



Autorità di Bacino
Distrettuale del Fiume Po



UNIVERSITÀ
DI PARMA

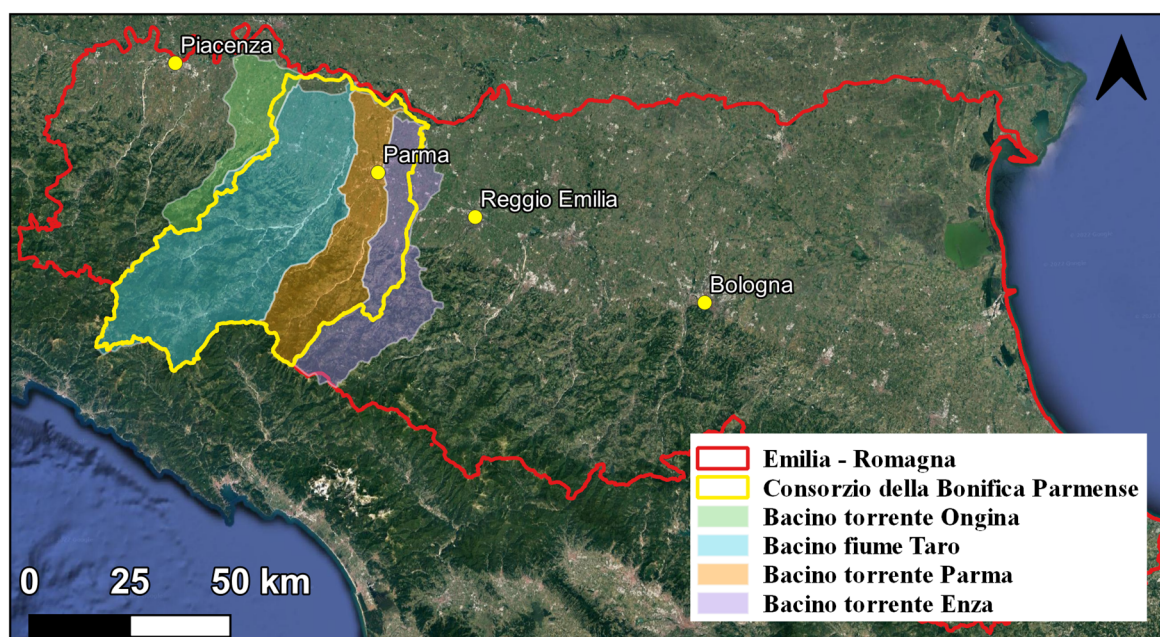


Accordo di collaborazione ex art. 15, L. 241/1990 per definire il primo Piano di Gestione delle Siccità - Siccidrometro - nel comprensorio del Consorzio di Bonifica Parmense

Azione III - Rappresentazione delle criticità

**Azione IV - Definizione di: Azioni di mitigazione - Misure
gestionali - Misure strutturali**

*Rapporto di sintesi bibliografica sugli indicatori di siccità, sulle
criticità e della relazione tra esse e gli indicatori di siccità, sugli
impatti, le cause degli impatti, la classificazione degli impatti e sulle
azioni di mitigazione*



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 III – Rappresentazione delle criticità

Azione IV – Definizioni di: Azioni di mitigazione – Misure gestionali – Misure strutturali

Rapporto di sintesi bibliografica sugli indicatori di siccità, sulle criticità e della relazione tra esse e gli indicatori di siccità, sugli impatti, le cause degli impatti, la classificazione degli impatti e sulle azioni di mitigazione.

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

Sommario

1	Premessa	1
2	Analisi bibliografica degli indici di siccità e scarsità idrica	4
2.1	Standardized Precipitation Index (SPI)	4
2.2	Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)	5
2.3	Consecutive Dry Days (CDD)	6
2.4	Standardized Runoff Index (SRI)	6
2.5	Indicator of Hydrologic alteration (IHA)	7
2.6	Standardized SnowPack Index (SSPI)	9
2.7	Water Exploitation Index Plus (WEI+)	10
2.8	Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Solar Radiation (fAPAR)	11
2.9	Combined Drought Indicator (CDI)	12
2.10	Spring Anomaly Index (SAI)	13
2.11	Soil Moisture Index (SMI)	14
2.12	Decili	14
2.13	Deficit Traspirativo (DTx)	14
2.14	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	15
3	Inquadramento territoriale	17
4	Indici di siccità e scarsità idrica per l'area di studio	21
4.1	Standardized Precipitation Index (SPI)	21
4.2	Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)	29
4.3	Consecutive Dry Days (CDD)	34
4.4	Standardized Runoff Index (SRI)	35
4.5	Indicator of Hydrologic alteration (IHA)	36
4.6	Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Solar Radiation (fAPAR)	41
4.7	Combined Drought Indicator (CDI)	45
5	Identificazione delle relazioni tra indici di siccità, criticità e impatti	50
6	Proposta di soglie di criticità, impatti e azioni di mitigazione	63

7	Interventi strutturali recenti e di futura attuazione da parte del Consorzio della Bonifica Parmense....	106
7.1	Progetti a scopo irriguo.....	106
7.1.1	Opere di adeguamento dell'impianto irriguo di presollevamento dal fiume Po a foce Ongina, in seguito al continuo abbassamento dei livelli idrometrici di magra durante il periodo estivo.....	108
7.1.2	Ammodernamento, adeguamento migliorativo ed efficientamento del comprensorio irriguo Ongina - 1° Stralcio	108
7.1.3	Interventi di efficientamento della gestione degli impianti di emungimento delle acque ad uso irriguo, volti al risparmio idrico attraverso l'implementazione di sistemi di misurazione e telecontrollo	109
7.1.4	Realizzazione della condotta per l'invaso del bacino 4 di Medesano per lo scarico nel Rio Canalazzo	110
7.1.5	Condotta di distribuzione in pressione dell'acqua dagli invasi irrigui di Medesano n. 1, 2 e 3	111
7.1.6	Interventi di risparmio idrico, adeguamento migliorativo ed efficientamento di sistemi integrati di telecontrollo del comprensorio irriguo Sanvitale - 1° Stralcio	112
7.1.7	Interventi di ammodernamento e adeguamento migliorativo del canale irriguo Ottomulini e impianti di presa e sollevamento	113
7.1.8	Realizzazione cassa di espansione sul canale Fossetta Alta con potenziale utilizzo anche irriguo	114
7.1.9	Miglioramento e adeguamento del sistema di adduzione delle reti di distribuzione esistenti nel comprensorio irriguo del Canale Naviglio, mediante riabilitazione funzionale attraverso relining della condotta irrigua di dorsale in C.A. Casino-Travacone, adduttrice principale delle acque sollevate dal T. Parma all'impianto del Casino di Colorno (PR) e sostituzione di fatiscenti ed obsolete canalette irrigue di dorsale a cielo aperto con tubazioni interrate a bassa pressione.....	115
7.1.10	Sistemazione idraulica del compartimento dei canali Naviglia, Canaletto, Burla e Terrieri zona Est, Sud-Est di Parma e Sorbolo Mezzani, con adeguamento funzionale dei canali efferenti - 1° Stralcio	116
7.2	Ipotesi progettuali di potenziamento del servizio irriguo	118
7.2.1	3° Sollevamento di Semoriva	118
7.2.2	Potenziamento rete di distribuzione di Copezzato.....	118
7.2.3	Adeguamento impianto di Sant'Andrea	119
7.2.4	Proposta di nuovo impianto di sollevamento sul Torrente Enza	119

7.2.5	Gestione del territorio di Zolle e Zollette	120
7.2.6	Impermeabilizzazione dei tratti più permeabili del Canale della Spelta.....	120
7.2.7	Sostituzione dell'attuale canaletta a cielo aperto di Vignale	121
7.2.8	Sostituzione delle fatiscenti ed obsolete canalette irrigue nel territorio di Sissa-Trecasali ...	121
7.2.9	Potenziamento del territorio servito in località Paroletta attraverso il Canale Paroletta n°1 di Fontanellato	122
7.3	Ipotesi di fonti alternative di approvvigionamento idrico a scopo irriguo	123
7.3.1	Bacini naturali ex-cave	123
7.3.2	Casse di espansione	124
7.3.3	Allargamento del territorio irriguo servito dal Cavo Gandiolo	125
7.3.4	Recupero acque di scarico trattate	125
Appendice A.....		126
Appendice B		140
Appendice C		154
Appendice D.....		156
Appendice E		160
Indice figure.....		164
Indice tabelle		170
Bibliografia.....		174

1 Premessa

Il presente lavoro si inquadra nell'ambito di un 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 il primo Piano di Gestione delle Siccità (nel seguito definito SiccIDROMETRO) del Distretto idrografico padano. Nello specifico, il SiccIDROMETRO pilota, definito a scala sub-distrettuale, sarà implementato per il comprensorio gestito dal Consorzio della Bonifica Parmense (CdBP). L'obiettivo è quello di costituire uno strumento di accertamento e gestione dello stato di emergenza per siccità nell'area di studio, minimizzandone al contempo gli impatti sul sistema socio-economico ed ambientale. Le esperienze maturate dallo studio sul comprensorio pilota permetteranno quindi lo sviluppo di Linee Guida di valenza distrettuale per l'implementazione di Piani analoghi in altri territori del Distretto. Per una analisi più esaustiva dei fenomeni siccitosi e al fine di un più efficace inquadramento climatico, delle risorse e riserve idriche del comprensorio del CdBP, si ritiene di estendere le valutazioni ai bacini idrografici dei corsi d'acqua di interesse: bacino del fiume Taro e bacini dei torrenti Enza, Parma ed Ongina (Aree di Interesse, di seguito riportate come AI).

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 (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
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 indici 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;
 - autorizzazione all'uso di pozzi privati per l'alimentazione dei canali consortili;
 - autorizzazione ai prelievi in deroga al DMV;
 - 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 regolazione della 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), da questo si evince l'importanza di definire un piano di gestione, interventi di mitigazione e politiche di prevenzione.

2 Analisi bibliografica degli indici di siccità e scarsità idrica

La strategia consigliata per lo studio dei fenomeni siccitosi, sia a livello internazionale (WMO & GWP, 2016) che europeo (EDO, 2017) e ancora a livello nazionale (ISPRA, 2018), è il monitoraggio dei parametri climatici e idrologici che influenzano questi fenomeni. Poiché essi sono particolarmente complessi e dipendono contemporaneamente da più variabili, sono stati definiti 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*. Per questa motivazione, sulla base degli studi condotti a livello nazionale, si sono individuati una serie di indici che possono concorrere alla caratterizzazione del fenomeno siccitoso e alla gestione della risorsa idrica dei territori di riferimento.

I paragrafi che seguono descrivono alcuni di questi indici, 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.

2.1 Standardized Precipitation Index (SPI)

Lo Standardized Precipitation Index (SPI) (McKee et al., 1993; WMO, 2012; 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. Quest'ultimo 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, 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
$SPI \geq 2$	Umidità estrema
$1.5 \leq SPI < 2$	Umidità severa
$1.0 \leq SPI < 1.5$	Umidità moderata
$-1.0 < SPI < 1.0$	Media climatologica
$-1.5 < SPI \leq -1.0$	Siccità moderata
$-2.0 < SPI \leq -1.5$	Siccità severa
$SPI \leq -2.0$	Siccità estrema

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:

- lo 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;
- lo 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;
- lo 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.

2.2 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 potenziale. 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:

$$D = P - ETP \quad (1)$$

dove P e ETP sono rispettivamente la precipitazione cumulata (in mm) e l'evapotraspirazione potenziale cumulata (in mm) 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 e 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.

2.3 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).

2.4 Standardized Runoff Index (SRI)

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 informazioni 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 una serie di portate medie mensili adeguatamente lunga.

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
$SRI \geq 1.65$	Umidità estrema
$1.28 \leq SRI < 1.65$	Umidità severa
$0.84 \leq SRI < 1.28$	Umidità moderata
$-0.84 < SRI < 0.84$	Media climatologica
$-1.28 < SRI \leq -0.84$	Siccità moderata
$-1.65 < SRI \leq -1.28$	Siccità severa
$SRI \leq -1.65$	Siccità estrema

2.5 Indicator 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.

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.

Un secondo livello di analisi comporta l'interpretazione dei valori di alcuni dei parametri elencati nella 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).

In base a questi parametri, il metodo IHA prevede la loro gestione mediante un software specifico ai fini di una caratterizzazione idrologica del corso d'acqua.

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	Entità e durata delle condizioni estreme del deflusso durante l'anno
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	
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	Temporalità delle condizioni estreme
24	Indice del deflusso di base (portata minima7gg/portata media annuale)	
25	Data (calendario giuliano) della portata massima giornaliera	
26	Data (calendario giuliano) della portata minima giornaliera	Frequenza e durata dei “picchi” di portata
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	
29	Numero di periodi di portata elevata (morbide) negli anni di osservazione (superamento per eccesso di un valore di soglia)	Tasso di variazione e frequenza dei cambiamenti delle condizioni di deflusso
30	Durata media o mediana dei periodi di portata elevata	
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	

Tabella 7 – Environmental Flow Components definiti nell’ambito della metodologia IHA.

Deflussi di base (mensili)	Portata media o mediana mensile storica (10 valori)
Magre estreme	Frequenza numero di periodi 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

2.6 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’SPI viene calcolato come lo SPI, utilizzando però come variabile l’equivalente in acqua della neve (Snow Water Equivalent, SWE). In breve, l’SPI 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
$SSPI \geq 2.0$	Umidità estrema
$1.5 \leq SSPI < 2.0$	Umidità severa
$1.0 \leq SSPI < 1.5$	Umidità moderata
$-1.0 < SSPI < 1.0$	Media climatologica
$-1.5 < SSPI \leq -1.0$	Siccità moderata
$-2.0 < SSPI \leq -1.5$	Siccità severa
$SSPI \leq -2.0$	Siccità estrema

2.7 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.

$$WEI+ = \frac{\text{Consumo della risorsa idrica}}{\text{Risorsa idrica rinnovabile}} = \frac{\text{Prelievo} - \text{Restituzione}}{\text{Risorsa idrica rinnovabile}} \times 100 \% \quad (2)$$

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:

$$RWR_{\Delta t} = P_{\Delta t} - Eta_{\Delta t} + ExIn_{\Delta t} - \Delta S_{\Delta t} \quad (3)$$

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.

2.8 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; ISPRA, 2018) 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 per 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 (Copernicus Global Land Service, 2021) con grigliati da 300 m x 300 m e 1 km x 1 km.

A partire delle mappe di fAPAR è possibile costruire l'anomalia di fAPAR, 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 definirlo rispetto una condizione media. Il parametro rappresentativo dello stato di stress della vegetazione è il $fAPAR_{anomaly}$, calcolato come:

$$fAPAR_{anomaly}_t = \frac{X_{\Delta t} - \bar{X}}{\delta} \quad (4)$$

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 soprattutto 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).

2.9 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.

2.10 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;
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 $Q_{\text{forecast}}^{\min}$, 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 $Q_{\text{forecast}}^{\min}$, valutando la severità idrica puntuale per l'anno idrologico corrente secondo quanto riportato in Tabella 10.

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

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

2.11 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 (AdBPo, 2016).

2.12 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 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

2.13 Deficit Traspirativo (DTx)

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 DTx, o deficit traspirativo integrato, calcolato su periodi precedenti di adeguata durata (30, 60, ..., 180 giorni), la cui espressione è:

$$DTx = \sum_{oggi-x}^{oggi} (T_m - T_e) \quad (5)$$

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 DTx 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 DTx 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.

2.14 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:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (6)$$

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. Tale approccio è utilizzato anche in Emilia-Romagna per il monitoraggio di fenomeni di siccità in ambito montano; i dati acquisiti provengono dal sensore MODIS, montato sui satelliti AQUA e TERRA della NASA, a risoluzione geometrica di 231 m x 231 m. Questa dimensione del pixel ben si adatta al monitoraggio forestale poiché presenta ampie estensioni omogenee.

Per maggiori informazioni a livello regionale si rimanda al bollettino delle anomalie NDVI per il monitoraggio della siccità al link <https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/siccita/rapporti-e-bollettini/bollettini-stato-vegetazione-forestale/bollettini-stato-vegetazione-forestale>.

3 Inquadramento territoriale

Il “SiccIDROMETRO” viene definito con riferimento al comprensorio pilota del Consorzio della Bonifica Parmense (a seguire CdBP, Figura 1). Tale comprensorio si estende su una superficie di 324563 ha di cui 105489 ha sono ad una quota inferiore a 200 m s.l.m. (territorio di pianura in Figura 1).

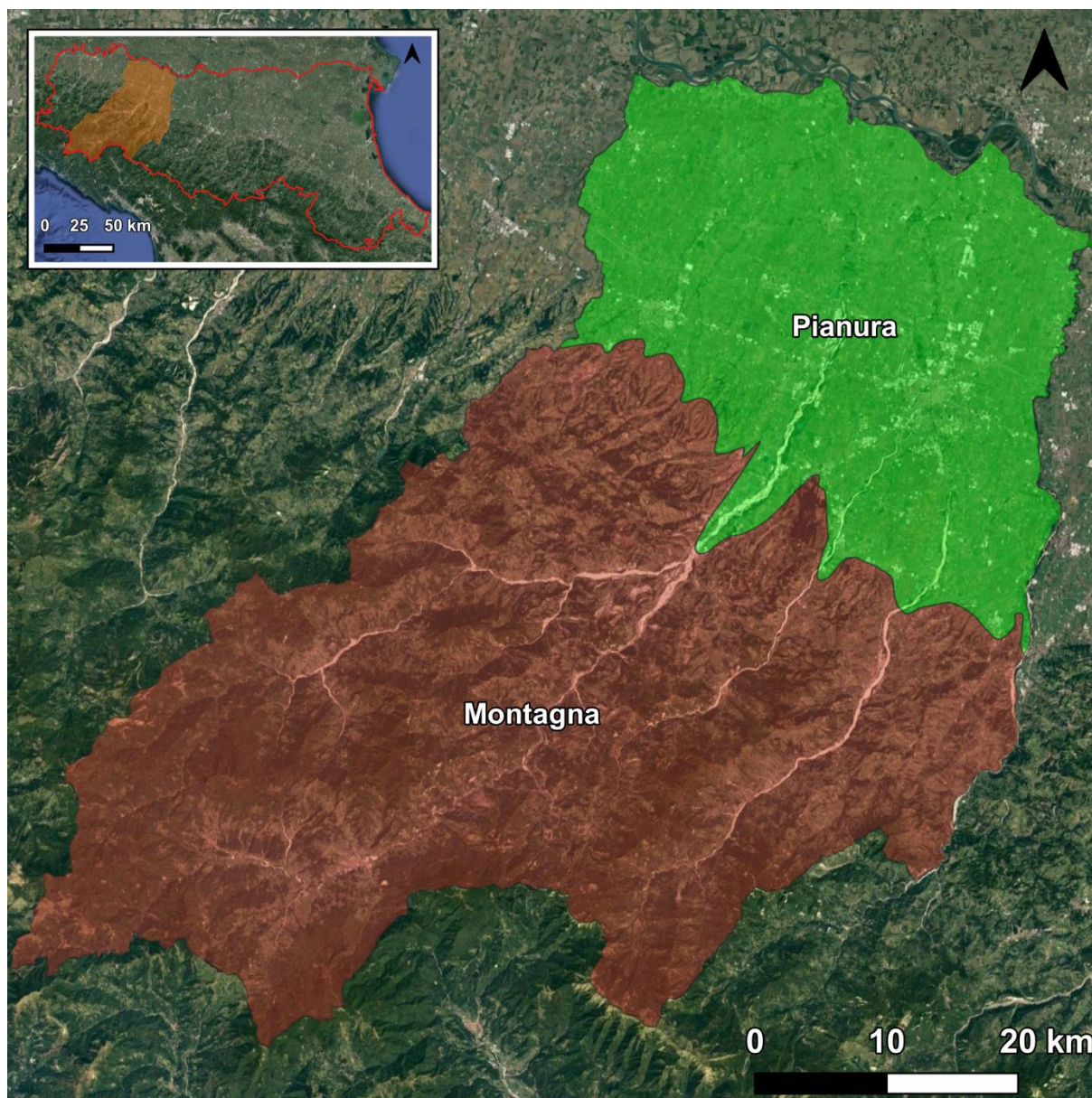


Figura 1 – Inquadramento del territorio del CdBP all’interno del confine regionale (riquadro) e suddivisione del CdBP in zona di montagna e di pianura.

Il comprensorio del CdBP è suddiviso in 8 comprensori irrigui (Figura 2), ognuno dei quali è omogeneo per tipologia di asservimento e per dotazione di infrastrutture a fini irrigui. Nello specifico i comprensori sono: Ongina, San Vitale - San Carlo - San Genesio, Sissa - Trecasali, Galasso - Lorno, San Siro, Naviglio Navigabile, Gambalone - Naviglia - Casaltone e Spelta.

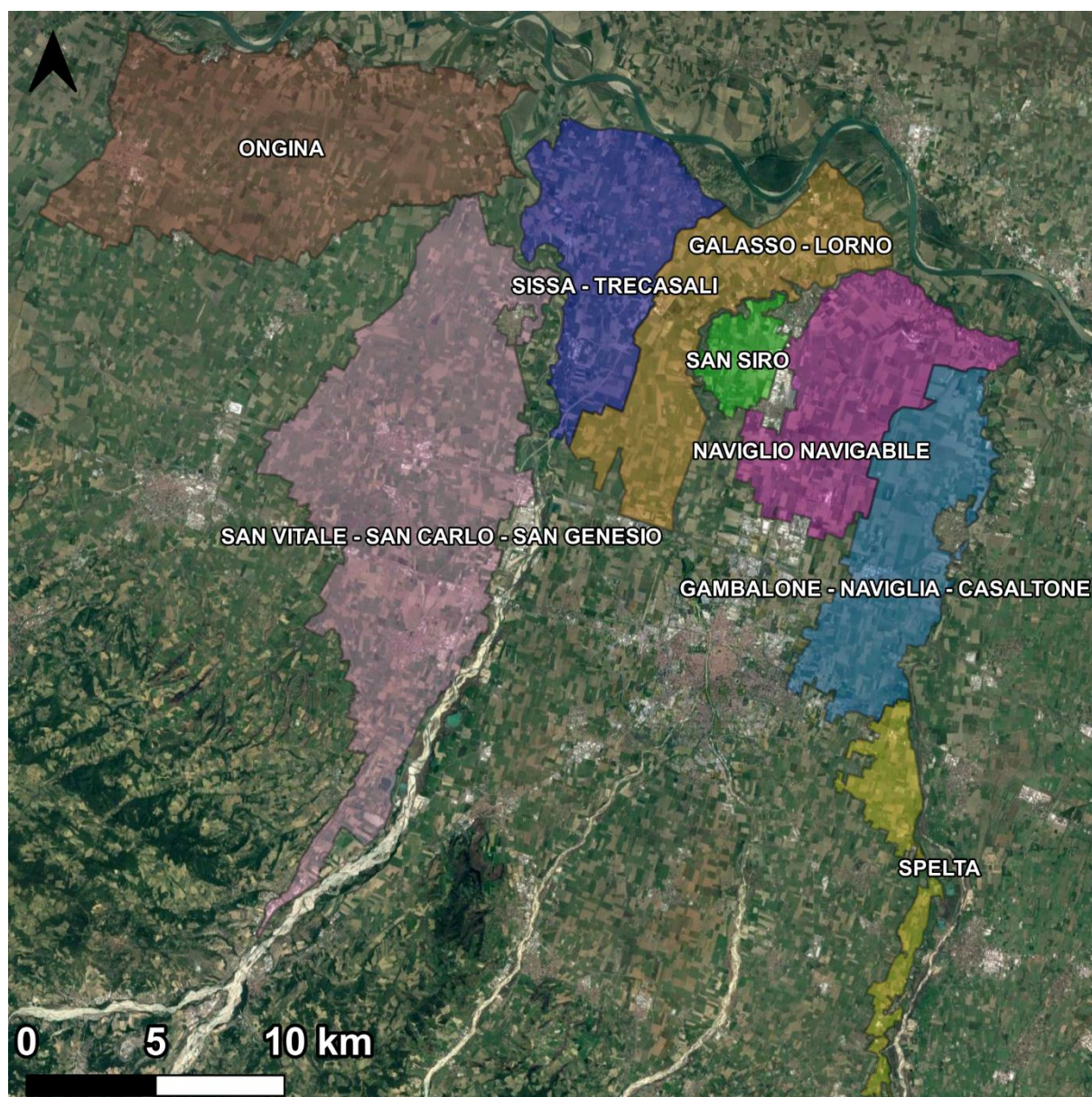


Figura 2 – Comprensori irrigui del Consorzio della Bonifica Parmense.

Per l'analisi del territorio ai fini dello studio delle condizioni di siccità, risulta rilevante anche la gestione della risorsa idrica da parte di Consorzi privati¹ (Figura 3) i cui territori ricadono all'interno del confine del CdBP. I Consorzi privati in questione sono: Società del Canale di Collecchio, Società del Canale di Felino, Società del Canale di Giarola, Società del Canale di San Michele e Torrechiara, Società del Canale Maggiore, Società del Canale Rondello, Società del Canaletto di Sala Baganza, Società del Cavo Zolletta, Società degli Utenti delle acque del Canale Naviglio Taro, Società del Canale degli Otto Mulini, Società del Canale Rauda, Società Canaletta di Santa Maria del Piano, Società Canaletta dei Rossi, Società del Canale Comune di Parma e Società della Canaletta di Mamiano e Monticelli.

¹ Non in gestione al CdBP.

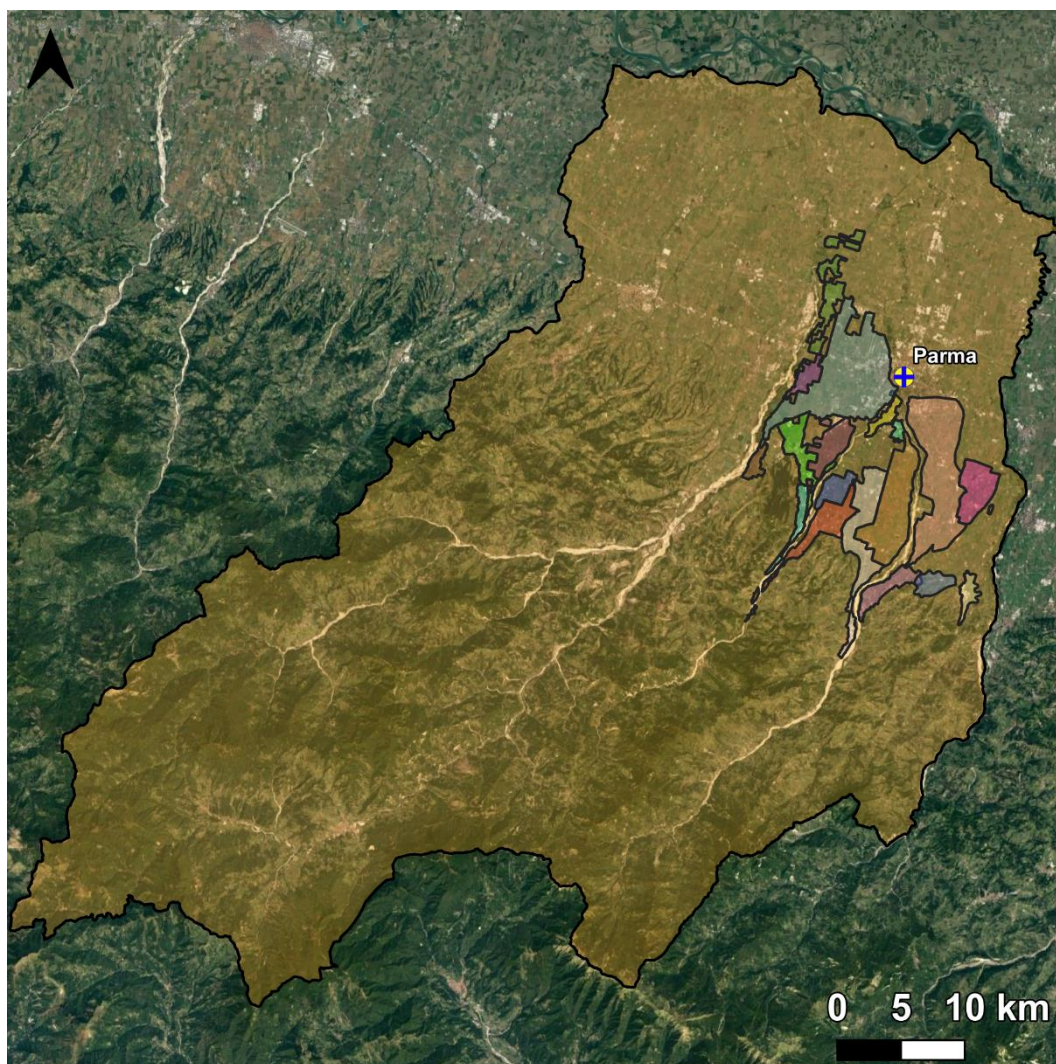


Figura 3 – Rappresentazione dei consorzi privati all'interno del CdBP (arancione).

Per una più immediata rappresentazione del sistema irriguo, si riporta in Figura 4 uno schema concettuale in cui sono rappresentati i distretti irrigui, le rispettive fonti di approvvigionamento, le restituzioni e gli scambi tra comprensori limitrofi. In Figura 4, i comprensori irrigui (rettangoli) sono colorati in arancione quando serviti da sole fonti idriche superficiali e in verde nel caso si aggiungano anche gli apporti da acque sotterranee. Il percorso dei corsi d'acqua superficiali è riassunto da frecce blu per i fiumi e torrenti principali, da frecce tratteggiate in blu ceruleo per i canali del CdBP che collegano differenti comprensori e da frecce tratteggiate gialle per i canali gestiti dai consorzi privati ma che servono anche il territorio del CdBP. Con le frecce azzurre è poi rappresentata l'alimentazione da falda sotterranea. Sono riportati anche i nomi delle prese da acqua superficiale e da falda. Altre fonti sono rappresentate dagli scarichi dei depuratori e delle aziende riportati nel grafico con frecce rosse.

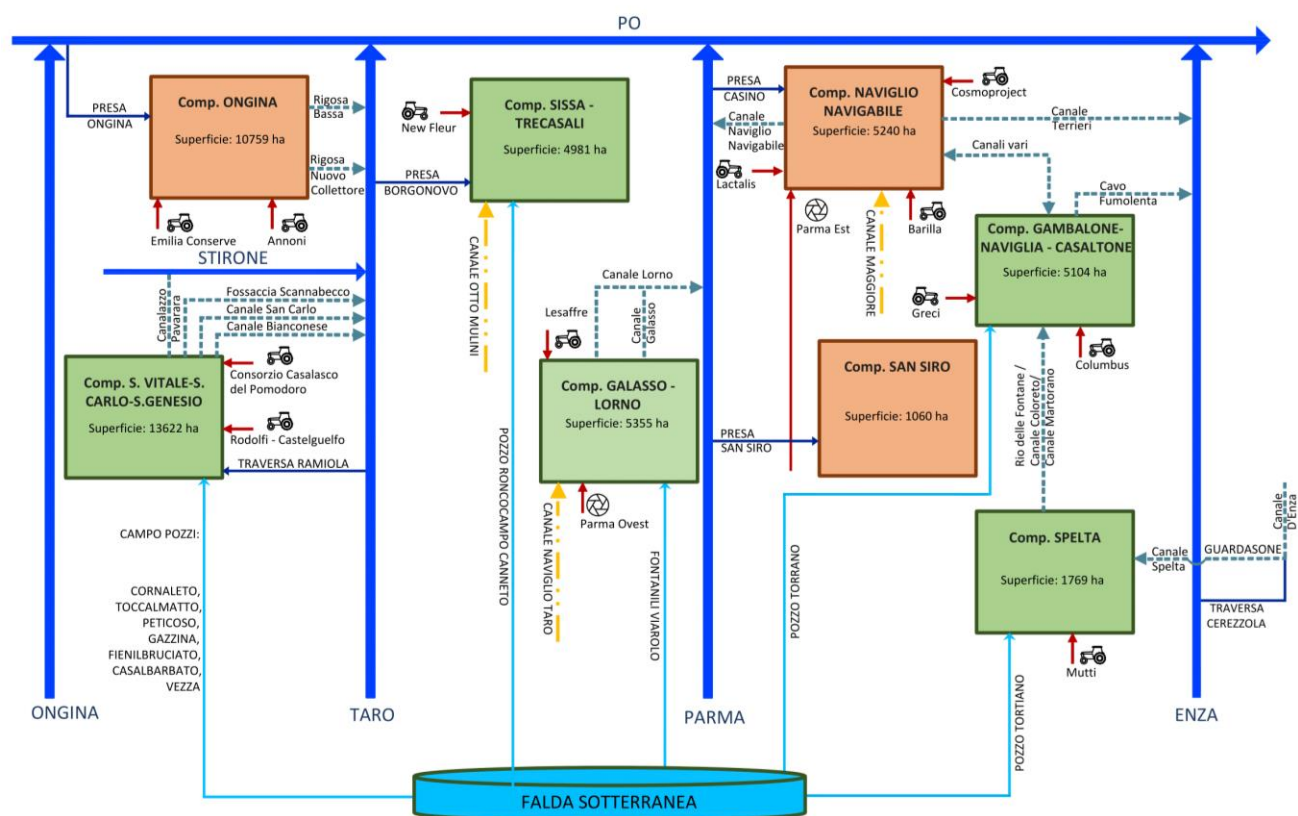


Figura 4 – Rappresentazione concettuale dei comprensori irrigui presenti nel territorio del CdBP con le fonti idriche di alimentazione (compresi depuratori e scarichi aziendali), le restituzioni e gli scambi tra comprensori limitrofi.

4 Indici di siccità e scarsità idrica per l'area di studio

Dall'analisi bibliografica sugli indici di siccità, si evince che questi sono molto vari e si basano su dati di input differenti. Spesso la problematica maggiore è la mancanza di dati affidabili relativi a determinate grandezze o l'impossibilità di disporre di una serie storica abbastanza lunga da avere rilevanza statistica. Ad esempio, nelle AI in esame si sono riscontrate difficoltà nel reperire dati piezometrici ben distribuiti su finestre temporali sufficientemente lunghe, così come serie di livelli idrici o portate continue nel tempo per tutte le sezioni di interesse. Altra problematica da non sottovalutare è la difficoltà computazionale associata al calcolo di alcuni indici che 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, specie quando l'area in studio è limitata e eterogenea.

Per una combinazione di queste motivazioni non è stato possibile utilizzare nella totalità gli indici elencati nel Capitolo 2. Gli indici di siccità e scarsità idrica valutabili e ritenuti più opportuni per descrivere le condizioni di crisi del territorio interessato sono quindi: SPI, SPEI, SRI, CDD, fAPAR, CDI e alcuni parametri del metodo IHA. Per ognuno di essi vengono riportati nel seguito la fonte dei dati di input, le formulazioni specifiche utilizzate per il calcolo e i risultati ottenuti.

4.1 Standardized Precipitation Index (SPI)

Per il calcolo dell'indice SPI sono necessari i soli dati di precipitazione. I dati utilizzati derivano dal progetto Eraclito, il quale mette a disposizione i dati di precipitazione, temperatura minima e temperatura massima su tutto il territorio regionale dell'Emilia-Romagna, con cadenza giornaliera dal 1961 al 2018 (in fase di aggiornamento); tali dati sono prodotti dall'Osservatorio del clima ARPA (Antolini, et al., 2016). Il progetto Eraclito fa riferimento a 1024 punti di interpolazione, che possono ritenersi i baricentri di una griglia regolare di 5 km di lato. Nel presente studio sono stati considerati un numero di punti inferiore pertinente alle sole AI. Il grande vantaggio associato all'utilizzo del dataset presentato è che permette il calcolo dell'indice sia a livello di cella che a livello delle AI (tramite media pesata, con i pesi definiti in relazione all'estensione dell'area di influenza di ogni cella). Nel presente capitolo verranno riportati i risultati relativi al solo territorio del CdBP, si rimanda all' Appendice A per i risultati ottenuti per le restanti AI.

Secondo il World Meteorological Organization, l'analisi è considerata statisticamente rilevante se si hanno a disposizione almeno 30 anni di misure di precipitazione (WMO, 2012); una climatologia più robusta porta ad una conseguente maggiore affidabilità statistica dell'indice. Avendo a disposizione 58 anni di dati (1961-2018), si è sicuramente in una situazione particolarmente vantaggiosa per l'utilizzo di questo indice.

Per ciascuna cella analizzata, la serie storica di precipitazione aggregata è stata interpolata mediante la distribuzione di probabilità teorica Gamma (ISPRA, 2018). Sia X la serie temporale di precipitazione (periodo 1961-2018) costituita da n osservazioni aggregate al passo temporale t (sono stati considerati i periodi di 1, 3,

6, 12 e 24 mesi) e x la variabile precipitazione (mm). Per ogni $x > 0$, la distribuzione gamma $g(x)$ è così definita:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (7)$$

dove $\alpha(> 0)$ è il parametro di forma, $\beta(> 0)$ è il parametro di scala e $\Gamma(\alpha)$ è la funzione gamma.

L'interpolazione si ottiene mediante una stima (indicata con $\hat{\cdot}$) dei parametri α e β ottenuta con il metodo della massima verosimiglianza:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (8)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (9)$$

dove $A = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{n} \sum_n \ln(x)$ e \bar{x} è la media delle osservazioni.

La distribuzione cumulata di probabilità è quindi data da:

$$G(x) = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx \quad (10)$$

che può essere stimata utilizzando le approssimazioni numeriche note in letteratura (Abramowitz & Stegun, 1965; Press et al., 2007).

Poiché tale distribuzione non è definita per eventi nulli (precipitazioni x uguali a zero) ed essendo questa una situazione invece verificabile nella realtà della climatologia delle AI (alla scala di 1 e 3 mesi), la distribuzione cumulata $H(x)$ è ridefinita come:

$$H(x) = q + (1 - q) G(x) \quad (11)$$

dove q è la probabilità di precipitazione nulla, che può essere stimata come il rapporto tra il numero m di zeri nella serie temporale delle precipitazioni e il numero totale di osservazioni di precipitazioni, perciò $q = \frac{m}{n+1}$ (al denominatore è applicata una correzione per evitare che q possa risultare pari a 1).

La distribuzione cumulata $H(x)$ è poi trasformata in una distribuzione normale (Panofsky & Brier, 1958), pertanto il valor medio dello SPI per un determinato luogo e periodo di aggregazione considerato è uguale a zero (Edwards & McKee, 1997). Man mano che ci si allontana dalla media climatologica degli SPI, si definiscono gradualmente eventi di maggiore intensità, secondo la classificazione mostrata nel paragrafo 2.1.

La procedura di calcolo descritta è coerente con quella utilizzata da ARPA, in modo tale che in futuro il CdBP possa far riferimento ai dati pubblicati su <https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/siccita/scopri-di-piu/scopri-indicatori-siccita/scopri-indicatori-spi>.

La nomenclatura SPI x riferita ad un dato mese rappresenta l'indice calcolato negli x mesi precedenti a partire dal mese preso come riferimento (ad esempio lo SPI3 di agosto è il valore ottenuto analizzando i valori di precipitazione di giugno, luglio ed agosto). Si è calcolato lo SPI con le seguenti scale di aggregazione temporale:

- 1 MESE (SPI1). Lo SPI1 rappresenta l'andamento della precipitazione mensile rispetto alla media climatologica. Dunque, esso fornisce indicazioni su impatti immediati, quali quelli relativi alla riduzione di umidità del suolo e della portata nei piccoli torrenti.
- 3 MESI (SPI3). Lo SPI3 fornisce indicazioni sulla riduzione delle portate fluviali e della capacità degli invasi. Esso è utile per lo studio stagionale, il quale risulta importante soprattutto per i mesi di semina e successiva crescita delle colture. La crescita stessa è infatti legata alla disponibilità idrica e una precipitazione al di sotto della media (SPI negativo) potrebbe portare a condizioni stress per la pianta. È però necessario comparare l'indice così ottenuto con quello a scale temporali maggiori (SPI6, SPI12 e SPI24). Questo perché è possibile che valori positivi di SPI3 si verifichino nel mezzo di periodi più ampi definiti come siccitosi; dunque, tale valore positivo non sempre va a coincidere con la fine del fenomeno siccitoso, ma potrebbe rappresentare un intervallo di tempo di parziale mitigazione dell'evento in atto. Con i necessari accorgimenti risultano comunque particolarmente importanti, ai fini della gestione idrica nelle AI, gli SPI3 dei mesi di luglio, agosto e settembre. Lo SPI3 di luglio rappresenta il periodo iniziale di irrigazione (da maggio a luglio); lo SPI3 di agosto rappresenta la stagione estiva; lo SPI3 di settembre definisce le condizioni al termine della stagione irrigua.
- 6 MESI (SPI6). Lo SPI6 di marzo rappresenta la fase precedente al periodo irriguo, le precipitazioni che si verificano in questo lasso di tempo sono solitamente associate alla capacità di ricarica della falda nella stagione autunnale-invernale. Lo SPI6 di settembre comprende invece l'intero periodo irriguo tipico del CdBP (aprile-settembre).
- 12 MESI (SPI12). Esso fornisce indicazioni sulla ridotta ricarica degli invasi e sulla disponibilità di acqua nelle falde. Lo SPI12 di marzo è utile alla definizione delle condizioni agli acquiferi all'inizio della stagione irrigua, quando i prelievi per l'irrigazione non hanno ancora avuto impatti sui livelli di falda; lo SPI12 di settembre è invece rappresentativo del cosiddetto anno idrologico.
- SPI 24 MESI (SPI24). 24 mesi è l'aggregazione temporale massima utilizzabile con la serie storica a disposizione. Infatti, Guttman (1994) raccomanda di utilizzare SPI con scale di aggregazione maggiori solo se si hanno serie storiche di durata dell'ordine di 80 anni, altrimenti nelle elaborazioni statistiche diventa debole l'analisi degli eventi estremi, come quelli siccitosi di interesse nel presente studio.

L'analisi degli indici SPI è stata svolta per le varie AI operando una media pesata sull'area dei valori ottenuti per le singole celle interne all'area in esame. In Figura 5 è mostrato l'indice per l'area del CdBP, nel periodo climatologico 1961-2018, alle scale di aggregazione temporali di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi e calcolato per ogni mese.

In Tabella 12 sono riportati, sempre per il CdBP, i valori dell'indice SPI relativi a condizioni di siccità estrema ($SPI < -2$), calcolati in relazione alle scale di aggregazione temporale precedentemente definite.

Dalla Tabella 12 si evince che, per il territorio del CdBP, il 2017 è stato un anno caratterizzato da eventi di siccità estrema su diverse scale di aggregazione temporale. Altri anni particolarmente siccitosi sono stati il 1989 e 1990. Da segnalare è anche il valore più basso di SPI rilevato nel territorio del CdBP, pari a -3.5 ed associato allo SPI3 di novembre 1983.

L'analisi dei singoli valori è però riduttiva, non permette infatti di analizzare il contesto in cui un valore sotto media si presenta. Per un'analisi più completa è importante definire anche la durata dell'evento siccitoso e la sua magnitudo. Secondo McKee et al. (1993) l'evento inizia quando l'indice scende al di sotto dello zero e termina quando questo torna ad essere positivo (è necessario però che in questo intervallo almeno un valore di SPI sia ≤ -1) (WMO, 2012). La distanza temporale tra questi due momenti rappresenta la durata dell'evento siccitoso, mentre la sommatoria di tutti i valori assunti dallo SPI durante l'evento fornisce una stima della sua magnitudo. Il calcolo è svolto fissando la scala di aggregazione temporale di riferimento.

La magnitudo (DM) di un evento siccitoso è definita come:

$$DM = - \left(\sum_{j=1}^x SPI_{ij} \right) \quad (12)$$

dove j inizia con il primo mese di siccità e continua ad aumentare fino alla fine della siccità x , per qualsiasi scala temporale i . x è dunque la durata in mesi dell'evento.

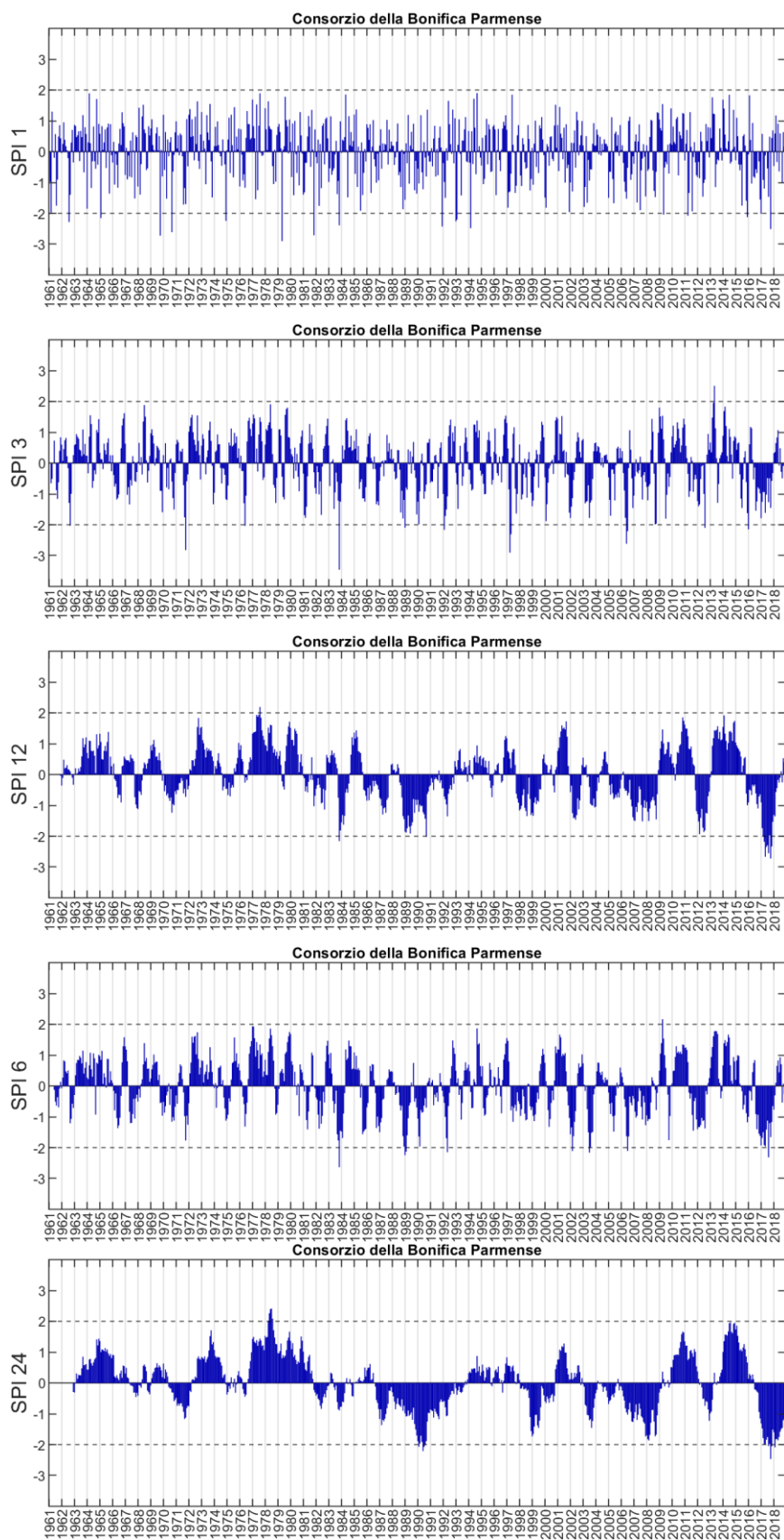


Figura 5 – Andamento dello SPI nell'area del CdBP, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).

Tabella 12 – Valori dell'indice SPI < -2, ordinati in maniera crescente, per le scale temporali di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi per il CdBP. Ad ogni valore è associato mese - anno.

1 mese		3 mesi		6 mesi		12 mesi		24 mesi	
mag-79	-2.9	nov-83	-3.5	nov-83	-2.6	ott-17	-2.7	ott-17	-2.5
ott-69	-2.7	apr-97	-2.9	ago-17	-2.3	mag-17	-2.7	giu-90	-2.2
nov-81	-2.7	ott-71	-2.8	gen-89	-2.2	ago-17	-2.6	feb-18	-2.1
set-70	-2.6	giu-06	-2.6	lug-03	-2.2	giu-17	-2.3	lug-90	-2.1
ott-17	-2.5	mag-97	-2.3	mag-92	-2.1	nov-17	-2.3	feb-90	-2.1
mar-94	-2.5	lug-06	-2.2	feb-89	-2.1	lug-17	-2.3	nov-17	-2.1
dic-91	-2.4	feb-92	-2.2	mar-02	-2.1	apr-17	-2.2	ago-17	-2.0
nov-83	-2.4	gen-16	-2.1	lug-06	-2.1	nov-83	-2.2	ago-90	-2.0
ago-62	-2.3	ago-12	-2.1			mar-17	-2.0		
gen-93	-2.3	gen-89	-2.1			set-90	-2.0		
dic-74	-2.2	giu-76	-2.0						
feb-93	-2.2	set-62	-2.0						
feb-65	-2.2								
dic-15	-2.1								
apr-11	-2.1								
mag-09	-2.0								
gen-17	-2.0								

In Tabella 13 è rappresentato l'esame, attraverso l'indice SPI, degli eventi siccitosi che hanno interessato l'area del CdBP nel periodo compreso tra gennaio 1961 e dicembre 2018. Si riportano i dati dei soli eventi che presentano valori di magnitudo maggiori di nove. Per ognuno di questi è indicata la data di inizio e fine, la magnitudo, la durata e l'intensità. L'intensità rappresenta il rapporto tra la magnitudo e la durata della siccità.

Si noti come i valori maggiori di magnitudo, per ogni aggregazione temporale, interessino sempre il 2017 nella sua totalità; inoltre, non solo le magnitudo sono tra le più elevate ma anche i valori di intensità associati ai medesimi eventi, ciò indica una condizione perdurante (la durata degli eventi risulta infatti superiore ai 18 mesi) di SPI negativi ed in media inferiori a -1. Ciò permette di ricostruire una condizione alla falda molto critica, anche se non si hanno dati a sufficienza per condurre una analisi diretta delle acque sotterranee.

Come era stato anticipato, l'utilizzo del dataset Eraclito permette il calcolo dell'indice non solo per le AI ma anche per la singola cella; un'analisi di questo tipo permette di osservare la variabilità spaziale del fenomeno e di individuare eventuali aree in cui l'evento di siccità è stato più o meno intenso. A titolo di esempio, si riportano in Figura 6 le mappature dei valori per singola cella dell'indice SPI di agosto per l'anno 2017.

Tabella 13 – Eventi siccitosi di magnitudo maggiore di nove, ordinati dal più grande al più piccolo (per magnitudo) e in relazione alla scala temporale di aggregazione temporale sul quale è stato calcolato lo SPI.

	Inizio evento	Fine evento	Magnitudo (-)	Durata (mesi)	Intensità (mesi ⁻¹)
SPI 3	lug-16	dic-17	18.2	18	1.0
	ott-11	ago-12	10.1	11	0.9
	lug-83	gen-84	9.9	7	1.4
	set-88	mar-89	9.5	7	1.4
	mar-03	ott-03	9.3	8	1.2
SPI 6	set-16	feb-18	26.0	18	1.4
	mag-06	mag-08	21.0	25	0.8
	giu-11	ott-12	15.7	17	0.9
	ago-88	giu-89	14.1	11	1.3
	giu-83	apr-84	13.8	11	1.3
	mag-97	ago-98	11.3	16	0.7
	nov-01	lug-02	10.5	9	1.2
	nov-89	set-90	10.5	11	1.0
	apr-03	dic-03	10.0	9	1.1
SPI 12	dic-15	lug-18	38.7	32	1.2
	set-88	ago-91	36.0	36	1.0
	mag-06	nov-08	29.8	31	1.0
	nov-97	ott-99	21.1	24	0.9
	dic-11	gen-13	18.2	14	1.3
	nov-85	ott-87	16.2	24	0.7
	mar-70	gen-72	13.6	23	0.6
	nov-83	ago-84	12.5	10	1.2
SPI 24	gen-02	nov-02	10.9	11	1.0
	ott-86	set-93	73.6	84	0.9
	ago-16	dic-18	44.3	29	1.5
	dic-05	mar-09	39.7	40	1.0
	mar-98	ott-00	22.2	32	0.7
	lug-70	mar-72	13.0	21	0.6
	feb-03	feb-04	10.7	13	0.8

Dalla Figura 6 si può osservare come il crinale appenninico al confine con la Toscana abbia sofferto in maniera meno intensa rispetto al territorio di pianura; è infatti possibile notare come in quella zona non si siano raggiunti valore di SPI inferiori a -2, fenomeno invece che si è verificato con una certa ricorrenza nel territorio di pianura per scale temporali maggiori di tre mesi (si sono raggiunti valori di picco anche inferiori a -3).

Come menzionato in precedenza, lo SPI si basa sui soli dati di precipitazione, questo fa sì che l'indice non tenga conto degli effetti associati ad altri fattori che entrano in gioco in eventi siccitosi. Tra questi il più importante è sicuramente la temperatura.

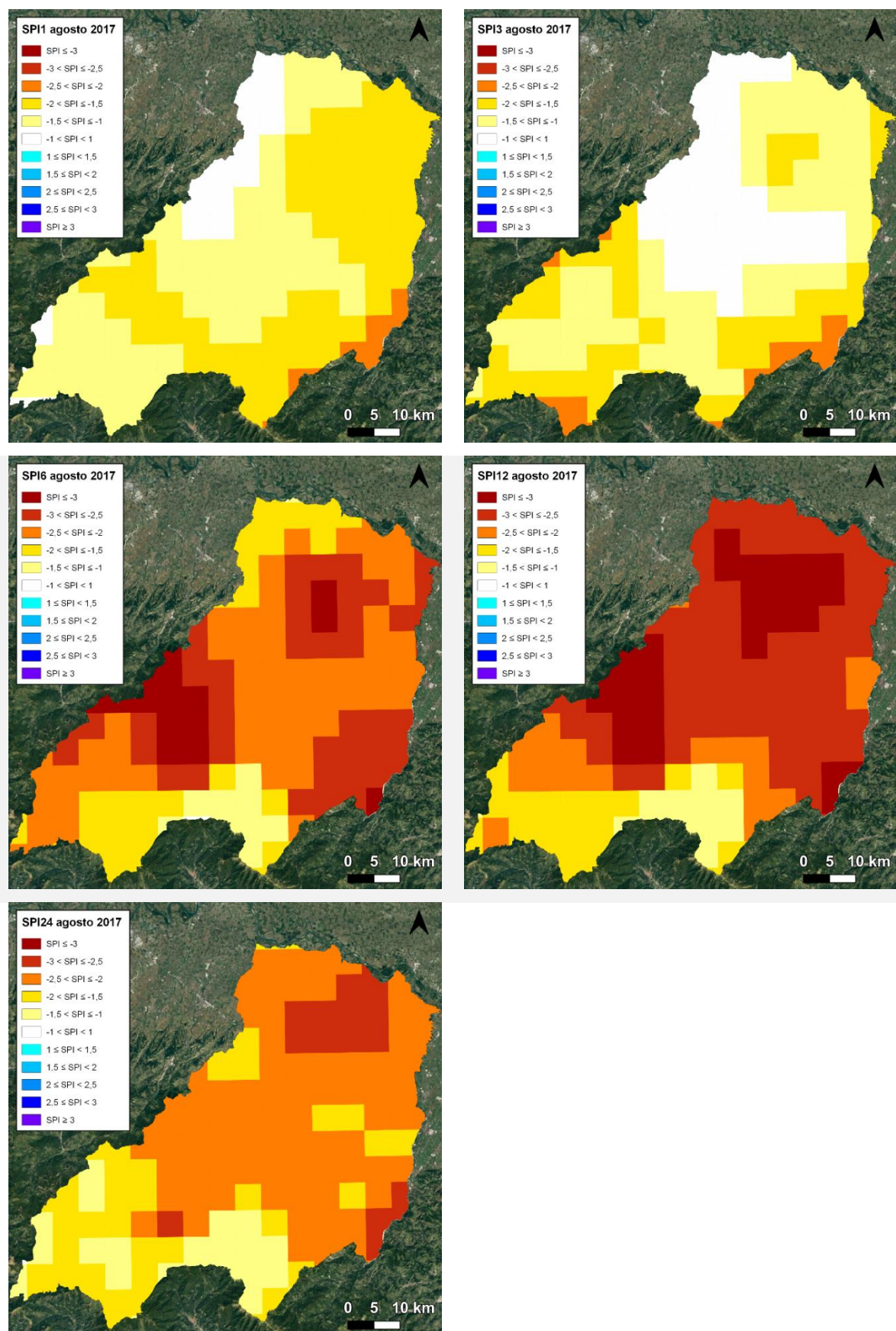


Figura 6 – Esempi di mappature dell'indice SPI per il mese di agosto 2017.

4.2 Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)

Per il calcolo dell'indice SPEI sono necessari, oltre ai dati di precipitazione, anche le informazioni di temperatura. Anche in questo caso i dati utilizzati come input derivano dal progetto Eraclito, è stato perciò nuovamente possibile il calcolo dell'indice sia a livello di cella che a livello delle intere AI (tramite media pesata sull'area).

I dati di temperatura vengono utilizzati per il calcolo della evapotraspirazione potenziale. In letteratura sono presenti varie formulazioni, in questo elaborato è stata utilizzata l'espressione proposta da (Hargreaves & Samani, 1985). La scelta è stata fatta in modo da essere coerenti con i valori di SPEI forniti da ARPA, sempre per assicurare al CdBP una fonte affidabile da cui dedurre i valori dell'indice negli anni a seguire. Essa calcola l'evapotraspirazione potenziale mediante la formulazione:

$$Et_{0,HS} = HC \cdot R_a \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} + 17.8 \right) (T_{max} - T_{min})^{HE}$$

dove $Et_{0,HS}$ è il flusso evotraspirativo potenziale in mm/giorno, HC è una costante empirica pari a 0.0023, R_a è la radiazione solare extraterrestre misurata in mm d'acqua evaporata al giorno tipica del sito di studio, T_{max} è la temperatura massima giornaliera (°C), T_{min} la temperatura minima giornaliera (°C) e HE è la costante empirica pari a 0.5. R_a dipende dalla latitudine di misura e dal giorno in cui viene effettuata.

La distribuzione probabilistica utilizzata per descrivere i valori cumulati della differenza tra precipitazione ed evapotraspirazione potenziale, è la log-logistica. La scelta di questa distribuzione al posto della distribuzione gamma risiede nel fatto che la variabile di interesse può assumere anche valori negativi, non rappresentabili dalla distribuzione utilizzata per lo SPI.

La funzione di densità di probabilità è:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right]^{-2}$$

dove α , β e γ sono rispettivamente i parametri di scala, forma e posizione e x è la variabile di interesse. I parametri della log-logistica sono stati definiti utilizzando il metodo degli L-momenti ottenuti come momenti pesati in probabilità (PWM, Vicente-Serrano et al., 2010).

Anche in questo caso il periodo di riferimento climatologico per il calcolo dell'anomalia è il 1961-2018. I periodi di aggregazione utilizzati sono i medesimi riportati per lo SPI, così come le motivazioni della loro scelta coincidono (SPEI1, SPEI3, SPEI6, SPEI12 e SPEI24). In Figura 7 è mostrato l'indice SPEI per l'area del CdBP nel periodo climatologico 1961-2018, alle scale di aggregazione temporali di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi e calcolato per ogni mese. Le stesse analisi sono state condotte per tutte le AI; i risultati sono riportati in Appendice B.

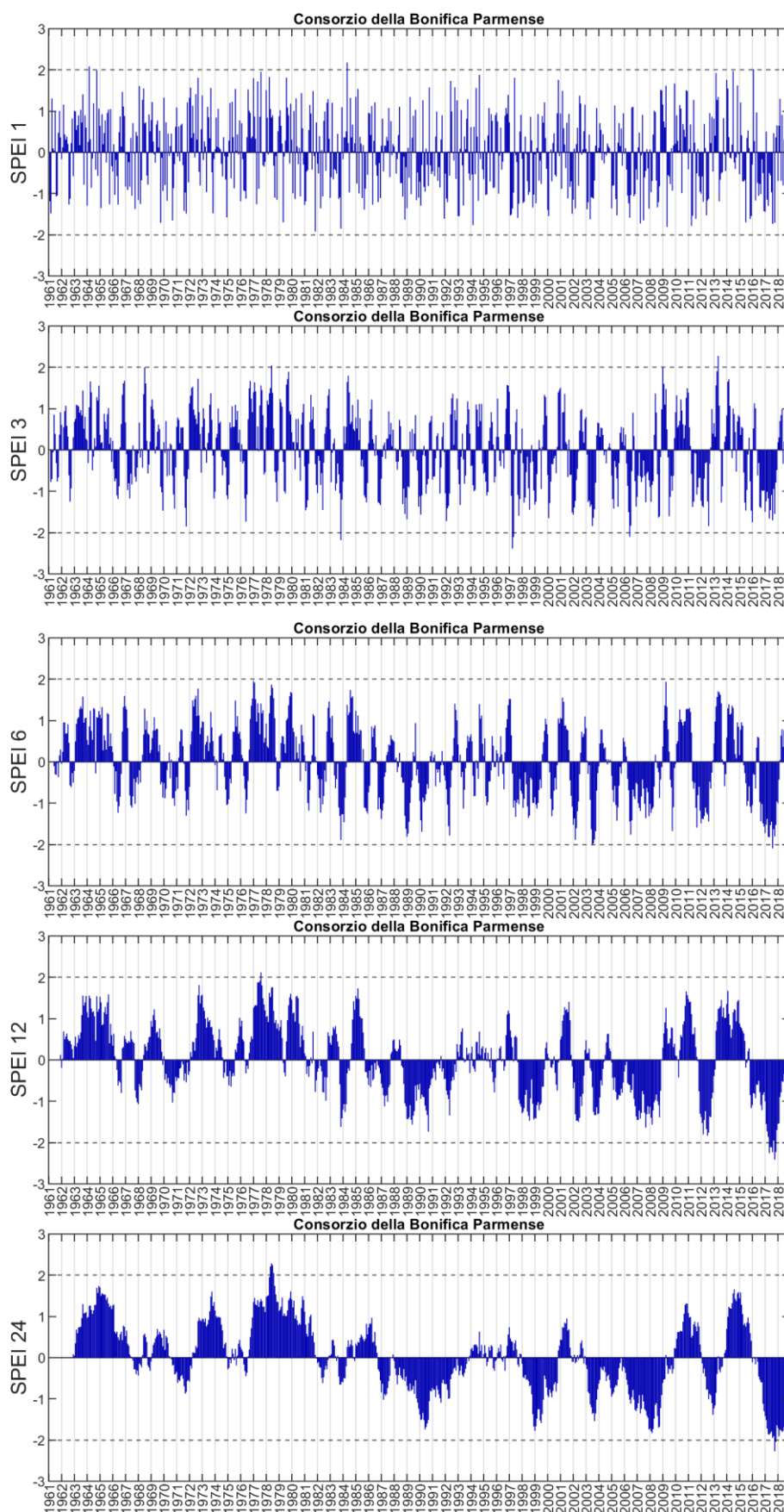


Figura 7 – Andamento dello SPEI nell'area del CdBP, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza di umidità ($SPEI > 2$).

In Tabella 14 sono riportati, sempre per il CdBP, i valori dell'indice SPEI relativi a condizioni di siccità estrema ($\text{SPEI} < -2$). Per la scala di aggregazione pari ad un mese non si registrano eventi rilevanti; associati allo SPEI6 si osservano quattro eventi di siccità estrema verificatesi negli anni 1983, 1997 e 2006 mentre per scale di aggregazione maggiori il 2017 è l'unico anno a presentare eventi di siccità estrema.

Tabella 14 – Valori dell'indice $\text{SPEI} < -2$, ordinati in maniera decrescente, mediati alle scale temporali di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi per il CdBP. Ad ogni valore è associato mese - anno.

3 mesi		6 mesi		12 mesi		24 mesi	
apr-97	-2.39	ago-17	-2.09	ott-17	-2.41	ott-17	-2.27
nov-83	-2.18			mag-17	-2.26	nov-17	-2.04
mag-97	-2.11			ago-17	-2.23		
giu-06	-2.10			nov-17	-2.23		
				lug-17	-2.11		
				giu-17	-2.11		

Anche con riferimento allo SPEI, l'evento siccitoso ha luogo con il raggiungimento di valori dell'indice inferiori o uguali a -1. Per la definizione di parametri come durata e magnitudo dell'evento, si fa riferimento alla stessa metodologia introdotta per lo SPI (Capitolo 4.1). Si riportano in Tabella 15 i dati dei soli eventi che presentano valori di magnitudo maggiori di nove. Per ognuno di questi è indicata la data di inizio e fine, la magnitudo, la durata e l'intensità.

Anche in questo caso il 2017 è interessato da eventi di magnitudo elevata per tutte le scale di aggregazione temporale analizzate; è inoltre ricorrente anche la presenza del 2007, interessato da eventi di magnitudo e durata elevata, anche se caratterizzati da intensità minori di 1.

Coerentemente con quanto visto per lo SPI, anche per lo SPEI è possibile svolgere un'analisi di maggiore dettaglio spaziale. A titolo di esempio, si riportano in Figura 8 le mappature dell'indice SPEI di agosto per l'anno 2017.

Dalla Figura 8 si può notare come lo SPEI di agosto 2017 abbia valori negativi su tutto il territorio del CdBP e su tutte le finestre temporali analizzate. Particolarmente importanti sono i valori di SPEI6 e SPEI12, a tali scale temporali, infatti, la quasi totalità del territorio presenta valori inferiori al -2, ad indicare una siccità estrema. Le sporadiche eccezioni si hanno soprattutto nel versante toscano e ligure dove, comunque, i valori sono inferiori al -1. Si noti inoltre come valori meno estremi si abbiano per gli SPEI1 e SPEI3, ad indicare che la problematica associata al 2017 non è strettamente legata alle precipitazioni e alle temperature verificatesi nei tre mesi estivi, ma bensì è da ricercare nelle condizioni di deficit che si sono verificate anche nei mesi precedenti.

Tabella 15 – Eventi siccitosi di magnitudo maggiore di nove, ordinati dal più grande al più piccolo (per magnitudo) e in relazione alla scala temporale di aggregazione temporale sul quale è stato calcolato lo SPEI.

	Inizio evento	Fine evento	Magnitudo (-)	Durata (mesi)	Intensità
SPEI 3	giu-16	dic-17	21.3	19	1.1
	mag-11	set-12	15.4	17	0.9
	dic-06	apr-08	13.8	17	0.8
	mar-03	ott-03	11.0	8	1.4
SPEI 6	set-16	feb-18	27.2	18	1.5
	mag-06	mag-08	24.5	25	1.0
	mag-97	lug-99	23.6	27	0.9
	giu-11	nov-12	18.9	18	1.1
	apr-03	gen-04	11.5	10	1.2
	ago-88	giu-89	11.4	11	1.0
	nov-01	lug-02	11.2	9	1.2
	giu-83	apr-84	10.7	11	1.0
SPEI 12	nov-89	ott-90	9.8	12	0.8
	feb-05	dic-08	43.0	47	0.9
	dic-15	set-18	41.9	34	1.2
	set-88	ago-91	30.1	36	0.8
	ott-97	ott-99	26.3	25	1.1
	nov-11	feb-13	19.9	16	1.2
	nov-85	set-87	11.8	23	0.5
	gen-02	nov-02	11.7	11	1.1
	giu-03	giu-04	11.1	13	0.9
	mar-70	gen-72	10.7	23	0.5
SPEI 24	feb-03	mar-09	67.9	74	0.9
	feb-88	set-93	49.7	68	0.7
	lug-16	dic-18	46.2	30	1.5
	feb-98	ott-00	31.0	33	0.9
	mar-12	apr-13	11.7	14	0.8

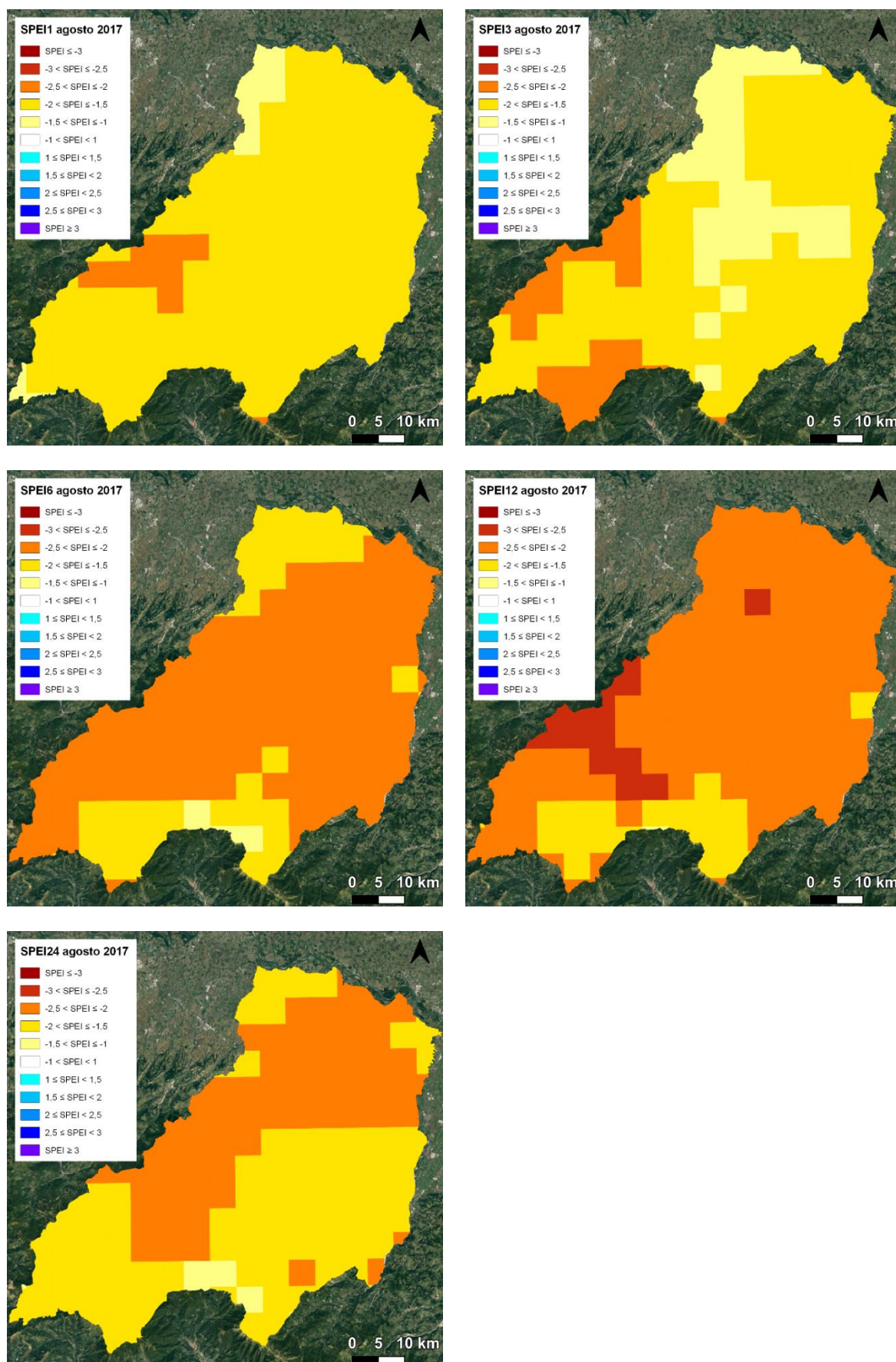


Figura 8 – Esempi di mappature dell'indice SPEI per il mese di agosto 2017.

4.3 Consecutive Dry Days (CDD)

Per il calcolo dell'indice CDD sono necessari i soli dati di precipitazione giornaliera; si sono sempre utilizzati quelli forniti dal progetto Eraclito. Tali dati vengono adoperati per l'individuazione dei giorni non piovosi, cioè quelli aventi una precipitazione giornaliera (P) minore di 1 mm. La variabile di interesse è rappresentata dal numero di giorni consecutivi non piovosi, denominati CDD.

Del CDD si sono definiti i valori massimi e modali² investigando il solo periodo di irrigazione³, inoltre, per ogni caratteristica statistica è riportato il valore medio assunto nel periodo 1961-2018. Non si è considerata l'intera annualità in quanto l'assenza prolungata di precipitazioni ha importanti effetti sulla produzione agricola solo nel caso si verifichi nel periodo di semina e crescita delle piante. Il valore di CDD massimo o modale associato alle diverse AI è stato calcolato operando una media pesata tra i valori puntuali ottenuti sulle singole celle. I risultati ottenuti per il CdBP sono riportati rispettivamente in Figura 9 e Figura 10; si rimanda all'Appendice C per i risultati ottenuti nelle altre AI.

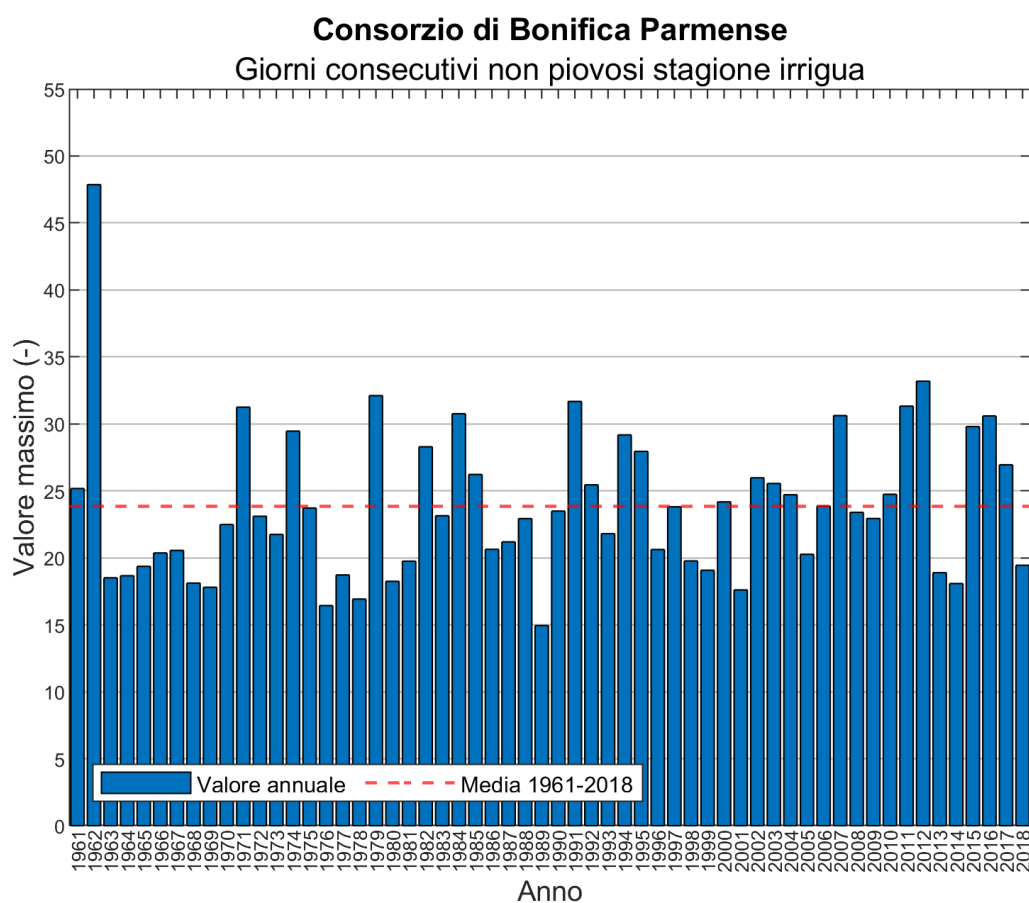


Figura 9 – Valori massimi annuali di Consecutive Dry Days per il territorio del CdBP e valore medio calcolato sull'intera serie temporale.

² Valore che si presenta con maggior frequenza.

³ Periodo da marzo a settembre.

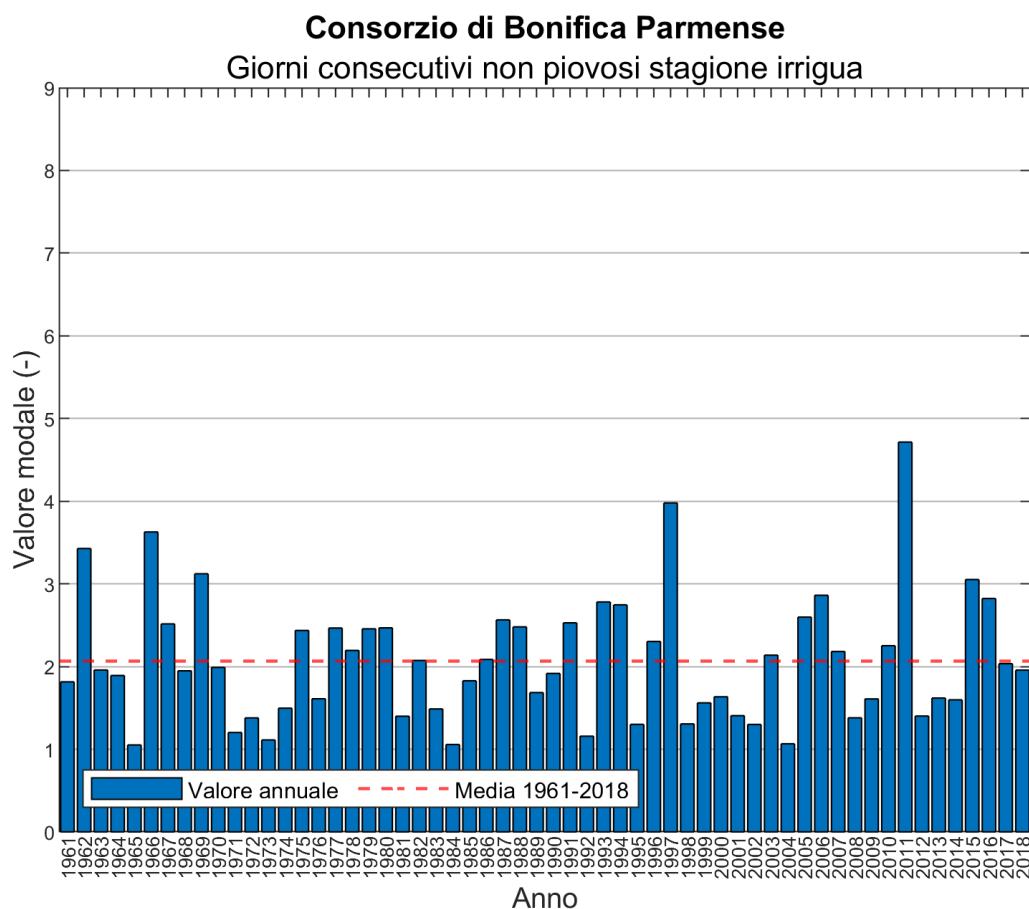


Figura 10 – Valori modal annuali di Consecutive Dry Days per il territorio del CdBP e valore medio calcolato sull'intera serie temporale.

Il valore massimo di CDD mediato tra il 1961 e il 2018 è di circa 24 giorni; a partire dagli anni 2000 i valori superiori a 30 si sono avuti negli anni 2007, 2011, 2012 e 2016 (Figura 9). Il valore modale medio si attesta sui 2 giorni, il valore modale massimo è stato registrato nel 2011 e risulta pari a circa 5 (Figura 10).

4.4 Standardized Runoff Index (SRI)

L'analisi dello Standardized Runoff Index è utile per determinare la risorsa d'acqua disponibile per l'irrigazione in corrispondenza delle prese superficiali. La procedura di calcolo dello SRI è equivalente a quella utilizzata per lo SPI (compreso l'utilizzo della distribuzione gamma), in questo caso però il dato di input sono le portate medie mensili. Tali portate sono state calcolate a partire dalle portate giornaliere registrate dalla rete di rilevamento regionale gestita da ARPA-Simc e pubblicate sulla webapp Dext3r⁴.

Sono diverse le stazioni di misura della portata presenti sul territorio, ma ben poche hanno una serie storica abbastanza ampia da rendere statisticamente rilevante l'analisi. Inoltre, tutte le stazioni con serie apprezzabili appartengono al fiume Po. In mancanza di dati di portata del fiume Po registrati esattamente nella sezione della presa Ongina, si è approssimata la condizione tramite l'uso delle portate transitanti nella sezione a monte più vicina dotata di misure statisticamente rilevanti, cioè Cremona. Questa approssimazione non si è potuta

⁴ <https://simc.arpae.it/dext3r/>

applicare alle altre prese presenti sui torrenti Enza e Parma e sul fiume Taro, in quanto tutte le stazioni idrometriche ivi collocate presentano dati su meno di 20 anni recenti e non permettono perciò la definizione statistica dell'indice SRI. La difficoltà di reperimento dei dati di input risulta difatti uno dei maggiori problemi dell'indice in esame.

Così come per lo SPI, lo SRI può essere calcolato su diverse aggregazioni temporali; tra queste si è individuata la scala temporale di un mese come quella di interesse poiché, essendo interessati principalmente alle portate prelevabili nel periodo estivo, il calcolo dell'indice su un periodo più ampio sarebbe meno rappresentativo della condizione alla presa al momento del prelievo.

I risultati sono riportati in Figura 11. Dall'analisi di quest'ultimi si può notare come nel periodo tra il 1989 e la prima metà del 1994 l'indice risulti quasi sempre negativo, con picco che raggiunge i -1.65; una situazione simile si verifica poi tra il 2003 e i primi mesi del 2008, in questo caso i picchi raggiungono valori in modulo molto maggiori, fino ad un massimo di 2.64. In generale quello che si nota è che vi è una tendenza maggiore a lunghi periodi di SRI negativi intervallati da intervalli minori di SRI positivi a partire dal 1990, mentre nel periodo precedente vi sono stati importanti periodi di SRI positivi, ne è un esempio il periodo tra 1977 e 1979 in cui per quasi la totalità dei mesi si hanno valori di SRI superiori a +1.65.

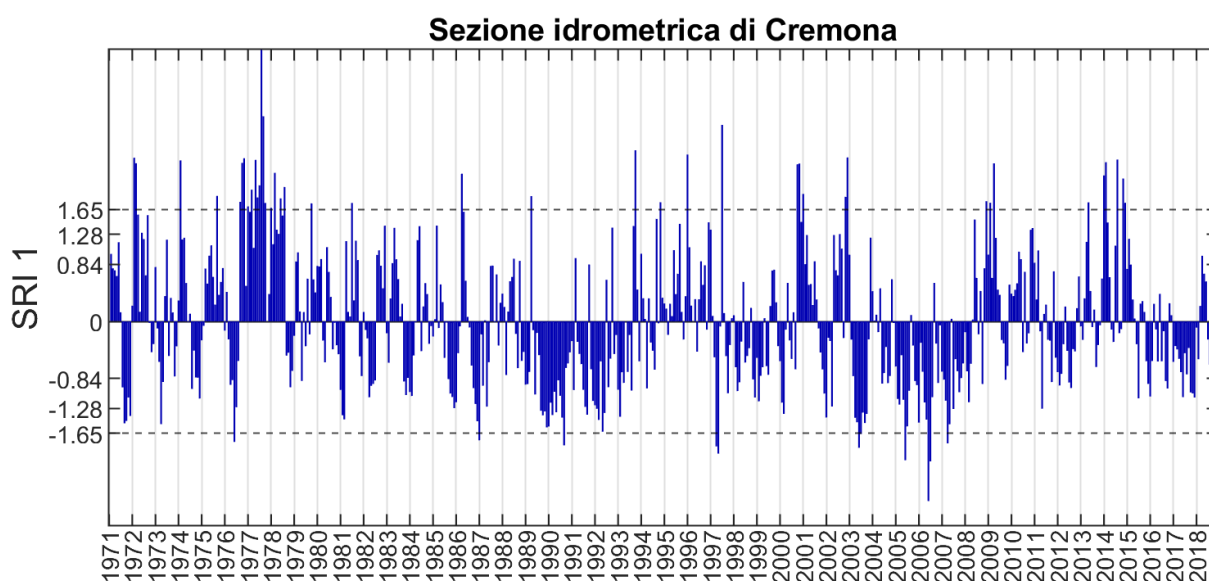


Figura 11 – Andamento dello SRI alla sezione idrometrica di Cremona, calcolato alla scala di aggregazione di 1 mese. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti a cui si individuano eventi estremi di siccità ($SRI < -1.65$) o di estrema umidità ($SRI > 1.65$).

4.5 Indicator of Hydrologic alteration (IHA)

Dei 33 parametri IHA si sono analizzati quelli rilevanti per fornire un'indicazione della siccità nel periodo di irrigazione e crescita delle colture. Tali parametri sono la portata media minima calcolata su finestre temporali di 1, 3, 7, 30 e 90 giorni, nel periodo marzo - settembre. Questi indici sono stati analizzati per le stazioni dotate di una serie storica di portate giornaliere con sufficiente rilevanza statistica; si è cercato di individuare una

stazione rappresentativa della parte montana e una della parte pianeggiante di ogni corso d'acqua su cui insistono le opere di presa dei consorzi di interesse (Figura 12). Seguendo questo criterio le stazioni su cui si è applicata la metodologia IHA sono:

- Ostia Parmense: situata nella parte montana del bacino del fiume Taro, a monte della traversa di Ramiola (Tabella 16). La finestra temporale su cui si dispone di misurazioni va dal 2004 al 2018, per un totale di 15 anni di dati,
- San Secondo: ubicata nella parte di pianura del fiume Taro, a monte della presa di Borgonovo (Tabella 17). La finestra temporale su cui si dispone di misurazioni va dal 2006 al 2018, per un totale di 13 anni di dati,
- Parma Ponte Verdi: si trova nella parte di pianura del torrente Parma, a monte delle prese San Siro e Casino (Tabella 18). La finestra temporale su cui si dispone di misurazioni va dal 2003 al 2018, per un totale di 16⁵ anni di dati,
- Vetto: situata a monte della presa di Cerezzola sul torrente Enza (Tabella 19). La finestra temporale su cui si dispone di misurazioni va dal 2007 al 2018, per un totale di 12⁶ anni di dati,
- Sorbolo è ubicata nella parte di pianura del torrente Enza, a valle della traversa di Cerezzola (Tabella 20). La finestra temporale su cui si dispone di misurazioni va dal 2004 al 2018, per un totale di 14⁷ anni di dati,
- Cremona si trova sul fiume Po localizzata a monte della presa Ongina (Tabella 21). La finestra temporale su cui si dispone di misurazioni va dal 1971 al 2018, con un totale di 48 anni di dati.

Per la zona montana del torrente Parma non si hanno a disposizione stazioni con una mole di misurazioni sufficienti per effettuare un'analisi statistica. Nelle tabelle sotto riportate (dalla Tabella 16 alla Tabella 21) sono riportati i 5 valori minori di ogni parametro IHA; ad ognuno di questi è associata una data che rappresenta il giorno centrale della finestra temporale su cui viene calcolata la portata media. La totalità dei valori, ottenuti dall'analisi dell'intera serie storica disponibile per ogni stazione, è riportata in Appendice D.

⁵ Dati mancanti in agosto e settembre 2018.

⁶ Dati mancanti da luglio 2009 ad aprile 2010.

⁷ Dati mancanti per tutto l'anno 2010.

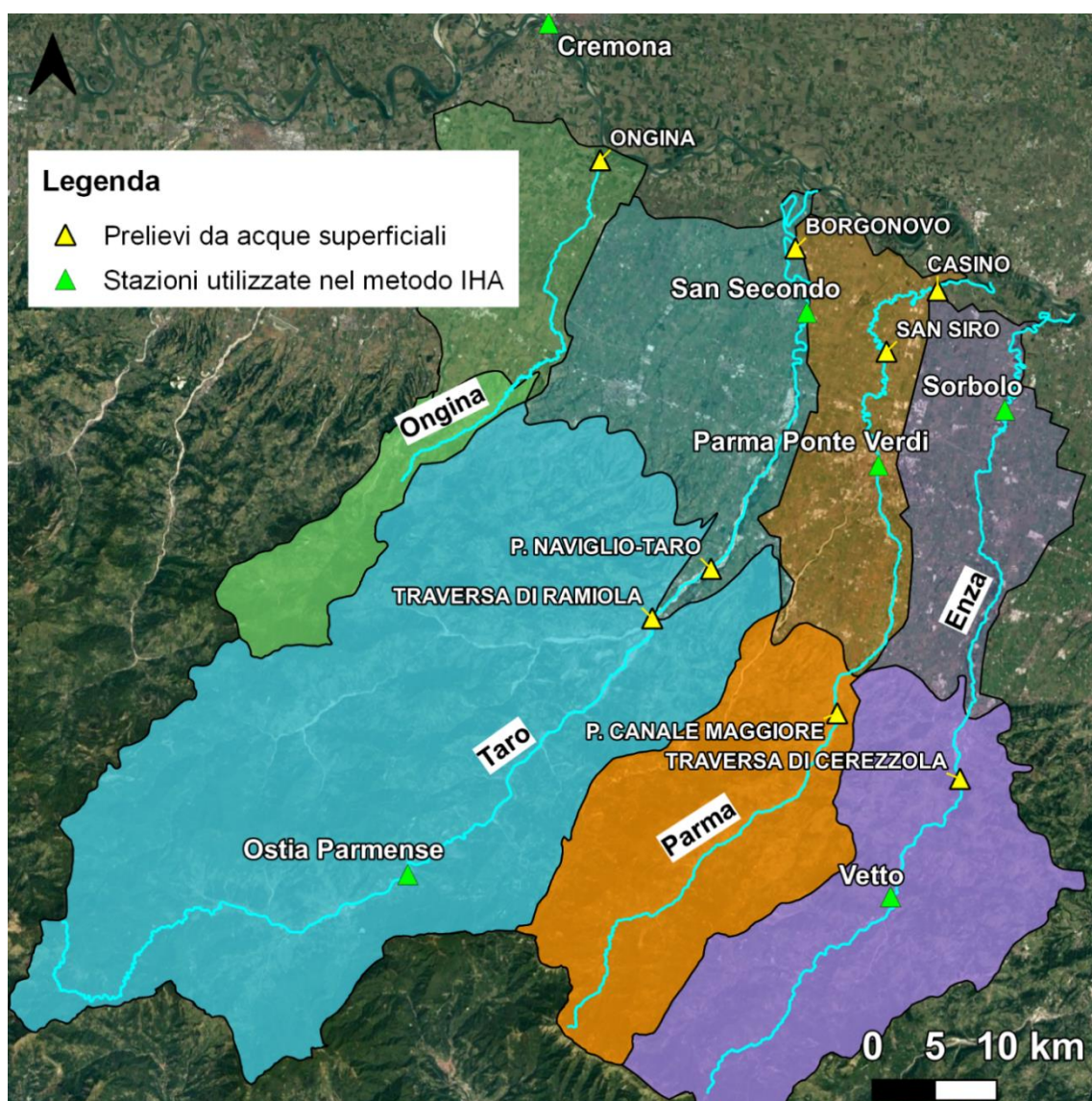


Figura 12 – Posizioni delle stazioni in cui sono stati valutati gli indici previsti dal Metodo IHA. Sono individuati in bacini idrografici di montagna e pianura del torrente Onga (verde), fiume Taro (azzurro), torrente Parma (arancione) e torrente Enza (viola).

Tabella 16 – Parametri del metodo IHA per la stazione di Ostia Parmense, situata nella parte montana del bacino idrografico del fiume Taro.

Media calcolata su finestra temporale di 1 giorno		Media calcolata su finestra temporale di 3 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 7 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 30 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 90 giorni	
Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata
0.00	28/06/2006	0.00	29/06/2006	0.00	01/07/2006	0.09	12/07/2006	0.75	01/07/2006
0.49	14/09/2007	0.51	14/09/2007	0.56	12/09/2007	0.69	13/09/2007	0.88	15/09/2008
0.52	29/08/2011	0.57	30/08/2011	0.63	28/09/2008	0.72	30/09/2008	1.15	15/08/2007
0.55	26/08/2012	0.60	29/09/2008	0.65	28/08/2011	0.80	19/08/2017	1.34	07/09/2009
0.56	11/09/2004	0.60	25/08/2012	0.66	24/08/2017	0.88	12/08/2012	1.36	28/07/2017

Tabella 17 – Parametri del metodo IHA per la stazione di San Secondo, situata nella parte di pianura del bacino idrografico del fiume Taro.

Media calcolata su finestra temporale di 1 giorno		Media calcolata su finestra temporale di 3 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 7 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 30 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 90 giorni	
Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata
0.00	07/07/2007	0.00	13/07/2007	0.00	15/07/2007	0.00	06/08/2008	0.00	05/09/2008
0.00	20/07/2008	0.00	23/07/2008	0.00	25/07/2008	0.00	10/08/2007	0.06	16/08/2007
0.00	20/08/2009	0.00	26/08/2009	0.00	04/09/2009	0.03	03/09/2009	0.74	29/07/2017
0.02	20/07/2006	0.03	20/07/2006	0.05	21/07/2006	0.15	25/08/2017	0.77	01/08/2015
0.08	14/08/2017	0.09	23/08/2017	0.12	15/08/2017	0.26	19/07/2006	0.92	13/09/2018

Tabella 18 – Parametri del metodo IHA per la stazione di Parma Ponte Verdi, situata nella parte di pianura del bacino idrografico del torrente Parma, precisamente nella città di Parma.

Media calcolata su finestra temporale di 1 giorno		Media calcolata su finestra temporale di 3 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 7 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 30 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 90 giorni	
Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata
0.00	13/06/2003	0.00	14/06/2003	0.00	16/06/2003	0.00	28/06/2003	0.00	04/09/2007
0.00	09/07/2004	0.00	10/07/2004	0.00	20/07/2004	0.00	09/07/2006	0.00	16/09/2008
0.00	05/06/2005	0.00	20/06/2005	0.00	26/06/2005	0.00	05/08/2007	0.00	28/07/2003
0.00	24/06/2006	0.00	25/06/2006	0.00	27/06/2006	0.00	17/08/2008	0.01	23/08/2016
0.00	18/05/2007	0.00	19/05/2007	0.00	30/06/2007	0.00	25/07/2016	0.02	01/08/2017

Tabella 19 – Parametri del metodo IHA per la stazione di Vetto, situata nella parte montana del bacino idrografico del torrente Enza.

Media calcolata su finestra temporale di 1 giorno		Media calcolata su finestra temporale di 3 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 7 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 30 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 90 giorni	
Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata
0.00	15/07/2011	0.00	22/07/2011	0.00	24/07/2011	0.00	05/08/2011	0.05	04/09/2011
0.06	12/08/2008	0.06	26/08/2008	0.07	26/08/2008	0.10	30/09/2008	0.16	15/09/2008
0.20	01/09/2010	0.22	02/09/2010	0.30	05/08/2007	0.37	26/07/2007	0.52	05/08/2007
0.26	06/08/2007	0.27	06/08/2007	0.31	03/09/2010	0.62	12/08/2012	0.83	12/09/2018
0.26	30/09/2016	0.37	29/09/2018	0.41	07/08/2012	0.65	03/09/2010	1.02	30/08/2016

Tabella 20 – Parametri del metodo IHA per la stazione di Sorbolo, situata nella parte di pianura del bacino idrografico del torrente Enza.

Media calcolata su finestra temporale di 1 giorno		Media calcolata su finestra temporale di 3 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 7 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 30 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 90 giorni	
Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata
0.00	09/06/2004	0.00	10/06/2004	0.00	24/06/2004	0.00	06/07/2004	0.00	07/08/2007
0.00	24/05/2005	0.00	29/05/2005	0.00	31/05/2005	0.00	12/06/2005	0.01	02/08/2004
0.00	12/06/2006	0.00	13/06/2006	0.00	15/06/2006	0.00	27/06/2006	0.01	12/07/2005
0.00	17/05/2007	0.00	18/05/2007	0.00	20/05/2007	0.00	08/07/2007	0.03	24/07/2017
0.00	15/07/2014	0.00	16/07/2014	0.00	14/07/2017	0.00	26/07/2017	0.11	14/09/2008

Tabella 21 – Parametri del metodo IHA per la stazione di Cremona, situata sul fiume Po nella città di Cremona.

Media calcolata su finestra temporale di 1 giorno		Media calcolata su finestra temporale di 3 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 7 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 30 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 90 giorni	
Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata
222	21/07/2006	225	22/07/2006	229	24/07/2006	264	23/06/2006	319	12/07/2006
260	17/07/2003	262	18/07/2003	265	20/07/2003	334	24/07/2003	388	26/07/2003
264	01/08/2005	266	31/07/2005	270	31/07/2005	342	02/08/2005	401	15/07/2005
341	07/08/2007	347	10/04/2008	361	08/04/2008	388	26/07/2007	515	21/03/2007
342	09/04/2008	359	08/08/2007	369	06/08/2007	435	10/08/2012	523	03/03/2000

Dall'analisi delle portate minime medie si può notare come i corsi d'acqua analizzati siano stati soggetti a crisi in anni diversi o, ancora, abbiano raggiunto le condizioni peggiori in periodi differenti della stagione irrigua, nonostante abbiano una collocazione geografica ravvicinata. Per questa motivazione, si consiglia la lettura delle tabelle separatamente per ogni corso d'acqua.

Partendo dall'analisi dal fiume Taro, nella stazione di Ostia Parmense, si noti come il 2006 abbia raggiunto il primato per le portate medie minime più esigue per ogni finestra temporale analizzata e di come si siano raggiunte condizione di secca (su finestre temporali massime di 7 giorni) già nella terza decade di giugno. Una situazione equivalente non si è verificata per nessuno degli altri anni su cui si dispone di dati. Spostandosi verso la zona di pianura e facendo riferimento alla stazione di San Secondo, condizioni di totale assenza⁸ di acqua nel fiume Taro sono state rilevate negli anni 2007, 2008 e 2009. Per tale stazione si sono riscontrate importanti criticità nell'anno 2009, in cui le condizioni di assenza idrica sono state individuate anche per la finestra temporale di 90 giorni; fattore rilevante se si pensa che il Taro è l'unico corso d'acqua della zona oltre al Po a non aver regime torrentizio.

Condizioni di secca sono sicuramente più frequenti nel torrente Parma; infatti, quasi la totalità degli anni su cui si dispone di dati presenta portata minima giornaliera nulla. Per le annate 2003, 2007 e 2008 tale condizione è stata più persistente, raggiungendo anche i 90 giorni consecutivi. Le criticità maggiori si sono riscontrate nel 2003, anno in cui le condizioni di secca hanno interessato una finestra temporale che va dal 13 giugno all'11 settembre.

La condizione che è possibile ricostruire per il torrente Enza è simile a quella vista per il torrente Parma; trascurando momentaneamente la stazione di Vetto che è influenzata da un bacino di soli 299 km², il corso d'acqua in questione ha presentato un deflusso superficiale nullo per 90 giorni consecutivi nel 2007; in questa annata valori nulli sono stati registrati già a partire da maggio (fino alla finestra temporale di 7 giorni).

⁸ Si fa riferimento a valori misurati pari a 0.00 m³/s. È comunque opportuno valutare come praticamente nulli anche i valori dell'ordine di pochi l/s, considerando le approssimazioni associate al calcolo delle portate transitanti sui corsi d'acqua.

Per quanto riguarda il fiume Po alla sezione di Cremona, critico è stato l'anno 2006 con valori di portata minima molto inferiori rispetto al secondo anno peggiore che risulta il 2003.

In generale, le cause di tali portate esigue non sono facili da determinare in quanto influenzate da più fattori tra cui, ad esempio: gli anomali prelievi antropici, le carenze di piogge, le elevate temperature e lo scarso apporto nivale.

4.6 Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Solar Radiation (fAPAR)

Data la complessità computazionale e coerentemente con quanto riportato nelle linee guida prodotte da ISPRA (2018), non si è proceduto al calcolo autonomo dell'indice in esame. I valori analizzati sono stati forniti da AdBPo così come valutati dall'Osservatorio Europeo della siccità (EDO) del Joint Research Center (JRC) in termini di anomalia di fAPAR calcolata su scala decennale e definita per macroaree; tali macroaree coincidono con la suddivisione in zona di pianura e montagna dei bacini idrografici principali presenti nel territorio. I dati disponibili sono riportati in forma grafica dalla Figura 13 alla Figura 16 per le diverse macroaree.

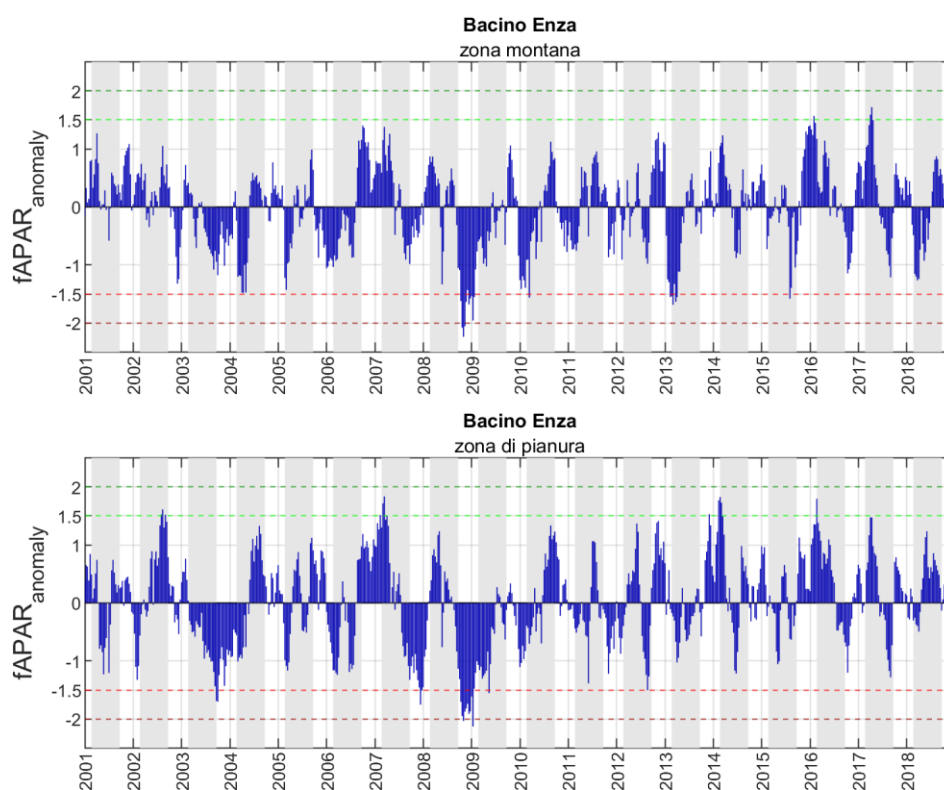


Figura 13 – Andamento della $fAPAR_{anomaly}$ per il territorio di montagna e pianura del bacino idrografico del torrente Enza. Sono indicati, con una linea tratteggiata, i limiti a cui si individuano eventi severi di siccità ($fAPAR_{anomaly} < -1.5$) e di abbondanza di pioggia ($fAPAR_{anomaly} > 1.5$) e quelli che individuano eventi estremi di siccità ($fAPAR_{anomaly} < -2$) o d'abbondanza di precipitazioni ($fAPAR_{anomaly} > 2$). Lo sfondo grigio individua il periodo tra marzo e settembre.

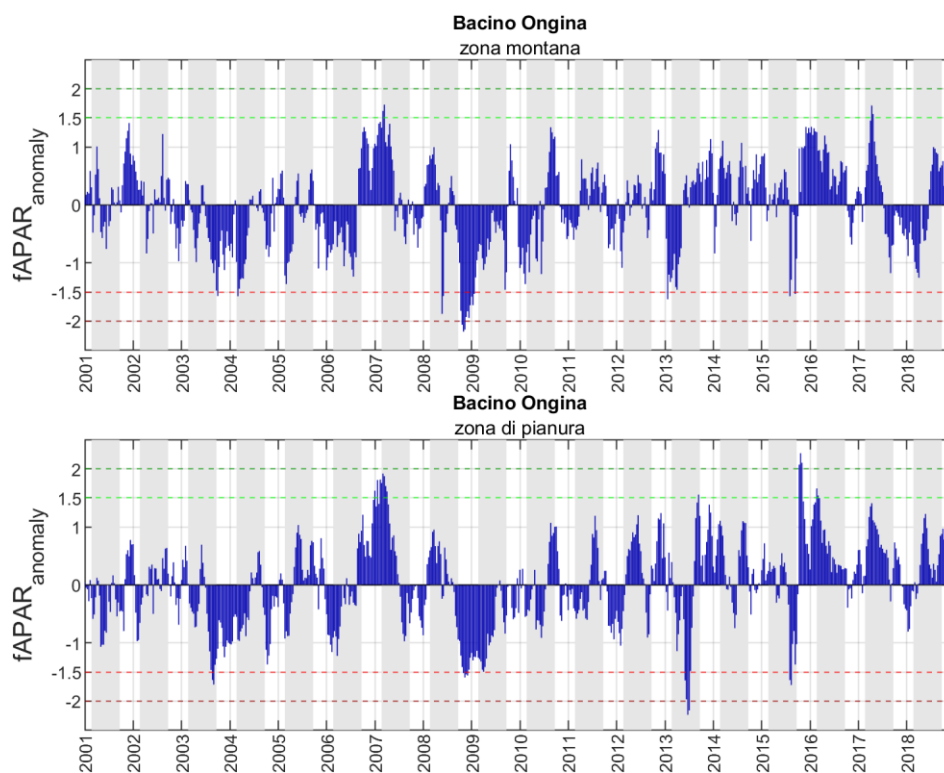


Figura 14 – Andamento della $fAPAR_{anomaly}$ per il territorio di montagna e pianura del bacino idrografico del torrente Onga. Sono indicati, con una linea tratteggiata, i limiti a cui si individuano eventi severi di siccità ($fAPAR_{anomaly} < -1.5$) e di abbondanza di pioggia ($fAPAR_{anomaly} > 1.5$) e quelli che individuano eventi estremi di siccità ($fAPAR_{anomaly} < -2$) o d'abbondanza di precipitazioni ($fAPAR_{anomaly} > 2$). Lo sfondo grigio individua il periodo tra marzo e settembre.

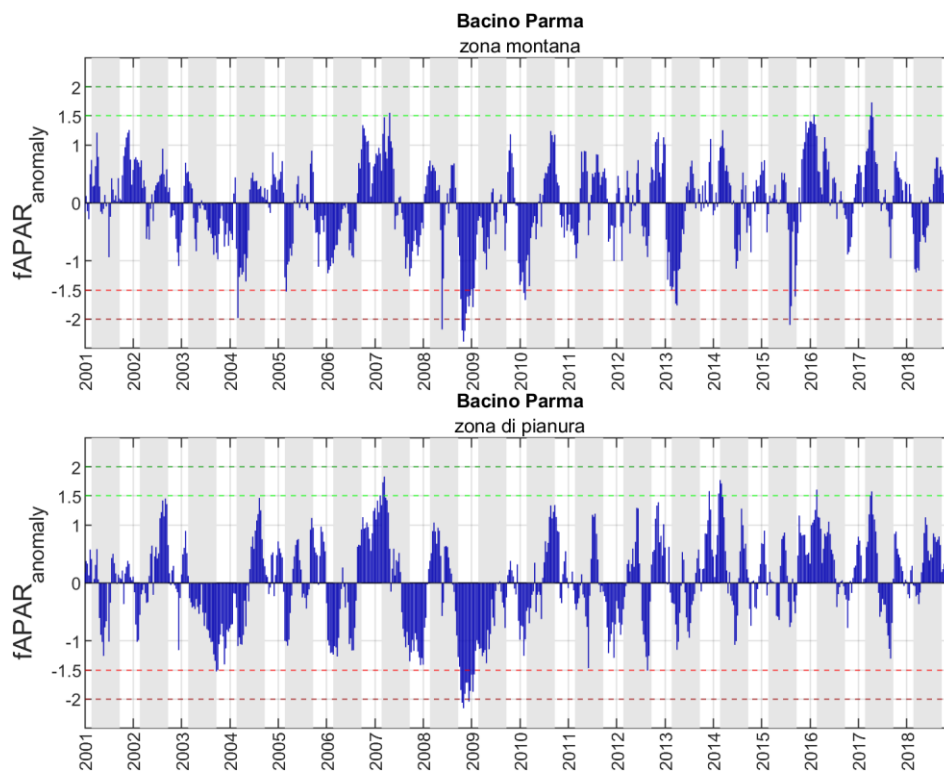


Figura 15 – Andamento del $fAPAR_{anomaly}$ per il territorio di montagna e pianura del bacino idrografico del torrente Parma. Sono indicati, con una linea tratteggiata, i limiti a cui si individuano eventi severi di siccità ($fAPAR_{anomaly} < -1.5$) e di abbondanza di pioggia ($fAPAR_{anomaly} > 1.5$) e quelli che individuano eventi estremi di siccità ($fAPAR_{anomaly} < -2$) o d'abbondanza di precipitazioni ($fAPAR_{anomaly} > 2$). Lo sfondo grigio individua il periodo tra marzo e settembre.

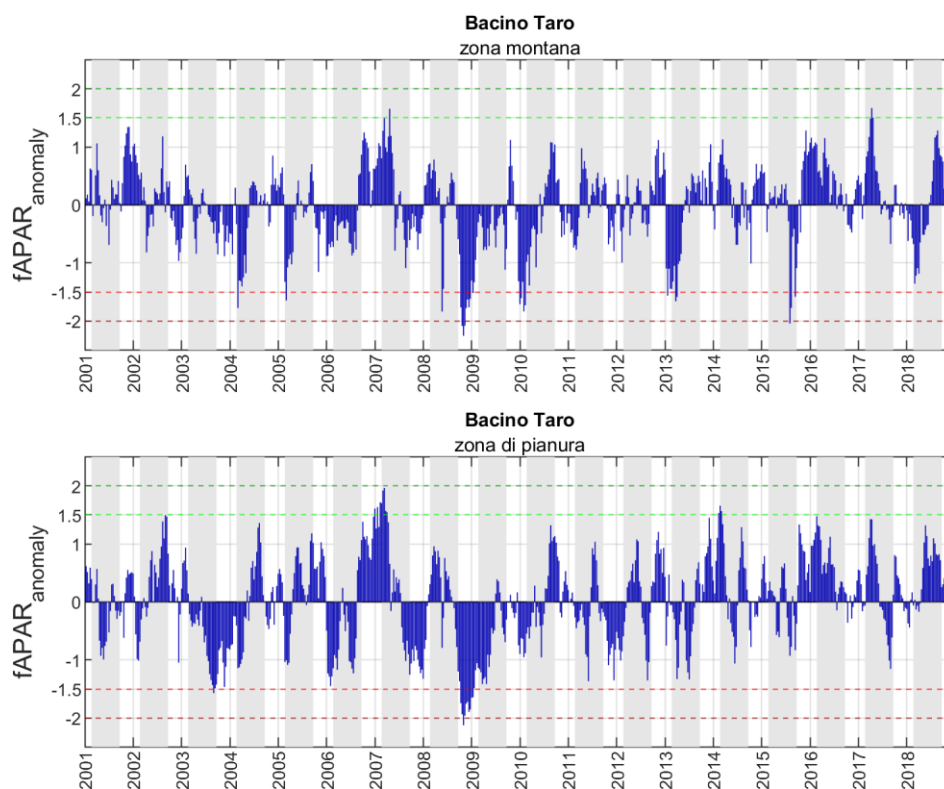


Figura 16 – Andamento del $fAPAR_{anomaly}$ per il territorio di montagna e pianura del bacino idrografico del fiume Taro. Sono indicati, con una linea tratteggiata, i limiti a cui si individuano eventi severi di siccità ($fAPAR_{anomaly} < -1.5$) e di abbondanza di pioggia ($fAPAR_{anomaly} > 1.5$) e quelli che individuano eventi estremi di siccità ($fAPAR_{anomaly} < -2$) o d'abbondanza di precipitazioni ($fAPAR_{anomaly} > 2$). Lo sfondo grigio individua il periodo tra marzo e settembre.

Dall'analisi dei grafici è possibile notare che, per tutte le macroaree interessate, è presente un periodo di importante deficit della $fAPAR_{anomaly}$ che si protrae da fine 2008 a metà 2009 circa, in cui i valori associati sono inferiori alla soglia che individua le condizioni estreme di stress della vegetazione (pari a -2). È necessario però prestare attenzione alla finestra temporale in cui tale condizione si verifica; infatti, il periodo coincide principalmente con i mesi autunnali e invernali, non coinvolgendo (o almeno non con valori estremi) il periodo tardo primaverile ed estivo che interessa la crescita delle principali colture presenti sul territorio oggetto di analisi. Non si ha infatti riscontro né dai consorzi presenti sul territorio né dalle principali testate giornalistiche di condizioni particolarmente siccitose verificatesi tra il 2008 e il 2009.

Analizzando i restanti anni su cui si dispone di dati e facendo riferimento ai soli territori di pianura, è possibile notare che, per l'anno 2003, quasi la totalità delle decadi tra marzo e settembre presentano valori negativi, tra questi vi sono picchi che raggiungono anche valori inferiori alla soglia che individua condizioni di stress severo della vegetazione (-1.5). Per le restanti annate non si notano andamenti degni di nota; anche se vi sono valori negativi, quest'ultimi si mantengono per intervalli di tempo più esigui e raramente raggiungono soglie rilevanti. L'unica eccezione è associata al 2013 per il bacino di pianura dell'Ongina dove l'indice raggiunge

valori inferiori al -2; ciò però si verifica per sole tre decadi consecutive, dopo di cui la $fAPAR_{anomaly}$ si attesta invece su valori positivi.

In generale l'interpretazione di questo indice è complessa in quanto opera importanti approssimazioni, prima tra cui la classificazione della vegetazione associata al pixel. Le classi considerate (biomi, Figura 17) sono le seguenti: erba e coltivazioni di cereali, arbusti, latifoglie, savana, foreste di latifoglie decidue, foreste di latifoglie sempreverdi, foreste di aghifoglio decidui e foreste di aghifoglio sempreverdi. L'indice individua lo scostamento rispetto alla condizione media della frazione di radiazione solare assorbita dal bioma in esame nello stesso periodo per i differenti anni che compongono la serie storica. Si deve però considerare che colture differenti hanno proprietà ottiche differenti e soprattutto sviluppano condizioni di maggiore e minore assorbimento in periodo diversi dell'anno (sono legati allo stadio di crescita della pianta). Operare importanti approssimazioni nell'associazione del bioma comporta altrettanto rilevanti approssimazioni nel calcolo dello stress della vegetazione.

Inoltre, il $fAPAR$ analizza lo stress della vegetazione, ma non è in grado di risalire alla causa di tale stress. Valori negativi dell'indice non sempre sono da considerare come l'effetto di periodi siccitosi, in quanto potrebbero derivare da parassiti o malattie che colpiscono le piante o da scarsa irrigazione per scelte aziendali. È per tale motivazione che è importante analizzare i risultati di questo indice congiuntamente ad altri che rappresentino invece più nello specifico l'evento siccitoso.

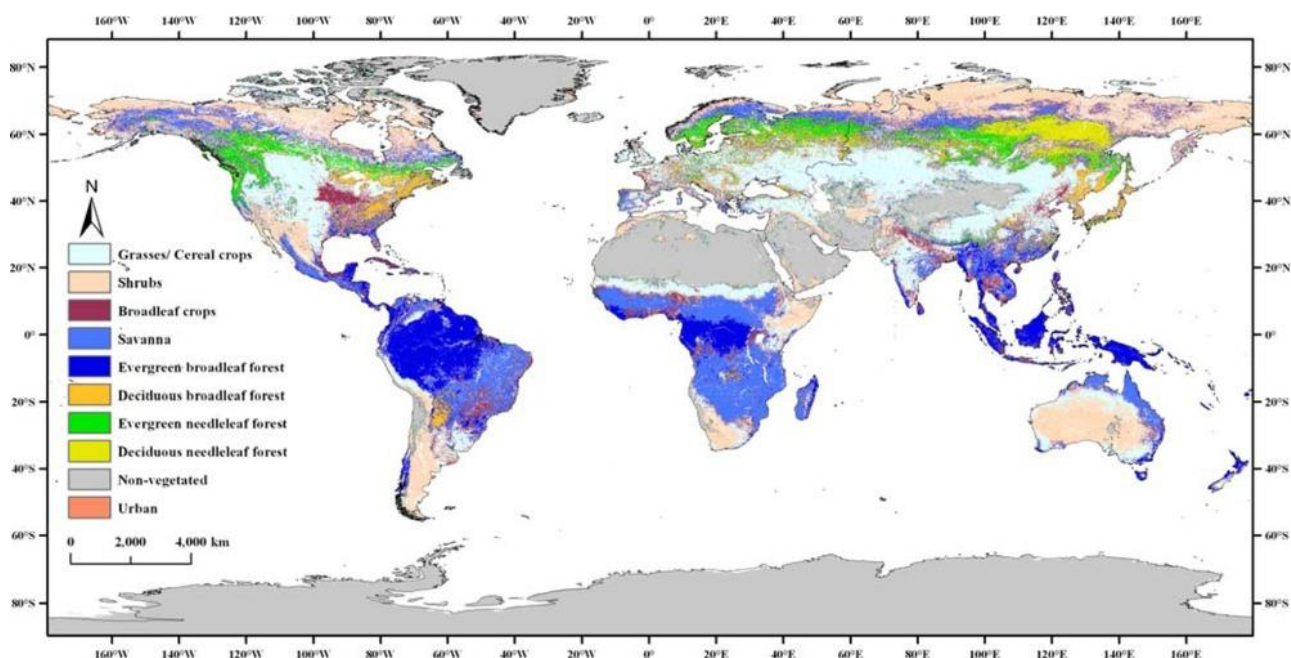


Figura 17 – Esempio di biomi considerati per la classificazione del pixel nell'analisi $fAPAR$ (Fang et al., 2013).

4.7 Combined Drought Indicator (CDI)

Il Combined Drought Indicator (CDI) è un indice di siccità che si ottiene dalla lettura combinata di 3 indici: $fAPAR_{anomaly}$, $SPI1/SPI3$ e $SM_{anomaly}$. L'informazione del CDI si basa su 6 diverse categorie di stato della siccità, le prime 3 indicano uno stato negativo, in ordine crescente di severità da Watch, a Warning ad Alert; mentre le altre 3 sono rappresentative di differenti stati di recupero (Temporary recovery SM, Temporary recovery $fAPAR$ e Full recovery). Nella Tabella 22 sono riportate le 6 categorie, ad ognuna di queste è stata associata una colorazione con scopo di rendere di più facile lettura la rappresentazione dei risultati, mostrati da Figura 18 a Figura 26. I valori riportati nel seguito sono stati forniti da AdBPo così come valutati dall'Osservatorio Europeo della siccità (EDO) del Joint Research Center (JRC) in formato decadale dal 2001 al 2018. Essi sono riportati nel seguito sotto forma di istogramma in cui l'ordinata indica la categoria del CDI raggiunta; ciascuna categoria è identificata da una linea orizzontale codificata secondo i colori di Tabella 22. Tali diagrammi presentano valori solo nei periodi di siccità e ripresa. Le decadi a cui non sono associati diagrammi sono quindi considerabili non siccitose.

Tabella 22 – Categorie dell'indice CDI.

LIVELLO	INTERPRETAZIONE
WATCH	Si osserva un rilevante deficit di precipitazioni (anomalia dello SPI)
WARNING	Il deficit di precipitazioni è accompagnato da un'anomalia nell'umidità del suolo (anomalia dello SPI combinata con quella dell'SMA)
ALERT	Le due anomalie precedenti sono accompagnate da un'anomalia negativa della crescita della vegetazione (anomalie negative di SPI, $SM_{anomaly}$ e $fAPAR_{anomaly}$)
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

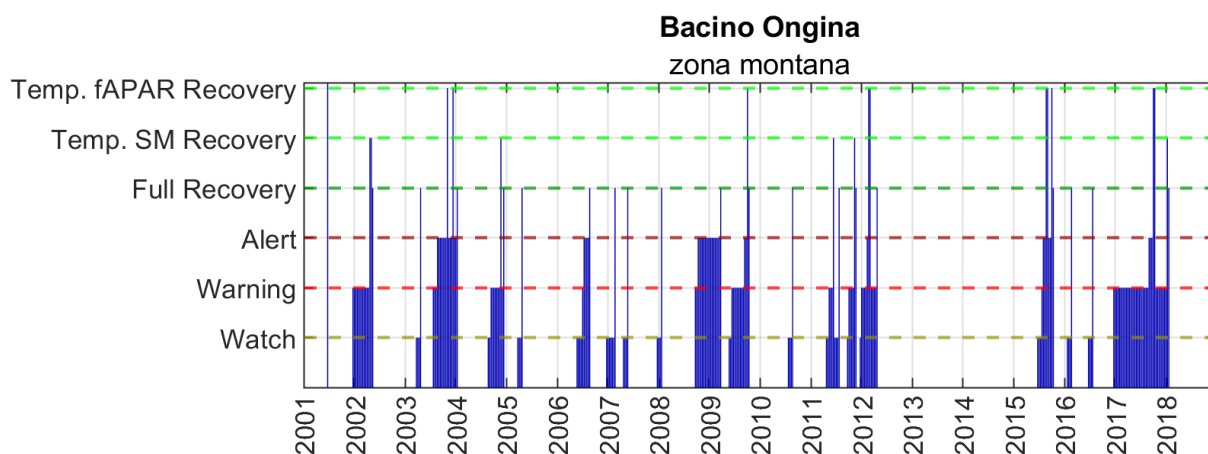


Figura 18 – Istogramma del CDI per il bacino montano del torrente Ongina.

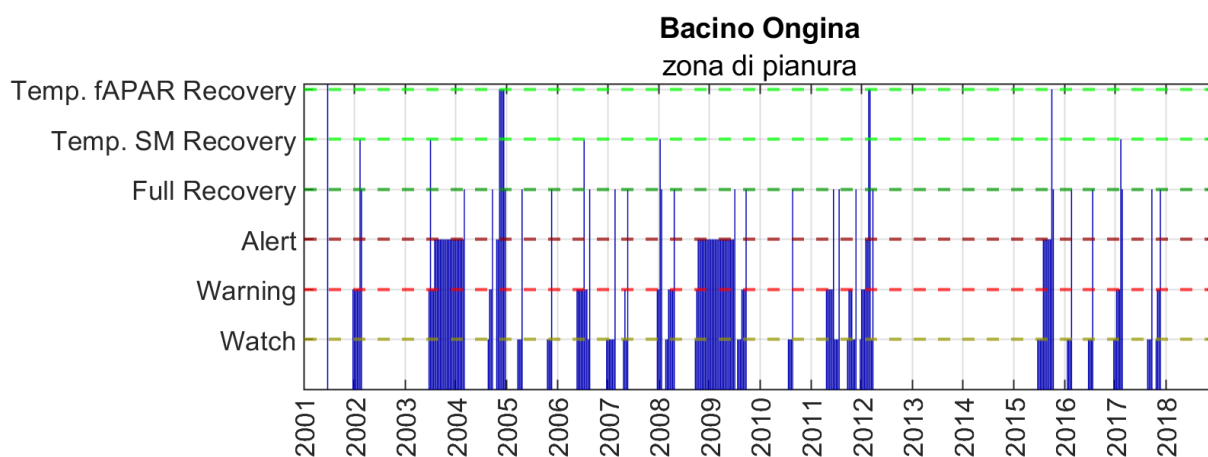


Figura 19 – Istogramma del CDI per il bacino di pianura del torrente Ongina.

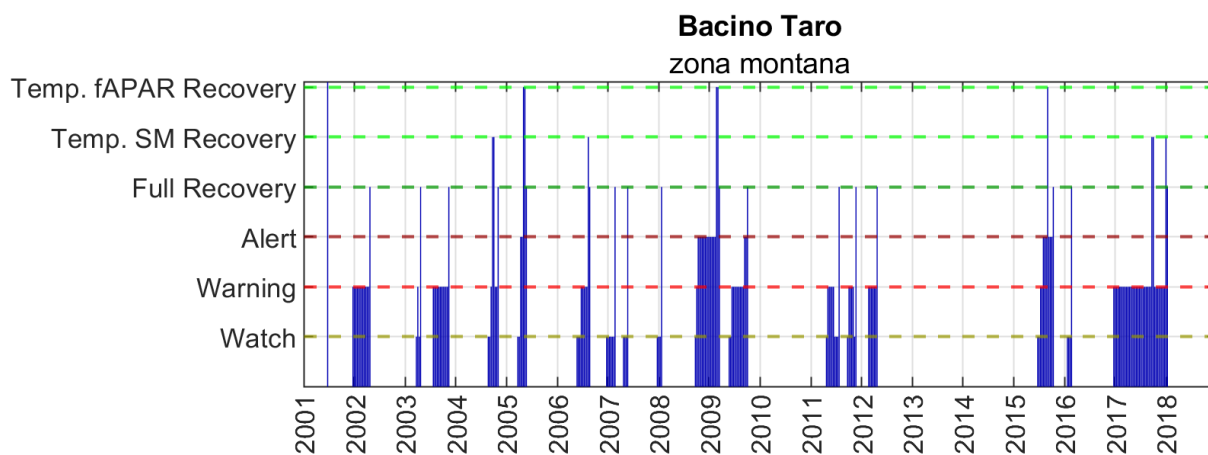


Figura 20 – Istogramma del CDI per il bacino montano del fiume Taro.

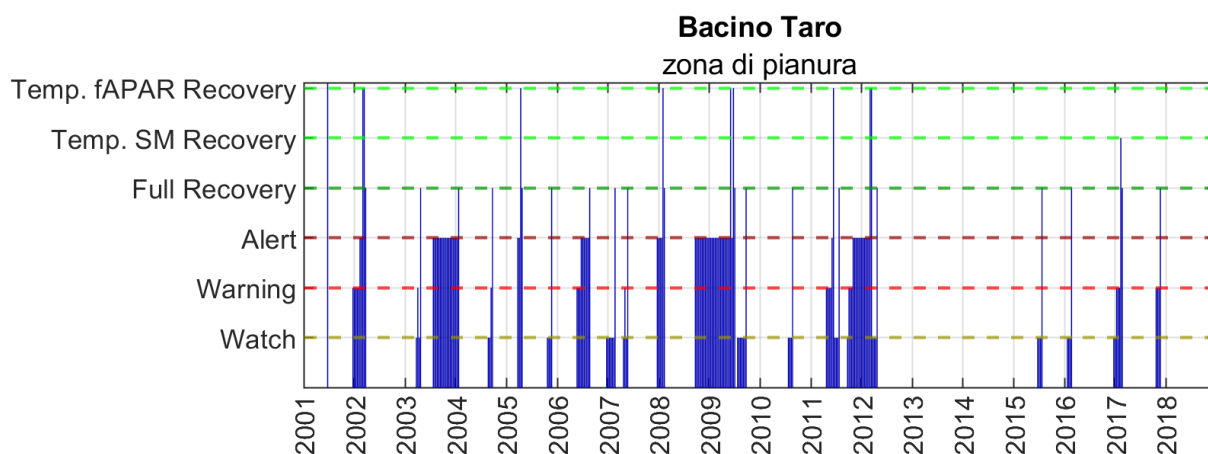


Figura 21 – Istogramma del CDI per il bacino di pianura del fiume Taro.

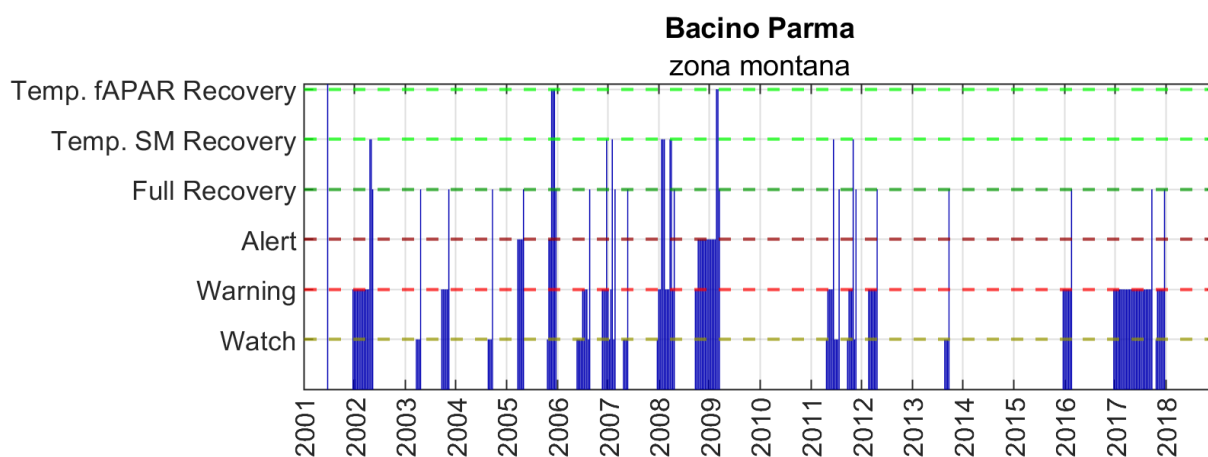


Figura 22 – Istogramma del CDI per il bacino montano del torrente Parma.

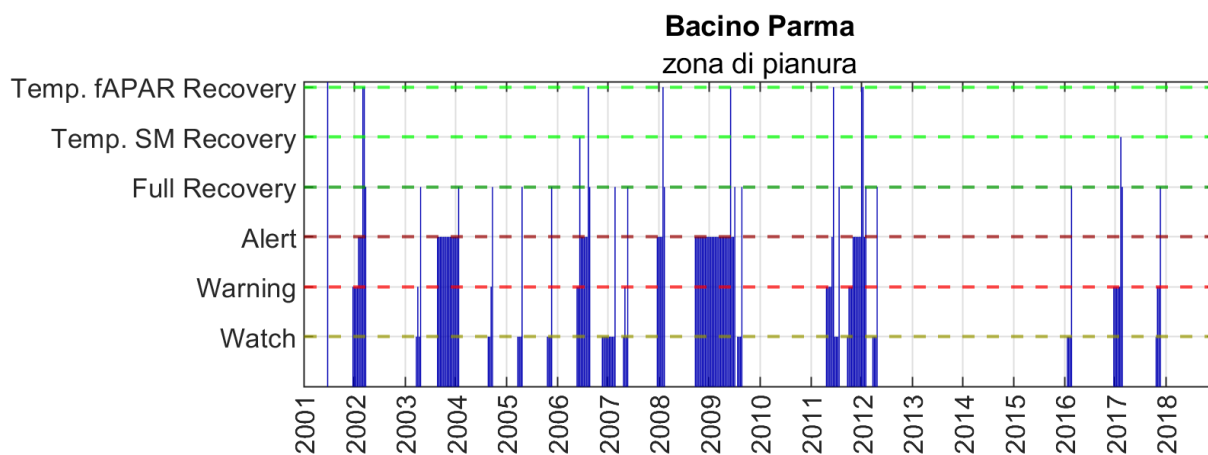


Figura 23 – Istogramma del CDI per il bacino di pianura del torrente Parma.

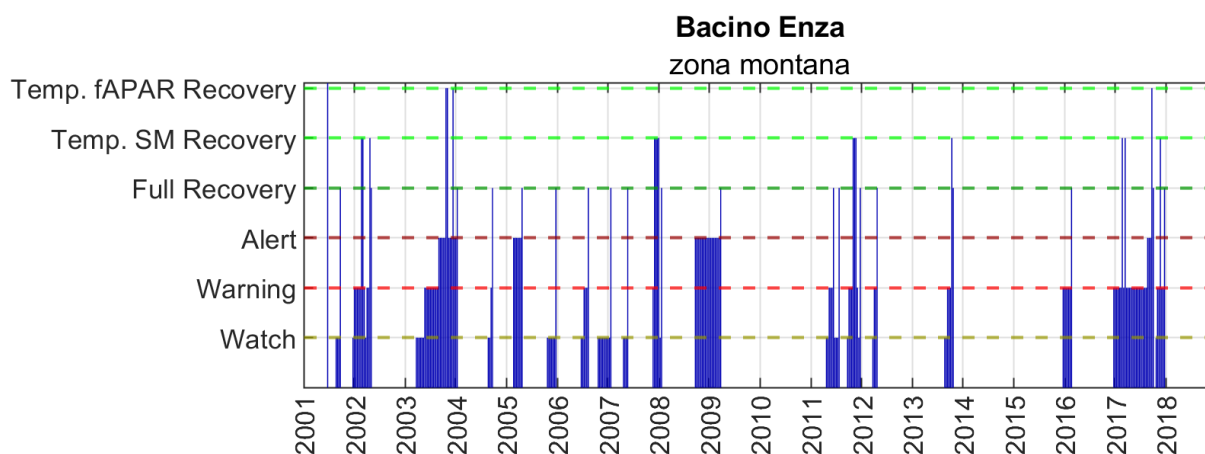


Figura 24 – Istogramma del CDI per il bacino montano del torrente Enza.

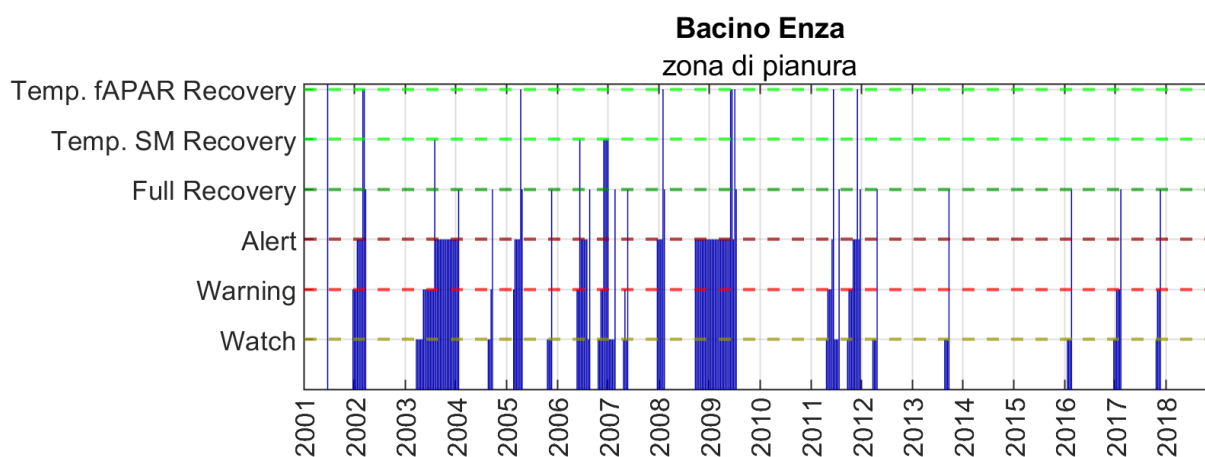


Figura 25 – Istogramma del CDI per il bacino di pianura del torrente Enza.

Analizzando i grafici e ponendo l'attenzione principalmente sui bacini di pianura, dove avviene l'irrigazione, si osserva che periodi di allarme severo (Alert) per un tempo prolungato si sono rilevati principalmente nell'inverno 2009 e nell'estate del 2003, periodi più contenuti di crisi si sono poi verificati nel 2002, 2006, 2008 e 2011. Così come anticipato per il fAPAR, anche per questo indice è importante analizzare il periodo dell'anno in cui la condizione di crisi si verifica, stati di crisi nel periodo invernale possono essere dovuti a fenomeni che prescindono dalle condizioni di siccità.

Le anomalie del CDI sono spesso dettate da un valore di $fAPAR_{anomaly}$ molto basso, è opportuno quindi ricordare le importanti approssimazioni operate per il suo calcolo (Capitolo 4.6). A tal proposito, avendo a disposizione oltre alla $fAPAR_{anomaly}$ anche i valori di SPI calcolati dal JRC, si è operato un confronto tra gli indici SPI1 e SPI3 calcolati da UNIPR⁹ e quelli forniti dal JRC. Si sono osservate notevoli incongruenze; a titolo di esempio si riporta in Figura 26 il confronto dell'indice SPI3 calcolato da UNIPR (arancione) e dal

⁹ Validati con indici SPI1 e SPI3 calcolati da Arpae.

JRC (blu) per il bacino di pianura del fiume Taro. Il grafico mostra come i valori, in generale, non sono sempre concordi e spesso sono presenti degli scostamenti molto evidenti (si notino ad esempio i valori associati alla seconda metà del 2016 e alla prima metà del 2017). In Appendice E sono riportati i restanti grafici di confronto per SPI1 e SPI3 dei bacini idrografici di montagna e pianura del fiume Taro e dei torrenti Ongina, Parma ed Enza.

La motivazione di queste difformità è da ricercare nella diversa scala spaziale di analisi; infatti, il valore fornito dal JRC è calcolato utilizzando i dati di precipitazione registrati dalle stazioni del sistema SYNOP (sul territorio di Parma sono presenti solo due stazioni appartenenti a questo sistema), mentre UNIPR usufruisce del database Eraclito (Antolini, et al., 2015) che presenta una maggiore risoluzione spaziale sul territorio di interesse.

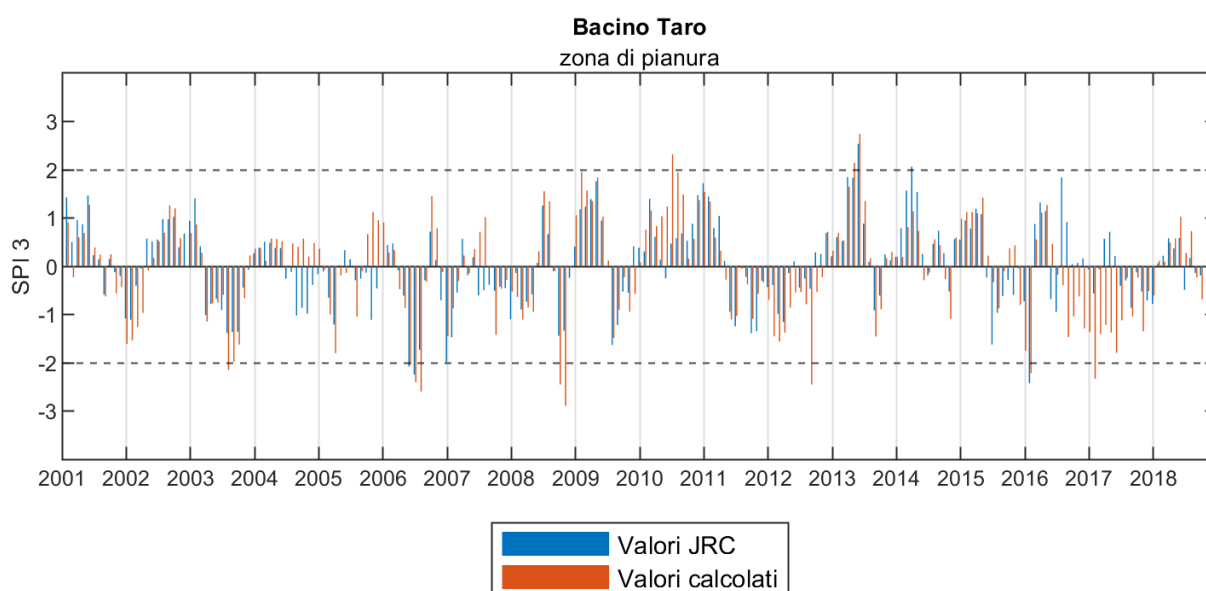


Figura 26 – Confronto del valore di SPI3 calcolato per ogni mese dal 2001 al 2018 nel bacino idrografico di pianura del fiume Taro. In blu sono riportati i valori forniti dal JRC e in arancione quelli calcolati da UNIPR e validati con quelli calcolati da Arpa.

5 Identificazione delle relazioni tra indici di siccità, criticità e impatti

Lo scopo del presente capitolo è quello di individuare un modello oggettivo di individuazione delle condizioni di siccità, legando i valori assunti dagli indici di siccità a condizioni differenti di crisi idrica.

Il processo ottimale per definire questa relazione richiede, dopo la scelta degli indici che individuano la condizione di scarsità idrica (Capitolo 4), la definizione della loro affidabilità mediante il confronto diretto dei valori calcolati con le criticità effettivamente verificatesi negli anni di analisi (ad esempio tramite l'analisi del registro dei periodi di interruzione del servizio, del blocco dei prelievi per raggiungimento del DMV, delle misure dei territori non serviti per carenza di risorsa e di registri della perdita in termini di resa e valore economico del prodotto riconducibili alla crisi idrica). Non disponendo di questi dati, utili a definire una relazione diretta con i danni, si è optato per indagare la relazione degli indici con la domanda idrica al campo (fabbisogni) e la disponibilità idrica alle fonti (nei fiumi e nelle falde).

Nel primo caso si sono legati gli indici SPI e SPEI con i fabbisogni. I fabbisogni rappresentano l'apporto idrico da irrigazione necessario per un ottimale sviluppo della pianta; essendo tali volumi calcolati al netto dell'apporto meteorico, è lecito pensare che vi sia una relazione tra i valori di fabbisogno e i valori di precipitazione e precipitazione netta del periodo irriguo. Nello specifico, più bassi risultano gli SPI/SPEI e maggiore ci si può aspettare che sia stata la richiesta idrica delle coltivazioni, rappresentata dal valore del fabbisogno.

Nella Tabella 23 si riportano, per gli anni dal 2013 al 2018, i valori di SPI3/SPEI3 di luglio, agosto e settembre e i valori di SPI6/SPEI6 di settembre, calcolati sul territorio di pianura del CdBP, posti a confronto con il fabbisogno totale e fabbisogno unitario dei comprensori irrigui del CdBP. Tali SPI/SPEI sono stati scelti in modo da rappresentare la precipitazione caduta nel periodo irriguo, mentre la scelta di riportare anche il valore unitario del fabbisogno risiede nella necessità di rendere l'analisi indipendente dalla variabilità dell'estensione della superficie coltivata. Per una migliore leggibilità dei dati si sono associate delle scale di colore dal rosso al verde ai valori di fabbisogno, dove in rosso è riportato il valore massimo di richiesta idrica e in verde il minimo. Per la stessa motivazione si sono riportati i valori di SPI/SPEI con il bianco, che individua condizioni coerenti con la media climatologica, e con le diverse gradazioni di rosso che definiscono situazioni di deficit di differente entità. Il limite di questa elaborazione è dovuto alla carenza dei valori di fabbisogno, disponibili solo dal 2013 al 2018.

Tabella 23 – Confronto indici SPI/SPEI con il fabbisogno idrico nel periodo 2013-2018.

	SPEI3			SPEI6	SPI3			SPI6	Fabbisogno Totale	Fabbisogno Unitario
	Lug.	Ago.	Sett.	Sett.	Lug.	Ago.	Sett.	Sett.	(Mm ³)	(mm)
2013	-0.30	-1.40	-1.18	0.03	-0.03	-1.44	-0.99	0.25	57.50	218
2014	0.30	0.26	0.19	-0.33	0.52	0.30	0.04	-0.32	45.92	179
2015	-1.04	-0.88	-0.34	-0.73	-0.71	-0.40	0.03	-0.28	49.78	203
2016	-0.53	-1.36	-1.40	-1.34	-0.32	-1.44	-1.08	-1.16	39.90	174
2017	-0.95	-1.57	-0.85	-1.57	-0.26	-1.15	-0.39	-1.04	72.58	288
2018	0.47	-0.62	-0.90	-0.77	0.60	-0.49	-0.84	-0.68	29.40	124

Dall'analisi dei valori riportati in Tabella 23 si può notare che:

- il 2017 risulta l'anno peggiore con valori di SPEI3 agosto e SPEI6 settembre che superano la soglia di siccità severa; i restanti valori sono comunque negativi anche se rientrano nelle condizioni di siccità moderata o media climatologica. I valori di fabbisogno sono i più elevati della serie storica 2013-2018;
- il 2016 è il secondo anno peggiore, esso presenta la maggior parte dei valori che rappresentano eventi di siccità moderata; solo i valori di luglio rientrano nella media anche se comunque negativi. Si noti come, se non si tenesse conto dei valori associati alla finestra temporale di sei mesi, gli indici associati al 2016 abbiano un andamento molto simile a quello del 2013; eppure i valori di fabbisogno sono molto differenti. Per il 2016 il valore di fabbisogno unitario risulta molto basso e quindi in disaccordo con la situazione tracciata dagli indici. La discrepanza è ben visibile confrontando il 2016 con il 2014, dove il valore di fabbisogno unitario è pressoché coincidente, eppure i valori di SPI/SPEI delineano condizioni differenti;
- il 2013 ha valori di SPI/SPEI 3 molto simili a quelli del 2016, mentre i valori di SPI/SPEI 6 sono invece praticamente nulli, volti ad indicare che la situazione nel periodo da aprile a settembre nel suo complesso è stata estremamente coerente con la condizione media dell'area. Le scarse precipitazioni e le alte temperature verificatesi nei tre mesi estivi rendono in ogni caso elevati i valori di fabbisogno, che risultano inferiori a quelli del 2017 ma comunque tra i più elevati;
- il 2015 ha il solo valore SPEI3 di luglio che individua una condizione di siccità, i restanti valori sono quasi tutti negativi ma rientrano nella media climatologica. Il valore di fabbisogno risulta infatti inferiore a quello del 2013 e in linea con il valore medio della serie storica analizzata;
- il 2014 e il 2018 sono gli unici due anni a non presentare valori di SPI e SPEI al di sotto del -1. La differenza maggiore tra le due annate risiede nel fatto che il 2018 presenta quasi tutti valori negativi e anche vicini al -1, mentre i valori associati al 2014 sono sempre positivi. Questo porterebbe a pensare che il 2014 abbia il valore più basso di fabbisogno dell'intera serie storica; invece, ciò si verifica per il 2018.

Da quanto presentato si potrebbe dedurre che gli indici scelti non siano adatti alla descrizione della richiesta idrica. È necessario però porre l'attenzione sui valori dei fabbisogni per gli anni 2016 e 2018 (Tabella 24). Tali

dati, forniti dal CER, mostrano per entrambi gli anni un valore pari a zero del fabbisogno dell'erba medica nel distretto di Gambalone - Naviglia - Casaltone. Ritenendo errato tale dato, si è utilizzato come valore di fabbisogno unitario dell'erba medica la media dei valori osservati nei comprensori limitrofi, Naviglio Navigabile e Spelta. Il fabbisogno dell'erba medica però non è l'unico dato incerto; infatti, analizzando i dati disponibili per il comprensorio Gambalone - Naviglia - Casaltone nel 2016, si nota ad esempio che il prato stabile presenta un valore di fabbisogno (73 mm), molto diverso da quello rilevato nei comprensori adiacenti (411 mm per il Naviglio Navigabile e 519 mm per lo Spelta) e in generale inferiore di più di 200 mm dal valore medio calcolato tra il 2003 e il 2018 sulla stessa area. Normale sarebbe una piccola eterogeneità dato che i valori sono dipendenti dal tipo di terreno e dalla quantità di pioggia, ma quanto osservato sembra esulare da questo. Si è quindi riscontrata una anomalia negativa generale dei valori associati al comprensorio Gambalone - Naviglia - Casaltone negli anni 2016 e 2018, che spiegherebbe i valori di fabbisogno totale inferiori a quanto deducibile dagli indici. Per tali anomalie i dati di fabbisogno non si ritengono sufficientemente robusti per permettere una efficiente correlazione con gli indici identificati.

Tabella 24 – Valori di fabbisogno irriguo unitario, espresso in mm, per i comprensori irrigui di Gambalone – Naviglia - Casaltone, Naviglio Navigabile e Spelta. I valori riportati sono riferiti agli anni 2016 e 2018, è inoltre riportato il valore medio sulla serie storica 2003-2018. La fonte del dato è il CER.

	GAMBALONE - NAVIGLIA - CASALTONE			NAVIGLIO NAVIGABILE			SPELTA		
	2016	2018	Valore medio	2016	2018	Valore medio	2016	2018	Valore medio
Bietola da zucchero	63	47	127	186	103	136	179	44	123
Erba Medica	0	0	144	184	141	163	267	69	194
Mais medio	95	20	216	271	167	237	317	155	245
Pomodoro da industria	175	76	196	280	164	214	266	174	206
Prato stabile	73	242	296	411	358	337	519	289	383
Vite interfilare lavorato	72	80	127	134	121	132	169	83	147

Per ovviare a questa problematica si è scelto di analizzare il rapporto tra indici e prelievi (sia da falda che dai corsi d'acqua), facendo sempre riferimento alla stessa finestra temporale. Da quanto presentato in Tabella 25 si può notare come in questo caso i valori dei prelievi siano assolutamente coerenti con la situazione presentata dagli indici; infatti, il 2017 è ancora l'anno più idroesigente, ma è direttamente seguito dal 2016 e poi dal 2013. Il 2015 e il 2018 hanno valori di prelievo molto simili e solo il 2014 è estremamente inferiore. A causa della carenza di dati, nel calcolo dei volumi prelevati non sono stati considerati quelli delle prese di Ramiola e Cerezzola; ma poiché non presenti per l'intera serie storica, è ragionevole pensare che non influiscano sull'andamento generale.

Tabella 25 – Confronto indici SPI3/SPEI 3 di luglio, agosto e settembre e SPI6/SPEI6 di settembre con i volumi prelevati nel periodo 2013-2018.

	SPEI 3			SPEI 6	SPI 3			SPI 6	VOLUMI PRELEVATI
	Lug.	Ago.	Sett.	Sett.	Lug.	Ago.	Sett.	Sett.	(Mm3)
2013	-0.30	-1.40	-1.18	0.03	-0.03	-1.45	-1.00	0.27	7.18
2014	0.30	0.26	0.19	-0.33	0.49	0.27	0.02	-0.36	2.70
2015	-1.04	-0.88	-0.34	-0.73	-0.69	-0.43	0.01	-0.27	5.23
2016	-0.53	-1.36	-1.40	-1.34	-0.29	-1.40	-1.07	-1.12	8.23
2017	-0.95	-1.57	-0.85	-1.57	-0.25	-1.14	-0.38	-1.04	9.32
2018	0.47	-0.62	-0.90	-0.77	0.57	-0.49	-0.83	-0.67	5.78

Dal confronto con i volumi prelevati appena presentato si può quindi dedurre che vi è una correlazione tra SPI/SPEI e la richiesta irrigua.

Per analizzare compiutamente i fenomeni di siccità che interessano le coltivazioni non è sufficiente analizzare il solo apporto proveniente dalle precipitazioni, ma bensì si deve tener conto anche della condizione dei corsi d'acqua superficiali e delle falde sotterranee. Si è perciò ricercato un metodo che permettesse l'individuazione (anche preventiva) di condizioni di criticità alle prese. In letteratura, come già anticipato nei Capitoli 2.1 e 2.2, sia lo SPI che lo SPEI ad aggregazioni temporali a partire da tre mesi sono stati utilizzati per rappresentare la condizione alle fonti idriche. Per tale motivo si sono confrontati i valori di SPI3/SPEI3 di luglio, agosto e settembre e SPI6/SPEI6 di settembre con le portate transanti nei corsi d'acqua (indice IHA) e gli SPI6/SPEI6 di marzo e SPI12/SPEI12 e 24 di settembre e marzo con l'indice normalizzato di soggiacenza della falda acquifera misurata per i pozzi del CdBP, per gli anni 2012 (da Tabella 26 a Tabella 29) e 2017 (da Tabella 30 a Tabella 33).

Tabella 26 – Valori di SPI e SPEI del territorio di pianura del CdBP associati all'anno 2012.

SPEI 3 MESI			SPEI 6 MESI		SPEI 12 MESI		SPEI 24 MESI	
Luglio	Agosto	Settembre	Marzo	Settembre	Marzo	Settembre	Marzo	Settembre
-1.29	-2.02	-0.95	-1.51	-1.22	-1.95	-1.79	-0.45	-1.29
SPI 3 MESI			SPI 6 MESI		SPI 12 MESI		SPI 24 MESI	
Luglio	Agosto	Settembre	Marzo	Settembre	Marzo	Settembre	Marzo	Settembre
-0.87	-2.54	-0.52	-1.51	-0.89	-2.19	-1.78	0.07	-0.94

Tabella 27 – Valori di SPI e SPEI del territorio di montagna del CdBP associati all'anno 2012.

SPEI 3 MESI			SPEI 6 MESI		SPEI 12 MESI		SPEI 24 MESI	
Luglio	Agosto	Settembre	Marzo	Settembre	Marzo	Settembre	Marzo	Settembre
-1.22	-1.76	-0.03	-1.33	-0.12	-1.73	-1.16	-0.34	-0.68
SPI 3 MESI			SPI 6 MESI		SPI 12 MESI		SPI 24 MESI	
Luglio	Agosto	Settembre	Marzo	Settembre	Marzo	Settembre	Marzo	Settembre
-1.06	-1.89	0.26	-1.25	0.18	-1.81	-0.99	-0.12	-0.42

Tabella 28 – Valori degli indici IHA associati all'anno 2012 delle principali stazioni presenti sul territorio. I valori riportati con sfondo bianco sono tra i cinque valori minori mai registrati per la stazione in esame, in sfondo celeste i valori che non sono tra i peggiori della serie storica ma che risultano in ogni caso minori del DMV associato alla stazione d'analisi (si hanno informazioni sul DMV sulle sole stazioni di Vetto e Parma Ponte Verdi) ed in sfondo verde i valori che non appartengono alle prime due classi. Per ognuno degli indici sono riportati il valore di portata e la data centrale della finestra temporale associata.

	1 giorno		3 giorni		7 giorni		30 giorni		90 giorni	
	Q (m ³ /s)	Data	Q (m ³ /s)	Data	Q (m ³ /s)	Data	Q (m ³ /s)	Data	Q (m ³ /s)	Data
SAN SECONDO	1.38	18/07	1.42	19/07	1.56	22/08	1.71	13/08	3.90	12/08
VETTO	0.32	09/08	0.38	08/08	0.41	07/08	0.62	12/08	1.33	13/08
OSTIA PARMENSE	0.55	26/08	0.60	25/08	0.67	23/08	0.88	12/08	1.64	13/08
CREMONA	391	04/08	395	03/08	406	04/08	435	10/08	595	11/08
PARMA PONTE VERDI	0.01	09/07	0.01	10/07	0.01	12/07	0.01	30/07	0.34	13/08
SORBOLO	0.48	04/08	0.48	04/08	0.55	03/08	0.60	01/08	0.82	14/08

Tabella 29 – Valori di soggiacenza e indice normalizzato di soggiacenza dei pozzi del CdBP. Per ogni valore è riportata la data della misura; sono riportate le sole misurazioni associate all'anno 2012.

NOME POZZO	DATA MISURA	SOGGIACENZA	INDICE NORMALIZZATO DI SOGGIACENZA
PETICOSO	23/02/12	7.00	0.13
PETICOSO	08/05/12	8.50	-0.59
PETICOSO	14/08/12	10.00	-1.31
CASALBARBATO	23/02/12	12.00	0.70
CASALBARBATO	16/07/12	14.00	-0.83
CASALBARBATO	13/08/12	15.00	-1.60
GAZZINA	23/02/12	13.00	-0.02
GAZZINA	07/05/12	13.50	-0.23
GAZZINA	16/07/12	15.00	-0.87
GAZZINA	13/08/12	16.00	-1.29
TOCCALMATTO	23/02/12	14.00	-0.10
TOCCALMATTO	07/05/12	14.50	-0.29
TOCCALMATTO	13/08/12	17.00	-1.27
FIENILBRUCIATO	23/02/12	13.00	0.23
FIENILBRUCIATO	08/05/12	20.00	-1.94
FIENILBRUCIATO	16/07/12	14.00	-0.08
FIENILBRUCIATO	13/08/12	14.00	-0.08
CORNALETO	23/02/12	5.00	0.53
CORNALETO	08/05/12	5.00	0.53
CORNALETO	16/07/12	9.00	-0.62
CORNALETO	14/08/12	14.00	-2.05
RONCO CC	23/02/12	3.00	0.41
RONCO CC	04/05/12	3.50	-0.27
RONCO CC	14/08/12	5.00	-2.31
TORTIANO	23/02/12	5.00	-0.09
TORTIANO	14/08/12	6.00	-1.36
VEZZA	23/02/12	12.00	0.57
VEZZA	08/05/12	12.00	0.57
VEZZA	16/07/12	13.00	1.08
VEZZA	13/08/12	14.00	1.59

Tabella 30 – Valori di SPI e SPEI del territorio di pianura del CdBP associati all'anno 2017.

SPEI 3 MESI			SPEI 6 MESI		SPEI 12 MESI		SPEI 24 MESI	
Luglio	Agosto	Settembre	Marzo	Settembre	Marzo	Settembre	Marzo	Settembre
-0.95	-1.57	-0.85	-1.61	-1.57	-1.82	-2.03	-1.73	-1.98
SPI 3 MESI			SPI 6 MESI		SPI 12 MESI		SPI 24 MESI	
Luglio	Agosto	Settembre	Marzo	Settembre	Marzo	Settembre	Marzo	Settembre
-0.25	-1.14	-0.38	-1.93	-1.04	-2.23	-2.18	-1.84	-2.08

Tabella 31 – Valori di SPI e SPEI del territorio di montagna del CdBP associati all'anno 2017.

SPEI 3 MESI			SPEI 6 MESI		SPEI 12 MESI		SPEI 24 MESI	
Luglio	Agosto	Settembre	Marzo	Settembre	Marzo	Settembre	Marzo	Settembre
-1.15	-1.76	-0.99	-1.26	-1.65	-1.69	-1.91	-1.72	-1.87
SPI 3 MESI			SPI 6 MESI		SPI 12 MESI		SPI 24 MESI	
Luglio	Agosto	Settembre	Marzo	Settembre	Marzo	Settembre	Marzo	Settembre
-0.6	-1.33	-0.55	-1.29	-1.28	-1.92	-1.87	-1.76	-1.93

Tabella 32 – Valori degli indici IHA associati all'anno 2017 delle principali stazioni presenti sul territorio. I valori riportati con sfondo bianco sono tra i cinque valori minori mai registrati per la stazione in esame, in sfondo celeste i valori che non sono tra i peggiori della serie storica ma che risultano in ogni caso minori del DMV associato alla stazione d'analisi (si hanno informazioni sul DMV sulle sole stazioni di Vetto e Parma Ponte Verdi) ed in sfondo verde i valori che non appartengono alle prime due classi. Per ognuno degli indici sono riportati il valore di portata e la data centrale della finestra temporale associata.

	1 giorno		3 giorni		7 giorni		30 giorni		90 giorni	
	Q (m ³ /s)	Data	Q (m ³ /s)	Data	Q (m ³ /s)	Data	Q (m ³ /s)	Data	Q (m ³ /s)	Data
SAN SECONDO	0.08	14/08	0.09	23/08	0.12	15/08	0.15	25/08	0.74	29/07
VETTO	1.25	30/08	1.31	30/08	1.36	29/08	1.43	19/08	1.97	28/07
OSTIA PARMENSE	0.61	23/08	0.63	22/08	0.66	24/08	0.80	19/08	1.36	28/07
CREMONA	383	22/07	393	21/07	425	22/07	458	27/07	596	28/07
PARMA PONTE VERDI	0.00	01/06	0.00	02/06	0.00	20/06	0.00	16/07	0.02	01/08
SORBOLO	0.00	07/07	0.00	08/07	0.00	14/07	0.00	19/08	0.03	24/07

Tabella 33 – Valori di soggiacenza e indice normalizzato di soggiacenza dei pozzi del CdBP. Per ogni valore è riportata la data della misura, sono riportate le sole misurazioni associate all'anno 2017.

NOME POZZO	DATA MISURA	SOGGIACENZA	INDICE NORMALIZZATO DI SOGGIACENZA
PETICOSO	05/05/17	8.00	-0.35
PETICOSO	05/07/17	10.00	-1.31
PETICOSO	03/08/17	10.00	-1.31
PETICOSO	06/09/17	11.00	-1.78
GAZZINA	05/05/17	16.00	-1.29
GAZZINA	05/07/17	17.00	-1.71
GAZZINA	03/08/17	16.00	-1.29
GAZZINA	06/09/17	18.00	-2.14
TOCCALMATTO	05/05/17	15.00	-0.49
TOCCALMATTO	03/08/17	18.00	-1.66
TOCCALMATTO	06/09/17	19.00	-2.05
FIENILBRUCIATO	05/05/17	14.00	-0.08
FIENILBRUCIATO	05/07/17	14.00	-0.08
FIENILBRUCIATO	06/09/17	17.00	-1.01
CORNALETO	05/05/17	6.00	0.24
CORNALETO	05/07/17	7.00	-0.04
CORNALETO	03/08/17	12.00	-1.47
CORNALETO	06/09/17	13.00	-1.76
RONCO CC	05/05/17	4.00	-0.95
RONCO CC	06/09/17	5.00	-2.31
TORTIANO	03/08/17	5.00	-0.09
TORTIANO	06/09/17	7.00	-2.63
VEZZA	05/05/17	13.00	1.08
VEZZA	05/07/17	13.00	1.08

Per quanto riguarda le condizioni alla falda le correlazioni risultano evidenti. Quando si registrano valori negativi di SPI12/SPEI12 e 24, il livello di falda si trova al di sotto del livello medio del periodo analizzato (indice normalizzato di soggiacenza negativo).

Per l'anno 2012 si notano valori di SPI/SPEI a lunga durata molto bassi (Tabella 26 e Tabella 27), che trovano riscontro anche nei livelli di falda che raggiungono valori di indice normalizzato di soggiacenza anche inferiori a -1.5 nel mese di agosto (pozzi Casalbarbato, Cornaleto e Ronco Campo Canneto), riportati in Tabella 29. Considerazioni analoghe possono essere fatte per l'anno 2017 che presenta valori di SPI/SPEI di 6, 12 e 24 mesi dell'ordine di -2 (Tabella 30 e Tabella 31) che si traducono in indici di soggiacenza relativi ai pozzi negativi già nel mese di maggio (Tabella 33). L'abbassamento della falda si nota in quasi tutti i pozzi, tranne per Vezza dove si hanno valori opposti per entrambi gli anni.

Per avere indicazioni sullo stato della risorsa superficiale si è utilizzato l'indice IHA. Da quest'ultimo si può notare come nel 2012 non si è riscontrata una particolare carenza di risorsa nei corsi d'acqua, se non per la stazione di Ostia Parmense, nonostante gli indici SPI/SPEI siano sempre negativi (Tabella 28). Al contrario il 2017 è spesso uno tra i cinque anni peggiori per le stazioni prese in esame (a tali valori è associata una casella

bianca), fanno eccezione le stazioni di Vetto e Ostia Parmense (Tabella 32). Discorso a parte si ha per la stazione di Cremona, dove la portata che si rileva non dipende dalle sole precipitazioni cadute nel comprensorio del CdBP.

In Tabella 34 si riportano i valori di SPI/SPEI selezionati e i valori di prelievo da falda e dai corsi d'acqua operato dal CdBP, dal 2000 al 2018.

Dalla Tabella 34 si nota come la correlazione tra i volumi prelevati e gli indici di siccità è complessa. Per esempio, il 2003 presenta valori di SPEI a 3 mesi di luglio, agosto e settembre molto bassi e i volumi prelevati sono i più elevati dell'intera serie storica. In generale è possibile notare che fino al 2009 i volumi prelevati sembrano mediamente più alti rispetto a quelli che si registrano dal 2010 in poi; si ritiene che tale condizione derivi dai maggiori vincoli imposti ad esempio per il DMV nel corso degli anni (con Decreto del Ministero dell'ambiente e del territorio del 28 luglio 2004). Difatti, nel 2017 ci sono stati valori di SPI/SPEI molto negativi e molto inferiori a quelli riscontrati nel 2009, eppure i dati indicano che il prelievo è stato maggiore per quest'ultimo. Dalle misure disponibili non è possibile risalire se il motivo di un minor prelievo sia dovuto alla mancanza di risorsa o per altri motivi (es. scelte gestionali).

Tabella 34 – Confronto valori di SPI/SPEI 3 di luglio, agosto e settembre e SPI/SPEI 6 di marzo e settembre con i valori di prelievo da falda e da corso d'acqua operato dal CdBP, dal 2000 al 2018.

	SPEI 3			SPEI 6		SPI 3			SPI 6		VOLUME TOT. PRELEVATO	VOL. PRELEVATO DA CORSI D'ACQUA	VOL. PRELEVATO DA POZZO
	Lug.	Ago.	Sett.	Mar.	Sett.	Lug.	Ago.	Sett.	Mar.	Sett.	(Mm3)	(Mm3)	(Mm3)
2000	-0.79	-0.79	-0.97	-0.28	-1.25	-0.18	-0.16	-0.48	0.08	-0.71	7.91	5.92	1.99
2001	-0.19	-0.94	-0.02	0.87	-0.05	0.42	-0.49	0.3	0.94	0.48	10.70	9.03	1.67
2002	0.48	1.03	1.21	-1.71	1.16	0.72	1.16	1.11	-1.98	1.27	4.15	3.38	0.78
2003	-1.99	-1.96	-1.61	-0.35	-2.03	-2.37	-2.05	-1.5	-0.15	-1.72	17.13	12.28	4.85
2004	0.08	0.35	0.53	0.55	0.39	0.38	0.75	0.92	0.57	0.79	6.20	5.43	0.77
2005	-1.48	-0.5	0.53	-0.74	-0.09	-1.31	-0.11	0.65	-0.59	0.27	9.49	7.11	2.38
2006	-1.91	-0.74	0.98	0.51	-0.56	-2.33	-0.32	1.22	0.49	-0.09	13.83	10.24	3.59
2007	0.12	-0.54	-1.5	-1.19	-1.22	0.88	-0.08	-1.37	-1.07	-0.6	5.00	3.21	1.78
2008	1.28	-0.43	-1.81	-1.28	-0.23	1.5	0.01	-2.1	-1.22	0.03	4.25	3.07	1.19
2009	-1.52	-1.14	-0.65	1.49	-0.65	-1.57	-0.98	-0.29	1.54	-0.22	10.07	7.75	2.31
2010	1.22	0.69	0.08	0.42	1.13	1.5	1.01	0.21	0.46	1.47	5.15	4.37	0.79
2011	-0.2	-0.41	-1.34	1.26	-1.82	0.15	-0.18	-1.16	1.24	-1.62	6.42	5.04	1.39
2012	-1.29	-2.02	-0.95	-1.51	-1.22	-0.87	-2.55	-0.51	-1.5	-0.88	7.38	5.57	1.81
2013	-0.3	-1.4	-1.18	1.56	0.03	-0.03	-1.44	-0.99	1.45	0.25	7.18	5.54	1.64
2014	0.3	0.26	0.19	0.84	-0.33	0.52	0.3	0.04	0.95	-0.32	2.70	1.92	0.78
2015	-1.04	-0.88	-0.34	1.17	-0.73	-0.71	-0.4	0.03	1.26	-0.28	5.23	4.32	0.92
2016	-0.53	-1.36	-1.4	-0.46	-1.34	-0.32	-1.44	-1.08	-0.25	-1.16	8.23	7.16	1.07
2017	-0.95	-1.57	-0.85	-1.61	-1.57	-0.26	-1.15	-0.39	-1.93	-1.04	9.32	8.03	1.29
2018	0.47	-0.62	-0.9	-0.41	-0.77	0.6	-0.49	-0.84	-0.27	-0.68	5.78	4.94	0.84

Partendo dall'analisi degli indici scelti si è definita una lista di annate che rappresentano criticità di origine ed entità differenti che si ritiene utile approfondire, riportata in Tabella 35. L'analisi di questi eventi specifici si ritiene utile per definire gli intervalli dei valori assunti dagli indici che segnalano condizioni di siccità; essi si ritengono inoltre utili a definire e analizzare i differenti impatti che le differenti condizioni provocano.

Tabella 35 – Proposta annate critiche, scelte sulla base della domanda idrica al campo (valutando SPI3/SPEI3 di luglio, agosto e settembre e SPI6/SPEI6 di settembre) e della disponibilità nelle falde sotterranee (valutando SPI6/SPEI6 di marzo e SPI12/SPEI12 e 24 di marzo e settembre).

Anno	Domanda	Disponibilità
2003	Elevata nel periodo irriguo (basso SPI3/SPEI3 di luglio agosto settembre)	In media nel periodo autunno-inverno e precedente (SPI6 e 12 di marzo in media climatologica)
2012	Elevata/moderata nel periodo irriguo (basso SPI3 di agosto)	Scarsa nel periodo autunno-inverno e precedente (basso SPI6/SPEI6 e 12 di marzo)
2017	Moderata nel periodo irriguo (basso SPI3/SPEI3 di agosto)	Scarsa nel periodo autunno-inverno e precedente (SPI/SPEI di 6, 12 e 24 mesi sono bassi)
2002	Bassa (SPI3/SPEI3 di agosto e settembre >1)	Molto scarsa nel periodo autunno-inverno (basso SPI6/SPEI6 di marzo)

Per il 2003 si hanno bassi valori di SPI3/SPEI3 di luglio, agosto e settembre e questo suggerisce una domanda idrica elevata nel periodo irriguo. Gli SPI/SPEI a 6 e 12 mesi risultano in media climatologica; quindi, si ritiene che l'elevata richiesta estiva sia stata soddisfatta grazie alla disponibilità nelle risorse sotterranee, ricaricate nel periodo precedente.

Il 2012 presenta una situazione di moderata richiesta idrica nel periodo irriguo, con scarse precipitazioni e bassa disponibilità nei fiumi; in contemporanea ha anche una scarsità di apporti meteorici nel periodo autunnale/invernale precedente (bassi valori SPI/SPEI a 6 e 12 mesi di marzo) che comporta una minore ricarica delle falde. Nonostante la carenza di disponibilità nel periodo irriguo sia stata meno rilevante rispetto a quanto osservato nel 2003, si ritiene che il deficit di disponibilità delle acque sotterranee abbia portato ad una maggiore difficoltà nel soddisfacimento dei fabbisogni.

Il 2017 è stato l'ultimo anno critico rilevato in ordine cronologico. La disponibilità idrica risulta piuttosto scarsa in quanto nei 6, 12 e 24 mesi precedenti al periodo irriguo ha piovuto molto meno rispetto la media climatologica; allo stesso tempo la domanda risulta moderata in quanto vi sono state precipitazioni nel periodo estivo. Eccezione fa lo SPI3 di agosto, più basso rispetto a quelli di luglio e settembre.

Infine, si menziona l'anno 2002 in cui la disponibilità ad inizio stagione irrigua era molto scarsa (bassi SPI di 6 mesi a marzo), ma le piogge estive abbondanti (valori positivi di SPI/SPEI di 3 e 6 mesi) hanno fatto sì che non si sia verificata una condizione di crisi.

Tra gli anni identificati come rappresentativi delle potenziali situazioni di criticità di differente entità (2002, 2003, 2012 e 2017), i fabbisogni sono disponibili solo per il 2017; per tale motivazione risulta impossibile

legare le informazioni di criticità fornite dagli indici climatologici con il reale fabbisogno al campo per tutte le annate individuate.

Ulteriori analisi, riprendendo quanto già studiato a scala media nell’Azione II, hanno riguardato il confronto a scala annuale tra i fabbisogni su ciascuno dei comprensori irrigui e il volume utilizzato al campo stimato dal CdBP; la differenza tra i fabbisogni (**F**) e il volume utilizzato al campo (**V_c**) è identificata con la voce “Altro” (**F - V_c**). Si ricorda che, dando affidabilità al calcolo del fabbisogno medio, il contributo “Altro” assomma: i) i prelievi di acque sotterranee e/o superficiali in autoapprovvigionamento da parte delle aziende agricole e non contabilizzati dal CdBP; ii) il mancato soddisfacimento dei fabbisogni per politiche economiche aziendali; iii) il mancato soddisfacimento dei fabbisogni per carenza idrica. Queste elaborazioni vengono proposte nel periodo aprile-settembre per gli anni 2016, 2017 e 2018 e sono riportate in Tabella 36. Si nota che l’anno 2017 mostra sistematicamente il massimo valore di fabbisogno dell’intero periodo per tutti i comprensori. La variabile “Altro” nel 2017 è sempre la più elevata, sinonimo di criticità maggiore; con i dati a disposizione non è possibile distinguere le tre voci comprese in “Altro” e quindi associare questi valori elevati ad una effettiva carenza idrica.

Tabella 36 – Valori annuali del fabbisogno, volume utilizzato al campo e quota. Altro per ciascun comprensorio irriguo del CdBP. I valori annuali riportati fanno riferimento al periodo 2016-2018.

Comprensorio irriguo	Area (ha)	Anno	Fabbisogno (Mm ³ /anno) F	Volume utilizzato al campo (Mm ³ /anno) V_c	Altro (Mm ³ /anno) F - V_c
Ongina	10759	2016	8.20	2.05	6.15
		2017	17.30	2.52	14.78
		2018	7.50	1.59	5.91
San Vitale – San Carlo – San Genesio	13622	2016	7.90	2.17	5.73
		2017	20.58	3.76	16.82
		2018	7.41	1.93	5.48
Sissa - Trecasali	4981	2016	2.22	0.81	1.41
		2017	7.49	1.15	6.34
		2018	3.61	0.78	2.83
Galasso - Lorno	5355	2016	6.16	0.94	5.22
		2017	8.84	0.82	8.02
		2018	2.59	0.69	1.9
San Siro	1060	2016	1.24	0.18	1.06
		2017	1.50	0.24	1.26
		2018	0.47	0.06	0.41
Naviglio Navigabile	5240	2016	5.30	4.14	1.16
		2017	7.22	3.61	3.61
		2018	3.66	1.76	1.9
Gambalone - Naviglia – Casaltone e Spelta	6873	2016	8.15	5.47	2.68
		2017	9.59	3.38	6.21
		2018	4.17	3.39	0.78

Oltre alle carenze informative già riportate, per il territorio in analisi non si hanno a disposizione dati o informazioni certe che potrebbero aiutare a definire negli anni identificati gli impatti sulla produzione agricola e, laddove presenti, le cause che li hanno generati.

A causa dell'assenza di una banca dati che permetta lo studio annuale delle criticità riscontrate e di registri che quantifichino gli impatti verificatisi negli anni, si sono ricercate informazioni sulla documentazione giornalistica per avere conferma delle eventuali criticità riscontrate negli anni identificati come maggiormente siccitosi. Sebbene le informazioni giornalistiche si siano rivelate utili a dare riscontro sulle siccità pregresse, queste non presentano dati utili alla quantificazione degli impatti e alla causa specifica nel territorio in esame.

In assenza di dati diretti sugli impatti sull'agricoltura della carenza idrica nel territorio in esame, si è seguita una strada alternativa che ne permettesse una valutazione indiretta facendo riferimento ai dati di produzione agricola redatti dall'ISTAT a scala provinciale. In Figura 27, si riporta con riferimento al territorio della provincia di Parma, la serie storica nel periodo 2006-2018 della resa agricola¹⁰ per le varie colture già studiate nell'Azione II. I valori riportati sono espressi in termini di indice normalizzato secondo la formula:

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

dove X è il valore di resa agricola (q/ha) mentre \bar{X} e δ sono rispettivamente la media sul lungo periodo e la deviazione standard della resa agricola per la coltivazione in esame. Dunque, valori pari a zero indicano una resa pari a quella media del periodo, valori positivi indicano rese migliori e viceversa per quelli negativi.

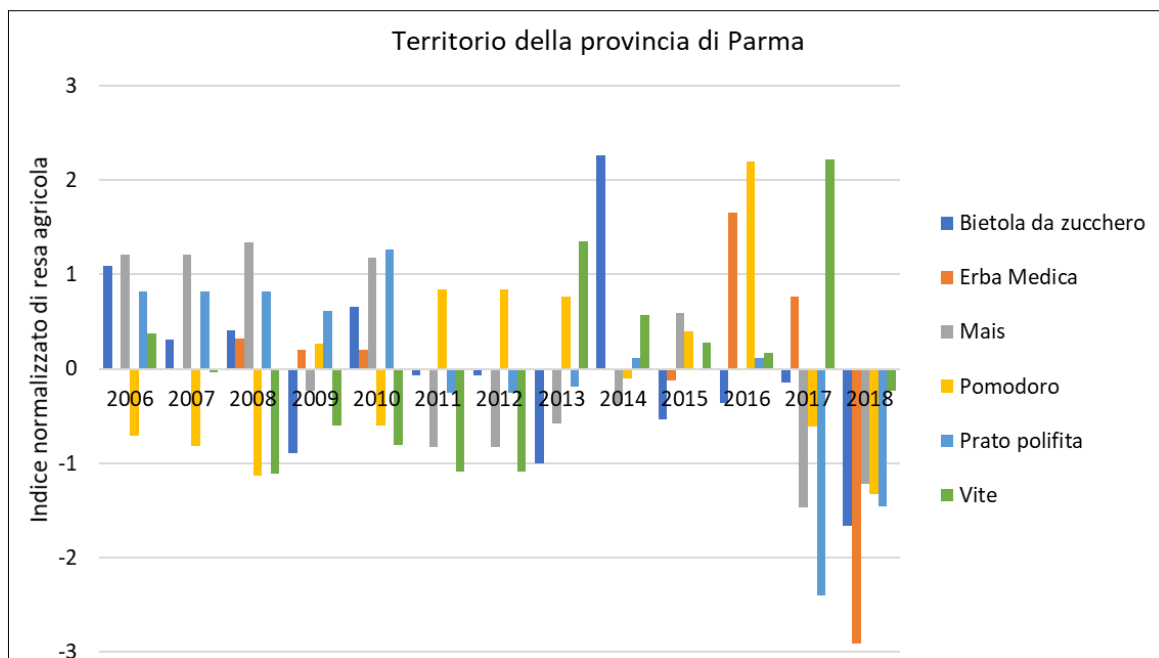


Figura 27 – Andamento dell'indice normalizzato della resa agricola di bietola da zucchero, erba medica, mais, pomodoro, prato polifita e vite.

¹⁰ Rappresenta la produzione in quintali per ettaro di superficie coltivata associata alla coltura in esame.

Dall'analisi dei risultati si può notare come il pomodoro (coltura molto idroesigente) presenti nel 2008 e nel 2018 valori di resa marcatamente inferiori alla media, mentre il 2017 (anno particolarmente siccitoso) ha avuto una resa inferiore ma non particolarmente marcata rispetto agli altri anni. Sempre nel 2017, l'erba medica e la vite hanno avuto una resa sopra la media; le uniche colture che sembrano essere state colpite da questa siccità sono il mais e il prato polifita. Particolarmente importante è l'analisi dell'anno 2018; infatti, per quest'ultimo si riscontrano sempre valori negativi dell'indice normalizzato, nonostante sia stato uno tra gli anni meno siccitosi (tra quelli di cui si dispone di dati). Non si ha evidenza che questa analisi possa permettere la stima dell'impatto sulla produzione in quanto sembrano entrare in gioco altri parametri non oggetto di esame.

Si raccomanda quindi di predisporre un registro in cui annotare in futuro le situazioni di criticità riscontrate nei diversi comprensori e, quando queste si verificano, ricostruire gli impatti e le cause.

Come già detto, dall'analisi delle siccità storiche e con i dati attualmente a disposizione non risulta possibile quantificare gli impatti né tantomeno identificarne in maniera certa le cause. La disponibilità di un database informativo non sufficientemente omogeneo e prolungato temporalmente non permette quindi di raggiungere appieno gli obiettivi dello studio che prevedevano una classificazione degli impatti con una valutazione non solo degli aspetti economici, ma anche ambientali e sociali, evidenziando ad esempio se l'impatto colpisce piccole comunità oppure la vastità della popolazione.

Tuttavia, grazie alle analisi svolte, alcune indicazioni sull'utilizzo di taluni indicatori climatologici analizzati verranno proposte nel successivo capitolo. Tali informazioni sono utili per mettere in campo azioni preventive in occasioni di fenomeni siccitosi. In aggiunta, la schematizzazione concettuale del sistema ha permesso, con il supporto dei tecnici del CdBP che hanno conoscenza del territorio, di proporre tabelle Parametro-Impatto-Azione (PIA) che per ciascun comprensorio e ciascuna fonte di alimentazione identificano: gli indicatori da monitorare; i potenziali impatti qualora questi indicatori raggiungano determinate soglie di criticità; le azioni da intraprendere per mitigare gli impatti.

6 Proposta di soglie di criticità, impatti e azioni di mitigazione

Le criticità storiche, gli impatti riscontrati e le loro cause, nonché le esperienze di gestione acquisite costituiscono un prezioso insegnamento per fronteggiare le siccità future e prevenire e mitigare gli impatti. Da questo punto di vista, la situazione di cui ha potuto avvalersi lo studio, nelle sue molte articolazioni, avrebbe necessitato di una serie storica di dati ed informazioni maggiormente compiuta. In particolare, il quadro conoscitivo con riferimento alle serie storiche dei fabbisogni, delle disponibilità di risorsa, degli impatti e delle loro cause, da mettere in relazione con le siccità storiche, risente di attività di monitoraggio e di rielaborazione di questi aspetti conoscitivi relativamente recenti nel tempo, tale da limitare la possibilità di proporre diagnosi accurate per la individuazione di interventi risolutivi.

Pur con le cautele imposte dalla precedente premessa, si propongono di seguito alcune considerazioni sul monitoraggio e l'utilizzo di indicatori e indici climatologici utili a identificare i potenziali impatti di un evento siccitoso sul territorio in esame e a definire 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 dichiarati preventivamente e misurabili (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 all'esperienza storica dei tecnici del CdBP. 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 la frequenza e l'intensità delle carenze di risorse. Per soddisfare questo obiettivo tutti i parametri devono essere costantemente e efficacemente monitorati, in modo da poter agire in anticipo, monitorando sia l'inizio che lo sviluppo di una siccità, non aspettando il verificarsi di una situazione di emergenza per utilizzarli. A questo proposito si suggerisce che il Consorzio costituisca un gruppo di lavoro di gestione della siccità che, in contatto con gli Enti statali di governo del territorio (Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po, Regione e Agenzie ambientali competenti), reperisca i valori degli indici pluviometrici utili. Con riferimento al CdBP, i parametri (indici e indicatori) di scarsità e siccità idrica utilizzati sono mostrati in Tabella 37.

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.

Tabella 37 – Parametri di scarsità e siccità idrica.

PARAMETRI DI SCARSITÀ E SICCITÀ IDRICA	INDICI UTILIZZABILI ¹¹	Standardized Precipitation Index (SPI)	Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)
	INDICATORI	Livello del corso d'acqua	Livello piezometrico
		Portata del corso d'acqua	Portata prelevabile alla fonte

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.

Questi indici riferiti ai mesi irrigui sono normalmente noti a posteriori, cioè a valle della elaborazione dei dati idrologici osservati, e 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.

Per un'allerta precoce (*early warning*) sulla disponibilità idrica di alcune fonti, 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 temporali di 6, 9, 12 e 24 mesi. Se questi indici mostrano valori sensibilmente negativi, questo è indicativo di una 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.

Valori di SPI e SPEI dei mesi primaverili 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

¹¹ Si sono considerati 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.

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 38.

Tabella 38 - 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. In Tabella 39 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 40 e la Tabella 41 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. Nelle valutazioni si consideri 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'attuarle, 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.

Tabella 39 - 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 40 - 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 41 - 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.

La compilazione di tabelle a consuntivo quali la Tabella 42 (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.

Nella Tabella 42 i valori attesi dei fabbisogni e dei volumi prelevati sono classificati qualitativamente in quanto il quadro conoscitivo, con riferimento alle serie storiche delle variabili di interesse, risente di attività di monitoraggio e di rielaborazione relativamente recenti nel tempo che limitano la possibilità di proporre stime numeriche. Tuttavia, i valori caratteristici di media, minimo e massimo dei fabbisogni e dei volumi prelevati per gli anni con disponibilità del dato, sono stati riportati nella medesima tabella.

Pertanto, la redazione del bilancio e la raccolta delle informazioni quali quelle riportate in Tabella 42 costituiscono un archivio di dati che si incrementa annualmente effettuando una “misurazione” della scarsità idrica e validando quantitativamente le soglie di criticità che al presente momento non è stato possibile accertare per la carenza di dati storici.

Tabella 42 - 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.

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 37) 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 del CdBP, i corsi d’acqua interessati presentano, con frequenza quasi annuale (ad eccezione di fiume Taro) 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 aree di applicazione di questi parametri di scarsità e siccità idrica per il territorio del CdBP sono gli otto comprensori irrigui. In ogni area sono stati definiti i parametri più rappresentativi dell’evoluzione della risorsa idrica e le posizioni dei punti in cui effettuare il monitoraggio; la Figura 28 mostra tali posizioni con una differente colorazione a seconda della tipologia di parametro.

Per ciascun parametro si sono definite 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 le prime limitazioni all’uso 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.

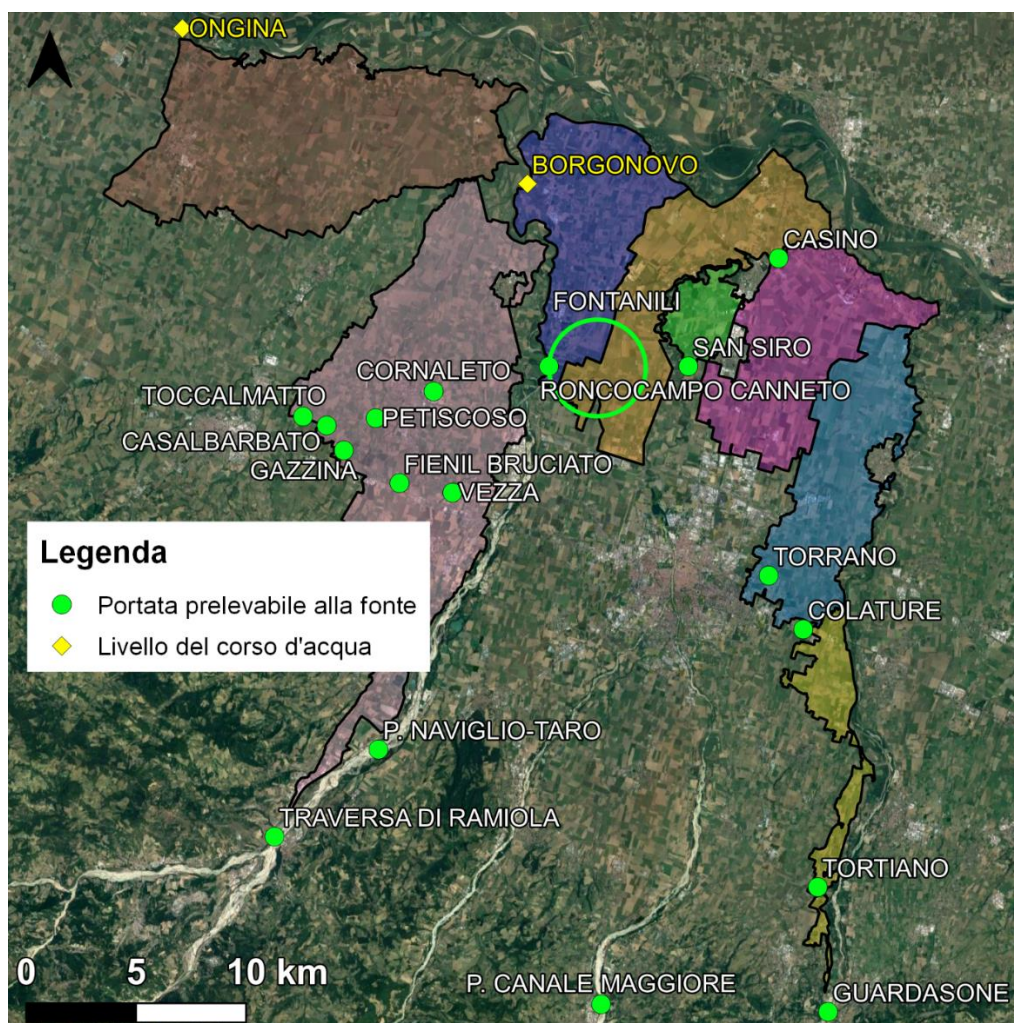


Figura 28 – Posizioni in cui monitorare i parametri di scarsità e siccità idrica selezionati.

Per ciascuna classe di allarme si sono poi definite le azioni di mitigazione, ovvero le misure utili ad evitare o ridurre gli impatti negativi.

Queste informazioni sono riportate in un'unica tabella denominata Parametro – Impatto – Azione o in breve tabella PIA per ciascun punto fondamentale per l'approvvigionamento da monitorare.

Nelle tabelle PIA successive sono riportate 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.

Da Tabella 43 a Tabella 55 sono mostrate le tabelle PIA, con una valutazione di tipo descrittivo e qualitativo, con riferimento agli otto comprensori irrigui del CdBP. Le tabelle PIA rispondono dunque a due questioni fondamentali: quando agire e come comportarsi.

Poiché, con le informazioni a disposizione, non è stato possibile validare appieno le soglie di criticità scelte, si suggerisce di monitorare nei punti di approvvigionamento i parametri di scarsità e siccità idrica identificati e gli impatti conseguenti al raggiungimento delle soglie. Ciò consentirà in futuro, di confermare o rivedere le soglie definite.

Tabella 43 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo Ongina con riferimento alla presa dal fiume Po.

PRELIEVO DALLA PRESA ONGINA				
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 3.3 m ³ /s e dal livello del fiume Po (livello idrometrico ≥ 27.50 m s.l.m.).	Nulla.	Nessuna.	Nessuna.
Scenario di severità idrica bassa.	Portate in riduzione e comprese tra 1.5 m ³ /s e 3.3 m ³ /s a causa del livello del fiume Po (livello idrometrico compreso tra 24.50 e 27.50 m s.l.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. • 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 	<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.

			<p>garantire il corretto completamento 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 anche di pozzi privati per portate prossime a 1.5 m³/s 	
Scenario di severità idrica alta.	Sospensione dei prelievi a causa del livello del fiume Po (livello idrometrico \leq 24.50 m s.l.m.).	Grave e a carico di tutte le colture irrigue che non possono essere irrigate da acqua superficiali	<ul style="list-style-type: none"> • Prelievi dalla falda (pozzi privati). • Richiesta di prelievo in deroga temporanea al DMV. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentata frequenza attività di monitoraggio chimico-fisico delle acque. • 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.

Tabella 44 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo San Vitale – San Carlo – San Genesio con riferimento alla presa di Ramiola.

PRELIEVO DALLA PRESA DI RAMIOLA – FIUME TARO				
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 2.615 m ³ /s.	Nulla.	Nessuna.	Nessuna.
Scenario di severità idrica bassa.	Portate in riduzione e comprese tra 1.5 m ³ /s e 2.61 m ³ /s.	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 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. • Monitoraggio del livello piezometrico/della soggiacenza all'interno dei pozzi consortili.
Scenario di severità idrica media.	Portate in riduzione significativa e comprese tra 1.0 m ³ /s e 1.5 m ³ /s.	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"> • 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. 	<ul style="list-style-type: none"> • Garantire il deflusso ecologico e assicurare il monitoraggio dei prelievi. • 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"> • 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 a nord della Via Emilia. • Futuro utilizzo dei bacini irrigui consortili di Medesano in fase di realizzazione. 	<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.	Portate in fortissima riduzione e inferiori a 1.0 m ³ /s.	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 	<ul style="list-style-type: none"> • Garantire il deflusso ecologico in caso di mancato rilascio della deroga temporanea e assicurare il monitoraggio dei prelievi. • Garantire graduale riduzione delle portate rilasciate in caso di deroghe al DMV/DE per valutare man mano l'effettiva risposta dei sistemi alla diminuzione di portata. • Aumentata frequenza attività di monitoraggio chimico-fisico delle acque. • Attività di monitoraggio delle specie bioindicatrici,

			<p>garantire il corretto completamento 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 a nord della Via Emilia.• Prelievi da fonti alternative quali bacini naturali.• Futuro utilizzo dei bacini irrigui consortili di Medesano in fase di realizzazione.• Richiesta di prelievo in deroga temporanea al DMV.	<p>nell'ambito del prelievo in deroga al DMV.</p> <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 45 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo San Vitale – San Carlo – San Genesio con riferimento ai prelievi da falda.

PRELIEVO DA FALDA DAGLI IMPIANTI POSTI NEI COMUNI DI FONTANELLATO E FONTEVIVO (Toccalmatto, Casalbarbato, Gazzina, Petisco, Cornaleto, Fienil Bruciato e Vezza)				
SCENARI DI SEVERITÀ	PARAMETRO	IMPATTO SU USO AGRICOLO	AZIONE PER COMPARTO AGRICOLO	MISURE AMBIENTALI
Situazione normale.	Portata media prelevabile da ogni impianto 75 l/s in condizioni di esercizio normale.	Nulla, se riferito all'areale irriguo dominato dalla fonte in oggetto.	Nessuna, se riferita all'areale dominato dalla fonte in oggetto.	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.	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. • 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 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"> • Favorire nei canali consortili 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 chimico delle acque sotterranee. • 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 alta.	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 e futuro utilizzo dei bacini irrigui consortili di Medesano in fase di realizzazione.• 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.• 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.
--------------------------------------	---	--	--	--

Tabella 46 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo Sissa – Trecasali con riferimento alla presa di Borgonovo.

PRELIEVO DALLA PRESA DI BORGONOVO DA FIUME TARO				
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 1.0 m³/s e dal livello del fiume Taro, condizionato dal rigurgito del fiume Po (livello idrometrico riferito a fiume Po ≥ 23.50 m s.l.m.).	Nulla.	Nessuna.	Nessuna.
Scenario di severità idrica bassa.	Portate giornaliere in riduzione con funzionamento a “singhiozzo” causa del livello del fiume Po (livello idrometrico compreso tra 22.00 e 23.50 m s.l.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. • 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 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. • Valutare la necessità di aumentare la frequenza dell'attività di monitoraggio del livello piezometrico/della

			<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 del pozzo di Ronco Campo Canneto. 	<p>soggiacenza all'interno dei pozzi consortili.</p>
<p>Scenario di severità idrica alta.</p>	<p>Sospensione dei prelievi a causa del livello del fiume Po (livello idrometrico <22.00 m s.l.m.).</p>	<p>Grave e a carico di tutte le colture irrigue che non possono essere irrigate da acqua superficiali</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizzo del pozzo di Ronco Campo Canneto e di pozzi privati, questi ultimi previa eventuale autorizzazione. • Prelievi da fonti alternative quali eventuali bacini naturali, ad oggi non presenti, previo rilascio di eventuale concessione. • Richiesta di prelievo in deroga temporanea al DMV. 	<ul style="list-style-type: none"> • Garantire il deflusso ecologico in caso di mancato rilascio della deroga temporanea e assicurare il monitoraggio dei prelievi. • Garantire graduale riduzione delle portate rilasciate in caso di deroghe al DMV/DE per valutare man mano l'effettiva risposta dei sistemi alla diminuzione di portata. • Prevedere, qualora la disponibilità idrica non sia adeguata, il trasporto di specie ittiche autoctone in siti che ne garantiscano la sopravvivenza. • Aumentata frequenza attività di monitoraggio chimico-fisico delle acque. • Attività di monitoraggio delle specie bioindicatrici nell'ambito del prelievo in deroga al DMV. • Aumentata frequenza monitoraggio del livello

				piezometrico/della soggiacenza all'interno dei pozzi consortili.
--	--	--	--	---

Tabella 47 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo Sissa – Trecasali con riferimento ai prelievi da falda.

PRELIEVO DAL POZZO RONCO CAMPO CANNETO				
SCENARI DI SEVERITÀ	PARAMETRO	IMPATTO SU USO AGRICOLO	AZIONE PER COMPARTO AGRICOLO	MISURE AMBIENTALI
Situazione normale.	Portata media prelevabile dal pozzo 150 l/s in condizioni di esercizio normale.	Nulla, se riferito all'areale irriguo dominato dalla fonte in oggetto.	Nessuna, se riferita all'areale dominato dalla fonte in oggetto.	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.	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. • 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 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"> • 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. • Aumentata frequenza monitoraggio del livello piezometrico/della soggiacenza all'interno dei pozzi consortili.
Scenario di severità idrica alta.	Sospensione dei prelievi per ordinanze a causa di	Importante e legato a tutte le colture anche	<ul style="list-style-type: none"> • Prelievi da fonti alternative quali eventuali bacini naturali, ad oggi non 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoraggio dei prelievi.

	forte crisi idrica che metta a rischio gli usi extra-agricoli.	quelle che utilizzano sistemi irrigui di precisione a basso consumo d'acqua.	presenti, previo rilascio di eventuale concessione. <ul style="list-style-type: none">• Richiesta di prelievo in deroga alla sospensione temporanea dei prelievi.	<ul style="list-style-type: none">• Aumentata frequenza monitoraggio del livello piezometrico/della soggiacenza.• 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.
--	--	--	---	---

Tabella 48 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo Galasso – Lorno.

PRELIEVO DALLA FONTE - NAVIGLIO – TARO E FONTANILI A NORD-OVEST DEL COMUNE DI PARMA CHE ALIMENTANO I CANALI GALASSO E LORNO				
SCENARI DI SEVERITÀ	PARAMETRO	IMPATTO SU USO AGRICOLO	AZIONE PER COMPARTO AGRICOLO	MISURE AMBIENTALI
Situazione normale.	Portata prelevabile dai Canali Galasso e Lorno della massima portata consentita dalla concessione 1.6 m ³ /s. Fino a 0.8 m ³ /s l'esercizio irriguo non è limitato.	Nulla.	Nessuna.	Nessuna.
Scenario di severità idrica bassa.	Portate in riduzione e comprese tra 0.8 m ³ /s e 0.2 m ³ /s.	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. • 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 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 	<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.

			<p>strettamente necessari alle colture (Irrinet/Irriframe).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Per portate prossime a 0.2 m³/s si prevede l'utilizzo dei pozzi privati, previo rilascio di eventuale autorizzazione. 	
Scenario di severità idrica alta.	Portate in fortissima riduzione e inferiori a 0.2 m ³ /s.	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"> • 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 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 di pozzi privati per portate prossime a 0.2 m³/s, previo rilascio di eventuale autorizzazione. 	<ul style="list-style-type: none"> • Garantire il deflusso ecologico e assicurare il monitoraggio dei prelievi. • Prevedere, qualora la disponibilità idrica non sia adeguata, il trasporto di specie ittiche autoctone in siti che ne garantiscano la sopravvivenza. • Aumentata frequenza attività di monitoraggio chimico-fisico delle acque. • Attività di monitoraggio delle specie bioindicatrici nell'ambito del prelievo in deroga al DMV.

			<ul style="list-style-type: none">• Prelievi da fonti alternative quali eventuali bacini naturali, ad oggi non presenti previo rilascio di eventuale concessione.• Richiesta di prelievo in deroga temporanea al DMV.	
--	--	--	--	--

Tabella 49 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo San Siro con riferimento alla presa di San Siro.

PRELIEVO DALLA PRESA DI SAN SIRO – TORRENTE PARMA				
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 0.22 m ³ /s.	Nulla.	Nessuna.	Nessuna.
Scenario di severità idrica normale.	Portate in riduzione a causa dell'abbassamento dei livelli del torrente Parma (portata in alveo pari a 1.0 m ³ /s prossima al DMV) e comprese tra 0.1 m ³ /s e 0.22 m ³ /s.	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. • 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 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 di 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 di aumentare la frequenza dell'attività di monitoraggio chimico-fisico delle acque.

<p>Scenario di severità idrica alta.</p>	<p>Portate in fortissima riduzione dal Torrente Parma a causa dell'abbassamento dei livelli (portata in alveo \leq 1.0 m³/s coincidente con il DMV) fermo dell'impianto di sollevamento e sospensione del prelievo per DMV.</p>	<p>Grave e a carico di tutte le colture irrigue</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Richiesta di prelievo in deroga temporanea al DMV. • Prelievi dalla falda (pozzi privati) previo rilascio di eventuale autorizzazione. 	<ul style="list-style-type: none"> • Garantire il deflusso ecologico in caso di mancato rilascio della deroga temporanea e assicurare il monitoraggio dei prelievi. • Garantire graduale riduzione delle portate rilasciate in caso di deroghe al DMV/DE per valutare man mano l'effettiva risposta dei sistemi alla diminuzione di portata. • Aumentata frequenza attività di monitoraggio chimico-fisico delle acque. • 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.
--	---	---	---	---

Tabella 50 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo Naviglio Navigabile con riferimento alla presa di Casino.

PRELIEVO DALLA PRESA DI CASINO – TORRENTE PARMA				
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 1.225 m ³ /s. Fino a 0.60 m ³ /s l'esercizio irriguo non è limitato.	Nulla.	Nessuna.	Nessuna.
Scenario di severità idrica bassa.	Portate in riduzione a causa dell'abbassamento dei livelli del torrente Parma (portata in alveo pari a 1.0 m ³ /s prossima al DMV) e comprese tra 0.60 m ³ /s e 0.20 m ³ /s.	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. • 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 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 	<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.

			<p>strettamente necessari alle colture (Irrinet/Irriframe).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilizzo di pozzi privati previo rilascio di eventuale autorizzazione. 	
<p>Scenario di severità idrica alta.</p>	<p>Portate in fortissima riduzione dal Torrente Parma a causa dell'abbassamento dei livelli (portata in alveo < 0.91 m³/s coincidente con il DMV) fermo dell'impianto di sollevamento e sospensione del prelievo per rispetto del DMV.</p>	<p>Grave e a carico di tutte le colture irrigue.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizzo di una parte della risorsa del Canale Naviglio Navigabile, proveniente dal depuratore Parma Est. • Richiesta di prelievo in deroga temporanea al DMV. • Prelievi dalla falda (pozzi privati) previo rilascio di eventuale autorizzazione. 	<ul style="list-style-type: none"> • Garantire il deflusso ecologico in caso di mancato rilascio della deroga temporanea e assicurare il monitoraggio dei prelievi. • Garantire graduale riduzione delle portate rilasciate in caso di deroghe al DMV/DE per valutare man mano l'effettiva risposta dei sistemi alla diminuzione di portata. • Aumentata frequenza attività di monitoraggio chimico-fisico delle acque. • 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.

Tabella 51 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo Naviglio Navigabile.

PRELIEVO DALLA PRESA DEL CANALE MAGGIORE E TRATTO VALLIVO DEL NAVIGLIO NAVIGABILE				
SCENARI DI SEVERITÀ	PARAMETRO	IMPATTO SU USO AGRICOLO	AZIONE PER COMPARTO AGRICOLO	MISURE AMBIENTALI
Situazione normale.	Portata prelevabile alla presa pari alla massima portata storicamente riscontrabile nel periodo irriguo 0.8 m ³ /s.	Nulla.	Nessuna.	Nessuna.
Scenario di severità idrica bassa.	Portate in riduzione per la perdita dell'apporto del canale Maggiore e comprese tra 0.4 m ³ /s e 0.5 m ³ /s.	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. • 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 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. • Garantire 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.

			<ul style="list-style-type: none"> • Prelievo dall'impianto del Casino e sollevamento dall'impianto della Cusana. 	
Scenario di severità idrica alta.	Portate in riduzione $\leq 0.4 \text{ m}^3/\text{s}$, comunque raro in quanto garantita in continuo dal depuratore di Parma Est.	Significativo e a carico di tutte le colture irrigue.	<ul style="list-style-type: none"> • Prelievi dalla falda (pozzi privati), previo rilascio di eventuale autorizzazione. • Richiesta di prelievo in deroga temporanea al DMV. 	<ul style="list-style-type: none"> • Garantire il deflusso ecologico e assicurare il monitoraggio dei prelievi. • Prevedere, qualora la disponibilità idrica non sia adeguata, il trasporto di specie ittiche autoctone in siti che ne garantiscano la sopravvivenza. • Aumentata frequenza attività di monitoraggio chimico-fisico delle acque. • Attività di monitoraggio delle specie bioindicatrici nell'ambito del prelievo in deroga al DMV.

Tabella 52 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo Gambalone – Naviglia – Casaltone con riferimento alle acque superficiali

COLATURE RIO DELLE FONTANE/CANALE GAMBALONE E CORSI D'ACQUA AFFLUENTI E IN DERIVAZIONE				
SCENARI DI SEVERITÀ	PARAMETRO	IMPATTO SU USO AGRICOLO	AZIONE PER COMPARTO AGRICOLO	MISURE AMBIENTALI
Situazione normale.	Portata prelevabile dai Canali Rio Delle Fontane, Gambalone pari a 0.6 m ³ /s.	Nulla.	Nessuna.	Nessuna.
Scenario di severità idrica media.	Portate in forte riduzione e inferiori a 0.6 m ³ /s.	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"> • 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 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). • Prelievi in emergenza da fonti alternative, Pozzo consortile del 	<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. • Valutare la necessità di aumentare la frequenza dell'attività di monitoraggio del livello piezometrico/della soggiacenza, all'interno dei pozzi consortili.

			Torrano, pozzi privati e bacini naturali, questi ultimi previo rilascio di eventuale concessione ed autorizzazione.	
Scenario di severità idrica alta.	Portate in fortissima riduzione e inferiori a 0.2 m ³ /s.	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"> • 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 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). • Prelievi in emergenza da fonti alternative, Pozzo consortile del Torrano, pozzi privati e bacini naturali, questi ultimi previo rilascio di eventuale concessione ed autorizzazione. 	<ul style="list-style-type: none"> • Garantire il deflusso ecologico e assicurare il monitoraggio dei prelievi. • Prevedere, qualora la disponibilità idrica non sia adeguata, il trasporto di specie ittiche autoctone in siti che ne garantiscano la sopravvivenza. • Aumentata frequenza attività di monitoraggio chimico-fisico delle acque nei canali consortili. • Aumentata frequenza monitoraggio del livello piezometrico/della soggiacenza all'interno dei pozzi consortili.

Tabella 53 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo Gambalone – Naviglia – Casaltone con riferimento ai prelievi da falda.

PRELIEVO DAL POZZO DEL TORRANO				
SCENARI DI SEVERITÀ	PARAMETRO	IMPATTO SU USO AGRICOLO	AZIONE PER COMPARTO AGRICOLO	MISURE AMBIENTALI
Situazione normale.	Portata massima prelevabile pari a 100 l/s in condizioni di esercizio normale.	Nulla, se riferito all'areale irriguo dominato dalla fonte in oggetto.	Nessuna, se riferita all'areale dominato dalla fonte in oggetto.	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.	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. • 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 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"> • Assicurare il monitoraggio dei prelievi. • Garantire disponibilità idrica nelle aree di ricovero fauna ittica. • Valutare la necessità di aumentare la frequenza dell'attività di monitoraggio chimico-fisico delle acque. • Valutare la necessità di aumentare la frequenza dell'attività di monitoraggio chimico delle acque sotterranee. • 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 alta.	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 pozzi privati e bacini artificiali previo rilascio di eventuale concessione ed autorizzazione.• Richiesta di prelievo in deroga alla sospensione temporanea dei prelievi.	<ul style="list-style-type: none">• Garantire il deflusso ecologico e assicurare il monitoraggio dei prelievi.• Prevedere, qualora la disponibilità idrica non sia adeguata, il trasporto di specie ittiche autoctone in siti che ne garantiscano la sopravvivenza.• 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.
--------------------------------------	---	--	--	--

Tabella 54 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo Spelta con riferimento alla presa di Guardasone.

PRELIEVO DALLA PRESA DI GUARDASONE TORRENTE ENZA				
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 1.95 m ³ /s.	Nulla.	Nessuna.	Nessuna.
Scenario di severità idrica bassa.	Portate in riduzione e comprese tra 1.0 m ³ /s e 1.95 m ³ /s	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 0.5 m ³ /s e 1.0 m ³ /s	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"> • 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 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 del pozzo di Tortiano. • Utilizzo delle acque reflue delle conserviere se sono disponibili, in base al periodo di lavorazione del pomodoro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Garantire il deflusso ecologico e assicurare il monitoraggio dei prelievi. • Prevedere, qualora la disponibilità idrica non sia adeguata, il trasporto di specie ittiche autoctone in siti che ne garantiscano la sopravvivenza. • Attività di monitoraggio chimico-fisico delle acque. • Monitoraggio del livello piezometrico/della soggiacenza all'interno dei pozzi consortili.
Scenario di severità idrica alta.	Portate in fortissima riduzione e inferiori a 0.5 m ³ /s	Importante e legato a tutte le colture, anche quelle che utilizzano	<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 in caso di mancato rilascio della deroga temporanea e

		<p>sistemi irrigui di precisione a basso consumo d'acqua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 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 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 del pozzo di Tortiano. • Utilizzo delle acque reflue delle conserviere se sono disponibili, in base al periodo di lavorazione del pomodoro. • Richiesta di prelievo in deroga temporanea al DMV. • Prelievi da fonti alternative quali bacini naturali e dalla falda (pozzi privati), previo rilascio di eventuale concessione ed autorizzazione. 	<p>assicurare il monitoraggio dei prelievi.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Garantire graduale riduzione delle portate rilasciate in caso di deroghe al DMV/DE per valutare man mano l'effettiva risposta dei sistemi alla diminuzione di portata. • Prevedere, qualora la disponibilità idrica non sia adeguata, il trasporto di specie ittiche autoctone in siti che ne garantiscano la sopravvivenza. • Aumentata frequenza attività di monitoraggio chimico-fisico delle acque. • Attività di monitoraggio delle specie bioindicatrici, nell'ambito del prelievo in deroga al DMV. • Attività di monitoraggio del livello piezometrico/della soggiacenza all'interno dei pozzi consortili.
--	--	---	--	--

Tabella 55 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo Spelta con riferimento ai prelievi da falda.

PRELIEVO DAL POZZO DI TORTIANO				
SCENARI DI SEVERITÀ	PARAMETRO	IMPATTO SU USO AGRICOLO	AZIONE PER COMPARTO AGRICOLO	MISURE AMBIENTALI
Situazione normale.	Portata massima prelevabile pari a 12 l/s in condizioni di esercizio normale.	Nulla, se riferito all'areale irriguo dominato dalla fonte in oggetto.	Nessuna, se riferita all'areale dominato dalla fonte in oggetto.	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.	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. • 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 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"> • Assicurare il monitoraggio dei prelievi. • Garantire 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. • Valutare la necessità di aumentare la frequenza dell'attività di monitoraggio chimico delle acque sotterranee. • Valutare la necessità di aumentare la frequenza dell'attività di monitoraggio del livello piezometrico/della soggiacenza all'interno dei pozzi consortili.

<p>Scenario di severità idrica alta.</p>	<p>Sospensione dei prelievi per ordinanze a causa di forte crisi idrica che metta a rischio gli usi extra-agricoli.</p>	<p>Importante e legato a tutte le colture anche quelle che utilizzano sistemi irrigui di precisione a basso consumo d'acqua</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Prelievi da fonti alternative quali bacini naturali previo rilascio di eventuale concessione. • Richiesta di prelievo in deroga alla sospensione temporanea dei prelievi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Garantire il deflusso ecologico e assicurare il monitoraggio dei prelievi. • Prevedere, qualora la disponibilità idrica non sia adeguata, il trasporto di specie ittiche autoctone in siti che ne garantiscano la sopravvivenza • Monitoraggio dei prelievi. • Aumentata frequenza monitoraggio del livello piezometrico/della soggiacenza. • Attività di monitoraggio chimico delle acque sotterranee nell'ambito del prelievo in deroga. • Attività di monitoraggio chimico delle acque sotterranee nell'ambito del prelievo in deroga.
--	---	---	--	--

7 Interventi strutturali recenti e di futura attuazione da parte del Consorzio della Bonifica Parmense

Nel presente capitolo si riporta una serie di interventi, progetti, ipotesi sia progettuali che di fonti irrigue alternative che il Consorzio della Bonifica Parmense sta attuando al fine di fronteggiare il fenomeno della siccità. Gli interventi fanno prevalentemente riferimento all'efficientamento della rete di derivazione e distribuzione ed in parte alla possibilità di disporre di fonti idriche integrative a quelle convenzionali. Nello specifico, vengono presentati tutti i progetti che il Consorzio della Bonifica Parmense intende attuare, parte dei quali sono stati recentemente realizzati.

7.1 Progetti a scopo irriguo

La Tabella 56, unitamente alla Figura 29, riporta i progetti/interventi finalizzati all'efficientamento del sistema irriguo al fine di fronteggiare la crisi idrica e l'effetto della siccità nel territorio di competenza del Consorzio della Bonifica Parmense.

Tabella 56 - Elenco progetti irrigui e relativo importo.

N°	PROGETTO	IMPORTO DI PROGETTO
1	Opere di adeguamento dell'impianto irriguo di presollevamento dal fiume Po a foce Ongina, in seguito al continuo abbassamento dei livelli idrometrici di magra durante il periodo estivo	€ 7,000,000.00
2	Ammodernamento, adeguamento migliorativo ed efficientamento del comprensorio irriguo Ongina - 1° Stralcio	€ 3,650,000.00
3	Interventi di efficientamento della gestione degli impianti di emungimento delle acque ad uso irriguo (pozzi consortili), volti al risparmio idrico attraverso l'implementazione di sistemi di misurazione e telecontrollo.	€ 500,000.00
4	Realizzazione della condotta per l'invaso del bacino 4 di Medesano e per lo scarico nel Rio Canalazzo.	€ 1,400,000.00
5	Condotta di distribuzione in pressione dell'acqua dagli invasi irrigui di Medesano n. 1, 2 e 3	€ 1,500,000.00
6	Interventi di risparmio idrico, adeguamento migliorativo ed efficientamento di sistemi integrati di telecontrollo del comprensorio irriguo Sanvitale - 1° Stralcio	€ 3,100,000.00
7	Interventi di ammodernamento e adeguamento migliorativo del canale irriguo Ottomulini e impianti di presa e sollevamento	€ 7,900,000.00
8	Realizzazione cassa di espansione sul canale Fossetta Alta, con potenziale utilizzo anche irriguo.	€ 1,700,000.00
9	Miglioramento e adeguamento del sistema di adduzione delle reti di distribuzione esistenti nel comprensorio irriguo del Canale Naviglio, mediante riabilitazione funzionale attraverso relining della condotta irrigua di dorsale in C.A. Casino-Travacone, adduttrice principale delle acque sollevate dal T. Parma all'impianto del Casino di Colomo (PR) e sostituzione di fatiscenti ed obsolete canalette irrigue di dorsale a cielo aperto con tubazioni interrate a bassa pressione	€ 15,260,899.47
10	Sistemazione idraulica del compartimento dei canali Naviglia, Canaletto, Burla e Terrieri zona Est, Sud-Est di Parma e Sorbolo Mezzani, con adeguamento funzionale dei canali efferenti - 1° Stralcio	€ 2,000,000.00

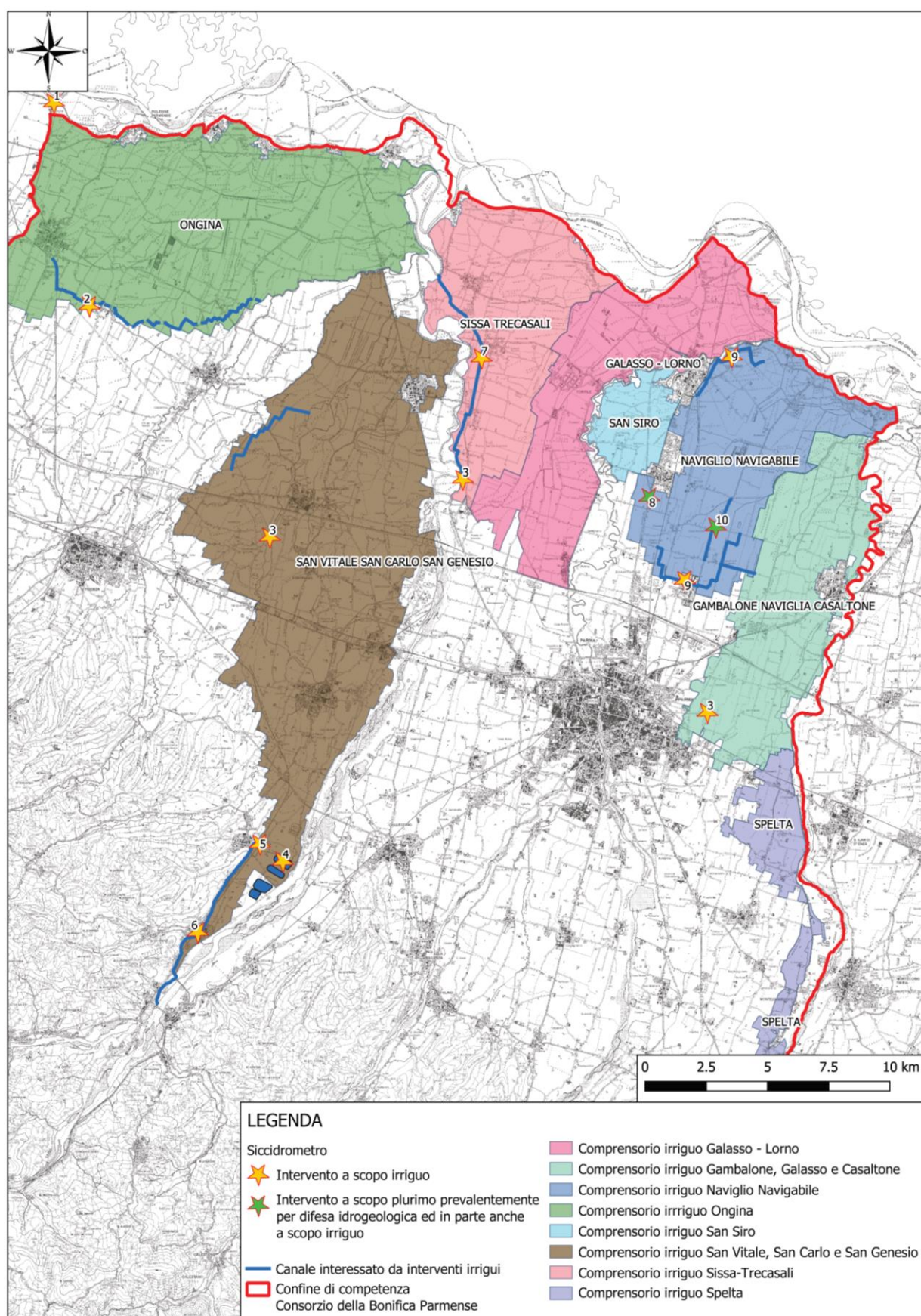


Figura 29 – Planimetria dei progetti a scopo irriguo.

Gli interventi n. 8 e n. 10 presentano una duplice finalità, prevalentemente quella di difesa idraulica del territorio, ma anche quella irrigua, per tale motivo sono ricompresi in questo documento. Gli interventi n. 5 e n. 9 sono in fase di realizzazione, mentre l'intervento n.4 risulta già realizzato.

Di seguito sono sinteticamente presentati i singoli progetti focalizzando l'attenzione sugli obiettivi che sarebbe possibile raggiungere con la loro realizzazione

7.1.1 Opere di adeguamento dell'impianto irriguo di presollevamento dal fiume Po a foce Ongina, in seguito al continuo abbassamento dei livelli idrometrici di magra durante il periodo estivo

Le modificate condizioni idrauliche del fiume Po degli ultimi decenni hanno determinato la necessità di ricollocare l'opera di presa esistente subito a valle della foce del torrente Ongina (Figura 30), in corrispondenza di un punto di massima profondità idrica (circa 3.50 m nei momenti di massima magra). Tale intervento ha la finalità di permettere il prelievo di acqua dal fiume Po per la portata massima di concessione (3.300 l/s) in relazione all'abbassamento dei livelli idrometrici di magra, portata necessaria ad irrigare un territorio avente una estensione di oltre 11.000 ha.



Figura 30 – Ubicazione impianto di sollevamento da Fiume Po, comprensorio di Ongina.

7.1.2 Ammodernamento, adeguamento migliorativo ed efficientamento del comprensorio irriguo Ongina - 1° Stralcio

All'interno del progetto "Ammodernamento, adeguamento migliorativo ed efficientamento del comprensorio irriguo Ongina – 1° Stralcio" gli interventi previsti sono finalizzati al ripristino funzionale, strutturale e idraulico della Canaletta Prima Dorsale Acque Alte (tratto finale a cielo aperto della Condotta Acque Alte che inizia dall'impianto di Ongina) e del primo tratto, sempre a cielo aperto, della Seconda Dorsale Acque Alte nel territorio del comune di Busseto attraverso migliorie sul rivestimento e sulle opere presenti nel canale (Figura 31).

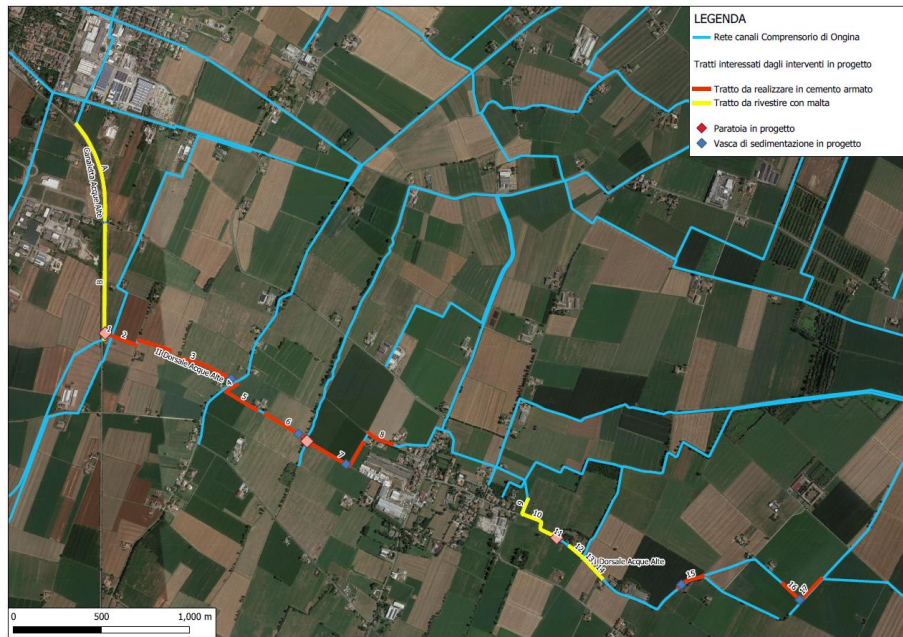


Figura 31 – Ubicazione e tipologia di interventi previsti nel comprensorio di Ongina.

In particolare, sono previsti interventi di impermeabilizzazione della Canaletta Prima Dorsale Acque Alte e di alcuni tratti della Seconda Dorsale Acque Alte, le installazioni dei sistemi di telecontrollo e delle apparecchiature finalizzate al controllo da remoto.

7.1.3 Interventi di efficientamento della gestione degli impianti di emungimento delle acque ad uso irriguo, volti al risparmio idrico attraverso l'implementazione di sistemi di misurazione e telecontrollo

L'intervento ha l'obiettivo di raggiungere un efficientamento nella gestione di diversi impianti di emungimento delle acque sotterranee ad uso irriguo già presenti nel territorio della pianura parmense e di competenza del Consorzio della Bonifica Parmense, per i quali è in corso la fase di rinnovo delle concessioni da parte delle autorità incaricate. Tale obiettivo, volto al raggiungimento di un effettivo risparmio idrico in termini di contrazione dei volumi emunti, è perseguito attraverso l'implementazione di sistemi di misurazione e telecontrollo. La Figura 32 e la Tabella 57 individuano i nove siti oggetto d'intervento, corrispondenti a undici pozzi irrigui, tre dei quali, limitrofi tra loro, appartengono al medesimo sito del Torrano a nord ovest di Parma, quartiere San Lazzaro.

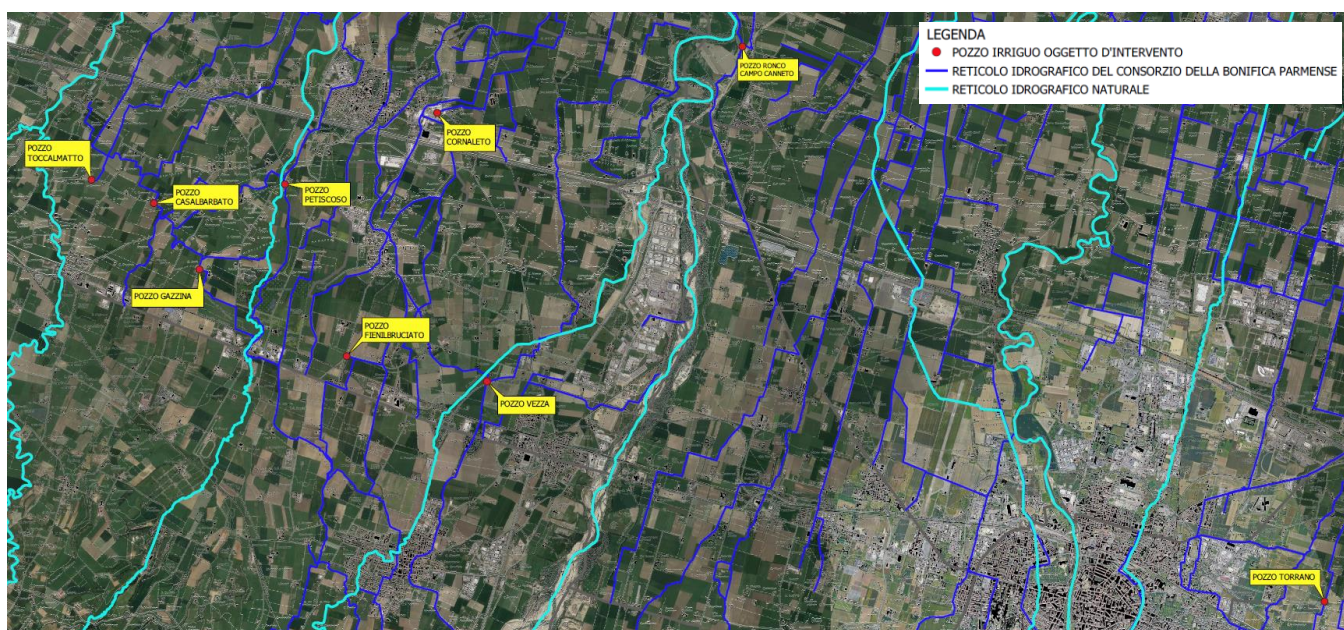


Figura 32 – Planimetria d'inquadramento degli interventi di progetto.

Tabella 57 – Elenco dei pozzi oggetto di proposta d'intervento.

NOME IMPIANTO	PROVINCIA	COMUNE	COORDINATE (UTM EMILIA ROMAGNA)	
			X	Y
Pozzo Ronco Campo Canneto	Parma	Sissa-Trecasali	599148.807	971521.002
Pozzo Cornaleto	Parma	Fontanellato	593947.561	970387.316
Pozzo Petiscoso	Parma	Fontanellato	591268.685	969162.507
Pozzo Casalbarbato	Parma	Fontanellato	589038.930	968826.917
Pozzo Toccalmatto	Parma	Fontanellato	587963.039	969235.377
Pozzo Gazzina	Parma	Fontanellato	589821.220	967688.469
Pozzo Fienilbruciato	Parma	Fontevivo	592350.932	966208.251
Pozzo Vezza	Parma	Fontevivo	594752.291	965783.052
Pozzi Torrano	Parma	Parma (San Lazzaro)	609144.824	961992.132

7.1.4 Realizzazione della condotta per l'invaso del bacino 4 di Medesano per lo scarico nel Rio Canalazzo

L'obiettivo di tale intervento consiste nel rendere funzionale il bacino n. 4 di Medesano (Figura 33), che fa parte di un ampio progetto di realizzazione di invasi ad uso irriguo, indipendentemente dalla conclusione dei lavori degli altri bacini, al fine di poter sfruttare il volume di acqua invasabile pari a circa 852.000 m³.

L'intervento è già stato realizzato e prevede quanto segue:

- Posa di una condotta HDPE PE100-SDR17-PN10 Ø800 di lunghezza 320 m, al fine di collegare la condotta esistente in PRFV proveniente dal Canale del Duca al manufatto di alimentazione del bacino n. 4 (condotta di carico)

- b) Posa di una condotta HDPE PE100-SDR17-PN10 Ø800 di lunghezza 835 m in trincea (condotta di scarico)

L'intervento ricomprende, inoltre, la posa dei manufatti e pezzi speciali necessari per il funzionamento del sistema irriguo di alimentazione e scarico del bacino.

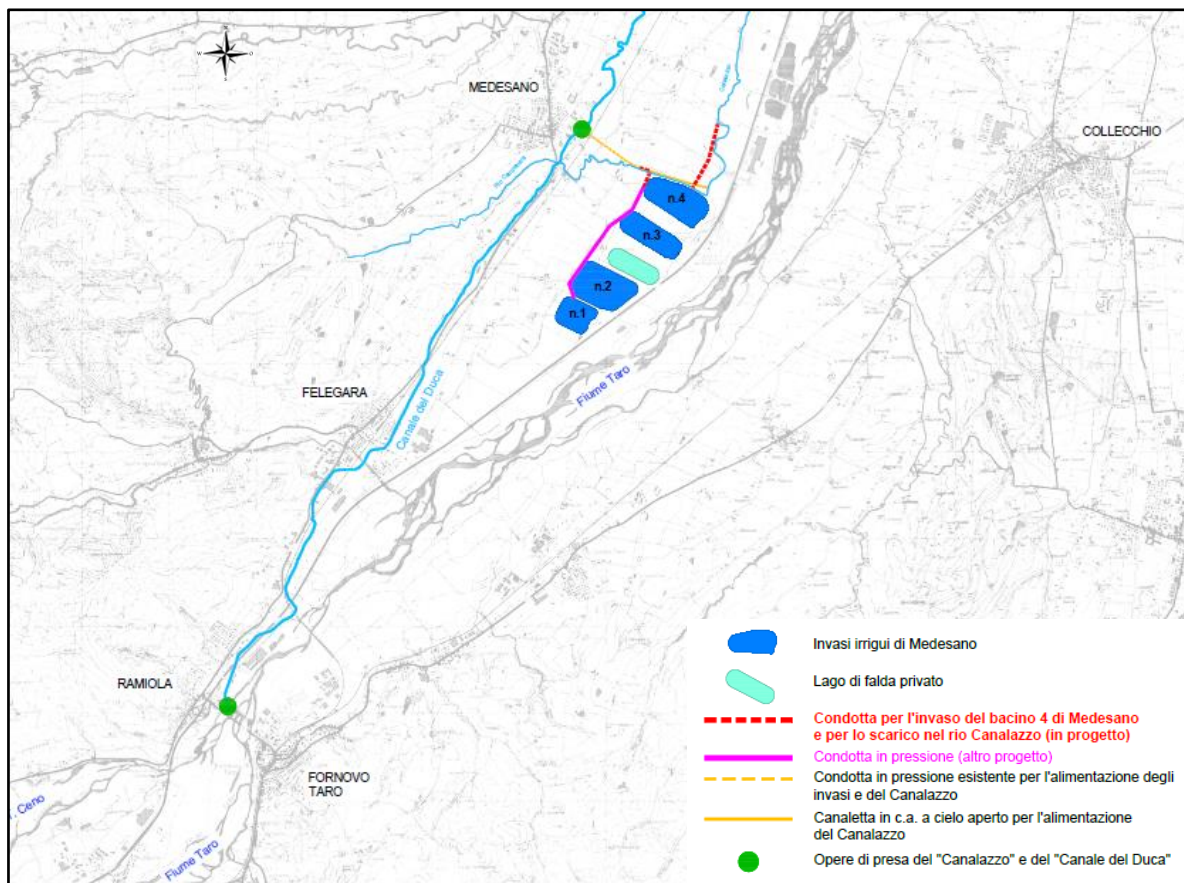


Figura 33 – Ubicazione bacini di Medesano.

7.1.5 Condotta di distribuzione in pressione dell'acqua dagli invasi irrigui di Medesano n. 1, 2 e 3

L'intervento prevede l'alimentazione "in parallelo" dei bacini 1, 2 e 3 ricompresi nel progetto di realizzazione di invasi ad uso irriguo di Medesano (Figura 34), al fine di poter sfruttare il volume di acqua invasabile pari a circa 2.044.000 m³.

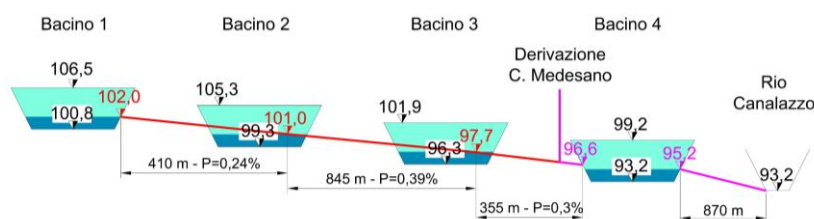


Figura 34 – Schema di funzionamento bacini di Medesano.

Le opere in progetto consistono nella posa in trincea di una condotta (collegata alla condotta di alimentazione del bacino 4) corredata dei manufatti necessari quali pozzetti di ripartizione in corrispondenza di ogni invaso e dei torrini piezometrici volti a evitare l'insorgere di sovrappressioni conseguenti alle manovre sugli organi di regolazione di linea. L'intervento risulta in fase di realizzazione.

7.1.6 Interventi di risparmio idrico, adeguamento migliorativo ed efficientamento di sistemi integrati di telecontrollo del comprensorio irriguo Sanvitale - 1° Stralcio

Gli interventi previsti in progetto sono mirati al ripristino funzionale, strutturale e idraulico di tratti del Canale del Duca nel territorio del comune di Medesano e della sua diramazione in "Condotta di Medesano" (Figura 35) attraverso migliorie sul rivestimento e sulle opere presenti nel canale, in particolare:

- impermeabilizzazione di alcuni tratti del Canale del Duca e Condotta di Medesano;
- installazione dei sistemi di telecontrollo e dei misuratori nei punti di distribuzione di trasmissione dei dati relativi alla misurazione dei volumi d'acqua erogati;
- installazione delle apparecchiature finalizzate al controllo da remoto.

Gli obiettivi del progetto sono: riduzione del prelievo idrico, riduzione del volume utilizzato, misurazione volumi utilizzati e modifica delle modalità di tariffazione che incentivino l'efficienza nell'uso della risorsa.



Figura 35 – Ubicazione e tipologia di interventi previsti in alcuni tratti del Canale del Duca.

7.1.7 Interventi di ammodernamento e adeguamento migliorativo del canale irriguo Ottomulini e impianti di presa e sollevamento

Gli interventi di ammodernamento e adeguamento migliorativo previsti in progetto sono principalmente mirati al ripristino funzionale, strutturale e idraulico dell'intero canale irriguo e degli impianti ad esso collegati attraverso migliorie sul rivestimento, sulle opere presenti nel canale e sugli impianti lungo il tratto interessato.

Di particolare rilevanza sono l'impermeabilizzazione del canale Ottomulini (Figura 36), le installazioni dei sistemi di telecontrollo, dei misuratori nei punti di distribuzione di trasmissione dei dati relativi alla misurazione dei volumi d'acqua erogati e delle apparecchiature finalizzate al controllo da remoto, al fine di ottenere un efficientamento complessivo nella gestione e controllo della risorsa, nonché un risparmio idrico complessivo, anche in linea con le direttive regionali per permettere la tariffazione agevolata nel caso di ottimizzazione dei metodi di irrigazione utilizzati dagli utenti finali. Pertanto, gli obiettivi del progetto sono: riduzione del prelievo idrico, riduzione del volume utilizzato, misurazione volumi utilizzati e modifica delle modalità di tariffazione che incentivano l'efficienza nell'uso della risorsa.

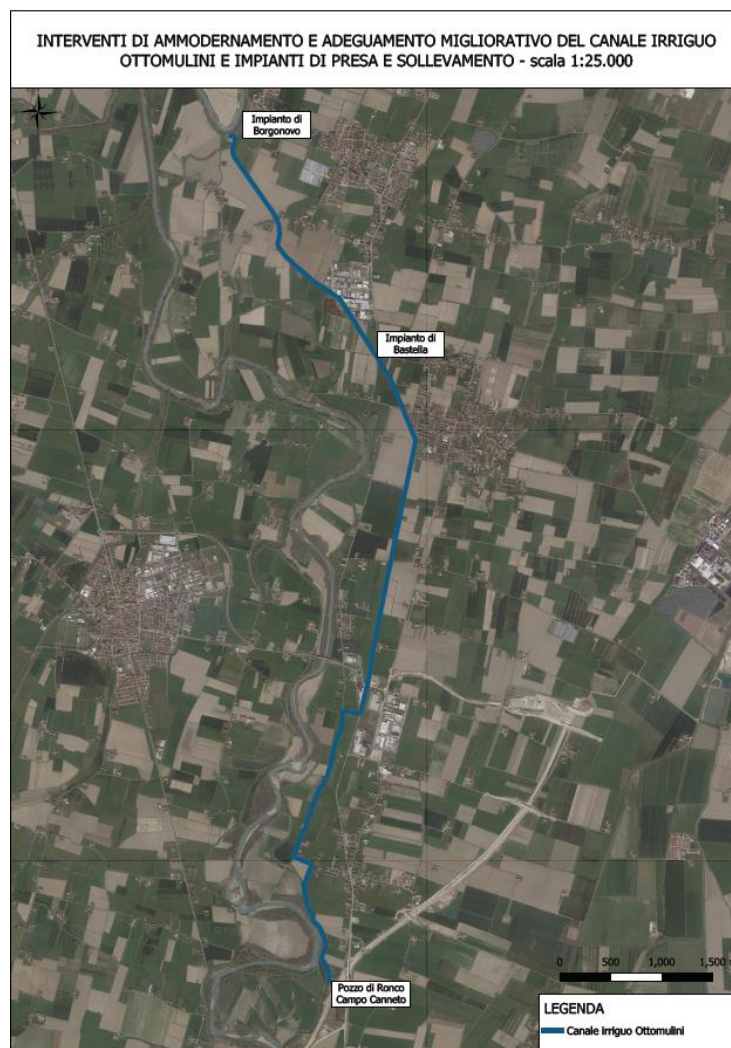


Figura 36 – Ubicazione impianti di sollevamento e percorso tratto canale Ottomulini oggetto di intervento.

7.1.8 Realizzazione cassa di espansione sul canale Fossetta Alta con potenziale utilizzo anche irriguo

L'intervento prevede la realizzazione di una cassa d'espansione in derivazione del canale consortile Fossetta Alta, a monte dell'abitato di San Polo di Torrile (Figura 37), al fine di minimizzare il rischio idraulico per l'abitato stesso. Potenzialmente tale cassa potrebbe essere utilizzata per uso plurimo, non solo a scopi di laminazione durante gli eventi di piena ma anche come area di stoccaggio di una quota parte di volume da cui attingere nei periodi estivi, dando sollievo all'irrigazione.

Il Canale Fossetta Alta scola le acque meteoriche del Comune di Parma a partire dalla zona di via Cagliari, per un quadrante complessivo (tra zona urbana e agricola) di circa 1.000 ha. Le urbanizzazioni e le nuove infrastrutture realizzate negli ultimi anni hanno portato ad un notevole aggravamento della criticità idraulica già in atto, che si è manifestata, anche in tempi recenti, attraverso l'allagamento dell'insediamento urbano di San Polo di Torrile e della sua area produttiva, in cui sono presenti numerose ed importanti realtà commerciali ed industriali.

Il presente progetto trova una soluzione per ovviare al suddetto rischio idraulico attraverso la realizzazione di una cassa di laminazione delle piene lungo il corso del canale Fossetta Alta, appena a sud della frazione di San Polo, al fine di alleggerire il carico idraulico del canale a monte delle aree che nel recente passato sono state interessate dagli eventi calamitosi.

L'area individuata per l'intervento oggetto di studio, localizzata anche negli strumenti urbanistici del comune di Torrile, si trova ad ovest del canale Fossetta Alta e ha una superficie complessiva di circa 120.000 m².



Figura 37 – Ubicazione area intervento.

7.1.9 Miglioramento e adeguamento del sistema di adduzione delle reti di distribuzione esistenti nel comprensorio irriguo del Canale Naviglio, mediante riabilitazione funzionale attraverso relining della condotta irrigua di dorsale in C.A. Casino-Travacone, adduttrice principale delle acque sollevate dal T. Parma all'impianto del Casino di Colorno (PR) e sostituzione di fatiscenti ed obsolete canalette irrigue di dorsale a cielo aperto con tubazioni interrate a bassa pressione

La progettazione esecutiva del presente intervento: “Miglioramento e adeguamento dei sistemi di adduzione e delle reti di distribuzione esistenti nel comprensorio irriguo del Canale Naviglio, mediante riabilitazione funzionale attraverso relining della condotta irrigua di dorsale in c.a. casino – Travacone, adduttrice principale delle acque sollevate dal T. Parma all'impianto del Casino di Colorno (PR) e sostituzione di fatiscenti ed obsolete canalette irrigue di dorsale a cielo aperto con tubazioni interrate a bassa pressione” prevede (Figura 38):

- relining della condotta Casino-Travacone, per una lunghezza complessiva di 1.700 m, di cui, per un lungo tratto, attraversante il centro abitato di Colorno e l'area cortilizia dell'impianto idrovoro consortile di Travacone. Il relining rappresenta un sistema di riparazione di canalizzazioni deteriorate che permette di evitare o ridurre al minimo le opere di scavo per i lavori. L'operazione consiste nell'introduzione dall'interno della tubazione stessa di una guaina che viene fatta aderire alla condotta deteriorata e infine fatta indurire.
- sostituzione delle fatiscenti canalette a pelo libero in c.a. prefabbricate, denominate “Rossa Destra” e “Rossa Sinistra”, rispettivamente per una lunghezza di 5.639 m e 1670 m, con tubazioni interrate in polietilene ad alta densità, funzionanti a bassa pressione, ubicate a Nord-Est della città di Parma, fra la strada provinciale SP 343R per Colorno e la strada comunale di Frassinara, in sinistra del canale Naviglio, principalmente in comune di Parma - delegazione Cortile San Martino - e solo per un breve tratto terminale della Rossa Destra, in comune di Sorbolo.
- sostituzione della fatiscente canaletta a pelo libero in c.a. prefabbricata e di un tratto di condotta ammalorata, sempre in c.a., denominata “Casino-Campogrande”, in comune di Colorno, ad est dell'abitato stesso e a sud del torrente Parma.

Lungo i tracciati delle nuove condotte saranno realizzate diverse opere di alimentazione dei canali consortili e opere di distribuzione pluriaziendale ad uso dei consorziati. L'intervento risulta in fase di realizzazione.

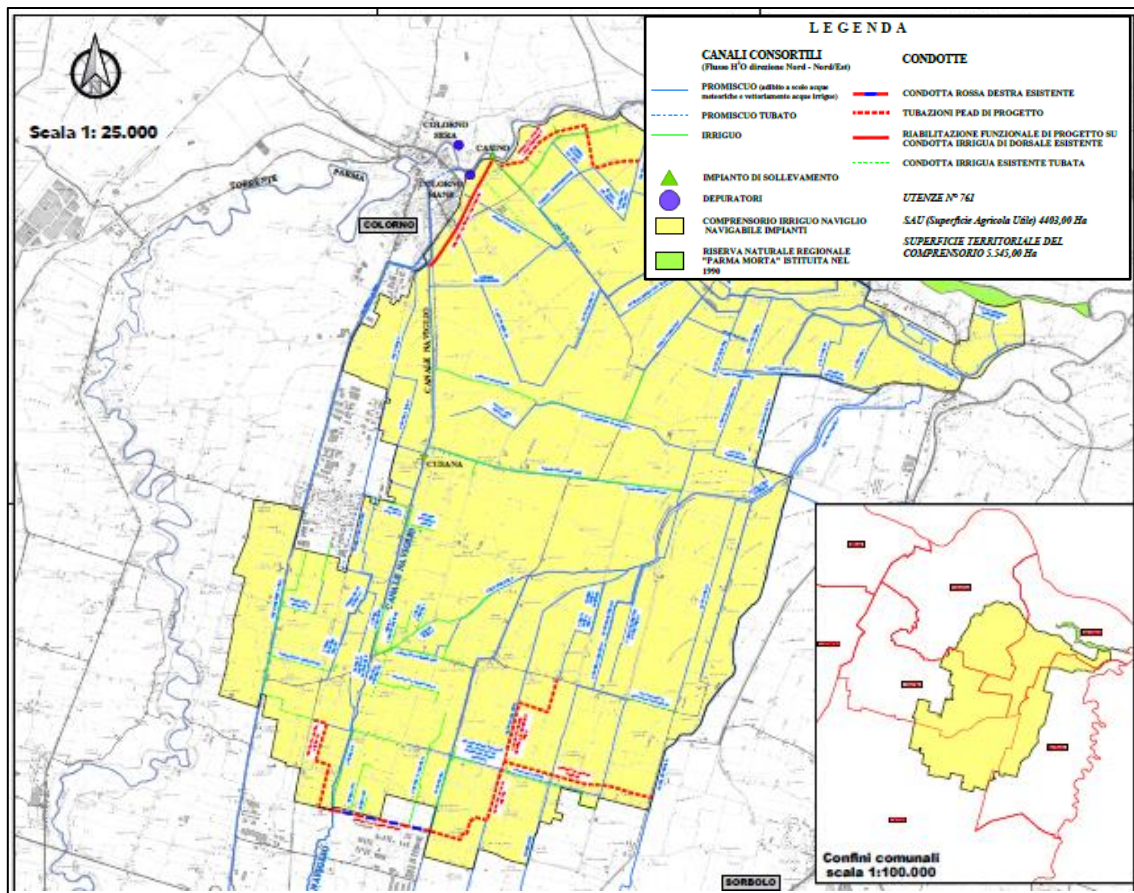


Figura 38 – Corografia interventi.

7.1.10 Sistemazione idraulica del compartimento dei canali Naviglia, Canaletto, Burla e Terrieri zona Est, Sud-Est di Parma e Sorbolo Mezzani, con adeguamento funzionale dei canali efferenti - 1° Stralcio

Il presente progetto prevede il riassetto geometrico e funzionale di un tratto del Cavo Burla compreso tra la Cassa di Espansione e la confluenza del Cavo Rivarolo (Figura 39), per consentire il transito di una portata di piena con tempo di ritorno pari a 200 anni. Il Cavo Burla risulta un canale promiscuo, con funzione di scolo ed irrigua, quindi l'intervento di risezionamento ed adeguamento dei manufatti costituisce un vantaggio anche per migliorare il servizio irriguo.

L'adeguamento idraulico del Cavo Burla implica una serie di macro-lavorazioni di seguito elencate:

1. risezionamento del Cavo Burla;
2. demolizione degli attraversamenti esistenti e sostituzione con strutture scatolari di lunghezza variabile a seconda delle esigenze;
3. rifacimento dello sbarramento ad uso irriguo sito lungo il cavo Burla immediatamente a valle dell'incrocio con via Case Vecchie;
4. realizzazione di manufatti anti-rigurgito sui due fossi stradali di via Case Vecchie;
5. realizzazione di una chiavica anti-rigurgito sul Cavo Rivarolo.

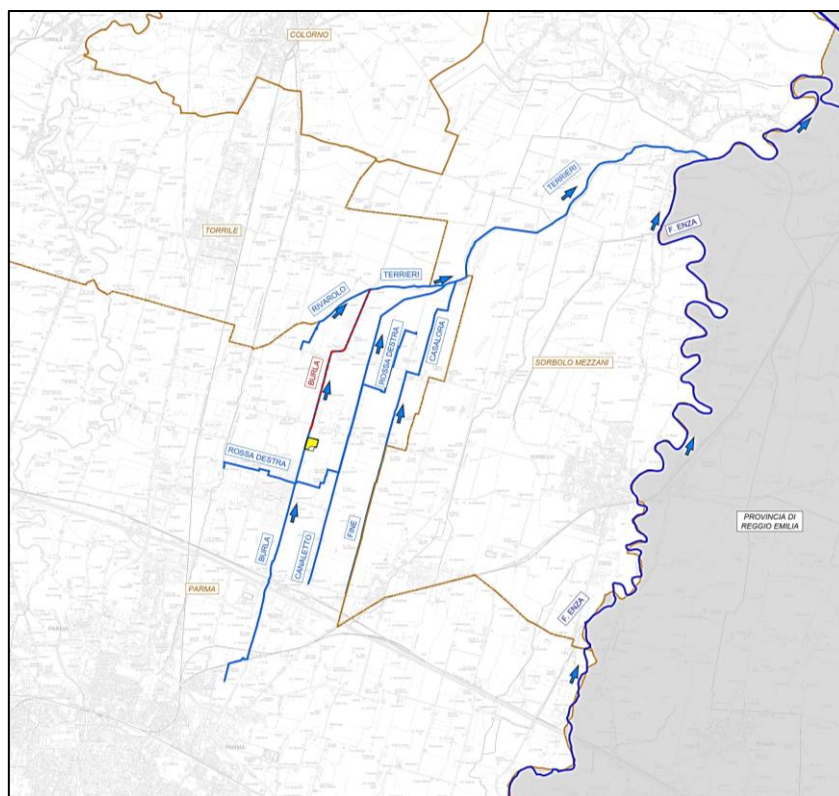


Figura 39 – Corografia di inquadramento del tratto di Cavo burla oggetto di intervento (tratto in rosso).

Figura 41 – Potenziamento rete di distribuzione di Copezzato (rappresentata in rosso).

7.2.3 Adeguamento impianto di Sant'Andrea

L'intervento origina dalla località di Rivarolo fino alla località di Bezze di Torrile, comprensorio Galasso – Lorno, in comune di Torrile (Figura 42).

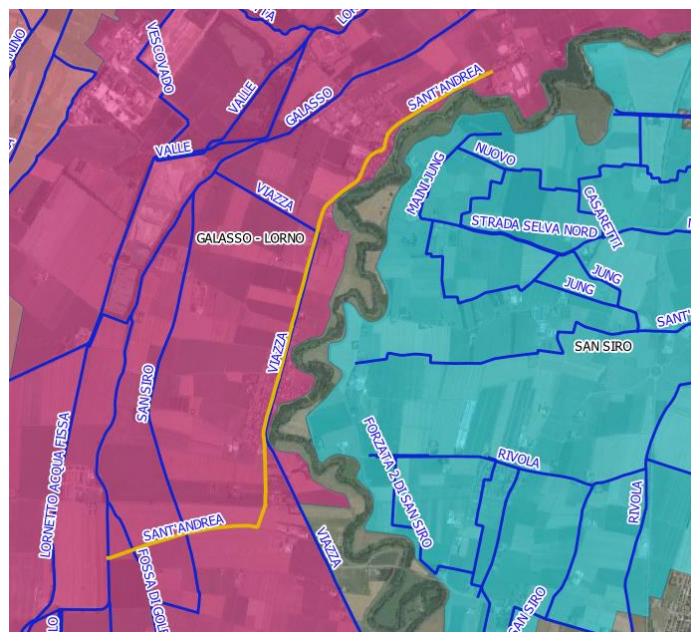


Figura 42 – Adeguamento impianto di Sant'Andrea (rappresentato in giallo) dalla località di Rivarolo fino alla località di Bezze di Torrile.

7.2.4 Proposta di nuovo impianto di sollevamento sul Torrente Enza

L'intervento è previsto in località Enzano o Casaltone nel comprensorio Gambalone, Naviglia e Casaltone, nel comune di Sorbolo – Mezzani (Figura 43).

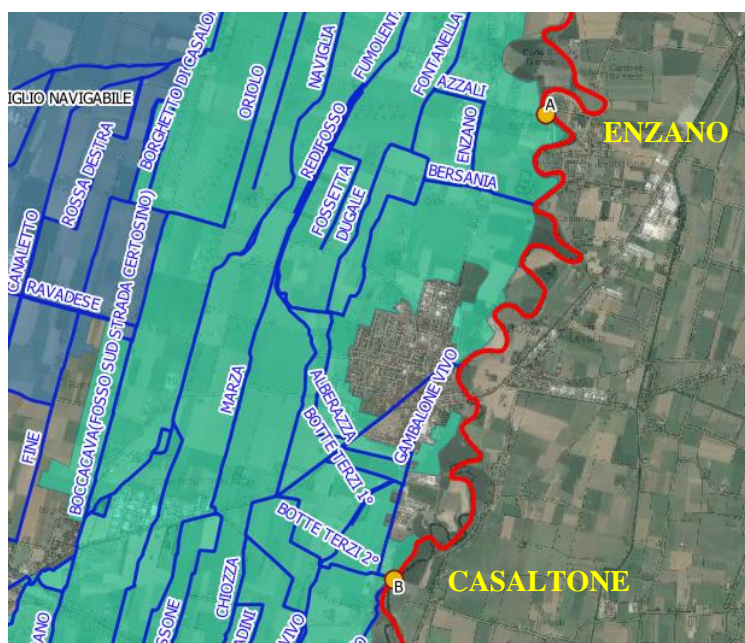


Figura 43 – Proposta di nuovo impianto di sollevamento sul Torrente Enza in località Enzano (punto A) o Casaltone (punto B).

7.2.5 Gestione del territorio di Zolle e Zollette

L'intervento mira alla ottimizzazione della risorsa idrica presente, anche attraverso l'utilizzo dei reflui trattati dalla conserviera Ditta Mutti, nei comuni di Traversetolo, Montechiarugolo e Monticelli Terme (Figura 44).

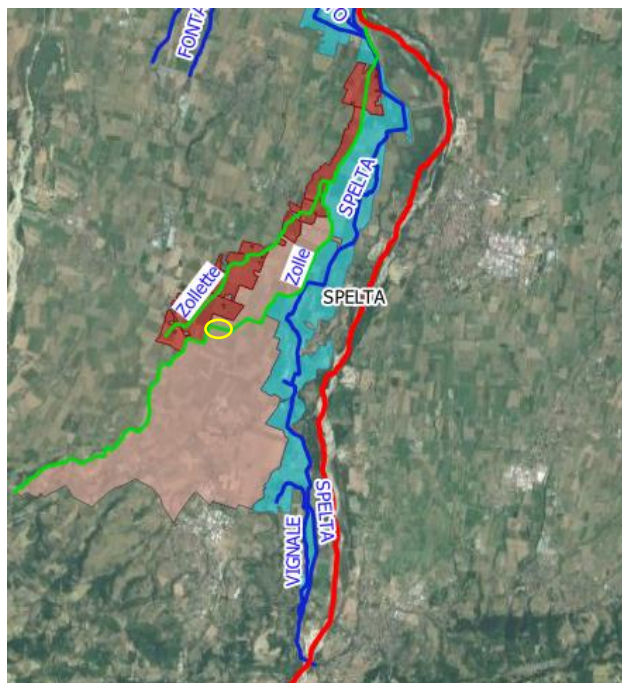


Figura 44 – Gestione del territorio di Zolle e Zollette (rappresentati in verde) per l'ottimizzazione della risorsa idrica presente, anche attraverso l'utilizzo dei reflui trattati dalla conserviera Ditta Mutti (cerchio giallo).

7.2.6 Impermeabilizzazione dei tratti più permeabili del Canale della Spelta

L'intervento è previsto all'interno del comprensorio della Spelta, nei comuni di Traversetolo e Montechiarugolo (Figura 45).



Figura 45 – Impermeabilizzazione dei tratti più permeabili del Canale della Spelta (rappresentato in rosso) all'interno del comprensorio della Spelta (area azzurra).

7.2.7 Sostituzione dell'attuale canaletta a cielo aperto di Vignale

L'intervento prevede la sostituzione della canaletta con tubazione interrata a bassa pressione (Figura 46)

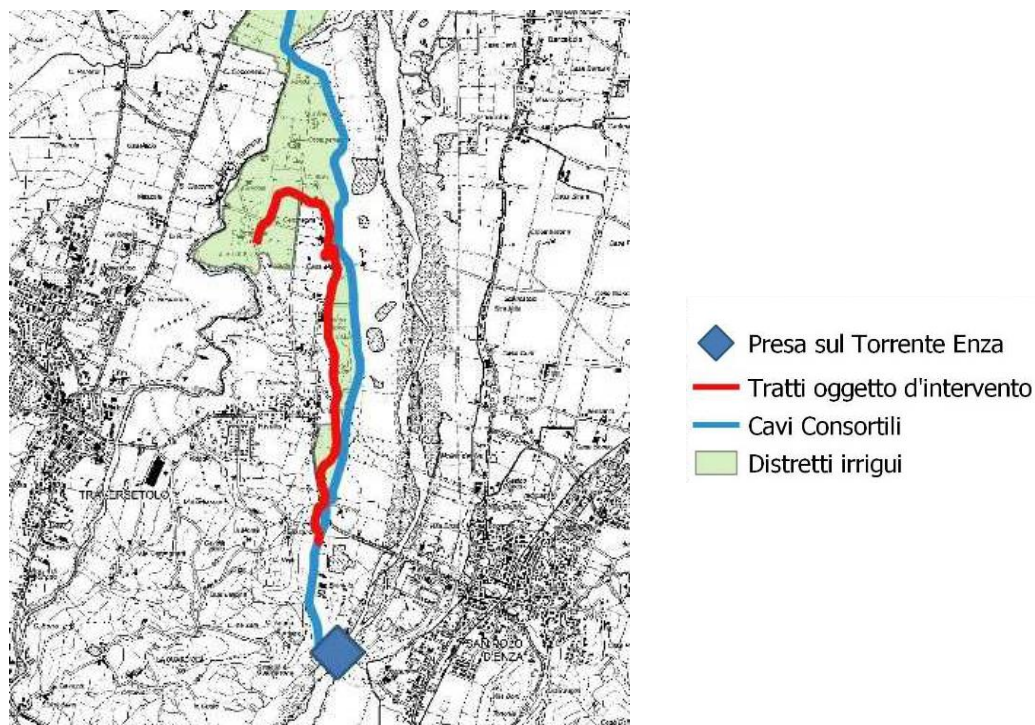


Figura 46 – Ubicazione attuale Canaletta di Vignale.

7.2.8 Sostituzione delle fatiscenti ed obsolete canalette irrigue nel territorio di Sissa-Trecasali

L'intervento prevede la sostituzione delle canalette irrigue con tubazioni interrate a bassa pressione (

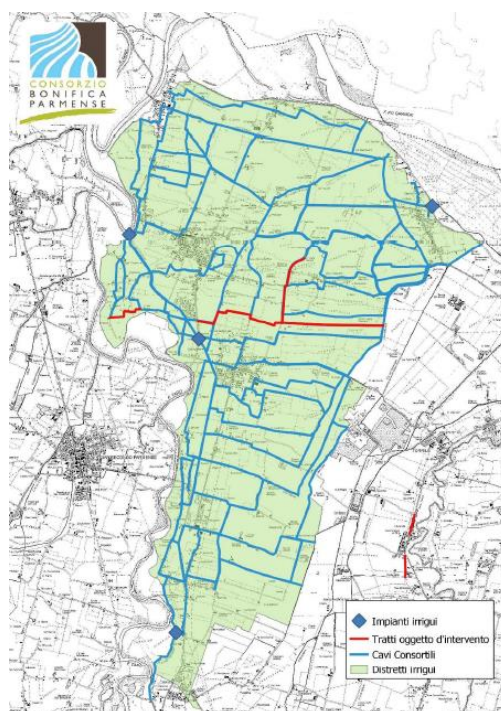


Figura 47 – Ubicazione attuale canalette irrigue.

7.2.9 Potenziamento del territorio servito in località Paroletta attraverso il Canale Paroletta n°1 di Fontanellato

All'interno del presente progetto, vista la necessità di potenziare il territorio servito dal Canale Paroletta n°1, si prevede di risagomare la sezione attuale (Figura 48) in modo da consentire il corretto deflusso dell'acqua.

Tale canale passerebbe da semplice canale di scolo a canale ad uso promiscuo, per queste ragioni è necessario creare manufatti di invaso, di regolazione e di derivazione dell'acqua, oltre all'adeguamento delle opere trasversali già presenti.



Figura 48 – Stato di fatto del Canale Paroletta n°1.

7.3 Ipotesi di fonti alternative di approvvigionamento idrico a scopo irriguo

Nel presente capitolo si discutono eventuali fonti alternative, individuate sul territorio provinciale, che potrebbero garantire i servizi di irrigazione anche in caso di scarsità della risorsa acqua.

7.3.1 Bacini naturali ex-cave

I bacini naturali localizzati a Collecchio e Ponte Taro, riportati in Figura 49, non di competenza del Consorzio della Bonifica Parmense, si presentano come riserve naturali di stoccaggio delle acque superficiali; tali bacini potrebbero essere fonte di risorsa nei periodi di grave scarsità.



Figura 49 – Ubicazione bacini naturali in Collecchio e Ponte Taro.

In aggiunta, si propongono altre zone di stoccaggio derivanti da ex-cave in prossimità del Torrente Enza, in Comune di Traversetolo e Montechiarugolo (Figura 50).



Figura 50 – Cave già presenti o in atto nella pianificazione area Canale della Spelta.

7.3.2 Casse di espansione

Come discusso precedentemente per i bacini naturali, le casse di espansione (Figura 51) sul torrente Baganza (in realizzazione) e torrente Parma (esistente), non di competenza del Consorzio della Bonifica Parmense, si presentano come riserve naturali di stoccaggio delle acque superficiali. Tali aree potrebbero essere gestite con una finalità ad uso plurimo garantendo difesa idrogeologica nei periodi di maggiori piogge e approvvigionamento di risorsa idrica nei periodi di siccità.



Figura 51 – Ubicazione della cassa di espansione sul torrente Baganza (sx) e sul torrente Parma (dx).

Inoltre, tale finalità potrebbe essere applicata anche in prossimità della cassa di espansione di monte del torrente Enza (Figura 52), garantendo immagazzinamento della risorsa all'interno dei bacini naturali già presenti sul territorio. La proposta della nuova derivazione è finalizzata alle azioni di stoccaggio della risorsa idrica, di ottimizzazione della rete di distribuzione e di ricarica della falda, in un'area del bacino dell'Enza particolarmente favorevole a tali scopi.

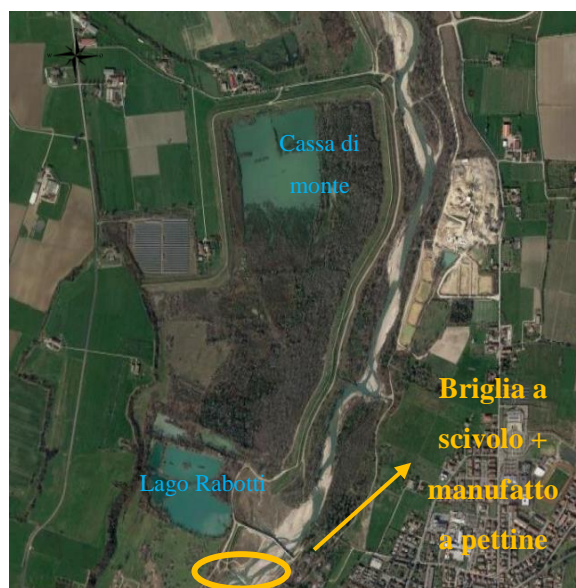


Figura 52 – Dettaglio cassa di espansione di monte del torrente Enza.

7.3.3 Allargamento del territorio irriguo servito dal Cavo Gandiolo

È in atto l'acquisizione del Consorzio Privato Gandiolo da parte del Consorzio della Bonifica Parmense. Nel momento in cui avverrà, sarà possibile studiare l'allargamento del territorio irriguo servito dal Cavo Gandiolo, nel comune di Noceto.

7.3.4 Recupero acque di scarico trattate

La realizzazione del nuovo impianto di depurazione, sito a Nord Ovest della frazione di San Geminiano vicino al confine con il Comune di Parma, prevede la realizzazione di un collettore principale e n°2 rami secondari da Monticelli Terme e San Geminiano. In periodo non irriguo, la portata emessa, una volta affinata, verrà immessa nel Rio Arianazzo che a sua volta scaricherà per gravità nel torrente Enza, mentre in periodo irriguo verrà recuperata nel ramo di Martorano.

L'incremento di risorsa diverrà elemento strategico per le derivazioni attualmente esistenti sul torrente Enza. Le portate recuperate permetteranno di ottimizzare il prelievo irriguo garantendo maggiore disponibilità.

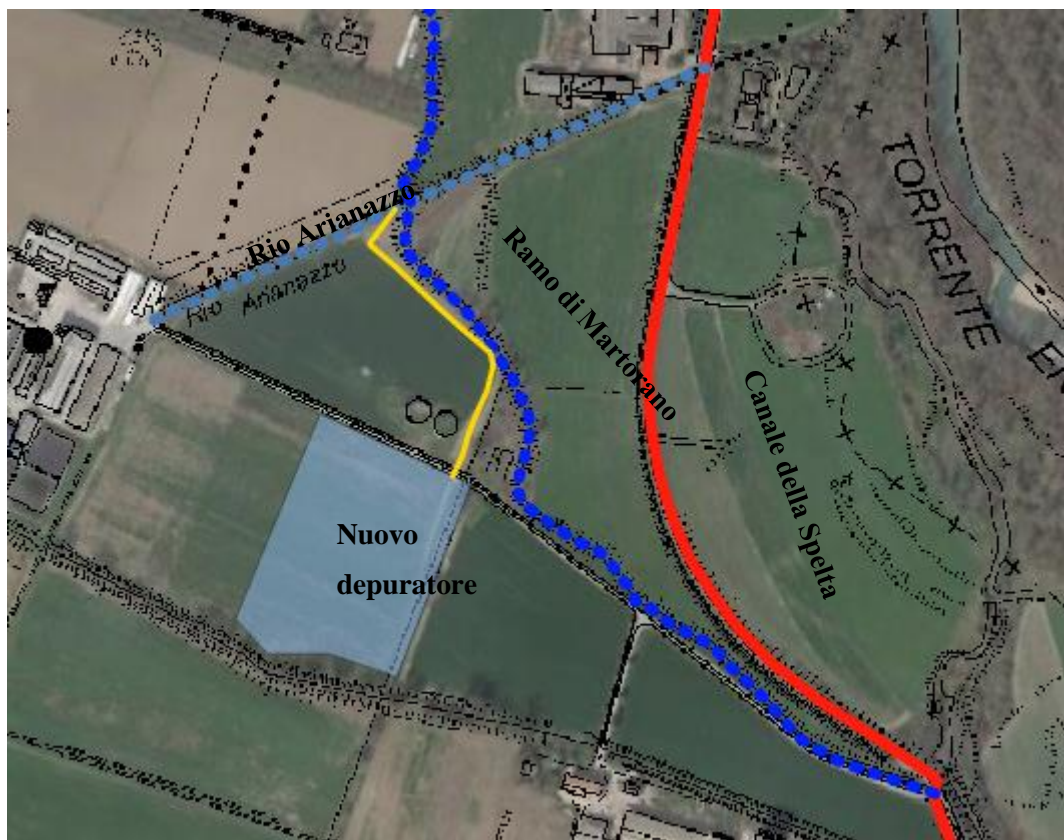


Figura 53 – Dettaglio nuovo depuratore nella frazione di San Geminiano.

Appendice A

Nella presente Appendice sono riportati in forma grafica i risultati ottenuti dall'analisi dello SPI per le restanti AI non presentate nel Capitolo 4.1.

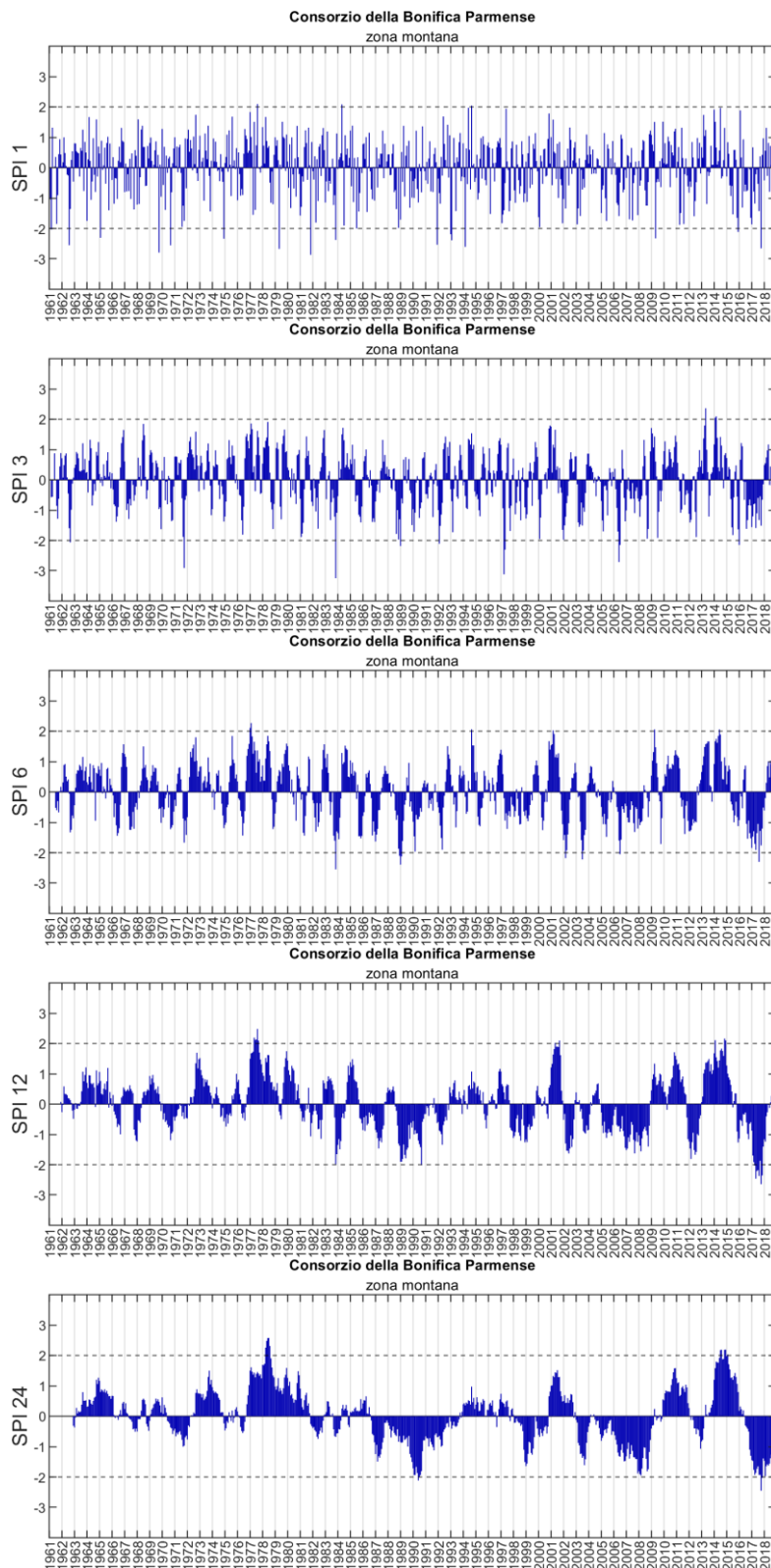


Figura 54 – Andamento dello SPI nell'area montana del CdBP, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).

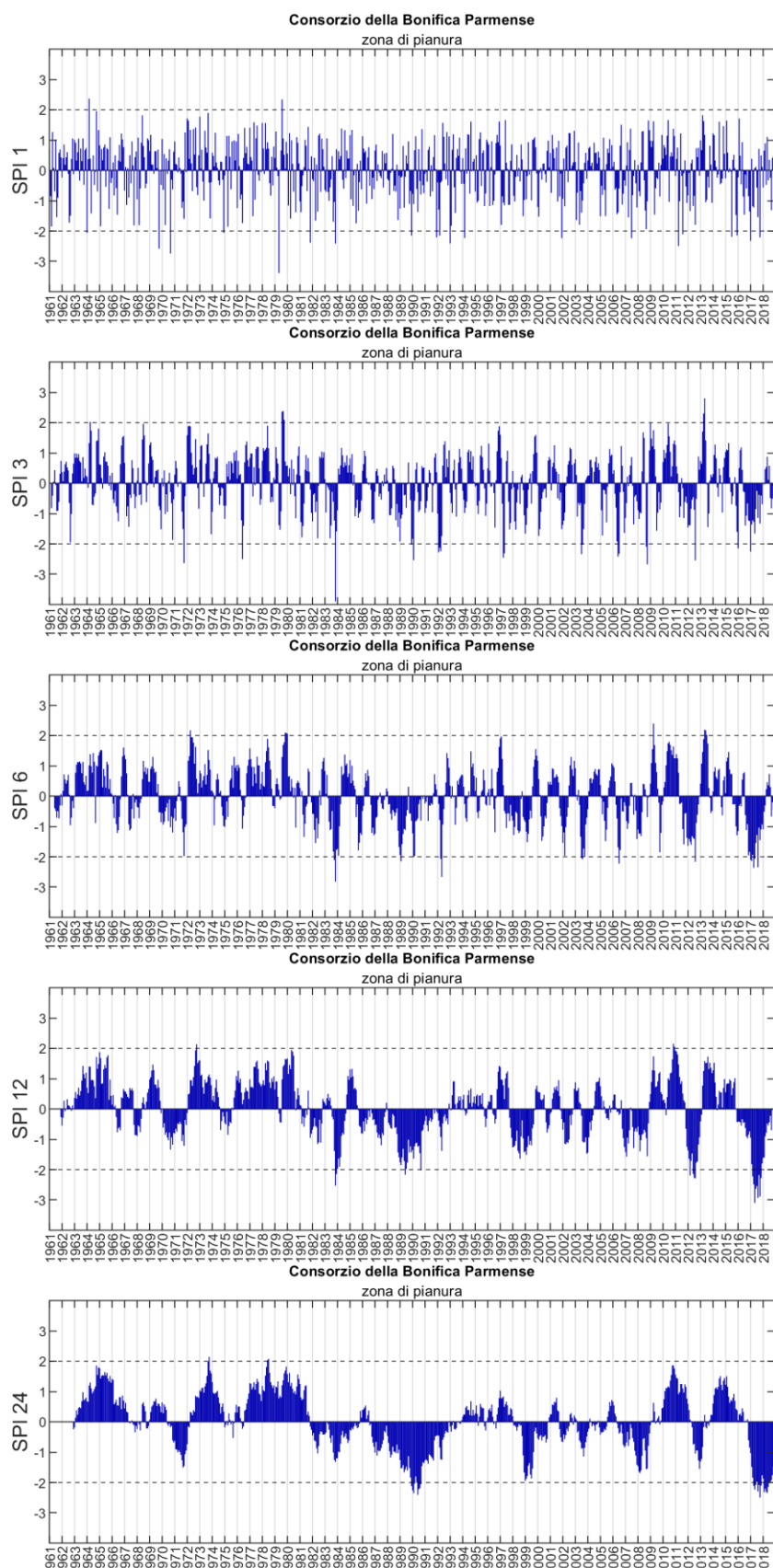


Figura 55 – Andamento dello SPI nell’area di pianura del CdBP, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un’abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).

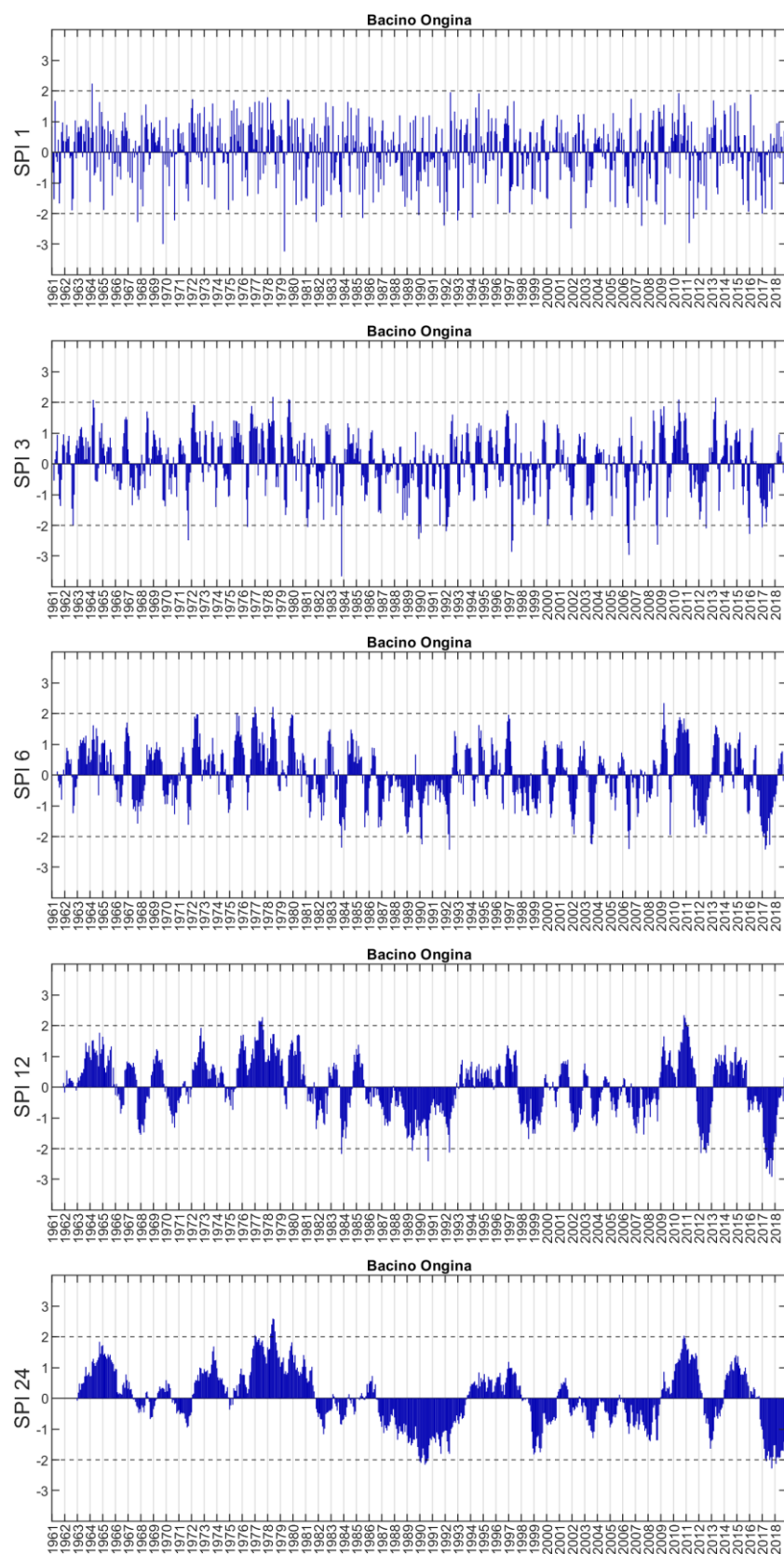


Figura 56 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del torrente Ongina, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).

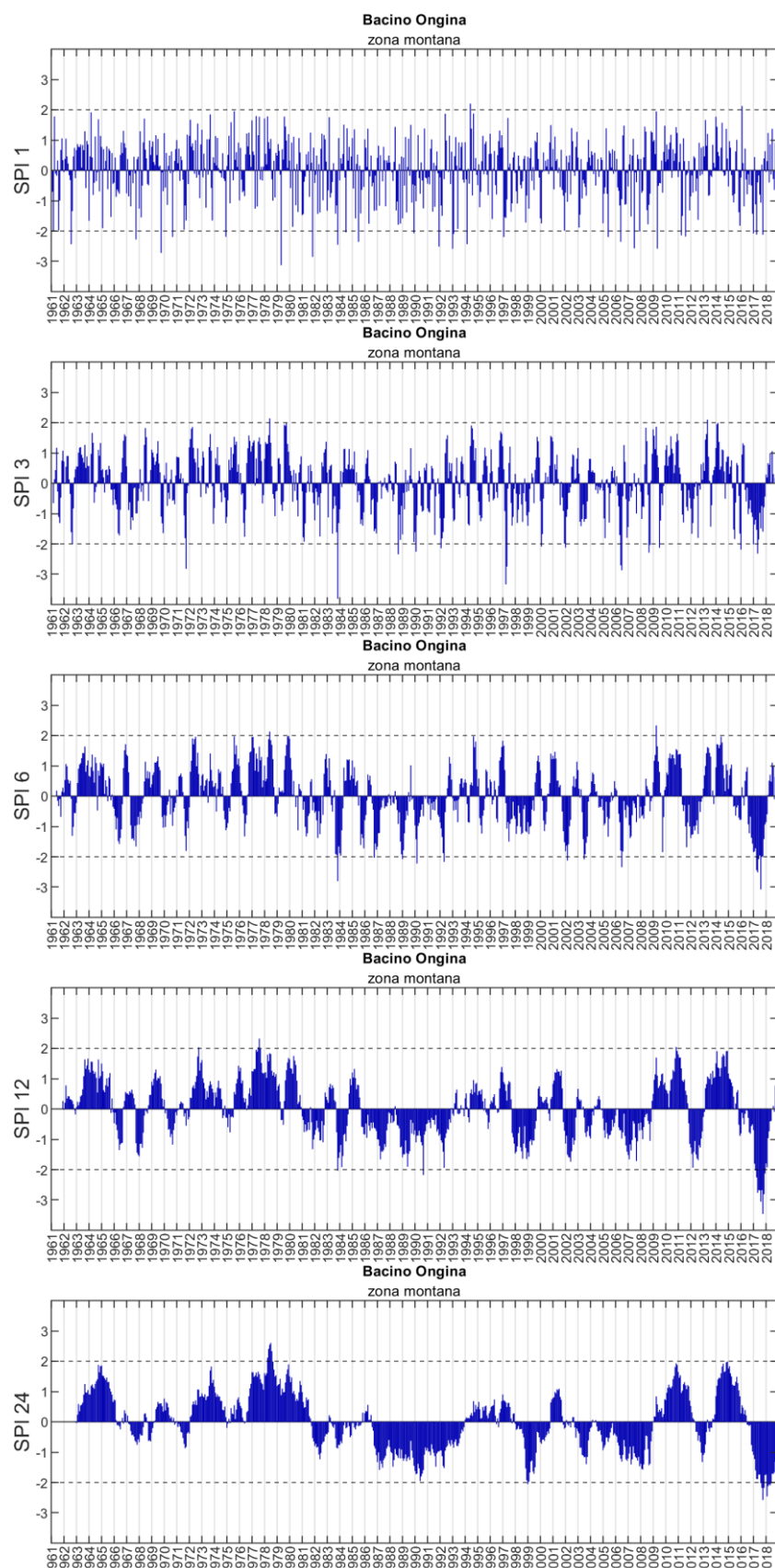


Figura 57 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del torrente Ongina nell'area montana, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).

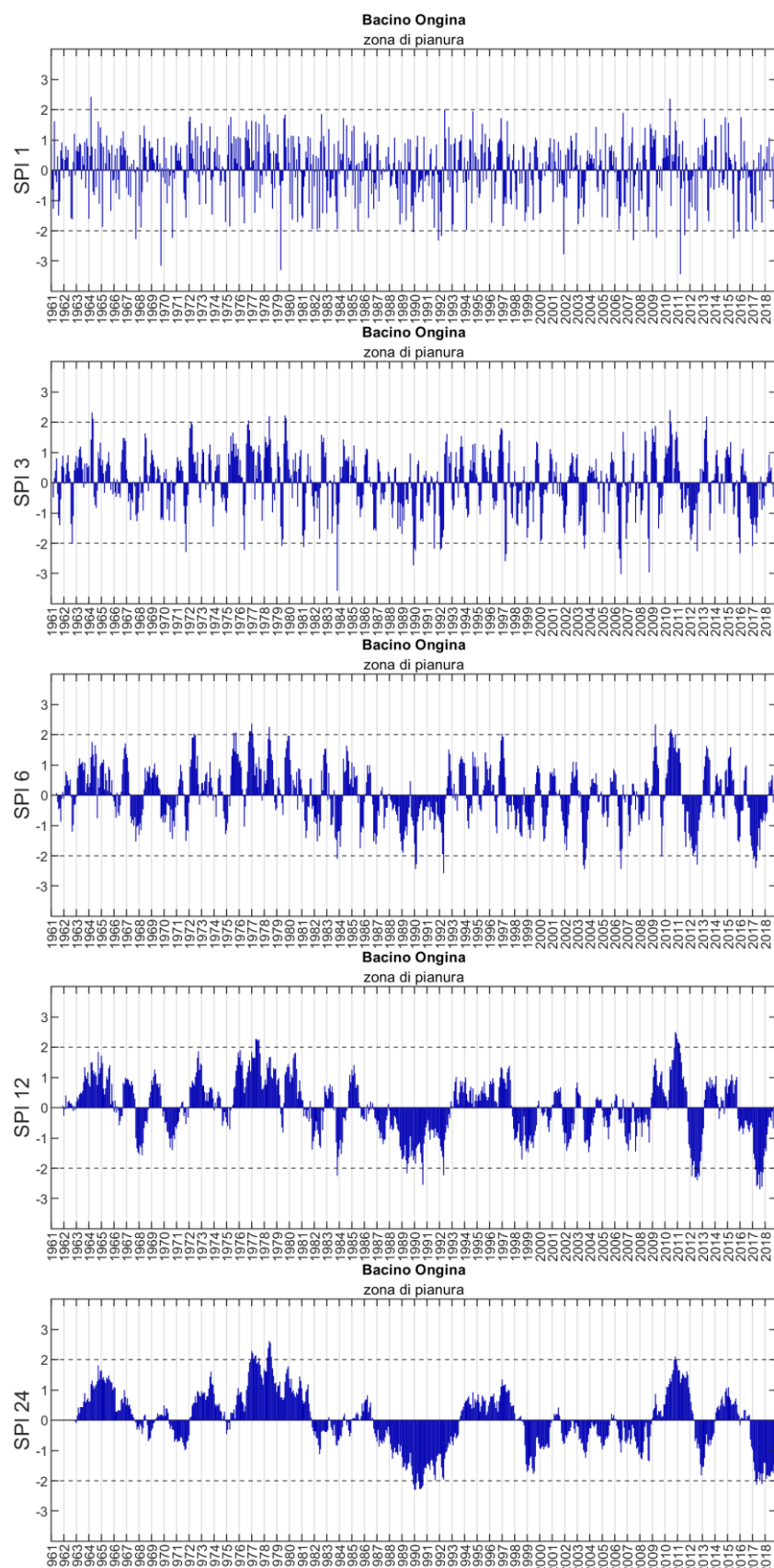


Figura 58 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del torrente Ongina nell'area di pianura, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).

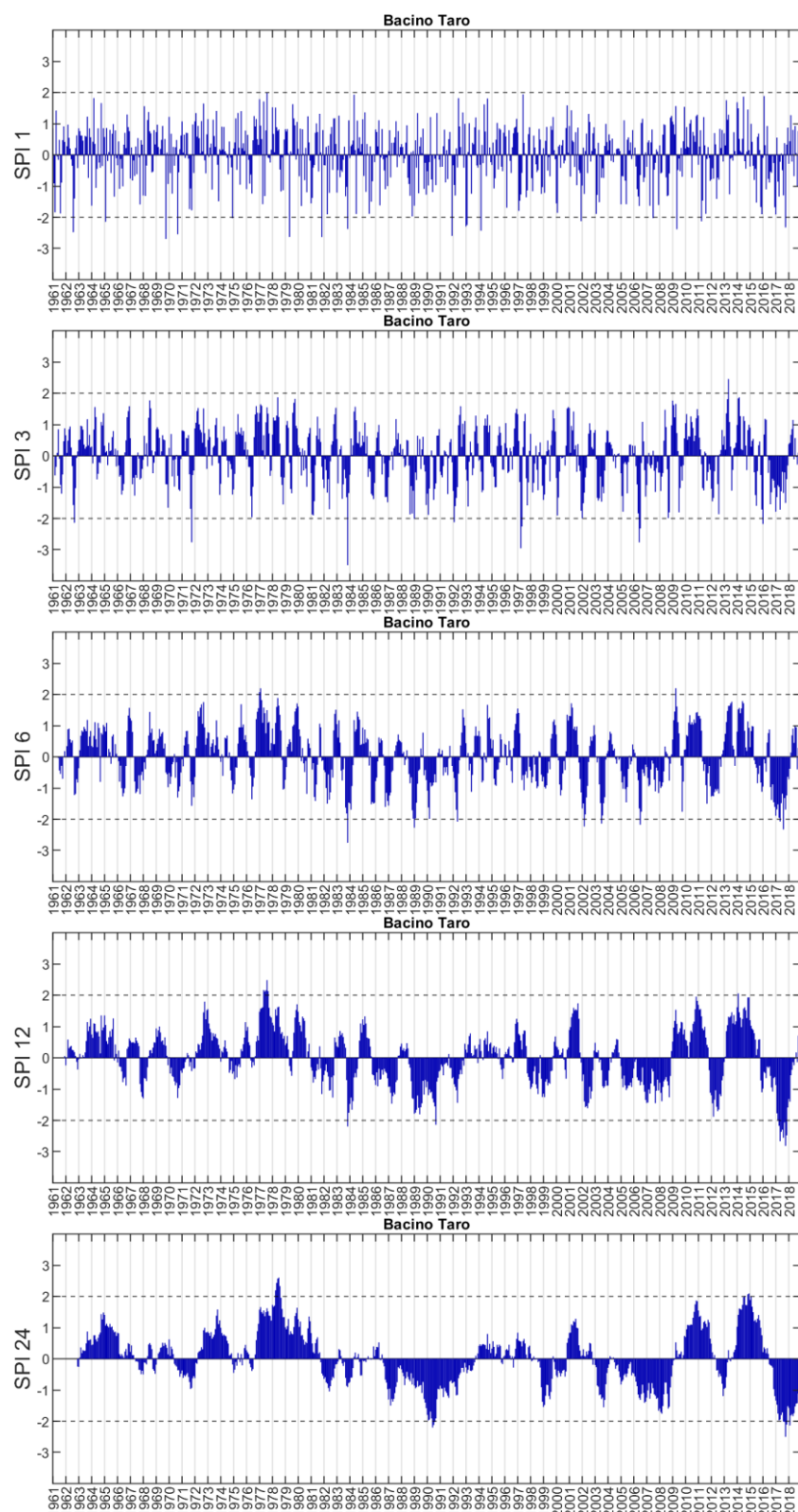


Figura 59 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del torrente Taro, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).

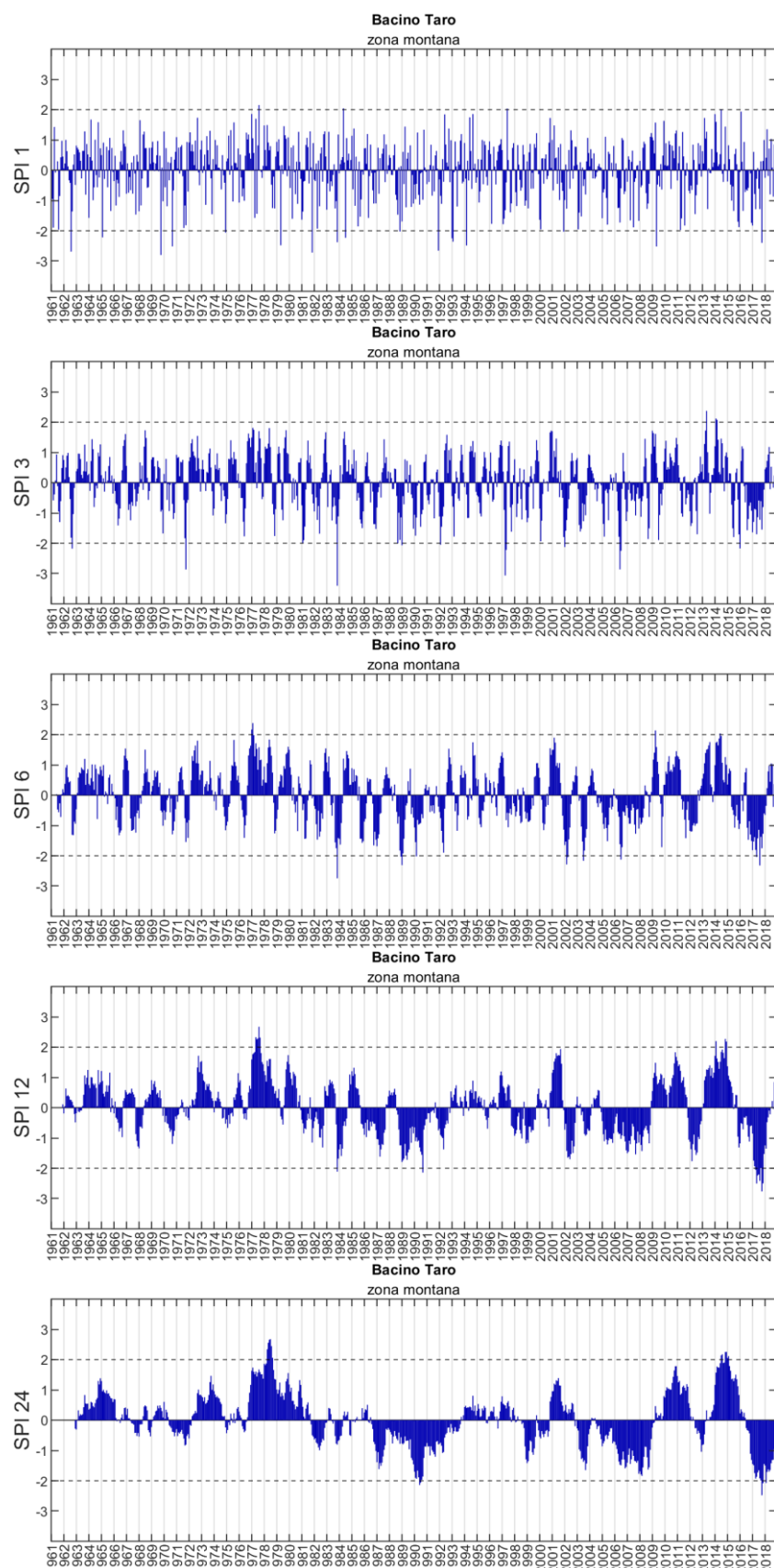


Figura 60 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del fiume Taro nell'area montana, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).

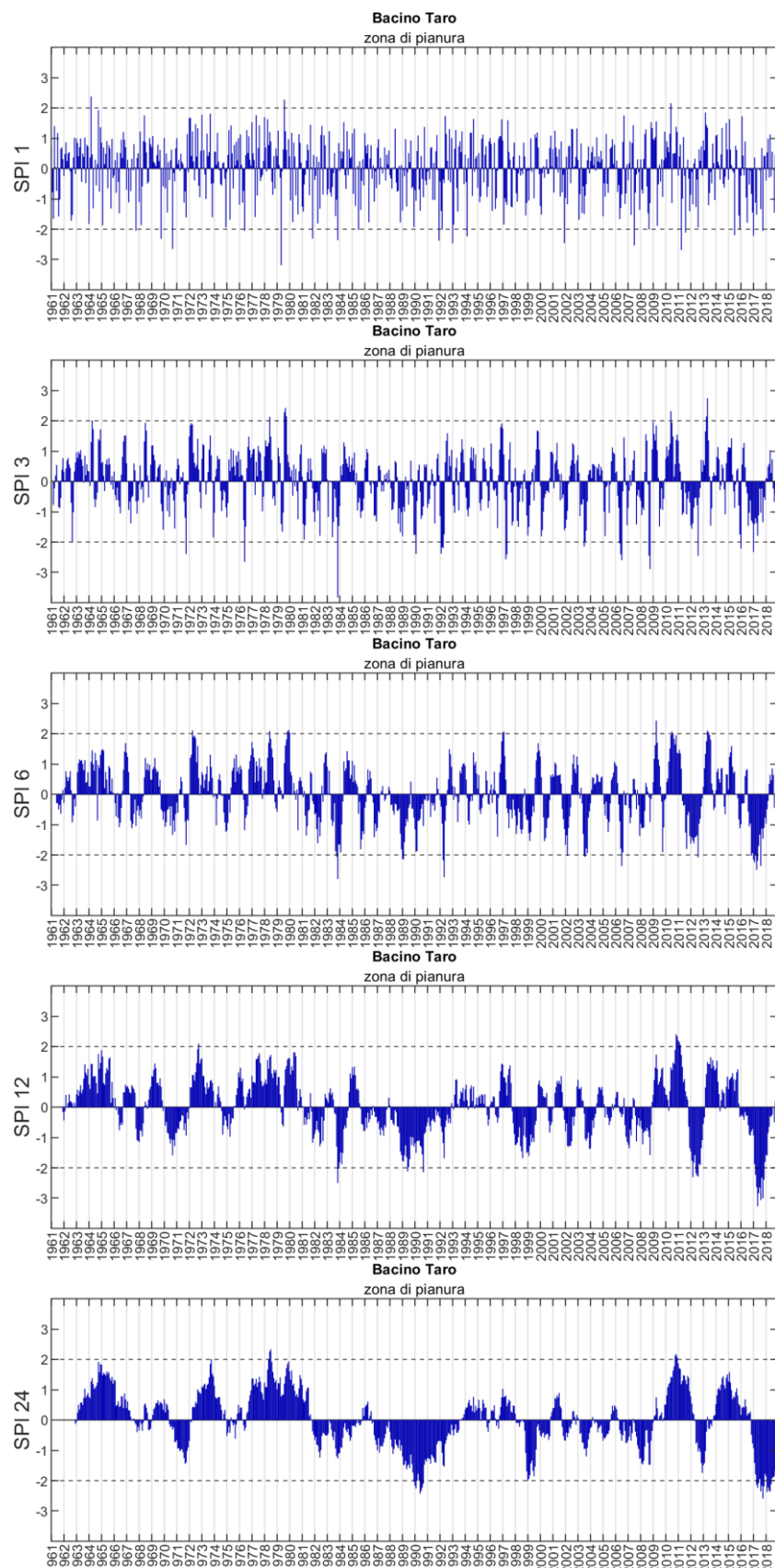


Figura 61 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del fiume Taro nell'area di pianura, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).

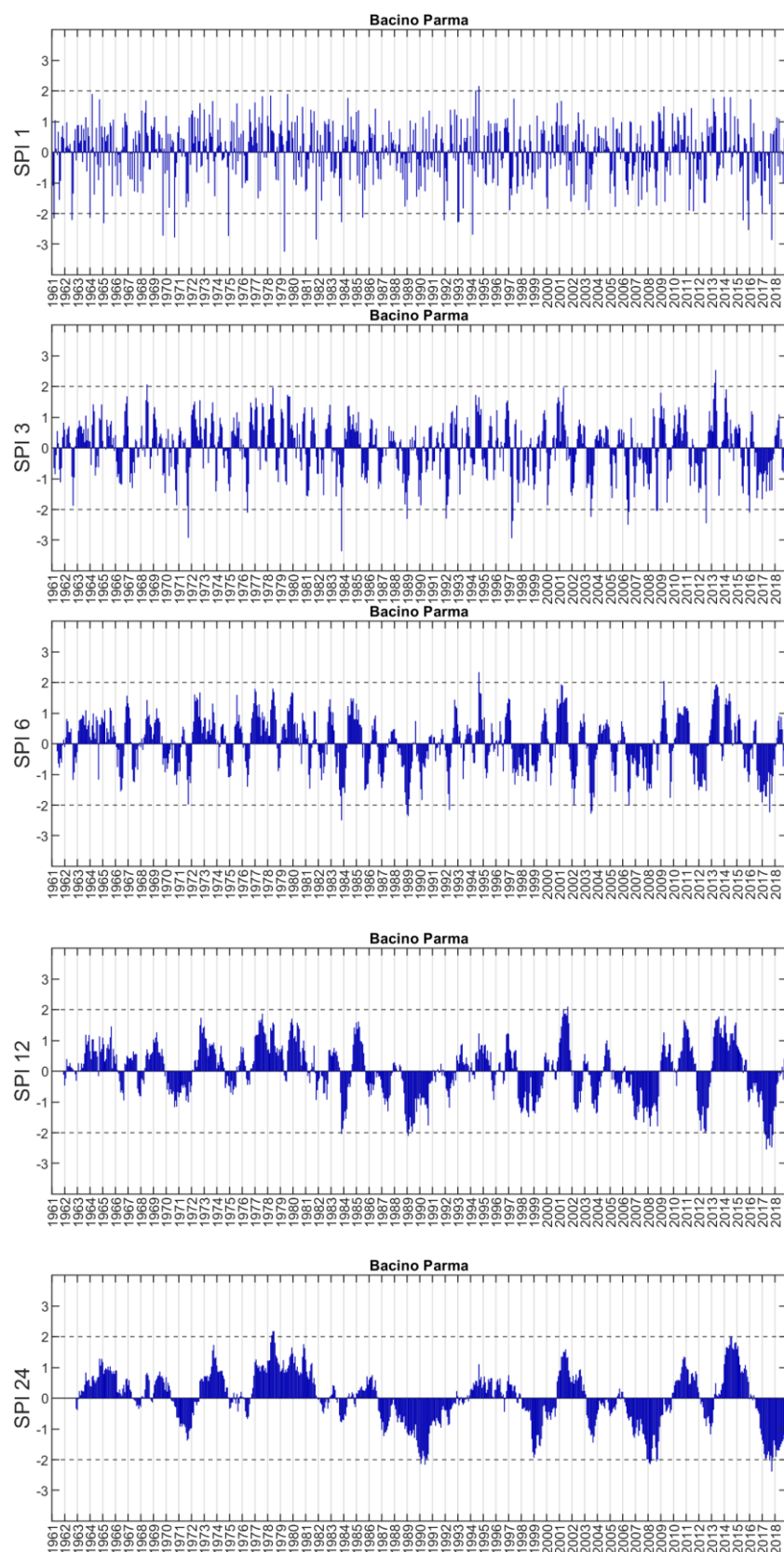


Figura 62 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del torrente Parma, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).

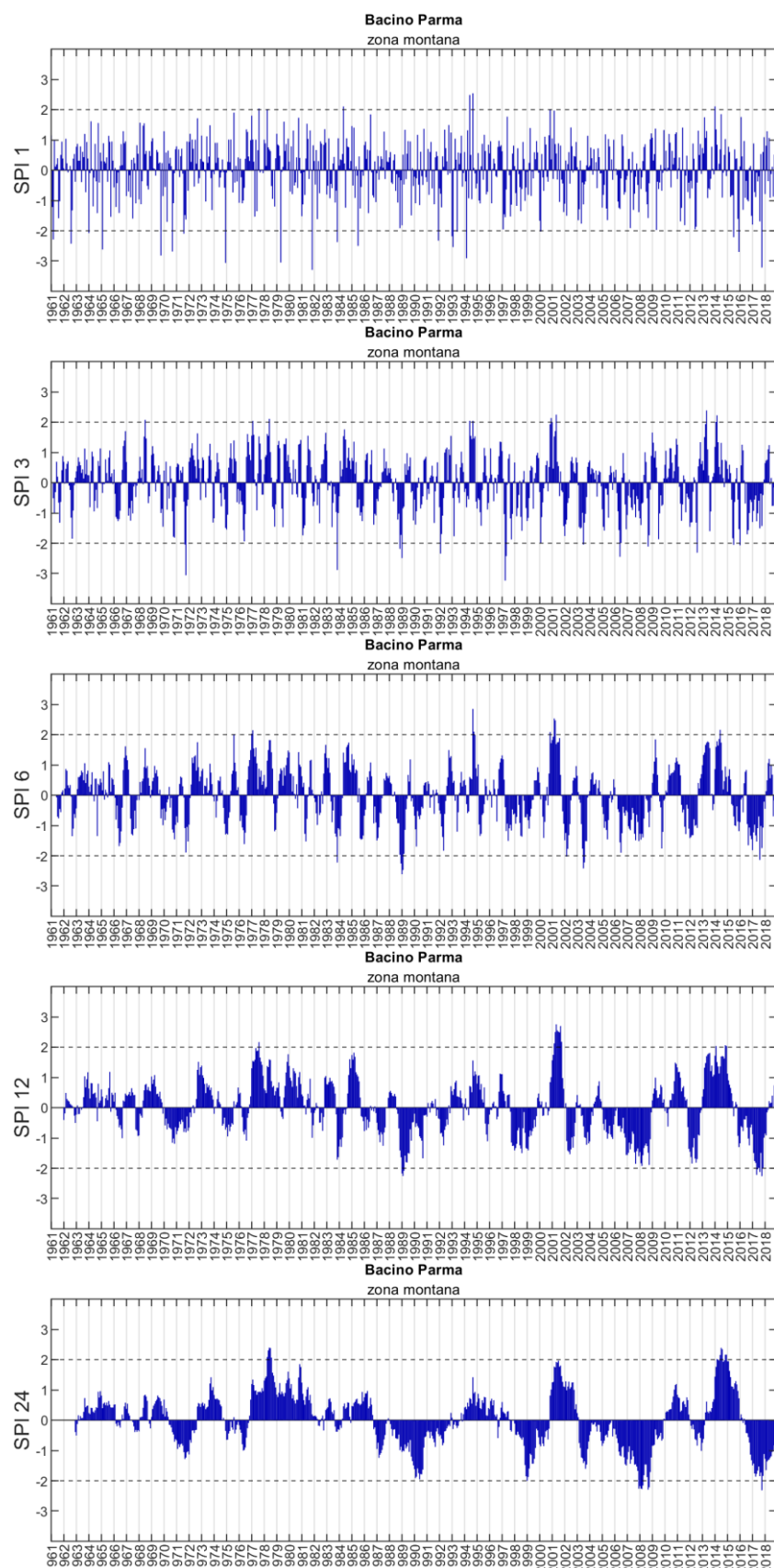


Figura 63 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del torrente Parma nell'area montana, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).

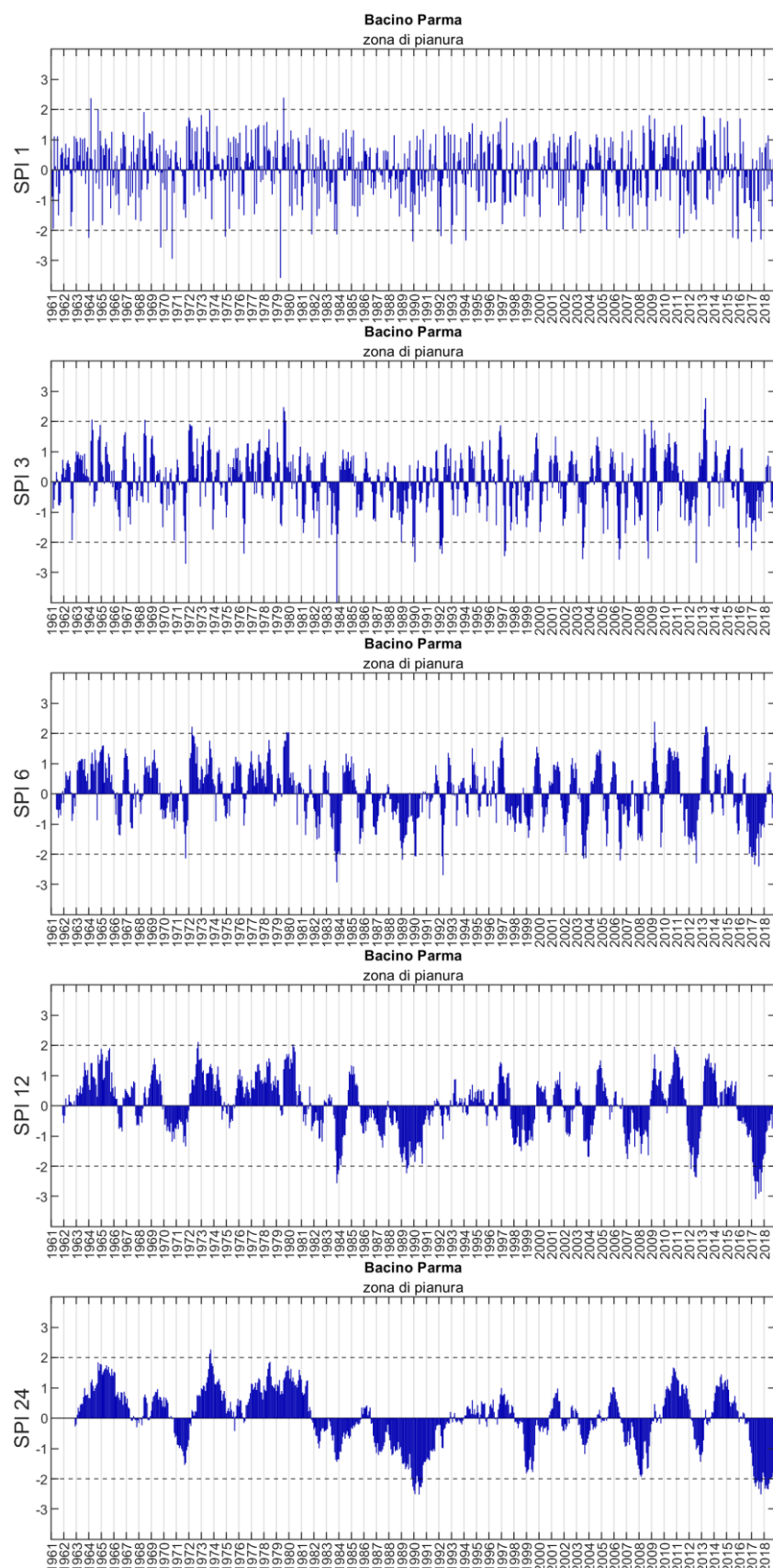


Figura 64 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del torrente Parma nell'area di pianura, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).

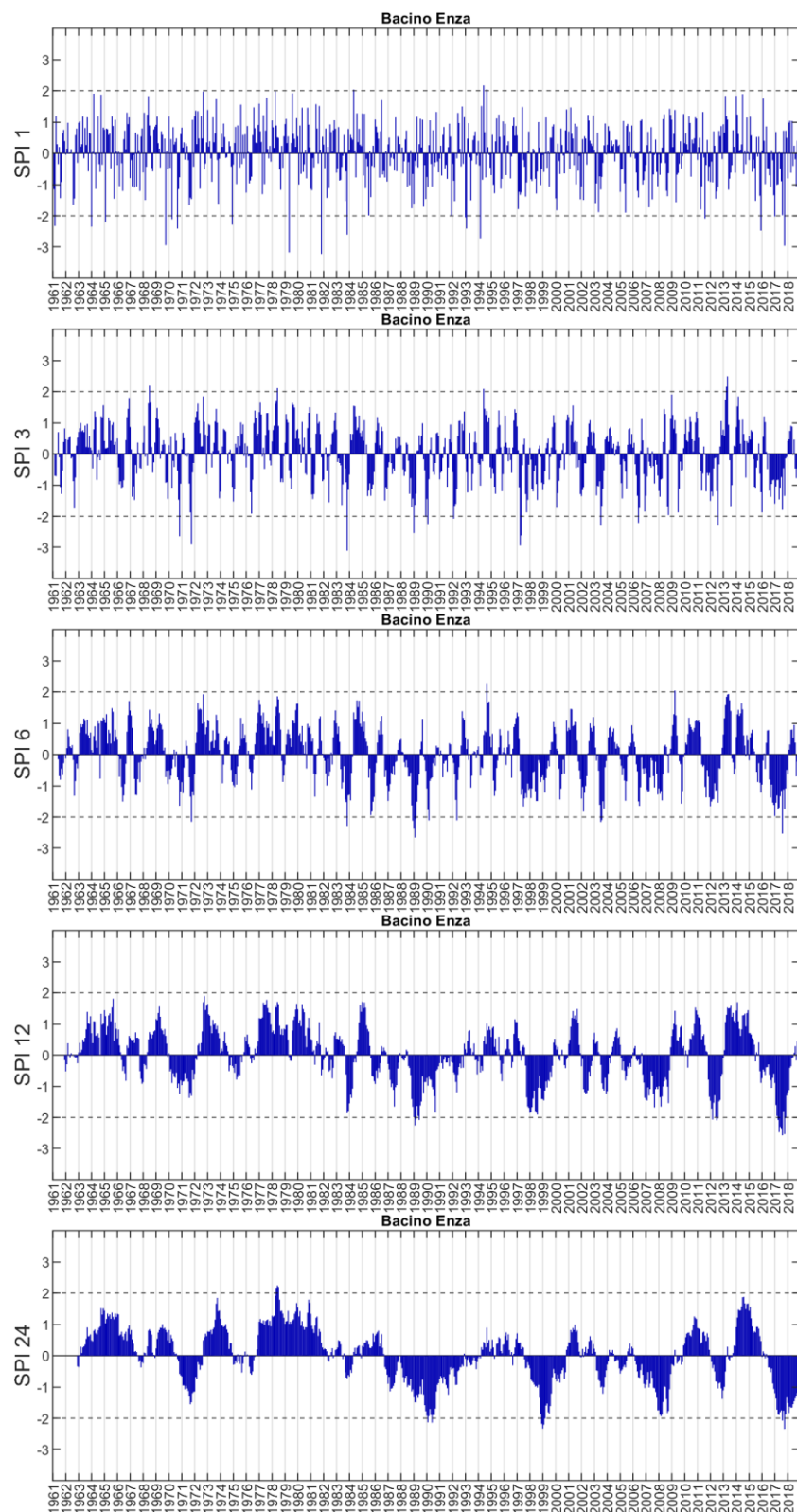


Figura 65 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del torrente Enza, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).

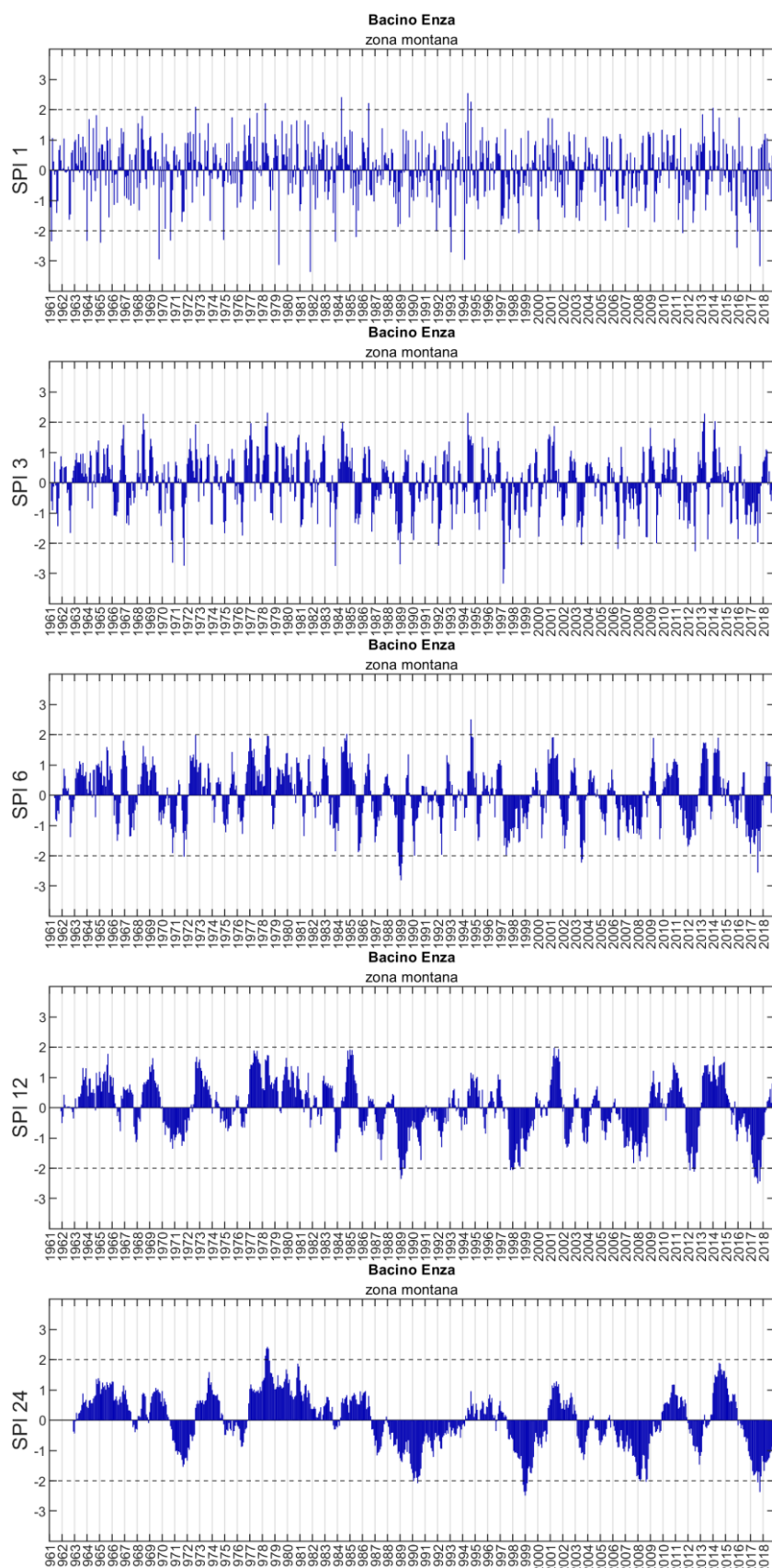


Figura 66 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del torrente Enza nell'area montana, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).

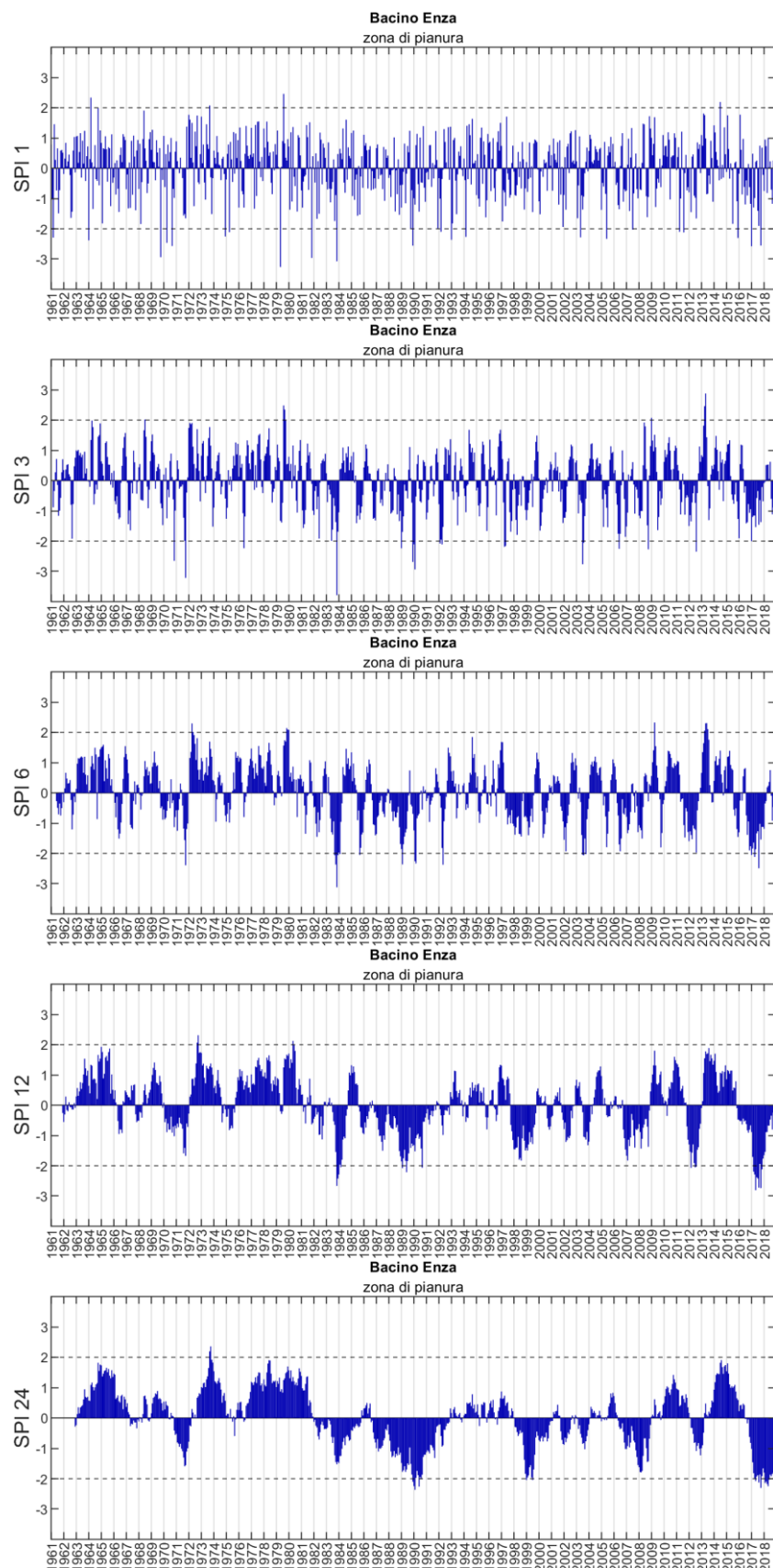


Figura 67 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del torrente Enza nell’area di pianura, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un’abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).

Appendice B

Nella presente Appendice sono riportati in forma grafica i risultati ottenuti dall'analisi dello SPEI per le restanti AI non presentate nel Capitolo 4.2.

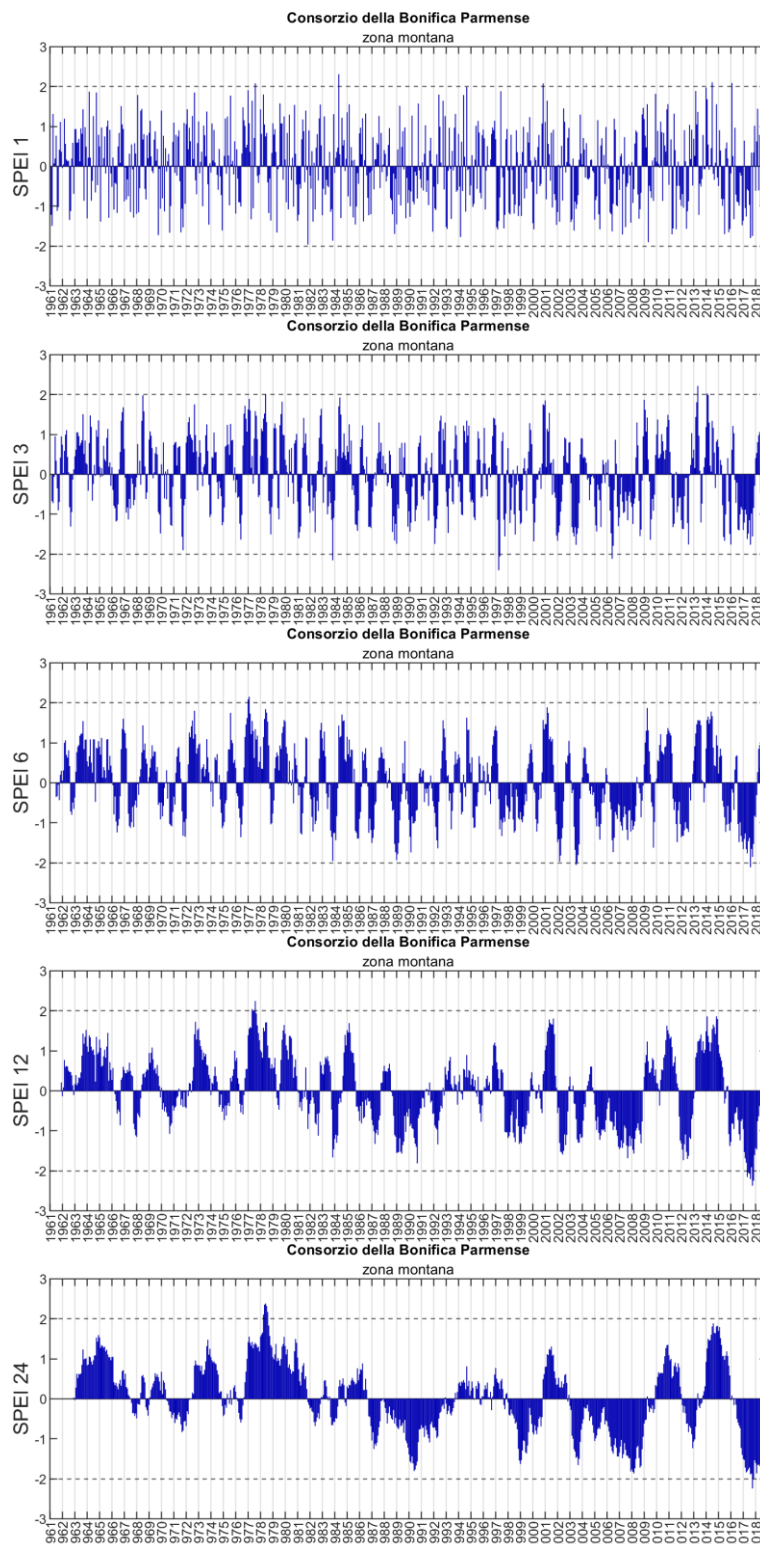


Figura 68 – Andamento dello SPEI nell'area montana del CdBP, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).

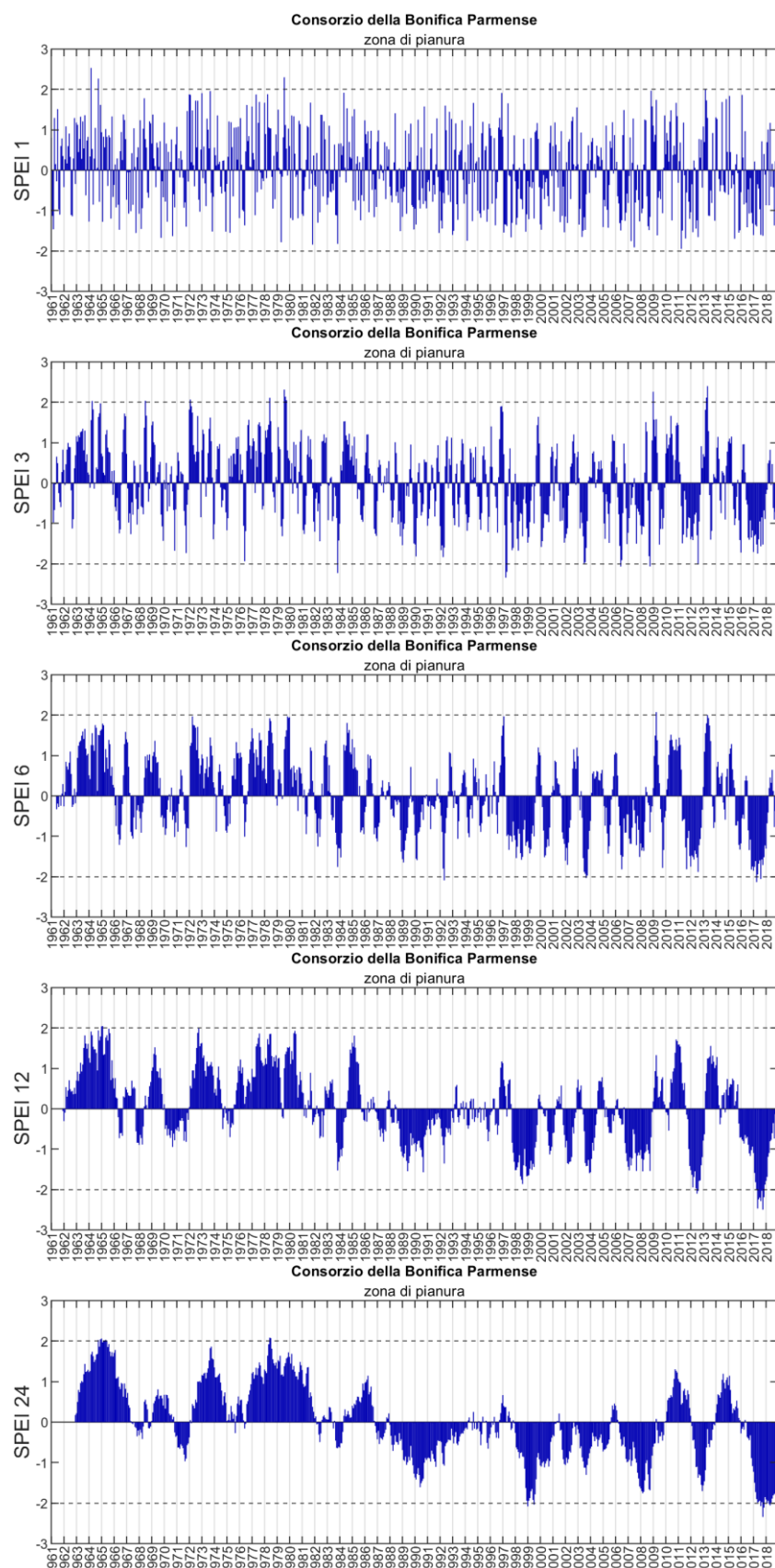


Figura 69 – Andamento dello SPEI nell'area di pianura del CdBP, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).

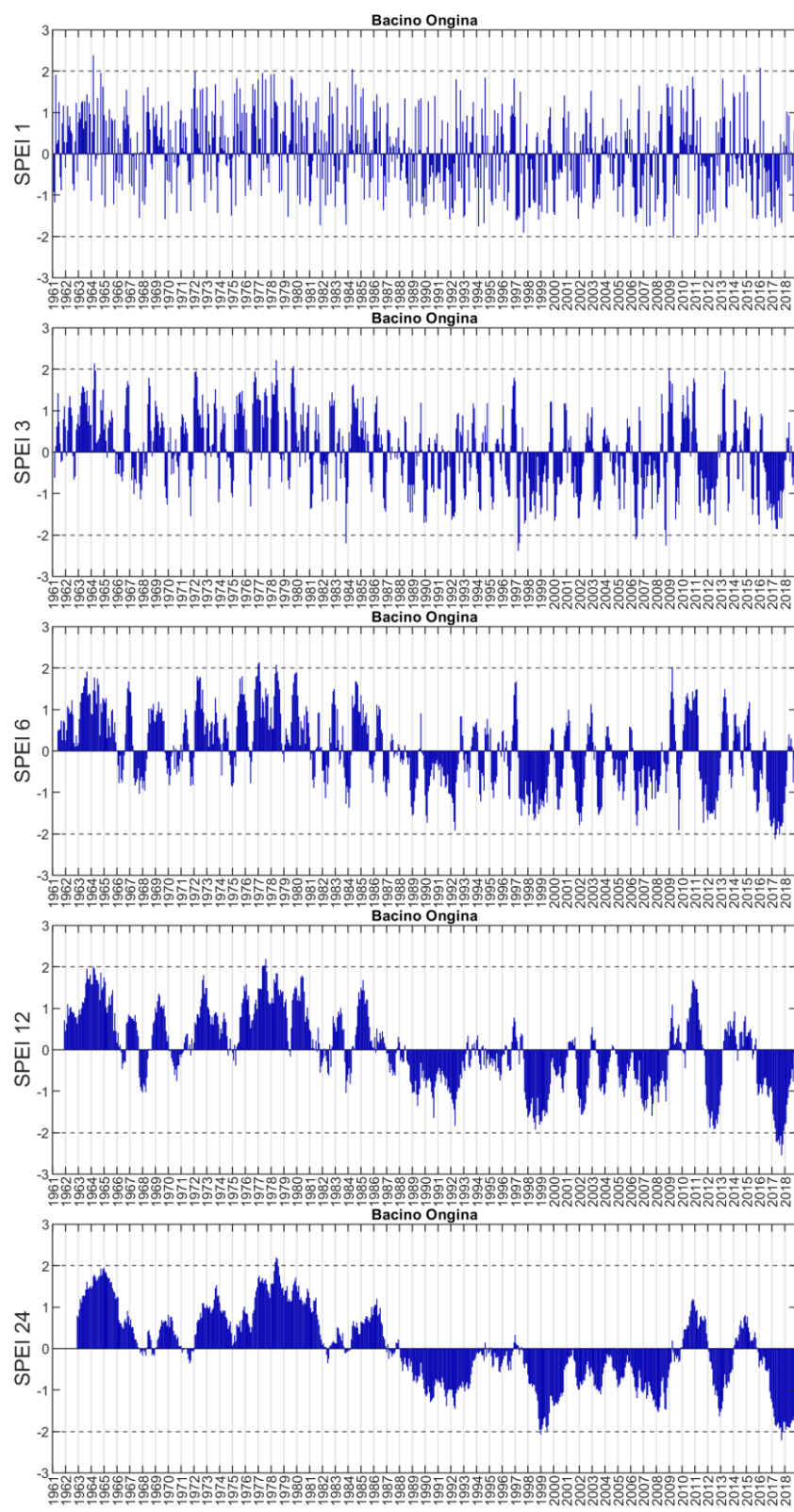


Figura 70 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del torrente Ongine, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).

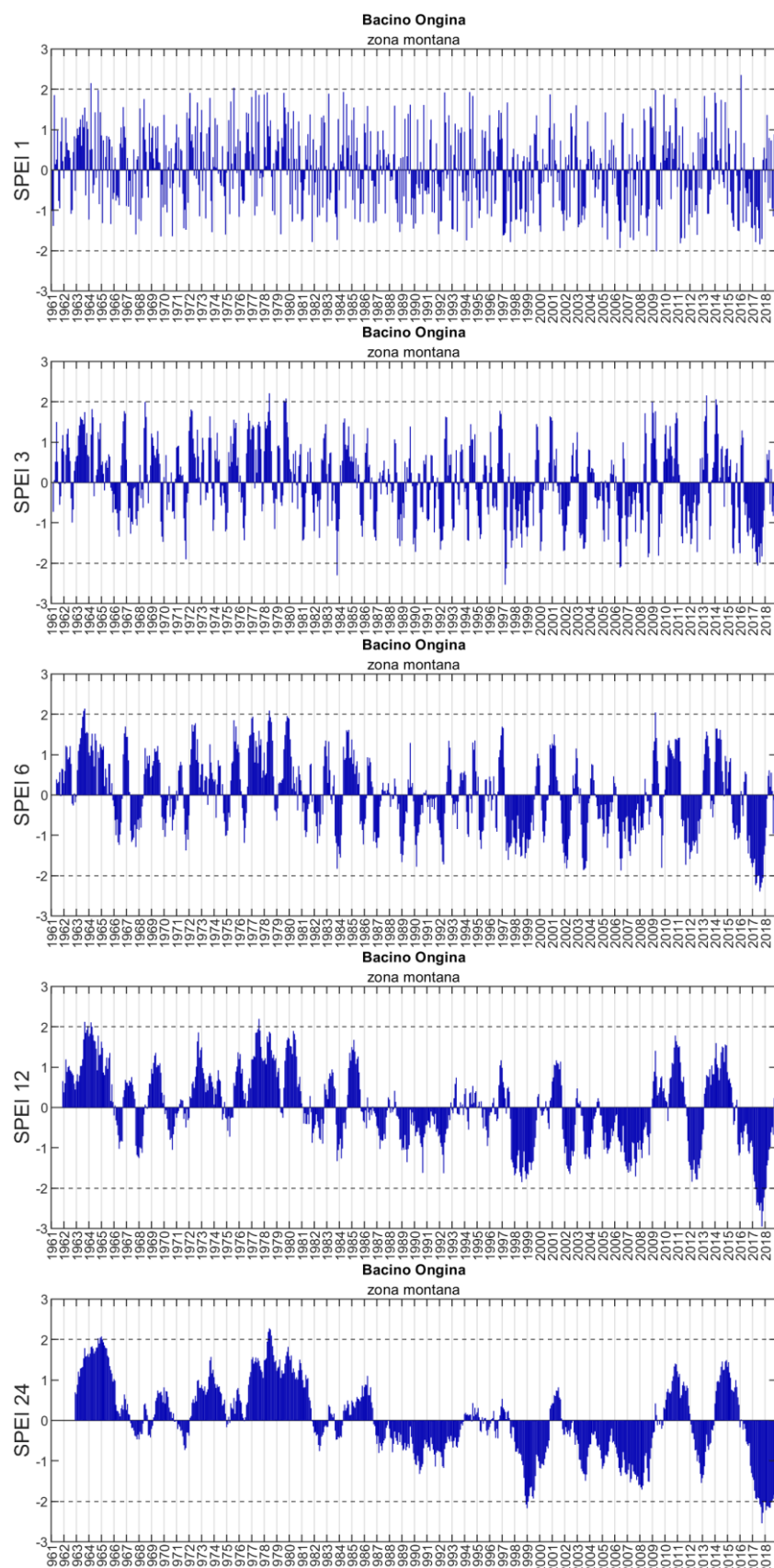


Figura 71 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del torrente Ongina nell’area montana, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un’abbondanza ($SPEI > 2$).

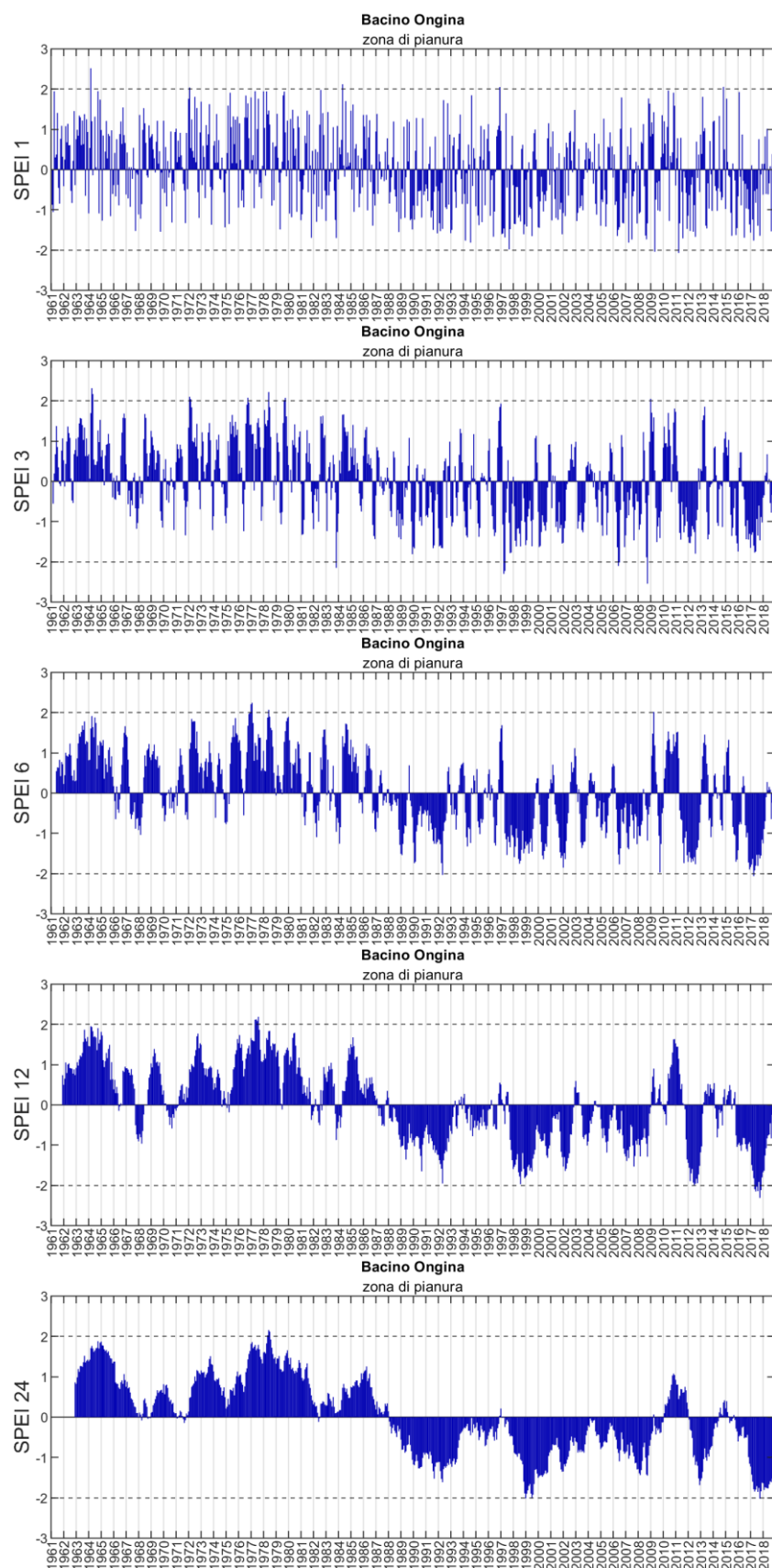


Figura 72 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del torrente Ongina nell'area di pianura, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).

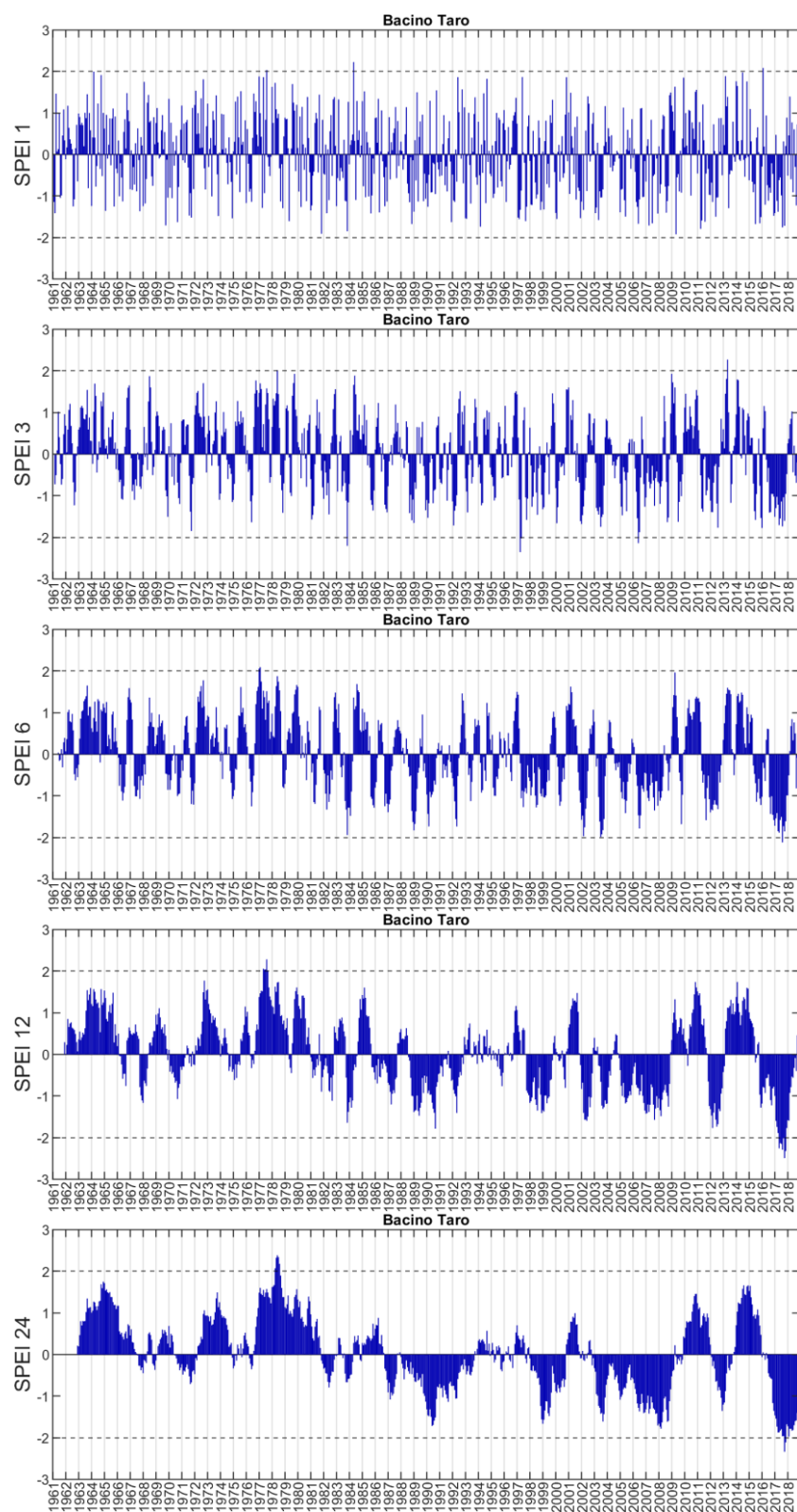


Figura 73 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del fiume Taro, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPEI > 2$).

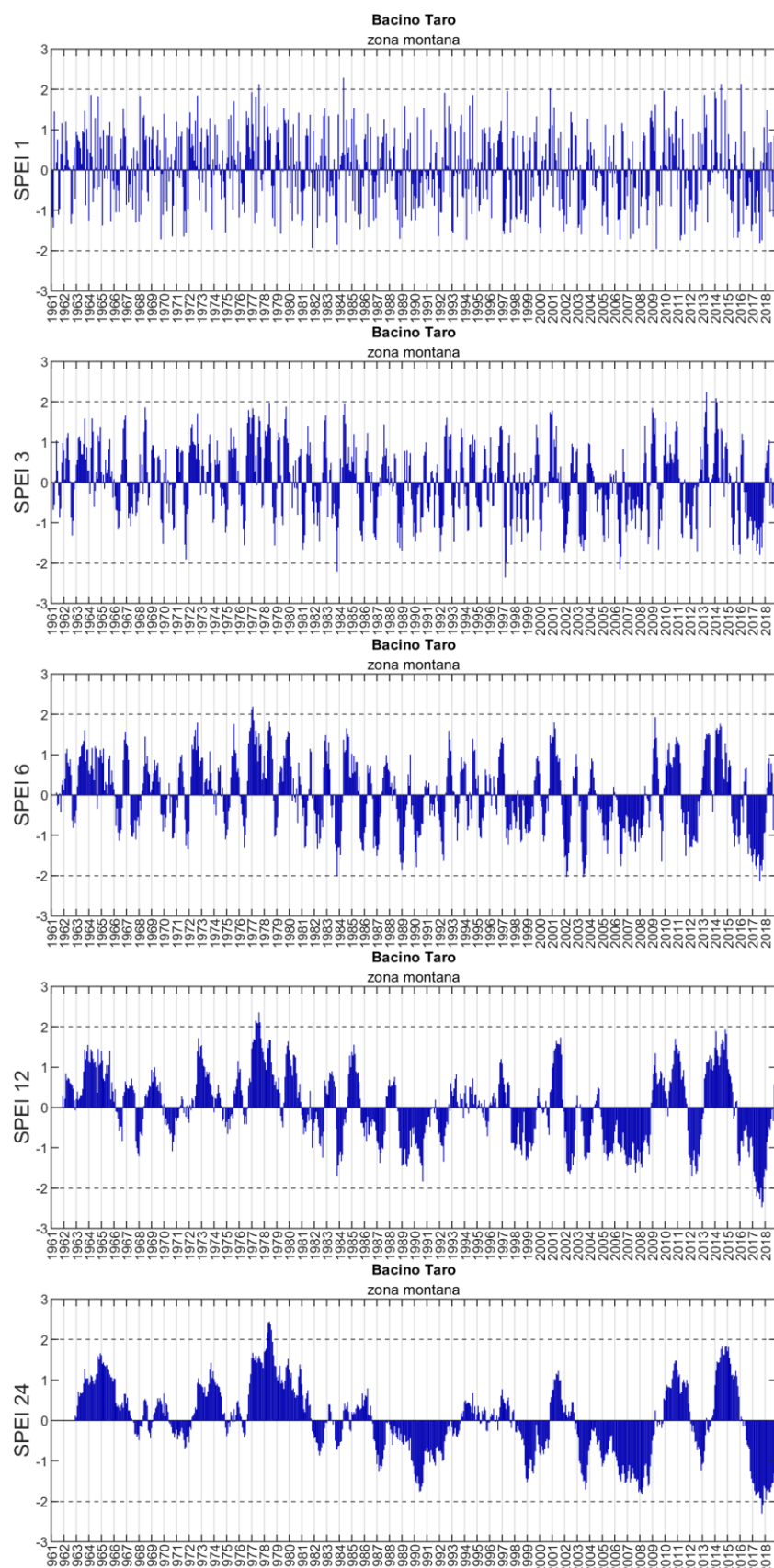


Figura 74 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del fiume Taro nell'area montana, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).

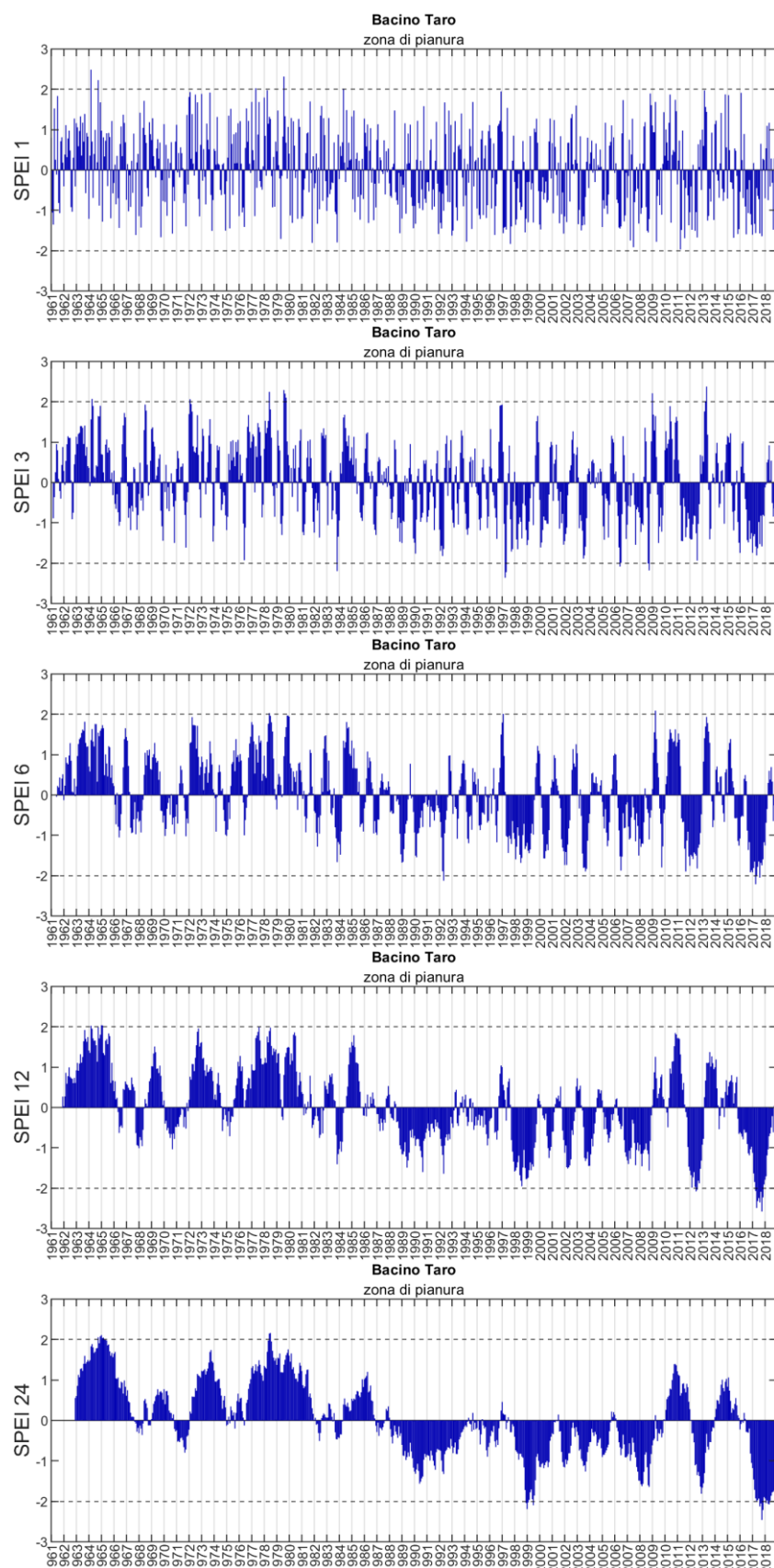


Figura 75 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del fiume Taro nell'area di pianura, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).

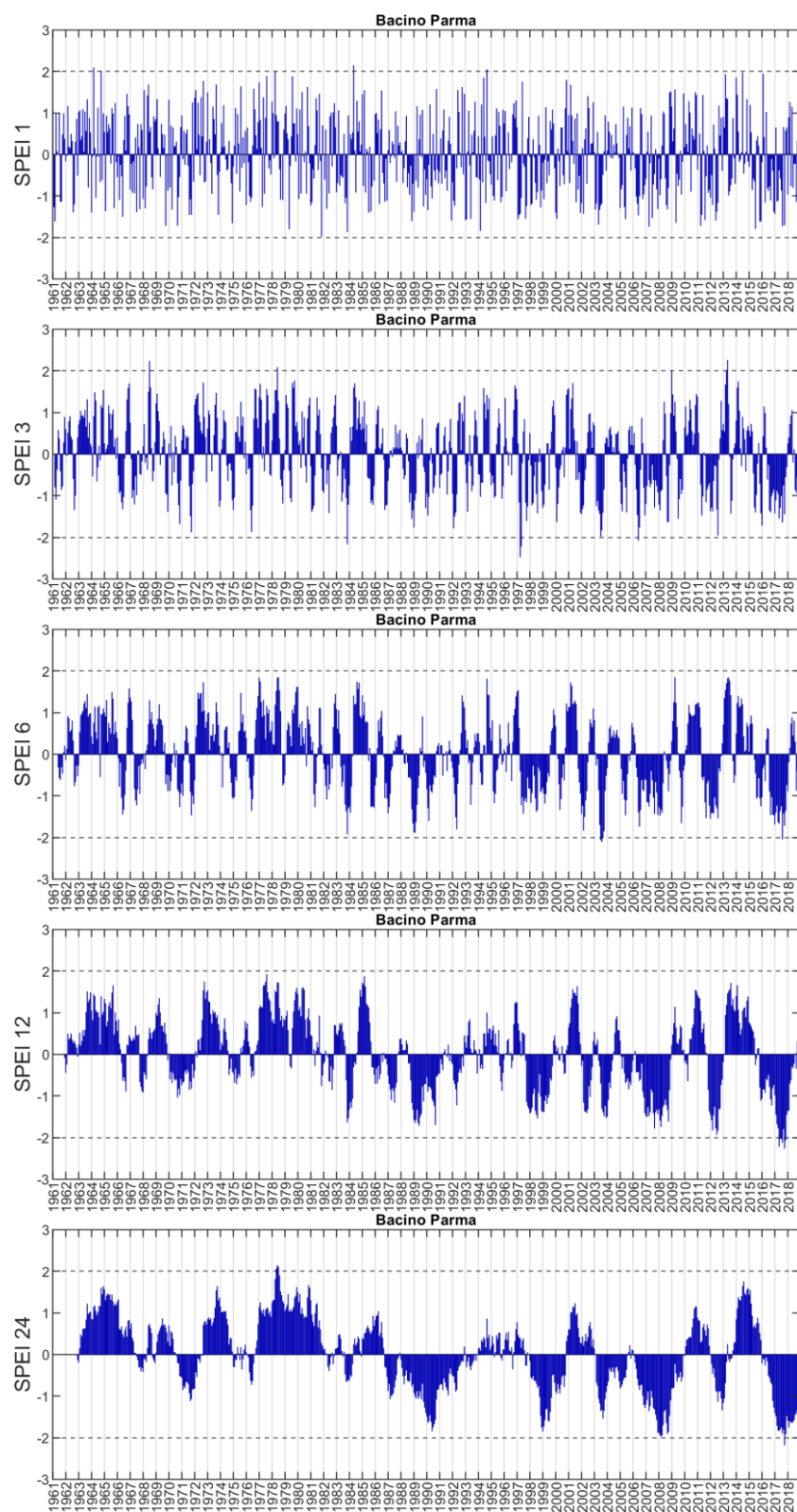


Figura 76 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del torrente Parma, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).

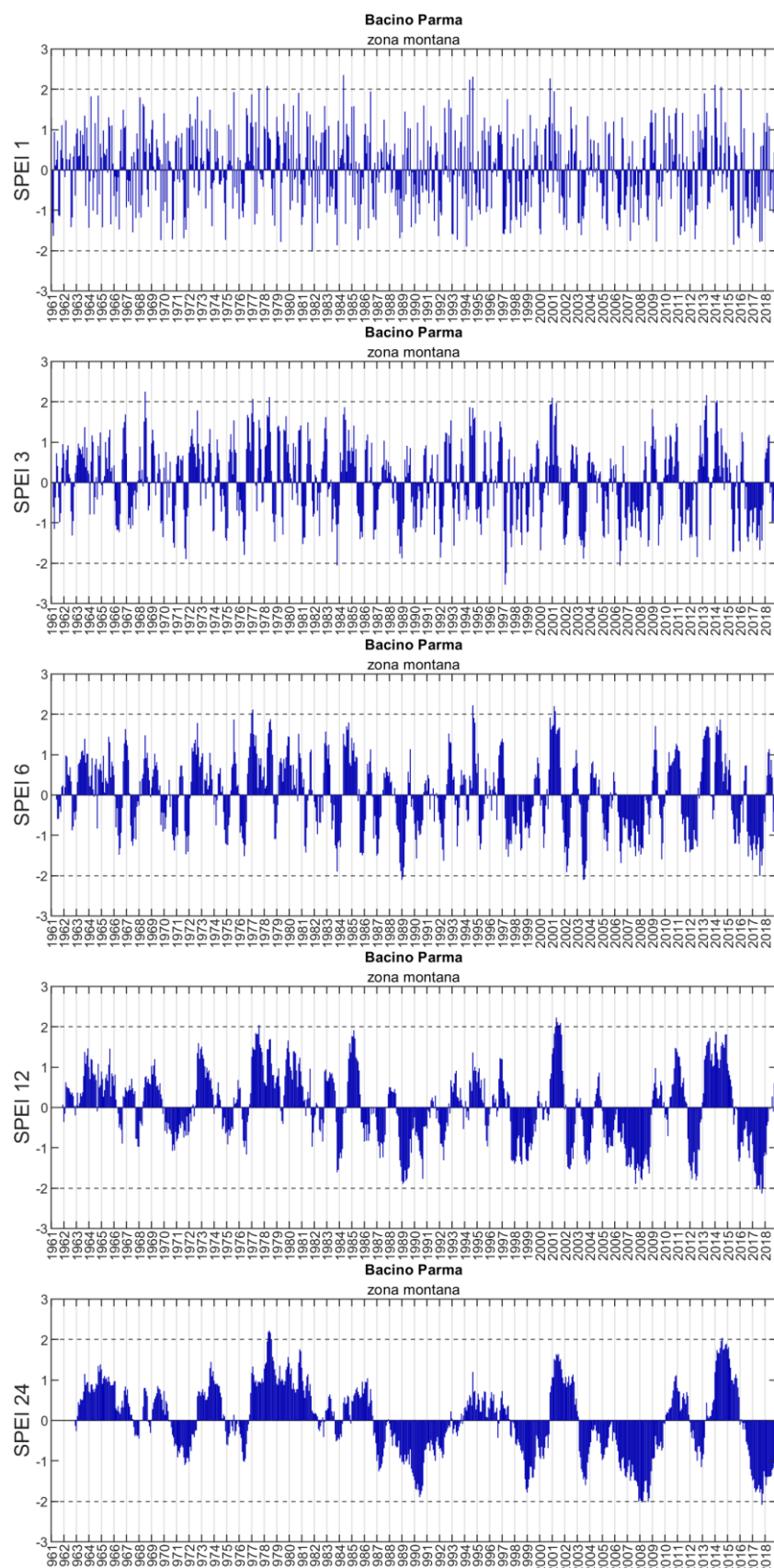


Figura 77 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del torrente Parma nell'area montana, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).

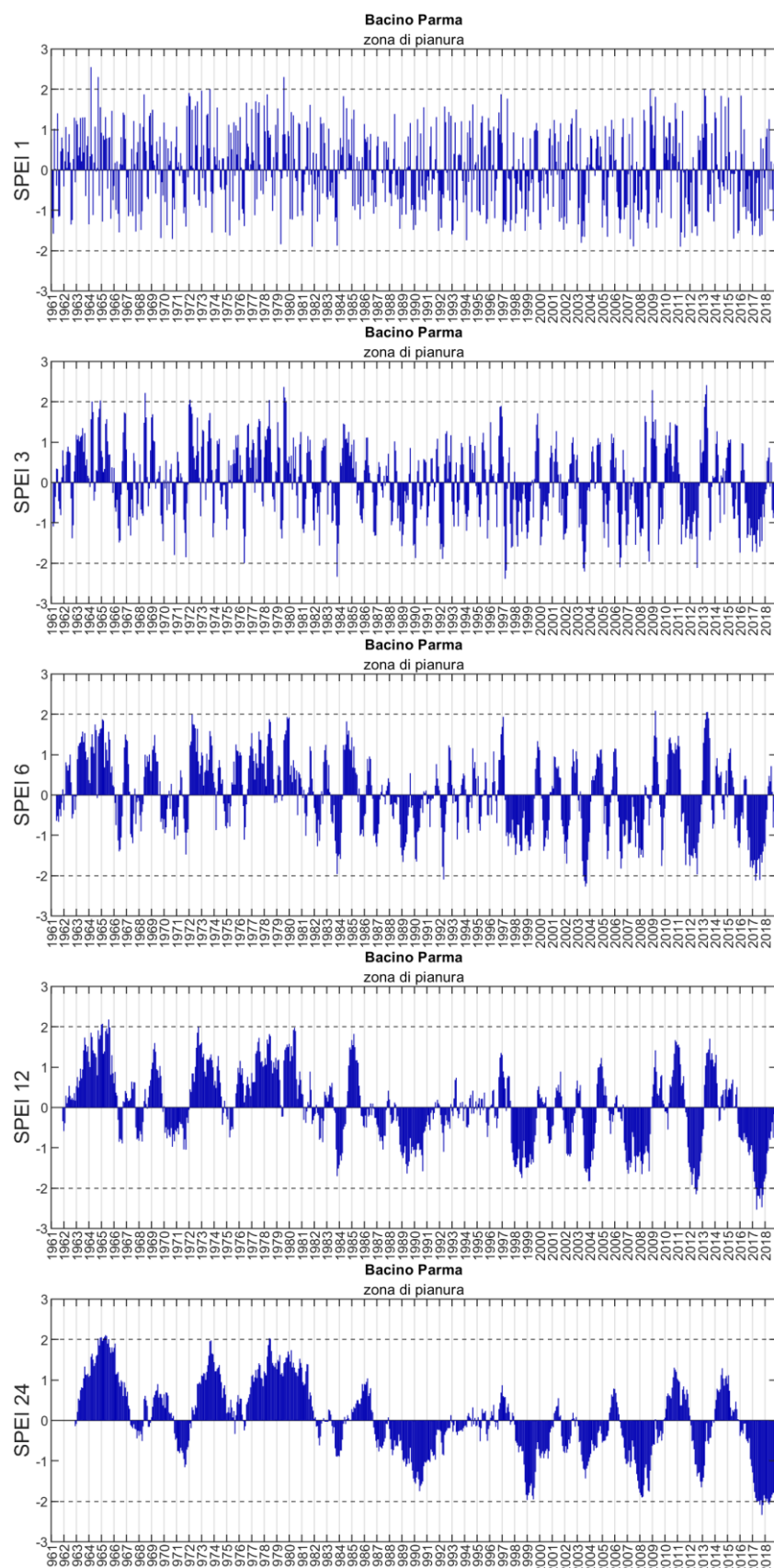


Figura 78 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del torrente Parma nell'area di pianura, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).

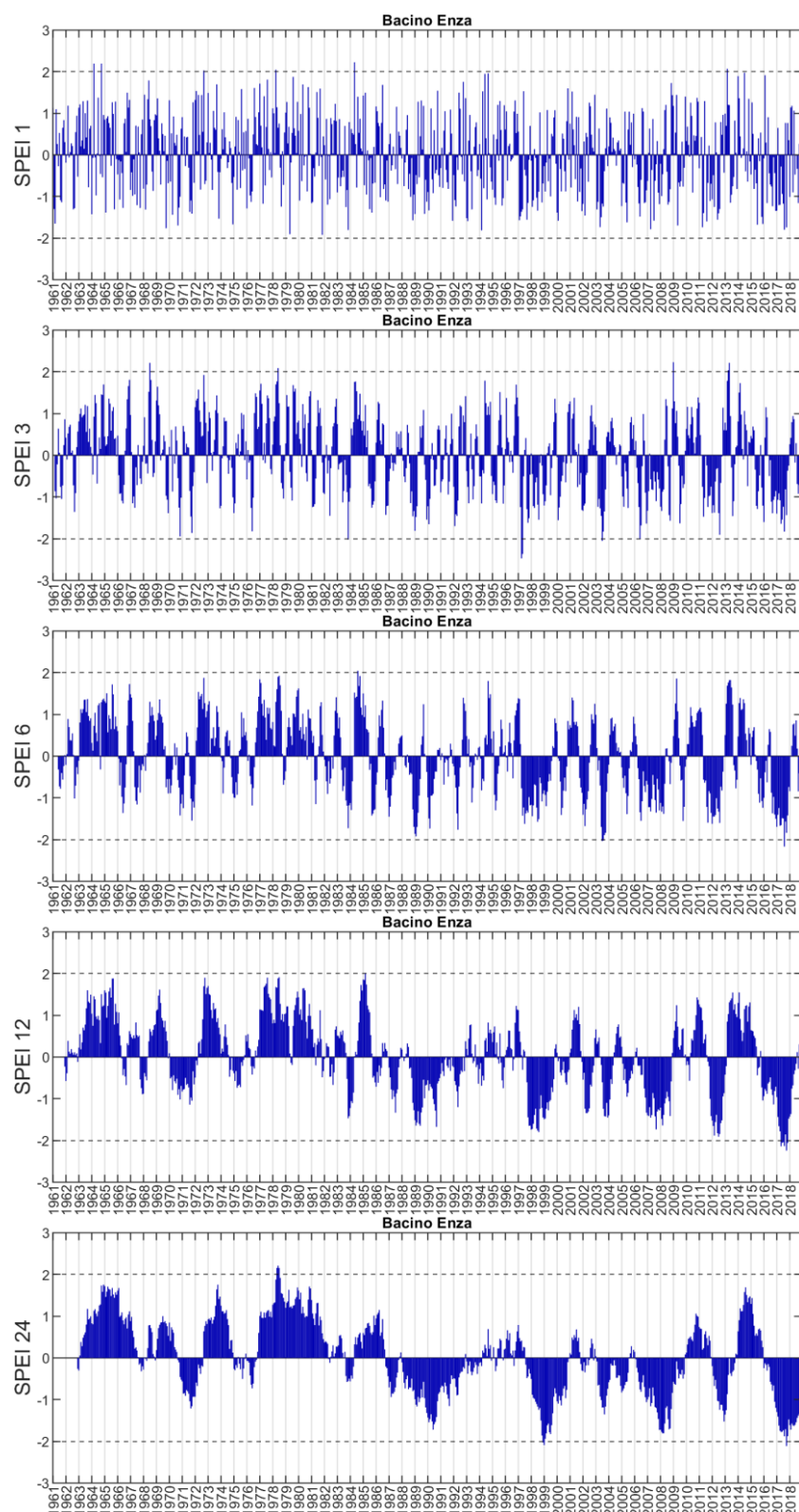


Figura 79 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del torrente Enza, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).

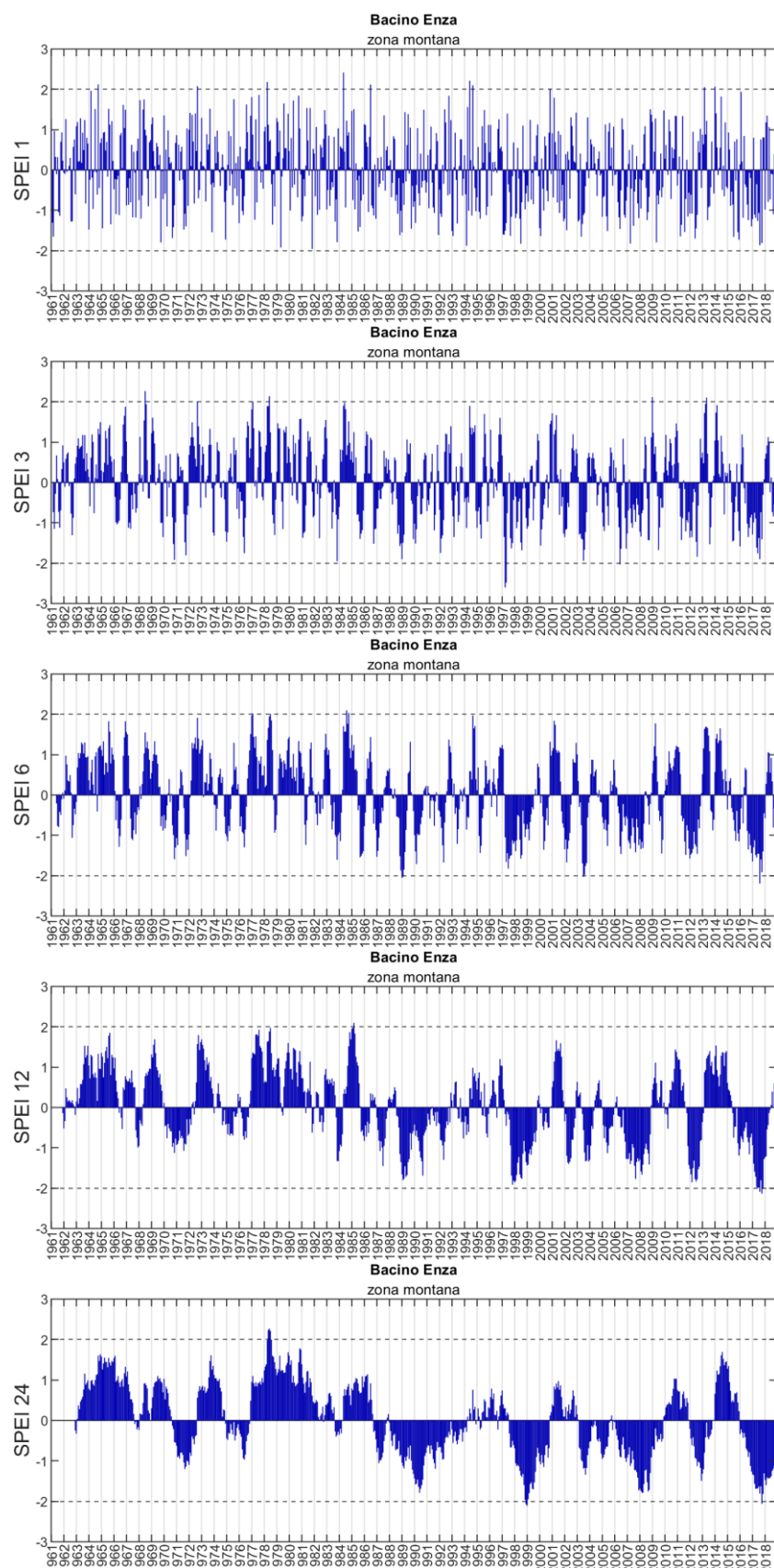


Figura 80 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del torrente Enza nell'area montana, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).

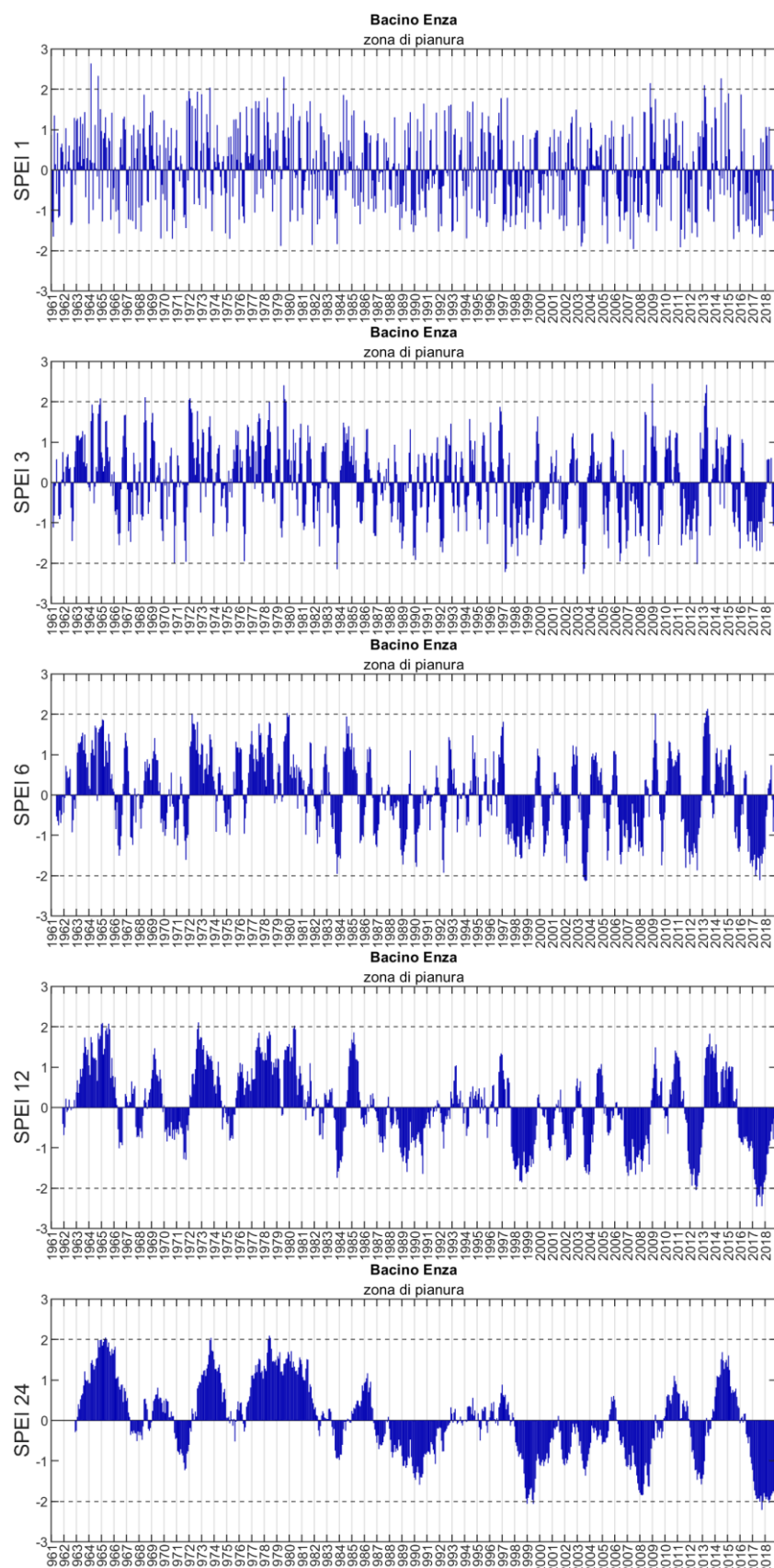


Figura 81 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del torrente Enza nell’area di pianura, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un’abbondanza ($SPEI > 2$)

Appendice C

Nella presente Appendice sono riportati in forma grafica i risultati ottenuti dall'analisi dei CDD per le restanti AI non presentate nel Capitolo 4.3.

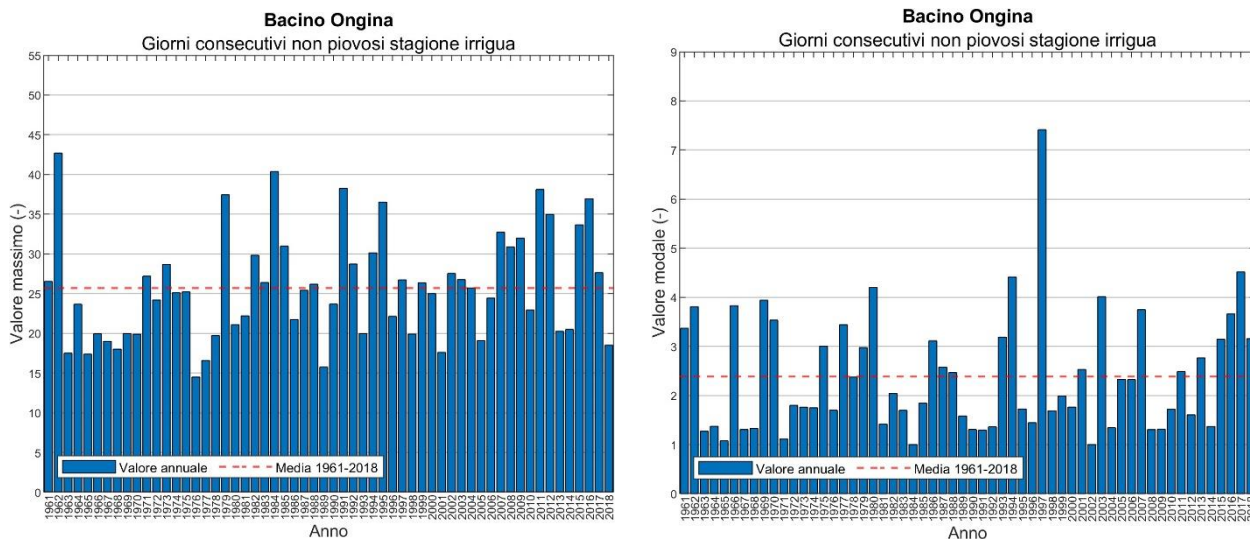


Figura 82 – Valori massimi e modali annui di Consecutive Dry Days per il bacino idrografico del torrente Ongina e rispettivo valore medio calcolato sull'intera serie temporale.

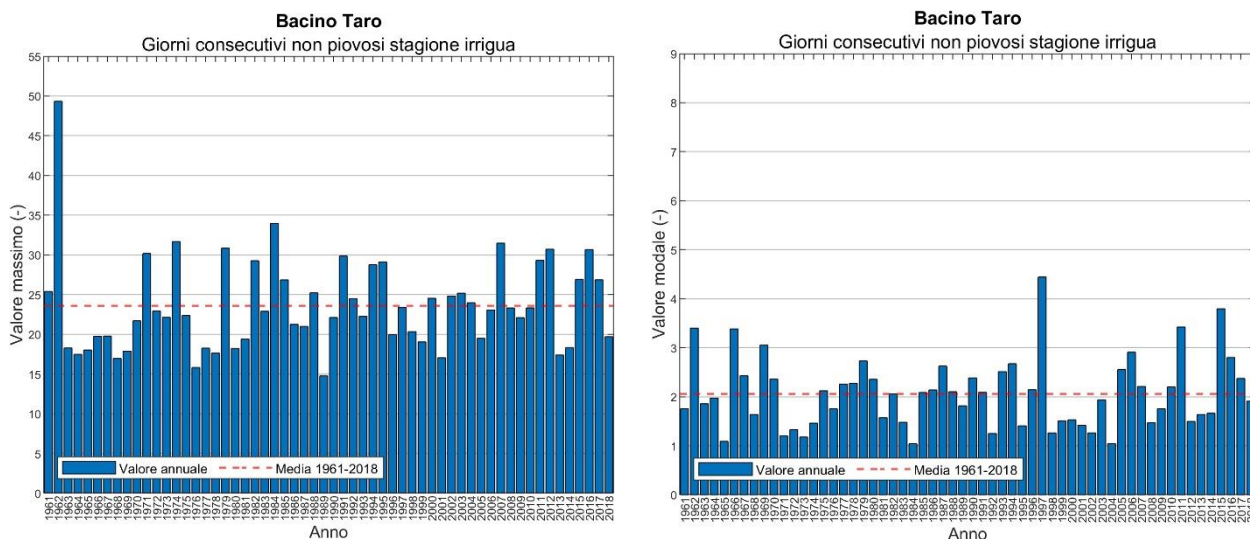


Figura 83 – Valori massimi e modali annui di Consecutive Dry Days per il bacino idrografico del fiume Taro e rispettivo valore medio calcolato sull'intera serie temporale.

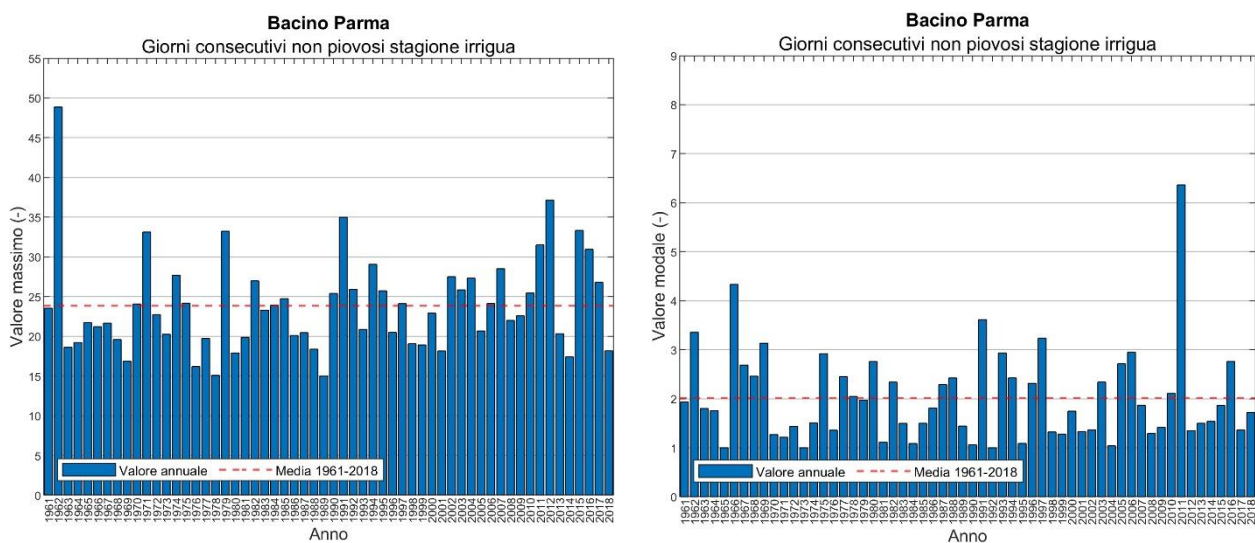


Figura 84 – Valori massimi e modali annui di Consecutive Dry Days per il bacino idrografico del torrente Parma e rispettivo valore medio calcolato sull'intera serie temporale.

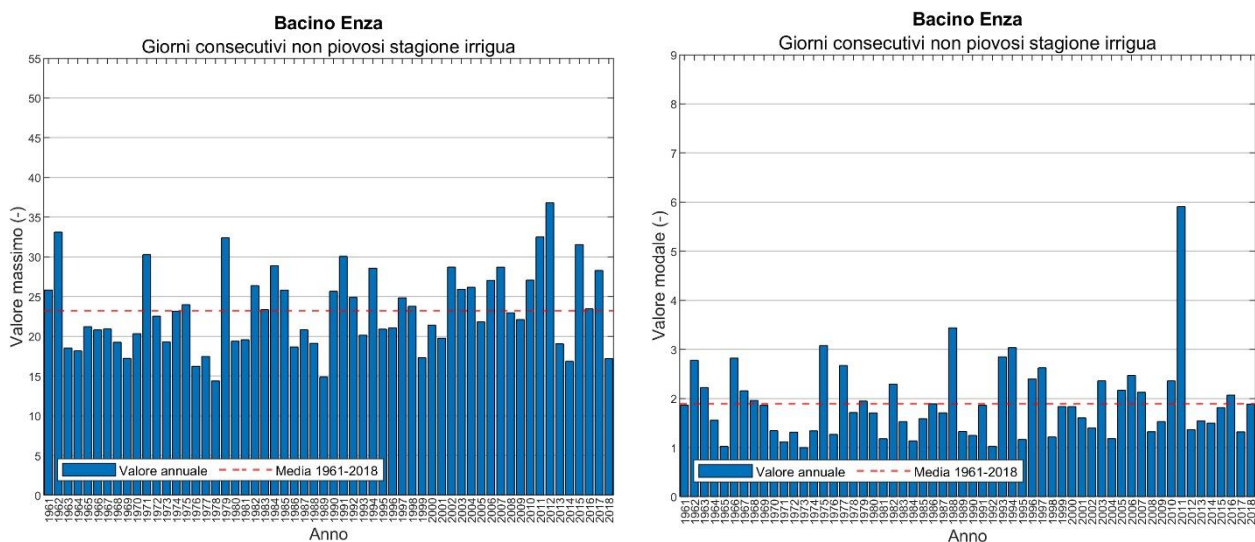


Figura 85 – Valori massimi e modali annui di Consecutive Dry Days per il bacino idrografico del torrente Enza e rispettivo valore medio calcolato sull'intera serie temporale.

Appendice D

Nella presente Appendice sono riportati in forma tabellare i risultati ottenuti dall'analisi di selezionati parametri IHA, i risultati presentati riportano le portate medie minime ottenute su finestre temporali di 1, 3, 7, 30 e 90 giorni. Le portate utilizzate per individuare il valore minimo annuale coprono il solo periodo irriguo (marzo - settembre). I risultati devono essere intesi come integrazione a quanto riportato nel Capitolo 4.5, nel quale sono stati presentati i soli valori che potevano rappresentare una condizione di particolare scarsità.

Tabella 58 – Parametri del metodo IHA per la stazione di Ostia Parmense, situata nella parte montana del bacino idrografico del fiume Taro.

Media calcolata su finestra temporale di 1 giorno		Media calcolata su finestra temporale di 3 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 7 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 30 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 90 giorni	
Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata
0.00	28/06/2006	0.00	29/06/2006	0.00	01/07/2006	0.09	12/07/2006	0.75	01/07/2006
0.49	14/09/2007	0.51	14/09/2007	0.56	12/09/2007	0.69	13/09/2007	0.88	15/09/2008
0.52	29/08/2011	0.57	30/08/2011	0.63	28/09/2008	0.72	30/09/2008	1.15	15/08/2007
0.55	26/08/2012	0.60	29/09/2008	0.65	28/08/2011	0.80	19/08/2017	1.34	07/09/2009
0.56	11/09/2004	0.60	25/08/2012	0.66	24/08/2017	0.88	12/08/2012	1.36	28/07/2017
0.57	29/09/2008	0.62	11/09/2004	0.67	23/08/2012	0.95	31/08/2009	1.57	30/08/2016
0.61	23/08/2017	0.63	22/08/2017	0.67	09/09/2004	0.96	31/08/2004	1.63	27/07/2005
0.64	09/09/2009	0.67	09/09/2009	0.68	10/09/2009	0.97	22/08/2011	1.64	13/08/2012
0.67	26/09/2018	0.71	26/09/2018	0.78	27/09/2018	1.10	31/08/2016	1.65	28/08/2004
0.72	23/08/2013	0.77	23/08/2013	0.87	09/09/2016	1.26	27/09/2018	1.65	12/09/2018
0.75	27/07/2010	0.86	07/09/2016	0.93	10/09/2015	1.28	28/07/2005	1.77	06/09/2011
0.78	07/09/2016	0.87	26/07/2010	0.93	22/08/2013	1.37	30/08/2015	1.78	01/08/2015
0.85	10/09/2015	0.89	09/09/2015	0.95	04/09/2010	1.46	11/08/2013	2.75	17/08/2013
0.91	06/08/2005	0.96	09/08/2005	0.98	08/08/2005	1.54	30/07/2010	3.38	26/07/2010
1.54	04/07/2014	1.58	05/07/2014	1.67	05/07/2014	2.63	24/06/2014	5.33	26/08/2014

Tabella 59 - Parametri del metodo IHA per la stazione di San Secondo, situata nella parte di pianura del bacino idrografico del fiume Taro.

Media calcolata su finestra temporale di 1 giorno		Media calcolata su finestra temporale di 3 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 7 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 30 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 90 giorni	
Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata
0.00	07/07/2007	0.00	13/07/2007	0.00	15/07/2007	0.00	06/08/2008	0.00	05/09/2008
0.00	20/07/2008	0.00	23/07/2008	0.00	25/07/2008	0.00	10/08/2007	0.06	16/08/2007
0.00	20/08/2009	0.00	26/08/2009	0.00	04/09/2009	0.03	03/09/2009	0.74	29/07/2017
0.02	20/07/2006	0.03	20/07/2006	0.05	21/07/2006	0.15	25/08/2017	0.77	01/08/2015
0.08	14/08/2017	0.09	23/08/2017	0.12	15/08/2017	0.26	19/07/2006	0.92	13/09/2018
0.26	07/08/2015	0.29	07/08/2015	0.30	06/08/2015	0.35	27/07/2015	0.95	20/08/2016
0.26	22/08/2018	0.29	22/08/2018	0.36	28/09/2018	0.73	28/07/2016	1.03	04/08/2009
0.50	16/07/2016	0.56	15/07/2016	0.60	16/07/2016	0.79	30/09/2018	1.44	01/08/2006
0.60	17/08/2013	0.62	18/08/2013	0.78	17/08/2013	1.44	12/08/2013	3.29	27/08/2011
0.94	28/07/2010	0.94	28/07/2010	1.19	27/07/2010	1.61	21/08/2011	3.90	12/08/2012
0.97	19/07/2011	1.17	19/07/2011	1.29	14/08/2011	1.71	13/08/2012	4.17	18/08/2013
1.38	18/07/2012	1.42	19/07/2012	1.56	22/08/2012	2.99	23/07/2010	7.32	13/08/2010
2.34	07/07/2014	2.56	30/09/2014	3.00	29/09/2014	4.25	24/09/2014	8.02	27/08/2014

Tabella 60 – Parametri del metodo IHA per la stazione di Parma Ponte Verdi, situata nella parte di pianura del bacino idrografico del torrente Parma, precisamente nella città di Parma.

Media calcolata su finestra temporale di 1 giorno		Media calcolata su finestra temporale di 3 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 7 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 30 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 90 giorni	
Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata
0.00	13/06/2003	0.00	14/06/2003	0.00	16/06/2003	0.00	28/06/2003	0.00	04/09/2007
0.00	09/07/2004	0.00	10/07/2004	0.00	20/07/2004	0.00	09/07/2006	0.00	16/09/2008
0.00	05/06/2005	0.00	20/06/2005	0.00	26/06/2005	0.00	05/08/2007	0.00	28/07/2003
0.00	24/06/2006	0.00	25/06/2006	0.00	27/06/2006	0.00	17/08/2008	0.01	23/08/2016
0.00	18/05/2007	0.00	19/05/2007	0.00	30/06/2007	0.00	25/07/2016	0.02	01/08/2017
0.00	11/05/2008	0.00	12/05/2008	0.00	05/08/2008	0.00	16/07/2017	0.03	31/08/2009
0.00	15/07/2009	0.00	18/07/2009	0.00	20/07/2009	0.01	28/07/2005	0.04	03/08/2005
0.00	15/07/2010	0.00	16/07/2010	0.00	18/07/2010	0.01	30/07/2012	0.14	02/08/2006
0.00	15/08/2011	0.00	16/08/2011	0.00	18/08/2011	0.01	02/09/2009	0.28	08/09/2018
0.00	10/07/2016	0.00	11/07/2016	0.00	13/07/2016	0.02	03/09/2010	0.29	15/08/2010
0.00	01/06/2017	0.00	02/06/2017	0.00	20/06/2017	0.06	26/09/2011	0.30	06/09/2011
0.01	09/07/2012	0.01	10/07/2012	0.01	12/07/2012	0.08	16/07/2004	0.34	13/08/2012
0.13	11/07/2018	0.22	12/07/2018	0.28	28/07/2018	0.28	09/08/2018	0.40	02/08/2004
0.75	09/09/2014	0.80	08/09/2014	0.91	26/08/2014	1.29	11/07/2015	1.94	16/07/2015
0.80	02/07/2015	0.95	03/07/2015	1.10	01/07/2015	1.41	06/09/2014	2.33	26/08/2014
1.29	24/07/2013	1.57	21/07/2013	1.70	22/07/2013	2.06	01/08/2013	2.57	17/08/2013

Tabella 61 – Parametri del metodo IHA per la stazione di Vetto, situata nella parte montana del bacino idrografico del torrente Enza.

Media calcolata su finestra temporale di 1 giorno		Media calcolata su finestra temporale di 3 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 7 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 30 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 90 giorni	
Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata
0.00	15/07/2011	0.00	22/07/2011	0.00	24/07/2011	0.00	05/08/2011	0.05	04/09/2011
0.06	12/08/2008	0.06	26/08/2008	0.07	26/08/2008	0.10	30/09/2008	0.16	15/09/2008
0.20	01/09/2010	0.22	02/09/2010	0.30	05/08/2007	0.37	26/07/2007	0.52	05/08/2007
0.26	06/08/2007	0.27	06/08/2007	0.31	03/09/2010	0.62	12/08/2012	0.83	12/09/2018
0.26	30/09/2016	0.37	29/09/2018	0.41	07/08/2012	0.65	03/09/2010	1.02	30/08/2016
0.31	30/09/2018	0.38	08/08/2012	0.46	27/09/2018	0.68	16/09/2016	1.09	16/08/2013
0.32	09/08/2012	0.42	08/09/2016	0.52	07/09/2016	0.70	03/09/2018	1.29	14/08/2010
0.62	04/08/2013	0.69	03/08/2013	0.76	02/08/2013	0.88	22/07/2013	1.33	13/08/2012
1.09	13/09/2015	1.20	12/09/2015	1.35	11/09/2015	1.43	19/08/2017	1.82	19/08/2015
1.22	09/09/2014	1.30	09/09/2014	1.36	29/08/2017	1.56	26/07/2015	1.97	28/07/2017
1.25	30/08/2017	1.31	30/08/2017	1.37	07/09/2014	1.78	27/08/2014	2.49	28/08/2014
2.62	17/06/2009	2.84	17/06/2009	3.02	18/06/2009	3.07	23/07/2009	3.07	22/08/2009

Tabella 62 – Parametri del metodo IHA per la stazione di Sorbolo, situata nella parte di pianura del bacino idrografico del torrente Enza.

Media calcolata su finestra temporale di 1 giorno		Media calcolata su finestra temporale di 3 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 7 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 30 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 90 giorni	
Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata
0.00	09/06/2004	0.00	10/06/2004	0.00	24/06/2004	0.00	06/07/2004	0.00	07/08/2007
0.00	24/05/2005	0.00	29/05/2005	0.00	31/05/2005	0.00	12/06/2005	0.01	02/08/2004
0.00	12/06/2006	0.00	13/06/2006	0.00	15/06/2006	0.00	27/06/2006	0.01	12/07/2005
0.00	17/05/2007	0.00	18/05/2007	0.00	20/05/2007	0.00	08/07/2007	0.03	24/07/2017
0.00	15/07/2014	0.00	16/07/2014	0.00	14/07/2017	0.00	26/07/2017	0.11	14/09/2008
0.00	07/07/2017	0.00	08/07/2017	0.06	28/08/2008	0.09	24/08/2008	0.33	13/09/2018
0.02	13/08/2018	0.03	13/08/2018	0.14	04/08/2018	0.21	16/08/2018	0.34	27/07/2006
0.04	27/08/2008	0.04	28/08/2008	0.15	18/07/2014	0.23	20/08/2011	0.36	29/08/2016
0.11	22/07/2015	0.13	23/07/2015	0.18	08/08/2015	0.25	28/07/2015	0.48	23/08/2013
0.17	10/08/2016	0.19	27/08/2011	0.21	25/08/2011	0.32	10/08/2013	0.49	06/08/2011
0.18	26/08/2011	0.22	12/08/2013	0.26	30/09/2016	0.33	30/07/2016	0.50	01/08/2015
0.22	10/09/2009	0.23	10/08/2016	0.26	12/08/2013	0.33	09/08/2009	0.51	04/08/2009
0.22	12/08/2013	0.23	10/09/2009	0.26	08/09/2009	0.60	01/08/2012	0.82	14/08/2012
0.48	04/08/2012	0.48	04/08/2012	0.55	03/08/2012	1.04	27/08/2014	1.95	05/08/2014

Tabella 63 – Parametri del metodo IHA per la stazione di Cremona, situata sul fiume Po nella città di Cremona.

Media calcolata su finestra temporale di 1 giorno		Media calcolata su finestra temporale di 3 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 7 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 30 giorni		Media calcolata su finestra temporale di 90 giorni	
Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata	Q (m ³ /s)	Data associata
222	21/07/2006	225	22/07/2006	229	24/07/2006	264	23/06/2006	319	12/07/2006
260	17/07/2003	262	18/07/2003	265	20/07/2003	334	24/07/2003	388	26/07/2003
264	01/08/2005	266	31/07/2005	270	31/07/2005	342	02/08/2005	401	15/07/2005
341	07/08/2007	347	10/04/2008	361	08/04/2008	388	26/07/2007	515	21/03/2007
342	09/04/2008	359	08/08/2007	369	06/08/2007	435	10/08/2012	523	03/03/2000
383	22/07/2017	393	21/07/2017	406	04/08/2012	441	27/07/2015	586	06/03/2008
391	04/08/2012	395	03/08/2012	409	22/07/2004	458	27/07/2017	595	11/08/2012
391	22/07/2004	397	22/07/2004	410	20/07/2015	465	29/03/2008	596	28/07/2017
401	27/03/2000	402	26/03/2000	415	25/03/2000	467	14/03/2000	597	02/08/2004
402	19/07/2015	407	19/07/2015	425	22/07/2017	519	11/08/2018	614	13/09/2018
411	30/07/2010	428	22/07/2016	437	05/08/2018	543	11/07/2004	643	31/08/2016
422	22/07/2016	429	04/08/2010	448	01/08/2010	546	30/07/2010	706	01/03/2002
424	07/08/2018	432	07/08/2018	453	09/04/2002	586	19/04/2002	718	06/08/2015
439	09/04/2002	446	09/04/2002	476	20/07/2016	608	13/08/2009	730	09/09/2009
499	22/08/2009	507	21/08/2009	523	23/08/2009	609	17/07/2016	737	15/09/2011
540	05/08/2011	544	06/08/2011	566	23/08/2011	623	17/08/2011	763	17/08/2013
544	09/08/2013	552	08/08/2013	579	22/08/2013	709	12/08/2013	814	21/08/2010
679	05/08/2001	691	04/08/2001	755	03/08/2001	794	17/08/2001	878	07/09/2001
725	22/07/2014	755	21/07/2014	805	30/09/2014	865	26/09/2014	1137	23/09/2014

Appendice E

Nella presente Appendice sono riportati i confronti, in forma grafica, dell'indice SPI1 e SPI3 calcolati dal JRC e UNIPR per i bacini idrografici di montagna e pianura del fiume Taro e dei torrenti Ongina, Parma ed Enza.

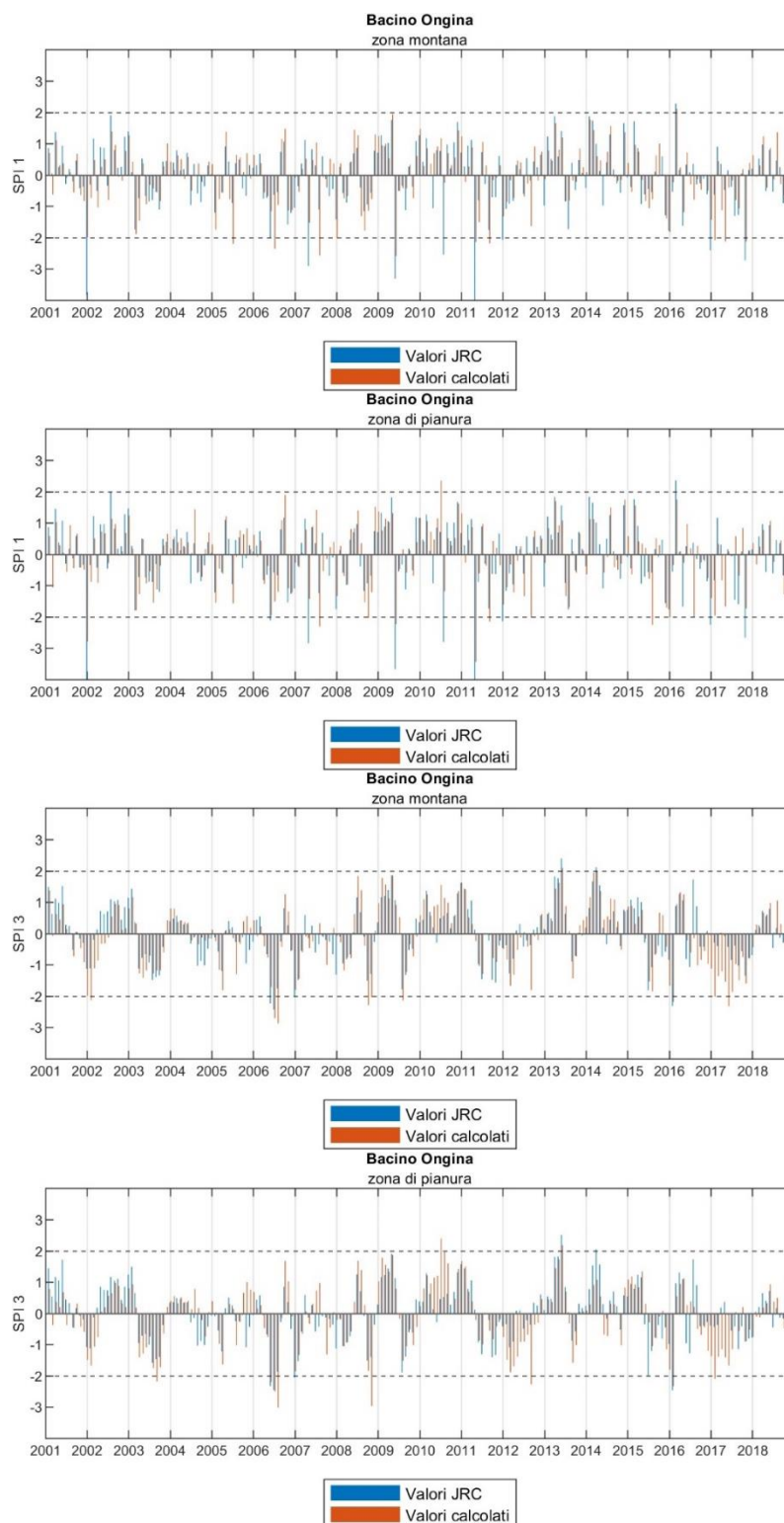


Figura 86 – Confronto del valore di SPI1 e SPI3 calcolato per ogni mese dal 2001 al 2018 nel bacino idrografico del torrente Ongina. In blu sono riportati i valori forniti dal JRC e in arancione quelli calcolati da UNIPR e validati con quelli calcolati da Arpae.

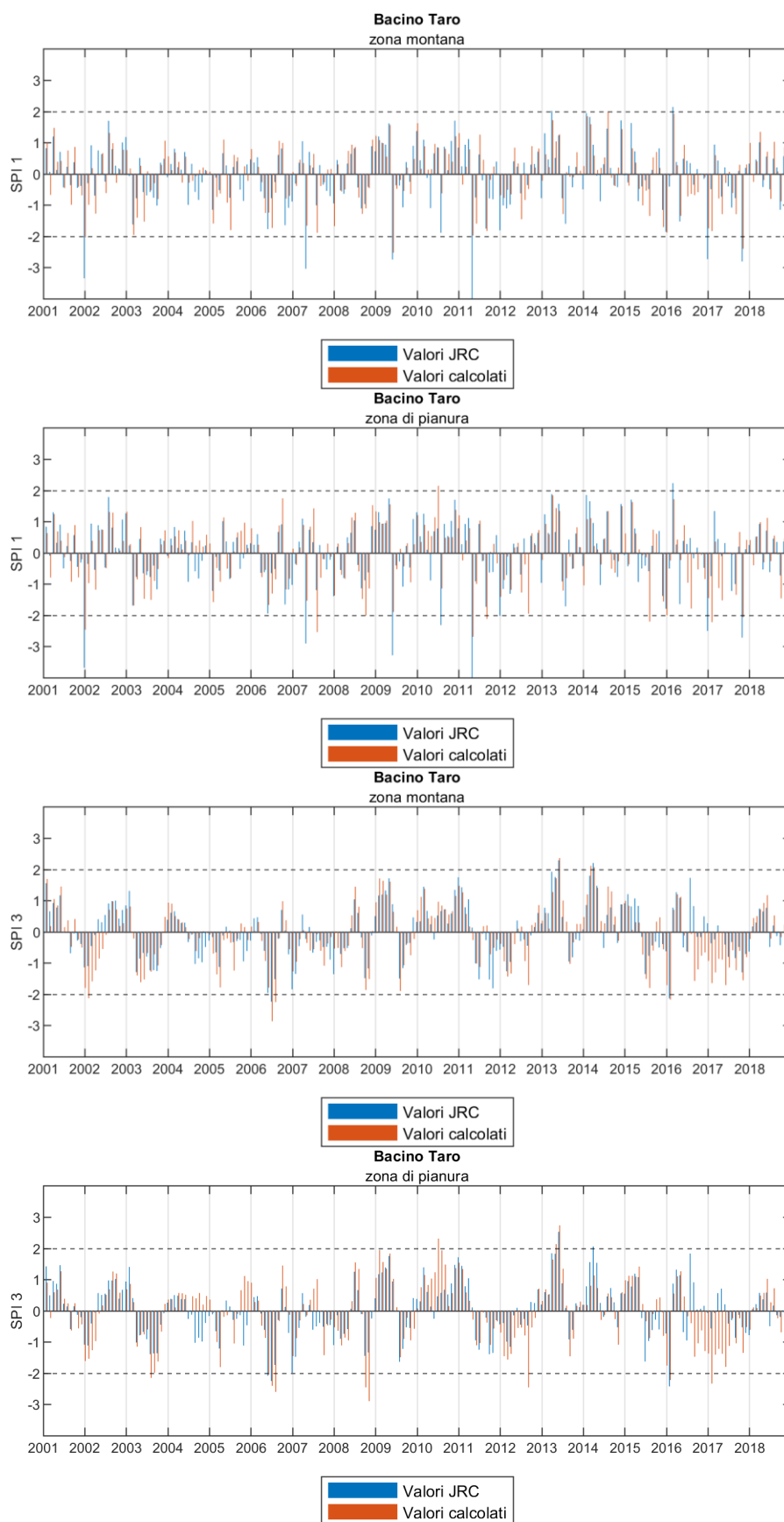


Figura 87 – Confronto del valore di SPI1 e SPI3 calcolato per ogni mese dal 2001 al 20018 nel bacino idrografico del fiume Taro. In blu sono riportati i valori forniti dal JRC e in arancione quelli calcolati da UNIPR e validati con quelli calcolati da Arpae.

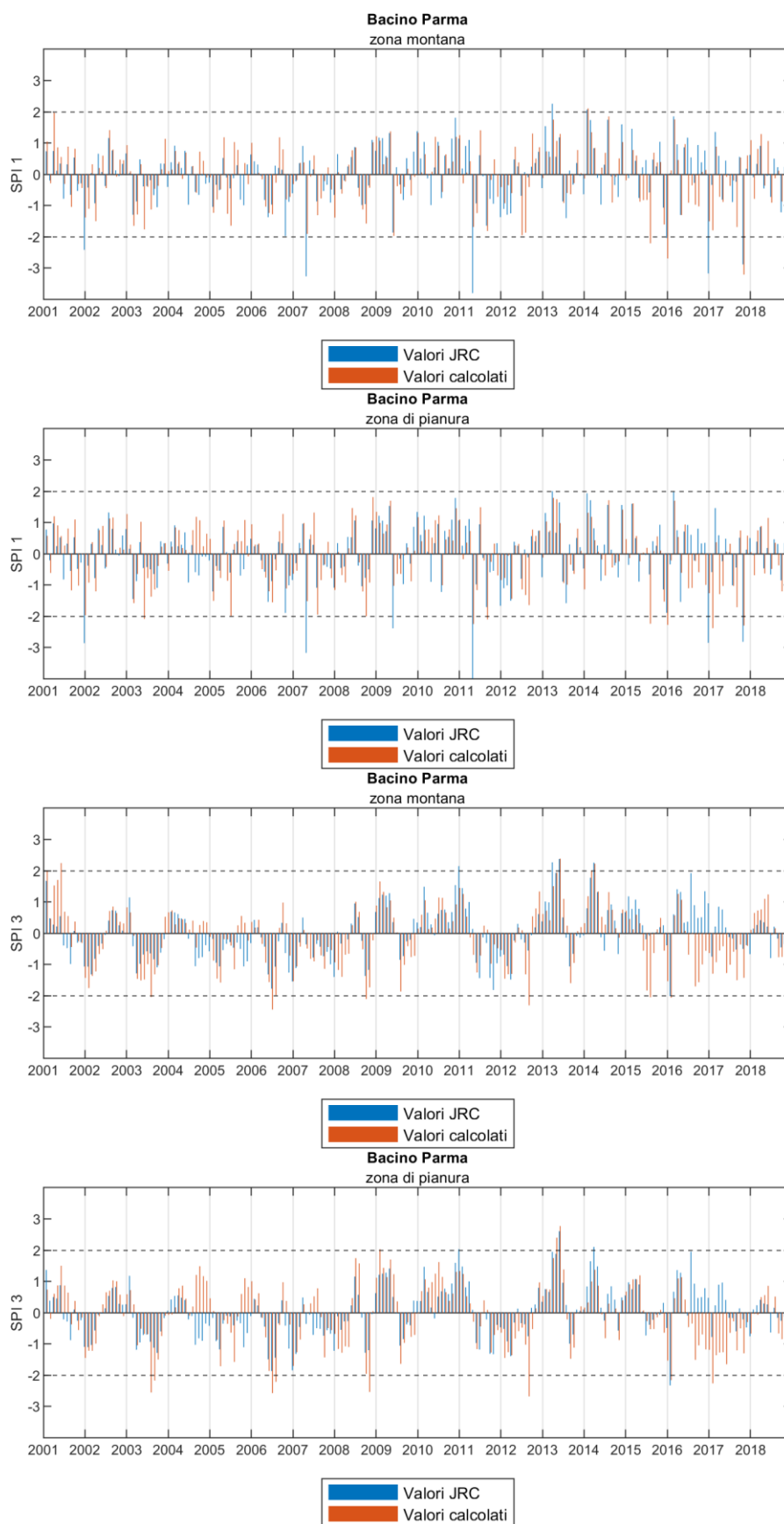


Figura 88 – Confronto del valore di SPI1 e SPI3 calcolato per ogni mese dal 2001 al 2018 nel bacino idrografico del torrente Parma. In blu sono riportati i valori forniti dal JRC e in arancione quelli calcolati da UNIPR e validati con quelli calcolati da Arpae.

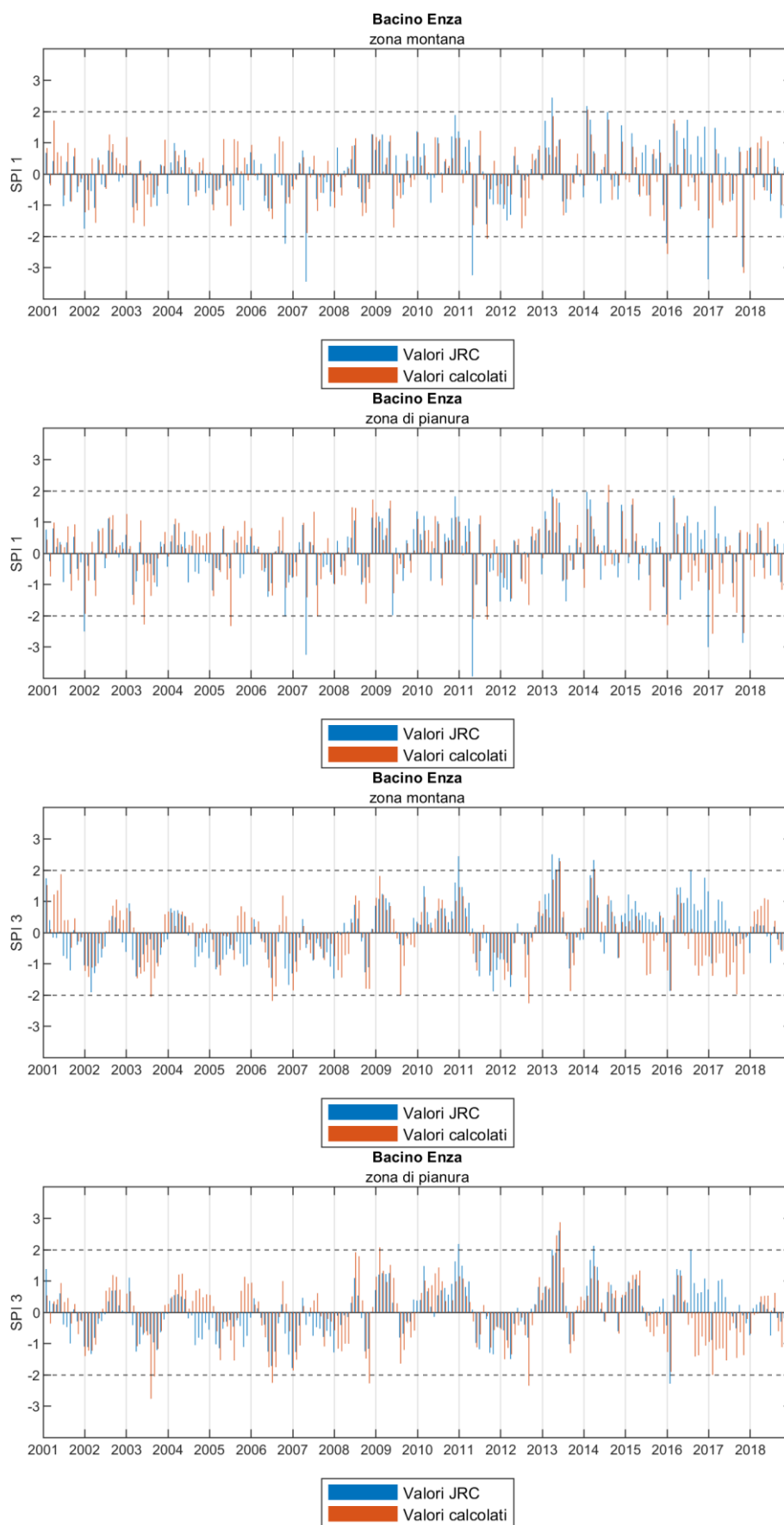


Figura 89 – Confronto del valore di SPI1 e SPI3 calcolato per ogni mese dal 2001 al 20018 nel bacino idrografico del torrente Enza. In blu sono riportati i valori forniti dal JRC e in arancione quelli calcolati da UNIPR e validati con quelli calcolati da Arpae.

Indice figure

Figura 1 – Inquadramento del territorio del CdBP all'interno del confine regionale (riquadro) e suddivisione del CdBP in zona di montagna e di pianura.	17
Figura 2 – Comprensori irrigui del Consorzio della Bonifica Parmense.....	18
Figura 3 – Rappresentazione dei consorzi privati all'interno del CdBP (arancione).	19
Figura 4 – Rappresentazione concettuale dei comprensori irrigui presenti nel territorio del CdBP con le fonti idriche di alimentazione (compresi depuratori e scarichi aziendali), le restituzioni e gli scambi tra comprensori limitrofi.....	20
Figura 5 – Andamento dello SPI nell'area del CdBP, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).....	25
Figura 6 – Esempi di mappature dell'indice SPI per il mese di agosto 2017.	28
Figura 7 – Andamento dello SPEI nell'area del CdBP, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza di umidità ($SPEI > 2$).....	30
Figura 8 – Esempi di mappature dell'indice SPEI per il mese di agosto 2017.....	33
Figura 9 – Valori massimi annuali di Consecutive Dry Days per il territorio del CdBP e valore medio calcolato sull'intera serie temporale.	34
Figura 10 – Valori modali annuali di Consecutive Dry Days per il territorio del CdBP e valore medio calcolato sull'intera serie temporale.	35
Figura 11 – Andamento dello SRI alla sezione idrometrica di Cremona, calcolato alla scala di aggregazione di 1 mese. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti a cui si individuano eventi estremi di siccità ($SRI < -1.65$) o di estrema umidità ($SRI > 1.65$).....	36
Figura 12 – Posizioni delle stazioni in cui sono stati valutati gli indici previsti dal Metodo IHA. Sono individuati in bacini idrografici di montagna e pianura del torrente Ongina (verde), fiume Taro (azzurro), torrente Parma (arancione) e torrente Enza (viola).....	38
Figura 13 – Andamento della fAPARanomaly per il territorio di montagna e pianura del bacino idrografico del torrente Enza. Sono indicati, con una linea tratteggiata, i limiti a cui si individuano eventi severi di siccità ($fAPARanomaly < -1.5$) e di abbondanza di pioggia ($fAPARanomaly > 1.5$) e quelli che individuano eventi estremi di siccità ($fAPARanomaly < -2$) o d'abbondanza di precipitazioni ($fAPARanomaly > 2$). Lo sfondo grigio individua il periodo tra marzo e settembre.	41
Figura 14 – Andamento della fAPARanomaly per il territorio di montagna e pianura del bacino idrografico del torrente Ongina. Sono indicati, con una linea tratteggiata, i limiti a cui si individuano eventi severi di siccità ($fAPARanomaly < -1.5$) e di abbondanza di pioggia ($fAPARanomaly > 1.5$) e quelli che individuano eventi estremi di siccità ($fAPARanomaly < -2$) o d'abbondanza di precipitazioni ($fAPARanomaly > 2$). Lo sfondo grigio individua il periodo tra marzo e settembre.	42

Figura 15 – Andamento del fAPARanomaly per il territorio di montagna e pianura del bacino idrografico del torrente Parma. Sono indicati, con una linea tratteggiata, i limiti a cui si individuano eventi severi di siccità ($fAPARanomaly < -1.5$) e di abbondanza di pioggia ($fAPARanomaly > 1.5$) e quelli che individuano eventi estremi di siccità ($fAPARanomaly < -2$) o d'abbondanza di precipitazioni ($fAPARanomaly > 2$). Lo sfondo grigio individua il periodo tra marzo e settembre.	42
Figura 16 – Andamento del fAPARanomaly per il territorio di montagna e pianura del bacino idrografico del fiume Taro. Sono indicati, con una linea tratteggiata, i limiti a cui si individuano eventi severi di siccità ($fAPARanomaly < -1.5$) e di abbondanza di pioggia ($fAPARanomaly > 1.5$) e quelli che individuano eventi estremi di siccità ($fAPARanomaly < -2$) o d'abbondanza di precipitazioni ($fAPARanomaly > 2$). Lo sfondo grigio individua il periodo tra marzo e settembre.	43
Figura 17 – Esempio di biomi considerati per la classificazione del pixel nell'analisi fAPAR (Fang et al., 2013).	44
Figura 18 – Istogramma del CDI per il bacino montano del torrente Ongina.	46
Figura 19 – Istogramma del CDI per il bacino di pianura del torrente Ongina.	46
Figura 20 – Istogramma del CDI per il bacino montano del fiume Taro.	46
Figura 21 – Istogramma del CDI per il bacino di pianura del fiume Taro.	47
Figura 22 – Istogramma del CDI per il bacino montano del torrente Parma.	47
Figura 23 – Istogramma del CDI per il bacino di pianura del torrente Parma.	47
Figura 24 – Istogramma del CDI per il bacino montano del torrente Enza.	48
Figura 25 – Istogramma del CDI per il bacino di pianura del torrente Enza.	48
Figura 26 – Confronto del valore di SPI3 calcolato per ogni mese dal 2001 al 20018 nel bacino idrografico di pianura del fiume Taro. In blu sono riportati i valori forniti dal JRC e in arancione quelli calcolati da UNIPR e validati con quelli calcolati da Arpae.	49
Figura 27 – Andamento dell'indice normalizzato della resa agricola di bietola da zucchero, erba medica, mais, pomodoro, prato polifita e vite.	61
Figura 28 – Posizioni in cui monitorare i parametri di scarsità e siccità idrica selezionati.	74
Figura 29 – Planimetria dei progetti a scopo irriguo.	107
Figura 30 – Ubicazione impianto di sollevamento da Fiume Po, comprensorio di Ongina.	108
Figura 31 – Ubicazione e tipologia di interventi previsti nel comprensorio di Ongina.	109
Figura 32 – Planimetria d'inquadramento degli interventi di progetto.	110
Figura 33 – Ubicazione bacini di Medesano.	111
Figura 34 – Schema di funzionamento bacini di Medesano.	111
Figura 35 – Ubicazione e tipologia di interventi previsti in alcuni tratti del Canale del Duca.	112
Figura 36 – Ubicazione impianti di sollevamento e percorso tratto canale Ottomulini oggetto di intervento.	113
Figura 37 – Ubicazione area intervento.	114

Figura 38 – Corografia interventi.....	116
Figura 39 – Corografia di inquadramento del tratto di Cavo burla oggetto di intervento (tratto in rosso)....	117
Figura 40 – 4° Dorsale Acque Alte (rappresentata in verde) per assicurare servizi irrigui ai territori a Nord dell'autostrada (area rossa).....	118
Figura 41 – Potenziamento rete di distribuzione di Copezzato (rappresentata in rosso).....	119
Figura 42 – Adeguamento impianto di Sant'Andrea (rappresentato in giallo) dalla località di Rivarolo fino alla località di Bezze di Torrice.	119
Figura 43 – Proposta di nuovo impianto di sollevamento sul Torrente Enza in località Enzano (punto A) o Casaltone (punto B).....	119
Figura 44 – Gestione del territorio di Zolle e Zollette (rappresentati in verde) per l'ottimizzazione della risorsa idrica presente, anche attraverso l'utilizzo dei reflui trattati dalla conserviera Ditta Mutti (cerchio giallo). 120	
Figura 45 – Impermeabilizzazione dei tratti più permeabili del Canale della Spelta (rappresentato in rosso) all'interno del comprensorio della Spelta (area azzurra).....	120
Figura 46 – Ubicazione attuale Canaletta di Vignale.	121
Figura 47 – Ubicazione attuale canalette irrigue.	121
Figura 48 – Stato di fatto del Canale Paroletta n°1.	122
Figura 49 – Ubicazione bacini naturali in Collecchio e Ponte Taro.....	123
Figura 50 – Cave già presenti o in atto nella pianificazione area Canale della Spelta.	123
Figura 51 – Ubicazione della cassa di espansione sul torrente Baganza (sx) e sul torrente Parma (dx).	124
Figura 52 – Dettaglio cassa di espansione di monte del torrente Enza.....	124
Figura 53 – Dettaglio nuovo depuratore nella frazione di San Geminiano.	125
Figura 54 – Andamento dello SPI nell'area montana del CdBP, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).	126
Figura 55 – Andamento dello SPI nell'area di pianura del CdBP, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).	127
Figura 56 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del torrente Ongina, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).....	128
Figura 57 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del torrente Ongina nell'area montana, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).....	129
Figura 58 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del torrente Ongina nell'area di pianura, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$)..	130

Figura 59 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del torrente Taro, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).	131
Figura 60 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del fiume Taro nell'area montana, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).....	132
Figura 61 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del fiume Taro nell'area di pianura, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).....	133
Figura 62 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del torrente Parma, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).....	134
Figura 63 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del torrente Parma nell'area montana, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).....	135
Figura 64 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del torrente Parma nell'area di pianura, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).....	136
Figura 65 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del torrente Enza, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).	137
Figura 66 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del torrente Enza nell'area montana, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).....	138
Figura 67 – Andamento dello SPI nel bacino idrografico del torrente Enza nell'area di pianura, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPI > 2$).....	139
Figura 68 – Andamento dello SPEI nell'area montana del CdBP, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).....	140
Figura 69 – Andamento dello SPEI nell'area di pianura del CdBP, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).....	141
Figura 70 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del torrente Ongina, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).....	142

Figura 71 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del torrente Ongina nell'area montana, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).	143
Figura 72 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del torrente Ongina nell'area di pianura, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).	144
Figura 73 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del fiume Taro, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza di precipitazioni ($SPEI > 2$).	145
Figura 74 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del fiume Taro nell'area montana, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).	146
Figura 75 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del fiume Taro nell'area di pianura, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).	147
Figura 76 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del torrente Parma, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).	148
Figura 77 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del torrente Parma nell'area montana, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).	149
Figura 78 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del torrente Parma nell'area di pianura, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).	150
Figura 79 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del torrente Enza, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).	151
Figura 80 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del torrente Enza nell'area montana, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).	152
Figura 81 – Andamento dello SPEI nel bacino idrografico del torrente Enza nell'area di pianura, calcolato alle scale di aggregazione di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi. Sono indicati, con una linea tratteggiata orizzontale nera, i limiti oltre al quale si ha una siccità estrema ($SPEI < -2$) o un'abbondanza ($SPEI > 2$).	153
Figura 82 – Valori massimi e modali annui di Consecutive Dry Days per il bacino idrografico del torrente Ongina e rispettivo valore medio calcolato sull'intera serie temporale.	154

Figura 83 – Valori massimi e modali annui di Consecutive Dry Days per il bacino idrografico del fiume Taro e rispettivo valore medio calcolato sull'intera serie temporale.	154
Figura 84 – Valori massimi e modali annui di Consecutive Dry Days per il bacino idrografico del torrente Parma e rispettivo valore medio calcolato sull'intera serie temporale.	155
Figura 85 – Valori massimi e modali annui di Consecutive Dry Days per il bacino idrografico del torrente Enza e rispettivo valore medio calcolato sull'intera serie temporale.	155
Figura 86 – Confronto del valore di SPI1 e SPI3 calcolato per ogni mese dal 2001 al 20018 nel bacino idrografico del torrente Ongina. In blu sono riportati i valori forniti dal JRC e in arancione quelli calcolati da UNIPR e validati con quelli calcolati da Arpae.....	160
Figura 87 – Confronto del valore di SPI1 e SPI3 calcolato per ogni mese dal 2001 al 20018 nel bacino idrografico del fiume Taro. In blu sono riportati i valori forniti dal JRC e in arancione quelli calcolati da UNIPR e validati con quelli calcolati da Arpae.	161
Figura 88 – Confronto del valore di SPI1 e SPI3 calcolato per ogni mese dal 2001 al 20018 nel bacino idrografico del torrente Parma. In blu sono riportati i valori forniti dal JRC e in arancione quelli calcolati da UNIPR e validati con quelli calcolati da Arpae.....	162
Figura 89 – Confronto del valore di SPI1 e SPI3 calcolato per ogni mese dal 2001 al 20018 nel bacino idrografico del torrente Enza. In blu sono riportati i valori forniti dal JRC e in arancione quelli calcolati da UNIPR e validati con quelli calcolati da Arpae.....	163

Indice tabelle

Tabella 1 - Elenco dei possibili impatti ambientali.	2
Tabella 2 - Elenco dei possibili impatti economici.	2
Tabella 3 - Elenco dei possibili impatti sociali.....	3
Tabella 4 – Classificazione della severità idrica in funzione del valore dell’indicatore SPI.....	4
Tabella 5 – Classificazione della severità idrica puntuale in funzione del valore dell’indicatore SRI.....	7
Tabella 6 – Parametri del regime idrologico utilizzati dal metodo IHA per lo studio dell’alterazione idrologica.	8
Tabella 7 – Environmental Flow Components definiti nell’ambito della metodologia IHA.	9
Tabella 8 – Classificazione della severità idrica puntuale in funzione del valore dell’indicatore SSPI.....	10
Tabella 9 – Esempio di matrice di correlazione $SPI_n(m_a) - QQ_{amin}$	13
Tabella 10 – Classificazione della severità idrica puntuale in funzione del valore dell’indicatore SAI.	14
Tabella 11 – Classi di raggruppamento Decili.	14
Tabella 12 – Valori dell’indice $SPI < -2$, ordinati in maniera crescente, per le scale temporali di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi per il CdBP. Ad ogni valore è associato mese - anno.	26
Tabella 13 – Eventi siccitosi di magnitudo maggiore di nove, ordinati dal più grande al più piccolo (per magnitudo) e in relazione alla scala temporale di aggregazione temporale sul quale è stato calcolato lo SPI.27	
Tabella 14 – Valori dell’indice $SPEI < -2$, ordinati in maniera decrescente, mediati alle scale temporali di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi per il CdBP. Ad ogni valore è associato mese - anno.	31
Tabella 15 – Eventi siccitosi di magnitudo maggiore di nove, ordinati dal più grande al più piccolo (per magnitudo) e in relazione alla scala temporale di aggregazione temporale sul quale è stato calcolato lo SPEI.	32
Tabella 16 – Parametri del metodo IHA per la stazione di Ostia Parmense, situata nella parte montana del bacino idrografico del fiume Taro.	38
Tabella 17 – Parametri del metodo IHA per la stazione di San Secondo, situata nella parte di pianura del bacino idrografico del fiume Taro.....	39
Tabella 18 – Parametri del metodo IHA per la stazione di Parma Ponte Verdi, situata nella parte di pianura del bacino idrografico del torrente Parma, precisamente nella città di Parma.	39
Tabella 19 – Parametri del metodo IHA per la stazione di Vetto, situata nella parte montana del bacino idrografico del torrente Enza.	39
Tabella 20 – Parametri del metodo IHA per la stazione di Sorbolo, situata nella parte di pianura del bacino idrografico del torrente Enza.	39
Tabella 21 – Parametri del metodo IHA per la stazione di Cremona, situata sul fiume Po nella città di Cremona.	40
Tabella 22 – Categorie dell’indice CDI.....	45
Tabella 23 – Confronto indici SPI/SPEI con il fabbisogno idrico nel periodo 2013-2018.	51

Tabella 24 – Valori di fabbisogno irriguo unitario, espresso in mm, per i comprensori irrigui di Gambalone – Naviglia - Casaltone, Naviglio Navigabile e Spelta. I valori riportati sono riferiti agli anni 2016 e 2018, è inoltre riportato il valore medio sulla serie storica 2003-2018. La fonte del dato è il CER.	52
Tabella 25 – Confronto indici SPI3/SPEI 3 di luglio, agosto e settembre e SPI6/SPEI6 di settembre con i volumi prelevati nel periodo 2013-2018.	53
Tabella 26 – Valori di SPI e SPEI del territorio di pianura del CdBP associati all’anno 2012.	53
Tabella 27 – Valori di SPI e SPEI del territorio di montagna del CdBP associati all’anno 2012.	53
Tabella 28 – Valori degli indici IHA associati all’anno 2012 delle principali stazioni presenti sul territorio. I valori riportati con sfondo bianco sono tra i cinque valori minori mai registrati per la stazione in esame, in sfondo celeste i valori che non sono tra i peggiori della serie storica ma che risultano in ogni caso minori del DMV associato alla stazione d’analisi (si hanno informazioni sul DMV sulle sole stazioni di Vetto e Parma Ponte Verdi) ed in sfondo verde i valori che non appartengono alle prime due classi. Per ognuno degli indici sono riportati il valore di portata e la data centrale della finestra temporale associata.	54
Tabella 29 – Valori di soggiacenza e indice normalizzato di soggiacenza dei pozzi del CdBP. Per ogni valore è riportata la data della misura; sono riportate le sole misurazioni associate all’anno 2012.	54
Tabella 30 – Valori di SPI e SPEI del territorio di pianura del CdBP associati all’anno 2017.	55
Tabella 31 – Valori di SPI e SPEI del territorio di montagna del CdBP associati all’anno 2017.	55
Tabella 32 – Valori degli indici IHA associati all’anno 2017 delle principali stazioni presenti sul territorio. I valori riportati con sfondo bianco sono tra i cinque valori minori mai registrati per la stazione in esame, in sfondo celeste i valori che non sono tra i peggiori della serie storica ma che risultano in ogni caso minori del DMV associato alla stazione d’analisi (si hanno informazioni sul DMV sulle sole stazioni di Vetto e Parma Ponte Verdi) ed in sfondo verde i valori che non appartengono alle prime due classi. Per ognuno degli indici sono riportati il valore di portata e la data centrale della finestra temporale associata.	55
Tabella 33 – Valori di soggiacenza e indice normalizzato di soggiacenza dei pozzi del CdBP. Per ogni valore è riportata la data della misura, sono riportate le sole misurazioni associate all’anno 2017.	56
Tabella 34 – Confronto valori di SPI/SPEI 3 di luglio, agosto e settembre e SPI/SPEI 6 di marzo e settembre con i valori di prelievo da falda e da corso d’acqua operato dal CdBP, dal 2000 al 2018.	58
Tabella 35 – Proposta annate critiche, scelte sulla base della domanda idrica al campo (valutando SPI3/SPEI3 di luglio, agosto e settembre e SPI6/SPEI6 di settembre) e della disponibilità nelle falde sotterranee (valutando SPI6/SPEI6 di marzo e SPI12/SPEI12 e 24 di marzo e settembre).	59
Tabella 36 – Valori annuali del fabbisogno, volume utilizzato al campo e quota Altro per ciascun comprensorio irriguo del CdBP. I valori annuali riportati fanno riferimento al periodo 2016-2018.	60
Tabella 37 – Parametri di scarsità e siccità idrica.	64
Tabella 38 - Esempi di azioni per la riduzione di rischi potenziali	65
Tabella 39 - 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.....	68
Tabella 40 - 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.....	69
Tabella 41 - 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.	70
Tabella 42 - Schema di tabella a consuntivo per la valutazione quali-quantitativa della annata irrigua sulla base di SPI_6 e $SPEI_6$ 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.	72
Tabella 43 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo Ongina con riferimento alla presa dal fiume Po.....	76
Tabella 44 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo San Vitale – San Carlo – San Genesio con riferimento alla presa di Ramiola.	78
Tabella 45 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo San Vitale – San Carlo – San Genesio con riferimento ai prelievi da falda.	81
Tabella 46 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo Sissa – Trecasali con riferimento alla presa di Borgonovo.	83
Tabella 47 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo Sissa – Trecasali con riferimento ai prelievi da falda.	86
Tabella 48 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo Galasso – Lorno.	88
Tabella 49 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo San Siro con riferimento alla presa di San Siro.....	91
Tabella 50 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo Naviglio Navigabile con riferimento alla presa di Casino.	93
Tabella 51 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo Naviglio Navigabile.	95
Tabella 52 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo Gambalone – Naviglia – Casaltone con riferimento alle acque superficiali.....	97
Tabella 53 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo Gambalone – Naviglia – Casaltone con riferimento ai prelievi da falda.	99
Tabella 54 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo Spelta con riferimento alla presa di Guardasone.....	101
Tabella 55 – Tabella PIA per il comprensorio irriguo Spelta con riferimento ai prelievi da falda.	104
Tabella 56 - Elenco progetti irrigui e relativo importo.....	106
Tabella 57 – Elenco dei pozzi oggetto di proposta d'intervento.	110

Tabella 58 – Parametri del metodo IHA per la stazione di Ostia Parmense, situata nella parte montana del bacino idrografico del fiume Taro.	156
Tabella 59 - Parametri del metodo IHA per la stazione di San Secondo, situata nella parte di pianura del bacino idrografico del fiume Taro.....	157
Tabella 60 – Parametri del metodo IHA per la stazione di Parma Ponte Verdi, situata nella parte di pianura del bacino idrografico del torrente Parma, precisamente nella città di Parma.	157
Tabella 61 – Parametri del metodo IHA per la stazione di Vetto, situata nella parte montana del bacino idrografico del torrente Enza.	158
Tabella 62 – Parametri del metodo IHA per la stazione di Sorbolo, situata nella parte di pianura del bacino idrografico del torrente Enza.	158
Tabella 63 – Parametri del metodo IHA per la stazione di Cremona, situata sul fiume Po nella città di Cremona.	159

Bibliografia

- Abramowitz, M., & Stegun, I. (1965). Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs and Mathematical Tables. New York: Dover Publications.
- AdBPo (2016). Piano del Bilancio Idrico per il Distretto del fiume Po - Allegato 3 alla Relazione Generale (Piano per la gestione delle siccità).
- Antolini, G., Auteri, L., Pavan, V., Tomei, F., Tomozeiu, R., Marletto, V. (2016). A daily high-resolution gridded climatic data set for Emilia-Romagna, Italy, during 1961–2010. *Int. J. Climatol.*, 36: 1970-1986.
- Beguiría, 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>
- Edwards, D., McKee, T. (1997). Characteristics of 20th Century Drought in the United States at Multiple Time Scales. Climatology Report 97-2, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins.
- Faergman, H. (2012). Update on water scarcity and droughts indicator development. Presented at the Water Director's Meeting, 4–5 June 2012, Denmark.
- Fang, H., Li, W., Myeni, R. (2013). The Impact of Potential Land Cover Misclassification on MODIS Leaf Area Index (LAI) Estimation: A Statistical Perspective. *Remote Sensing* 5, no. 2: 830-844.
- 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.
- Guttman, N. (1994). On the sensitivity of sample L moments to sample size. *Journal of Climatology*, 7, 1026–1029.
- Hargreaves, G., Samani, Z. (1982). Estimating potential evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 108, 225–230.
- Hargreaves, G., Samani, Z. (1985). Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Appl. Eng. Agric.*, 1 (2).
- ISPRA (2018). 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.
- 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.
- NASA (2021). MODIS Vegetation Index Products (NDVI and EVI). Tratto da <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod13.php>
- Panofsky, H., Brier, G. (1958). Some applications of statistics to meteorology. Pennsylvania State University.
- Press, W., Teukolsky, S., Vetterling, W., Flannery, B. (2007). *Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing*, Third Edition. Cambridge University.
- 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., 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.

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.