



Autorità di Bacino
Distrettuale del Fiume Po



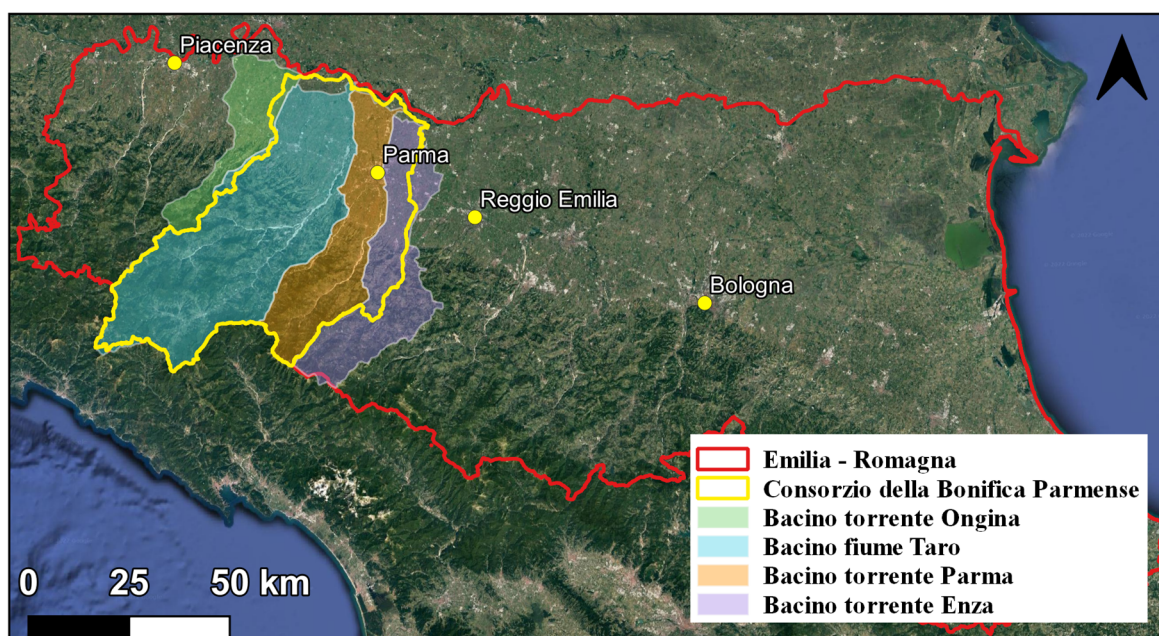
UNIVERSITÀ
DI PARMA



Accordo di collaborazione ex art. 15, L. 241/1990 per
definire il primo Piano di Gestione delle Siccità -
Siccidrometro - nel comprensorio del Consorzio di
Bonifica Parmense

**Azione VI - Produzione di linee guida di valenza
distrettuale**

*Linee guida per la realizzazione di siccidrometri nel
distretto del fiume Po*



Gruppo di lavoro:

Dott.ssa Fernanda Moroni, Ing. Marco Gardella, Dott.ssa Chiara Montecorboli
(AdBPo)

Prof.ssa Ing. Maria Giovanna Tanda, Dott. Ing. Marco D'Oria, Ing. Federica
Ercoli e Ing. Andrea Sarzi Maddidini (UNIPR)

P.A. Luigi Arduini, Ing. Nicola Mammi e Dott. Jacopo Lauri (CdBP)

Parma, febbraio 2022 (Agg. marzo 2023)

Accordo di collaborazione ex art. 15, L. 241/1990 per definire il primo Piano di Gestione delle Siccità – Siccidrometro - nel comprensorio del Consorzio di Bonifica Parmense

Azione VI – Produzione di linee guida di valenza distrettuale

Linee guida per la realizzazione di siccidrometri nel distretto del fiume Po

Si ringrazia l'ing. Claudia Vezzani per aver strutturato e dato avvio al Progetto SiccIDROMETRO.

Sommario

1	Premessa	2
2	Inquadramento normativo.....	6
2.1	Attività Europea in merito al monitoraggio della risorsa idrica e alla valutazione della siccità e della scarsità idrica (ISPRA, 2018)	6
2.2	Attività in Italia di monitoraggio meteo-idrologico.....	7
2.3	Attività nazionali e strumenti finalizzati al monitoraggio della risorsa idrica e alla valutazione della siccità e della scarsità idrica (ISPRA, 2018)	9
2.4	Attività nel Distretto idrografico Padano (ISPRA, 2018).....	11
3	Principi metodologici	13
3.1	Inquadramento territoriale e caratteristiche del sistema	13
3.2	Inquadramento climatico e riserve idriche	15
3.2.1	Analisi dei dati di precipitazione e temperatura	15
3.2.2	Analisi dei dati di portata e livello idrometrico nei corsi d'acqua.....	17
3.2.3	Analisi dei dati di livello piezometrico.....	18
3.2.4	Indici di siccità.....	19
3.3	Richiesta idrica e disponibilità	31
3.3.1	Fabbisogni irrigui a scala di comprensorio irriguo	31
3.3.2	Disponibilità idriche a scala di comprensorio irriguo.....	33
3.3.3	Stima dei fabbisogni non soddisfatti.....	35
3.4	Criticità, impatti e azioni	37
3.4.1	Criticità storiche e impatti riscontrati	37
3.4.2	Soglie di criticità, potenziali impatti e possibili azioni di mitigazione.....	38
3.4.3	Tabelle Parametro-Impatto-Azione (PIA)	50
4	Stesura del manuale operativo	59
	Indice figure.....	61
	Indice tabelle	62
	Bibliografia.....	64

1 Premessa

La siccità è un fenomeno determinato da una temporanea riduzione o mancanza di disponibilità idrica rispetto alle condizioni medie in un determinato luogo e in un determinato periodo (ISPRA, 2018). Essa è generata soprattutto dalla scarsità delle precipitazioni su un arco di tempo esteso, ma anche da altri fattori quali l'alta temperatura, quindi l'evapotraspirazione, da venti forti che spirano masse d'aria secche anziché umide, da una minore copertura nuvolosa, scarse portate nelle riserve idriche, bassi valori di umidità relativa nell'aria e un basso contenuto nivale, che sciogliendosi costituirebbe una importante fonte idrica.

Una classificazione delle siccità, comunemente accettata (ISPRA, 2018), le suddivide in:

- **siccità meteorologica:** indica un periodo temporale in cui le piogge rilasciano al suolo un quantitativo d'acqua inferiore alla media;
- **siccità idrologica:** si ha quando le riserve d'acqua (corsi d'acqua, laghi, falde acquifere, bacini artificiali, ecc.) si trovano al di sotto della media;
- **siccità agricola:** si verifica quando l'acqua disponibile per le coltivazioni è inferiore a quella media richiesta;
- **siccità socio-economica:** si presenta quando la richiesta idrica eccede l'offerta.

Come riportato nel Piano del Bilancio Idrico per il Distretto del fiume Po - Allegato 3 alla Relazione Generale (Piano per la gestione della siccità e Direttiva Magre, AdBPo, 2016) tali fenomeni, con riferimento al bacino del Po, possono condurre a rilevanti conseguenze e danni ambientali (Tabella 1), economici (Tabella 2) e sociali (Tabella 3).

Tabella 1-Elenco dei possibili impatti ambientali.

IMPATTI AMBIENTALI
Danni alle piante
Riduzione delle aree umide
Impoverimento della biodiversità
Peggioramento della qualità dell'acqua (incremento concentrazioni inquinanti)
Mancato rispetto del DMV
Impatti sul delta Po (intrusione del cuneo salino, in seguito alla carenza di acque dolci rispetto a quelle marine)
Riduzione dei livelli nei laghi e corsi d'acqua
Incremento di incendi boschivi
Impoverimento delle falde che possono attivare il fenomeno di subsidenza
Riduzione delle alimentazioni sorgive
Erosione del suolo
Desertificazione (graduale trasformazione in deserto di aree a causa di prolungati periodi di siccità e di un incontrollato sfruttamento del terreno a fini agricoli, non rendendole urbanizzabili né adatte all'attività agricola)

Tabella 2 - Elenco dei possibili impatti economici.

IMPATTI ECONOMICI	
IMPATTI AGRICOLI	Danni alla qualità delle colture
	Perdita di raccolti agricoli
	Produttività ridotta delle colture
	Infestazioni da parte di insetti: viene favorita la deposizione di uova e creazione di habitat per alcuni tipi di insetti (es. cimice asiatica)
	Malattie delle piante
	Danni alle colture da parte della fauna selvatica
IMPATTI IN ALLEVAMENTO	Ridotta produttività dei pascoli
	Chiusura o limitazione nell'uso dei pascoli pubblici
	Mancanza o eccessivo costo dell'acqua e cibo per il bestiame
	Alta mortalità del bestiame
	Disturbi al ciclo produttivo del bestiame
	Morte e malnutrizione del bestiame
IMPATTI FAUNA ITTICA	Danni all'habitat dei pesci
	Perdita di specie ittiche a causa della riduzione del DMV
	Morte e malnutrizione della fauna ittica
	Impedimento spostamento per i pesci
ALTRI IMPATTI	Riduzione delle entrate per gli agricoltori e gli altri attori direttamente coinvolti
	Fallimento di aziende agricole
	Mancata produzione di energia idroelettrica
	Disoccupazione nei settori danneggiati dalle siccità
	Danni all'azienda turistica
	Aumento dei prezzi di prodotti agricoli
	Perdite legate alla limitata navigabilità
	Peggioramento della qualità dell'acqua conseguente all'abbattimento del potere diluente
	Diminuzione dell'ossigeno nelle acque dovuto al loro aumento di temperatura
	Aumento dell'utilizzo delle riserve di acque sotterranee
	Diminuzione della quantità di acqua destinata alle industrie con relativi danni economici

Tabella 3- Elenco dei possibili impatti sociali.

IMPATTI SOCIALI
Stress fisico e mentale
Problemi di salute relativi alla mancanza d'acqua
Diminuzione temporanea della qualità della vita
Insoddisfazione politica
Tensioni sociali
Disidratazione nella popolazione
Migrazioni

Alcune strategie da considerare, per prevenire o minimizzare tali impatti, possono essere rappresentate da:

- monitoraggio e gestione della siccità con l'aiuto di opportuni indicatori statistici;
- raccolta e riutilizzo dell'acqua piovana;
- depurazione dell'acqua già utilizzata per consentirne un suo riutilizzo;
- costruzione di acquedotti per servire zone soggette a periodi di siccità;
- restrizioni nell'uso dell'acqua;
- mantenimento del livello dell'acqua nei canali mediante uso di paratoie e turnazione dell'irrigazione;
- ricollocazione della fauna ittica in aree con presenza di acqua nei periodi estivi;
- monitoraggio frequente della qualità delle acque nel corso della stagione irrigua;
- informazione precoce ai consorziati della criticità della stagione imminente;
- dichiarazione dello stato di emergenza idrica con richiesta alla Regione per:
 - individuare procedure accelerate e semplificate per realizzare nuovi pozzi;
 - l'autorizzazione all'uso di pozzi privati per l'alimentazione dei canali consortili;
 - l'autorizzazione ai prelievi in deroga al DMV;
 - la conservazione della risorsa negli invasi (quando possibile).

La conoscenza delle caratteristiche di tali eventi estremi e la capacità di prevederli, ricopre un ruolo rilevante nella gestione idrica al fine di soddisfare i fabbisogni degli utenti e minimizzare gli impatti. È stato stimato che tali fenomeni saranno in crescita nell'area del Mediterraneo (ISPRA, 2018); si evince quindi l'importanza di definire un piano di gestione, interventi di mitigazione e politiche di prevenzione.

Il presente documento è stato sviluppato nell'ambito dell'accordo di collaborazione (ex art. 15, L. 241/1990) tra l'Autorità di Bacino Distrettuale del fiume Po (AdBPo) e l'Università di Parma nell'interesse del Dipartimento di Ingegneria e Architettura. Esso si pone l'obiettivo di definire le linee guida per la definizione di Piani di Gestione delle Siccità (siccIDROMETRI) a scala sub-distrettuale ovvero con riferimento ai comprensori irrigui consortili agenti nel Distretto idrografico padano, nel quadro normativo vigente.

Il Piano di Gestione delle Siccità ha l'obiettivo di proporre un approccio condiviso per l'accertamento e la gestione degli eventi di siccità e carenza idrica. Lo strumento è quello di individuare preventivamente specifici parametri (climatologici e/o idrologici) da monitorare e, al contempo, definire le relative "soglie di criticità" e i conseguenti impatti al loro raggiungimento. Ciò consente di definire e concertare in via preventiva le strategie operative e le azioni da mettere in campo per la mitigazione del rischio da siccità.

Si precisa che il presente documento potrà essere oggetto di aggiornamenti e modifiche oltre che essere arricchito da nuove esperienze portate avanti nel Distretto padano.

Le indicazioni qui contenute scaturiscono dalle attività svolte per la definizione del Piano di Gestione delle Siccità per il comprensorio gestito dal Consorzio della Bonifica Parmense quale prima applicazione

sperimentale a livello di consorzio irriguo e per naturale conseguenza sono adattabili a contesti imprenditoriali di struttura analoga disposti nel Distretto del Fiume Po.

Dopo una introduzione che inquadra nel panorama normativo a livello europeo, nazionale e locale le attività legate al monitoraggio della risorsa idrica e alla valutazione delle siccità e della scarsità idrica, si illustrano nel Capitolo 3 i principi metodologici utili allo sviluppo di Piani di Gestione delle Siccità. Nello specifico si espongono le fasi di inquadramento conoscitivo del sistema che riguardano la descrizione del territorio, delle fonti idriche, delle coltivazioni (Capitolo 3.1), la definizione delle caratteristiche climatiche e delle riserve idriche (Capitolo 3.2) e le indicazioni per la quantificazione delle richieste e delle disponibilità idriche dettagliando queste a scala di comprensorio irriguo (Capitolo 3.3). L'individuazione di precedenti eventi siccitosi che hanno colpito il territorio di interesse causando impatti di diversa natura è pure un punto di importante consapevolezza perché si venga ad essere preparati ad affrontare nuovi episodi con accresciuta resilienza. Si riportano quindi gli aspetti legati alla identificazione delle criticità, degli impatti e delle possibili azioni di mitigazione da attuare qualora si verifichi una carenza idrica (Capitolo 3.4) necessarie a definire le cosiddette tabelle Parametro-Impatto-Azione (PIA) che riportano le informazioni che quantificano le disponibilità idriche, l'impatto al ridursi di queste e le azioni possibili e opportune. Sono considerate anche le modalità di contenimento e mitigazione degli impatti negativi sull'ambiente e gli ecosistemi. Il conclusivo Capitolo 4 espone la modalità di stesura del manuale operativo.

2 Inquadramento normativo

Si riporta nel seguito un inquadramento normativo a livello europeo, nazionale e locale in merito alle attività legate al monitoraggio della risorsa idrica e alla valutazione delle siccità e della scarsità idrica.

2.1 Attività Europea in merito al monitoraggio della risorsa idrica e alla valutazione della siccità e della scarsità idrica (ISPRA, 2018)

La Commissione Europea, a partire dal 2007, ha rivolto molta attenzione alle problematiche connesse con la siccità e la carenza idrica identificando sette obiettivi strategici principali 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.

Nei successivi lavori della Commissione in questo ambito si è prevista la realizzazione di un osservatorio sulla siccità, la valutazione di questo fenomeno 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 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 Standardized Precipitation Index (SPI) che è riconosciuto, sia in campo internazionale (World Meteorological Organization, WMO, 2012) che Europeo (come riportato successivamente), come uno degli strumenti più efficaci per il monitoraggio della siccità. Sulle mappe disponibili sul portale EDO (<https://edo.jrc.ec.europa.eu/>), i valori di SPI sono riportati graficamente sia come singoli valori associati alla corrispondente stazione pluviometrica sia interpolati su grigliato regolare.

Per quanto riguarda l'Italia, è da rilevare che la distribuzione dei dati meteorologici utilizzati nel calcolo di questi indicatori non è omogenea; 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.

2.2 Attività in Italia di monitoraggio meteo-idrologico

Aspetto di primaria importanza è il reperimento delle informazioni idrologiche che formano la base conoscitiva di ogni approccio di studio agli episodi di siccità. Come riportato in ISPRA (2018) le reti di monitoraggio meteo-idrologico sono di competenza delle Regioni e delle Province autonome, mentre le competenze di carattere nazionale in materia di idrologia (linee guida, indirizzi, bilancio nazionale, ecc.) 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 principalmente 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 dell'Ambiente (SNPA; istituito con L. 132/2016 ma ora diventata struttura operativa del Servizio Nazionale della Protezione Civile). Lo SNPA supporta il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATM) nell'attuazione del Titolo III del D.Lgs. 152/2006, il quale, tra l'altro, recepisce la Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE (DQA).

Al fine di poter costruire 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 (in Tabella 1 sono riportati gli enti competenti per il bacino padano), 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 WMO.

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.

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.

Tabella 1 – Centri e centri funzionali (CF) del bacino padano

Regione	Ente	Struttura
Emilia Romagna	ARPAE Emilia Romagna	Servizio Idro-Meteo-Clima
Lombardia	ARPA Lombardia	Servizio Meteor. Regionale e Centro Nivometeorologico
Piemonte	ARPA Piemonte	Dip. sistemi previsionali
Valle d'Aosta	Regione Valle d'Aosta	Centro funzionale
Veneto	ARPA Veneto	Servizio Idrologico/Centro Funzionale

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 Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare (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.

Per quanto riguarda il monitoraggio dei volumi d'acqua impiegati in agricoltura, le Linee guida nazionali approvate con DM del 31/07/2015 definiscono i casi minimi in cui le Regioni devono stabilire gli obblighi di misurazione dei volumi d'acqua impiegati in agricoltura, relativamente a prelievi, restituzioni e utilizzi, sia per irrigazione collettiva che autonoma. Le linee guida, inoltre, individuano il data-base nazionale SIGRIAN quale riferimento per la raccolta di dati di quantificazione di volumi irrigui.

Le linee guida indicano gli elementi da monitorare (prelievi, utilizzi, restituzioni), i soggetti preposti all'acquisizione e trasmissione dei dati di monitoraggio (enti irrigui o regioni), i metodi di quantificazione (misurazione o stima) e le cadenze temporali del monitoraggio e di trasmissione dei dati al SIGRIAN. Con propri provvedimenti, tutte le Regioni e le Province Autonome hanno recepito ed adottato le Linee guida MiPAAF (D.M. del 31 luglio 2015).

2.3 Attività nazionali e strumenti finalizzati al monitoraggio della risorsa idrica e alla valutazione della siccità e della scarsità idrica (ISPRA, 2018)

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/EE 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 focalizzate su problematiche particolari, e collabora 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 idrometeorologici regionali, direttamente attraverso l'interrogazione delle banche dati dei gestori delle reti idro-meteorologiche di livello regionale e delle province autonome;
- 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 idrometeorologiche 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; 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 e Ducci, 2018) 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;

- il Bollettino mensile siccità¹, in cui mensilmente sono prodotte e pubblicate sul portale ISPRA le mappe SPI a 3, 6, 12 e 24 mesi a scala nazionale, 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 e ai bollettini regionali 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 (Vezza et al., 2017).

2.4 Attività nel Distretto idrografico Padano (ISPRA, 2018)

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 sopra menzionati, 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.

¹ https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/siccitas/index.html

1. 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).
2. 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.
3. 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.
4. 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.

3 Principi metodologici

Sulla base dell'esperienza maturata nella definizione del primo Piano di Gestione delle Siccità per il comprensorio gestito dal Consorzio della Bonifica Parmense, si riportano di seguito i principi metodologici che dovrebbero adottarsi nell'impostazione di siccIDROMETRI a scala sub-distrettuale con riferimento ai comprensori irrigui consortili agenti nel Distretto idrografico padano.

3.1 Inquadramento territoriale e caratteristiche del sistema

Al fine di caratterizzare le siccità e il loro potenziale impatto nell'ambito di comprensori consortili, è anzitutto necessario inquadrare il contesto geografico, con particolare riferimento alle caratteristiche fisiche e territoriali, nel quale si inserisce lo studio. Si raccomanda di predisporre una cartografia georeferenziata che identifichi l'area geografica di pertinenza del comprensorio, l'orografia e gli altri eventuali aspetti distintivi (ad es. distinzione tra aree di pianura e di montagna, zone costiere, ecc.) che possono influenzare il ciclo idrologico. È altresì utile identificare gli usi del suolo e i principali settori economici che possono essere affetti dalle siccità.

L'area di interesse va quindi caratterizzata dal punto di vista idrologico: è necessario allo scopo individuare i bacini idrografici superficiali e, qualora non coincidano, sotterranei entro cui ricade il territorio in analisi.

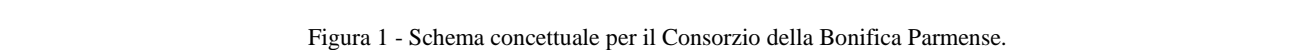
Nello specifico, per quanto riguarda le acque superficiali, è indispensabile caratterizzare l'assetto idrografico individuando la rete idrografica principale e la presenza di masse d'acqua (laghi, zone umide, ecc.) sfruttate o potenzialmente sfruttabili. L'area WEBGIS dell'Autorità Distrettuale di Bacino del Fiume Po e i geoportali regionali possono considerarsi come fonti non esclusive per il reperimento di tali informazioni.

Con riferimento agli acquiferi, è necessario caratterizzare la risorsa idrica disponibile (quantità d'acqua naturalmente rinnovabile) andando ad individuare lo stato quantitativo e qualitativo delle acque sotterranee (Water Framework Directive - WFD, 2000/60/CE). Tali informazioni si rendono particolarmente utili allorché vengano introdotte limitazioni al prelievo sia in periodi normali che di siccità. Per questa attività i monitoraggi condotti da parte delle Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente possono essere ritenuti un punto di partenza. Dati sulla piezometria sono spesso raccolti anche dai Gestori del Servizio Idrico Integrato che operano nell'area di interesse e dagli stessi Enti irrigui.

In aggiunta all'inquadramento generale, è necessario avere a disposizione una conoscenza dettagliata del comprensorio irriguo con particolare riferimento alle principali infrastrutture irrigue, alle fonti e alle modalità di approvvigionamento. Risulta utile, se applicabile, una suddivisione del comprensorio in distretti o territori irrigui omogeni per tipologia di asservimento e/o dotazione. È quindi raccomandato predisporre una base cartografica che rappresenti i singoli distretti e lo schema irriguo del comprensorio che riporti la rete principale (dalla fonte al comprensorio irriguo) e la rete secondaria che distribuisce l'acqua ai singoli territori irrigui. Le fonti di approvvigionamento devono essere localizzate e identificate in base alla propria tipologia e alle modalità di prelievo della risorsa (ad es. a gravità, mediante pompaggio, ecc.). Esse verranno suddivise in base

Nell’ottica della gestione delle siccità, è raccomandato caratterizzare la presenza di risorse attivabili in via straordinaria (trasferimento di risorsa da altri soggetti, emungimenti da pozzi non convenzionali, ecc.).

Inoltre, ai fini dello studio non si può prescindere dall'identificare e considerare la presenza di altri comprensori irrigui, generalmente limitrofi a quello in analisi, che condividono la risorsa idrica; andranno altresì caratterizzate le eventuali interconnessioni della rete esistenti tra i comprensori stessi.



14

Alle informazioni sopra riportate vanno aggiunti i parametri che devono essere osservati, alla scala territoriale di interesse per l'intero sistema dei bacini idrografici analizzati, quali indicatori climatologici (precipitazione, temperatura, giorni piovosi, ecc.), indicatori idrologici (portate e/o livelli in alveo) e indicatori relativi alle riserve idriche (livelli di falda, volumi immagazzinati negli acquiferi, invasi, ecc.). Con riferimento alla scala del comprensorio invece occorre avere dati di misura della portata in corrispondenza delle fonti di approvvigionamento, dei punti di consegna (distretti irrigui e/o aziende) e dei punti di restituzione al reticolo idrografico. Ai fini di un bilancio idrico a scala di comprensorio o distretto irriguo sono altresì da considerarsi le perdite per infiltrazione e/o evaporazione dalla rete di canali. L'assenza di questi dati o una loro stima molto approssimata può inficiare gli obiettivi del "SiccIDROMETRO"; si raccomanda pertanto di verificare la presenza delle succitate informazioni o comunque di intraprendere preventivamente iniziative atte al loro reperimento. Nei successivi capitoli si daranno maggiori dettagli sulle informazioni da reperire e sulla loro elaborazione.

3.2 Inquadramento climatico e riserve idriche

Sia a livello internazionale (WMO & GWP, 2016) che europeo (EDO, 2017) e ancora a livello nazionale (ISPRA, 2018), si indica, come strategia da attuare per la caratterizzazione di eventi siccitosi, il monitoraggio di quegli indicatori che influenzano i fenomeni di siccità e scarsità idrica e che possono essere rivelatori delle caratteristiche di tali eventi. Ai fini dell'inquadramento climatico sono pertanto necessari i dati di base del monitoraggio meteo-climatico (precipitazione e temperatura dell'aria minima e massima o media) e idrologico (portate/livelli idrometrici nei corsi d'acqua, livelli piezometrici, livello idrico nei laghi o nei serbatoi) di lungo termine. Laddove disponibili, informazioni sull'evaporimetria si ritengono altresì utili. Tali dati sono generalmente acquisiti dalle reti di monitoraggio regionali e disponibili sugli Annali Idrologici e/o portali online. I gestori del servizio idrico integrato che gravitano nell'area di interesse possono essere interpellati per l'acquisizione di ulteriori dati.

Relativamente a questi indicatori, occorre dotarsi di strumenti di conoscenza sulla loro evoluzione nel tempo con scala di osservazione generalmente non inferiore alla giornaliera. L'area di interesse è quella che ricade all'interno dei bacini idrografici oggetto di analisi, ma anche a una fascia territoriale adiacente sufficientemente estesa per descrivere con efficacia eventuali "effetti di bordo".

Poiché i fenomeni siccitosi sono particolarmente complessi e dipendono contemporaneamente da più variabili, si può valutare una serie di indici che hanno lo scopo di rendere di più facile lettura le caratteristiche degli eventi di siccità e scarsità idrica. Inoltre, tali indici sono indispensabili per un approccio *early warning*.

3.2.1 Analisi dei dati di precipitazione e temperatura

Con particolare riferimento alle più lunghe e complete serie storiche di precipitazione e temperatura, sono da condurre analisi volte alla caratterizzazione della loro variabilità nel corso degli anni. Le elaborazioni riguarderanno varie scale temporali tra cui la scala annuale, stagionale e mensile; scale temporali inferiori (ad es. decenni) possono condursi in relazione alle peculiarità dell'area oggetto di studio. Al fine di mettere in

evidenza eventuali variazioni climatiche in atto nell'area esaminata, gli studi di queste grandezze sono condotti con riferimento all'intero periodo di analisi e laddove possibile due sotto-periodi (almeno ventenni o trentenni). La scala spaziale è quella dei singoli bacini idrografici che interessano l'area di studio oltre al comprensorio irriguo in analisi. I risultati possono essere rappresentati a mezzo di grafici a barre che identificano la variabilità degli indicatori nel tempo con riferimento a ciascuna porzione di territorio analizzata. Oltre al valore medio nei differenti periodi di analisi è utile valutare la retta di regressione e il suo coefficiente angolare, con lo scopo di individuare possibili trend nei dati pluviometrici e termometrici. La significatività di tale tendenza può essere verificata con test statistici. Si consiglia, ad esempio, il test non parametrico di Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), considerando un livello di significatività pari al 95%. Con riferimento ai dati di precipitazione, si ritiene altresì utile identificare e rappresentare alcune soglie percentuali di riduzione della variabile analizzata con riferimento alla media (ad es. 20% - 25%) informative dei periodi più secchi. Per un più esaustivo inquadramento pluviometrico, oltre ai valori di altezza di pioggia, si raccomanda di indagare l'andamento nel tempo della numerosità dei giorni piovosi e/o asciutti con riferimento alle scale temporali analizzate.

La Figura 2 riporta, a titolo di esempio, l'andamento della precipitazione cumulata annua e la sua linea di tendenza, la media annua nei periodi indagati e la riduzione percentuale del valore medio con riferimento al Consorzio della Bonifica Parmense. Nella Figura 3 sono invece riassunte le analisi sulla precipitazione a scala stagionale e mensile; alcune risultanze sul numero di giorni piovosi sono rappresentate in Figura 4.

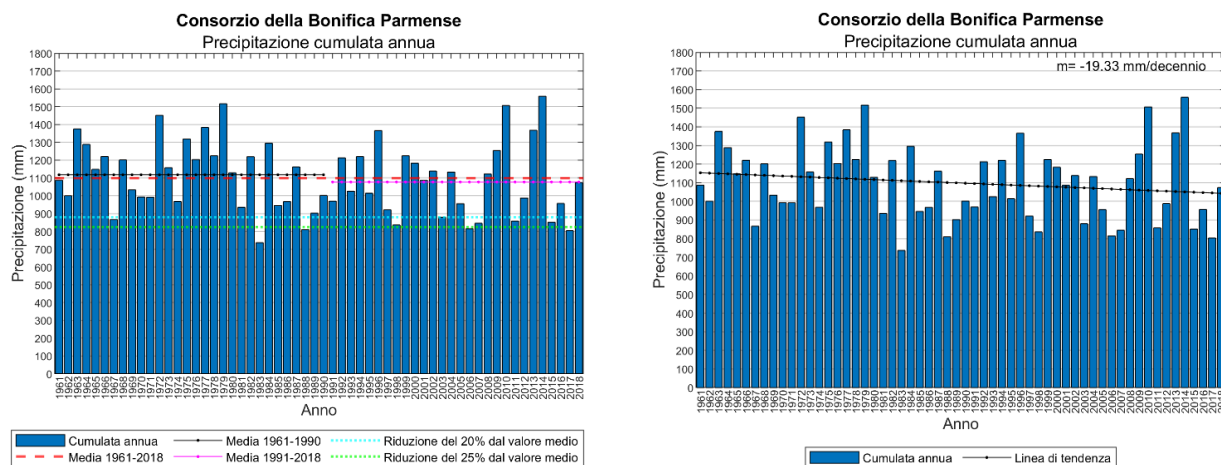


Figura 2 - Precipitazione cumulata annua, media annua nei tre periodi indagati e riduzione percentuale del valore medio (sx) e precipitazione cumulata annua e sua linea di tendenza (dx) sul territorio del Consorzio della Bonifica Parmense. Il valore di "m" rappresenta il coefficiente angolare della retta di regressione utilizzata come linea di tendenza.

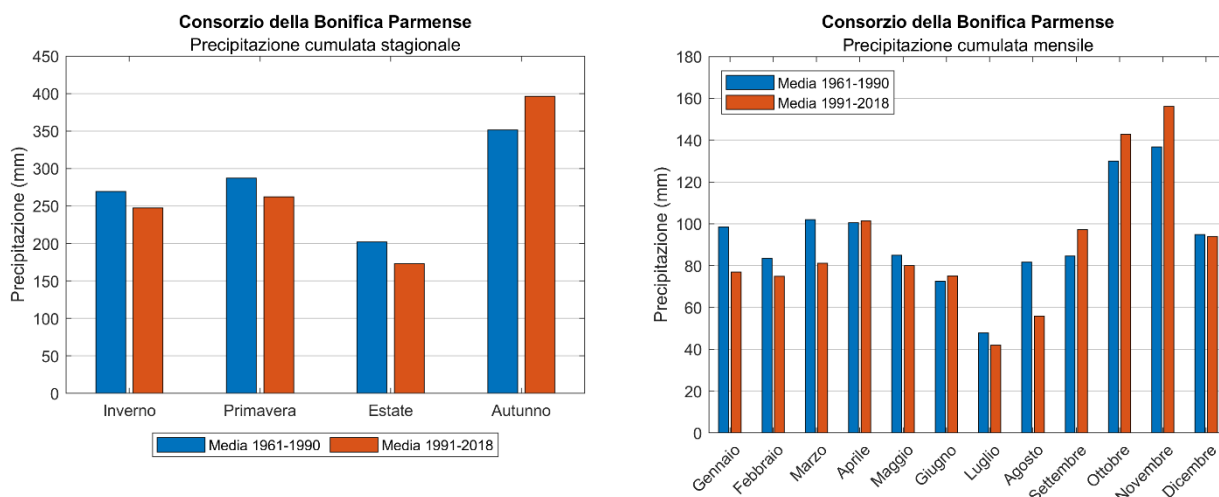


Figura 3 - Precipitazione cumulata stagionale (sx) e mensile (dx) mediata su due sotto-periodi di interesse sul territorio del Consorzio della Bonifica Parmense.

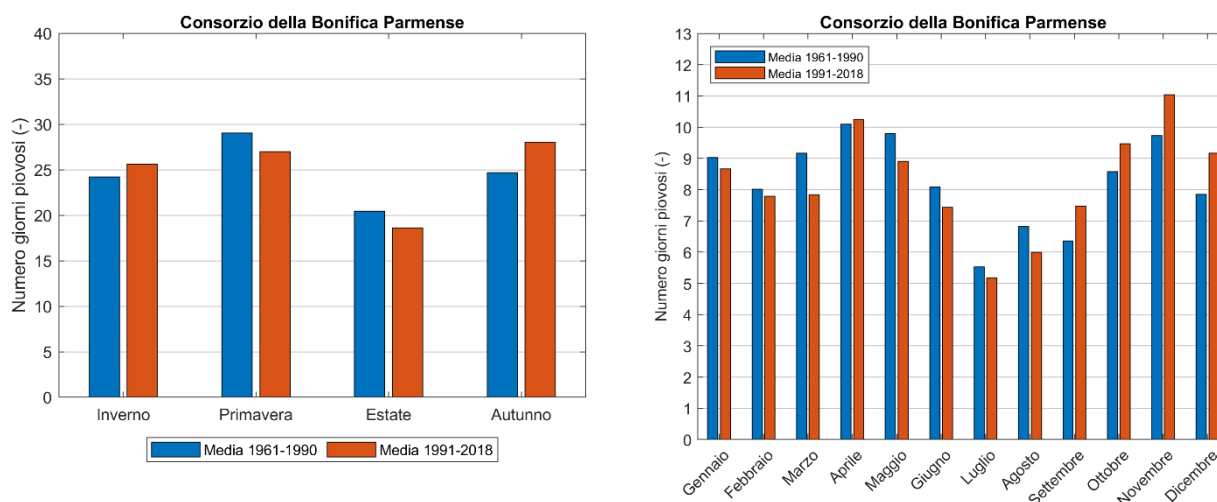


Figura 4 - Numero di giorni piovosi per stagione (sx) e mensile (dx) mediato su due sotto-periodi di interesse sul territorio del Consorzio della Bonifica Parmense.

3.2.2 Analisi dei dati di portata e livello idrometrico nei corsi d'acqua

Con riferimento ai dati di portata nei corsi d'acqua e, quando non disponibili, ai livelli idrometrici in una stazione di misura si raccomanda di valutare e predisporre grafici che rappresentano:

- l'andamento temporale dei valori medi mensili: viene riportato il valor medio mensile della variabile su una finestra temporale che coincide con l'intera serie storica disponibile. Tale grafico è utile come supporto per la valutazione diretta della qualità e continuità dei dati;
- l'andamento dei valori medi annuali: viene riportato il valore medio annuale della variabile considerata per tutti gli anni che presentano misurazioni su tutti i 12 mesi costituenti l'anno (questa scelta deriva dal fatto che l'analisi annuale risente delle stagionalità e una mancanza di dati invernali a discapito di quelli estivi, o viceversa, può distorcere l'analisi per quanto riguarda l'individuazione degli anni più siccitosi). Tale dato può essere confrontato con il valore medio complessivo e con alcune soglie

percentuali della media annua (ad es. 20% - 50%). Qualora la lunghezza della serie storica lo consenta è possibile operare un confronto tra i valori medi in due sotto-periodi onde evidenziare variazioni in atto. Come per i dati climatologici è utile valutare la retta di regressione e il suo coefficiente angolare, con lo scopo di individuare possibili trend. Test statistici possono utilizzarsi per supportare la presenza o meno della tendenza;

- la media mensile della serie storica al fine di identificare il regime fluviale e quindi i periodi più critici ai fini del deflusso.

Per quanto riguarda i dati di portata è utile proporre le curva di durata delle portate, ovvero la relazione tra i valori osservati delle portate medie giornaliere ed il numero medio di giorni in cui tali valori sono superati o eguagliati. Alla durata nulla, $t = 0$, corrisponde la portata di massima piena e a $t = 365$ la portata di massima magra. A partire da queste curve si possono individuare alcune portate caratteristiche delle sezioni in esame, tra cui la:

- portata semipermanente: portata corrispondente a $t = \frac{365}{2}$;
- portata di magra ordinaria: portata corrispondente $t = \frac{3}{4} 365$;
- portata di massima magra: portata corrispondente $t = 365$.

Con riferimento alle analisi dei livelli idrici, è opportuno identificare, quando possibile, i periodi di alveo asciutto.

3.2.3 Analisi dei dati di livello piezometrico

Al fine di completare il processo di caratterizzazione idrologica dell'area oggetto di studio, è necessario procedere con la definizione delle condizioni di falda. Il livello delle acque sotterranee è il risultato degli effetti nel tempo dei principali processi di ricarica degli acquiferi e di prelievo dell'acqua. La ricarica naturale delle falde è un processo che avviene principalmente per infiltrazione nel sottosuolo delle acque meteoriche e fluviali nelle aree in cui la falda risulta in contatto con l'atmosfera (falda freatica); mentre le captazioni da falda sono principalmente legate all'utilizzo della risorsa a scopo acquedottistico, industriale ed irriguo. Nel panorama italiano, la consistenza dei dati freaticometrici risulta molto spesso eterogenea sia in termini temporali che spaziali. Molto spesso le misure vengono eseguite due volte l'anno, in corrispondenza del periodo primaverile e autunnale che in genere rappresentano rispettivamente i momenti di massimo e minimo livello piezometrico delle falde nell'arco dell'anno. Meno frequentemente si hanno a disposizione letture mensili e solo raramente registrazioni giornaliere.

Per caratterizzare lo stato dell'acquifero e permettere il confronto tra pozzi differenti, l'andamento temporale della falda può essere espresso e riportato graficamente in termini di indice normalizzato di soggiacenza (I_S):

$$I_S = - \frac{X - \bar{X}}{\delta}$$

dove X è il valore di soggiacenza mentre \bar{X} e δ sono rispettivamente la media sul lungo periodo e la deviazione standard della soggiacenza per il pozzo di riferimento. Il segno meno è stato introdotto in modo che livelli di falda inferiori alla media siano riportati come valori negativi nei grafici. Nei grafici possono essere inoltre indicati i valori di I_s pari a +2 e -2, con lo scopo di mettere in evidenza eventuali circostanze estreme verificatesi per i pozzi in oggetto; esse sono associate a livelli di falda, rispettivamente, estremamente abbondanti ed estremamente scarsi.

A titolo di esempio, si riporta in Figura 5 l'andamento dell'indice normalizzato di soggiacenza con riferimento ad un pozzo della rete della Regione Emilia Romagna collocato nel bacino del fiume Taro.

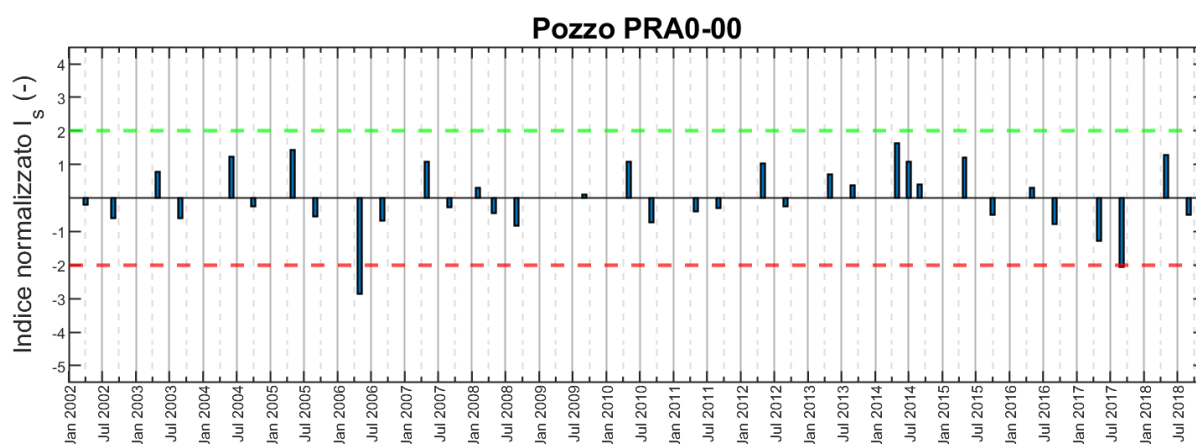


Figura 5 - Andamento dell'indice normalizzato di livello statico per il pozzo PRA0-00, valori estremi di I_s di segno positivo (linea verde) e negativo (linea rossa), fonte dato: Regione Emilia-Romagna.

Secondo quanto previsto dalle linee guida rilasciate dal Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (Percopo et al., 2017) è altresì utile la valutazione delle tendenze dei livelli di falda a scala puntuale. In particolare, per verificare la presenza di un trend significativo dei livelli di falda è raccomandato l'utilizzo del test non parametrico di Mann-Kendall con un livello di significatività del 95%. Qualora le registrazioni siano sporadiche, per ogni pozzo analizzato è possibile costruire un campione di dati di soggiacenza andando a selezionare dalla serie storica due valori per anno, uno in primavera e uno in autunno, che rappresentano i periodi rispettivamente di massimo e minimo livello. La quantificazione del trend si può poi ottenere calcolando il coefficiente angolare della retta di regressione, definita a partire dai dati di soggiacenza e dal tempo della lettura.

3.2.4 Indici di siccità

I paragrafi che seguono descrivono alcuni indici di siccità ritenuti utili alla caratterizzazione di questi fenomeni, fornendo informazioni sulle modalità di calcolo. Le classi di severità associate a questi indici sono quelle riconosciute a livello internazionale, unica eccezione è l'indice di scarsità idrica WEI+, su cui non c'è ancora un accordo univoco.

3.2.4.1 Standardized Precipitation Index (SPI)

Lo Standardized Precipitation Index (SPI) (McKee et al, 1993; ISPRA, 2018) è un parametro che quantifica il deficit o surplus di pioggia rispetto ai valori medi a diverse scale temporali (usualmente 1, 3, 6, 12, 24 e 48 mesi), basandosi sull'utilizzo dei soli dati di precipitazione. È un indice statistico basato sul confronto tra la precipitazione cumulata registrata in un determinato periodo di t mesi, con la distribuzione statistica a lungo termine rappresentante la precipitazione aggregata per lo stesso periodo di tempo. Per ciascun punto analizzato la serie storica di precipitazione aggregata è interpolata mediante una distribuzione di probabilità teorica (la più utilizzata è la distribuzione gamma).

A questi deficit o surplus sono associati dei valori di SPI, i quali vengono confrontati con le diverse soglie definite in letteratura, permettendo una classificazione dei diversi livelli di severità della siccità, ma anche dei periodi umidi. Valori negativi di SPI corrispondono a periodi più secchi rispetto alla climatologia media, ossia indicano un deficit di precipitazione (siccità), mentre valori positivi di SPI corrispondono a periodi più umidi, ossia indicano un surplus di precipitazione rispetto alla media per un dato periodo. Maggiore è la distanza dalla media climatologica, maggiore è la severità dell'evento (Tabella 4).

Tabella 4 - Classificazione della severità idrica in funzione del valore dell'indicatore SPI.

Valore SPI	Classe di severità	Probabilità %	Frequenza
$SPI \geq 2$	Umidità estrema	2.3	1 ogni 44 anni
$1.5 \leq SPI < 2$	Umidità severa	4.4	1 ogni 23 anni
$1.0 \leq SPI < 1.5$	Umidità moderata	9.2	1 ogni 11 anni
$-1.0 < SPI < 1.0$	Media climatologica	68.2	1 ogni 1.5 anni
$-1.5 < SPI \leq -1.0$	Siccità moderata	9.2	1 ogni 11 anni
$-2.0 < SPI \leq -1.5$	Siccità severa	4.4	1 ogni 23 anni
$SPI \leq -2.0$	Siccità estrema	2.3	1 ogni 44 anni

È anche possibile, grazie alla costruzione statistica dei valori, attribuire ad un episodio di siccità ricadente in una determinata classe (o, analogamente, ad un periodo umido di data classe) un valore di probabilità e una frequenza di presentazione media. I corrispondenti valori sono riportati nella Tabella 4 (WMO, 2016).

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

- SPI riferito a brevi periodi 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.

Perciò, anche se strettamente collegato alla siccità meteorologica, lo SPI presenta una grande versatilità nel rappresentare gli eventi siccitosi. Questa duttilità, insieme alla semplicità di calcolo e alla richiesta di dati di input solitamente disponibili anche su larga scala temporale, lo rendono uno dei principali indici di siccità utilizzati a livello internazionale.

3.2.4.2 Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)

Lo Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) (Vicente-Serrano et al., 2010; Begueria et al., 2014) è formalmente coincidente con lo SPI, ma considera come variabile di interesse la differenza tra la precipitazione e l'evapotraspirazione potenziale². Infatti, temperature elevate e, di conseguenza, alti tassi di evapotraspirazione possono influenzare in maniera significativa i processi di formazione dei deflussi superficiali, nonché di infiltrazione e conseguente ricarica dei corpi idrici sotterranei (ISPRA, 2018).

In questo caso, la variabile di interesse è la grandezza:

$$D = P - ETP$$

dove P e ETP sono rispettivamente la precipitazione cumulata e l'evapotraspirazione potenziale cumulata di riferimento. L'evapotraspirazione potenziale (ETP) ad una data scala mensile può essere calcolata con varie formulazioni; quelle più utilizzate sono la formula di Thornthwaite (1948) e la formulazione di Hargreaves & Samani (1982).

La grandezza D può quindi essere aggregata su diverse scale temporali, tipicamente (come per lo SPI) da 1 a 24 mesi, avendo così il corrispondente vantaggio di poter rappresentare gli effetti del deficit di apporto idrico sui diversi sistemi (suolo, corsi d'acqua e falda). Il calcolo dello SPEI si esegue utilizzando una procedura analoga a quella già presentata per il calcolo dello SPI; l'unica differenza è che nel caso dello SPEI la distribuzione gamma, essendo definita sul dominio $0 < x < +\infty$, non può essere utilizzata, poiché la variabile di interesse può assumere anche valori negativi.

Uno dei grandi vantaggi associati all'utilizzo dello SPEI è che permette di prendere in considerazione il fatto che 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. Inoltre, gode delle stesse proprietà di flessibilità, semplicità di calcolo e facilità nel reperire i dati di input che si erano già discusse per lo SPI.

² L'evaporazione che si avrebbe qualora l'acqua sottratta al suolo fosse disponibile senza limitazioni poiché continuamente rinnovata. Il valore dell'evapotraspirazione potenziale può essere molto maggiore di quella reale poiché nella realtà l'acqua persa per evapotraspirazione non viene rinnovata immediatamente, ma solo in maniera discontinua con le piogge.

3.2.4.3 Consecutive Dry Days (CDD)

Il Consecutive Dry Days (CDD) è un indice di misura della siccità meteorologica che viene calcolato a partire dai dati di precipitazione giornaliera (Christensen & Christensen, 2007). Esso rappresenta il numero massimo di giorni consecutivi con quantità di precipitazione giornaliera minore di 1 mm (Karl et al., 1999).

3.2.4.4 Standardized Runoff Index (SRI) o Standardized Discharge Index (SDI) o Standardized Flow Index (SFI)

Lo Standardized Runoff Index (SRI), noto anche come Standardized Discharge Index (SDI) o come Standardized Flow Index (SFI) (Shukla & Wood, 2008; ISPRA, 2018), è un indice di siccità idrologica basato sulla valutazione della probabilità di osservare una portata media mensile considerando un dato intervallo temporale.

Le modalità di calcolo sono le stesse viste per lo SPI. Come per lo SPI, infatti, questo indice può essere calcolato per differenti scale temporali a seconda delle caratteristiche del bacino e delle finalità di monitoraggio. In generale, scale temporali di breve durata (da 1 a 3 mesi) sono utili nei piccoli bacini, mentre scale temporali maggiori (anche superiori a 12 mesi) sono più adatte ai grandi bacini caratterizzati da un ciclo idrologico più complesso.

Dunque, tale indice fornisce indicazioni sulla disponibilità idrica di un corso d'acqua rispetto alla media dello stesso per diverse scale temporali di aggregazione e per il suo calcolo è richiesta la disponibilità di serie di portate medie mensili adeguatamente lunghe.

Attenzione deve essere posta nell'utilizzo di tale indice 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 (ISPRA, 2018).

Le soglie di severità dello SRI sono state definite in letteratura sulla base della probabilità di eccedere un osservato valore di portata secondo quanto riportato in Tabella 5. Dunque, minore è la probabilità che si verifichi un evento, più tale evento viene definito estremo. Anche lo SRI definisce sia condizioni umide che secche.

Tabella 5 - Classificazione della severità idrica puntuale in funzione del valore dell'indicatore SRI.

Valore SRI	Classe di severità
$SRI \geq 1.65$	Estremamente umido
$1.28 \leq SRI < 1.65$	Molto umido
$0.84 \leq SRI < 1.28$	Moderatamente umido
$-0.84 < SRI < 0.84$	Vicino alla norma
$-1.28 < SRI \leq -0.84$	Siccità moderata
$-1.65 < SRI \leq -1.28$	Siccità severa
$SRI \leq -1.65$	Siccità estrema

3.2.4.5 Indicators of Hydrologic Alteration (IHA)

La metodologia IHA è stata sviluppata da The Nature Conservancy (2009) per lo studio del regime idrologico dei corsi d'acqua. Essa si basa, al livello di applicazione più semplice, sul calcolo e analisi di 33 parametri, detti fondamentali, deducibili dalle serie storiche di portata media giornaliera, a loro volta riuniti in 5 gruppi che fanno diretto riferimento a componenti caratteristiche del deflusso.

I 33 parametri del metodo IHA e la loro categorizzazione sono descritti in Tabella 6 (AdBPo, 2016). Alcuni parametri fanno riferimento a condizioni idrologiche estreme (stati di piena e di magra), mentre altri sono descrittivi delle condizioni di deflusso e dei limiti entro cui la variabilità delle portate in alveo è da considerare ordinaria.

Tabella 6 – Parametri del regime idrologico utilizzati dal metodo IHA per lo studio dell'alterazione idrologica.

N.	Indice di alterazione idrologica (IHA)	Gruppo di appartenenza
1 - 12	Portata media o mediana mensile storica (12 valori)	Entità dei deflussi mensili
13	Portata minima annuale, media di 1 giorno	
14	Portata minima annuale, media di 3 giorni	
15	Portata minima annuale, media di 7 giorni	
16	Portata minima annuale, media di 30 giorni	
17	Portata minima annuale, media di 90 giorni	
18	Portata massima annuale, media di 1 giorno	Entità e durata delle condizioni estreme del deflusso durante l'anno
19	Portata massima annuale, media di 3 giorni	
20	Portata massima annuale, media di 7 giorni	
21	Portata massima annuale, media di 30 giorni	
22	Portata massima annuale, media di 90 giorni	
23	Numero di giorni con deflusso zero	
24	Indice del deflusso di base (portata minima 7gg/portata media annuale)	Temporalità delle condizioni estreme
25	Data (calendario giuliano) della portata massima giornaliera	
26	Data (calendario giuliano) della portata minima giornaliera	
27	Numero di periodi di portata ridotta negli anni di osservazione (superamento per difetto di un valore di soglia)	
28	Durata media o mediana dei periodi di portata ridotta	Frequenza e durata dei “picchi” di portata
29	Numero di periodi di portata elevata (morbide) negli anni di osservazione (superamento per eccesso di un valore di soglia)	
30	Durata media o mediana dei periodi di portata elevata	Tasso di variazione e frequenza dei cambiamenti delle condizioni di deflusso
31	Tassi di crescita delle portate: media o mediana delle differenze positive di portata tra un giorno e il successivo	
32	Tassi di esaurimento: media o mediana delle differenze negative di portata tra un giorno e il successivo	
33	Numero di passaggi da periodi con portate crescenti a periodi con portate decrescenti	

Un secondo livello di analisi comporta l'interpretazione dei valori di alcuni dei parametri elencati in Tabella 6 e di altri aggiuntivi, riuniti in 5 gruppi:

1. deflussi base;
2. magre estreme;
3. portate intermedie e formative senza esondazione;
4. piene ordinarie;
5. piene straordinarie.

Le 5 classi prendono il nome di “Componenti ambientali del deflusso” (Environmental Flow Components, EFC). La Tabella 7 contiene l'elenco delle EFC ed i parametri idrologici utilizzati per definirle (AdBPo, 2016).

Tabella 7 - Environmental Flow Components definiti nell'ambito della metodologia IHA.

Deflussi di base (mensili)	Portata media o mediana mensile storica (12 valori)
Magre estreme	Numero di periodi di magra estrema negli anni di osservazione (superamento per difetto di un valore di soglia)
	Media o mediana delle durate della magra estrema (giorni)
	Picco (valore minimo) dell'evento
	Data del picco (valore minimo) dell'evento
Portate intermedie e formative senza esondazione	Numero di periodi di portata elevata (morbide) negli anni di osservazione (superamento per eccesso di un valore di soglia)
	Media o mediana della durata dell'evento (giorni)
	Picco (valore massimo) dell'evento
	Data del picco (valore massimo) dell'evento
	Tassi di crescita delle portate: media o mediana delle differenze positive di portata tra un giorno e il successivo
	Tassi di esaurimento: media o mediana delle differenze negative di portata tra un giorno e il successivo
Piene ordinarie	Numero di periodi di piena ordinaria negli anni di osservazione (superamento per eccesso di un valore di soglia)
	Media o mediana della durata dell'evento (giorni)
	Picco (valore massimo) dell'evento
	Data del picco (valore massimo) dell'evento
	Tassi di crescita delle portate: media o mediana delle differenze positive di portata tra un giorno e il successivo
	Tassi di esaurimento: media o mediana delle differenze negative di portata tra un giorno e il successivo
Piene straordinarie	Numero di periodi di piena ordinaria negli anni di osservazione (superamento per eccesso di un valore di soglia)
	Media o mediana della durata dell'evento (giorni)
	Picco (valore massimo) dell'evento
	Data del picco (valore massimo) dell'evento
	Tassi di crescita delle portate: media o mediana delle differenze positive di portata tra un giorno e il successivo
	Tassi di esaurimento: media o mediana delle differenze negative di portata tra un giorno e il successivo

3.2.4.6 Standardized SnowPack Index (SSPI)

La disponibilità di risorsa nei corpi idrici è normalmente collegata alle precipitazioni. In alcune aree del territorio, soggette a un clima più freddo, diventa rilevante 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, mentre di contro aumenta il deflusso (per la fusione delle nevi) nei mesi primaverili e all'inizio dell'estate (ISPRA, 2018).

L'SSPI viene calcolato come lo SPI, utilizzando però come variabile l'equivalente in acqua della neve (Snow Water Equivalent, SWE). In breve, l'SSPI viene calcolato come anomalia dello SWE rispetto alla media climatologia sul lungo periodo (ISPRA, 2018).

Lo SSPI fornisce pertanto informazioni riguardo il volume di neve accumulato nel bacino, rispetto alla climatologia media, a un passo temporale tipicamente decadale (10 gg) e mensile. I valori oscillano tra -3 e +3. 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 8). Questo indice deve essere analizzato in combinazione con lo SPI e con lo SRI per avere una fotografia completa della situazione di siccità.

La difficoltà nel calcolo di questo indice risiede nella stima dello SWE.

Tabella 8 - Classificazione della severità idrica puntuale in funzione del valore dell'indicatore SSPI.

Valore SSPI	Classe di severità
$SSPI \geq 2.0$	Notevolmente superiore alla norma
$1.5 \leq SSPI < 2.0$	Molto superiore alla norma
$1.0 \leq SSPI < 1.5$	Superiore alla norma
$-1.0 < SSPI < 1.0$	Vicino alla norma
$-1.5 < SSPI \leq -1.0$	Inferiore alla norma
$-2.0 < SSPI \leq -1.5$	Molto inferiore alla norma
$SSPI \leq -2.0$	Notevolmente inferiore alla norma

3.2.4.7 Water Exploitation Index Plus (WEI+)

Il Water Exploitation Index Plus (WEI+) (Faergman, 2012; ISPRA, 2018) quantifica, per un assegnato intervallo temporale e un determinato territorio, il rapporto tra le pressioni antropiche (prelievi e restituzioni) che insistono sulla risorsa idrica e la sua disponibilità. Questo indice permette di identificare quelle aree in cui l'uso della risorsa comporta situazioni di scarsità idrica cioè di stress idrico.

Al fine di descrivere il WEI+, è opportuno introdurre anche l'indice WEI da cui esso è derivato e che sostituisce, ma con il quale non deve essere confuso. Il WEI indica il livello di pressione che le attività umane esercitano sulla risorsa idrica naturale in un determinato territorio e in un determinato intervallo temporale. Tuttavia, tale indice non teneva conto dell'acqua che veniva restituita dopo l'uso (ad es. le acque di raffreddamento). Per superare questi limiti, è stata sviluppata una variante del WEI denominata WEI+. Il nuovo

indice è definito come il rapporto, valutato per un assegnato territorio e per un dato intervallo di tempo ed espresso come percentuale, tra il consumo effettivo della risorsa idrica e la risorsa idrica rinnovabile.

$$WEI+ = \frac{\text{Consumo della risorsa idrica}}{\text{Risorsa idrica rinnovabile}} \times 100 = \frac{\text{Prelievo} - \text{Restituzione}}{\text{Risorsa idrica rinnovabile}} \times 100$$

La 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. È ovvio che la restituzione deve avvenire all’interno del territorio rispetto al quale si calcola il WEI+ e nell’intervallo di tempo di riferimento.

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

$$RWR_{\Delta t} = P_{\Delta t} - Eta_{\Delta t} + ExIn_{\Delta t} - \Delta S_{\Delta t}$$

dove P è il volume di precipitazione che affluisce al suolo, Eta il volume di evapotraspirazione reale, a cui si aggiunge l’eventuale volume idrico proveniente dai territori limitrofi (sia superficialmente che attraverso flussi sotterranei) indicato con $ExIn$ (External Inflow) e infine viene sottratto il termine ΔS che rappresenta la variazione di volume immagazzinato nei laghi e negli invasi artificiali presenti nel territorio di riferimento. I termini del bilancio sono espressi in hm^3 e le scale temporali (Δt) solitamente utilizzate per la definizione di questo indice sono quella mensile, stagionale e annuale.

Passando dal WEI al WEI+, la definizione delle soglie costituisce un tema complesso non affrontato pienamente. Per il WEI+, a livello europeo 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, come ad esempio sul bacino del Danubio. In ogni caso, la definizione di tali soglie per il WEI+ deve essere oggetto di ulteriori approfondimenti.

3.2.4.8 *Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Solar Radiation (fAPAR)*

Il fraction of Absorbed Photosynthetically Active Solar Radiation (fAPAR) (Gobron et al., 2005; Gobron et al., 2007) è un indice basato sulla stima della frazione della radiazione solare assorbita dalle piante, che è necessaria per eseguire l’attività di fotosintesi. Il fAPAR dipende dalla struttura geometrica e dalle proprietà ottiche della vegetazione, dalle condizioni atmosferiche e dalla configurazione angolare satellite-area acquisita. Tale indice è utile a valutare lo stress della vegetazione a eventi di siccità. Considerata la complessità richiesta per il calcolo di questo indice, la sua stima viene eseguita tramite l’utilizzo di immagini satellitari. Sono presenti mappe di fAPAR già disponibili online e consultabili con frequenza decadale sul portale del Copernicus Global Land Service (2021) con grigliati da 300 m x 300 m e 1 km x 1 km.

A partire dalle mappe di fAPAR è possibile costruire la sua anomalia, di seguito indicata come $fAPAR_{anomaly}$, al fine di valutare la distribuzione spaziale e l’evoluzione temporale su lunghi periodi dell’attività vegetativa. Essa normalizza l’indice fAPAR permettendo di definirla rispetto ad una condizione media:

$$fAPAR_{anomaly, t} = \frac{X_{\Delta t} - \bar{X}}{\delta}$$

dove $X_{\Delta t}$ è il valore di fAPAR per la decade t mentre \bar{X} e δ sono rispettivamente la media sul lungo periodo e la deviazione standard del fAPAR calcolate sulla stessa decade t analizzata.

Il fAPAR assume i valori adimensionali tra 0 e 1; 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 $+4$, indicando rispettivamente anomalie negative (sofferenza) e positive (crescita) dello stato della vegetazione.

Nell'interpretazione dei risultati, si deve tener conto che la variazione della salute e della copertura della vegetazione mostrata potrebbe essere sia conseguenza di un effettivo deficit di precipitazione e di umidità del suolo (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 indici di siccità (ISPRA, 2018).

3.2.4.9 Combined Drought Indicator (CDI)

Il Combined Drought Indicator (CDI) (Sepulcre-Canto et al., 2012; Cammalleri et al., 2021) deriva dalla combinazione di tre indici: Standardized Precipitation Index (solitamente SPI1 e SPI3) che identifica eventuali carenze di precipitazioni; l'anomalia dell'umidità del suolo (anomalia di Soil Moisture, ottenuta sempre mediante rilevazioni satellitari) che individua possibili carenze di acqua disponibile per la vegetazione e l'anomalia del fAPAR, che individua gli effetti sulla crescita delle piante.

In base ai valori dalle anomalie dei tre indici sopracitati si definisce il CDI. Esso fornisce una sintetica panoramica sulla situazione della siccità, classificandola in base a tre diversi livelli di allerta:

- *watch*: quando viene rilevata una carenza nella quantità di precipitazione rispetto la normalità;
- *warning*: quando la carenza di precipitazioni comporta una anomalia nell'umidità del suolo;
- *alert*: quando i livelli di allerta *watch* e *alert* sono accompagnati da una anomalia delle condizioni della vegetazione.

Ad esse sono state aggiunte tre fasi di recupero (Cammalleri et al., 2021):

- *temporary recovery SM*: riduzione del livello di criticità per temporaneo miglioramento dei valori di umidità del suolo;
- *temporary recovery fAPAR*: riduzione del livello di criticità per temporaneo miglioramento della crescita delle piante;
- *full recovery*: tutte le variabili tornano positive (non in deficit).

Alla base di tale indice vi è la considerazione che la siccità può essere pensata come conseguenza di una scarsità di precipitazioni (causa) che provoca un deficit di umidità del suolo e ciò si traduce in una riduzione della disponibilità di acqua per la vegetazione provocandole dei danni (effetto). L'obiettivo di tale indice è

quello di una migliore facilità di comprensione e lettura dei fenomeni siccitosi, comprendendo la valutazione di tre indici in uno. Si deve però sottolineare che questo indice nasce per lo scopo di individuare e prevedere il verificarsi del fenomeno ma non dà indicazioni sulla sua intensità.

3.2.4.10 Spring Anomaly Index (SAI)

Lo Spring Anomaly Index (SAI) (ISPRA, 2018) è un indice che rappresenta le scarsità idrica di una sorgente e quindi la sua incapacità di soddisfacimento della domanda.

Una delle metodologie più comunemente utilizzate è quella proposta da Romano et al. (2013) la quale permette di prevedere il valore dell'indice SAI a partire dai valori dello SPI dell'area d'esame, così come descritto nel seguito (ISPRA, 2018):

1. individuazione di un'area rappresentativa dell'intera zona di ricarica della sorgente da esaminare;
2. individuazione dei pluviometri di riferimento presenti nell'area e della relativa serie di precipitazioni mensili nel periodo di interesse;
3. per la serie temporale di precipitazioni mensili individuata si calcola lo SPI per ogni mese dell'anno alle scale di aggregazione da 1 a 24 mesi. La nomenclatura prevista è $SPI_n(m_a)$, che rappresenta lo SPI calcolato per il mese m dell'anno a considerando una scala di aggregazione di n mesi;
4. calcolo della serie storica di portate medie mensili della sorgente in esame;
5. individuazione della portata media mensile minima di ogni anno idrologico a , indicata con Q_a^{min} ;
6. per ogni mese si calcola il coefficiente di correlazione (r) dato dal rapporto tra la serie degli $SPI_n(m_a)$ e la portata minima dell'anno Q_a^{min} ;
7. costruzione della matrice di correlazione contenente i coefficienti di correlazione r , come riportato nell'esempio di Tabella 9;

Tabella 9 - Esempio di matrice di correlazione $SPI_n(m_a) - Q_a^{min}$.

	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

8. calcolo della retta di regressione per le coppie di punti $SPI_n(m_a) - Q_a^{min}$ che presentano massima correlazione di ogni anno e il p - value associato;
9. una volta ottenuta la retta di regressione con i suoi coefficienti si calcola la portata minima prevista per l'anno corrente, indicata con $Q_{forecast}^{min}$, sulla base del valore di SPI corrente. L'indice SAI viene definito 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 10.

Tabella 10 - Classificazione della severità idrica puntuale in funzione del valore dell'indicatore SAI.

Valore SAI (%)	Classe di severità
$SAI \leq 1$	Assenza di condizioni di severità idrica puntuale
$1 < SAI \leq 1.25$	Bassa
$1.25 \leq SAI \leq 1.66$	Media
$SAI > 1.66$	Elevata

3.2.4.11 Soil Moisture Index (SMI)

Il Soil Moisture Index (SMI) (Seneviratne et al., 2010) è un indice rappresentativo del contenuto di umidità del suolo; è considerato un indice di siccità poiché la disponibilità d'acqua nel terreno ha un effetto diretto sulla crescita delle piante e quindi sulla produttività.

Si utilizza come variabile un parametro che indica la tensione capillare nello strato superficiale di terreno (pF). Il valore pF descrive la forza necessaria che le piante devono produrre per estrarre dal suolo l'acqua di cui necessitano. Il contenuto di umidità viene rappresentato attraverso le sue anomalie rispetto alla distribuzione Gamma.

3.2.4.12 Decili

I decili (Gibbs & Maher, 1967) rappresentano un indice della siccità meteorologica che classifica le precipitazioni mensili osservate rispetto alla media climatologica. L'indice si basa unicamente sulle precipitazioni cumulate mensili, dove i valori osservati vengono suddivisi in decili. Utilizzando l'intero periodo di registrazione dei dati sulle precipitazioni per una località, viene classificata la frequenza di queste. Il primo decile è composto dalle precipitazioni che nel 10% dei casi non vengono superate (WMO & GWP, 2016). Alla distribuzione in decili si può associare una condizione di umidità classificata come in Tabella 11.

Tabella 11 - Classi di raggruppamento dei Decili.

Classe	Condizione di precipitazione
Decile 1-2	Molto minore del normale
Decile 3-4	Sotto la norma
Decile 5-6	Normale
Decile 7-8	Al di sopra della norma
Decile 9-10	Molto maggiore della norma

3.2.4.13 Deficit Traspirativo (DT)

L'indice di deficit traspirativo (DT) (Zinoni & Marletto, 2003) esprime la siccità agricola, ovvero una carenza continuativa di rifornimento idrico per le colture agricole (da precipitazione insufficiente e/o irrigazione insufficiente) che, unita ad un livello elevato di evaporazione atmosferica, induce una carenza idrica nel terreno.

La scarsità di acqua nel suolo provoca, attraverso la chiusura dei pori o stomi fogliari, la riduzione della traspirazione effettiva rispetto a quella massima e, di conseguenza, una sensibile riduzione del tasso di crescita della coltura e della resa finale dovuta alla riduzione dell'assimilazione fotosintetica. La valutazione della siccità agricola può essere quindi effettuata attraverso il deficit traspirativo, definito come differenza tra la traspirazione massima (T_m) e quella effettiva (T_e), grandezze giornaliere calcolate attraverso un modello di bilancio idrico.

Il deficit traspirativo è significativo per i fini agricoli se permane elevato per un lungo periodo. È stato quindi proposto come indice di siccità agricola il DT x , o deficit traspirativo integrato, calcolato su periodi precedenti di adeguata durata (30, 60, ..., 180 giorni), la cui espressione è:

$$DTx = \sum_{oggi-x}^{oggi} (T_m - T_e) \quad (1)$$

L'indice $x = 30, 60, 90, 180$ corrisponde al numero di giorni precedenti alla data di cui si vuole avere un'indicazione dello stato siccitoso. Ad esempio, il DT30 considera la somma dei deficit traspirativi giornalieri degli ultimi trenta giorni prima della data presa in considerazione. Il calcolo dell'indice è significativo durante il periodo di sviluppo vegetativo delle colture, indicativamente dalla primavera fino all'inizio dell'autunno. L'indice dà così un'indicazione dello stato della coltura, legato al suo stadio di sviluppo, alle condizioni di umidità del suolo ed allo stato meteorologico, che riflette non uno stato momentaneo ed istantaneo, ma perdurante per un periodo di riferimento. Tale indice deve essere raffrontato con la climatologia locale attraverso gli indici dei percentili. Valori di DT x che si collocano nella classe di percentile pari al 50 sono indicativi di fenomeni che rappresentano la norma rispetto al periodo di riferimento. Valori di DT x che si posizionano al di sopra o al di sotto del 50° percentile, rappresentano fenomeni anomali rispetto alla norma. La distanza dalla norma indica la ricorrenza dell'evento. Eventi minori del 20° percentile sono ritenuti quelli più pericolosi per lo sviluppo dell'attività vegetativa.

3.2.4.14 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

L'indice di vegetazione normalizzato (NDVI) viene calcolato partendo da immagini satellitari prodotte da sensori che acquisiscono nel rosso (R: 0.7 μm) e vicino infrarosso (NIR: 0.9 μm). Questo indice valuta la presenza di attività fotosintetica, mettendo in relazione lo spettro del rosso, in cui c'è assorbimento da parte della clorofilla e quello del vicino infrarosso, in cui le foglie riflettono la luce per evitare il surriscaldamento (NASA, 2021). L'indice di vegetazione normalizzato è uno dei principali indici da satellite della presenza di vegetazione sulla superficie terrestre e del suo evolversi nel tempo. Nell'ambito della siccità viene utilizzato come indice poiché, in caso di stress idrico le piante riducono l'attività fotosintetica diminuendo quindi il valore dell'indice.

L'NDVI viene così calcolato:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (2)$$

dove NIR e R sono rispettivamente l'intensità di luce riflessa per le lunghezze d'onda del vicino infrarosso e del rosso. I valori sono tipicamente compresi tra -1 e +1. Si hanno valori maggiori di 0.2 nel caso di presenza di vegetazione. Il valore ottenuto viene confrontato con quelli ottenuti dall'analisi di una serie storica. Si generano così dati tabellari, in forma di anomalia relativa, e grafici in cui i valori dell'anno sono confrontati con i percentili (5, 50 e 95) degli anni precedenti.

3.3 Richiesta idrica e disponibilità

3.3.1 *Fabbisogni irrigui a scala di comprensorio irriguo*

Al fine di valutare l'impatto delle siccità nei comprensori è necessario conoscere i fabbisogni irrigui da mettere in relazione con le disponibilità. Per fabbisogno irriguo si intende l'apporto idrico artificiale che è teoricamente necessario fornire alla coltura per mantenere l'evapotraspirazione al regime potenziale (MiPAAF, 2015). A partire dall'evapotraspirazione, e una volta conteggiati opportunamente gli apporti idrici naturali, è possibile calcolare il fabbisogno irriguo di una coltura, tenendo conto eventualmente delle efficienze di adduzione e distribuzione delle portate derivate e di applicazione degli apporti sul campo (MiPAAF, 2015).

Per individuare i fabbisogni si può fare riferimento ai sistemi di consiglio irriguo (a titolo di esempio si citano IRRIFRAME, IRRINET e IRRISAT) o altri modelli sviluppati dalle amministrazioni pubbliche che prevedano la stima dei fabbisogni irrigui. All'interno del comprensorio, risulta utile valutare i fabbisogni a scala di distretto irriguo o comunque sotto porzioni del comprensorio per le quali sono ben definite le fonti; questo permette un più immediato confronto tra domanda e offerta.

In molti casi il fabbisogno è espresso in termini unitari e definito per raggruppamenti culturali (considerati principali) ciascuno contenente più colture con un fabbisogno idrico simile. Sono pertanto da individuare nel comprensorio in analisi le colture o raggruppamenti culturali e le rispettive superfici. Tali informazioni possono reperirsi facendo riferimento ai già citati sistemi di consiglio irriguo, al Piano Colturale Grafico di AGEA, consultando la banca dati del Sistema Informativo Nazionale per la Gestione delle Risorse Idriche in Agricoltura (SIGRIAN) o utilizzando altre informazioni a disposizione degli Enti irrigui.

Se non già presente nel calcolo del fabbisogno, occorrerà individuare gli incrementi dei fabbisogni in rapporto all'efficienza del sistema irriguo utilizzato.

Attenzione va posta nel distinguere all'interno del comprensorio, e poi dei distretti, le superfici coltivate servite o meno dal sistema di opere irrigue. I fabbisogni delle aree non servite non sono da mettere in relazione con i volumi di approvvigionamento dell'Ente irriguo ma entrano in gioco con riferimento alla disponibilità di risorsa complessiva del comprensorio. Ci sono aree infatti in cui la pratica irrigua è realizzata attraverso l'autoapprovvigionamento della risorsa da parte delle aziende agricole, generalmente prelevando acqua dalla

falda acquifera o meno frequentemente dai corsi d'acqua. Spesso la valutazione di tali volumi è difficoltosa o per assenza di misuratori o perché frutto di interventi realizzati senza le autorizzazioni di legge.

Un'altra problematica che scosta il fabbisogno calcolato dall'effettivo volume irrigato risiede nel fatto che vi sono alcune colture che storicamente le aziende agricole non fanno giungere a piena produzione, in primis per motivi economici. Non conoscendo molto spesso il volume prelevato dalle singole aziende, si può optare per una riduzione empirica del fabbisogno per determinate colture sulla base dell'esperienza di chi opera sul campo. Spesso non risulta ben chiaro se il minor volume irriguo, rispetto al fabbisogno, sia solamente legato alle suddette motivazioni economiche o alla mancanza di risorsa; per una corretta valutazione degli impatti della siccità occorrerebbe dirimere questi aspetti.

Ai fini del siccIDROMETRO bisognerebbe primariamente determinare i fabbisogni reali alla scala temporale dell'intera stagione irrigua che permette di verificare il bilancio irriguo sui distretti e sull'intero comprensorio. Valutazioni a scale temporali più piccole, eventualmente fino alla decade, dovrebbero attuarsi una volta appurato il bilancio stagionale.

È utile disporre dell'evoluzione nel tempo dei fabbisogni irrigui su un arco temporale che permetta il confronto con le variabili climatiche e idrologiche e soprattutto con gli approvvigionamenti e le disponibilità. Dovrebbero almeno individuarsi un anno medio e uno o due scenari di scarsità definiti sulla base di valori di frequenza decrescente (ad esempio: anno scarso, anno molto scarso, ecc.).

In Figura 6 si riportano, a titolo di esempio, i volumi richiesti nella stagione irrigua del periodo 2013-2018 ripartiti nei singoli raggruppamenti colturali per un distretto irriguo del Consorzio della Bonifica Parmense,

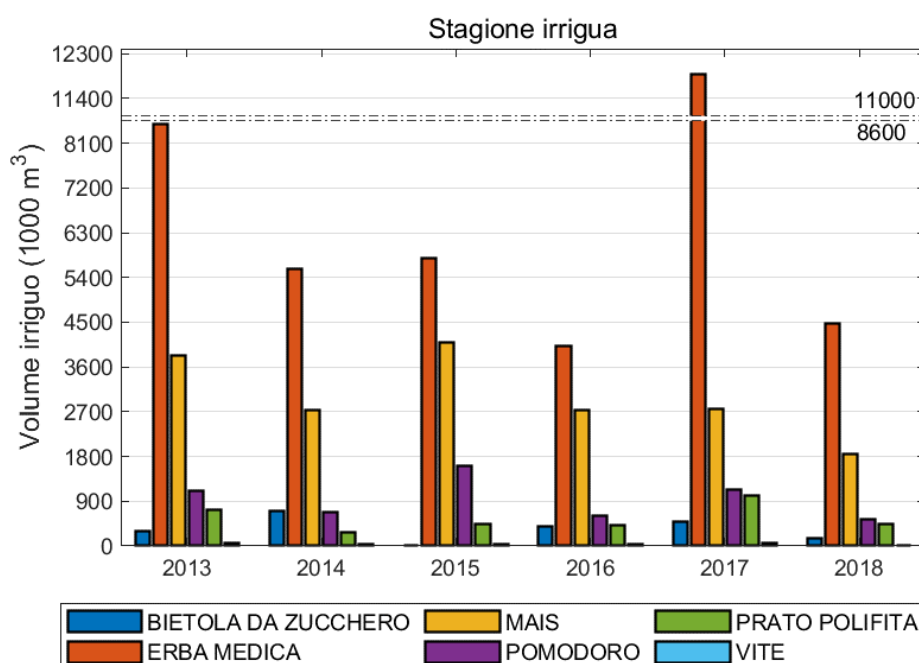


Figura 6 – Istogramma del volume irriguo richiesto dai differenti raggruppamenti colturali, nell'intera stagione irrigua, in un comprensorio del Consorzio della Bonifica Parmense.

3.3.2 *Disponibilità idriche a scala di comprensorio irriguo*

3.3.2.1 *Caratterizzazione dei punti di presa*

La valutazione delle disponibilità idriche deve partire da una conoscenza accurata delle caratteristiche dei punti di presa esistenti effettuata a livello di distretto irriguo. Tra questi devono intendersi:

- le prese da acque superficiali quali fiumi, torrenti, corsi d'acqua minori con derivazione a gravità o tramite pompaggio;
- le prese da sorgenti e fontanili;
- gli attingimenti da falde acquifere sotterranee attraverso pozzi o trincee drenanti;
- i canali di prelievo da laghi o serbatoi artificiali;
- Le stazioni di pompaggio per il prelievo idrico da laghetti di cava o altri piccoli invasi.

Di questi punti di presa vanno determinati gli indicatori determinanti il corretto funzionamento del prelievo differenziando a seconda della tipologia di impianto. In particolare:

- per le prese fluviali o da sorgenti e fontanili con derivazione a gravità: i livelli idrici (m s.l.m.) minimi per il prelievo, il livello (m s.l.m.) di normale ritenuta (per traverse fluviali o sbarramenti). La curva di efflusso livello idrico – portata derivata;
- per prelievi mediante impianti di pompaggio da corsi d'acqua o sorgenti e fontanili: livello idrico (m s.l.m.) del corso d'acqua di limite inferiore di pescaggio, minimo di prelievo. La curva caratteristica della pompa al fine di valutare la relazione livello idrico fluviale – portata derivata;
- nel caso di attingimenti mediante pozzi va fatto sforzo per il recupero della stratigrafia e la determinazione della falda emunta. Deve essere determinata la profondità di posizionamento della pompa. È utile la curva caratteristica del pozzo al fine di valutare la relazione livello piezometrico dinamico – portata derivata;
- per gli attingimenti da trincea drenante, quando esistenti, devono ricostruirsi le caratteristiche del pozzetto di raccolta e dell'impianto di pompaggio esistente. È utile la curva caratteristica della pompa al fine di valutare la relazione livello idrico fluviale – portata derivata;
- nel caso di prelievi da laghi o serbatoi artificiali mediante canali è necessario conoscere la quota del ciglio di imbocco e la legge di derivazione del tipo livello lacuale-portata derivata. Se il prelievo dai serbatoi naturali o artificiali è effettuato mediante impianti di pompaggio va determinato il livello idrico (m s.l.m.) lacuale corrispondente al limite inferiore di pescaggio e il minimo livello di prelievo. Necessaria la conoscenza della curva caratteristica della pompa al fine di valutare la relazione livello idrico nell'invaso – portata derivata.

In tutti i casi discussi va individuato il valore della portata di deflusso minimo vitale del corpo idrico (corso d'acqua o invaso) che alimenta la presa. La garanzia della destinazione del deflusso minimo vitale costituisce un vincolo esclusivo al di sotto del quale non è consentita la derivazione di acqua ad uso irriguo.

Infine vanno raccolti ed esaminati i documenti di concessione per estrarre i valori dei volumi idrici o delle portate di concessione.

3.3.2.2 Monitoraggio dei volumi prelevati e distribuiti al campo

Le Linee guida nazionali approvate con DM del 31/07/2015 definiscono i casi minimi in cui le Regioni devono stabilire gli obblighi di misurazione dei volumi d'acqua impiegati in agricoltura, relativamente a prelievi, restituzioni e utilizzi, sia per irrigazione collettiva che autonoma. Le linee guida, inoltre, individuano nel SIGRIAN il database di riferimento per la raccolta di dati di quantificazione di volumi irrigui.

Le linee guida del MiPAAF (2015) indicano gli elementi da monitorare (prelievi, utilizzi, restituzioni), i soggetti preposti all'acquisizione e trasmissione dei dati di monitoraggio (enti irrigui o regioni), i metodi di quantificazione (misurazione o stima) e le cadenze temporali del monitoraggio e di trasmissione al SIGRIAN. Per alcuni aspetti le Linee guida forniscono delle prime indicazioni riservando alle regioni, nell'ambito dei propri provvedimenti di recepimento, la possibilità di adattarne le previsioni alle proprie specifiche necessità (ad esempio per la definizione delle soglie di portata concessa oltre cui stabilire l'obbligo alla misurazione o sulla scelta dei metodi di stima da utilizzare). Con propri provvedimenti, tutte le Regioni e le Province Autonome hanno recepito ed adottato le Linee guida MiPAAF (D.M. del 31 luglio 2015).

A livello di distretto irriguo le misurazioni richieste dalle linee guida, possono risultare insufficienti. È quindi necessario valutare la disponibilità idrica attraverso una misura delle portate prelevate in corrispondenza delle prese dai corpi idrici alimentanti il distretto irriguo.

Le misure devono essere, in condizioni ideali, teletrasmesse e riportate su registri informatici che consentano facili elaborazioni numeriche volte a calcolare gli elementi di bilancio idrico. Un riassunto automatico a scala mensile è utile per effettuare un controllo. Nel caso in cui non sia disponibile la teletrasmissione, occorre programmare interventi di adeguamento della rete di monitoraggio e, in attesa predisporre la raccolta di dati di prossimità a partire dai quali si possa ricostruire anche con dettaglio temporale minimale l'ammontare dei volumi idrici prelevati. A titolo di esempio si citano i consumi elettrici degli impianti di pompaggio che, insieme alle curve caratteristiche del gruppo di pompaggio, possono fornire almeno una stima dei volumi derivati.

Con un sistema manuale di misura i dati vanno riportati sui registri informatici con adeguata sollecitudine, almeno settimanale.

Nel caso tale monitoraggio non sia condotto sistematicamente è consigliabile effettuare una campagna di misura condotta per almeno un anno irriguo anche con strumentazione mobile.

Un importante aspetto da considerare è che i volumi prelevati alla fonte sono diversi dai volumi effettivamente utilizzati per l'irrigazione delle colture. La quantificazione di questi ultimi è possibile solo con una misura al campo che richiede l'installazione diffusa di contatori al momento non molto diffusi nel contesto italiano. Una valutazione indiretta è possibile tenendo conto delle richieste di adattamento avanzate dalle aziende agricole al consorzio. Tali richieste, incrociate con la tipologia e la superficie delle colture e i corrispondenti fabbisogni, nonché con una valutazione di massima delle perdite al campo, forniscono una stima approssimata del volume effettivamente distribuito al campo.

3.3.2.3 Stima delle perdite di trasporto e dei volumi di restituzione

Le linee guida del MiPAAF (2015) danno indicazione delle modalità di stima delle restituzioni al reticolo idrografico e dei rilasci alla circolazione sotterranea. Non essendo richieste misure in loco (se non per le grandi restituzioni con portate almeno pari a 100 l/s) si tratta di procedure che agiscono per differenza tra le diverse voci del bilancio idrico.

In particolare, alla differenza tra il volume derivato per il distretto e il volume distribuito al campo, si attribuisce il significato di volume residuo che dovrebbe essere pari alla somma delle perdite in rete e delle restituzioni.

Questa valutazione è basata sulla stima del volume distribuito al campo, la cui modalità di calcolo è esposta al precedente paragrafo. Si ha quindi una elevata incertezza per ridurre la quale è necessario un miglioramento del calcolo delle perdite in rete effettuando campagne di misura su tronchi di canali rappresentativi delle dimensioni, suoli e profondità della rete irrigua dell'Ente irriguo interessato. Una misura, per campagne di limitato impegno, delle portate di restituzione può essere molto utile nella direzione della riduzione dell'incertezza di valutazione dei volumi derivati e perduti.

Un esempio di visualizzazione grafica di tali bilanci è riportato nella Figura 7 elaborato per alcuni distretti del Consorzio di Bonifica Parmense.

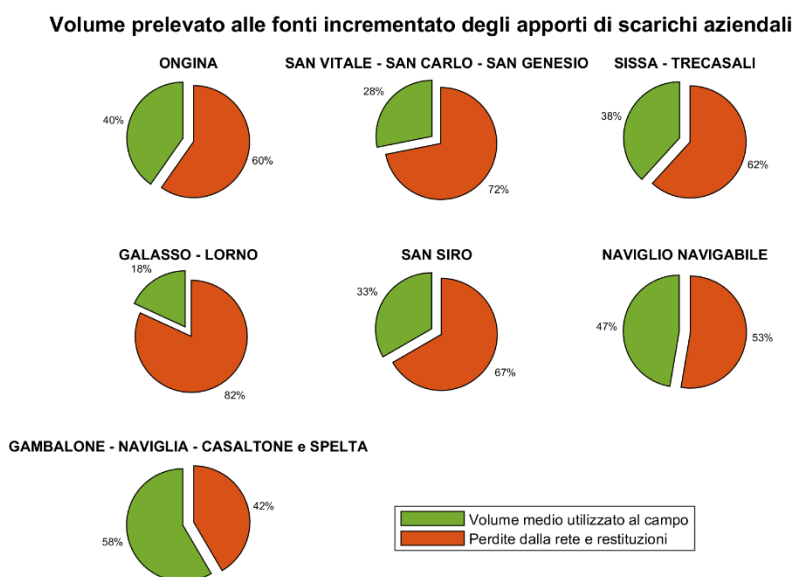


Figura 7 – Percentuali dei volumi idrici utilizzati al campo e perdite e restituzioni.

3.3.3 Stima dei fabbisogni non soddisfatti

La stima dei volumi idrici richiesti dalle colture e non soddisfatti, misura in un certo modo la carenza idrica indotta dalla siccità. In assenza di sistemi di misura avanzati, che in certi contesti, al più sperimentali, sono attivi, si può procedere con una stima approssimata a partire dalla conoscenza del valore dei fabbisogni per il distretto irriguo e dei volumi idrici distribuiti al campo. La differenza tra il volume di fabbisogno e i volumi distribuiti al campo rappresenta i volumi idrici non conteggiabili che risultano da:

- a) aree agricole non servite dal consorzio e irrigate da altre fonti: tipicamente pozzi che attingono dalle falde acquifere;
- b) volumi idrici non somministrati alle colture per scelte aziendali non identificabili;
- c) volumi idrici non somministrati alle colture per assenza di disponibilità idrica.

A seconda delle vicende idrologiche, economiche e di mercato le tre voci possono avere diversa importanza e, in caso di siccità severa, la voce c) può assumere un valore prevalente. Non è sempre possibile distinguere le tre componenti ma al fine di individuare le situazioni di carenza di disponibilità idrica, uno sforzo va fatto in questo senso.

Nella Figura 8 sono riportate a titolo di esempio le percentuali di fabbisogno soddisfatto dai volumi erogati dalla rete consortile e il complemento dovuto alla somma delle voci a), b) e c) riportate sopra.

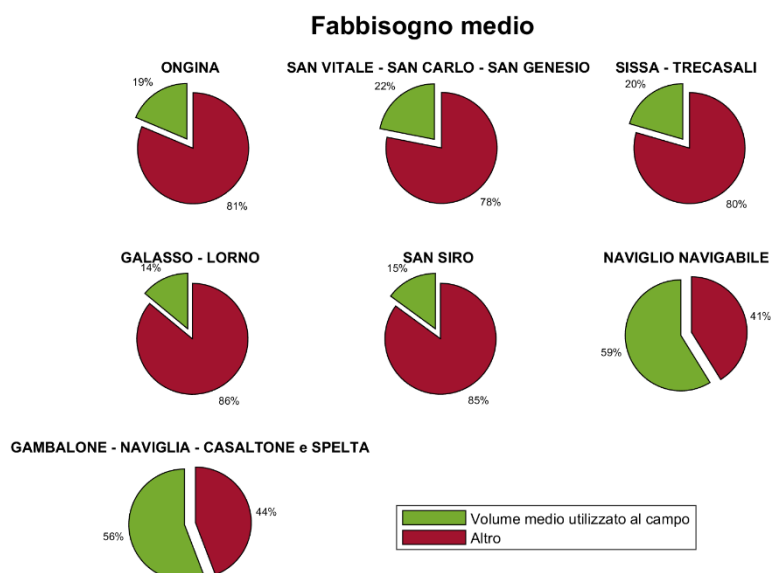


Figura 8 - Percentuali del fabbisogno soddisfatto al campo con acqua distribuita dalla rete consortile e da altre fonti o non soddisfatto.

3.4 Criticità, impatti e azioni

Nei successivi capitoli si riportano gli aspetti legati alle criticità storiche, gli impatti riscontrati e le esperienze di gestione acquisite. Si introdurranno quindi le “soglie di criticità” da individuare in relazione a specifici parametri da monitorare e i potenziali impatti e le possibili azioni di mitigazione da attuare qualora si verifichi una effettiva carenza idrica.

3.4.1 Criticità storiche e impatti riscontrati

Le criticità storiche, gli impatti riscontrati e le esperienze di gestione acquisite costituiscono un prezioso insegnamento per fronteggiare le siccità future e prevenire e mitigare gli impatti.

L’esperienza condotta negli studi in preparazione del presente documento ha evidenziato come sia strategico, per rendere affidabile uno strumento come il SiccIDROMETRO, la disponibilità di un ricco archivio d’informazioni, il più possibile omogeneo e prolungato nel tempo. La mancanza di dati storici sugli eventi siccitosi, per esempio relativamente agli effetti sulla produzione agricola in termini quantitativi o monetari, in parte compensata dalle informazioni consultabili dagli organi di stampa, rende particolarmente complicato arrivare alla messa a punto di uno strumento di elevata affidabilità.

Ne consegue l’ovvia considerazione che solo una descrizione effettuata nel corso dell’evento può quantificare attendibilmente l’episodio siccitoso; tale descrizione può provenire dalle operazioni di monitoraggio delle disponibilità idriche e, in particolare, dalle misure dei volumi derivati oltre che dalla annotazione delle richieste di adacquamento pervenute e delle eventuali fallanze di risposta.

In assenza, o in carenza, di un monitoraggio efficiente dei volumi prelevati, è possibile l’individuazione degli episodi di siccità precedenti ricorrendo all’esame degli indici climatologici e idrologici esposti al Capitolo 3.2.4.

L’analisi degli indici climatologici (SPI e SPEI in particolare) ha l’utilità di evidenziare gli episodi di siccità meteorologica che impattano direttamente sulla disponibilità di acqua piovana. Quando le carenze si verificano nei mesi irrigui, normalmente estesi da marzo a settembre, queste determinano l’esigenza di irrigazione e, in carenza di disponibilità dalle fonti, possono generare episodi di siccità agricola. In tutti i casi, valori ridotti di precipitazione con o senza alti valori termometrici, nei mesi irrigui, determinano alti fabbisogni per le colture.

Finestre temporali adeguate per l’individuazione delle annate irrigue con elevati fabbisogni sono:

- per evidenziare le necessità nei mesi più critici per le colture (giugno-luglio-agosto) il valore di SPI o SPEI a tre mesi valutato ad agosto;
- per evidenziare situazioni di criticità che interessano l’intero periodo irriguo (aprile-settembre) il valore di SPI o SPEI a sei mesi valutato a settembre.

È opportuno condurre un’analisi spinta per almeno un ventennio e che porti ad individuare più di una annata siccitosa. L’analisi degli indici climatici deve essere corroborata da una valutazione degli impatti riscontrati. Come già detto questo può risultare molto difficoltoso senza un sistema di contabilizzazione di richieste idriche

e di eventuali fallanze. Può anche verificarsi che elevati fabbisogni siano stati comunque soddisfatti dalle ampie disponibilità idriche conseguenti alle elevate precipitazioni dei precedenti mesi invernali e primaverili.

Per questi motivi occorre esaminare i valori degli indici che descrivono la situazione delle precipitazioni nei mesi precedenti il periodo irriguo. Si tratta degli indici valutati ai mesi di marzo-aprile relativamente a finestre di 6, 9, 12 e 24 mesi. Se questi indici mostrano valori sensibilmente negativi, questo è indicativo di una possibile carenza di disponibilità per i distretti irrigui originata dalla mancanza degli apporti nei serbatoi naturali che alimentano le prese idriche. Nel caso dei corsi d'acqua si tratta delle precipitazioni meteoriche e nevose intervenute nei mesi autunnali, invernali e primaverili immediatamente precedenti la stagione irrigua. Nel caso di attingimenti dalle falde acquifere, il cui ricambio ha tempi molto lunghi, anche le carenze di pioggia degli anni precedenti possono determinare bassi livelli piezometrici e minori portate di produzione dai pozzi.

Il riscontro degli impatti sulle disponibilità idriche delle annate siccitose può avvenire disponendo dei dati idrologici raccolti alle fonti e dei corrispondenti indici elaborati per un numero di anni più lungo possibile. Sono, in particolare da esaminare:

- livelli idrici/portate nei corsi d'acqua;
- livelli idrici negli invasi;
- livelli piezometrici della falda acquifera

Il riscontro di un impatto della scarsità della risorsa meteorica può essere evidenziato dai bassi valori degli indici SRI o SDI o SFI o IHA per i corsi d'acqua e del SAI per le sorgenti.

Lo sviluppo di indici per i livelli piezometrici può riservare notevoli difficoltà per la scarsità e irregolarità delle rilevazioni. È comunque opportuno sviluppare almeno un calcolo dei valori normalizzati (si veda il Capitolo 3.2.3), esteso agli anni di osservazione disponibili, attraverso il quale i periodi di basso livello freatico risultano perfettamente evidenziati.

Infine, un riscontro, sia pure caratterizzato da un discreto grado di incertezza, può essere ottenuto per differenza tra i fabbisogni e i volumi distribuiti al campo. Tale differenza, pur includendo volumi idrici utilizzati dalle aziende che non si servono della rete consortile e mancato soddisfacimento dei fabbisogni per politiche aziendali, nella variabilità tra gli anni è indicativa dell'ammontare insoddisfatto del fabbisogno dovuto a carenza di disponibilità idrica.

3.4.2 Soglie di criticità, potenziali impatti e possibili azioni di mitigazione

Gli impatti devono essere definiti in base all'individuazione di "soglie di criticità" riferibili ad una serie di indicatori ed indici (si veda il Capitolo 3.2) misurabili e preventivamente dichiarati (insieme denominati "parametri di scarsità e siccità idrica"), che servono per definire degli allarmi o un grado di criticità della siccità. La scelta di tali parametri è legata alle caratteristiche delle opere oppure sulla base dell'esperienza storica dei tecnici dell'Ente irriguo interessato. L'obiettivo fondamentale di tali parametri sta nel valutare la condizione idrica, cercando di prevedere e evidenziare situazioni di allerta e siccità e, di conseguenza, la definizione e l'attuazione delle misure di mitigazione necessarie per ridurre al minimo l'impatto negativo della

carenza di risorsa. Per soddisfare questo obiettivo tutti i parametri devono essere costantemente e efficacemente monitorati, in modo da poter agire in anticipo, identificando sia l'inizio che lo sviluppo di una siccità, non aspettando il verificarsi di una situazione di emergenza per utilizzarli. Un esempio di parametri di scarsità e siccità idrica utilizzabili è mostrato in Tabella 12.

Tabella 12 - Parametri di scarsità e siccità idrica.

PARAMETRI DI SCARSITÀ E SICCIÀ	INDICATORI	Precipitazione misurata al pluviometro	Portata prelevabile alla fonte	Livello della falda sotterranea	Livello dei laghi
		Livello del corso d'acqua	Portata del corso d'acqua	Livello dei serbatoi artificiali	
	INDICI ³	Standardized Precipitation Index (SPI)	Standardized Precipitation Evapotranspirati on Index (SPEI)		

Per quanto riguarda gli indici in Tabella 12 (SPI e SPEI) si sottolinea che questi sono normalmente noti a posteriori, cioè a valle della elaborazione dei dati idrologici osservati. Gli indici riferiti ai mesi irrigui (settembre o ottobre, ad esempio) possono essere utilizzati per identificare e quantificare la gravità di siccità del passato; da essi si potrebbe giungere alla individuazione degli impatti ma non possono essere utilizzati per definire le azioni di mitigazione in corso di emergenza idrica. Invece agli indici dei mesi primaverili (marzo o aprile) è possibile attribuire un significato predittivo sulla disponibilità idrica di alcune fonti (*early warning*). Si tratta delle fonti alimentate dallo scioglimento nivale o dal deflusso di base dei fiumi, a sua volta sostenuto dagli apporti delle falde acquifere ricaricate dalle precipitazioni autunnali e invernali.

Valori di SPI e SPEI dei mesi primaverili (marzo o aprile) che indicano siccità severa o estrema (si veda la Tabella 4) possono preludere a basse portate nei fiumi nel periodo irriguo o ad una precoce secca dei torrenti. In questi casi, è ritenuto non proponibile un riassetto colturale che tenga conto del rischio, dato che, se intervengono le piogge nel periodo irriguo, i fabbisogni possono essere soddisfatti e la siccità non presentarsi. È però possibile predisporre azioni di mitigazione da mettere in campo nell'eventualità che anche le piogge primaverili ed estive siano particolarmente ridotte e si incorra in un reale periodo di siccità. Le iniziative di predisposizione possono essere la riattivazione di pozzi dismessi, la stipula di contratti con privati per attingimenti di emergenza, la messa in ordine di condotte di trasferimento tra distretti o di trasferimento da serbatoio artificiali, ecc. Esempi di azioni per la riduzione di rischi potenziali sono elencati in Tabella 13.

³ È cruciale considerare quegli indici per cui è possibile ricercarne facilmente il valore ad una scala spaziale congrua con le dimensioni del comprensorio e le sue eterogeneità. Ad esempio, gli indici SPI e SPEI vengono calcolati e pubblicati da Arpa (Emilia-Romagna) a scala regionale. Dall'esperienza maturata con il Consorzio della Bonifica Parmense, si è visto che la difficoltà computazionale associata al calcolo di alcuni indici spesso obbliga a far riferimento a dati forniti a scala europea; la riconversione di questi valori in indici sito specifici può essere affetta da importanti errori di approssimazione che non ne rendono affidabile l'utilizzo.

Tabella 13 - Esempi di azioni per la riduzione di rischi potenziali.

AZIONI PRELIMINARI IN PREVISIONE DI RISCHIO POTENZIALE
Impostazione delle richieste di rilascio dei permessi di emergenza per l'uso dell'acqua in caso di portate inferiori al valore di deflusso minimo vitale
Impostare protocolli di scambio con consorzi confinanti
Istituire processi finanziari per la vendita, il trasferimento o lo scambio volontario di acqua
Istituire processi finanziari e trasferimenti in combinazione con programmi volontari di inattività dei terreni agricoli
Effettuare valutazioni della vulnerabilità dell'approvvigionamento idrico
Individuare gli utenti autoalimentati di acqua per uso industriale per un possibile utilizzo delle loro forniture per l'approvvigionamento idrico in massima emergenza
Esame e revisione dei piani operativi dei serbatoi artificiali
Proporre e attuare programmi per ristrutturare serbatoi artificiali affinché funzionino a capacità di progetto
Riempire invasi per costituire una riserva d'acqua di emergenza
Implementare la gestione della qualità dell'acqua e il riutilizzo delle acque reflue
Dotarsi di pompe e tubi per la distribuzione in caso di emergenza
Implementare misure strutturali minori per ottenere forniture idriche temporanee da pozzi inattivi o sorgenti in esaurimento o da fonti idriche sotterranee
Impostare interventi e opere per eliminare i volumi di sfioro dalle prese

L'opportunità di attivare tali disposizioni con un certo grado di priorità può essere associata alla severità delle condizioni climatiche rilevate a fine marzo di ogni anno come esposto nelle tabelle seguenti scaturite dall'esperienza maturata con il Consorzio della Bonifica Parmense e che si propongono a titolo di esempio. In Tabella 14 ai valori delle classi di severità idrica valutati con riferimento all'indice SPI e SPEI a 6 mesi di marzo sono associati i potenziali impatti con minore o elevata probabilità e le azioni preventive, orientate a fronteggiare una eventuale carenza di risorsa idrica superficiale. La Tabella 15 e la Tabella 16 prendono in considerazione i valori di SPI e SPEI a 12 e 24 mesi per il mese di marzo per impostare azioni di prevenzione e mitigazione dei potenziali impatti sulla disponibilità di acque sotterranee. Nelle tre tabelle sono ricordate le annate (a partire dal 2000) in cui è stata riscontrata la classe di severità considerata per il Consorzio della Bonifica Parmense e che è ovvio adattare al contesto del Consorzio in esame. Nelle valutazioni è opportuno, cautelativamente, considerare l'indice SPI o SPEI più sfavorevole.

Per ciascun indice si sono definite quattro classi di severità delle siccità elencate in ordine di gravità (McKee et al., 1993):

- Assenza di severità idrica: indici in media climatologica o umidità di vario grado (colorazione verde).
- Siccità moderata (colorazione gialla).
- Siccità severa (colorazione arancione).
- Siccità estrema (colorazione rossa).

Oltre alle iniziative in aiuto al comparto agricolo, occorre tenere presente che la siccità impatta in modo notevole sull'ambiente e gli ecosistemi. Una resilienza nei confronti di questi episodi critici può essere ottenuta

attraverso diverse azioni da porre in campo in tempi differenti. Fondamentali sono le Misure Ambientali di Sistema da realizzare in situazioni di normalità. Queste sono attuabili in fase di progettazione e, pertanto, richiedono il coinvolgimento di molteplici soggetti e consentono di aumentare il livello di conoscenza dei sistemi.

Le Misure Ambientali di Sistema costituiscono delle pratiche virtuose che attraverso la sinergia nell'attuare, da parte di diversi attori a partire dalle Istituzioni a livello Nazionale e Regionale, passando per gli Enti gestori della risorsa idrica, fino agli utilizzatori finali, come per esempio gli agricoltori, consentono di raggiungere un uso più attento della risorsa ed una valorizzazione della tutela ambientale. Tali misure, elencate di seguito, presuppongono la loro auspicabile attuazione solo a condizione imprescindibile del rispetto delle vigenti Norme e Regolamenti di carattere di difesa e sicurezza idraulica del territorio, tra cui il Regolamento di Polizia Idraulico consortile. Inoltre, l'attuazione di queste misure necessita di adeguati e mirati finanziamenti pubblici ed eventualmente privati, in quanto il loro raggiungimento presuppone significativi interventi strutturali. Si riporta nel seguito un elenco di Misure Ambientali di Sistema individuate:

- contenimento delle specie vegetali alloctone invasive;
- valorizzazione dell'habitat ripariale favorendo lo sviluppo di fasce tampone e siepi e la diffusione di strutture di ingegneria naturalistica, previo necessario adeguamento della sezione idraulica del canale al fine di far coesistere la sicurezza idraulica del territorio, la gestione parsimoniosa della risorsa idrica e la valorizzazione ambientale;
- favorire l'approvvigionamento idrico a quelle aree e sistemi produttivi a maggior valenza riguardo la biodiversità (es: prato stabile, cultivar autoctone in agricoltura conservativa);
- studio dei sistemi per un'accorta pianificazione di aree di ricovero per la fauna ittica in caso di scarsità idrica;
- monitoraggio chimico-fisico delle acque (superficiali e sotterranee) e delle specie bioindicatrici;
- monitoraggio del livello piezometrico e/o della soggiacenza;
- incentivare l'installazione di sistemi di monitoraggio e controllo dei pozzi privati;
- incentivare la diffusione della pratica della pacciamatura per conservare l'umidità del terreno, la cui attuazione deve essere declinata al tipo di coltura;
- incentivare la diffusione della pratica della consociazione;
- raccomandare a tutti gli utilizzatori di acqua di sfruttare la risorsa in modo parsimonioso, sostenibile ed efficace;
- attivare campagne di sensibilizzazione per l'uso accorto della risorsa idrica orientate al soddisfacimento dei reali fabbisogni irrigui delle colture e alla riduzione degli sprechi.

In fase di early warning è opportuno revisionare lo stato di attuazione delle misure ambientali di sistema nonché affiancare, alle azioni preventive di carattere gestionale in ambito agricolo, interventi rivolti alla salvaguardia dell'ambiente e degli ecosistemi.

La Tabella 14, Tabella 15 e la Tabella 16 illustrate in precedenza contengono infatti le azioni di carattere preventivo da porre in campo su entrambi gli aspetti.

Tabella 14 - Impatti prevedibili e azioni preventive (gestionali e ambientali) dopo un riscontro di scarsità idrica nei mesi da ottobre a marzo ($SPI_6 < -1$, $SPEI_6 < -1$ di marzo). Tra parentesi è riportato l'anno (a partire dal 2000) nel quale tale classe di scarsità idrica si è verificata nel territorio del Consorzio della Bonifica Parmense. Le azioni sono orientate a fronteggiare una potenziale carenza di risorsa idrica superficiale.

Classi di siccità valutate nel mese di MARZO – Finestra temporale di mesi 6 (valori cumulati nei mesi da ottobre a marzo)

Valore SPI/SPEI	Classe di severità	IMPATTO	AZIONI GESTIONALI
SPI > -1 SPEI > -1	Media climatologica o umidità di vario grado	Nulla.	Nessuna.
-1.5 < SPI ≤ -1.0 (2007 - 2008) -1.5 < SPEI ≤ -1.0 (2007 - 2008)	Siccità moderata	Moderata probabilità di: <ul style="list-style-type: none"> riduzione delle disponibilità idriche dei corsi d'acqua superficiali e fontanili con anticipo del periodo di esaurimento del flusso idrico. 	<ul style="list-style-type: none"> Effettuare valutazioni della vulnerabilità dell'approvvigionamento idrico.
-2.0 < SPI ≤ -1.5 (2002 - 2012 - 2017) -2.0 < SPEI ≤ -1.5 (2002 - 2012 - 2017)	Siccità severa	Elevata probabilità di: <ul style="list-style-type: none"> riduzione delle disponibilità idriche dei corsi d'acqua superficiali e fontanili con anticipo del periodo di esaurimento del flusso idrico. 	Oltre alle azioni proposte in caso di siccità moderata: <ul style="list-style-type: none"> istituire processi finanziari e trasferimenti in combinazione con programmi volontari di inattività dei terreni agricoli. Individuare gli utenti autoalimentati di acqua per uso industriale per un possibile utilizzo delle loro forniture per l'approvvigionamento idrico in massima emergenza. Implementare misure strutturali minori per ottenere forniture idriche temporanee da pozzi inattivi o sorgenti in esaurimento o da fonti idriche sotterranee. Riempire invasi per costituire una riserva d'acqua di emergenza. Impostazione delle richieste di rilascio dei permessi di emergenza per l'uso dell'acqua in caso di portate inferiori al valore di deflusso minimo vitale.
SPI ≤ -2.0 (-) SPEI ≤ -2.0 (-)	Siccità estrema	Molto elevata probabilità di: <ul style="list-style-type: none"> riduzione delle disponibilità idriche dei corsi d'acqua superficiali e fontanili con anticipo del periodo di esaurimento del flusso idrico. 	Oltre alle azioni disposte in caso di siccità severa: <ul style="list-style-type: none"> impostare protocolli di scambio con consorzi confinanti. Istituire processi finanziari per la vendita, il trasferimento o lo scambio volontario di acqua. Istituire processi finanziari e trasferimenti in combinazione con programmi volontari di inattività dei terreni agricoli. Dotarsi di pompe e tubi per la distribuzione in caso di emergenza.

Tabella 15 - Impatti prevedibili e azioni preventive (gestionali e ambientali) dopo un riscontro di scarsità idrica nel mese di marzo, nei 12 mesi da aprile dell'anno precedente a marzo ($SPI_{12} < -1$, $SPEI_{12} < -1$ di marzo). Tra parentesi è riportato l'anno (a partire dal 2000) nel quale tale classe di scarsità idrica si è verificata nel territorio del Consorzio della Bonifica Parmense. Le azioni sono orientate a fronteggiare una potenziale carenza di risorsa idrica sotterranea.

Classi di siccità valutate nel mese di MARZO – Finestra temporale di mesi 12 (valori cumulati nei mesi da aprile dell'anno precedente a marzo)

Valore SPI/SPEI	Classe di severità	IMPATTO	AZIONI GESTIONALI
SPI > -1 SPEI > -1	Media climatologica o umidità di vario grado	Nulla.	<ul style="list-style-type: none"> Monitoraggio quantitativo e qualitativo.
-1.5 < SPI ≤ -1.0 (2002 - 2008) -1.5 < SPEI ≤ -1.0 (2002 - 2007 - 2018)	Siccità moderata	Moderata probabilità di: <ul style="list-style-type: none"> riduzione delle portate idriche estraibili dai pozzi per incremento della prevalenza geodetica. 	Per i comprensori che impiegano del tutto o in parte acque sotterranee: <ul style="list-style-type: none"> incrementare la frequenza del monitoraggio quantitativo. Effettuare valutazioni della vulnerabilità dell'approvvigionamento idrico. Implementare la gestione della qualità dell'acqua e il riutilizzo delle acque reflue.
-2.0 < SPI ≤ -1.5 (-) -2.0 < SPEI ≤ -1.5 (2008 - 2012 - 2017)	Siccità severa	Elevata probabilità di: <ul style="list-style-type: none"> riduzione delle portate idriche estraibili dai pozzi per incremento della prevalenza geodetica. 	Oltre alle azioni proposte in caso di siccità moderata: <ul style="list-style-type: none"> valutare la possibilità di trasferimenti idrici da fonti superficiali. Istituire processi finanziari e trasferimenti in combinazione con programmi volontari di inattività dei terreni agricoli. Individuare gli utenti autoalimentati di acqua per uso industriale per un possibile utilizzo delle loro forniture per l'approvvigionamento idrico in massima emergenza. Riempire invasi per costituire una riserva d'acqua di emergenza.
SPI ≤ -2.0 (2012 - 2017) SPEI ≤ -2.0 (-)	Siccità estrema	Molto elevata probabilità di: <ul style="list-style-type: none"> riduzione delle portate idriche estraibili dai pozzi per incremento della prevalenza geodetica. Depauperamento delle falde acquifere. 	Oltre alle azioni disposte in caso di siccità severa: <ul style="list-style-type: none"> impostare protocolli di scambio con consorzi confinanti. Istituire processi finanziari per la vendita, il trasferimento o lo scambio volontario di acqua. Istituire processi finanziari e trasferimenti in combinazione con programmi volontari di inattività dei terreni agricoli. Dotarsi di pompe e tubi per la distribuzione in caso di emergenza.

Tabella 16 - Impatti prevedibili e azioni preventive (gestionali e ambientali) dopo un riscontro di scarsità idrica nel mese di marzo, nei 24 mesi da aprile di due anni precedenti a marzo ($SPI_{24} < -1$, $SPEI_{24} < -1$ di marzo). Tra parentesi è riportato l'anno (a partire dal 2000) nel quale tale classe di scarsità si è verificata nel territorio del Consorzio della Bonifica Parmense. Le azioni sono orientate a fronteggiare una probabile carenza di risorsa idrica sotterranea.

Classi di siccità valutate nel mese di MARZO – Finestra temporale di mesi 24 (valori cumulati nei mesi da aprile di due anni precedenti a marzo)

Valore SPI/SPEI	Classe di severità	IMPATTO	AZIONI GESTIONALI
SPI > -1 SPEI > -1	Media climatologica o umidità di vario grado	Nulla.	<ul style="list-style-type: none"> Monitoraggio quantitativo e qualitativo.
-1.5 < SPI ≤ -1.0 (2002 - 2008) -1.5 < SPEI ≤ -1.0 (2000 - 2002 - 2013)	Siccità moderata	Moderata probabilità di: <ul style="list-style-type: none"> riduzione delle portate idriche estraibili dai pozzi per incremento della prevalenza geodetica. 	Per i comprensori che impiegano del tutto o in parte acque sotterranee: <ul style="list-style-type: none"> incrementare la frequenza del monitoraggio quantitativo. Effettuare valutazioni della vulnerabilità dell'approvvigionamento idrico. Implementare la gestione della qualità dell'acqua e il riutilizzo delle acque reflue.
-2.0 < SPI ≤ -1.5 (-) -2.0 < SPEI ≤ -1.5 (2008 - 2017 - 2018)	Siccità severa	Elevata probabilità di: <ul style="list-style-type: none"> riduzione delle portate idriche estraibili dai pozzi per incremento della prevalenza geodetica. 	Oltre alle azioni proposte in caso di siccità moderata: <ul style="list-style-type: none"> valutare la possibilità di trasferimenti idrici da fonti superficiali. Istituire processi finanziari e trasferimenti in combinazione con programmi volontari di inattività dei terreni agricoli. Individuare gli utenti autoalimentati di acqua per uso industriale per un possibile utilizzo delle loro forniture per l'approvvigionamento idrico in massima emergenza. Riempire invasi per costituire una riserva d'acqua di emergenza.
SPI ≤ -2.0 (2012 - 2017) SPEI ≤ -2.0 (-)	Siccità estrema	Molto elevata probabilità di: <ul style="list-style-type: none"> riduzione delle portate idriche estraibili dai pozzi per incremento della prevalenza geodetica. Depauperamento delle falde acquifere. 	Oltre alle azioni disposte in caso di siccità severa: <ul style="list-style-type: none"> impostare protocolli di scambio con consorzi confinanti. Istituire processi finanziari per la vendita, il trasferimento o lo scambio volontario di acqua. Istituire processi finanziari e trasferimenti in combinazione con programmi volontari di inattività dei terreni agricoli. Dotarsi di pompe e tubi per la distribuzione in caso di emergenza.

A conclusione del periodo irriguo è opportuno che il gruppo di gestione della siccità effettui la compilazione del bilancio idrico a livello di distretto irriguo e a livello globale, e la stesura di un elenco ordinato degli impatti rilevati (mancato soddisfacimento delle richieste irrigue, ricorso alla deroga del DMV, riduzione della produzione agricola, ecc.), delle azioni messe in campo per fronteggiare gli eventuali momenti di crisi e dei costi sostenuti. Le informazioni raccolte costituiscono un archivio di dati che si incrementa annualmente effettuando una “misurazione” della scarsità idrica e validando quantitativamente le soglie di criticità.

La compilazione di tabelle a consuntivo quali la Tabella 17 (a consuntivo dell'intero periodo irriguo) sono di grande utilità in quanto permettono il monitoraggio dei fabbisogni e volumi prelevati che risulta autoconsistente, in grado di evidenziare misurazioni integrative necessarie o problematiche non legate alla abbondanza/carenza delle precipitazioni ma originate, ad esempio, da carenze strutturali nella rete di distribuzione o da contingenze colturali. Ancora nella Tabella 17 citata sono riportate le annate in cui siccità di varia severità si sono presentate nel Consorzio della Bonifica Parmense e che vanno ovviamente adattate al contesto in esame.

Tabella 17 - Schema di tabella a consuntivo per la valutazione quali-quantitativa della annata irrigua sulla base di SPI6 e SPEI6 del mese di settembre. Tra parentesi è riportato l'anno (a partire dal 2000) nel quale tale classe di scarsità si è verificata nel territorio del Consorzio della Bonifica Parmense. I volumi dei fabbisogni e dei prelievi contenuti in tabella sono riportati a titolo di esempio.

Classi di siccità valutate nel mese di SETTEMBRE – Finestra temporale di mesi 6 (valori cumulati nei mesi da aprile a settembre)

Valore SPI/SPEI	Classe di severità	FABBISOGNI 49.2 Mmc (medio) 29.4 Mmc (min) 72.6 Mmc (max) (con riferimento al periodo 2013-2018)		VOLUME PRELEVATO 33.9 Mmc (medio) 29.8 Mmc (min) 39.3 Mmc (max) (con riferimento al periodo 2016-2021)		IMPATTI		AZIONI INTRAPR.	COSTI
		ATTESI	EFFETT.	ATTESO	EFFETT.	ATTESO	EFFETT.		
SPI > -1 SPEI > -1	Media climatologica o umidità di vario grado	Medio-bassi	....	Medio - basso	....	Nulla.	....	....	....
-1.5 < SPI ≤ -1.0 (2016 - 2017) -1.5 < SPEI ≤ -1.0 (2000 - 2007 - 2012 - 2016)	Siccità moderata	Moderati	....	Moderato	....	Moderata probabilità di: <ul style="list-style-type: none"> • mancato soddisfacimento delle richieste idriche. • Ricorso alla deroga del DMV. • Riduzione della produzione delle colture meno redditizie.	....	....	....
-2.0 < SPI ≤ -1.5 (2003 - 2011) -2.0 < SPEI ≤ -1.5 (2011 - 2017)	Siccità severa	Elevati	....	Elevato	....	Elevata probabilità di: <ul style="list-style-type: none"> • mancato soddisfacimento delle richieste idriche. • Ricorso alla deroga del DMV. • Riduzione della produzione delle colture meno redditizie. • Riduzione della produzione delle colture più idroesigenti.	....	....	....
SPI ≤ -2.0 (-) SPEI ≤ -2.0 (2003)	Siccità estrema	Eccezionalmente elevati	....	Eccezionalmente elevato	....	Eccezionalmente elevata probabilità di: <ul style="list-style-type: none"> • mancato soddisfacimento delle richieste idriche. • Ricorso alla deroga del DMV. • Mancata produzione delle colture meno redditizie. • Riduzione marcata della produzione delle colture più idroesigenti.	....	....	....

Per definire i potenziali impatti e le azioni di mitigazione in corso di emergenza idrica, è più opportuno identificare determinate soglie di criticità con riferimento a specifici indicatori/parametri (Tabella 12) monitorati nei punti fondamentali per l'approvvigionamento. I potenziali impatti possono essere una conseguenza del verificarsi di una scarsità di precipitazioni meteoriche intervenuta nella posizione spazio-temporale dirimente per la fonte idrica che alimenta il comprensorio di interesse, ma non solo. Non è possibile stabilire un legame biunivoco tra, ad esempio, il valore di SPI e il valore, ad esempio, della portata fluente nel corso d'acqua in questione in un dato periodo della stagione irrigua: la portata transitante è il risultato di un processo idrologico naturale, affetto da incertezze anche elevate, e dalle utilizzazioni antropiche che intervengono nel tratto a monte e che possono presentare una variabilità poco prevedibile. Nel caso, ad esempio del CdBP che agisce in un bacino appenninico, i corsi d'acqua interessati presentano, con frequenza quasi annuale un periodo di asciutta estiva che si verifica anche in caso di precipitazioni antecedenti non particolarmente carenti. È perciò necessario fare riferimento ai parametri che direttamente descrivono la disponibilità idrica nei punti di approvvigionamento.

Le soglie di criticità devono essere stabilite con stretta attinenza con i comprensori irrigui del Consorzio interessato e riferite a parametri individuati secondo quanto indicato nel Capitolo 3.2. In ogni area devono essere definiti i parametri più rappresentativi dell'evoluzione della risorsa idrica, calcolati nei punti fondamentali per l'approvvigionamento. Risulta utile, ai fini della gestione del servizio, riportare su una planimetria la posizione dei punti di monitoraggio.

Per ciascun parametro possono definirsi quattro classi di allarme sugli impatti ("soglie di criticità"), elencate di seguito in ordine di gravità (AdbPo, 2016):

- nullo (colorazione verde): si garantisce il soddisfacimento di tutte le richieste;
- moderato (colorazione gialla): situazione di preallerta nella quale si impostano prime limitazioni all'uso, ad esempio imponendo turnazioni e priorità;
- medio (colorazione arancione): situazione di allerta nella quale si accentuano le limitazioni per estendere il più possibile le risorse disponibili e si passa ad attingere a fonti di acqua alternative;
- elevato (colorazione rossa): presuppone un grave deficit di offerta in cui la redditività delle colture è compromessa e devono essere stabilite misure drastiche di distribuzione dell'acqua privilegiando quelle tipologie di colture che subiscono maggiori danni dalla carenza idrica.

Gli impatti possono essere di tipo ambientale (Tabella 1), economico (Tabella 2) e sociale (Tabella 3).

Per ciascuna classe di allarme devono poi essere definite le azioni di mitigazione (AdbPo, 2016), ovvero le misure utili ad evitare o ridurre gli impatti negativi. Queste vengono definite solo dopo aver studiato in modo approfondito le cause degli impatti (ad esempio mancanza di risorsa, problemi della rete di distribuzione, problemi legati alla posizione dell'utenza, infrastrutture non adeguate, inefficienza gestionale, impreparazione culturale, politiche di controllo e regolazione non adeguate o non efficaci, ecc.). La loro descrizione comprende valutazioni economiche riguardanti i costi aggiuntivi che il sistema di gestione sopporta per l'attivazione delle misure. Le misure sono individuate specificando se si tratta di azioni gestionali, infrastrutturali o miste (ad

esempio, installazione e utilizzo di reti per il consiglio irriguo), e individuando il beneficio che può derivare da esse. Le misure possono essere valutate in termini di fattibilità, efficacia, costi ed equità. L'elenco delle azioni individuate immediatamente attivabili per la gestione delle crisi nel tempo reale è organizzato in base alle fasi temporali del prima, durante e dopo l'evento. Le misure che, per le loro caratteristiche, non risultano immediatamente attivabili durante la gestione delle crisi (azioni strutturali o miste, azioni gestionali che prevedono iniziative di riorganizzazione complesse, accordi o modifiche ai disciplinari, ecc.), saranno evidenziate e descritte, valutate sotto il profilo economico e della sostenibilità organizzativa, e inserite, con priorità definita, in relazione a analisi del tipo costi/efficacia o costi benefici, in un documento di programmazione strategica e finanziaria, da allegare al Piano di Gestione delle Siccità (SiccIDROMETRO). Tale documento si avvarrà dei dati di analisi raccolti per compilare la Tabella 17 in fase di consuntivo a conclusione della stagione irrigua.

Le azioni di mitigazione possono essere di tipo gestionale o di tipo strutturale. Le prime consistono nel condurre le normali attività agricole modificando le tempistiche, mettendo in campo azioni di risparmio idrico che non comportano la realizzazione di nuove opere idrauliche di trasporto, attingimento e conservazione. Esse possono essere necessarie in fase di emergenza o rese permanenti allo scopo di indurre un virtuoso cambiamento che conduca ad una razionalizzazione dell'uso dell'acqua.

Le azioni di tipo strutturale richiedono nuove opere che necessitano per la loro realizzazione di una programmazione, progettazione e reperimento di finanziamenti.

Un elenco non esaustivo di azioni di mitigazione (Knutson et al., 1998) è riportato nelle tabelle seguenti (Tabella 18, Tabella 19 e Tabella 20).

Tabella 18 - Azioni preventive per il risparmio idrico e la riduzione della domanda

Misure per il risparmio idrico e la riduzione della domanda
Incoraggiare il risparmio idrico volontario
Stabilire incentivi economici più forti per gli investimenti privati nel risparmio idrico
Sostenere lo sviluppo locale di programmi di risparmio idrico
Migliorare i sistemi di turnazione delle irrigazioni
Migliorare l'uso dell'acqua limitando le perdite e l'efficienza di trasporto
Implementare programmi di misurazione dell'acqua e rilevamento delle perdite
Ridurre i consumi cambiando il tipo di contratti con le utenze o introducendo contatori
Incoraggiare l'uso congiuntivo di acque superficiali con gli attingimenti da acque sotterranee
Richiedere agli utenti di ridurre la dipendenza dalle acque sotterranee e attuare misure di risparmio idrico

Tabella 19 - Azioni per il risparmio idrico in agricoltura

Misure per il risparmio idrico in agricoltura
Migliorare il livellamento dei campi
Ottimizzare la restituzione delle acque dopo l'uso irriguo
Rivestire i canali in terra o posare tubazioni per limitare le perdite
Controllare le infestanti idroesigenti
Utilizzare sistemi di irrigazione a pioggia e a goccia
Programmare l'irrigazione in base alla domanda
Incentivare l'uso dei sistemi informatici di consiglio irriguo (Irrinet/Irriframe) o, in assenza, utilizzare il monitoraggio dell'umidità del suolo per determinare il momento dell'irrigazione
Utilizzare una preirrigazione profonda durante i periodi in cui l'acqua in eccesso è disponibile
Migliorare le pratiche di lavorazione del terreno
Utilizzare sostanze limitanti l'evaporazione
Usare acqua di qualità inferiore
Indirizzare la coltivazione verso colture resistenti alla siccità o alla salinità

Tabella 20 - Misure di mitigazione di tipo strutturale

Misure di mitigazione di tipo strutturale
Modifica delle tecniche irrigue con l'abbandono dello scorrimento superficiale a vantaggio della irrigazione a pioggia e, a seguire, irrigazione a goccia
Impermeabilizzazione dei canali della rete irrigua
Realizzazione in parallelo ai canali in terra reti di adduzione con tubazioni
Realizzazione di nuovi attingimenti dai corsi d'acqua con maggiore disponibilità (Po e suoi affluenti principali)
Realizzazione di nuovi serbatoi artificiali con grande capacità
Realizzazione di piccoli serbatoi a margine dei fiumi per la raccolta delle acque in eccesso durante gli episodi di piena
Realizzazione di impianti di ravvenamento artificiale

3.4.3 Tabelle Parametro-Impatto-Azione (PIA)

Le informazioni che quantificano le disponibilità idriche, l'impatto al ridursi di queste e le azioni possibili e opportune, vanno riportate in un'unica tabella denominata "tabella Parametro – Impatto – Azione" (tabella PIA). La tabella PIA, dunque, risponde a due questioni fondamentali: quando agire e come comportarsi. La decisione di quando agire è di grande importanza, perché se l'obiettivo è mitigare gli effetti di future siccità, non c'è dubbio che anticiparli sia il massimo dell'efficienza.

Le tabelle PIA successive, suggerite dall'esperienza ottenuta per il Consorzio della Bonifica Parmense, riportano le azioni di contrasto e mitigazione della siccità sia per il comparto agricolo che per il comparto ambientale che risulta fortemente coinvolto negli episodi di siccità.

Si ricorda che, al fine di risultare maggiormente reattivi e più efficienti nella mitigazione degli impatti della siccità, è fondamentale cercare di anticiparne gli effetti attraverso l'attuazione delle Misure Ambientali di Sistema elencate in precedenza.

A puro titolo di esempio sono quindi mostrate le tabelle PIA, con una valutazione di tipo descrittivo e qualitativo, per i parametri di portata prelevabile alla fonte (Tabella 21), livello idrico fluviale (Tabella 22), prelievo da falda (Tabella 23). Le azioni elencate devono essere commisurate al distretto irriguo di interesse. Se, ad esempio il distretto, oltre ad una fonte di alimentazione di acqua superficiale (fiume) ha anche campi pozzi consortili, in caso di carenza alla presa fluviale si attiva il prelievo da questi pozzi. Se sono possibili trasferimenti da altri distretti, mediante opere idrauliche predisposte, questi possono essere messi in atto per i livelli di gravità arancio o rosso, ecc.

Tabella 21 - Tabella Parametro-Impatto-Azione per distretto alimentato da presa mediante traversa fluviale.

PRELIEVO MEDIANTE TRAVERSA FLUVIALE				
SCENARI DI SEVERITÀ	PARAMETRO	IMPATTO SU USO AGRICOLO	AZIONE PER COMPARTO AGRICOLO	MISURE AMBIENTALI
Situazione normale.	Portata prelevabile alla presa pari alla massima portata consentita da concessione Q_{CM} .	Nulla.	Nessuna.	Nessuna.
Scenario di severità idrica bassa.	Portate in riduzione e comprese tra Q_{C1} e Q_{CM} .	Modesto e legato alle colture idroesigenti come il prato stabile e ai sistemi irrigui che prevedono l'erogazione della risorsa a "pieno campo", cioè a pioggia.	<ul style="list-style-type: none"> • Gestione dell'esercizio irriguo attraverso un ordine di turnazione • Erogazione prioritaria verso quelle tipologie di colture che subiscono maggiori danni dalla carenza idrica. • Distribuzione dei soli volumi d'acqua al campo strettamente necessari. • Priorità all'erogazione della risorsa idrica alle aziende che utilizzino sistemi informatici sul consiglio irriguo (Irrinet/Irriframe). • Per portate prossime a Q_{C1} si prevede l'accensione dei pozzi consortili. • Per portate prossime a Q_{C1} si prevede l'attingimento da pozzi privati, previo rilascio di eventuale autorizzazione 	<ul style="list-style-type: none"> • Garantire il deflusso ecologico e assicurare il monitoraggio dei prelievi. • Favorire nei canali consortili la disponibilità idrica nelle aree individuate come ricovero per la fauna ittica. • Valutare la necessità aumentare la frequenza dell'attività di monitoraggio chimico-fisico delle acque nei canali consortili.
Scenario di severità idrica media.	Portate in riduzione significativa e comprese tra Q_{C2} e Q_{C1} .	Importante e legato a tutte le colture che utilizzano sistemi irrigui che prevedono l'erogazione della risorsa a "pieno campo", cioè a pioggia.	<ul style="list-style-type: none"> • Gestione dell'esercizio irriguo attraverso un ordine di turnazione... • Erogazione prioritaria verso quelle tipologie di colture che subiscono maggiori danni dalla carenza idrica. • Distribuzione dei soli volumi d'acqua al campo strettamente necessari... • Priorità all'erogazione della risorsa idrica alle aziende che utilizzino sistemi informatici sul consiglio irriguo (Irrinet/Irriframe). • Utilizzo dei pozzi consortili 	<ul style="list-style-type: none"> • Garantire il deflusso ecologico e assicurare il monitoraggio dei prelievi. • Attività di monitoraggio chimico-fisico delle acque nei canali consortili. • Prevedere, qualora la disponibilità idrica non sia adeguata, il trasporto di specie ittiche autoctone in siti che ne garantiscano la sopravvivenza.

			<ul style="list-style-type: none"> • Prelievi da fonti alternative quali bacini naturali o pozzi privati, previo rilascio di eventuale autorizzazione. 	
Scenario di severità idrica alta.	Portate in fortissima riduzione e inferiori a Q_{c2} .	Importante e legato a tutte le colture anche a quelle che utilizzano sistemi irrigui di precisione a basso consumo d'acqua.	<ul style="list-style-type: none"> • Gestione dell'esercizio irriguo attraverso un ordine di turnazione... • Erogazione prioritaria verso quelle tipologie di colture che subiscono maggiori danni dalla carenza idrica • Distribuzione dei soli volumi d'acqua al campo strettamente necessari... • Priorità all'erogazione della risorsa idrica alle aziende che utilizzino sistemi informatici sul consiglio irriguo (Irrinet/Irriframe). • Utilizzo dei pozzi consortili • Prelievi da fonti alternative quali bacini naturali o pozzi privati, previo rilascio di eventuale concessione ed autorizzazione. • Richiesta di prelievo in deroga temporanea al DMV. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentata frequenza attività di monitoraggio chimico-fisico delle acque dei canali consortili. • Attività di monitoraggio delle specie bioindicatrici, nell'ambito del prelievo in deroga al DMV. • Prevedere, qualora la disponibilità idrica non sia adeguata, il trasporto di specie ittiche autoctone in siti che ne garantiscano la sopravvivenza. • Garantire graduale riduzione delle portate rilasciate in caso di deroghe al DMV per valutare man mano l'effettiva risposta dei sistemi alla diminuzione di portata.

Tabella 22 - Tabella Parametro-Impatto-Azione per distretto alimentato mediante pompaggio da fiume.

PRELIEVO MEDIANTE POMPAGGIO DA FIUME				
SCENARI DI SEVERITÀ	PARAMETRO	IMPATTO SU USO AGRICOLO	AZIONE PER COMPARTO AGRICOLO	MISURE AMBIENTALI
Situazione normale.	Portata prelevabile alla presa pari alla massima portata consentita da concessione Q_{cM} e dal livello del fiume XXX (livello idrometrico $\geq h_M$).	Nulla.	Nessuna.	Nessuna.
Scenario di severità idrica bassa.	Portate in riduzione e comprese tra Q_{c1} e Q_{cM} a causa del livello del fiume (livello idrometrico compreso tra h_1 e h_M).	Modesto e legato alle colture idroesigenti come il prato stabile irrigato a scorrimento e ai sistemi irrigui che prevedono l'erogazione della risorsa a "pieno campo", cioè a pioggia.	<ul style="list-style-type: none"> • Turnazione dell'esercizio irriguo con l'obiettivo di ridurre la dispersione naturale della rete di bonifica e degli invasi. • Privilegiare colture servite da sistemi irrigui di precisione o a basso consumo idrico. • Distribuzione al campo dei soli volumi d'acqua strettamente necessari a garantire il corretto completamento degli stati fenologici della coltura o la maturazione del prodotto. • Priorità all'erogazione della risorsa idrica alle aziende che utilizzano sistemi informatici che generano indicazioni a supporto della definizione dei volumi strettamente necessari alle colture (Irrinet/Irriframe). 	<ul style="list-style-type: none"> • Garantire il deflusso ecologico e assicurare il monitoraggio dei prelievi. • Favorire nei canali consortili la disponibilità idrica nelle aree individuate come ricovero per la fauna ittica. • Valutare la necessità di aumentare la frequenza dell'attività di monitoraggio chimico-fisico delle acque.
Scenario di severità idrica media.	Portate in riduzione significativa e comprese tra Q_{c2} e Q_{c1} a causa del livello del fiume (livello	Importante e legato a tutte le colture che utilizzano sistemi irrigui che prevedono l'erogazione della	<ul style="list-style-type: none"> • Turnazione dell'esercizio irriguo con l'obiettivo di ridurre la dispersione naturale della rete di bonifica e degli invasi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Garantire il deflusso ecologico e assicurare il monitoraggio dei prelievi. • Prevedere, qualora la disponibilità idrica non sia

	idrometrico compreso tra h_2 e h_1).	risorsa a “pieno campo”, cioè a pioggia.	<ul style="list-style-type: none"> • Erogazione prioritaria verso quelle tipologie di colture che subiscono maggiori danni dalla carenza idrica. • Privilegiare colture servite da sistemi irrigui di precisione o a basso consumo idrico. • Distribuzione al campo dei soli volumi d’acqua strettamente necessari a garantire il corretto completamento degli stati fenologici della coltura o la maturazione del prodotto. • Priorità all’erogazione della risorsa idrica alle aziende che utilizzano sistemi informatici che generano indicazioni a supporto della definizione dei volumi strettamente necessari alle colture (Irrinet/Irriframe). • Utilizzo dei pozzi Consortili 	<p>adeguata, il trasporto di specie ittiche autoctone in siti che ne garantiscano la sopravvivenza.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Attività di monitoraggio chimico-fisico delle acque. • Aumentata frequenza monitoraggio del livello piezometrico/della soggiacenza all’interno dei pozzi consortili.
Scenario di severità idrica alta.	Sospensione dei prelievi a causa del livello del fiume (livello idrometrico $\leq h_2$).	Importante e legato a tutte le colture anche a quelle che utilizzano sistemi irrigui di precisione a basso consumo d’acqua.	<ul style="list-style-type: none"> • Turnazione dell’esercizio irriguo con l’obiettivo di ridurre la dispersione naturale della rete di bonifica e degli invasi. • Erogazione prioritaria verso quelle tipologie di colture che subiscono maggiori danni dalla carenza idrica. • Riduzione progressiva sino alla completa sospensione delle irrigazioni a scorrimento per tutte le colture. • Privilegiare colture servite da sistemi irrigui di precisione o a basso consumo idrico. • Distribuzione al campo dei soli volumi d’acqua strettamente necessari a garantire il corretto completamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Garantire il deflusso ecologico in caso di mancato rilascio della deroga temporanea ed assicurare il monitoraggio dei prelievi. • Garantire graduale riduzione delle portate rilasciate in caso di deroghe al DMV per valutare man mano l’effettiva risposta dei sistemi alla diminuzione di portata. • Aumentata frequenza attività di monitoraggio chimico-fisico delle acque nei canali consortili. • Attività di monitoraggio delle specie bioindicatrici nell’ambito del prelievo in deroga al DMV.

			<p>degli stati fenologici della coltura o la maturazione del prodotto.</p> <ul style="list-style-type: none">• Priorità all'erogazione della risorsa idrica alle aziende che utilizzano sistemi informatici che generano indicazioni a supporto della definizione dei volumi strettamente necessari alle colture (Irrinet/Irriframe).• Utilizzo dei pozzi Consortili• Prelievi da fonti alternative quali bacini naturali, previo rilascio di eventuale concessione ed autorizzazione.• Richiesta di prelievo in deroga temporanea al DMV.	<ul style="list-style-type: none">• Prevedere, qualora la disponibilità idrica non sia adeguata, il trasporto di specie ittiche autoctone in siti che ne garantiscano la sopravvivenza.• Aumentata frequenza monitoraggio del livello piezometrico/della soggiacenza, all'interno dei pozzi consortili
--	--	--	---	---

Tabella 23 - Tabella Parametro-Impatto-Azione per distretto alimentato mediante prelievo da falde acquifere.

PRELIEVO DA FALDA DAGLI IMPIANTI CONSORTILI				
SCENARI DI SEVERITÀ	PARAMETRO	IMPATTO SU USO AGRICOLO	AZIONE PER COMPARTO AGRICOLO	MISURE AMBIENTALI
Situazione normale.	Portata media prelevabile da ogni impianto pari a Q_{cM} in condizioni di esercizio normale.	Nulla.	Nessuna.	Nessuna.
Scenario di severità idrica bassa.	Portate in riduzione a causa dell'abbassamento della quota di falda. Riduzione della luce di deflusso del pozzo per evitare effetti di cavitazione e sofferenza del sistema di pompaggio.	Importante e legato alle colture idroesigenti come il prato stabile e ai sistemi irrigui che prevedono l'erogazione della risorsa a "pieno campo", cioè a pioggia.	<ul style="list-style-type: none"> • Gestione dell'esercizio irriguo attraverso un ordine di turnazione... • Erogazione prioritaria verso quelle tipologie di colture che subiscono maggiori danni dalla carenza idrica. • Distribuzione dei soli volumi d'acqua al campo strettamente necessari... • Priorità all'erogazione della risorsa idrica alle aziende che utilizzino sistemi informatici sul consiglio irriguo (Irrinet/Irriframe). • Per portate prossime a Q_{c1} si prevede l'attingimento da pozzi privati, previo rilascio di eventuale autorizzazione. 	<ul style="list-style-type: none"> • Favorire nei canali consortili la disponibilità idrica nelle aree individuate come ricovero per la fauna ittica. • Assicurare il monitoraggio dei prelievi. • Valutare la necessità di aumentare la frequenza dell'attività di monitoraggio chimico-fisico delle acque nei canali consortili. • Valutare la necessità di aumentare la frequenza dell'attività di monitoraggio del livello piezometrico/della soggiacenza, all'interno dei pozzi consortili.
Scenario di severità idrica media.	Sospensione dei prelievi per ordinanze a causa di forte crisi idrica che metta a rischio gli usi extra-agricoli.	Importante e legato a tutte le colture anche quelle che utilizzano sistemi irrigui di precisione a basso consumo d'acqua.	<ul style="list-style-type: none"> • Prelievi da fonti alternative quali bacini naturali, previo rilascio di eventuale concessione. • Prelievi da bacini artificiali consortili eventualmente disponibili. • Richiesta di prelievo in deroga alla sospensione temporanea dei prelievi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoraggio dei prelievi. • Aumentata frequenza monitoraggio del livello piezometrico/della soggiacenza all'interno dei pozzi consortili. • Attività di monitoraggio chimico delle acque sotterranee nell'ambito del prelievo in deroga. • Prevedere, qualora la disponibilità idrica non sia adeguata, il trasporto

				di specie ittiche autoctone in siti che ne garantiscano la sopravvivenza.
--	--	--	--	---

4 Stesura del manuale operativo

La gestione del periodo di siccità deve essere accuratamente preparata ed organizzata e deve avvantaggiarsi di studi ed analisi preliminari volti a definire principi metodologici, parametri indicativi, impatti e misure di mitigazione. L'organizzazione e le operazioni da svolgersi devono essere esposte in un manuale operativo nel quale sono descritti gli attori e le azioni protagonisti della gestione del periodo di siccità.

Il manuale operativo deve comprendere i seguenti aspetti.

1. Modalità di formazione di un Gruppo di gestione della siccità (GSC) interno al Consorzio interessato. Identificazione della figura di Responsabile del gruppo, attribuzione delle funzioni agli incaricati dipendenti/utenti del Consorzio, identificazione delle figure di riferimento degli Enti statali di governo del territorio (Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po, Regione e Agenzie ambientali competenti).
2. Preparazione di una rappresentazione concettuale del sistema irriguo con evidenziati i punti di prelievo dell'acqua a cui sono associati i parametri caratterizzanti la scarsità idrica.
3. Predisposizione delle tabelle PIA relativamente a tutti i punti di prelievo della risorsa idrica.
4. Definizione delle attività di monitoraggio preliminari al periodo irriguo: a cura dei responsabili del servizio mediante l'individuazione dei database contenenti gli indici di siccità, individuazione dei portali dai quali dedurre informazioni di previsione per la stagione irrigua. Cadenza temporale da seguire per l'acquisizione delle informazioni.
5. Certificazione di potenziale rischio di siccità da parte del GSC: a cura dei responsabili del servizio con cadenza temporale da seguire per l'acquisizione dei valori degli indici di siccità.
6. Attuazione delle opportune azioni preliminari in previsione di rischio potenziale (Tabella 13, Tabella 14, Tabella 15, Tabella 16).
7. Definizione delle attività di monitoraggio nel periodo irriguo: a cura dei responsabili del servizio con cadenza temporale da seguire per l'acquisizione delle misure.
8. Valutazione della classe di siccità da effettuare a seguito delle risultanze della attività di monitoraggio nel periodo irriguo: a cura dei responsabili del servizio con cadenza temporale da seguire per l'aggiornamento della classe.
9. Attuazione delle opportune azioni di mitigazione degli impatti della scarsità idrica (Tabella 18, Tabella 21, Tabella 22, Tabella 23) in corso di evento.
10. Predisposizione, a fine periodo irriguo o dopo valutazione di cessato allarme siccità, delle azioni di mitigazione di tipo strutturale o miste (Tabella 20): definizione delle misure strutturali opportune, indagine per il reperimento dei fondi, preparazione dei progetti, impostazione delle richieste di finanziamento.

11. Compilazione del bilancio idrico a livello di distretto irriguo da effettuarsi a fine periodo irriguo e dopo il ricevimento dei valori dei fabbisogni da parte dei sistemi di consiglio irriguo (Tabella 17).

Indice figure

Figura 1 - Schema concettuale per il Consorzio della Bonifica Parmense.....	14
Figura 2 - Precipitazione cumulata annua, media annua nei tre periodi indagati e riduzione percentuale del valore medio (sx) e precipitazione cumulata annua e sua linea di tendenza (dx) sul territorio del Consorzio della Bonifica Parmense. Il valore di “m” rappresenta il coefficiente angolare della retta di regressione utilizzata come linea di tendenza.....	16
Figura 3 - Precipitazione cumulata stagionale (sx) e mensile (dx) mediata su due sotto-periodi di interesse sul territorio del Consorzio della Bonifica Parmense.....	17
Figura 4 - Numero di giorni piovosi per stagione (sx) e mensile (dx) mediato su due sotto-periodi di interesse sul territorio del Consorzio della Bonifica Parmense.....	17
Figura 5 - Andamento dell’indice normalizzato di livello statico per il pozzo PRA0-00, valori estremi di <i>IS</i> di segno positivo (linea verde) e negativo (linea rossa), fonte dato: Regione Emilia-Romagna.....	19
Figura 6 – Istogramma del volume irriguo richiesto dai differenti raggruppamenti colturali, nell’intera stagione irrigua, in un comprensorio del Consorzio della Bonifica Parmense.	32
Figura 7 – Percentuali dei volumi idrici utilizzati al campo e perdite e restituzioni.	35
Figura 8 - Percentuali del fabbisogno soddisfatto al campo con acqua distribuita dalla rete consortile e da altre fonti o non soddisfatto.	36

Indice tabelle

Tabella 1-Elenco dei possibili impatti ambientali.	2
Tabella 2 - Elenco dei possibili impatti economici.	3
Tabella 3- Elenco dei possibili impatti sociali.....	3
Tabella 4 - Classificazione della severità idrica in funzione del valore dell'indicatore SPI.	20
Tabella 5 - Classificazione della severità idrica puntuale in funzione del valore dell'indicatore SRI.	22
Tabella 6 – Parametri del regime idrologico utilizzati dal metodo IHA per lo studio dell'alterazione idrologica.	23
Tabella 7 - Environmental Flow Components definiti nell'ambito della metodologia IHA.	24
Tabella 8 - Classificazione della severità idrica puntuale in funzione del valore dell'indicatore SSPI.	25
Tabella 9 - Esempio di matrice di correlazione $SPI_n(m_a) - Qa_{min}$	28
Tabella 10 - Classificazione della severità idrica puntuale in funzione del valore dell'indicatore SAI.	29
Tabella 11 - Classi di raggruppamento dei Decili.	29
Tabella 12 - Parametri di scarsità e siccità idrica.	39
Tabella 13 - Esempi di azioni per la riduzione di rischi potenziali.	40
Tabella 14 - Impatti prevedibili e azioni preventive (gestionali e ambientali) dopo un riscontro di scarsità idrica nei mesi da ottobre a marzo ($SPI6 < -1$, $SPEI6 < -1$ di marzo). Tra parentesi è riportato l'anno (a partire dal 2000) nel quale tale classe di scarsità idrica si è verificata nel territorio del Consorzio della Bonifica Parmense. Le azioni sono orientate a fronteggiare una potenziale carenza di risorsa idrica superficiale.....	43
Tabella 15 - Impatti prevedibili e azioni preventive (gestionali e ambientali) dopo un riscontro di scarsità idrica nel mese di marzo, nei 12 mesi da aprile dell'anno precedente a marzo ($SPI12 < -1$, $SPEI12 < -1$ di marzo). Tra parentesi è riportato l'anno (a partire dal 2000) nel quale tale classe di scarsità idrica si è verificata nel territorio del Consorzio della Bonifica Parmense. Le azioni sono orientate a fronteggiare una potenziale carenza di risorsa idrica sotterranea.....	44
Tabella 16 - Impatti prevedibili e azioni preventive (gestionali e ambientali) dopo un riscontro di scarsità idrica nel mese di marzo, nei 24 mesi da aprile di due anni precedenti a marzo ($SPI24 < -1$, $SPEI24 < -1$ di marzo). Tra parentesi è riportato l'anno (a partire dal 2000) nel quale tale classe di scarsità si è verificata nel territorio del Consorzio della Bonifica Parmense. Le azioni sono orientate a fronteggiare una probabile carenza di risorsa idrica sotterranea.	45
Tabella 17 - Schema di tabella a consuntivo per la valutazione quali-quantitativa della annata irrigua sulla base di $SPI6$ e $SPEI6$ del mese di settembre. Tra parentesi è riportato l'anno (a partire dal 2000) nel quale tale classe di scarsità si è verificata nel territorio del Consorzio della Bonifica Parmense. I volumi dei fabbisogni e dei prelievi contenuti in tabella sono riportati a titolo di esempio.	47
Tabella 18 - Azioni preventive per il risparmio idrico e la riduzione della domanda	49
Tabella 19 - Azioni per il risparmio idrico in agricoltura.....	50
Tabella 20 - Misure di mitigazione di tipo strutturale	50

Tabella 21 - Tabella Parametro-Impatto-Azione per distretto alimentato da presa mediante traversa fluviale.	52
Tabella 22 - Tabella Parametro-Impatto-Azione per distretto alimentato mediante pompaggio da fiume.	54
Tabella 23 - Tabella Parametro-Impatto-Azione per distretto alimentato mediante prelievo da falde acquifere.	57

Bibliografia

- AdBPo (2016). Piano del Bilancio Idrico per il Distretto del fiume Po - Allegato 3 alla Relazione Generale (Piano per la gestione delle siccità e Direttiva Magre).
- Barbero, 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.
- 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.
- Braca, G., Ducci, D. (2018). Development of a GIS Based Procedure (BIGBANG 1.0) for Evaluating Groundwater Balances at National Scale and Comparison with Groundwater Resources Evaluation at Local Scale. In Groundwater and Global Change in the Western Mediterranean Area, Calvache, M.L., Duque, C., Pulido-Velazquez, D. (Eds.), Springer, January 2018.
- Beguería, 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. *Int. J. Climatol.*, 34: 3001-3023.
- Cammalleri, C., Arias-Muñoz, C., Barbosa, P., de Jager, A., Magni, D., Masante, D., Mazzeschi, M., McCormick, N., Naumann, G., Spinoni, J., Vogt, J. (2021). A revision of the Combined Drought Indicator (CDI) used in the European Drought Observatory (EDO), *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 21, 481–495.
- Christensen, O., Christensen, J. (2007). A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change* 81, 7–30.
- Copernicus Global Land Service (2021). Tratto da <https://land.copernicus.eu/global/>
- EDO (2017). Tratto da <https://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1010>
- Faergman, H. (2012). Update on water scarcity and droughts indicator development. Presented at the Water Director's Meeting, 4–5 June 2012, Denmark.
- Gibbs, W., & Maher, J. (1967). Rainfall Deciles as Drought Indicators. Bureau of Meteorology Bulletin No. 48, Melbourne, Australia.
- 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).

- Gobron, N., Pinty, B., Mélin, F., Taberner, M., Verstraete, M., Robustelli, M., & Widlowski, J.-L. (2007). Evaluation of the MERIS/ENVISAT fAPAR Product. *Advances in Space Research*, 39, 105–115.
- Hargreaves, G., Samani, Z. (1982). Estimating potential evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 108, 225–230.
- ISPRA (2018). Marani, S., Braca, G., Romano, E., Lastoria, B., Bussettini, M. Linee Guida sugli Indicatori di Siccità e Scarsità Idrica da utilizzare nelle attività degli Osservatori Permanenti per gli Utilizzi Idrici - Stato Attuale e Prospettive Future.
- Karl, T., Nicholls, N., Ghazi, A. (1999). CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes Workshop summary. *Climatic Change*, 42, 3-7.
- Kendall, M. (1975). *Rank Correlation Methods*. Griffin, Londra.
- Knutson, C., Hayes, M., Phillips T., 1998. How to Reduce Drought Risk. Report of the Preparedness and Mitigation Working Group of Western Drought Coordination Council.
- Mann, H. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13 (2).
- McKee, T., Doesken, N., Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, American Meteorological Society.
- MiPAAF, 2015. Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali. Tavolo permanente per la quantificazione dei volumi irrigui (articolo 3 del D.M. MIPAAF 31 luglio 2015). Metodologie di stima dei volumi irrigui (prelievi, utilizzi e restituzioni).
- NASA (2021). MODIS Vegetation Index Products (NDVI and EVI). Tratto da <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod13.php>
- Percopo C., Brandolin D., Canepa M., Capodaglio P., Cipriano G., Gafà R., Iervolino D., Marcaccio M., Mazzola M., Mottola A., Sesia E., Testa M. (2017). Criteri tecnici per l'analisi dello stato quantitativo e il monitoraggio dei corpi idrici sotterranei - ISPRA – Manuali e Linee Guida 157/2017. Roma.
- Rinaldi, M., Belletti, B., Comiti, F., Nardi, L., Mao, L., Bussettini, 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.
- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., Bussettini, 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.
- Romano, E., Del Bon, A., Pietrangeli, A., Preziosi, E. (2013). Generating synthetic time series of springs discharge in relation to standardized precipitation indices. Case study in Central Italy. *J. Hydrol.* 2013, 507.

- Seneviratne, S. I., T. Corti, E. L. Davin, M. Hirschi, E. B. Jaeger, I. Lehner, B. Orlowsky, A. J. Teuling (2010). Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Sci. Rev.*, 99, 125–161.
- Sepulcre-Canto, G., Horion, S., Singleton, A., Carrao, H., Vogt, J. (2012). Development of a Combined Drought Indicator to detect agricultural drought in Europe. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12.
- Shukla, S., Wood, A. (2008). Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophys. Res. Lett.* 2008.
- The Nature Conservancy. (2009). Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1 – User's Manual.
- Thorntwaite, C.W. (1948). An approach towards a rational classification of climate. *Geogr. Rev. Americ. Geoph. Soc.*, 55, 94.
- 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.
- Vicente-Serrano, S., Beguería, S., López-Moreno, J. (2010). A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 23.
- WMO. (2012). Standardized Precipitation Guide User Guide. WMO-No. 1090. World Meteorological Organization.
- WMO, W., GWP, G. (2016). Handbook of Drought Indicators and Indices. Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva.
- Zinoni, F., Marletto, V. (2003). Prime valutazioni di un nuovo indice di siccità agricola. Atti convegno Aiam 2003, Bologna 24-25 maggio.