*) di riferimento il metodo di Thornthwaite (1948), che prende in considerazione la sola temperatura:

$$ETP = 16 \cdot K \cdot \left(\frac{10 \cdot T}{I}\right)^m \quad (\text{Eq. 13})$$

dove:

- T è la temperatura media mensile (in °C);
- I è l'indice annuo di calore, ottenuto sommando gli indici mensili di calore $i = (T/5)^{1.514}$;
- m è un coefficiente sperimentale che dipende dall'indice I secondo l'equazione $m = 6.75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7.71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1.79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0.492$;
- K è un coefficiente di correzione calcolato in funzione della latitudine e del mese in esame secondo l'equazione $K = \left(\frac{N}{12}\right) \cdot \left(\frac{NDM}{30}\right)$, in cui NDM è il numero di giorni del mese e N è il numero massimo di ore di sole, ossia $N = \left(\frac{24}{\pi}\right) \cdot \arccos(-\tan\varphi \cdot \tan\delta)$, in cui φ è la latitudine espressa in radianti, $\delta = 0.4093 \cdot \text{sen}\left(\frac{2\pi J}{365} - 1.405\right)$ è

la decimazione solare, anch'essa espressa in radianti, e J è il giorno medio del mese giuliano.

L'approccio di Thornthwaite ha il vantaggio di richiedere la sola variabile temperatura per la stima dell' ETP . Questo implica che variabili meteorologiche come la velocità del vento, l'umidità superficiale e la radiazione solare, che ugualmente condizionano i processi di evapotraspirazione, non sono prese in considerazione. Qualora siano invece disponibili queste variabili, si potrebbe pensare di adottare metodi più sofisticati per l' ETP . Questi metodi, come ad esempio quello di Penman-Monteith (Allen et al., 1998), permettono di ottenere una migliore stima dell' ETP e, conseguentemente, una migliore valutazione della siccità. Tuttavia, tali metodi sono maggiormente influenzati da errori di incertezza associati alle variabili meteorologiche utilizzate.

La variabile di interesse è dunque la grandezza:

$$D = P - ETP \quad (\text{Eq. 14})$$

dove P ed ETP sono la precipitazione cumulata mensile (in mm) e l'evapotraspirazione cumulata mensile di riferimento (in mm), rispettivamente. La grandezza D può quindi essere aggregata su diverse scale temporale, tipicamente (come per lo SPI) da 1 a 24 mesi, ottenendo quindi una serie storica mensile della grandezza D^k , dove k indica la scala temporale di aggregazione.

Su tale serie storica si calcola quindi la serie storica degli SPEI utilizzando una procedura analoga a quella già presentata per il calcolo dello SPI. Unica differenza sostanziale è costituita dal fatto che generalmente per il calcolo dello SPI si utilizza una distribuzione gamma, calcolando i parametri di *best fit* per ogni mese dell'anno (v. § 5.1). Nel caso dello SPEI la distribuzione gamma, essendo definita sul dominio $0 < x < +\infty$, non può essere utilizzata, poiché la variabile di interesse D^k può assumere anche valori negativi. Diversi autori (ad es., Vicente-Serrano et al., 2010; Begueria et al., 2014) hanno proposto una distribuzione Pearson-III per il *fit* della distribuzione di probabilità.

Da un punto di vista fisico, l'utilizzo dello SPEI permette di prendere in considerazione il fatto che sulla maggior parte del territorio italiano le precipitazioni che avvengono nei mesi estivi a causa delle alte temperature e quindi degli alti tassi di evapotraspirazione contribuiscono poco o nulla ai processi di infiltrazione al suolo e quindi alla ricarica degli acquiferi (in particolar modo quelli alluvionali). Per tale motivo lo SPEI può essere considerato come un indicatore dell'anomalia di ricarica agli acquiferi e come tale è proposto nelle presenti Linee guida.

Un confronto tra lo SPEI e lo SPI è riportato, a titolo di esempio, in [Figura 10](#). Il grafico in mostra gli andamenti dello SPI12 (linea verde), dello SPEI12 (linea rossa) e dello SPEI12 ottenuto considerando la medesima serie di precipitazioni ma con temperature mediamente superiori di 2 °C, mantenendo invariati i parametri di *best fit* (linea blu). Da questo confronto, si può notare come l'incremento di temperature (e il conseguente incremento dei fenomeni di evapotraspirazione) non è identificato dallo SPI12 (dal

momento che le precipitazioni sono rimaste invariate), ma è stato correttamente rappresentato dallo SPEI12 che registra valori mediamente più bassi.

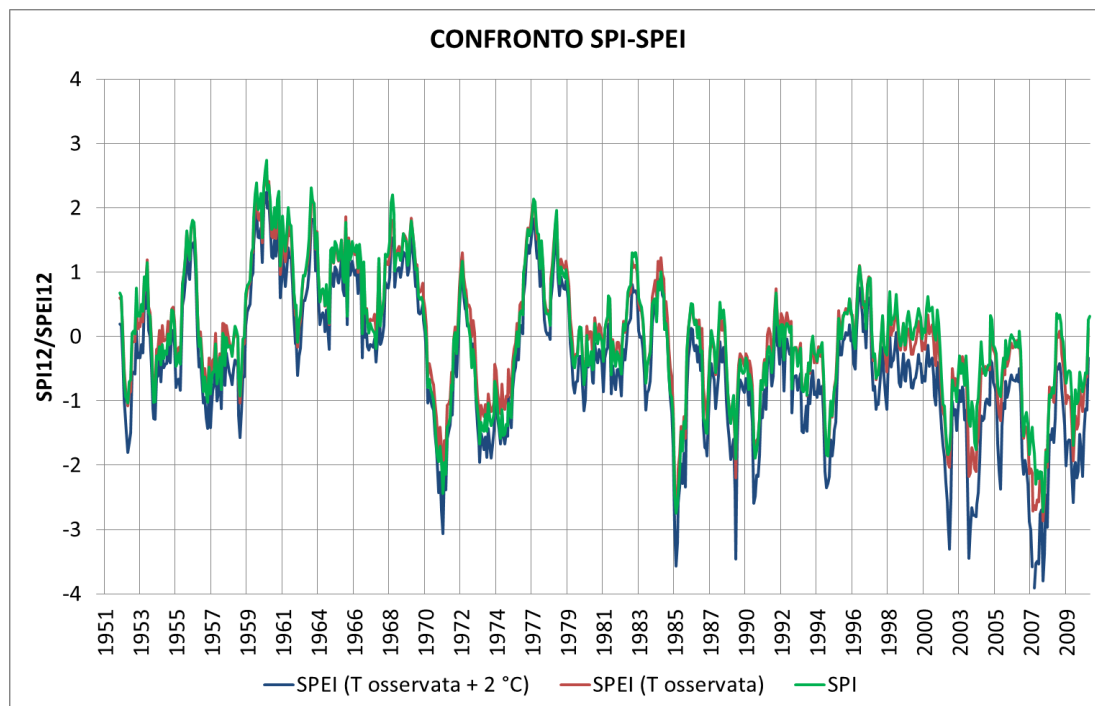


Figura 10. Esempio di andamento dello SPI12 (linea verde), SPEI12 (linea rossa) e SPEI12 calcolato considerando un incremento medio delle temperature pari a 2 °C.

5.5 WEI+

Al fine di descrivere il WEI+, è opportuno introdurre anche l'indicatore WEI (v. [Eurostat](#), [EEA](#)) da cui esso è derivato e che sostituisce, ma con il quale non deve essere confuso. Il WEI e il WEI+ costituiscono indicatori del livello di pressione che le attività umane esercitano sulla risorsa idrica naturale in un determinato territorio e in un determinato intervallo temporale.

Il WEI è definito, con riferimento al territorio nazionale, come il rapporto, espresso in percentuale, tra il prelievo idrico totale annuo (*annual total fresh water abstraction*) e la media di lungo periodo (LTAA–*long term annual average*) della risorsa idrica rinnovabile (*renewable fresh water resources*) disponibile annua:

$$WEI = \frac{\text{Prelievo idrico annuo}}{\text{Risorsa idrica rinnovabile annua media su lungo periodo}} \times 100 \text{ [\%]}. \quad (\text{Eq. 15})$$

Il prelievo a numeratore nell'[Eq. 15](#) include il prelievo da qualsiasi fonte di acqua dolce, sia temporaneo che permanente; sono inclusi anche l'estrazione e/o il drenaggio delle venute d'acque nelle miniere e negli scavi e la raccolta di acque piovane, i prelievi per il raffreddamento degli impianti e sono esclusi i prelievi per la produzione di energia elettrica. Generalmente, secondo le indicazioni di Eurostat, il periodo minimo preso in considerazione per il calcolo della media annuale di lungo termine (LTAA) è di 20 anni. Per questo indicatore la soglia del 20% costituisce il limite al di sopra della quale un

territorio inizia a essere sottoposto a stress idrico. Sopra il 40% lo stress idrico è molto grave e l'utilizzo della risorsa idrica non è sostenibile (Raskin et al., 1997; Alcamo et al., 2000). Un esempio di WEI a scala nazionale è riportato in [Figura 11](#).

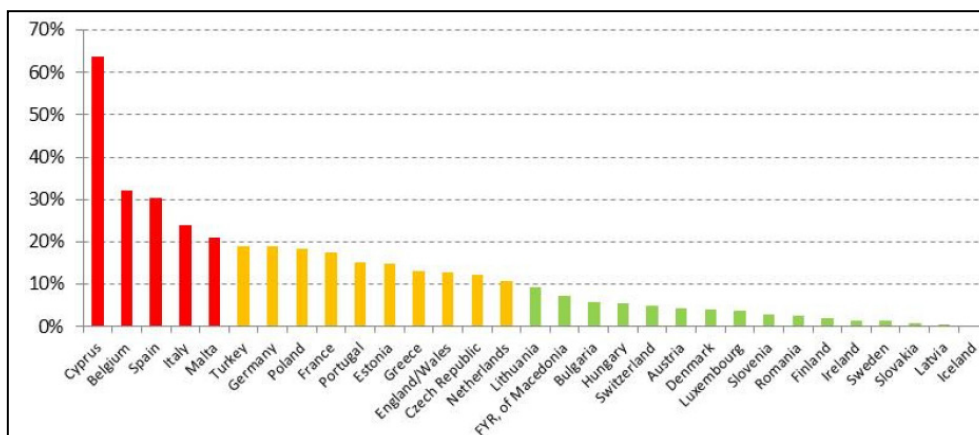


Figura 11. Esempio di WEI calcolato dall'EEA per paesi europei: in rosso sono indicati i paesi con WEI ≥ 20%, in giallo quelli con 10% ≤ WEI < 20% e in verde quelli con WEI < 10% (Fonte: EEA).

Con riferimento a un determinato territorio, indicato con P il volume di precipitazione che affluisce a esso e con E_{ta} il volume di evapotraspirazione reale, per “risorsa idrica rinnovabile” (che viene indicata con RWR , *renewable water resources*) si intende la differenza tra P ed E_{ta} a cui si aggiunge l'eventuale volume idrico proveniente dai territori limitrofi (sia superficialmente che attraverso flussi sotterranei) indicato con $ExIn$ (*external inflow*). Mediante tali valori sul lungo periodo LTAA (ad es., 20 anni), si ottiene il valore al denominatore nell'[Eq. 15](#), ossia:

$$RWR_{LTAA} = P_{LTAA} - E_{ta_{LTAA}} + ExIn_{LTAA}. \quad (\text{Eq. 16})$$

Il WEI poteva essere declinato relativamente alla risorsa superficiale, a quella sotterranea o alla risorsa totale. Questo valore, tuttavia, non teneva conto dell'acqua che veniva restituita dopo l'uso (ad es., le acque di raffreddamento) e l'essere calcolato su tutto il territorio nazionale e a scala annuale mascherava la variabilità temporale e spaziale della pressione sulla risorsa idrica. Per superare i limiti sopradescritti l'EGWSD, ha sviluppato una variante del WEI denominata WEI+ (Faergemann, 2012). Il nuovo indicatore è definito come il rapporto, valutato per un assegnato territorio e per un dato intervallo di tempo ed espresso anch'esso come percentuale, tra il consumo effettivo delle risorsa idrica e la risorsa idrica rinnovabile.

$$WEI+ = \frac{\text{Consumo della risorsa idrica}}{\text{Risorsa idrica rinnovabile}} = \frac{\text{Prelievo} - \text{Restituzione}}{\text{Risorsa idrica rinnovabile}} \times 100 \quad [\%]. \quad (\text{Eq. 17})$$

La prima sostanziale differenza rispetto al WEI è quella per cui viene considerato il “consumo” della risorsa idrica e non semplicemente il suo “prelievo”. In questo modo si tiene conto di quegli usi che prevedono la restituzione, come nel caso del raffreddamento e della produzione di energia elettrica. È ovvio che la restituzione deve avvenire all'interno del territorio rispetto al quale si calcola il WEI+ (ad es., il bacino idrografico) e in un

intervallo di tempo noto. Inoltre, la valutazione del consumo si riferisce non solo all'arco temporale di un anno, ma anche a intervalli temporali sub-annuali (mensile, stagionale, ecc.) e a territori di dimensione inferiore a quello nazionale (distretti, unità di gestione, bacini, sottobacini, ecc.). Quest'ultimo aspetto risulta fondamentale per una corretta valutazione delle situazioni di scarsità idrica, che potrebbero non essere evidenti a scala annuale e considerando porzioni di territorio troppo estese, e per far emergere la variabilità stagionale/intra-annuale e spaziale.

Un approccio stagionale (da 3 a 6 mesi, a seconda della climatologia e dell'uso della risorsa nel bacino) potrebbe essere adottato in prima istanza da quei Distretti Idrografici che non hanno, allo stato attuale, ancora maturato una robusta esperienza nel popolamento e nell'implementazione operativa di questo indicatore. A una prima fase di applicazione su base stagionale, dovrebbe poi seguire un'implementazione su base mensile.

La risorsa idrica rinnovabile RWR è calcolata con riferimento a un determinato intervallo temporale Δt come:

$$RWR_{\Delta t} = P_{\Delta t} - Eta_{\Delta t} + ExIn_{\Delta t} - \Delta S_{\Delta t}, \quad (\text{Eq. 18})$$

dove, oltre ai vari addendi già descritti in precedenza per l'[Eq. 16](#), viene sottratto il termine ΔS che rappresenta la variazione di volume immagazzinato nei laghi e negli invasi artificiali presenti nel territorio di riferimento. Tener conto della variazione di volume si rende necessario poiché nei territori dove la risorsa idrica prelevata da invasi, naturali e artificiali, è significativa, può verificarsi che per alcuni periodi dell'anno i prelievi siano maggiori della risorsa naturale comportando valori del WEI+ maggiori del 100%. Il sottrarre tale termine sposta volumi di risorsa idrica da un periodo dell'anno di surplus (ΔS positivo) a periodi di deficit (ΔS negativo) portando a una valutazione dell'indicatore più aderente alla realtà. Il termine $(P - Eta + ExIn)$ è anche indicato come risorsa idrica naturale (NWR , *natural water resources*).

Nel caso di bacini con significative alterazioni antropiche, l'[Eq. 18](#) assume l'espressione seguente:

$$RWR_{\Delta t} = Vuscente_{\Delta t} + (\text{Prelievo} - \text{Restituzione})_{\Delta t} - \Delta S_{art_{\Delta t}}, \quad (\text{Eq. 19})$$

dove $Vuscente$ è il volume osservato defluito dal territorio di riferimento, al quale viene aggiunto il termine (Prelievo – Restituzione) per ricostruire il volume naturale, e ΔS_{art} è la variazione (positiva o negativa) di volume immagazzinata negli invasi artificiali. Questi valori devono essere valutati rispetto all'intervallo di tempo Δt .

I termini del bilancio sono espressi in hm^3 .

Il WEI+ può essere presentato sotto forma di mappe e grafici (cfr. [Figura 12](#) e [Figura 13](#) vs. [Figura 14](#) e [Figura 15](#)) mediante i quali sia evidente l'informazione della variabilità spaziale e temporale, non solo inter-annuale ([Figura 12](#) e [Figura 14](#)) ma anche e

soprattutto mensile e stagionale (Figura 13 e Figura 15), della pressione delle attività umane sulla risorsa idrica.

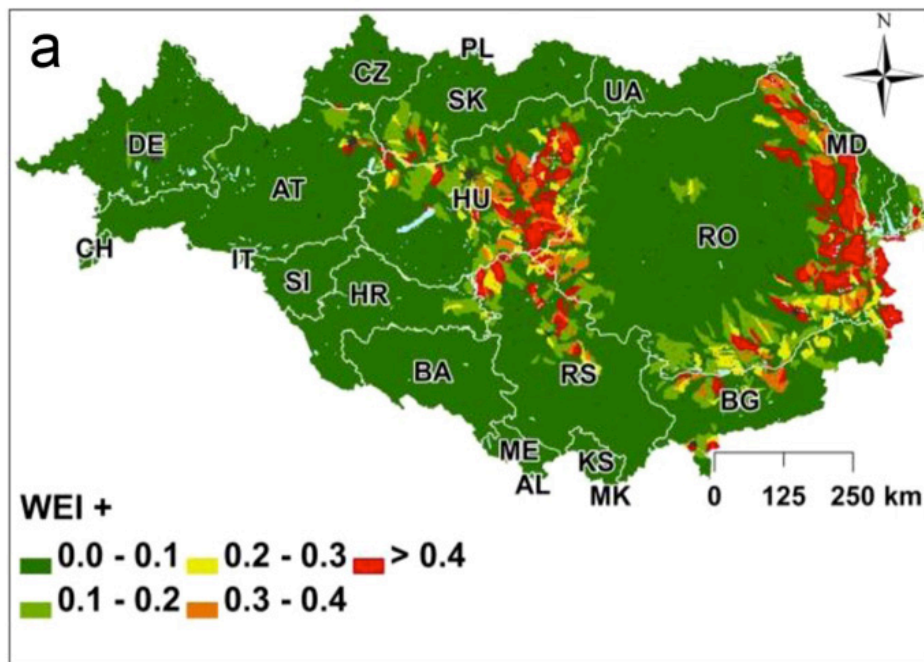


Figura 12. Esempio di mappa di WEI+ nel bacino del Danubio, calcolata sul periodo 1995–2004 (tratto da Karabulut et al., 2016).

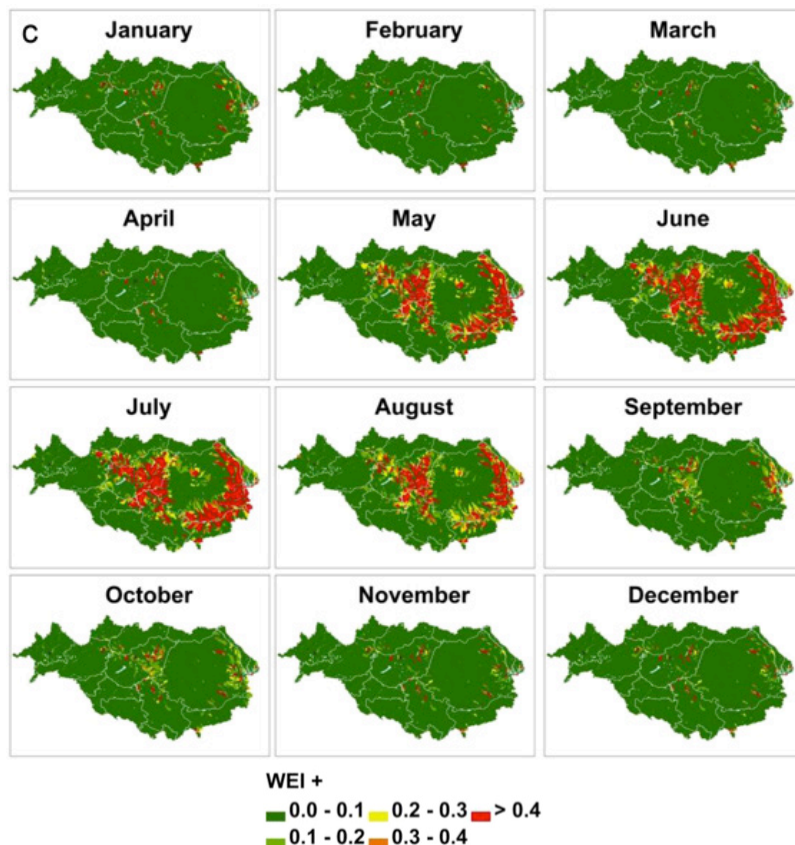


Figura 13. Esempio di mappe di WEI+ declinate a scala mensile nel bacino del Danubio, calcolate sul periodo 1995–2004 (tratto da Karabulut et al., 2016)

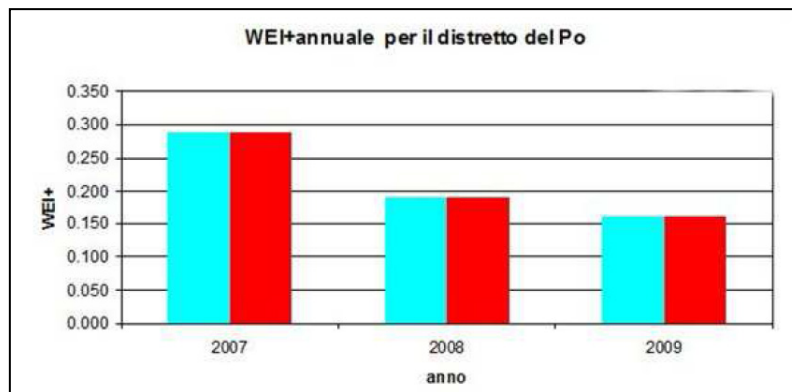


Figura 14. Esempio di grafico di WEI+ declinato a scala annuale nel bacino del Po⁵ (tratto dal [Piano stralcio del Bilancio Idrico del Distretto Idrografico Padano](#)).

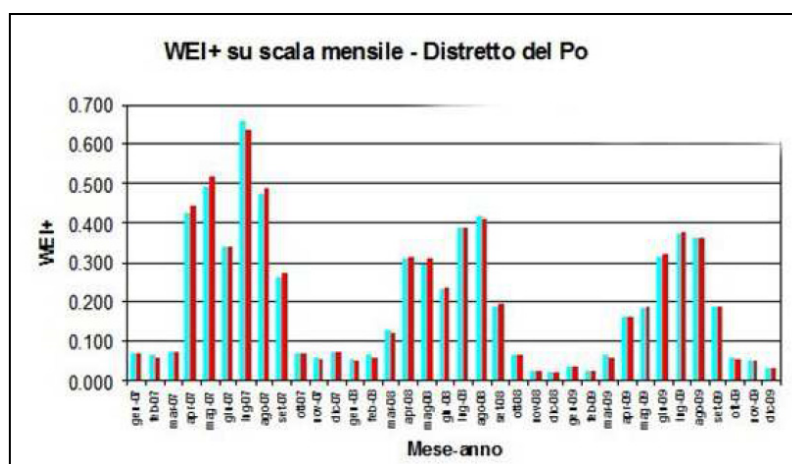


Figura 15. Esempio di grafico del WEI+ declinato a scala mensile nel bacino del Po⁵ (tratto dal [Piano stralcio del Bilancio Idrico del Distretto Idrografico Padano](#)).

In particolare, quanto riportato in [Figura 14](#) e [Figura 15](#) si riferisce al *testing* sul WEI+ fatto sul bacino del Po in supporto alle attività dell'EGWSD.

Passando dal WEI al WEI+, la definizione delle soglie costituisce un tema complesso non affrontato pienamente dall'EGWSD. Nelle more della definizione di soglie specifiche per il WEI+, a livello europeo (v. l'indicatore "[Use of freshwater resources](#)" dell'EEA) sono adottate le medesime soglie definite per il WEI, ossia una condizione di stress per valori superiori al 20% e una situazione di stress grave sopra il 40%. Classificazioni del WEI+ sono state definite anche nell'ambito di studi specifici. Karabulut et al. (2016) prevede per l'analisi a scala annuale e mensile del WEI+ sul bacino del Danubio le seguenti soglie:

- Assenza di stress per WEI+ < 10%
- Stress basso per 10% ≤ WEI+ < 20%
- Stress moderato per 20% ≤ WEI+ < 30%
- Scarsità idrica per 30% ≤ WEI+ ≤ 40%
- Scarsità idrica severa WEI+ > 40%

⁵ I colori rosso e blu riportati nei grafici fanno riferimento a due formulazioni lievemente diverse tra loro per il calcolo del WEI+, la cui attribuzione è ininfluente rispetto alle finalità del Piano stralcio del Bilancio Idrico del Distretto Idrografico Padano.

In Italia, nel [Piano stralcio del Bilancio Idrico del Distretto Idrografico Padano](#) è riportata la seguente classificazione di criticità utilizzata per il bacino dell'Adda sopralacuale per il WEI+ calcolato a scala mensile:

- Criticità assente o bassa per $WEI+ \leq 35\%$
- Criticità moderata per $35\% < WEI+ \leq 65\%$
- Criticità media per $65 < WEI+ \leq 80\%$
- Criticità elevata per $80 < WEI+ \leq 90\%$
- Criticità molto elevata per $WEI+ > 90\%$.

Al momento della stesura del documento dell'EGWSD (Faergemann, 2012), si era ritenuto di non considerare direttamente nella formulazione del WEI+ il deflusso ambientale (*environmental flow*) necessario per raggiungere e mantenere gli obiettivi di qualità previsti dalla [DQA](#), non esistendo all'epoca metodologie armonizzate nell'ambito europeo per la sua valutazione, ma di tenerne conto nella definizione di opportune soglie dell'indicatore.

La definizione di soglie per il WEI+ e la possibilità di tenere conto dell'*environmental flow* (integrato rispetto al periodo di riferimento di calcolo dell'indicatore stesso) devono essere oggetto di approfondimenti da parte del Comitato tecnico di coordinamento nazionale degli Osservatori permanenti per gli utilizzi idrici.

5.6 fAPAR

Come anticipato nel [Capitolo 2](#), la siccità impatta in modo rilevante sulla vegetazione e in particolare sulla capacità della chioma di vegetazione di intercettare la radiazione solare. Per questo motivo, il fAPAR, che misura la frazione dell'energia solare assorbita dalla vegetazione, si è dimostrato essere un buon indicatore per individuare e valutare gli impatti della siccità sulla vegetazione (Gobron et al., 2005, 2007).

Considerata la complessità richiesta per il calcolo di questo indicatore, non risulta pensabile che ciascuno degli Osservatori implementi una propria procedura. Pertanto, si suggerisce di adottare nelle valutazioni degli impatti della siccità sulla vegetazione [le mappe di fAPAR](#) già disponibili online e consultabili con frequenza decadale sul portale del [Copernicus Global Land Service](#). Dal sito, è inoltre possibile, previa [registrazione](#), scaricare le suddette mappe in formato HDF per successive elaborazioni.

Attualmente, le mappe Copernicus di fAPAR disponibili in modalità operativa sono quelle definite su un grigliato con maglia di 1 km x 1 km e sono relative al prodotto di versione 1.4 e 1.5 (Baret et al., 2013). Queste mappe sono disponibili a partire dal 1999. È anche disponibile sullo stesso grigliato a 1 km x 1 km e per lo stesso periodo la versione dimostrativa 2 (Verger et al., 2014). Inoltre, sul portale Copernicus è disponibile, sempre in modalità dimostrativa, una versione del fAPAR a maggiore risoluzione spaziale, su un grigliato con maglia di 300 m x 300 m, sebbene con copertura temporale minore (da gennaio 2014).

A partire dalle mappe di fAPAR è invece possibile costruire l'anomalia di fAPAR, di seguito indicata come $fAPAR_{anomaly}$, al fine di valutare la distribuzione spaziale e l'evoluzione (e la variazione) temporale su lunghi periodi dell'attività vegetativa.

Sia X_t il valore di fAPAR per la decade t , allora il corrispondente valore A_t di $fAPAR_{anomaly}$ è così ottenuto:

$$A_t = \frac{X_t - \bar{X}}{\delta}, \quad (\text{Eq. 20})$$

dove \bar{X} e δ sono rispettivamente la media sul lungo periodo di fAPAR e la deviazione standard calcolate per lo stessa decade t analizzata, utilizzando tutta la serie disponibile. Sarebbe preferibile che il calcolo del $fAPAR_{anomaly}$ avvenisse a livello di singolo punto del grigliato per non degradare il livello dell'informazione fornita. Se necessario poi a fini della valutazione, gli indicatori fAPAR e $fAPAR_{anomaly}$ possono essere aggregati su area di interesse (ad es., il bacino idrografico).

Il fAPAR assume i valori adimensionali tra 0 e 1, che sul portale Copernicus corrispondono ai colori nero e rosso, rispettivamente. Il valore 1 equivale al massimo di attività della vegetazione. Il $fAPAR_{anomaly}$, che è invece espresso in termini di unità di deviazione standard, è generalmente compreso tra -4 e $+4$.

Nell'interpretazione di questi indicatori, si deve soprattutto tener conto che la variazione della salute e della copertura della vegetazione mostrata potrebbe essere sia conseguenza di un deficit di precipitazione e di umidità del suolo, e quindi imputabile a eventi di siccità, sia dovuta ad altre cause (ad es., una variazione nella copertura dei suoli). Pertanto, il fAPAR e il $fAPAR_{anomaly}$ devono necessariamente essere valutati congiuntamente con altri indicatori di siccità (e.g., SPI) che sono in grado di fornire informazioni sul grado di deficit della precipitazione e/o del contenuto di umidità del suolo. Questo permette di poter imputare effettivamente all'evento di siccità in esame la variazione registrata nella vegetazione.

5.7 SAI

In molti Distretti Idrografici italiani, soprattutto dell'Italia Centrale e Meridionale, le sorgenti, alimentate perlopiù da acquiferi fratturati e captate all'emergenza, costituiscono una risorsa idrica ampiamente sfruttata, in particolar modo a scopo idropotabile. Tali sorgenti presentano un regime idrologico caratterizzato nella maggior parte dei casi da una fase di ricarica durante la quale le portate aumentano fino a raggiungere un picco di massima, seguito da una fase di recessione durante la quale le portate diminuiscono fino a un minimo. Tale andamento generale, determinato dal regime pluviometrico stagionale, può essere modulato da singoli episodi che determinano rapidi incrementi della portata su scale temporali tipicamente settimanali. In [Figura 16](#) è mostrato, a titolo di esempio, l'andamento della portata giornaliera della sorgente Lupa (Appennino Centrale, Regione Umbria).

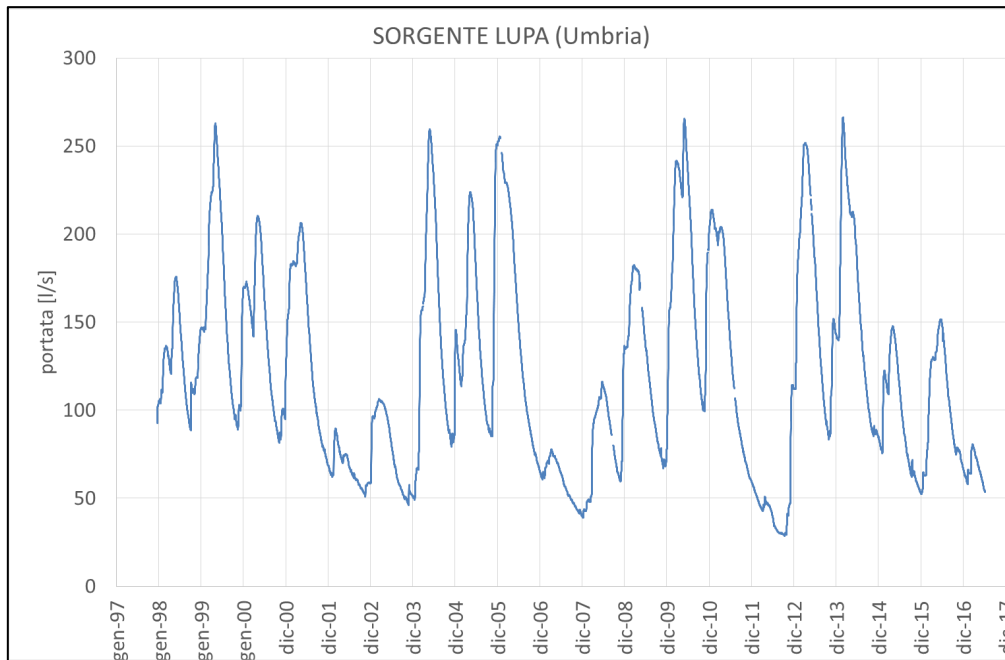


Figura 16. Andamento della portata giornaliera della sorgente Lupa, afferente al Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale, per il periodo gennaio 1997–dicembre 2017.

Dal punto di vista della severità degli episodi di scarsità idrica, l'indicatore fisico rappresentativo dello stato della risorsa, e quindi della capacità di soddisfacimento della domanda, è costituito dalle portate minime annuali. Condizioni di severità idrica puntuale si configurano nel momento in cui la sorgente non sia in grado di soddisfare la domanda di utilizzo prevista, indicata con D_Q .

Le portate minime annuali, e più in generale, la variabilità nel tempo delle portate sono determinate dalla ricarica per infiltrazione dal piano campagna sull'area di alimentazione. Alla determinazione della portata minima possono concorrere quindi diversi fattori: il regime pluviometrico, il regime termometrico, le caratteristiche del suolo e le caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero. Tuttavia, in prima istanza, informazioni sullo stato futuro della risorsa e quindi sulle possibili condizioni future di severità idrica puntuale, possono essere ricavate da un'analisi della correlazione tra il regime pluviometrico, rappresentato dallo SPI calcolato per una determinata scala di aggregazione e la variabilità nel tempo delle portate minime osservate, tenendo in considerazione il tempo di transito attraverso la zona non satura e attraverso la zona satura. In sostanza si vuole rispondere alla seguente domanda: quale scala di aggregazione delle precipitazioni e di quale mese "spiega" meglio la variabilità inter-annuale osservata della portata minima della sorgente in esame?

A tal fine, si propone la seguente metodologia (Romano et al., 2013) di analisi di una sorgente, illustrata mediante l'esempio della sorgente Lupa:

1. Si individua l'area di ricarica.

Nel caso in esame, si è considerata come area di ricarica l'area di protezione identificata dalla Regione Umbria e mostrata in [Figura 17](#).

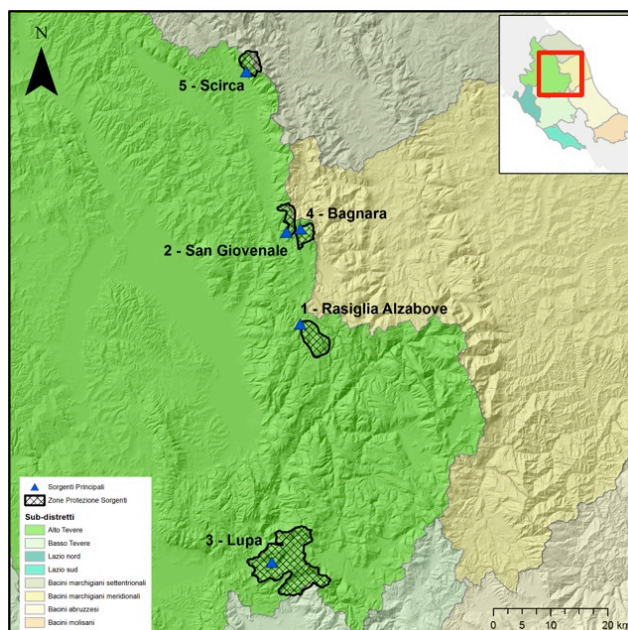


Figura 17. Area di ricarica per la sorgente Lupa.

2. Si individuano uno o più pluviometri di riferimento e si ricava la relativa serie di precipitazioni mensili. Nel caso in cui si siano individuati più pluviometri di riferimento, si identifica e si applica la metodologia di spazializzazione più adatta al fine di produrre un'unica serie temporale di precipitazioni mensili di riferimento. Nel caso in esame sono state utilizzate le mappe delle precipitazioni mensili relative al periodo 1951–2017 ottenute sull'intero Distretto dell'Appennino Centrale mediante interpolazione con la tecnica del *kriging* (e.g., Cressie, 1988; Romano et al., 2017) su un grigliato regolare di 5 x 5 km². I dati puntuali di precipitazione sono stati forniti dal [Centro Funzionale della Regione Lazio](#), dal [Servizio Idrografico della Regione Umbria](#), dal [Centro Funzionale della Regione Marche](#), dal [Servizio Idrografico e Mareografico della Regione Abruzzo](#), e dal [Settore Idrologico Regionale della Regione Toscana](#).
3. Si calcola per la serie di precipitazione mensile rappresentativa dell'area di ricarica della sorgente in esame lo SPI per ogni mese dell'anno e per le scale di aggregazione da 1 a 24 mesi, ottenendo così 24 serie temporali di SPI sul periodo in esame. Nel seguito indicheremo con $SPI_n(m_a)$ lo SPI calcolato per il mese m dell'anno a considerando una scala di aggregazione di n mesi.
4. Si calcola la serie storica di portate medie mensili della sorgente in esame. In tal modo viene effettuato uno *smoothing* delle portate eventualmente riconducibili a episodi di precipitazione di pochi giorni che possono determinare aumenti rapidi, ma effimeri della portata stessa.
5. Si individua la portata media mensile minima di ogni anno idrologico a , indicata con Q_a^{min} , secondo l'esempio riportato in [Figura 18](#).

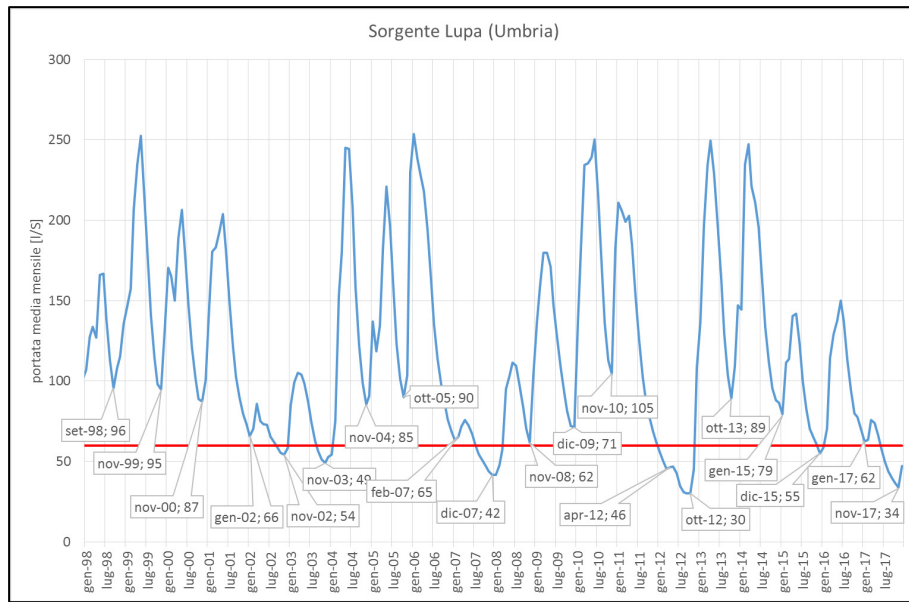


Figura 18. Esempio di individuazione della portata minima per ogni anno idrologico per la sorgente Lupa.

6. Fissato un mese di riferimento per le precipitazioni m e una scala di aggregazione n , si calcola il coefficiente di correlazione (r) tra la serie degli $SPI_n(m_a)$ e la serie dei minimi annuali Q_a^{min} .
7. Si costruisce la matrice di correlazione tra i valori di $SPI_n(m)$ e quelli di Q_a^{min} al variare di n (dove n va da 1 a 24 mesi) e del mese di riferimento m , secondo l'esempio presentato in [Figura 19](#) relativo alla sorgente Lupa. Nell'esempio riportato non sono mostrate le correlazioni con i mesi da ottobre a dicembre dal momento che, generalmente, i minimi di portata avvengono nei mesi autunnali ([Figura 18](#)).

	SPI1	SPI2	SPI3	SPI4	SPI5	SPI6	SPI7	SPI8	SPI9	SPI10	SPI11	SPI12	SPI13	SPI14	SPI15	SPI16	SPI17	SPI18	SPI19	SPI20	SPI21	SPI22	SPI23	SPI24
gennaio	0.34	0.54	0.62	0.78	0.75	0.67	0.58	0.60	0.60	0.61	0.61	0.57	0.55	0.60	0.49	0.48	0.45	0.47	0.49	0.52	0.50	0.46	0.42	0.39
febbraio	0.32	0.34	0.63	0.69	0.81	0.79	0.71	0.63	0.65	0.65	0.66	0.66	0.61	0.59	0.63	0.52	0.51	0.49	0.50	0.52	0.54	0.52	0.49	0.45
marzo	0.50	0.53	0.52	0.67	0.70	0.80	0.79	0.71	0.65	0.67	0.66	0.68	0.68	0.64	0.61	0.66	0.57	0.56	0.54	0.56	0.57	0.59	0.57	0.54
aprile	0.45	0.70	0.69	0.65	0.77	0.79	0.86	0.86	0.80	0.74	0.74	0.73	0.74	0.75	0.71	0.68	0.73	0.64	0.62	0.60	0.61	0.62	0.64	0.61
maggio	-0.01	0.29	0.55	0.53	0.52	0.71	0.77	0.85	0.86	0.80	0.75	0.75	0.75	0.76	0.77	0.73	0.70	0.74	0.65	0.63	0.61	0.62	0.63	0.65
giugno	-0.02	-0.03	0.25	0.46	0.47	0.48	0.66	0.74	0.82	0.83	0.78	0.72	0.73	0.72	0.74	0.75	0.70	0.67	0.72	0.64	0.63	0.61	0.62	0.62
luglio	0.39	0.22	0.15	0.37	0.53	0.51	0.51	0.69	0.75	0.82	0.83	0.78	0.74	0.74	0.73	0.75	0.75	0.71	0.67	0.72	0.64	0.63	0.61	0.62
agosto	-0.12	0.16	0.11	0.09	0.27	0.45	0.44	0.46	0.65	0.72	0.81	0.80	0.76	0.72	0.73	0.72	0.73	0.73	0.69	0.65	0.70	0.61	0.60	0.59
settembre	0.31	0.04	0.25	0.23	0.19	0.33	0.50	0.48	0.50	0.68	0.74	0.81	0.81	0.77	0.74	0.75	0.74	0.75	0.75	0.71	0.68	0.72	0.63	0.62

Figura 19. Esempio di matrice di correlazione $SPI_n(m) - Q_a^{min}$ per la sorgente Lupa.

Nell'esempio in [Figura 19](#) il massimo assoluto del coefficiente di correlazione si ottiene per l'indice SPI_9 calcolato nel mese di maggio ($r = 0.86$). Ciò implica che la maggior parte della variabilità inter-annuale della portata minima è spiegata dalle precipitazioni cumulate sul periodo settembre–maggio (SPI_9). Se, viceversa, si vuole effettuare l'analisi nel mese di gennaio, il massimo di correlazione con le portate minime è spiegata dalle precipitazioni cumulate sul periodo ottobre–gennaio (SPI_4 con $r = 0.78$).

8. Si calcola la retta di regressione per le coppie di punti $SPI_n(m) - Q_a^{min}$ che presentano massima correlazione e il p -value associato, secondo l'esempio riportato in [Figura 20](#) relativo alla sorgente Lupa. Nell'esempio in [Figura 20](#) l'incertezza è stata calcolata come deviazione standard dei residui. La linea rossa rappresenta la portata richiesta nella stagione estiva (D_a) secondo il Piano Regolatore Regionale degli Acquedotti (PRRA) 2007 della Regione Umbria.

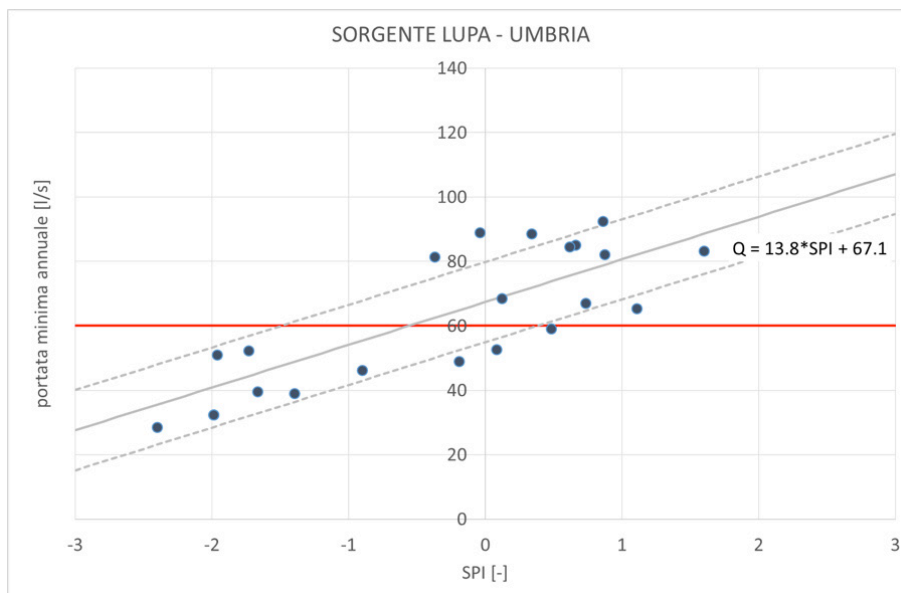


Figura 20. Scatter plot delle coppia ($SPI_n(m)$, Q_a^{min}) che prestano la massima correlazione, con indicazione della retta di regressione e della portata D_a richiesta nella stagione estiva.

9. Si considera la retta di regressione calcolata al punto #8 e il valore di $SPI_n(m)$ dell'anno corrente (nel caso in esame il valore di SPI_9 calcolato nel mese di maggio). Sulla base dei coefficienti della retta di regressione si calcola la portata minima prevista per l'anno corrente, indicata con $Q_{forecast}^{min}$. Si calcola l'indice SAI come lo scostamento percentuale della domanda D_a rispetto alla portata minima prevista $Q_{forecast}^{min}$, valutando la severità idrica puntuale per l'anno idrologico corrente secondo quanto riportato in [Tabella 5](#).

Tabella 5. Classificazione della severità idrica puntuale in funzione del valore espresso dall'indicatore SAI.

$SAI = D_a / Q_{forecast}^{min}$	CLASSIFICAZIONE DI SEVERITÀ
$SAI \leq 1$	Assenza di condizioni di severità idrica puntuale
$1 < SAI \leq 1.25$	Bassa
$1.25 < SAI \leq 1.66$	Media
$SAI > 1.66$	Elevata

6 Bibliografia

- Abramowitz, M., Stegun, I.A. (eds.), 1965. Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables. Dover Publications, Inc., New York, New York, 1046 pp.
- Alcamo, J., Henrich, T., Rosch, T., 2000. World Water in 2025 – Global modelling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st Century. Report A0002, Centre for Environmental System Research, University of Kassel, Germany.
- Allen, R.G., Pereira, R.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Roma, Italy, 300 pp.
- Barbera, S., Zaccagnino, M., Mariani, S., Lastoria, B., Braca, G., Bussettini, M., Casaioli, C., Marsico, L., Rotundo, R., Pavan, V., Ricciardi, G., Zenoni, E., Cicogna, A., Micheletti, S., Cazzuli, O., Di Priolo, S., Ranci, M., Rondanini, C., Bianco, G., Egiatti, G., Montanini, P., Saccardo, I., Campione, E., Pupillo, S., Iocca, F., Lazzeri, M., Tedeschini, M., Marzano, V., Schena, P., Licciardello, A., Manzella, F., Brunier, F., Ratto, S., 2017. Linee guida per il controllo di validità dei dati idro-meteorologici. ISPRA – Manuali e Linee Guida 156/2017, Roma. ISBN: 978-88-448-0832-7. Disponibile online in ISPRA all'indirizzo: <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/manuali-e-linee-guida/linee-guida-per-il-controllo-di-validita-dei-dati-idro-meteorologici>.
- Baret, F., Weiss, M., Lacaze, R., Camacho, F., Makhmara, H., Pacholczyk, P., Smets, B., 2013. GEOV1: LAI, fAPAR Essential Climate Variables and FCover global times series capitalizing over existing products. Part 1: Principles of development and production. *Remote Sensing of Environment*, **137**, 299–309.
- Beguera, S., Vicente-Serrano, S.M., Reig, F., Latorre, B., 2014. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*, **34**, 3001– 3023. DOI: 10.1002/joc.3887.
- Braca, G., Bussettini, M., Ducci D., Lastoria, B., Mariani, S., 2018. Evaluation of national and regional groundwater resources under climate change scenarios using a GIS-based water budget procedure. Comunicazione alla XVIII Giornata Mondiale dell'Acqua, Convegno: “La previsione idrogeologica sulla risorsa idrica”, 22 marzo 2018, Accademia dei Lincei, Roma, Italia, *in stampa*.
- Braca, G., 2017. La disponibilità della risorsa idrica naturale e suoi trend. In “3°rapporto generale sulle acque: Obiettivo 2030”, Utilitatis (Ed.), 198 pp. ISBN: 978-88-6121-009-7.
- Braca, G., Bussettini, Lastoria, B., Mariani, S., 2013. Linee guida per l'analisi e l'elaborazione statistica di base delle serie storiche di dati idrologici. ISPRA – Manuali

e Linee Guida 84/2013, Roma. ISBN: 978-88-448-0584-5. Disponibile online in ISPRA all'indirizzo: <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/manuali-e-linee-guida/linee-guida-per-lanalisi-e-l-elaborazione-statistica-di-base-delle-serie-storiche-di-dati-idrologici>.

- Cressie, N., 1988. Spatial prediction and ordinary kriging. *Mathematical Geology*, **20**, 405–421.
- Duan, K., Mei, Y., 2014. Comparison of Meteorological, Hydrological and Agricultural Drought Responses to Climate Change and Uncertainty Assessment. *Water Resource Management*, **28**, 5039–5054. DOI 10.1007/s11269-014-0789-6.
- Edwards, D.C., McKee, T.B., 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Rep.* 97–2, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 155 pp.
- Faergemann, H., 2012. Update on water scarcity and droughts indicator development, May 2012, presented at the Water Director's Meeting, 4–5 June 2012, Denmark. Disponibile su CIRCABC della Commissione Europea all'indirizzo: https://circabc.europa.eu/sd/d/4d22ad88-707e-4856-af63-253353c7eed8/1_Update_on_Water_Scarcity_and_Droughts_indicator_development_May_2012.doc.
- Gobron, N., Pinty, B., Mélin, F., Taberner, M., Verstraete, M.M., Robustelli, M., Widlowski, J.-L., 2007. Evaluation of the MERIS/ENVISAT fAPAR Product. *Advances in Space Research*, **39**, 105–115.
- Gobron, N., Pinty, B., Mélin, F., Taberner, M., Verstraete, M.M., Belward, A., Lavergne, T., Widlowski, J.-L., 2005. The state vegetation in Europe following the 2003 drought. *International Journal Remote Sensing Letters*, **26(9)**, 2013–2020.
- Gobron, N., Pinty, B., Verstraete, M.M., Widlowski, J.-L., 2000. Advanced Vegetation Indices Optimized for Up-Coming Sensors: Design, Performance and Applications. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **38**, 2489–2505.
- Karabulut, A., Egoh, B.N., Lanzanova, D., Grizzetti, B., Bidoglio, G., Pagliero, L., Bouraoui, F., Aloe, A., Reynaud, A., Maes, J., Vandecasteele, I., Mubareka, S., 2016. Mapping water provisioning services to support the ecosystem–water–food–energy nexus in the Danube river basin. *Ecosystem Services*, **17**, 278–292.
- Jonas, T., Marty, C., Magnusson, J., 2009. Estimating the snow water equivalent from snow depth measurements in the Swiss Alps. *Journal of Hydrology*, **378**, 161–167.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, January 17–23, 1993, Anaheim CA, pp. 179-186.
- Panofsky, H.A., Brier, G.W., 1958: Some applications of statistics to meteorology. Pennsylvania State University, University Park, 224 pp.

- Pistocchi, A., 2016. Simple estimation of snow density in an Alpine region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, **6**, 82–89.
- Poljanšek, K., Marin Ferrer, M., De Groeve, T., Clark, I. (Eds.), 2017. Science for disaster risk management 2017: knowing better and losing less. EUR 28304 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017. ISBN: 978-92-79-60678-6, DOI:10.2788/688605, JRC102482.
- Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T., Flannery, B.P., 2007. Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing, Third Edition, Cambridge University Press, 1256 pp. ISBN-10: 0521880688.
- Raskin, P., Gleick, P.H., Kirshen, P., Pontius, R.G. Jr, Strzepek, K., 1997. Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world. Stockholm Environmental Institute, Sweden. Document prepared for UN Commission for Sustainable Development 5th Session 1997.
- Rinaldi, M., Belletti, B., Comiti, F., Nardi, L., Mao, L., Bussetini, M., 2016a. Sistema di rilevamento e classificazione delle Unità Morfologiche dei corsi d'acqua (SUM), Versione aggiornata 2016. ISPRA – Manuali e Linee Guida 132/2016. Roma. ISBN: 978-88-448-0757-3. Disponibile in ISPRA all'indirizzo: <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/manuali-e-linee-guida/sistema-di-rilevamento-e-classificazione-delle-unita-morfologiche-dei-corsi-d2019acqua-sum-versione-aggiornata-2016>.
- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., Bussetini, M., 2016b. IDRAIM – Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua, Versione aggiornata 2016. ISPRA – Manuali e Linee Guida 131/2016. Roma. ISBN: 978-88-448-0756-6. Disponibile in ISPRA all'indirizzo: <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/manuali-e-linee-guida/idraim-sistema-di-valutazione-idromorfologica-analisi-e-monitoraggio-dei-corsi-d2019acqua-versione-aggiornata-2016>.
- Romano, E., Del Bon, A., Petrangeli, A.B., Preziosi, E., 2013. Generating synthetic time series of springs discharge in relation to standardized precipitation indices. Case study in Central Italy. *Journal of Hydrology*, **507**, 86–99. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.10.020.
- Romano, E., Guyennon, N., Petrangeli, A.B., 2017. Caratterizzazione climatica del regime pluviometrico nell'area del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale nel periodo 1951–2017. Report Tecnico. Disponibile all'indirizzo: https://www.researchgate.net/publication/321289526_Climate_analysis_of_the_precipitation_regime_in_the_Hydrographyc_District_of_the_Central_Appennine_Central_Italy_1951-2017_in_Italian.
- Schmidt, G., Benítez, J.J., Benítez, C., Seiz-Puyuelo, R., Hernández-Torres, J.M., EGWSD, 2012. Working definitions of Water scarcity and Drought. Version 4.0. European Commission Document. Disponibile online su CIRCABC all'indirizzo:

https://circabc.europa.eu/sd/a/02a234f7-ac60-4f81-bd8d-a3a0973e77d1/55171-Drought-WS_Definitions_V4-27Abril2012.doc.

- Shafer, B.A., Dezman, L.E., 1982. Development of a surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in the snowpack runoff areas. Proceedings of 1982 Western Snow Conference, Reno, Nevada, April.
- Shukla, S., Wood, A.W., 2008. Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical Research Letters*, **35**, L02405. DOI: 10.1029/2007GL032487.
- Sturm, M., Taras, B., Liston, G.E., Derksen, C., Jonas, T., Lea, J., 2010. Estimating Snow Water Equivalent Using Snow Depth Data and Climate Classes. *Journal of Hydrometeorology*, **11**, 1380–1394. DOI: 10.1175/2010JHM1202.1.
- Thornthwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, **38(1)**, 55–94. DOI:10.2307/210739.
- TYPSA, 2013. Service contract for the support to the follow-up of the Communication on Water scarcity and Droughts. Water Scarcity&Drought Indicators' Fact Sheets.
- Vicente-Serrano, S.M., López-Moreno, J.I., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Azorin-Molina, C., Morán-Tejeda, E., 2012. Accurate Computation of a Streamflow Drought Index. *Journal of Hydrologic Engineering*, **17(2)**, 318–332. DOI: 10.1061/(asce)he.1943-5584.0000433.
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I., 2010. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *J. Climate*, **23**, 1696–1718.
- Veza, P., Zanin, A., Parasiewicz, P., 2017. Manuale tecnico-operativo per la modellazione e la valutazione dell'integrità dell'habitat fluviale. ISPRA – Manuali e Linee Guida 154/2017. Roma. ISBN: 978-88-448-0827-3. Disponibile in ISPRA all'indirizzo: <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/manuali-e-linee-guida/manuale-tecnico-operativo-per-la-modellazione-e-la-valutazione-dell2019integrita-dell2019habitat-fluviale>.
- Verger, A., Baret, F., Weiss, M., 2014. Near real-time vegetation monitoring at global scale. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, **7**, 3473–3481.
- Vogt, J.V., Barbosa P., Hofer B., Magni D., De Jager A., Singleton A., Horion S., Sepulcre G., Micale F., Sokolova E., Calcagni L., Marioni M., Antofie T.E., 2011. Developing a European Drought Observatory for Monitoring, Assessing and Forecasting Droughts across the European Continent. In AGU Fall Meeting Abstracts 1, NH24A-07.
- Wilhere, G.F., 2002. Adaptive Management in Habitat Conservation Plans. *Conservation Biology*, **16(1)**, 20–29.

- Wilhite, D.A., 2000. "Drought as a natural hazard: concepts and definitions" in Drought: A Global Assessment, Volume I, D.A. Wilhite (ed.). Routledge, London, pp. 3–18.
- World Meteorological Organization, 2012. Standardized Precipitation Index User Guide (M. Svoboda, M., Hayes, M., Wood, D.). WMO-No. 1090, Geneva.
- World Meteorological Organization, 2006. Drought monitoring and early warning: concepts, progress and future challenges. WMO-No. 1006, Geneva.
- World Meteorological Organization, 1966. Some methods of climatological analysis (H.C.S. Thom). WMO-No. 199. Technical Note No. 81, Geneva.
- Yevjevich, V., 1967. An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts, Hydrology Paper No. 23, Colorado State University, Fort Collins, CO.

