




Piano del Bilancio Idrico per il Distretto del fiume Po

Piano di Gestione del Distretto Idrografico del Fiume Po, Allegato 7.1 all'elaborato 7, Misura 07- Art. 14 dell'Allegato "Misure urgenti e indirizzi attuativi generali del Piano di Gestione" alla Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 1/2010 di adozione del Piano di Gestione.

Proposta per l'Approvazione del Comitato Tecnico e del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po

Allegato 3 alla Relazione Generale

Piano per la gestione delle siccità e Direttiva Magre

Data	Creazione:	Modifica: 12/10/2016
Tipo		
Formato	Microsoft Word – dimensione: pagine 100	
Identificatore	06_10_2016_Allegato3_Piano_Gestione_siccità.doc	
Lingua	it-IT	
Gestione dei diritti	 CC-by-nc-sa	

Metadata estratto da Dublin Core Standard ISO 15836





Piano di Bilancio Idrico del distretto idrografico del fiume Po

Indice

1.	PREMESSA	5
1.1.	Contenuti del Drought Management Plan	6
2.	LA SICCIITÀ NEL BACINO DEL PO	10
2.1.	L'Ultimo decennio	15
2.2.	Confronto tra portata naturale e prelievi - Carezza idrica	21
2.3.	Le magre del Po	23
2.4.	Analisi dell'evoluzione del regime di magra con metodo IHA	28
2.5.	Siccità: indici e analisi bivariata di frequenza	37
3.	INDICATORI INTEGRATI NEL SISTEMA DEWS-PO	45
3.1.	Standardized Precipitation Index (SPI)	45
3.2.	Standard Runoff Index (SRI) o Standardized Flow Index (SFI)	48
3.3.	Surface Water Supply Index (SWSI)	49
3.4.	RUN Method	49
3.5.	Ulteriori indicatori proposti da WG WB-WA	49
3.5.1.	FAPAR: Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation	49
3.5.2.	Groundwater level (H)	50
3.5.3.	SSPI: Standardized SnowPack Index	50
3.5.4.	Soil moisture	51
3.5.5.	SPI: Standardized Precipitation Index	51
3.5.6.	Standardized Runoff Index (SRI)	51
3.5.7.	WEI+: Water Exploitation Index Plus	51
4.	LA GESTIONE DELLE SICCIITÀ NEL BACINO DEL PO: L'ESPERIENZA E LE PROPOSTE	52
4.1.	Eventi recenti	52
4.1.1.	Anno 2003	52
4.1.2.	Anno 2005	54
4.1.3.	Anno 2006	55
4.2.	Il modello di gestione della carezza idrica e della siccità nel bacino del Po.	56
4.3.	Criticità emerse durante le crisi idriche	59
4.4.	Review approcci internazionali	61
4.4.1.	European Drought Observatory:	61
4.4.2.	Drought Management Centre for SouthEastern Europe (DMCSEE)	63
4.4.3.	International Research Institute for Climate and Society (IRI)	64
4.4.4.	US Drought Monitor	64
4.4.5.	Drought Monitor with VIC	65
4.4.6.	SINTESI	66



5.	LINEE GUIDA PER L'UTILIZZO DELLE USCITE MODELLISTICHE PREVISIONALI E DI ANALISI DEL MODELLO DI MAGRA	67
5.1.	Impatti attesi dalla buona gestione della siccità	67
5.2.	Obiettivi delle Linee guida	70
5.3.	Definizione di siccità	71
5.4.	Procedure di utilizzo – prontuario per l'utilizzo del sistema	74
5.4.1.	Scenari di severità idrica e livelli di criticità	75
5.4.2.	Stati del sistema - Fasi Operative - Diagrammi di flusso delle Fasi Operative	77
5.5.	Descrizione delle Analisi	86
5.5.1.	Analisi dell'evento siccitoso a mezzo delle previsioni a 14 giorni	86
5.5.2.	Analisi mensile	88
5.6.	Attività da svolgersi nella fase sperimentale	88
5.7.	Considerazioni sulla determinazione delle soglie	89
5.7.1.	Esempi di metodologie per la determinazione delle soglie sinottiche	90
5.7.2.	Analisi in tempo reale delle soglie nelle stazioni di misura	91
5.7.3.	Confronto fra le soglie di portata e i valori degli indici di siccità	91
6.	<i>IMPACT ASSESSMENT</i>	92
6.1.1.	Valutazione degli impatti	93
6.1.2.	Dare una priorità agli impatti	93
6.1.3.	Valutazione della Vulnerabilità	96
6.1.4.	La rappresentazione condivisa degli impatti: il SiccIDROMETRO	96
7.	SCHEMA DELLA DIRETTIVA MAGRE	98
7.1.	Stazioni idrometriche	98
7.1.1.	Sezione di Pontelagoscuro	98
7.1.2.	Sezione di Borgoforte	98
7.1.3.	Boretto	98
7.1.4.	Cremona	99
7.1.5.	Piacenza	99
7.1.6.	Ponte Spessa	99
7.1.7.	Isola Sant'Antonio	99
7.1.8.	San Sebastiano Po	99
7.2.	Valori di portata osservata a Pontelagoscuro	99



1. PREMESSA¹

La disponibilità di acqua di buona qualità ed in quantità sufficiente è fondamentale per la vita quotidiana di tutti gli esseri umani, per la maggior parte delle attività economiche e per l'ambiente; tuttavia la carenza idrica e la siccità costituiscono oggi un problema di notevole portata, che sarà probabilmente aggravato dai cambiamenti climatici. I severi eventi siccitosi accaduti di recente hanno accresciuto la consapevolezza dei loro effetti dannosi; si tratta di un problema mondiale che non risparmia l'Unione europea e, in essa, il bacino del Po. Ad esempio l'analisi dello Standard Precipitation Index (SPI), negli ultimi 10-15 anni, nella regione Emilia-Romagna indica una diminuzione statisticamente significativa delle precipitazioni tendendo a condizioni di moderata siccità, un segnale che risulta essere abbastanza omogeneo, soprattutto sul settore centro-occidentale della regione.

La siccità è considerata da molti il più complesso e meno compreso dei rischi naturali e quello che a livello globale coinvolge il maggior numero di persone. Una lista non esaustiva delle variabili naturali ed antropiche che determinano o sono causate da eventi siccitosi comprende: prelievo eccessivo di risorsa idrica, calo dei livelli delle acque sotterranee, intrusione salina, diminuzione dei deflussi fluviali, con conseguente concentrazione degli inquinanti e aumento della temperatura delle acque, abbassamento dei livelli dei serbatoi, riduzione delle aree umide, effetti ecologici avversi (riduzione dello sviluppo e dell'umidità fogliare, insorgenza di vegetazione o fauna infestante, eutrofizzazione, propagazione di odori). La siccità può essere definita con riferimento alle condizioni di bilancio medie di lungo periodo tra precipitazione ed evapotraspirazione in una data area, cioè alla condizione percepita come *normale*. Oppure, in maniera più articolata, può definirsi come una condizione naturale e temporanea di consistente riduzione delle precipitazioni e di importanti diminuzioni delle disponibilità idriche, rispetto ai valori usuali, per un periodo di tempo significativo e su un'ampia regione; i suoi effetti possono comportare carenza idrica per alcune attività (o aree o comunità) ed è spesso associata ad altri fattori climatici che possono aggravarne la severità (temperature più elevate, venti più forti, o persistenti, o comunque più incisivi, umidità relative più basse, minore copertura nuvolosa).

Periodi di siccità si rilevano normalmente e ricorrono con una certa periodicità nella maggior parte dei regimi climatici; in conseguenza della naturale riduzione della quantità di precipitazione, possono essere estesi ad una stagione o a più stagioni/anni consecutivi, sebbene la durata di ciascun evento, l'area e la popolazione interessate varino da evento ad evento. I loro effetti si accumulano lentamente, potendo interessare aree più vaste rispetto a quelle generalmente esposte agli altri rischi naturali. La siccità è un rischio naturale insidioso, strisciante ed a lenta insorgenza, che produce impatti considerevoli economici, sociali finanche ambientali. L'insorgenza e la fine di una siccità, come pure l'entità, sono difficili da determinare. Inoltre la severità di una siccità non dipende solo dalla durata, dall'intensità e dall'estensione spaziale dello specifico episodio, ma anche dalla domanda locale di risorsa idrica. Gli impatti generati da eventi siccitosi sono per lo più non strutturali e questo ha certamente ostacolato non solo sviluppo di stime accurate, affidabili e tempestive della severità, ma anche la formulazione di piani di preparazione alla siccità da parte dei governi. E' possibile definire, analogamente ad altre tipologie, il rischio di siccità come prodotto dell'esposizione locale al rischio naturale moltiplicato per la vulnerabilità ad estesi periodi di carenza idrica. Se si vogliono progressi nel ridurre le serie conseguenze della siccità è necessario migliorare la comprensione sia della pericolosità che dei fattori che influenzano la vulnerabilità; non da ultimo sono da considerare gli effetti del cambiamento climatico e della variazione di uso del suolo che interessano la comunità mondiale e, in particolare, l'Unione Europea.

Finora l'approccio tradizionale alla gestione delle siccità è stato di tipo *reattivo*, basato per lo più sulla gestione della crisi, rivelatosi alquanto inefficace con risposta a volte inadeguata, scarsamente coordinata e debolmente mirata alle comunità ed alle aree effettivamente colpite. Inoltre, la risposta post-impatto ed il soccorso tendono a rinforzare gli esistenti metodi di gestione delle risorse idriche. Paradossalmente si può osservare che sono proprio gli esistenti metodi di gestione delle risorse idriche che hanno spesso

¹ Da "Le magre del Po - Conoscerle per prevederle, cooperare per prevenirle" - Linee guida e modellistica per la previsione e il controllo della scarsità d'acqua nel fiume Po", Autorità di Bacino del Fiume Po, AIPO, 2008.



incrementato la vulnerabilità sociale alle siccità. Pertanto sembra utile affrontare il tema seguendo un approccio diverso, che possa tendere alla gestione del rischio (e non della crisi) attraverso la stipula e l'applicazione di un *piano di gestione siccità* nel quale svolgano un ruolo cruciale la *previsione e il monitoraggio idrologico* e la *diffusione dell'informazione*. Il piano di gestione delle siccità, costituisce uno strumento potente per alleviare gli impatti della siccità e riflette un positivo passaggio da una approccio di *risposta alla crisi* ad un approccio di *gestione del rischio*. I piani sviluppati fino ad oggi nell'UE hanno incluso diverse componenti fra cui la mappatura dello stress idrico, l'identificazione di sistemi di allertamento e misure specifiche di settore, come le temporanee restrizioni all'irrigazione di colture intensive. L'utilità di implementare piani di gestione delle siccità alla scala di bacino è stata riconosciuta anche nella DQA.

Il sistema del quale si è dotato il Bacino del Fiume Po, in armonia con le indicazioni comunitarie, risponde anche alle esigenze di contesto, emerse e discusse localmente a seguito degli eventi siccitosi degli ultimi 10 anni. La siccità, a differenza di altri disastri naturali, evolve in un lungo periodo di tempo, ed è possibile perciò una riduzione efficace degli impatti implementando appropriate misure di mitigazione pianificate in anticipo, in accordo con le indicazioni fornite dal sistema di monitoraggio e previsione. E' possibile, infatti, riferendosi all'orientamento delle linee guida reperibili tra la documentazione tecnico scientifica internazionale, definire gli obietti e specificare quali siano i risultati attesi, e, sulla base dei contenuti previsti per i piani di gestione, fissare alcuni elementi utili, nell'ambito di un'analisi semplificata, al monitoraggio ed alla previsione idrologica quali: indicatori, indici, analisi, prodotti meteorologici, modellistica idrologico idraulica, livelli di criticità ipotizzabili, stati possibili, criteri per i passaggi di stato, diagrammi di flusso delle attività per i diversi stati indicati, dettaglio delle attività previste nei diagrammi di flusso, metodologia per la valutazione della vulnerabilità, e possibili attività da avviare nella fase sperimentale.

Nell' "Atto di indirizzo per il coordinamento dei Piani di Tutela delle Acque e degli strumenti di programmazione regionale con il Piano di Gestione del Distretto idrografico del fiume Po" (Direttiva 2000/60/CE e D.Lgs 152/06, artt. 65, 117, 121). – approvato con delibera del Comitato Istituzionale il 26/11/2013, tra le questioni di rilevanza distrettuale è stato inserito il tema "Carenza idrica e Siccità" (Scheda n.3). Nella citata scheda si parte dall' analisi a livello europeo sullo stato delle politiche delle acque per la parte relativa agli aspetti quantitativi; si evidenziano poi le carenze rilevate dalla Commissione nei piani di gestione del primo ciclo di pianificazione e si individuano le principali problematiche e criticità presenti nel bacino del Po alle quali il Piano di gestione e gli strumenti regionali dovranno dare risposta nel ciclo di pianificazione 2015-2021. Il presente Allegato tiene conto degli obiettivi specifici e delle linee di azione prioritarie dichiarate nel citato Atto di Indirizzo.

1.1. Contenuti del Drought Management Plan

La pianificazione relativa alla siccità deve intervenire a tre livelli, rimanendo comunque collegata alla Pianificazione del Distretto Idrografico (Piano di Gestione delle Acque). Al livello nazionale, il focus deve essere posto sugli aspetti politici, legali e istituzionali, così come nelle questioni legate al finanziamento della mitigazione degli effetti degli eventi estremi di siccità. Al livello locale, il tema principale è la definizione e l'attuazione di misure al livello *tattico* o addirittura di tipo reattivo, finalizzate ad incontrare i fabbisogni dell'utenza, e garantire la fornitura essenziale di acqua pubblica. Il livello del Distretto Idrografico si pone come intermedio tra i due richiamati, essendo i Piani di Gestione della Siccità (*Drought Management Plans* - DMP) piani di gestione contingente, supplementari rispetto ai Piani di Gestione delle Acque. I DMP sono prevalentemente orientati all'identificazione ed all'attuazione di misure operative al livello strategico/*tattico* per ridurre o dilazionare il più possibile gli eventuali impatti negativi della siccità. Rispetto a tale obiettivo, la pratica in uso nel bacino del Po, che ha dato luogo alla stipula nel giugno del 2005 del "Protocollo per l'Attività Unitaria e Conoscitiva e di controllo del Bilancio Idrico volta alla prevenzione degli eventi di magra eccezionale nel bacino idrografico del fiume Po", promuovendo quindi il percorso che ha portato, in data 13 luglio 2016, al "Protocollo d'Intesa per l'istituzione dell'Osservatorio Permanente sugli utilizzi idrici in atto nel distretto idrografico del fiume Po" (Osservatorio Permanente di Distretto), si può ritenere del tutto adeguata, benché ancora carente sul piano della formalizzazione di



alcuni contenuti (impatti, soglie, azioni conseguenti). Infatti, la Commissione Europea si aspetta che, nei Piani di Gestione della Siccità, siano presenti almeno i seguenti contenuti:

- una caratterizzazione generale del bacino in condizioni di siccità;
- la descrizione delle esperienze precedenti nella gestione degli eventi di siccità;
- la caratterizzazione delle siccità che possono colpire il bacino;
- l'implementazione di un sistema di allerta precoce;
- misure, contenute in un programma di misure, finalizzate a prevenire e mitigare gli impatti della siccità, che siano collegate ad un sistema di indicatori condiviso;
- che sia definita una "struttura organizzativa", ovvero la specificazione delle competenze e degli impegni del gruppo di lavoro che si deve occupare di diagnosticare la situazione di criticità e proporre le misure di mitigazione;
- la previsione dell'aggiornamento dei DMP e la verifica dei loro impatti
- la presenza di piani specifici relativi alla prevenzione degli impatti sulla fornitura di acqua potabile per uso civile;
- la gestione delle cosiddette "siccità prolungate", al fine di rispondere all'art. 4(6) sull'attivazione delle deroghe temporanee allo stato di buono in caso di evento non ragionevolmente prevedibile.

I contenuti sopra elencati sono stati in parte individuati e definiti:

- nell'ambito della definizione del quadro conoscitivo del presente Piano, con particolare riferimento ai contenuti dei Capitoli successivi del presente Allegato relativi alla restituzione dello stato delle conoscenze sulle siccità nel bacino del Po²;
- nell'ambito del progetto "Pedro", finalizzato all'implementazione del sistema di allerta precoce e monitoraggio delle siccità DEWS-Po (Vedere Allegato 4 alla relazione Generale);
- nell'ambito dell'"Attività unitaria conoscitiva e di controllo del bilancio idrico volta alla prevenzione degli eventi di magra eccezionale nel bacino idrografico del fiume Po", nata in seguito agli eventi siccitosi che si sono susseguiti a partire dal 2003, e che ha dato origine ad un progetto per lo sviluppo operativo delle attività di gestione delle crisi idriche, nel quale sono indicati precisamente gli elementi conoscitivi, le modalità e le azioni per raggiungere gli obiettivi prefissati. Le specifiche riguardavano gli indicatori di stato delle risorse e delle possibili tendenze evolutive, la realizzazione del sistema di allertamento precoce, e la raccolta, elaborazione e restituzione delle informazioni necessarie, e la definizione di procedure per la gestione della risorsa nel tempo reale in condizioni di crisi idrica.

Nell'ambito del II ciclo di partecipazione attiva attuato per il presente Piano, sono stati inoltre proposti e condivisi:

- lo strumento del *Siccidrometro*, per la mappatura simultanea degli impatti delle magre idrologiche alla scala del distretto;
- uno schema di struttura di Direttiva Magre, qui riproposto, in cui vengono indicate, sezione idrografica per sezione idrografica, le azioni che possono mitigare gli impatti di cui sopra.
- I contenuti non ancora definiti sono quelli che richiedono il completamento dell'analisi degli impatti:
- definizione dei contenuti del Siccidrometro, per l'asta del Po e per gli affluenti per cui si ritenga necessario;

² Tali contenuti sono richiamati anche nell'Allegato 1.2 all'Elaborato 1 del Progetto di Piano di Gestione Acque del distretto del Po.



- individuazione, sulla base dei contenuti del Siccidrometro, delle soglie specifiche e delle azioni da intraprendere finalizzate al mantenimento di portate compatibili con gli usi e con gli obiettivi ambientali per l'asta Po, e per le aste degli affluenti per cui è definito il Siccidrometro (Direttiva Magre).

I valori di riferimento specifici per le portate minime da mantenere nell'asta Po e negli affluenti per le finalità del presente Piano di Gestione delle Siccità dovrebbero essere definiti con le seguenti finalità:

- garantire il non deterioramento del buono stato ecologico del corpo idrico (o il raggiungimento dell'obiettivo di buono), tranne nei casi di siccità prolungata in cui è possibile attivare la deroga temporanea;
- garantire un livello concordato di soddisfacimento degli usi.

Rispetto al primo punto, appare necessaria la determinazione delle *portate ecologiche*, non ancora definite ma per cui sono disponibili linee di indirizzo comunque utili sul piano operativo. Pertanto nelle more della definizione delle portate ecologiche, si utilizza come **minimo ammissibile a Pontelagoscuro il valore di portata pari a 450 m³/s**, per cui, in base agli studi condotti sulla risalita salina nell'alveo del Po, non si registrano impatti maggiori nel corpo idrico tra Pontelagoscuro e il Delta del Po³. Occorre tuttavia precisare l'adeguamento di tale valore di soglia ha riguardato all'oggi solo la sezione di Pontelagoscuro, mentre le leggi dell'idraulica e dell'idrologia richiederebbero, per il mantenimento della continuità del bilancio nell'asta fluviale, che ad esso corrispondano valori adeguati anche nelle altre sezioni di riferimento per il presente Piano a monte di Pontelagoscuro. Rispetto al secondo punto, valori localmente ammissibili dovranno essere definiti a valle del completamento dell'analisi dell'impatto delle magre del Po alla scala del distretto. Pertanto, non essendo possibile definire all'oggi soglie basate sull'analisi fondata degli effetti della siccità idrologica, il presente allegato intende fornire:

- i contenuti conoscitivi necessari all'inquadramento generale del tema della siccità nel bacino del Po;
- la descrizione delle azioni condotte durante i precedenti eventi siccitosi, e che hanno nella più gran parte dei casi, limitato gli impatti in misura sostanziale;
- la descrizione dell'assetto organizzativo della gestione delle siccità in tempo reale (livelli di criticità/azioni);
- la descrizione delle modalità che devono essere utilizzate per il completamento dell'analisi degli impatti alla scala del distretto;
- la descrizione dello schema e dei contenuti che dovranno caratterizzare al Direttiva Magre.

Le azioni per pervenire al completamento definitivo dei contenuti del DMP sono inserite come misura nel Programma di Misure del presente Piano, corrispondente al 3° Pilastro del Programma di Misure del PdGPO2015.

A partire dall'istituzione degli Osservatori Permanenti di distretto, avvenuta nel luglio 2016, tutte le attività concernenti la gestione delle crisi idriche attività sono coordinate da un Comitato Tecnico Nazionale di coordinamento per la redazione di Piani Operativi che indirizzi l'attività degli Osservatori Permanenti. Tale Comitato Tecnico nasce con il compito di promuovere l'armonizzazione, su tutto il territorio nazionale, dei criteri per la determinazione dei livelli di severità dei fenomeni di scarsità, per l'identificazione dei parametri di riferimento idrologici, idraulici, agronomici, ambientali, di siccità ed impatto economico, necessari al monitoraggio e alla valutazione delle condizioni ambientali e degli effetti delle misure adottate e per la definizione delle procedure di trasmissione e validazione dei dati. Un ulteriore compito del Comitato è quello di assicurare che le comunicazioni riguardanti la situazione climatica e idrologica in atto e del suo prevedibile evolversi, i rischi, le misure adottate e gli effetti ottenuti, dirette alle Amministrazioni Pubbliche, ai portatori di interesse ed al pubblico in generale siano realizzate secondo standard e format univoci, sia in relazione al loro profilo formale che al loro contenuto.

³ Pur registrandosi impatti minori relativi alla chiusura di alcuni impianti irrigui che comporta la diminuzione delle aree irrigate nel Delta del Po.



Il presente Allegato pertanto, è adeguato ai contenuti ed alle scelte lessicali del citato Protocollo, e le azioni previste risultano in linea con i contenuti dei Programmi Operativi sopra citati.



2. LA SICCIÀ NEL BACINO DEL PO

L'idrologia del Po è studiata fin dal XIX secolo, anche se solo l'avvento dell'Ufficio Idrografico e Mareografico del Po, avvenuto nel 1912, ha consentito un monitoraggio sistematico e scientifico delle grandezze idrologiche, rendendo disponibili sino ad oggi serie preziosissime a partire dal 1923.

Si rimanda alla estesa bibliografia dell'Ex Ufficio Idrografico, ed ai Piano dell'Autorità di Bacino (PAI; PGRA, PDGPO); per una generale descrizione del bacino ed una compiuta trattazione dell'idrologia che lo caratterizza. Nel presente capitolo si fornisce un aggiornamento delle grandezze idro-pluviometriche utili al calcolo ed alla caratterizzazione:

- del bilancio idrico (afflussi, deflussi);
- dei regimi di magra, al fine dello studio degli eventi estremi in quanto una loro caratterizzazione è necessaria per ottemperare agli obblighi derivanti dall'DQA e dalla politica Europea sull'acqua, in particolare per la redazione del Piano di Gestione della Siccità (Direttiva Magre), che rappresenta l'Allegato 3 alla Relazione Generale del Presente Piano.

Sono inoltre presentati i risultati di analisi condotte dall'Autorità di Bacino con metodologie innovative ("*Index Of Hydrologic Alteration Method*", analisi di frequenza degli eventi di magra).

Le magre del Po sono state studiate con riferimento a 5 stazioni idrografiche storiche caratterizzate da serie di osservazioni molto estese nel tempo, per le quali sono pubblicati i dati sugli Annali Idrologici a partire dal primo ventennio del secolo scorso. Le loro caratteristiche sono riportate nelle figure da 1 a 5. In Figura 6 è invece rappresentata la rete dei sensori idrometrici e pluviometrici presente nel distretto, ed utilizzata per il monitoraggio finalizzato a tutte le attività di pianificazione e gestione degli eventi di magra e piena.

Stazione idrometrica di:

Piacenza

Area sottesa: 42030 Km²

Anno inizio funzionamento: 1923

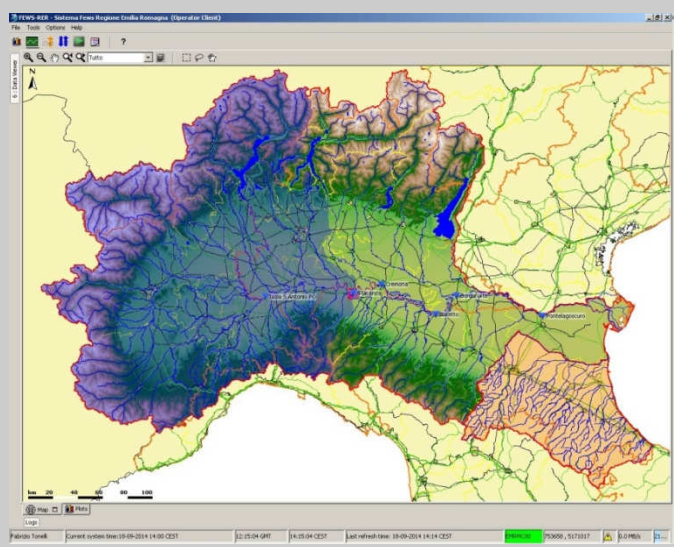


Figura 1 - Ubicazione e caratteristiche della stazione idrometrica di Piacenza sul Po.



Stazione idrometrica di:
Cremona
Area sottesa: 50726 Km²
Anno inizio funzionamento: 1932

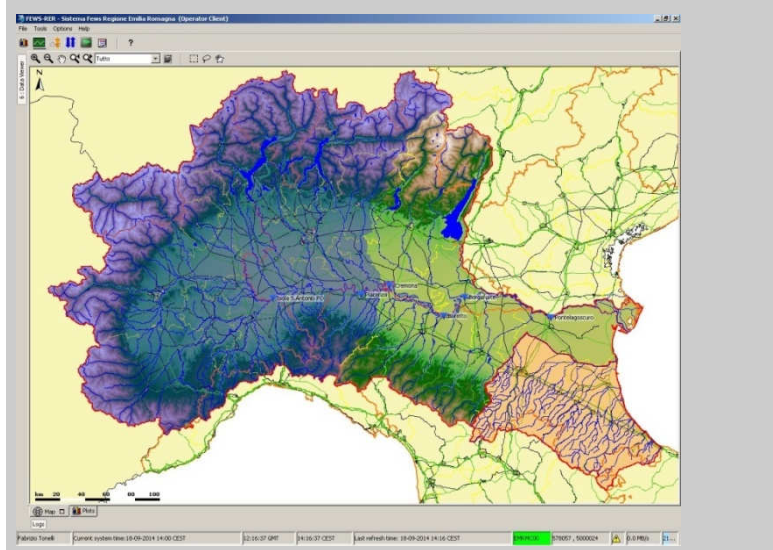


Figura 2 - Ubicazione e caratteristiche della stazione idrometrica di Cremona sul Po.

Stazione idrometrica di:
Boretto
Area sottesa: 55183 Km²
Anno inizio funzionamento: 1943

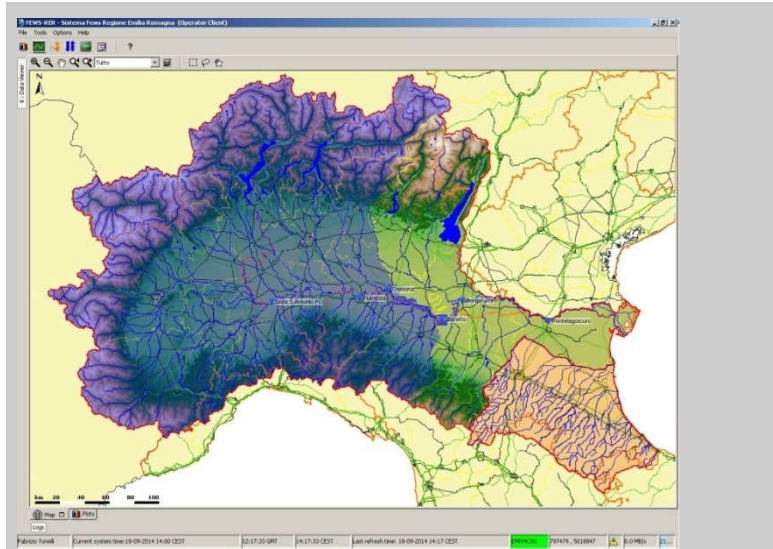


Figura 3 - Ubicazione e caratteristiche della stazione idrometrica di Boretto sul Po.



Stazione idrometrica di:

Borgoforte

Area sottesa: 62450 Km²

Anno inizio funzionamento: 1924

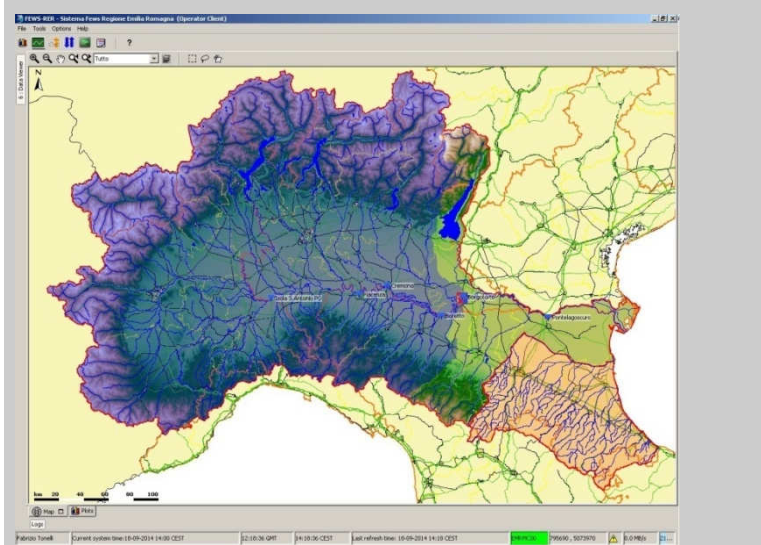


Figura 4 - Ubicazione e caratteristiche della stazione idrometrica di Borgoforte sul Po.

Stazione idrometrica di:

Pontelagoscuro

Area sottesa: 70091 Km²

Anno inizio funzionamento: 1922

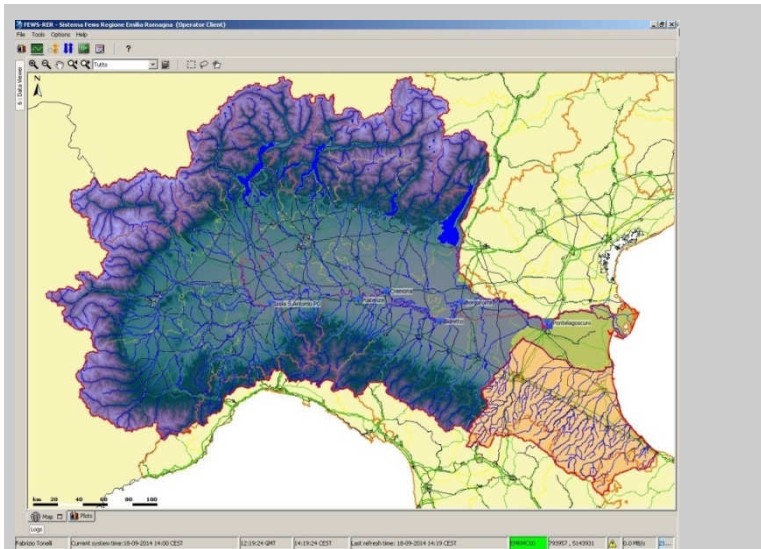


Figura 5 - Ubicazione e caratteristiche della stazione idrometrica di Pontelagoscuro sul Po.

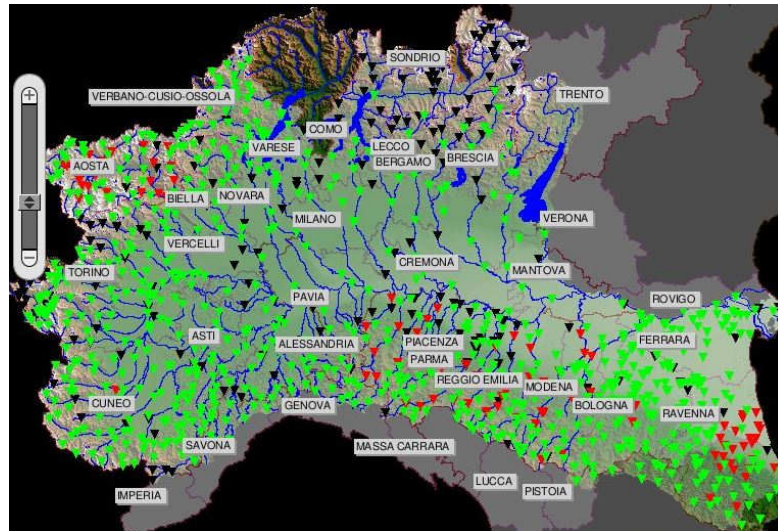


Figura 6 - Rete dei sensori pluviometrici nel distretto del Po

Il grafico di Figura 7 riporta la serie delle precipitazioni annuali ragguagliate all'area del bacino del Po chiuso a Pontelagoscuro dal 1923 al 2013. Seguendo la prassi adottata da L. Cati⁴, sul grafico sono riportate sia la tendenza lineare, che si mostra poco marcata, che la media mobile decennale, la quale evidenzia due intervalli estesi caratterizzati da un valore che si è mantenuto al di sotto della media di lungo periodo, il primo compreso tra il 1944 e il 1958 (piogge a partire dal 1934) ed il secondo che si estende dal 1987 (piogge dal 1978) al momento attuale. I decenni mediamente meno piovosi si sono quelli 1941-1950 e 1989-1998, con un valore medio minimo di 1000 mm/anno. In giallo sono evidenziati gli eventi di siccità/magra fluviale per i quali è stata trovata testimonianza in letteratura.

Si osserva che i quattro maggiori eventi di piena per il Po (1951, 1994, 2000 e 2004) sono occorsi in questi periodi caratterizzati da piovosità al di sotto della media.

In analogia a quanto rappresentato per gli afflussi, in Figura 8 è graficata le serie storica, che si estende dal 1923 al 2010, delle portate medie mensili e medie annue osservate a Pontelagoscuro. Come nel caso degli afflussi pluviometrici sono rappresentate le medie mobili, effettuate su un periodo di 24 mesi per i valori mensili e di dieci anni per i valori annuali – quest'ultima scelta legata all'opportunità di aggiornare la serie del Cati con i valori degli ultimi 40 anni. I trends sono ottenuti per semplice interpolazione lineare.

⁴ Cati L. (1981) - Idrografia e idrologia del Po. Pubblicazione n 19 dell'Ufficio Idrografico del Po. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma

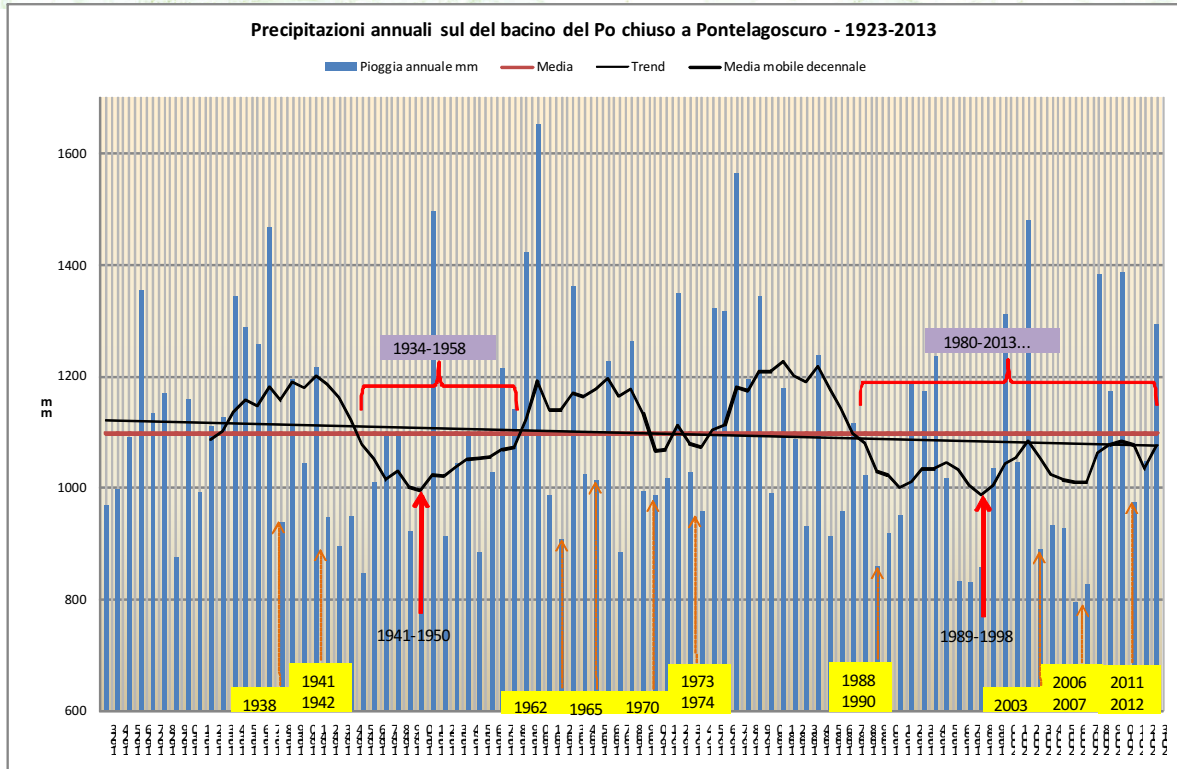


Figura 7 - Serie storica della pioggia annua cumulata sul bacino del Po chiuso a Pontelagoscuro. Le etichette evidenziano il confronto tra il minimo nella media decennale dell'ultimo periodo ed il minimo storico degli anni '40.

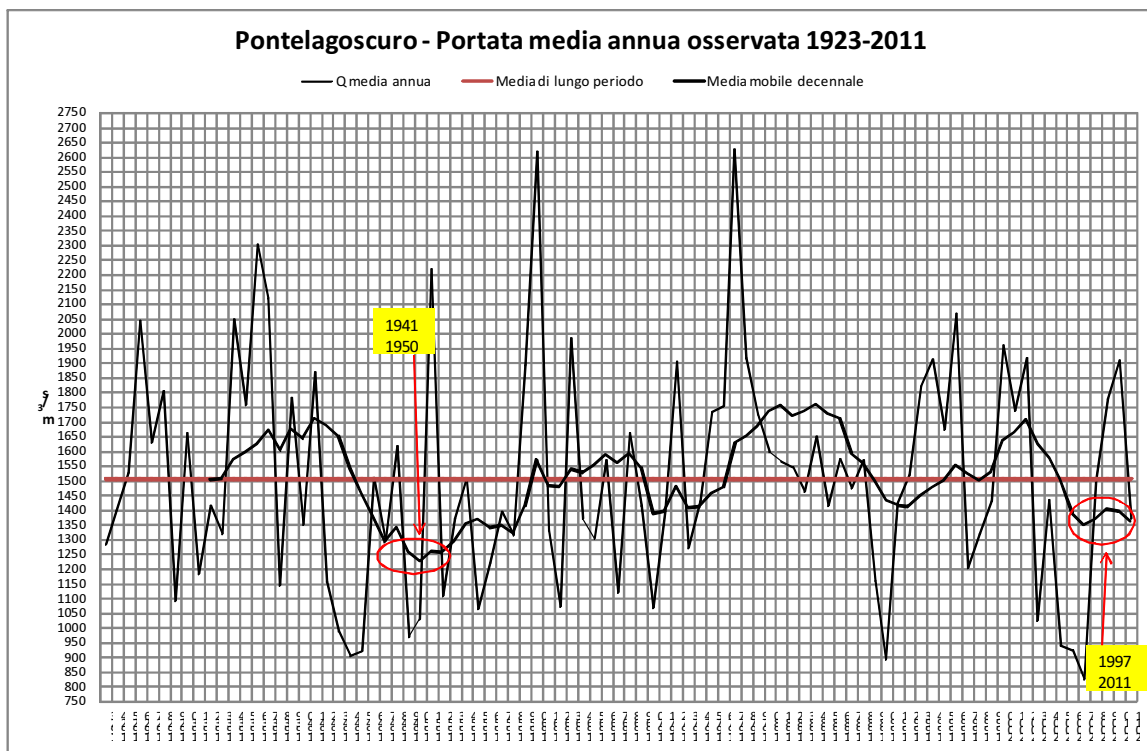


Figura 8 - Andamento della portata media annua misurata a Pontelagoscuro dal 1923 al 2010. Le etichette gialle evidenziano il confronto tra i valori medi decennali dell'ultimo decennio e del decennio critico 1941-1951



2.1. L'Ultimo decennio

Al fine di inquadrare la situazione idrologica degli ultimi dieci anni nel contesto storico, testimoniato dalle pubblicazioni precedenti, sono stati individuati i valori aggiornati di alcune caratteristiche idrologiche di base che costituiscono grandezze di riferimento. Le modifiche del regime idrologico a Pontelagoscuro relativamente agli ultimi dieci anni possono essere dedotte dal grafico di Figura 9, in cui è rappresentato il confronto tra la curva delle durate media dell'ultimo decennio (periodo 2001-2010) e la curva media riferita al periodo precedente dal 1923 al 2000. Come di può osservare, tutte le durate sono state caratterizzate da valori di portata lievemente inferiori. Le differenze, pur essendo modeste in valore assoluto, risultano molto rilevanti nel *range* delle portate di magra (durate superiori a 274 giorni/anno), come evidenziato dall'ingrandimento riportato in Figura 10.

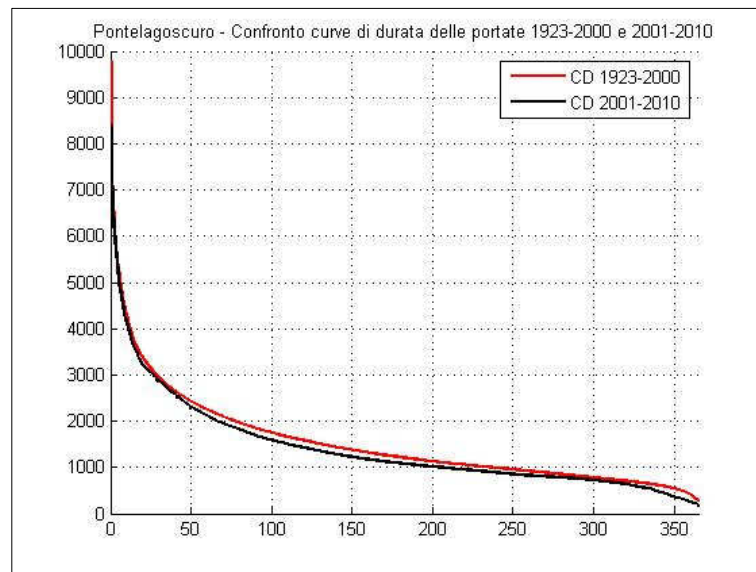


Figura 9 – Confronto tra la curva di durata riferita al periodo 1923-2000 e quella riferita all'ultimo decennio 2000-2010.

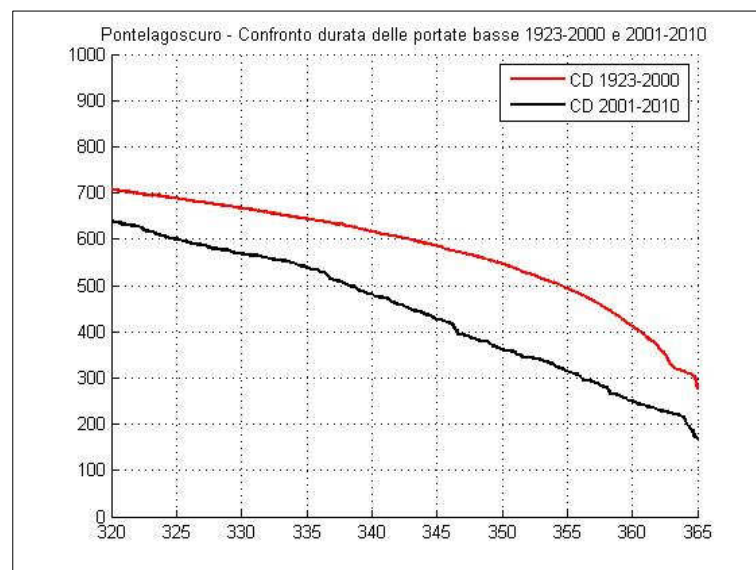


Figura 10 – Dettaglio della Figura 9 per le portate di magra.



In Figura 11 sono riportati e messi a confronto tra loro i parametri caratteristici delle curve di durata relative rispettivamente al periodo 1923-2000 e 2001-2010, con l'intento di evidenziare le differenze tra l'ultimo decennio ed il periodo precedente.

Oltre alla portata media, è riportata la *portata semipermanente*, presente in alveo per almeno la metà del tempo (186,5 giorni/anno), le *portate limite di piena e di magra ordinaria*, con durata pari rispettivamente a 91 e a 274 giorni/anno, utilizzate nella tradizione dell'ex ufficio Idrografico per individuare i relativi stati idrologici, la *portata con durata di 355 giorni/anno*, rappresentativa degli stati di magra straordinari, e la *portata minima assoluta*.

Tutti i valori di riferimento nel decennio 2001-2010 sono stati inferiori alla media storica, dato che non sorprende data la frequenza con cui si sono manifestate crisi idriche nel bacino del Po (20003, 2006, 2007, 2011, 2012).

Gli stessi parametri elencati sono riportati in forma numerica in Tabella 1 - Parametri caratteristici delle curve di durata delle portate relative rispettivamente al periodo 1923-2000 e 2001-2010 - Po a Pontelagoscuro.

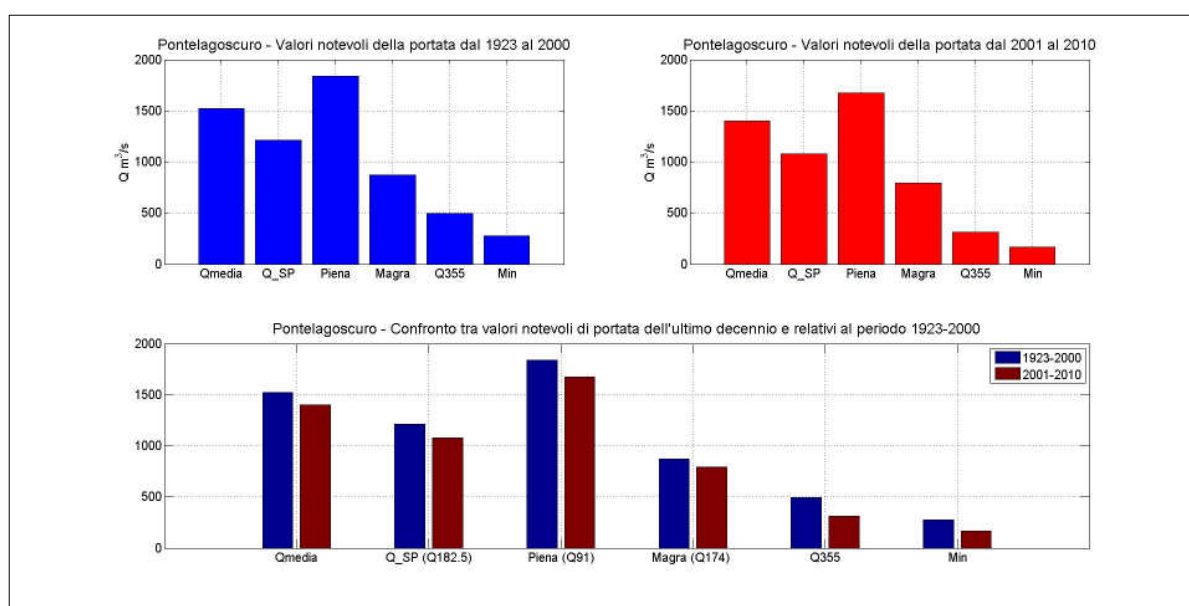


Figura 11 – Riepilogo delle differenze tra i valori notevoli delle curve di durata osservati nell'ultimo decennio (2001-2010) e nel periodo precedente (1923-2000).



Parametro	Valore periodo 1923-2000	Valore periodo 2001-2010
Portata media	1522	1402
Portata semipermanente (corrispondente alla durata di metà anno, 182.5 giorni)	1210	1078
Portata limite di piena (corrispondente alla portata con durata 91 giorni)	1840	1675
Portata limite di magra (corrispondente alla durata di 274 giorni)	874	794
Portata con durata 355 giorni	493	313
Portata minima	275	168

Tabella 1 - Parametri caratteristici delle curve di durata delle portate relative rispettivamente al periodo 1923-2000 e 2001-2010 - Po a Pontelagoscuro.

In Figura 12 è presentato il diagramma della portata con durata 355 giorni/anno, aggiornato, rispetto agli annali dell'Ex Ufficio Idrografico, con i dati del periodo 1975-2010, e la relativa linea di tendenza, ottenuta per semplice interpolazione lineare. Nel 2003 e nel 2006 si sono presentati i due minimi che hanno superato in intensità per due volte successivamente il minimo storico del 1944. Come già osservato da Cati⁵, i *trends* evidenziati non possono essere definitivamente interpretati alla luce dei cambiamenti climatici in corso fino a che non si possa analizzare correttamente anche il *trend* delle portate prelevate dai corsi d'acqua del bacino del Po per fini irrigui nello stesso periodo.

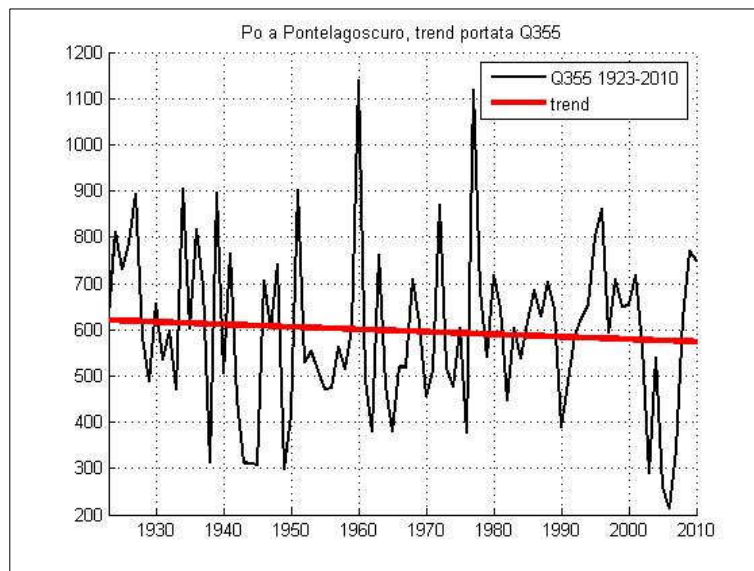


Figura 12 – Andamento della Q355 dal 1923 al 2010.

⁵ "Idrografia e idrologia del Po" - Pubblicazione n. 19 dell'Ufficio Idrografico del Po - Lino Cati, 1981



A partire dall'analisi della serie delle portate medie giornaliere osservate a Pontelagoscuro dal 1923 al 2010, sono stati individuati i valori medi mensili, e successivamente, per ciascun mese, il 25^{imo} e 75^{imo} percentile⁶, al fine di individuare una fascia di variabilità di riferimento per la portata media mensile.

Rispetto a tale fascia di variabilità sono state quindi analizzate le portate medie mensili dal 2000 al 2010, con i risultati riportati in Figura 13. Si osserva che nell'ultimo decennio si sono alternate annate caratterizzate da abbondanza di risorsa idrica, presente in quantità superiore alla media di lungo periodo, e annate secche, con risorsa presente in quantità inferiori alla media di lungo periodo.

⁶ 25% e 75% sono indicati come fascia di ordinarietà dei deflussi nel manuale "Implementazione della Direttiva 2000/60 CE - Analisi e valutazione degli aspetti idromorfologici", ISPRA, 2011.

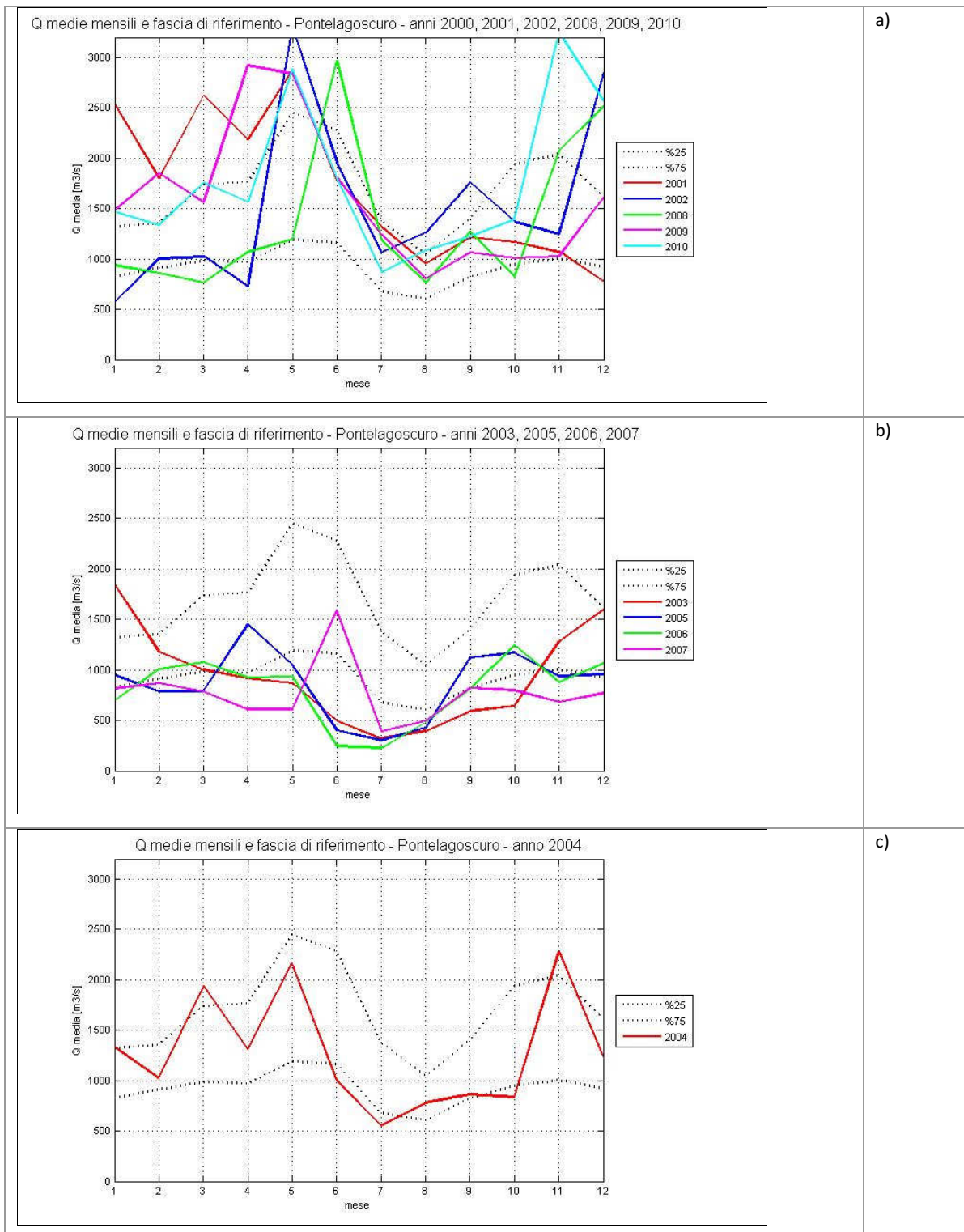


Figura 13 - Andamento delle portate medie mensili generale e per alcune annate del periodo 2000-2010. (a) Annate umide, 2001-2002-2008-2009-2010. (b) annate secche, 2003, 2005, 2006, 2007. (c) annata intermedia 2004.



Lo stesso tipo di analisi è stato condotto considerando gli afflussi mensili sul bacino chiuso a Pontelagoscuro, espressi in milioni di m^3 /mese, individuando quindi la fascia di riferimento e riportando nei grafici gli istogrammi relativi ai singoli anni dal 2000 al 2010, con risultati simili a quelli ottenuti per i deflussi (Figura 14).

Rispetto alla fascia di riferimento si osserva che per quanto riguarda gli afflussi, nel bacino del Po sono individuate le seguenti condizioni pluviometriche di riferimento per la classificazione delle annate:

- anno medio: piovosità corrispondente (superata o non superata) nel 50% dei casi;
- anno scarso: piovosità superata nell'80% dei casi;
- anno molto scarso: piovosità superata nel 90% dei casi.

Si è pertanto preferito fare riferimento al 20^{imo} e all'80^{imo} percentile perché in linea con tali definizioni.

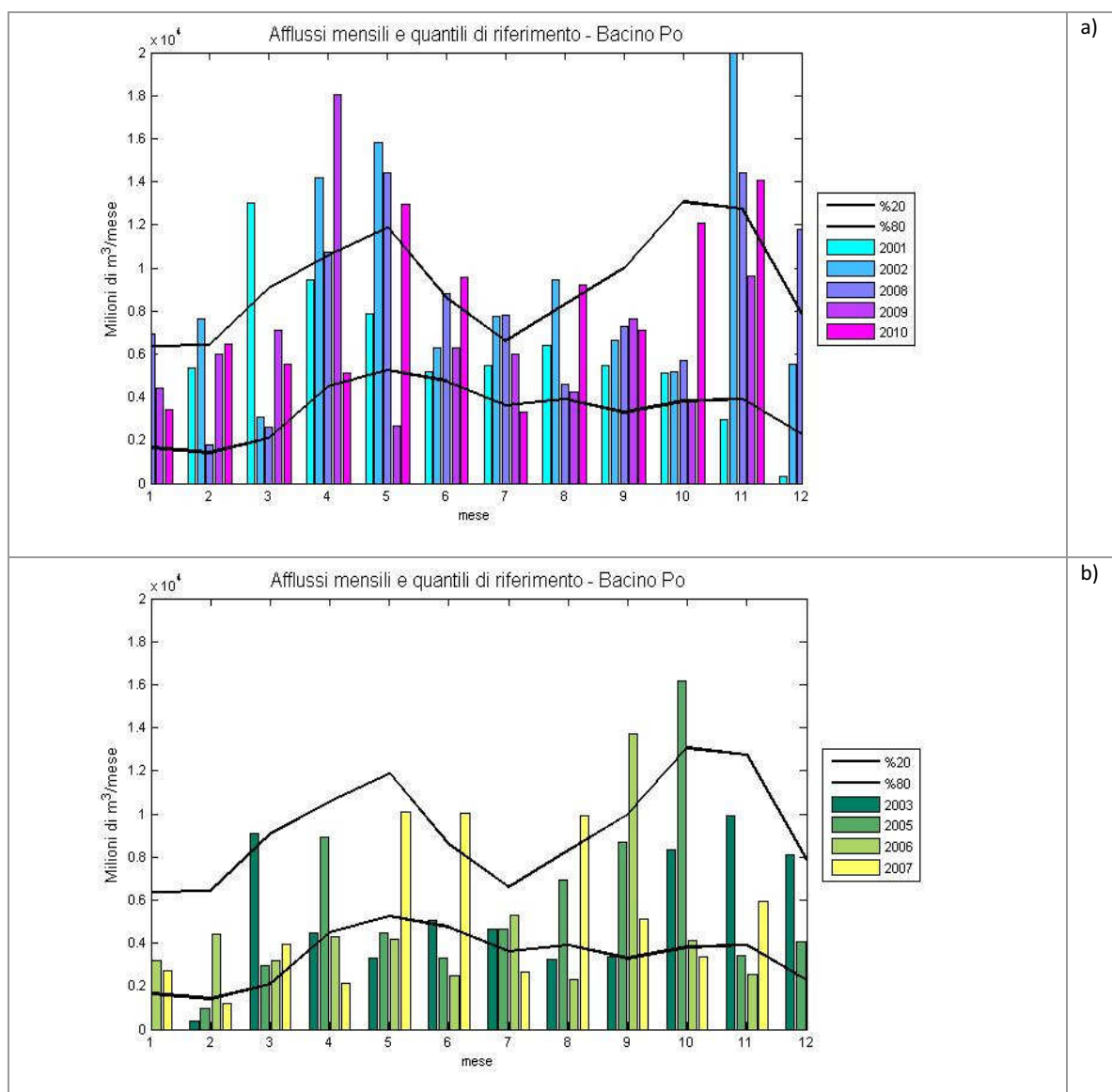


Figura 14 - Andamento degli afflussi mensili (milioni di m^3 /mese) generale e per alcune annate del periodo 2000-2010. (a) Annate umide, 2001-2002-2008-2009-2010. (b) annate secche, 2003, 2005, 2006, 2007.

2.2. Confronto tra portata naturale e prelievi - Carezza idrica

Le analisi delle portate misurate a Pontelagoscuro a partire dal 1923 forniscono il *trend* delle portate effettivamente presenti in alveo, ma non consentono di comprendere la causa di quanto osservato, ovvero di capire se le modifiche del regime siano dovute a modifiche nell'apporto meteorico e nel clima o ad un aumento dei prelievi antropici di risorsa dal Po. La maggior parte di tali volumi viene prelevata per uso irriguo durante la stagione tardo primaverile ed estiva, e anche se essi possono apparire modesti rispetto al bilancio idrologico riferito all'intero anno, se comparati alla disponibilità idrica della stagione in cui sono effettuati risultano di entità tale da poter potenzialmente compromettere il regime naturale del Po.

Nonostante la disponibilità idrica naturale del Po nei mesi di maggio e giugno, superando in media i 5 miliardi di m³/mese, risulti la massima annuale a causa dell'influenza delle aree del bacino a regime alpino o sub-alpino, si stima che mediamente, negli stessi mesi, venga prelevata per fini irrigui circa la metà del volume idrico disponibile, con un prelievo complessivo medio nel mese di giugno equivalente ad una portata di più di 900 m³/s.

L'incidenza dei prelievi sui valori di portata di riferimento, elencati in Tabella 1, è riportata nella Figura 15 sia in termini assoluti che percentuali.

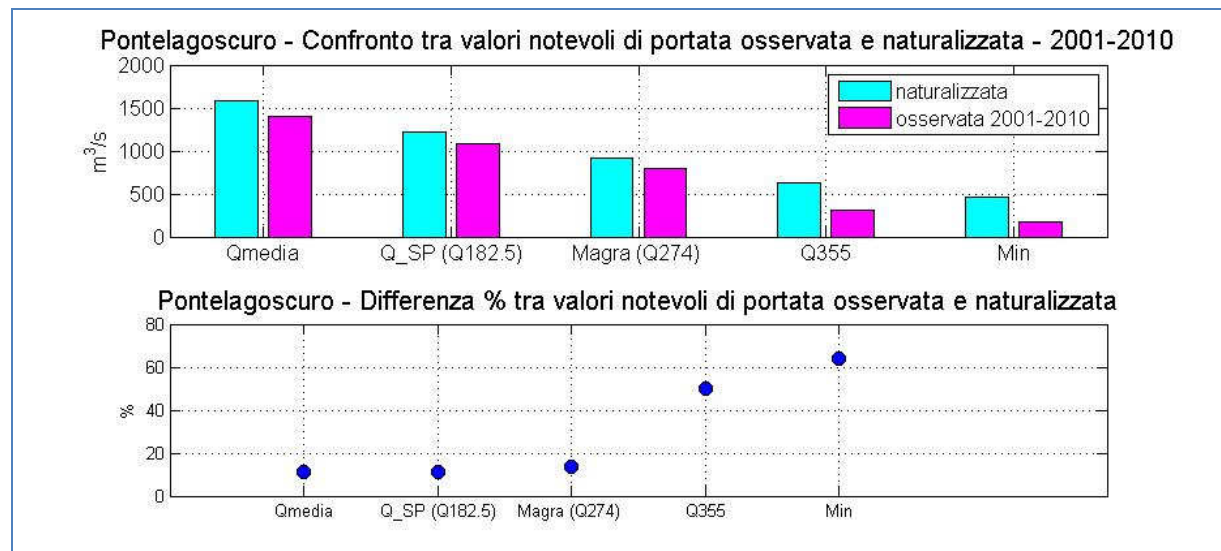


Figura 15 - Effetto dei prelievi di risorsa idrica dai corpi idrici superficiali nel bacino del Po sulle portate caratterizzanti il regime idrologico a Pontelagoscuro

In Figura 16 sono riportati i risultati della ricostruzione dei volumi di deflusso naturale alla stazione idrometrica di Pontelagoscuro, ottenuti dal sistema modellistico DEWS-Po effettuando simulazioni in assenza di prelievi⁷. Nel grafico di Figura 16-(a) i risultati sono rappresentati in termini di volume medio mensile, mentre nel grafico di Figura 16-(b) sono riportate le ricostruzioni della portata media mensile naturale (portata naturalizzata) e la stime della % di essa che viene prelevata mediamente per ciascun mese, complessivamente dai corpi idrici superficiali del bacino a monte di Pontelagoscuro.

⁷ Per una descrizione di dettaglio delle caratteristiche delle simulazioni effettuate, dei dati utilizzati e delle approssimazioni effettuate si rimanda all'Allegato 4 alla Relazione Generale del presente Piano.

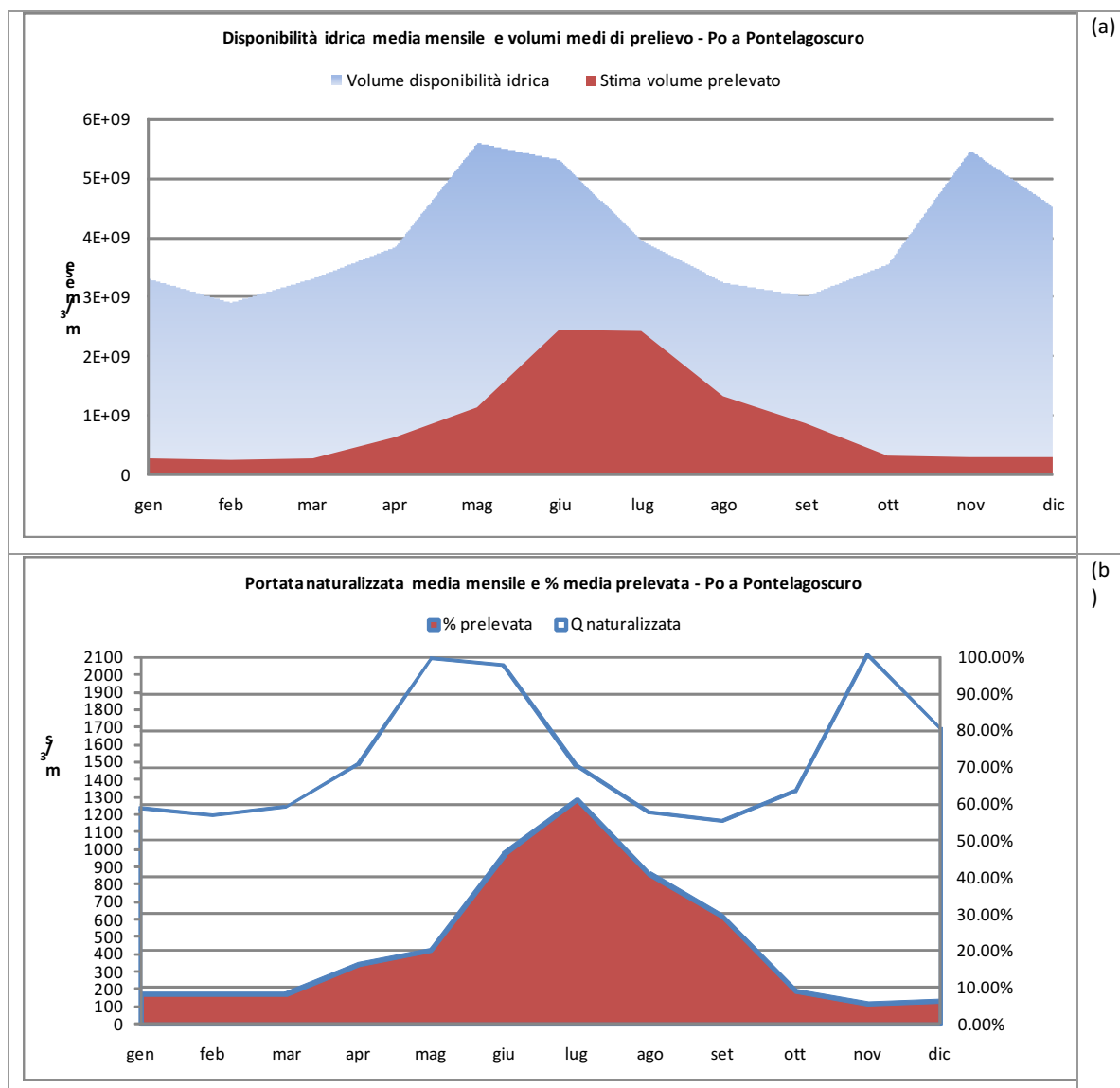


Figura 16 - Andamento medio mensile della disponibilità idrica relativa al bacino del Po chiuso a Pontelagoscuro⁸. (a) Stima del volume medio mensile di portata naturalizzata che defluisce dalla sezione di Pontelagoscuro, e stima del volume medio mensile prelevato complessivamente dai corpi idrici superficiali del bacino a monte. (b) Stima della portata media mensile naturalizzata a Pontelagoscuro e stima della % media prelevata complessivamente dai corpi idrici superficiali a monte.

⁸ Stime effettuate dall'Autorità di Bacino del Fiume Po per il calcolo del bilancio idrico, attraverso l'utilizzo del sistema DEWS-Po.

2.3. Le magre del Po

Per l'analisi delle magre del Po, si sono considerate le serie di portata giornaliera disponibili tra il 1923 e il 2010 per le stazioni di riferimento Piacenza, Cremona, Boretto, Borgoforte, e Pontelagoscuro, ponendo in evidenza i parametri caratteristici dell'evoluzione degli stati di magra nel corso del periodo considerato. I primi risultati che si riportano riguardano l'andamento dei minimi e degli episodi di magra. Sono inoltre riportati:

- i risultati delle analisi degli stati di magra effettuate attraverso il confronto di diversi periodi (1923-1974/1975-2010, e 1923-2000/2001-2010), con l'ausilio del metodo *Index of Hydrologic Alteration*, messo a disposizione da *Nature Conservancy*⁹ al fine di verificare se si sono manifestati *trends* e di inquadrate l'ultimo decennio di osservazioni;
- i risultati delle analisi di frequenza delle magre idrologiche e delle siccità, e le serie storiche di indicatori statistici caratterizzanti le siccità (SPI, SRI, ecc.), effettuate a supporto della realizzazione del sistema DEWS-Po. Questi risultati, anche se prodotti con la diversa finalità di sviluppare il sistema di allerta precoce, costituiscono un importante esempio applicativo: per il quadro informativo e conoscitivo che forniscono, e dal punto di vista dell'innovazione, per l'uso di tecniche di analisi bivariata al fine di associare un tempo di ritorno agli eventi di magra del fiume Po.

Tutti i risultati qui riportati sono ottenuti a partire da serie di portata osservata, pertanto per essi valgono le osservazioni riportate in precedenza circa l'impossibilità di distinguere se le tendenze che si osservano siano imputabili ai cambiamenti climatici o ad una modifica del regime dei prelievi antropici di risorsa idrica dai corpi idrici del bacino (Vedere *Par. 2.2* per approfondimenti). Con riferimento alle soglie utilizzate, occorre specificare che i limiti evidenziati nelle elaborazioni qui riportate non hanno un significato vincolistico, ma costituiscono solo riferimenti generalmente condivisi che aiutano nell'interpretazione delle tendenze e dei risultati. In linea di massima si è fatto riferimento a valori di durata, in base all'approccio basato sull'analisi delle curve di durata delle portate, specificati di volta in volta, o a equivalenti valori di frequenza o probabilità. Nelle analisi dei parametri relativi ai deflussi di base e alle magre estreme, lo stato di magra del fiume Po è stato individuato quando la portata in alveo a Pontelagoscuro è scesa al di sotto della portata con durata 274 giorni (pari a 861 m³ - Vedere Tabella 1 a pag. 17), mentre per la ricognizione degli eventi definiti come *magra estrema* si è utilizzato un valore soglia di 450 m³/s, in quanto tale valore è stato preso a riferimento come soglia limite per il contenimento dei danni derivanti dalle magre del Po durante la gestione in tempo reale degli ultimi eventi che si sono succeduti. Si osserva che lo stato di magra così individuato non presenta la connotazione di evento estremo o di siccità prolungata in quanto si presenta con sostanziale regolarità più o meno tutte le estati, sempre a causa della posizione geografica del Po e della variabilità nel suo regime idrologico che ne deriva. Nei diagrammi di Figura 17, con riferimento all'intero periodo di osservazione dal 1923 al 2010, sono riportati per ciascun anno rispettivamente:

- il minimo annuale della portata media di sette giorni;
- il minimo annuale della portata media di 30 giorni;
- il minimo annuale della portata media di 90 giorni.

Come emerge, tutti e tre i parametri mostrano una tendenza in diminuzione. Un'altra tendenza osservata, anche se non posta in evidenza dai grafici citati, è che il momento all'interno dell'anno in cui tali minimi si presentano era abbastanza distribuito all'inizio della serie (da aprile alla prima quindicina di settembre), mentre risulta in tutti i casi compreso tra il 160 ed il 200 giorno giuliano (fine giugno-fine luglio) alla fine della serie. Dai grafici appare anche evidente la rilevanza del minimo del 2003, che permane come minimo storico anche in Figura 17(c) con un valore di portata media di 90 giorni al di sotto 400 m³/s.

⁹ The Nature Conservancy, 2009 - Indicators of Hydrologic Alteration, Version 7.1 - User's Manual

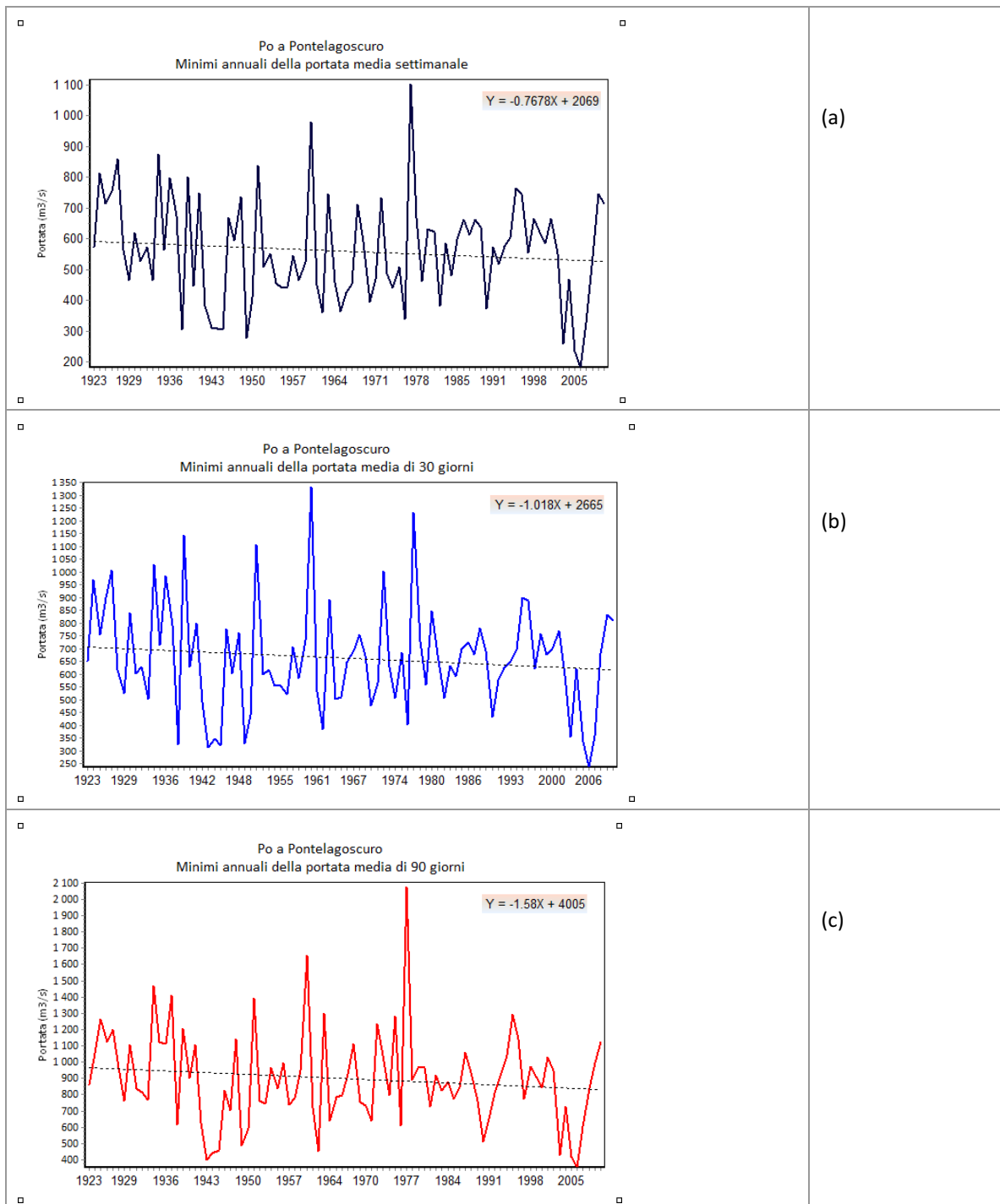


Figura 17 - Po a Pontelagoscuro: andamento dei minimi della portata dal 1923 al 2010. (a) Media di sette giorni (b), media di trenta giorni, (c) media di 90 giorni.



In Figura 19(a) è riportato, per ciascun anno, il numero di volte in cui la portata media giornaliera è scesa al di sotto del valore di soglia di $450 \text{ m}^3/\text{s}$. Si osserva che nel conteggio non è stato posto un limite minimo di durata, pertanto anche superamenti (verso il basso) di un solo giorno sono considerati "eventi di magra estrema".

Oltre ai due picchi della numerosità degli eventi che si presentano rispettivamente negli intervalli 1942-1946 e 2003-2007, si nota la scarsissima presenza di eventi nel ventennio tra il 1982 e il 2002 (3 eventi nel 1990), dato coerente con la natura particolarmente ricca di precipitazioni di quel periodo, che ha visto anche un notevole incremento delle superfici glaciali.

Nella Figura 19 (b) è invece plottato, per ciascuno degli eventi di magra evidenziati nella Fig 19 (a), il numero di giorni in cui la portata media giornaliera è stata inferiore a $450 \text{ m}^3/\text{s}$, cioè la durata dell'evento. La durata media complessiva risulta di circa 8 giorni, e non presenta un trend significativo. Nell'ambito di tutto il periodo, eventi di durata sostanzialmente maggiore della media di lungo periodo se ne contano 8, di cui solamente 3 con durata superiore ai 20 giorni¹⁰. In analogia con quanto osservato relativamente alla bassa incidenza delle magre estreme nel 20-ennio 1982-2002, si osserva che anche il periodo precedente 1951-1981, con l'eccezione del 1962, ha presentato prevalentemente eventi di durata piuttosto modesta.

Nella Figura 19 (c), per ciascuno degli eventi di magra estrema considerati, è riportato il minimo assoluto della portata giornaliera. A differenza degli altri due grafici, in questo è riscontrabile una netta tendenza alla diminuzione delle portate minime assolute, pertanto si deduce che negli ultimi 90 anni gli eventi di magra si sono presentati con frequenza e durata abbastanza costanti, ma con intensità in aumento.

Si osserva anche che l'ultimo decennio, caratterizzato dai minimi storici di portata in alveo a Pontelagoscuro, e da eventi che si sono susseguiti a breve distanza di tempo, è stato preceduto da un periodo che appare, almeno in prima battuta, particolarmente ricco di risorsa che si è esteso per un intervallo di 20-40 anni.



Figura 18 - Fiume Po, località Francolino (Fe) - Magra del 2003¹¹

¹⁰ La sola durata non è completamente esplicitiva dell'entità di una magra, in quanto va interpretata anche alla luce dell'intensità dei minimi di portate che si manifestano.

¹¹ Foto C. Vezzani

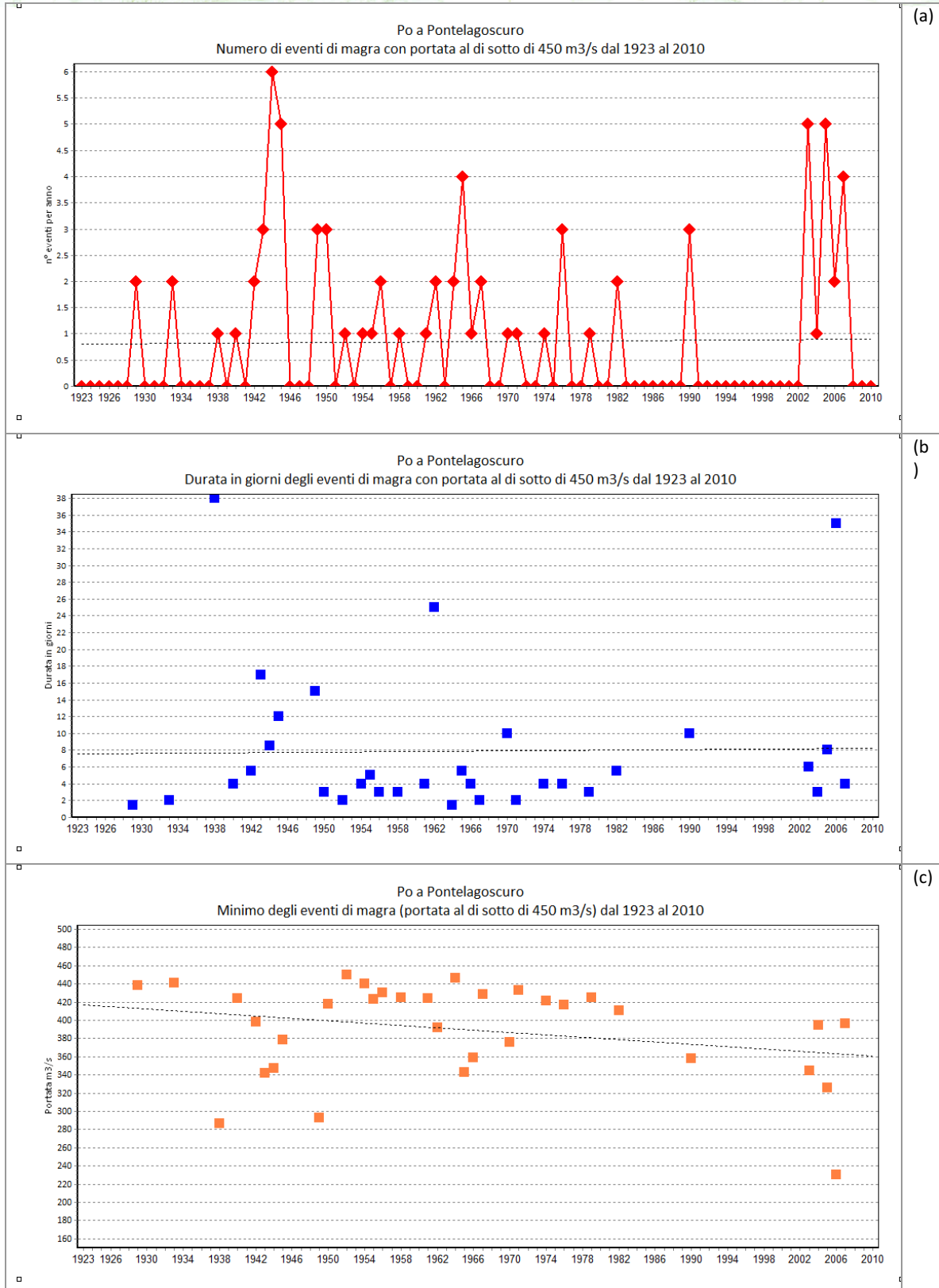


Figura 19 - Po a Pontelagoscuro - (a) Numero di volte per ciascun anno in cui la portata media giornaliera è scesa al di sotto del valore della soglia di 450 m³/s. (b) Durata media in giorni degli eventi con portata media giornaliera al di sotto del valore soglia di 450 m³/s. (c) Minimo annuale degli eventi di magra (con portata al di sotto dei 450 m³/s)





In Figura 20 è riportato il diagramma completo delle portate giornaliere del Po a Pontelagoscuro per il periodo considerato, con valori sull'asse delle ascisse in ordine inverso in modo da rappresentare l'intensità dei minimi. In esso è evidenziato il limite di $450 \text{ m}^3/\text{s}$ per cui si è optato di definire le magre estreme, che sono indicate con colorazione rossa. Gli stati di magra ordinaria, caratterizzati da portate comprese tra $861 \text{ m}^3/\text{s}$ e $450 \text{ m}^3/\text{s}$ sono indicati in verde, mentre in blu tutti i valori di portata superiori a detto limite.

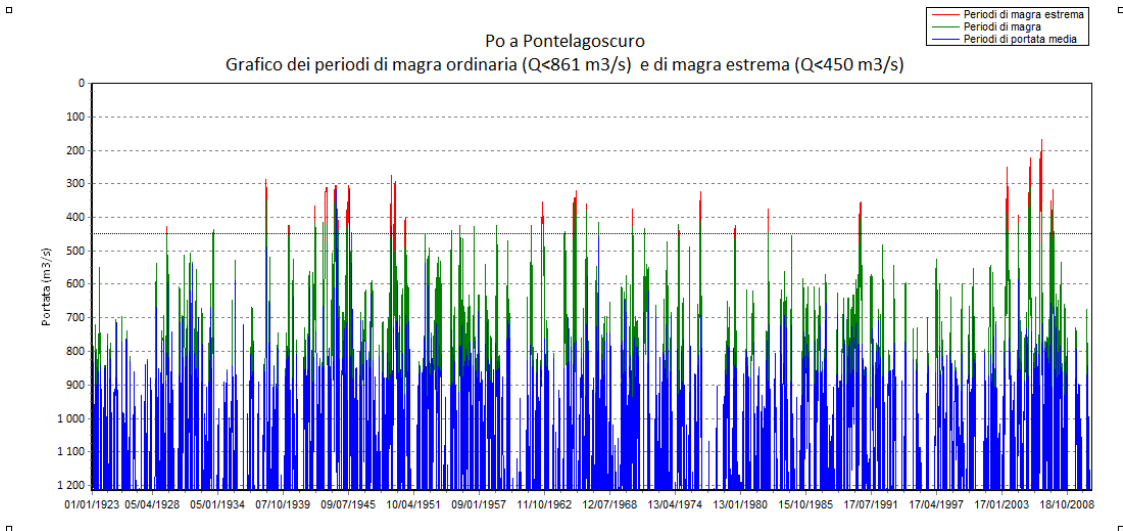


Figura 20 - Po a Pontelagoscuro - Grafico del regime del Po (non sono rappresentati gli stati di piena). Blu: portate nell'ambito del regime ordinario. Verde: portate caratteristiche di stati di magra non estrema ($450 < Q < 861 \text{ m}^3/\text{s}$). Rosso: portate caratteristiche delle magre estreme ($Q < 450 \text{ m}^3/\text{s}$).

Infine, in Figura 21 sono riportate le curve di durata mensili per il periodo estivo (mesi di giugno, luglio e agosto), e titolo di confronto, quella annuale. Come si osserva in giugno le portate del Po sono ancora nettamente superiori alla media annuale, in quanto è ancora presente l'influenza dello scioglimento nivale nei bacini a regime nivo-glaciale. Solo i mesi di luglio e agosto presentano portate al di sotto della media annuale.

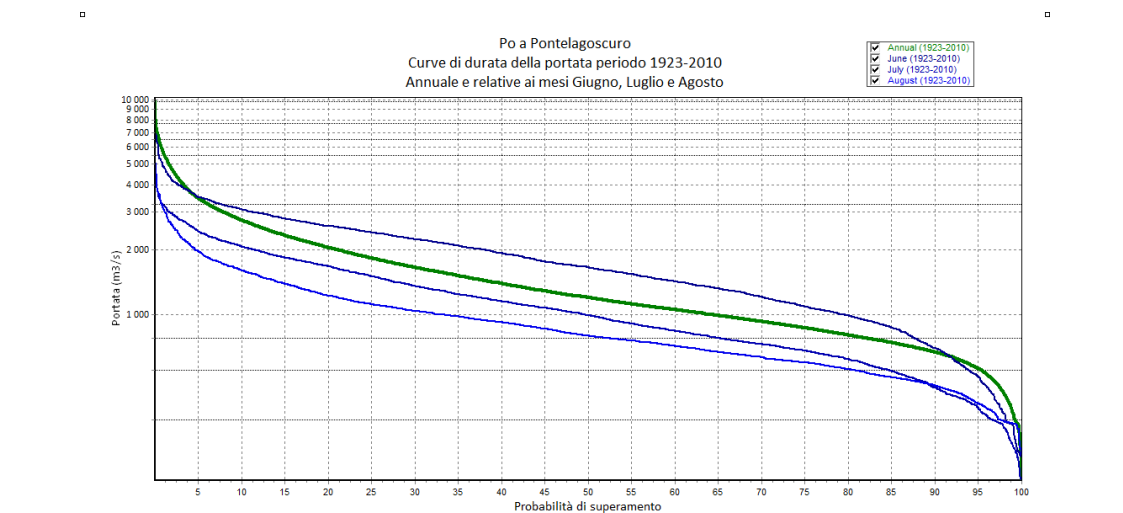


Figura 21 - Po a Pontelagoscuro - Curve di durata delle portate mensili per il periodo estivo, calcolate per il periodo 1923-2010. In verde è riportata la curva di durata annuale.



2.4. Analisi dell'evoluzione del regime di magra con metodo IHA

Per completare l'analisi presentata degli stati di magra del Po sono stati condotti due approfondimenti riguardanti il confronto tra periodi diversi, con il fine di valutare se e in che modo i parametri caratterizzanti i regimi di magra si sono modificati nell'arco dell'ultimo secolo.

Il primo confronto è stato effettuato tra il periodo dal 1923 al 1974 e il periodo dal 1975 al 2010: il primo dei due periodi (1923-1974) è infatti l'ultimo per il quale sono disponibili dati e risultati di analisi sulle magre prodotti dall'Ex Ufficio Idrografico¹². Successivamente, per continuità con quanto effettuato nei paragrafi precedenti, è stato confrontato il decennio 2001-2010 con il periodo 1923-2000.

Per le analisi è stata utilizzata la metodologia "*Indicators of hydrologic alteration*" (IHA), sviluppata da *Nature Conservancy* per lo studio del regime idrologico dei corsi d'acqua. Essa si basa, al livello di applicazione più semplice, su calcolo e analisi di 33 parametri detti fondamentali, deducibili dalle serie storiche di portata media giornaliera, a loro volta riuniti in cinque gruppi che fanno diretto riferimento a componenti caratteristiche del deflusso.

I 33 parametri del metodo IHA e la loro categorizzazione sono descritti in Tabella 2. Come appare immediatamente da essa, alcuni di essi 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.

¹² Cati L. (1981) - Idrografia e idrologia del Po. Pubblicazione n 19 dell'Ufficio Idrografico del Po. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma



N°	Indicatore 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 un giorno	Entità e durata delle condizioni estreme del deflusso durante l'anno
14	Portata minima annuale, media di tre 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 un giorno	
19	Portata massima annuale, media di tre giorni	
20	Portata massima annuale, media di 7 giorni	
21	Portata massima annuale, media di 30 giorni	
22	Portata minima annuale, media di 90 giorni	
23	Numero di giorni con deflusso zero	
24	Indice del deflusso di base, (portata minima 7gg/portata media annuale)	
25	Data (calendario Giuliano) della portata massima giornaliera	Temporalità delle condizioni estreme
26	Data (calendario Giuliano) della portata minima giornaliera	
27	Numero di periodi di portata ridotta negli anni di osservazione (superamento per difetto di un valore soglia)	Frequenza e durata dei "picchi" di portata
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 soglia)	
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	Tasso di variazione e frequenza dei cambiamenti delle condizioni di deflusso
32	Tassi di esaurimento: media o mediana delle differenze negative di portata tra un giorno e il successivo	
33	Numero di passaggi da parodi con portate crescenti a periodi con portate decrescenti.	

Tabella 2 - Parametri del regime idrologico utilizzati dal metodo IHA per lo studio dell'alterazione idrologica.

Un secondo livello di analisi comporta l'interpretazione dei valori di alcuni dei parametri elencati nella Tabella 2, e di alcuni aggiuntivi, rispetto a cinque "classi" di deflusso, rispetto alle quali può essere scomposto l'idrogramma storico complessivo:

- deflussi di base;
- magre estreme;
- portate intermedie e formative senza esondazione;
- piene ordinarie;
- piene straordinarie.



Le cinque classi prendono il nome di “Componenti ambientali del deflusso” (*Environmental Flow Components*, EFC). La Tabella 3 contiene l’elenco delle EFC ed i parametri idrologici utilizzati per definirle.

EFC	Parametri idrologici
Deflussi di base (mensili)	Portata media o mediana mensile storica (12 valori)
Magre estreme	Frequenza: numero di periodi magra estrema negli anni di osservazione (superamento per difetto di un valore soglia)
	Media o mediana della durata 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 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 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 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

Tabella 3 - Environmental Flow Components definiti nell’ambito della metodologia IHA

La Figura 22 mostra il confronto tra i minimi giornalieri dei due periodi analizzati, mostrando l’assenza di differenze significative se si considera il confronto (*a*) relativo i periodi 1923-1974 e 1975-2010; dal grafico



(b) relativo ai periodi 1923-1000 e 2001-2010 si evince invece una maggiore variabilità verso il basso del minimo giornaliero, ed un leggero abbassamento della mediana decennale rispetto alla mediana del periodo precedente, effetto evidentemente legato alla presenza, nel decennio, dell'evento minimo storico del 2006 e delle magre estreme del 2005 e del 2003, e del 2007.

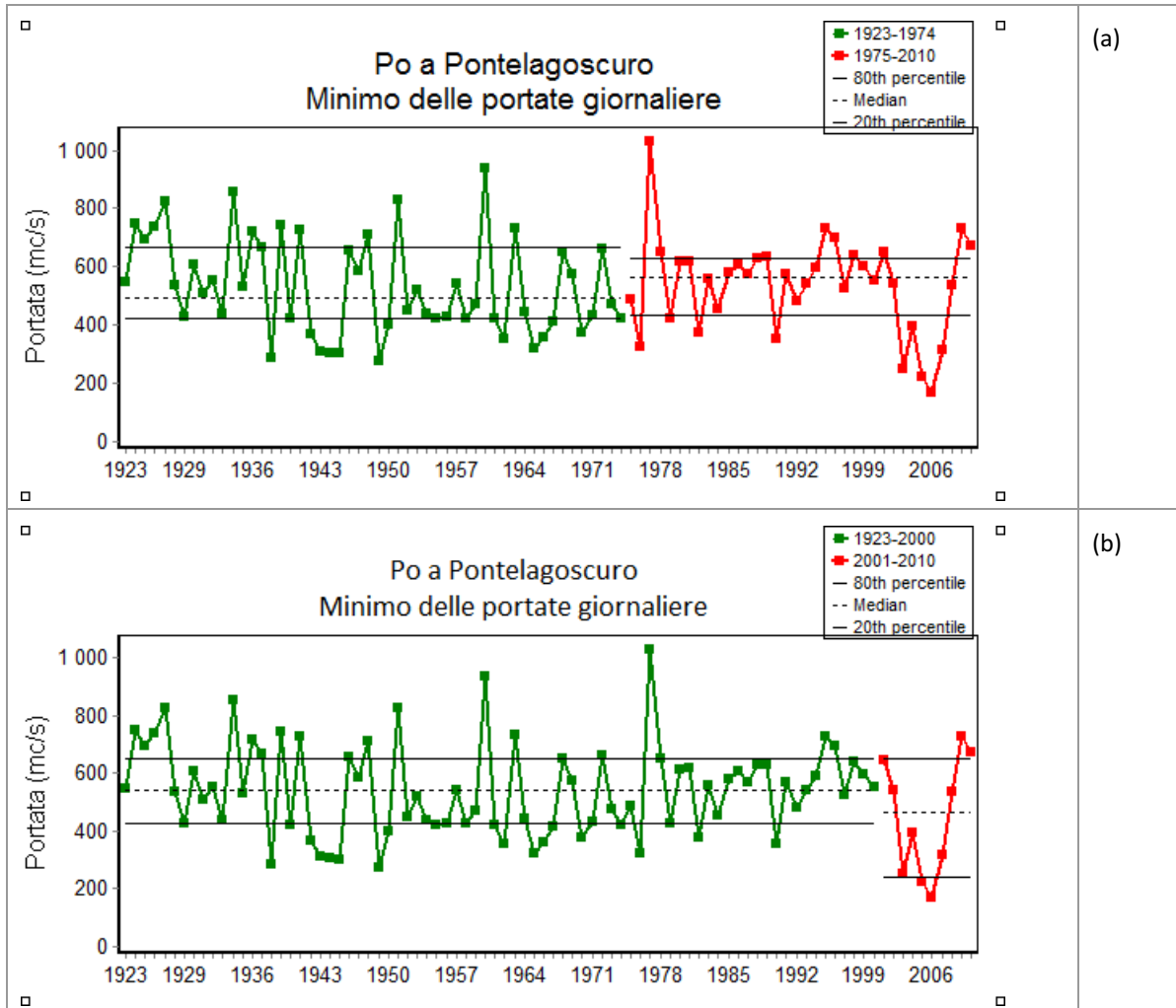


Figura 22 - Confronto tra le serie di minimi annuali delle portate giornaliere osservate a Pontelagoscuro - (a) relative ai periodi 1923-1974 e 1975-2010 - (b) Relative ai periodi 1923 -2000 e 2001-2010.



La Figura 23 mostra il confronto, negli stessi periodi, del minimo delle portate medie di 30 giorni, ottenute come media con finestra mobile sulla serie delle portate giornaliere, senza evidenziare particolari differenze in nessuno dei due casi.

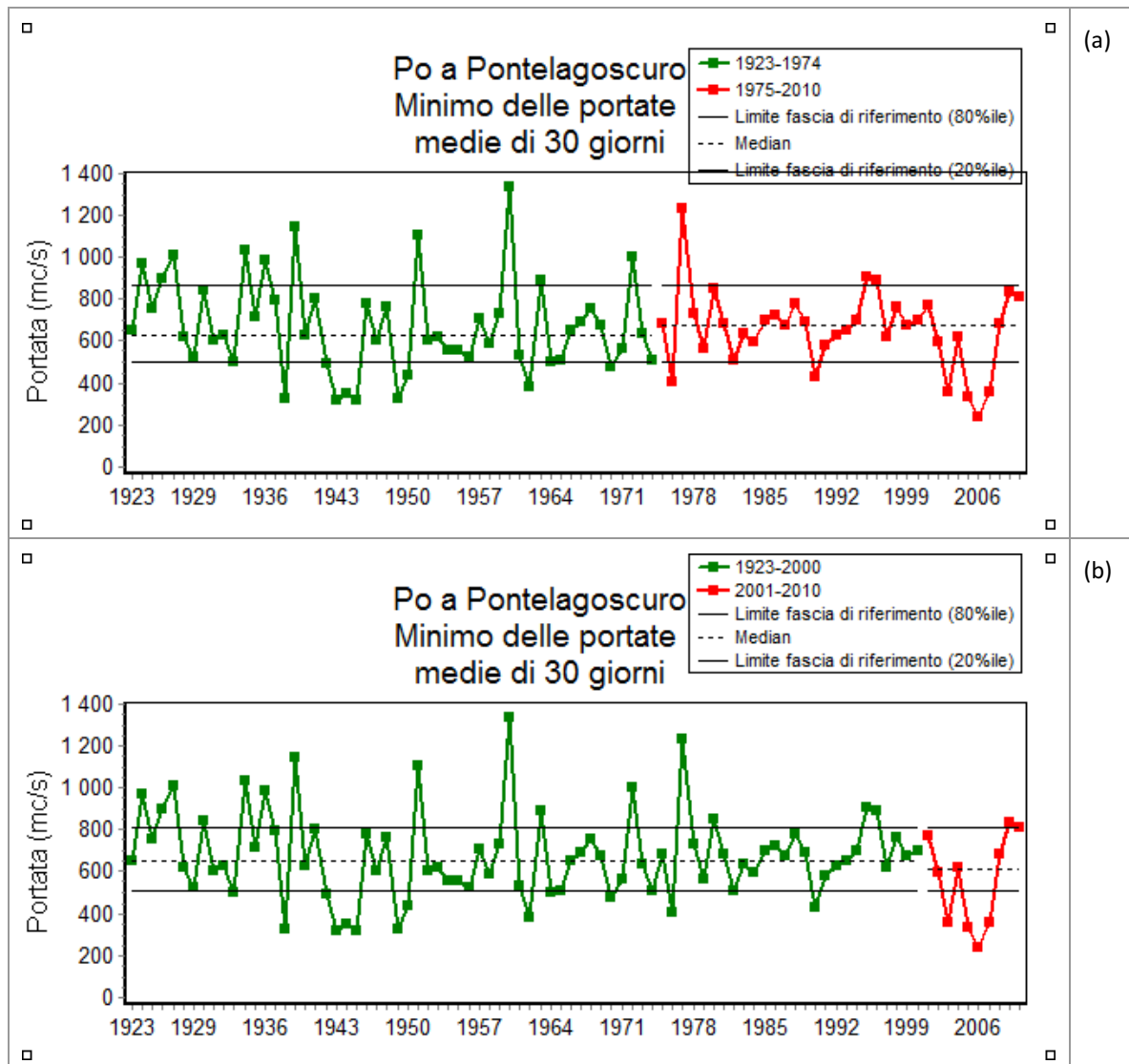


Figura 23 - Confronto tra le serie dei minimi annuali delle portate medie di 30 giorni osservate a Pontelagoscuro - (a) relative ai periodi 1923-1974 e 1975-2010 - (b) Relative ai periodi 1923 -2000 e 2001-2010.



In Figura 24 la stessa rappresentazione riguarda la portata media del mese di luglio, per la quale emerge invece un diminuzione piuttosto drastica dal confronto tra i periodi 1923-2000 e 2001-2010 (b)). Per quanto riguarda il grafico di Fig. 24 (a), si osserva che la tendenza alla diminuzione dell'ultimo decennio ha compensato la tendenza all'aumento del periodo precedente 1975-2000, cui si è accennato anche al paragrafo precedente.

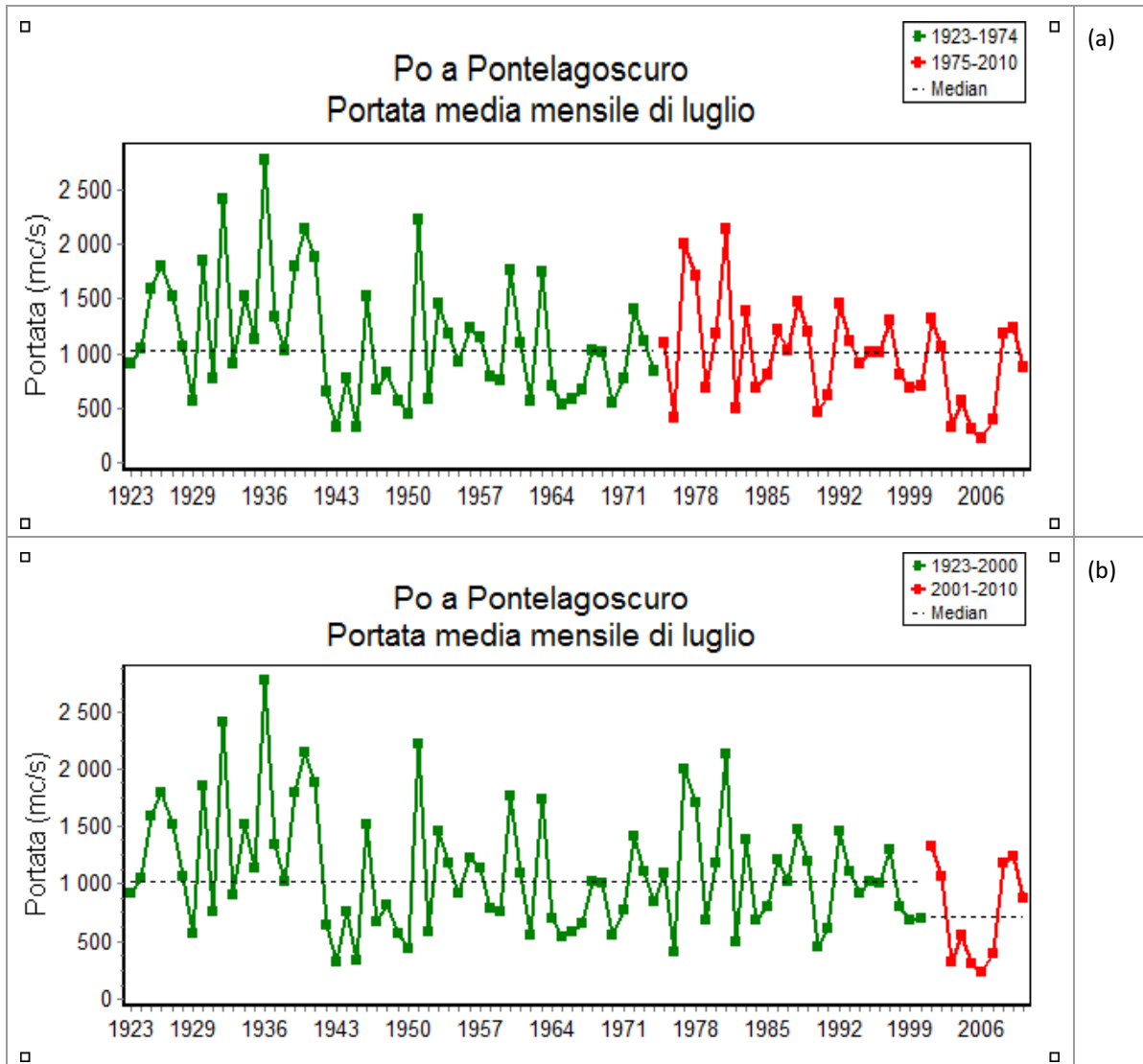


Figura 24 - Confronto tra la portata media mensile del mese di luglio osservata a Pontelagoscuro - (a) relativa ai periodi 1923-1974 e 1975-2010 - (b) Relativa ai periodi 1923 -2000 e 2001-2010.

Per approfondire l'analisi delle portate medie mensili, si riporta in Figura 25 la rappresentazione dei confronti delle portate medie mensili. Mentre dal primo grafico emerge che nei mesi caratterizzati da portate abbondanti per il Po il periodo 1975-2000 ha visto un incremento, restando invece invariato nei mesi estivi, nel grafico di Figura 25 (b) emerge la frequente riduzione delle portate medie nel decennio 2001-2010, che colpisce i mesi autunnali di ottobre e novembre, ma soprattutto il mese di luglio, la cui corrispondente media si posiziona al limite minimo della fascia di variabilità del periodo precedente.

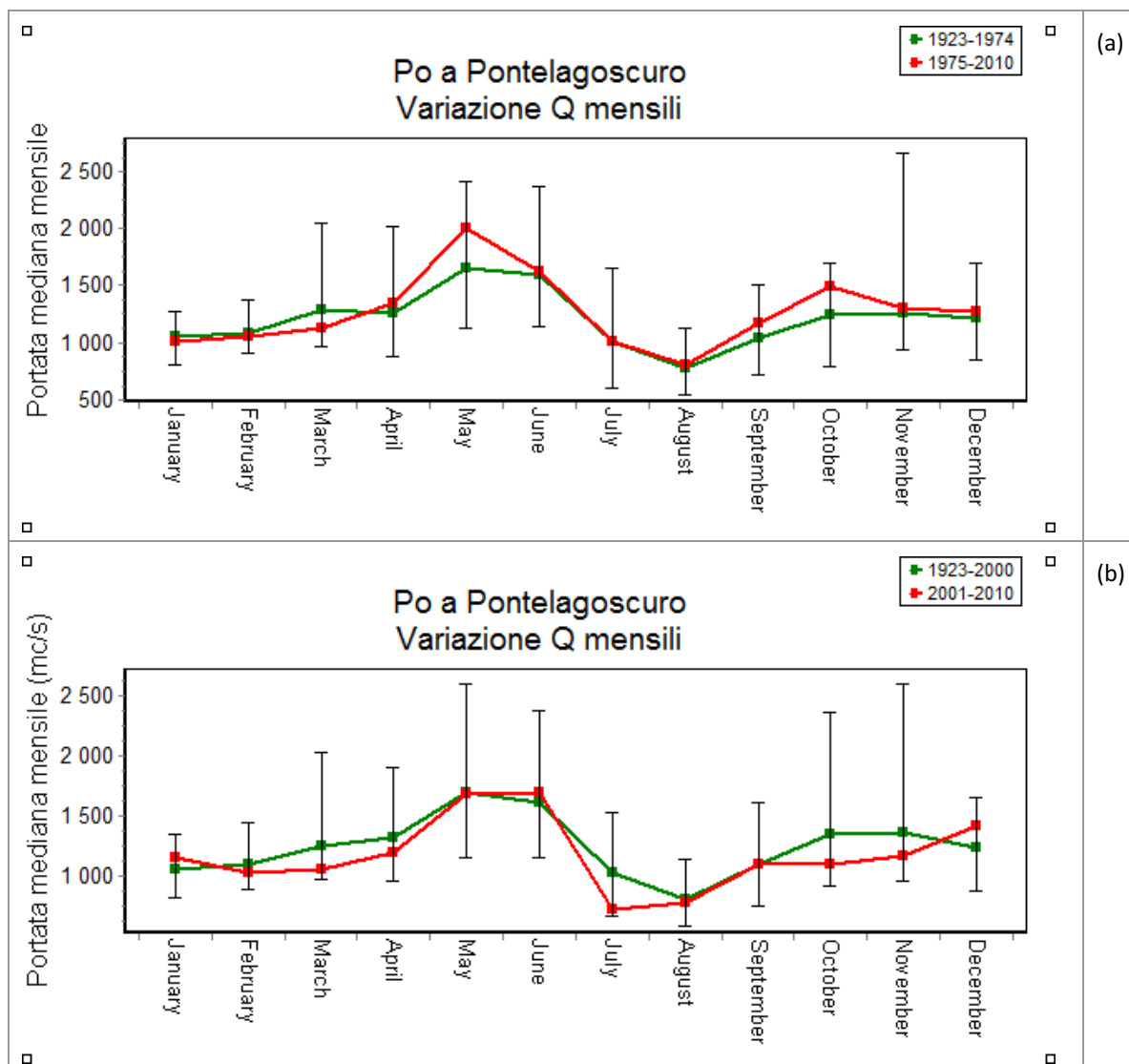


Figura 25 - Confronto tra le portate medie mensili osservate a Pontelagoscuro - (a) relativa ai periodi 1923-1974 e 1975-2010 - (b) Relativa ai periodi 1923 -2000 e 2001-2010.



Come ultimo risultato si riportano i grafici dell'alterazione idrologica complessiva relativamente ai due confronti effettuati. Per la lettura dei grafici occorre sapere che per ciascun parametro vengono calcolati tre *ranges* di valori, corrispondenti rispettivamente a valori bassi, medi ed elevati, la cui ampiezza dipende dalla variabilità totale osservata del parametro nel periodo di riferimento. Con riferimento ad esempio alla portata minima annuale illustrata in Figura 22 viene calcolata per ciascun periodo la frequenza dei valori che ricadono al di sopra, all'interno e al di sotto dei limiti della fascia di riferimento.

Tale valore per il primo dei periodi del confronto (es: 1923-1974 e 1923-2000, rispettivamente Figura 22 (a) e (b)) è assunta come frequenza di controllo. Viene calcolata quindi la frequenza osservata dei valori che sono ricaduti all'interno di ciascuno degli stessi *ranges* durante il periodo da confrontare, e viene calcolata l'*alterazione idrologica (hydrologic alteration, HA)* con la formula:

$$HA = (\text{frequenza II periodo} - \text{frequenza di controllo}) / \text{frequenza di controllo}$$

Quindi un valore positivo di HA, relativamente ad uno dei tre *ranges*, significa che durante il periodo di confronto si è manifestato un numero maggiore di valori che sono ricaduti in quel *range* rispetto al periodo di riferimento. Il massimo dell'alterazione verso valori bassi corrisponde ad un valore di HA pari a -1. Purtroppo, al massimo di alterazione verso valori elevati (portate medie in aumento, o frequenza di un certo evento in aumento) non corrisponde un valore finito, potendo l'indicatore variare da -1 a infinito, e questo è indubbiamente un limite del metodo. Questa analisi di alterazione basata sul confronto tra due periodi può essere effettuata in contemporanea per tutti i parametri, e dare origine al grafico di Figura 26 che offre una visione di insieme dell'alterazione idrologica. In Fig 26 (a), per semplificare la lettura, sono riportati solo i valori di alterazione rilevanti.

Mentre il grafico di Figura 26 (a), relativo al confronto tra il periodo 1923-1974 ed il periodo 1975-2010 non mostra segnali di alterazione molto forti, e con segno abbastanza casuale, il diagramma di Figura 26(b) mostra chiaramente le variazioni delle componenti ambientali del deflusso tra i periodi 1923-2000 e 2001-2010, che manifestano un tendenza evidente alla diminuzione.



Figura 26 - Variazione delle Componenti Ambientali del Deflusso (*Environmental Flow Components, EFC*) - (a) relativa ai periodi 1923-1974 e 1975-2010 - (b) Relativa ai periodi 1923 -2000 e 2001-2010.

2.5. Siccità: indici e analisi bivariata di frequenza

Rimandando alla relazione generale per una sintesi teorica del fenomeno della siccità e la presentazione del relativo glossario e degli indici comunemente in uso per monitorarla, si riportano qui alcuni risultati di uno studio concluso nel 2010 a supporto dello sviluppo del Sistema DEWS-Po, in cui le siccità nel distretto sono state analizzate in termini di frequenza, ricercandone il tempo di ritorno, in analogia all'approccio adottato tradizionalmente per le piene.

La definizione del tempo di ritorno per un episodio di siccità non è semplice come per l'evento di piena: la siccità si innesca lentamente, e, a differenza della piena, non è caratterizzata sostanzialmente dall'*intensità del fenomeno*, ovvero dal valore minimo assunto dalle variabili di riferimento pioggia e portata fluviale, quanto dalla durata nel tempo. Parlando di siccità è importante definire la scala temporale del fenomeno: ad esempio, nel caso di siccità meteorologica, si considerano le precipitazioni medie su un certo intervallo di tempo (tipicamente 3 mesi) e si confrontano con i valori medi di lungo periodo. Tipicamente si parla di siccità su scale temporali molto diverse, che vanno da un minimo di un mese fino a ricomprendere diversi anni, con differenti impatti sugli altri tipi di siccità. Una carenza di piogge prolungata per molti mesi avrà effetti sulla portata dei corsi d'acqua; mentre sulla scala di uno o due anni avrà impatto anche sulla ricarica delle falde acquifere. Se portate fluviali più basse del valore cui ci si è riferiti per individuare la magra estrema permangono per periodi brevissimi non si ha una siccità idrologica, ma solo un momentaneo superamento della soglia critica che potrebbe non avere conseguenze negative sull'ambiente e sugli usi del bacino.

Pertanto, per lo studio delle siccità del Po si è posta l'attenzione sulle siccità meteorologica ed idrologica, tralasciando in prima battuta la siccità agricola e socio-economica per le quali non si hanno attualmente i dati necessari. Per caratterizzare la siccità meteorologica si sono considerati il "metodo dei decili" e lo "*Standardized Precipitation Index*" (SPI); mentre per la caratterizzazione della siccità idrologica, si è utilizzato l'indice denominato "*Standardized Runoff Index*" (SRI)¹³. Questi metodi forniscono indici sintetici di una certa utilità pratica, ma non forniscono misure oggettive in grado di caratterizzare in modo esauriente la frequenza dei fenomeni siccitosi. Quindi si è provveduto ad un'analisi in frequenze delle siccità, sia tramite un approccio univariato, relativo cioè ad una variabile aleatoria indipendente, sia con un più avanzato approccio multivariato, che consente di valutare sia l'intensità che la durata del fenomeno, una volta definito l'evento siccitoso attraverso un'analisi a soglia.

E' stata poi effettuata l'analisi dei massimi annuali dei periodi non piovosi. Le metodologie utilizzate ed i risultati sono esposti con completezza nell'Allegato 4 del Presente Piano, relativo alla descrizione del sistema DEWS-Po. Di seguito si riportano le parti dello studio che si ritiene aggiungano informazioni utili a quanto già proposto.

Nel seguito quale variabile idrologica di interesse si considererà la portata fluviale Q , e la soglia verrà indicata con q_D . Ogni evento siccitoso risulterà quindi caratterizzato da due variabili aleatorie: la durata D (in giorni) e il *deficit cumulato o severità* S (in m^3), così come schematizzato in Figura 27.

¹³ Si rimanda all'Allegato 5 della Relazione Generale al presente Piano, ed all'ampia letteratura specifica per la definizione e gli approfondimenti sugli indici qui citati.

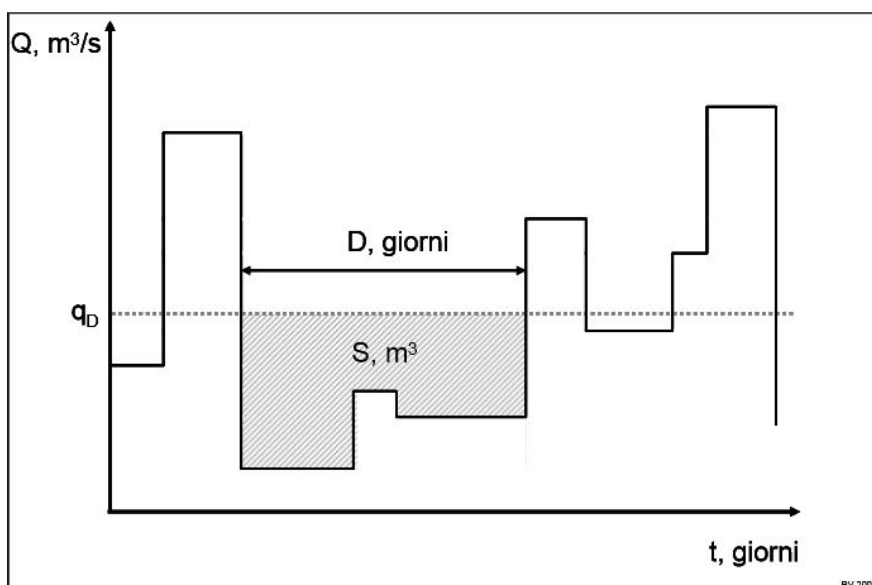


Figura 27 - Schema delle variabili aleatorie che definiscono un episodio di siccità idrologica (magra fluviale) del Po.

Per ciascuna di esse è stata effettuata l'analisi di frequenza univariata, seguita dall'analisi bivariata che permette il calcolo del cosiddetto *periodo di ritorno secondario*, $\rho_T(D,S)$, che rappresenta il tempo medio che intercorre tra due eventi siccitosi di entità pari o superiore a quella identificata dalla coppia (D,S) in termini di durata e severità.

Il caso di studio ha riguardato l'analisi delle serie storiche di precipitazione areale e portata in relazione a cinque delle sei stazioni idrometriche di riferimento per il bilancio idrico dell'asta del Po: Piacenza, Cremona, Boretto, Borgoforte, e Pontelagoscuro (Figura 28)¹⁴.



Figura 28 - Stazioni utilizzate per l'analisi bivariata di frequenza delle magre del Po

¹⁴ Per le descrizioni esatte delle serie considerate nello studio, si rimanda all'Allegato 5 alla Relazione Generale del presente Piano.

Sono stati quindi calcolati i seguenti indici:

- indici del metodo dei decili e SPI per le serie pluviometriche;
- indice SFI e analisi di frequenza degli eventi di magra per le serie di portata.

Il primo e quarto decile corrispondenti alle stazioni pluviometriche di Piacenza, Cremona, Boretto, Borgoforte e Pontelagoscuro sono riportati in Tabella 4. Il metodo dei decili è molto semplice e permette una prima identificazione dell'esistenza e della durata di una siccità senza però dare alcuna indicazione sulla severità della medesima. Si noti che non esiste un valore di soglia unico alla scala del distretto per identificare l'inizio e la fine dell'evento siccitoso, ma valori locali anche molto differenti tra loro, pur notandosi una maggiore variabilità sul primo decile rispetto al quarto che assume un valore a 130 mm in tutte le stazioni tranne Cremona.

Sito	$\Pi = 0.10$	$\Pi = 0.40$
Piacenza	49.8	138.0
Cremona	99.2	171.3
Boretto	80.0	134.2
Borgoforte	49.0	128.0
Pontelagoscuro	79.2	129.6

Tabella 4 - I e IV decile di precipitazione areale relativi ai sottobacini del Po chiusi alle stazioni idrometriche indicate.

Successivamente sono state calcolate le serie storiche di SPI a 1, 3, 6, 12, 24 mesi, sia puntualmente che come pioggia areale sui bacini chiusi nelle stazioni idrometriche di riferimento per il presente piano. L'indice SPI permette di caratterizzare una magra non solo come durata ma anche in termini di severità massima da intendersi come valore di SPI, permettendo di confrontare due eventi non solo in termini di durata. Inoltre essendo l'indice SPI calcolato con più passi di aggregazione è possibile stimare la persistenza di un periodo di siccità. La Figura 29 riporta, a titolo esemplificativo, i risultati per la sezione di Piacenza: i periodi di siccità sono stati distinti dai periodi non siccitosi in maniera binaria attribuendo "1" ai primi e "0" ai secondi.

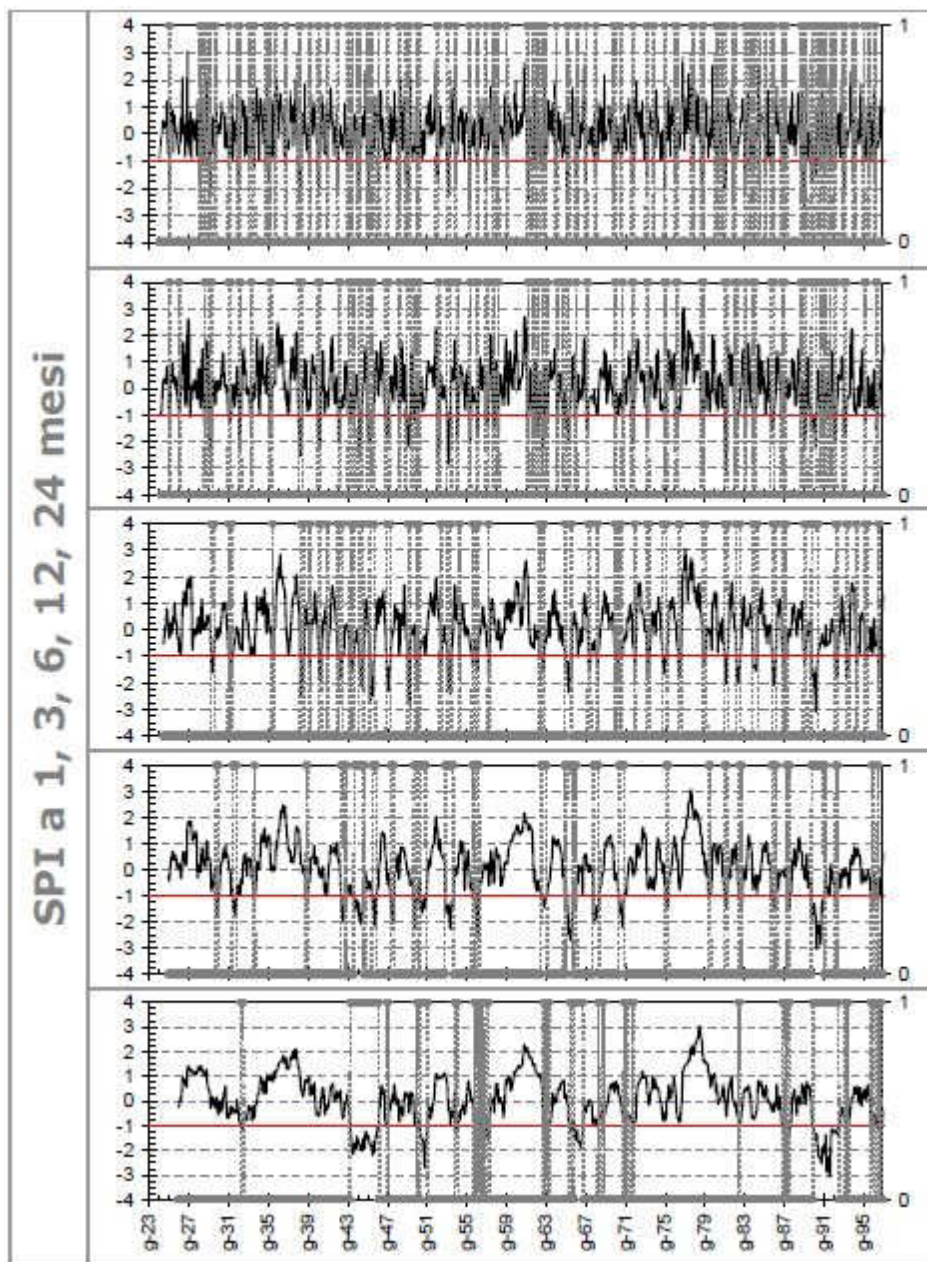


Figura 29 - Serie storica di SPI per diverse durate per la stazione pluviometrica di Cremona.



Per concludere la presentazione dei risultati delle analisi sulle precipitazioni scarse, si riportano i parametri della distribuzione di probabilità per i massimi annuali dei periodi non piovosi, con indicazione del valore di alcuni quantili di riferimento (TR 5, 10, 50 e 100 anni) per le stazioni di Cremona, Boretto e Borgoforte. Per le stazioni di Piacenza e Pontelagoscuro non è stato possibile procedere al calcolo per mancanza di dati all'epoca dello studio. La distribuzione di frequenza che meglio rappresenta il campione è la GEV per tutte e tre le stazioni considerate.

Stazione	Coordinate(m)			D _{max} (giorni)		Parametri GEV			Quantili (giorni)			
	E	N	z	media	dev.st	μ [giorni]	α [giorni]	k [-]	T = 5 anni	T = 10 anni	T = 50 anni	T = 100 anni
Cremona	578307	4997855	38	28.0	9.4	23.49	7.50	-0.02	35	41	54	60
Boretto	623258	4973892	22	25.1	8.1	20.96	4.91	-0.21	30	35	51	59
Borgoforte	638617	4989721	19	42.0	16.1	33.97	11.82	-0.09	53	64	90	102

Tabella 5 - Tabella con i parametri della distribuzione di probabilità (GEV) della lunghezza massima annuale (espressa in giorni) del periodo non piovoso, per le stazioni di Cremona, Boretto e Borgoforte.

L'analisi successiva ha riguardato invece le portate, che sono state analizzate sia attraverso l'utilizzo dell'indice SFI che attraverso l'analisi di frequenza bivariata già descritta in precedenza.

Per quanto riguarda l'indice SFI, si richiama che esso è un indice atto alla diagnosi della siccità idrologica (magra), che assume valori compresi tra -4 e +4. La classificazione standard prevede che i periodi di magra corrispondano a quelli con SFI. E' interessante notare che l'indice SFI ha un comportamento coerente nelle diverse stazioni, e mentre alla scala di aggregazione di un mese le magre sembrano di breve durata, l'analisi a 12 e 24 mesi mette in evidenza, al di là delle oscillazioni sul breve termine, il perdurare di alcune situazioni per periodi ben più lunghi: ad esempio il periodo compreso tra la primavera del 1990 e l'autunno del 1992, o tra il 2005 al 2009, risultano di siccità per SFI a 12 e 24 mesi. Per effettuare le analisi di frequenza bivariata, è stato necessario in via preliminare definire una soglia di portata al di sotto della quale classificare il periodo di siccità idrologica, o magra.

	min (D)	max (D)	min (S)	max (S)
Piacenza	1	103	5.55×10^4	1.51×10^6
Cremona	1	82	2.54×10^4	1.64×10^6
Boretto	1	108	8.49×10^4	1.78×10^6
Borgoforte	1	109	4.74×10^4	2.27×10^6
Pontelagoscuro	1	109	3.60×10^4	2.84×10^6

Tabella 6 - Caratteristiche dei periodi di magra delle sezioni idrometriche di riferimento per il Po

Non essendo disponibili, all'epoca dello studio, riferimenti condivisi per l'individuazione della soglia, si è scelta la portata corrispondente al 90° percentile, corrispondente, sulla curva di durata¹⁵, alla portata con durata media di 328 giorni/anno, e pari a 436.6 m³/s a Piacenza, 523.3 m³/s a Cremona, 539.0 m³/s a Boretto, 632.5 m³/s a Borgoforte e 712.4 m³/s a Pontelagoscuro. Ogni evento è stato caratterizzato dalla durata in giorni e dalla severità stimata come *volume idrico mancante* (al di sotto della soglia). Non sono state posti vincoli minimi di durata per gli eventi siccitosi, conteggiando pertanto anche gli eventi della durata di un giorno, che risultano, tuttavia, caratterizzati da un periodo di ritorno molto basso. In particolare, si sono individuati 422 eventi siccitosi a Piacenza, 175 a Cremona¹⁶, 281 a Boretto, 352 a Borgoforte e 328 a Pontelagoscuro¹⁷. Tabella 6 fornisce i valori, minimo e massimo, di durata e severità

¹⁵ Le curve di durata sviluppate per lo studio in esame non sono aggiornate come quelle riportate all'inizio del presente allegato, pertanto sono possibili alcune difformità nei valori di durata qui riportati e in quelli deducibili utilizzando le curve di cui sopra.

¹⁶ Cremona è la stazione di misura con la serie più breve, di soli 36 anni.

¹⁷ Le differenze nel numero di eventi sono legate alle lunghezze delle serie storiche a disposizione.



osservati nelle cinque serie storiche. Figura 30 riporta le coppie (durata, severità) per ciascun evento e per le cinque serie storiche.

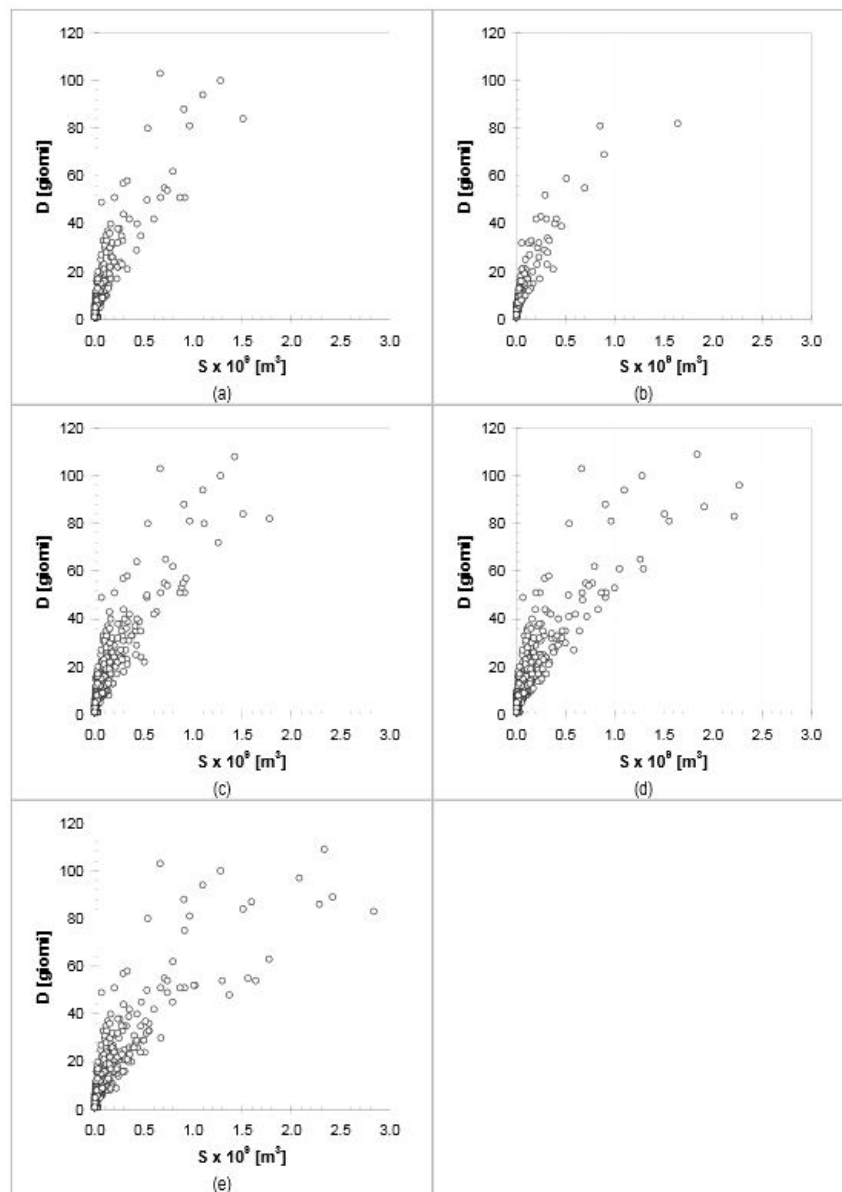


Figura 30 - Grafici della durata e della severità degli eventi di magra del Po nelle sezioni di riferimento per il Piano del bilancio idrico di (a) Piacenza, (b) Cremona, (c) Boretto, (d) Borgoforte, ed (e) Pontelagoscuro.

Come risultato finale è stato quindi calcolato il tempo di ritorno secondario (cioè relativo a coppie di variabili durata e severità), degli eventi individuati nelle 5 sezioni idrometriche oggetto di analisi.

Di seguito si riporta la descrizione degli eventi più severi degli anni 2003, 2005, 2006 e 2007.

Per la stazione di *Piacenza* si sono identificati:

- 8 eventi nel 2003; uno con periodo di ritorno secondario di circa 175 anni, durata di 88 giorni e un volume di magra di circa 9 milioni di m^3 .
- 13 eventi nel 2005, con un periodo di ritorno secondario massimo di circa 35 anni;
- 7 eventi nel 2006, di cui uno con periodo di ritorno secondario di circa 190 anni, durata 84 giorni e volume 1.5 miliardi di m^3 ;
- 9 eventi nel 2007, di cui uno con periodo di ritorno secondario di circa 62 anni, durata di 40 giorni e un volume di magra di circa 4 milioni di m^3 .

Per la stazione di *Cremona* si sono identificati:

- 9 eventi nel 2003, di cui uno con periodo di ritorno secondario di circa 340 anni, durata di 69 giorni e volume di circa 9 milioni di m³;
- 14 eventi nel 2005, tutti con periodo di ritorno secondario inferiore ai 30 anni;
- 5 eventi nel 2006, di cui uno con periodo di ritorno secondario di circa 340 anni, durata 82 giorni e volume 1.64 miliardi di m³.
- 10 eventi nel 2007, con periodo di ritorno secondario massimo di circa 52 anni.

Per la stazione di *Boretto* si sono identificati:

- 9 eventi nel 2003, di cui uno con periodo di ritorno secondario di circa 185 anni, durata di 72 giorni e volume 1.26 miliardi di m³.
- 11 eventi nel 2005, con periodo di ritorno secondario massimo di circa 27 anni;
- 2 eventi nel 2006, di cui uno con periodo di ritorno secondario di circa 218 anni, durata 82 giorni e volume 1.79 miliardi di m³;
- 9 eventi nel 2007, di cui uno con periodo di ritorno secondario di circa 40 anni, durata poco più di un mese (37 giorni) e volume di circa 4 milioni di m³.

Per la stazione di *Borgoforte* si sono identificati:

- 5 eventi nel 2003, di cui uno con periodo di ritorno secondario di circa 228 anni, durata di 109 giorni e volume pari a 1.84 miliardi di m³;
- 8 eventi nel 2005, di cui uno con periodo di ritorno secondari di circa 228 anni, volume pari a 1.91 miliardi di m³ e durata 87 giorni;
- 4 eventi nel 2006, di cui uno con periodo di ritorno secondario di circa 228 anni, durata 83 giorni e volume pari a 2.22 miliardi di m³;
- 9 eventi nel 2007, con periodo di ritorno secondario di poco superiore a 80 anni.

Per la stazione di *Pontelagoscuro* si sono identificati.

- 4 eventi nel 2003, di cui il maggiore con periodo di ritorno secondario di circa 250 anni, durata di 109 giorni e volume 2.34 miliardi di m³;
- 2 eventi nel 2005, di cui uno con periodo di ritorno secondari di circa 210 anni, volume pari a 2.29 x miliardi di m³ e durata 86 giorni;
- 4 eventi nel 2006, di cui uno con periodo di ritorno secondario di circa 205 anni, durata 83 giorni e volume 2.84 miliardi di m³;
- 8 eventi nel 2007, di cui uno con periodo di ritorno secondario di circa 108 anni, durata di 54 giorni e volume di circa 1.3 miliardi di m³



Data inizio evento			Severità [m ³]	Durata [giorni]	T _s [anni]	T _D [anni]	ρ _T [anni]
26	5	2003	2.34 x 10 ⁹	109	28.42	85.26	249.41
17	9	2003	1.98 x 10 ⁸	21	1.38	1.55	6.14
9	10	2003	1.12 x 10 ⁸	17	0.89	1.17	2.90
29	10	2003	1.37 x 10 ⁸	2	0.30	0.32	0.33
8	4	2005	4.05 x 10 ⁸	2	0.33	0.32	0.37
4	6	2005	2.29 x 10 ⁹	86	21.31	17.05	208.05
10	1	2006	6.57 x 10 ⁷	20	0.64	1.38	1.61
28	5	2006	2.84 x 10 ⁹	83	85.26	14.21	205.20
26	8	2006	1.76 x 10 ⁸	1	0.30	0.29	0.32
5	9	2006	4.43 x 10 ⁷	10	0.56	0.68	1.15
19	3	2007	4.68 x 10 ⁵	1	0.28	0.29	0.30
12	4	2007	3.56 x 10 ⁸	23	2.51	1.85	11.99
15	5	2007	2.87 x 10 ⁸	16	1.81	1.08	4.54
1	7	2007	1.30 x 10 ⁹	54	7.75	8.53	107.73
18	10	2007	8.58 x 10 ⁸	8	0.37	0.55	0.53
7	11	2007	8.25 x 10 ⁷	17	0.75	1.17	2.18
21	12	2007	2.95 x 10 ⁵	1	0.27	0.29	0.28
24	12	2007	2.58 x 10 ⁷	8	0.47	0.55	0.82

Figura 31 - Caratteristiche delle siccità idrologiche registrate a Pontelagoscuro tra il 2003 e il 2007, utilizzando una portata di soglie pari a 712 m³/s.

La portata di soglia utilizzata è quella caratterizzata dal 90% della probabilità di essere presente in alveo. Essa pertanto non rappresenta un vincolo rispetto all'applicazione delle misure del presente Piano, né risponde al concetto di portata ecologica o di Minimo deflusso vitale. Va altresì osservato che modificando il valore di soglia, vengono modificate le distribuzioni di frequenza dei valori di durata e severità, pertanto si verrebbe ad una valutazione dei tempi di ritorno secondari diversa da quella riportata, pur senza togliere valore conoscitivo ai contenuti qui riportati. Infatti, analizzando i dati di Figura 31 alla luce dell'esperienza derivante dalla gestione della risorsa effettuata in tempo reale presso l'Autorità di Bacino del Fiume Po durante le crisi, emerge che gli eventi che hanno richiesto una gestione straordinaria sono quelli caratterizzati a Pontelagoscuro da un ammanco di risorsa superiore a 1 miliardo di m³ e con durata superiore a 50 giorni, con tempo di ritorno secondario quindi di circa 100 anni.

3. INDICATORI INTEGRATI NEL SISTEMA DEWS-PO

In questo capitolo vengono brevemente descritti gli indici di siccità che vengono prodotti nell'ambito della modellistica per la gestione delle magre nel Bacino del Po. Verranno brevemente elencati pregi e difetti di ciascuno degli indici analizzati. Il sistema calcola quattro indici statistici per la caratterizzazione di siccità: Standardized Precipitation Index (SPI), Standardized Flow Index (SFI), Surface Water Supply Index (SWSI) e RUN.

Dal 2010 è attivo, nel bacino del Po il sistema di *Early Warning* per le magre *DEWS-Po*, per il cui utilizzo sono predisposte le **linee guida per la previsione, prevenzione e gestione delle magre del Po**. In tale ambito sono stati selezionati e testati alcuni indicatori di siccità, il cui calcolo è integrato nel sistema di modellistica per la previsione *DEWS-Po*, attualmente in uso. Unitamente a tali indicatori, presentati al Paragrafo 0, sono presentati alcuni altri indicatori derivanti dal lavoro di analisi del Gruppo di Lavoro a supporto della Commissione Europea per l'implementazione della DQA che si occupa di bilancio idrico e water accounting, e che verosimilmente entreranno a far parte del monitoraggio WISE.

La descrizione degli indici fornita non vuole ripetere quella facilmente reperibile nell'estesa letteratura settoriale, ma rendere in forma tabellare una veloce identificazione delle caratteristiche, dei pro e dei contro di ciascun indicatore. Nel successivo Capitolo 4 sono presentate le linee guida per la gestione delle crisi idriche nel distretto del Po, basate sull'analisi dei parametri ottenuti dal sistema DEWS-Po, e pertanto sui valori degli indicatori richiamati, e sull'analisi dell'assetto organizzativo presente nel distretto.

3.1. Standardized Precipitation Index (SPI)

In generale: SPI è un indice basato sulla valutazione della probabilità di osservare una cumulata di precipitazione su una determinata scala temporale.

Principali utilizzatori: viene usato dai gestori di condizioni siccitose che ne apprezzano la versatilità.

Pros: SPI può essere calcolato per differenti scale di tempo rappresentando quindi diverse tipologie di siccità; fornisce una valutazione della siccità e può aiutare a valutare la severità delle condizioni siccitose; coinvolge solo la conoscenza delle piogge ed è particolarmente semplice da implementare.

Cons: Non considera alcune componenti del bilancio; i valori di SPI calcolati su dati preliminari possono variare al sopraggiungere di nuove informazioni, pertanto valutazioni climatologiche, sogliature o altro vanno riviste periodicamente.

Sviluppato da: Tom McKee, et al., Colorado State University, 1993

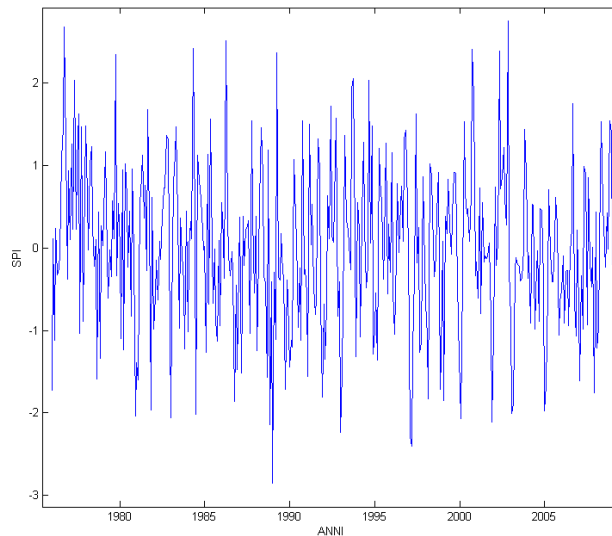


Figura 32 Esempio di andamento dell'indice SPI (1 mese) per la chiusura di Piacenza

Un'analisi dei valori degli indici SPI e SFI è stata effettuata per le stazioni di Piacenza, Cremona, Boretto, Borgoforte e Pontelagoscuro per i mesi di maggio, giugno e luglio 2010, nell'ambito delle attività che discendono dall'accordo tra ADB Po e AIPO per l'integrazione del sistema di modellistica idraulica per la previsione e il controllo delle piene fluviali, all'interno del quale sono state previste le "Linee guida e modellistica per la previsione e il controllo della scarsità d'acqua nel fiume Po".

In Tabella 7 vengono individuati i valori dell'indice SPI mediati alle scale temporali di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi per le diverse stazioni

OSSERVATI						
	Mese	SPI 1 mese	SPI 3 mesi	SPI 6 mesi	SPI 12 mesi	SPI 24 mesi
PIACENZA	mag-10	1,4	0,7	0,1	-0,1	0,8
	giu-10	0,9	1,1	0,5	0,2	0,9
	lug-10	-0,7	1,0	0,5	0,1	0,8
CREMONA	mag-10	1,6	0,9	0,4	0,3	1,2
	giu-10	1,0	1,3	0,7	0,6	1,2
	lug-10	-0,4	1,2	0,7	0,4	1,1
BORETTO	mag-10	1,5	0,8	0,4	0,3	1,0
	giu-10	1,0	1,3	0,7	0,6	1,0
	lug-10	-0,5	1,1	0,7	0,4	0,9
BORGOFORTE	mag-10	1,5	0,8	0,4	0,3	1,0
	giu-10	1,0	1,2	0,6	0,5	1,1
	lug-10	-0,5	1,1	0,7	0,4	0,9
PONTELAGOSCURO	mag-10	1,6	0,8	0,5	0,2	0,9
	giu-10	1,0	1,4	0,7	0,5	1,0
	lug-10	-0,6	1,1	0,7	0,3	0,8

Tabella 7 - valori dell'indice SPI mediati alle scale temporali di 1, 3, 6, 12 e 24 mesi per le diverse stazioni

Tali valori sono stati confrontati con soglie di riferimento precedentemente individuate riportate in Tabella 8.

< -2	Siccità estrema
-2 a 1,5	Siccità severa
-1,5 a -1	Siccità moderata
-1 a 0	Siccità lieve
0 a 1	Leggermente umido
1 a 1,5	Moderatamente umido
1,5 a 2	Molto umido
> 2	Estremamente umido

Tabella 8 - Soglie individuate per la definizione dello stato di siccità in base al valore di SPI.

Tramite il confronto è stata quindi realizzata una mappatura dell'indice, di cui sono riportati esempi in Figura 33. In Figura 34 è invece riportato un esempio di output del sistema DEWS-Po relativamente allo stesso parametro, disponibile per ciascuna delle sezioni di monitoraggio¹⁸.

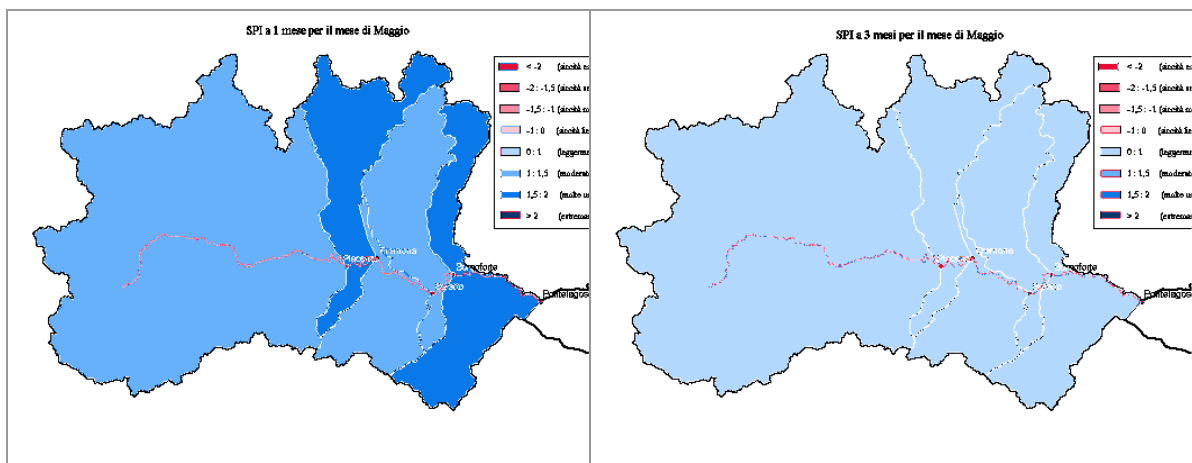


Figura 33 - Esempi di mappatura dell'indice SPI per il mese di Maggio 2010

¹⁸ Tutti gli approfondimenti sulle metodologie e sui dati utilizzati per lo studio a supporto delle linee guida sono contenuti negli allegati alle Linee Guida, forniti tra il materiale conoscitivo di background al Piano.

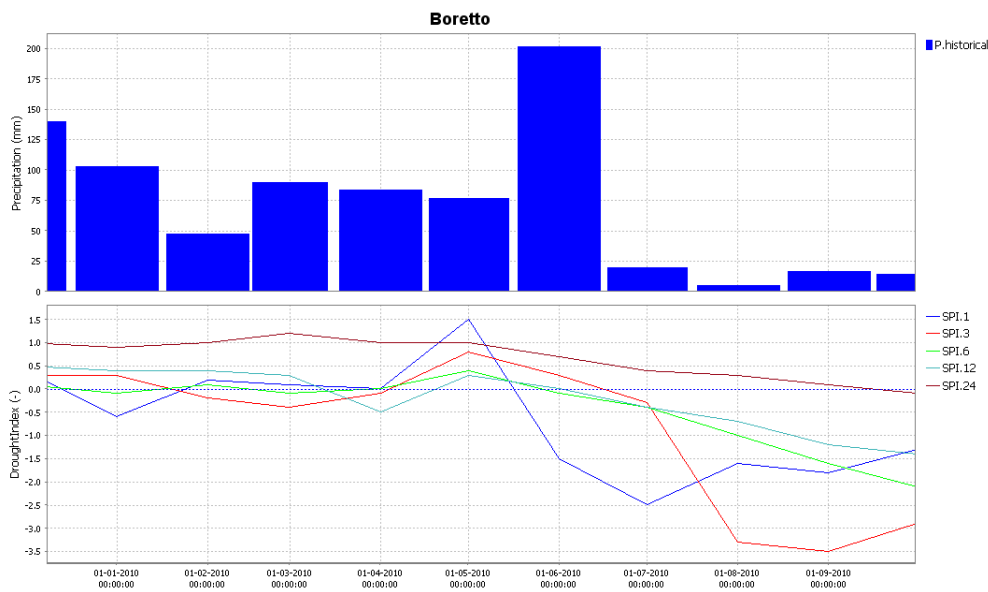


Figura 34 - Esempio di output dal sistema DEWS-Po: serie temporale dell'SPI su a 1, 3 6, 12 e 24 mesi per la stazione di Boretto

3.2. Standard Runoff Index (SRI) o Standardized Flow Index (SFI)

In generale: SRI è un indice basato sulla valutazione della probabilità di osservare una portata media su una determinata scala temporale.

Principali utilizzatori: DQA (si veda paragrafo successivo).

Pros: SRI può essere calcolato per differenti scale temporali rappresentando quindi diverse tipologie di siccità; fornisce una valutazione della siccità e può aiutare a valutare la severità delle condizioni siccitose; coinvolge solo la conoscenza delle Portate ed è particolarmente semplice da implementare.

Cons: Non considera alcune componenti del bilancio; può essere calcolato solo in prossimità di sezioni in cui si abbiano serie storiche sufficientemente lunghe di misure di portata. I valori di SRI calcolati su dati preliminari possono variare al sopraggiungere di nuove informazioni, pertanto valutazioni climatologiche e sogliazioni vanno riviste periodicamente.

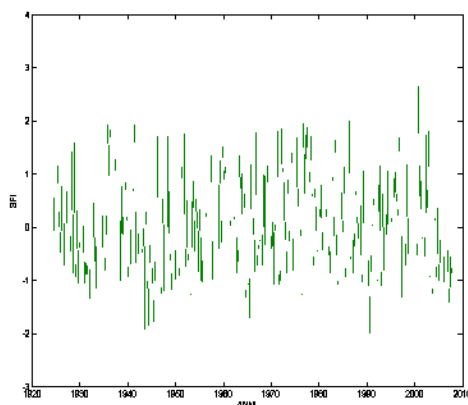


Figura 35 Esempio di andamento dell'indice SFI (1 mese) per la chiusura di Piacenza

3.3. Surface Water Supply Index (SWSI)

In generale: SWSI è stato sviluppato per regioni in cui l'apporto dello scioglimento nivale riveste importanza fondamentale. Viene calcolato sulla base dei dati di portata, di estensione del manto nevoso e dello stato degli invasi principali del sistema. Viene calcolato con riferimento ad un particolare bacino o sotto-bacino.

Pros: Rappresenta tutti i processi fondamentali di approvvigionamento idrico che possono essere specifici per ciascun bacino.

Cons: Molto sensibile alle stazioni di misura utilizzate e alle politiche di gestione della risorsa idrica. È poco portabile essendo specifico per il singolo bacino o sottobacino così che risulta difficile fare paragoni fra bacini diversi. Il calcolo risulta laborioso.

Sviluppato da: Shafer and Dezman, 1982

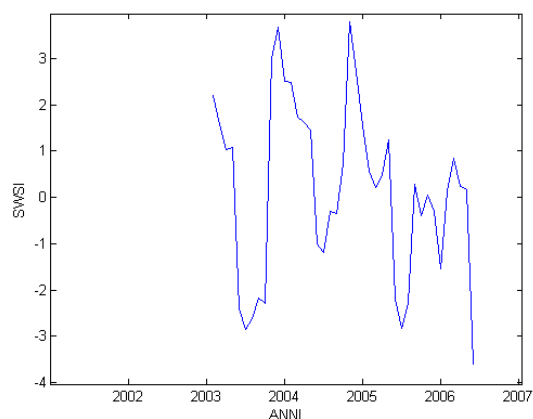


Figura 36 Esempio di andamento dell'indice SWSI per la chiusura di Piacenza

3.4. RUN Method

In generale: il metodo dei RUN è stato sviluppato per offrire sia una identificazione oggettiva dei periodi di siccità sia per caratterizzarne la severità e la durata. Può essere applicato a serie di precipitazione o portata. È utilizzabile sia a scala regionale sia a scala locale.

Pros: offre una definizione oggettiva di siccità; permette la derivazione analitica delle funzioni di probabilità delle caratteristiche delle siccità analizzate; può essere applicato a serie annuali o sub-annuali.

Cons: dipende fortemente dalla soglia scelta per il calcolo dei periodi di RUN.

Sviluppato da: Yevjevich, 1965

3.5. Ulteriori indicatori proposti da WG WB-WA

3.5.1. FAPAR: Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation

In generale: la siccità impatta in modo rilevante sulla chioma della vegetazione e in particolare sulla sua capacità di intercettare la radiazione solare. L'indice fAPAR (Frazione Assorbita di Radiazione Solare attiva



per la Fotosintesi è noto per essere fortemente correlato allo stress idrico. L'indice fAPAR e le relative anomalie (la deviazione dalla media a lungo termine per un certo periodo di tempo) sono considerati buoni indicatori per individuare e valutare gli impatti della siccità sulla vegetazione.

Pros: è una variabile biofisica direttamente correlata alla produttività vegetale. E' considerata tra le variabili climatiche essenziali da UN Global Climate Observing System (GCOS) e dal FAO Global Terrestrial Observing System (GTOS). E' disponibile come dato satellitare su tutta l'Europa con una risoluzione $1.2 \times 1.2 \text{ km}^2$, ed una frequenza di acquisizione decennale.

Cons:-

Sviluppato da: Gobron *et al.* 2000¹⁹.

3.5.2. Groundwater level (H)

In generale: è rappresentato dal tempo di ritorno della media mensile dei livelli osservati in una stazione di riferimento, suddiviso in 5 quantili per l'individuazione di relative classi: dalla più secca (quantile inferiore al 10%) alla più umida (quantile superiore al 90%). Valori puntuali, ottenuti come medie mensili di valori giornalieri. Il punto di misura deve essere rappresentativo del comportamento dell'acquifero.

La fornitura idrica delle città e l'irrigazione dipendono in misura consistente dalle acque sotterranee, come una percentuale molto significativa delle zone umide e dei fiumi europei sono anche legati allo stato delle acque sotterranee. Il buono stato delle acque sotterranee è fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi ambientali e socio-economiche dell'UE. Dall'altra parte, l'eccesso di prelievo porta all'esaurimento delle falde acquifere, con conseguenze come il deterioramento della qualità delle acque (ad es. intrusione salina, meno diluizione degli inquinanti, impatti negativi sul fiume), la perdita di habitat (ad esempio, zone umide), la modifica del fiume /e delle interazioni con gli acquiferi, e la subsidenza.

Pros: la modifica dei livelli delle acque sotterranee può dipendere significativamente dai prelievi da pozzo.

Cons: i livelli delle acque sotterranee possono essere ridotti anche per effetto dei cambiamenti climatici (precipitazioni ridotte, aumento della temperatura, aumento del drenaggio).

3.5.3. SSPI: Standardized SnowPack Index

In generale: il SSPI è, come SPI, un indice basato sulla valutazione della probabilità di osservare un certo valore giornaliero di Snow Water Equivalent (=kg/m² of snow) su una determinata scala temporale. Il SSPI fornisce informazioni relative sul volume di neve accumulato nel bacino ad un passo temporale decennale e mensile. I valori oscillano tra -3 e +3. Valori inferiori a -2 significano che l'accumulo nivale è molto inferiore alla norma, mentre valori superiori a +2 che l'accumulo è notevolmente superiore alla norma.

Pros: l'indicatore può essere utilizzato nei climi freddi, dove la precipitazione cade in forma nevosa, contribuendo al deflusso in primavera ed estate. Può essere utile anche per valutazioni sulle siccità passate, per valutazioni di rischio e per scopi gestionali. è estremamente sensibile ai cambiamenti climatici. Sono disponibili valori di snowpack giornalieri da satellite.

Cons: stima di Snow Water Equivalent.

¹⁹ Gobron, N., Pinty, B., Verstraete, M.M., and Widlowski, J.-L. (2000). Advanced Vegetation Indices Optimized for Up-Coming Sensors: Design, Performance and Applications. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38: 2489-2505.

3.5.4. Soil moisture

In generale: è un indicatore diretto del livello di siccità in quanto essa impatta direttamente sul contenuto di umidità del suolo. L'umidità del suolo è correlata in modo diretto anche alla produttività agricola. La quantità di umidità presente nel suolo e le sue anomalie sono buoni indicatori dello stress colturale in momenti di siccità.

Il parametro viene utilizzato nella forma di tensione capillare nello strato superficiale di terreno. Il valore pF descrive la forza necessaria che le piante devono produrre per estrarre dal suolo l'acqua di cui necessitano.

Pros: tiene conto della diversa capacità di campo di suoli diversi, pertanto può essere utilizzato per confrontare lo stato in regioni diverse. Il contenuto di umidità viene rappresentato attraverso le sue anomalie, la cui probabilità segue la distribuzione Gamma.

Cons: è uno strato informativo che richiede competenze evolute per l'utilizzo/interpretazione.

3.5.5. SPI: Standardized Precipitation Index

Vedere paragrafo 3.1

3.5.6. Standardized Runoff Index (SRI)

Vedere paragrafo 3.2

3.5.7. WEI+: Water Exploitation Index Plus

In generale: il Water Exploitation Index (Indice di sfruttamento della risorsa idrica) è un indicatore del livello di pressione che le attività umane esercitano sulla risorsa idrica, calcolato con riferimento ad un determinato territorio (bacino o sottobacino idrografico o aggregazione di bacini/sottobacini), utile a identificare quelle aree soggette a possibile "stress idrico". Il WEI tradizionale è stato definito rispetto ad una scala temporale annuale, e calcolato come rapporto tra il prelievo complessivo annuale di risorsa dai sistemi naturali e la disponibilità idrica media di lungo termine in quello stesso territorio. In base a tale definizione, è stato sino ad ora calcolato alla scala nazionale. Nell'ambito del processo di revisione della politica europea sull'acqua, la Commissione ha attivato un'attività sperimentale per formulare una nuova formulazione dell'indice, che prende il nome di WEI+.

Le differenze risiedono:

- nella possibilità di calcolare il WEI+ corrente, cioè con riferimento alla disponibilità attuale di risorsa ed ai prelievi osservati invece che rispetto alla media di lungo periodo;
- nella possibilità di adeguare la scala temporale del calcolo alla realtà locale, scegliendo intervalli temporali inferiori all'anno (mensile, stagionale...).

La formulazione dell'indice è la seguente: $WEI+ = (\text{volume prelevato} - \text{volume restituito}) / \text{Volume di risorsa idrica rinnovabile disponibile}$.

Pros: facilità di calcolo, indicatore molto efficace di sostenibilità dell'uso.

Cons: prima implementazione di grande scala a livello di bacino idrografico, e a scala inferiore all'annuale. Non sono stati definiti criteri di soglia condivisi per i valori inferiori all'anno. Il computo dei volumi restituiti, per le scale temporali inferiori all'anno, richiede attenzione e specifiche scelte metodologiche.



4. LA GESTIONE DELLE SICCIITÀ NEL BACINO DEL PO: L'ESPERIENZA E LE PROPOSTE

4.1. Eventi recenti

Per ricostruire la cornice di riferimento si riportano di seguito i resoconti idro-pluviometrici generati durante i tre eventi di siccità del 2003, del 2005 e del 2006, i quali risultano di particolare importanza in quanto hanno innescato la prassi di gestione che, evolutasi negli anni, ha portato alla sottoscrizione del Protocollo d'Intesa dando l'avvio ad una buona pratica che ha portato, nel 2016, alla sottoscrizione del Protocollo per l'Istituzione degli Osservatori di Distretto.

4.1.1. Anno 2003

Dopo un inverno particolarmente secco l'avvento della primavera, e in particolare il mese di aprile, è stato caratterizzato dal passaggio di numerose perturbazioni che hanno determinato in tutto il bacino piogge diffuse e frequenti; la fascia di pianura, i bacini montani appenninici e le Alpi sud-orientali hanno ricevuto un apporto pluviometrico in linea con la media climatica mentre un deficit oscillante intorno al 40% ha interessato il Piemonte Nord-Orientale, il bacino del Toce e le Alpi lombarde.

Nei mesi di maggio e giugno, gli apporti pluviometrici sono stati nuovamente scarsi; il confronto con gli afflussi registrati in questi mesi nell'ultimo decennio ha evidenziato come la pianura lombardo-emiliana e la fascia appenninica abbiano sofferto di deficit compresi tra il 60 e il 75% in maggio e superiori al 50% in giugno, mentre il Piemonte settentrionale sia stato interessato da apporti ridotti mediamente del 60% in maggio e del 65% in giugno. Solo le valli alpine del Piemonte orientale e della Lombardia, oggetto di fenomeni temporaleschi, hanno contenuto in questi mesi l'anomalia pluviometrica.

La disponibilità della risorsa idrica a scala di bacino è stata ulteriormente ridotta a causa dell'ondata di caldo anomalo che ha caratterizzato la tarda primavera; temperature ovunque superiori alle medie del periodo hanno determinato un forte incremento dei consumi idrici; in Emilia-Romagna le temperature medie mensili hanno raggiunto valori di due gradi superiori alla media stagionale in maggio e di quattro in giugno; in Lombardia le massime sono state superiori mediamente alla media del periodo di cinque gradi in maggio e di oltre sette in giugno mentre le minime si sono mantenute costantemente circa quattro gradi sopra la media; in Piemonte si sono superate spesso le massime temperature medie mensili registrate sia in pianura (Torino) che nelle vallate alpine.

Il ridotto apporto pluviometrico e le alte temperature, che hanno reso necessario anticipare la stagione irrigua, hanno indirettamente determinato un costante decremento dei livelli idrici su tutta la rete idrografica principale e nei grandi laghi alpini; in particolare l'andamento dei deflussi nel tratto medio-basso del Po ha rappresentato l'effetto più importante e gravoso della magra eccezionale che ha colpito l'intero bacino.

Il livello del fiume Po dall'inizio del mese di maggio ha cominciato ovunque a discendere regolarmente stabilizzandosi su un livello minimo al termine dell'ultima decade del mese di giugno per poi iniziare un movimento ascendente nei giorni 27 e 28 in seguito alla ripresa delle precipitazioni; tuttavia già nei primi giorni di luglio il Po ha ripreso a discendere regolarmente.

Il quadro delle condizioni dei deflussi sui corsi d'acqua principali della rete idrografica può essere così sinteticamente completato:

- i corsi d'acqua appenninici da Scrivia a Panaro nel tratto di pianura sono stati naturalmente in secca da maggio, le poche acque raccolte in ambito montano sono state captate per uso irriguo;

- i corsi d'acqua alpini da Sesia a Tanaro sono stati sostenuti nei tratti montani dalla scioglimento del manto nevoso e, laddove presenti, dei ghiacciai; nei bacini nord-occidentali parte di questi volumi ha alimentato i numerosi serbatoi idroelettrici presenti. Nel tratto di pianura le importanti derivazioni irrigue hanno fatto sì che allo sbocco in Po i livelli abbiano raggiunto i minimi storici, generalmente sostenuti dall'apporto delle falde superficiali;
- i corsi d'acqua alpini da Mincio a Ticino sono caratterizzati dalla presenza di grandi bacini lacustri; nel tratto sopralacuale i deflussi, alimentati dallo scioglimento nivale, hanno garantito da un lato un accumulo di volumi nei numerosi invasi artificiali e dall'altro un importante afflusso al lago. Nel tratto sottolacuale i deflussi sono determinati dalla regolazione del lago che è funzionale nel periodo tardo primaverile-estivo alla stagione irrigua; di fatto nei mesi di maggio e giugno il contributo di questi affluenti a Po è stato esiguo nonostante le notevoli portate erogate dai laghi.

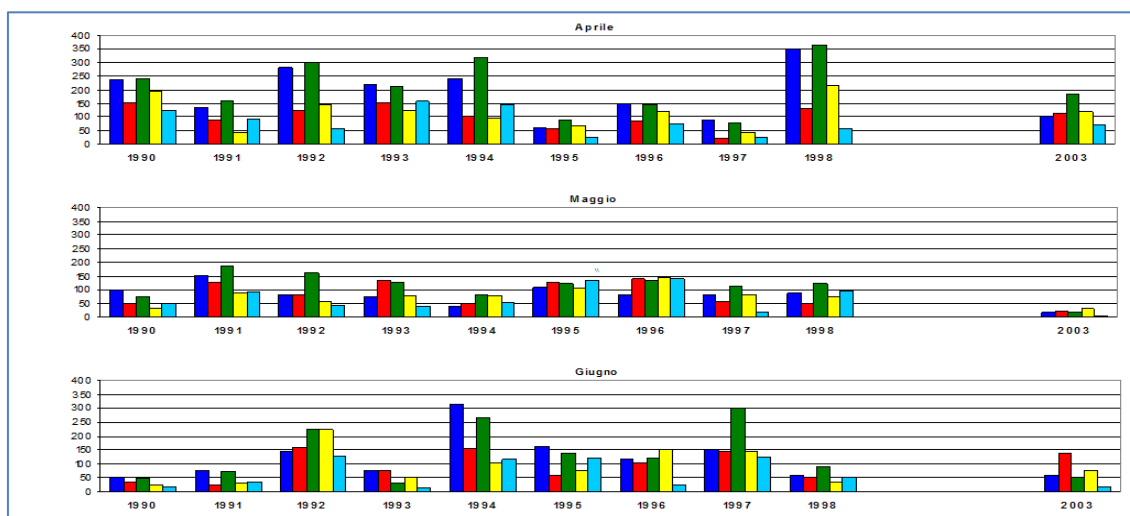


Figura 37 - Precipitazioni cumulate nei mesi di aprile, maggio e giugno registrate in alcune stazioni dell'Emilia Romagna (1990-1998; 2003). Blu: Ligonchio (929 m s.m.). Rosso: Bosco di Corniglio (842 m s.m.). Giallo: Bedonia (544 m s.m.); celeste: Parma (55 m s.m.).

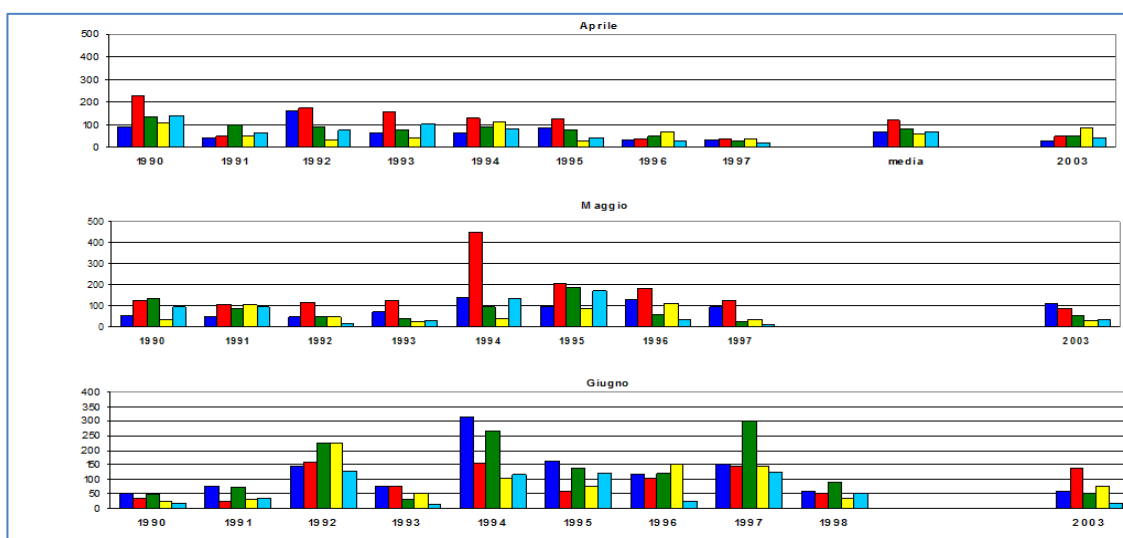


Figura 38 - Precipitazioni cumulate nei mesi di aprile, maggio e giugno registrate in alcune stazioni della Lombardia (1990-1998; 2003). Blu: Edolo (700 m s.m.). Rosso: Cavedago D'Adda (20 m s.m.). Verde: Mantova (20 m s.m.); celeste: Pavia (77 m s.m.).

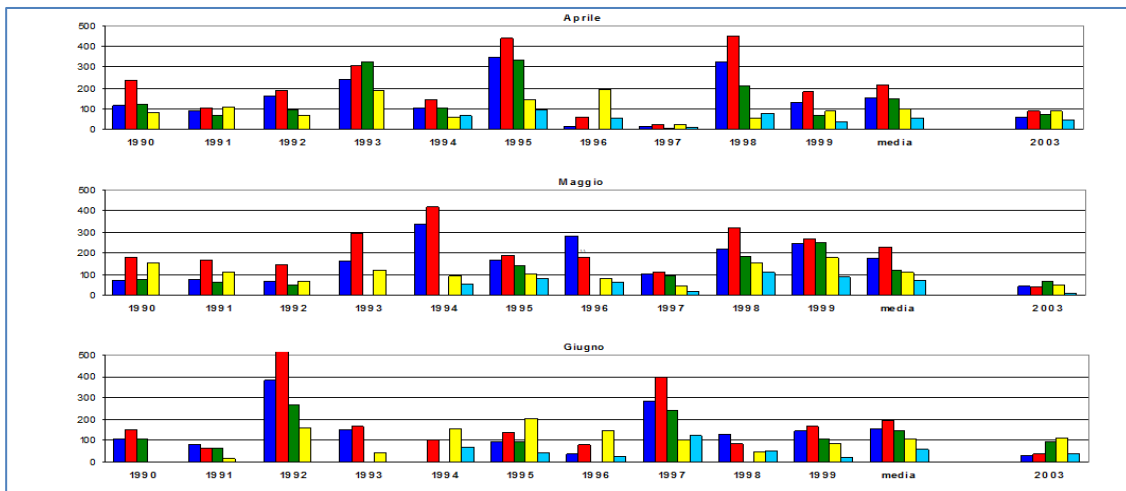


Figura 39 - Precipitazioni cumulate nei mesi di aprile, maggio e giugno registrate in alcune stazioni del Piemonte (1990-1998; 2003). Blu: Domodossola (252 m s.m.). Rosso: Varallo (470 m s.m.). Verde: Bertodasco (1120 m s.m.). Giallo: Monte Malanotte (1741 m s.m.); celeste: Nizza Monferrato (138 m s.m.).

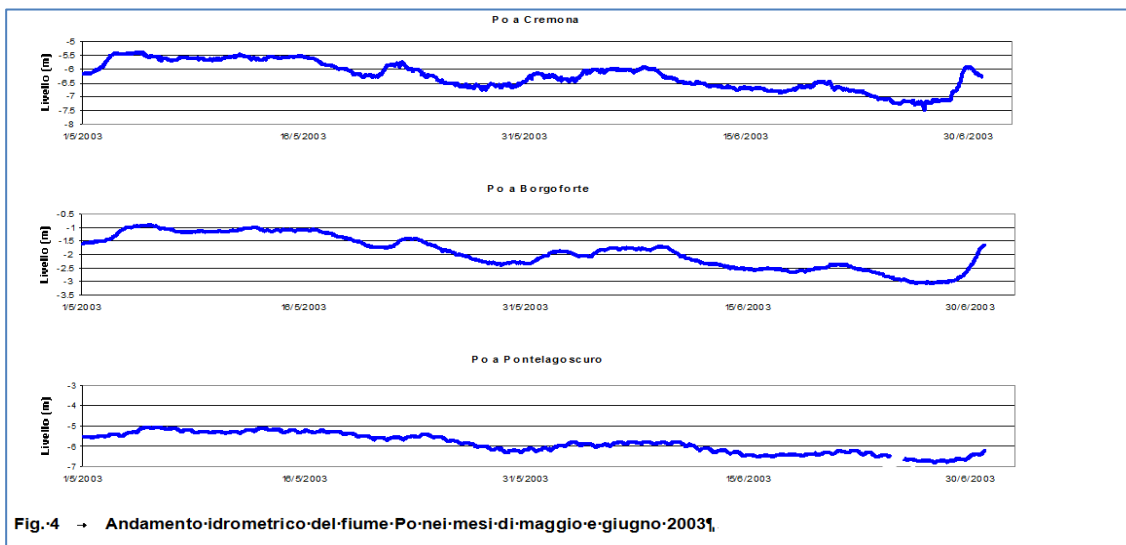


Fig.4 → Andamento idrometrico del fiume Po nei mesi di maggio e giugno 2003,

Figura 40 - Andamento idrometrico del fiume Po nei mesi di maggio e giugno 2003

4.1.2. Anno 2005

Nei grafici delle portate medie giornaliere relative alle 6 stazioni di riferimento sul fiume Po risultano evidenti i picchi di portata in corrispondenza degli eventi piovosi della seconda metà di aprile, tra il 20 e il 26 maggio, e i picchi minori relativi agli eventi piovosi di metà giugno, metà luglio e inizio agosto. Per tutte le stazioni gli andamenti del 2005 sono abbastanza vicini a quelli del 2003 a partire dall'11 di giugno. Si osserva che durante questa stagione sono stati raggiunti valori minimi storici di portata a Pontelagoscuro, pari a $234 \text{ m}^3/\text{s}$, il 1 agosto 2005.

Per quanto riguarda i bacini sub-lacuali, da una prima analisi si osserva che gli andamenti complessivi delle derivazioni nei bacini sottolacuali sono state sempre sensibilmente inferiori rispetto ai valori di concessione.

L'andamento "alternato" dei prelievi relativi alle singole derivazioni, con valori che oscillano tra il 40 - 50 % e il 70 - 80 % della massima portata derivabile, testimonia il ricorso alle turnazioni; al di sotto di un valore limite (approssimativamente intorno al 60% del valore nominale di concessione) la derivazione a gravità ed il connesso esercizio irriguo per scorrimento non sono infatti di significativa utilità alle coltivazioni.

Si nota inoltre che l'incremento delle portate derivate per l'utilizzo irriguo (ancorché con valori inferiori ai nominali) è stato ritardato il più possibile, posticipandolo mediamente da fine aprile - inizio maggio alla fine del medesimo mese di maggio.

4.1.3. Anno 2006

Nell'estate 2006 è stato attuato il primo tentativo compiuto di gestione unitaria della risorsa idrica. Il bilancio idrico del bacino del Po si è trovato, nel 2006, come già avvenuto nel 2003 e, limitatamente al bacino dell'Adda, nel 2005, in una situazione di deficit della disponibilità naturale di risorsa rispetto alle utilizzazioni concesse, in conseguenza della quale i valori di deflusso idrico nel fiume Po hanno toccato nuovi minimi storici assoluti.

D'altra parte, fino agli inizi del mese di giugno, la situazione di bilancio idrico, pur caratterizzata da afflussi meteorici non elevati non appariva preoccupante, come evidenziato dai dati raccolti relativamente ai laghi e ai serbatoi montani, alla risorsa nivale nonché ai valori delle temperature, inferiori alla norma, che hanno comportato un ritardo nello scioglimento nivale e nell'avvio della stagione irrigua.

Dall'inizio di giugno, tuttavia, la situazione è rapidamente cambiata: con il repentino innalzamento dei valori di temperatura, l'irrigazione si è avviata pressoché in contemporanea su tutto il bacino, a fronte di un livello di umidità dei suoli molto limitato anche a causa di una ventosità persistente, che le ridotte precipitazioni non sono riuscite a compensare, e del ritardo del contributo nivale; per questo, alla metà dello stesso mese si è riscontrata una notevole riduzione della risorsa disponibile (in particolare di quella accumulata nei grandi laghi) e livelli del Po inferiori ai valori minimi storici, tali da indurre, nel Delta, l'intrusione di acque marine e quindi il rischio di salinizzazione del suolo.

Pertanto, dal 14 giugno, l'Autorità di bacino e i soggetti che dal 2003 con essa hanno iniziato a collaborare sul tema, hanno avviato le valutazioni presentate il 22 giugno alla riunione della cosiddetta "Cabina di regia" al fine di avviare una gestione unitaria del bilancio idrico a livello di bacino ed individuare così interventi utili a limitare gli effetti derivanti da un eventuale peggioramento della situazione.

A tale data, le attività già in fase di svolgimento erano le seguenti:

- il monitoraggio integrato degli stati meteo-idrologici e di utilizzazione idrica, a scala di bacino, coordinato dall'Autorità di bacino del Fiume Po;
- una gestione dei grandi laghi finalizzata al risparmio della risorsa, con riduzioni di erogazione fino al 70% della portata di concessione;
- l'attivazione della raccolta di informazioni necessarie per la verifica dell'incidenza dei prelievi minori noti (le cd. "piccole derivazioni") ai fini di un'eventuale specifica attività di controllo dell'abusivismo.

Ad esse si sono aggiunte nel frattempo le iniziative della Regione Lombardia nei confronti dei gestori dei serbatoi montani idroelettrici, orientate in particolare alla salvaguardia delle utenze irrigue regionali.

Nello sforzo d'individuare possibili soluzioni alle criticità delineate, i soggetti competenti si sono incontrati a più riprese (28 giugno a Rovigo, 12 e 17 luglio a Parma) per individuare scenari d'intervento utili a contrastare la situazione più preoccupante, quella del Delta del Po.

Le possibili ipotesi di scenario individuate si fondano principalmente su:

- impiego della risorsa presente nel Lago di Garda, caratterizzata da una disponibilità superiore ad altre fonti anche rispetto alle annate 2003 e 2005,
- applicazione di prescrizioni transitorie alla gestione sia dei serbatoi idroelettrici alpini (con l'eccezione di quelli già interessati da tali misure) per un incremento delle loro erogazioni,



- applicazione di prescrizioni di riduzione dell'esercizio irriguo in corso.

In particolare, tra quelle tracciate, l'ipotesi caratterizzata dall'obiettivo massimo tende a recuperare, dal bacino padano nel suo complesso, un deflusso nel Po alla sezione di Pontelagoscuro pari a circa 100 m³/s, valore peraltro esposto a riduzioni dovute a fattori quali l'infiltrazione in falda, i prelievi minori e i sempre possibili casi di abusivismo.

4.2. Il modello di gestione della carenza idrica e della siccità nel bacino del Po.

La gestione della risorsa idrica nel bacino del Po è influenzata dalla conformazione orografica del bacino stesso: la presenza delle Alpi, e quindi di neve e ghiacciai, unita alla capacità di accumulo dei grandi laghi e dei numerosi invasi artificiali, genera una sostanziale ricchezza d'acqua. Tuttavia, con il progressivo e rapido sviluppo socio-economico e tecnologico che ha caratterizzato la pianura padana, si è registrato un consistente incremento dell'utilizzo della risorsa idrica senza che venissero attuate procedure di aggiornamento e revisione degli strumenti regolativi, ormai quasi ottuagenari.

Come si evince dai resoconti riportati nei paragrafi precedenti, a partire dal 2003 il bacino del Po è stato caratterizzato da condizioni frequenti di insufficienza idrica rispetto alla domanda determinate da un lato dal clima più arido (incremento fino a 2,5 °C delle temperature medie, calo delle precipitazioni del 20% circa, precipitazioni nevose e volumi dei ghiacciai in calo molto rilevante, deflussi idrici medi alla chiusura del bacino in calo del 20-25%, in estate fino al 40%) dall'altro da variazioni della domanda legate a nuovi fattori quali il rafforzamento dei fabbisogni estivi di energia elettrica per il condizionamento degli ambienti domestici, oltre alla crescente necessità d'acqua per uso irriguo derivante dalla siccità agricola. Ad esempio, proprio l'estate del 2003 fu caratterizzata da un'assenza straordinaria di precipitazione nei mesi primaverili ed estivi e da temperature elevate, che generarono in diverse zone del bacino (biellese, vercellese, ferrarese, mantovano, Polesine) una grave carenza di risorsa, mettendo seriamente a repentaglio la produzione agricola e generando condizioni limite di funzionamento delle centrali termoelettriche che causarono interruzioni del servizio elettrico a livello nazionale.

Scenari simili e ancora più rigidi, in particolare per il settore agricolo, si sono succeduti negli anni 2005 e 2006 con una inaspettata frequenza, ponendo al centro dell'attenzione, oltre la gestione attuale della risorsa idrica, anche la necessità della valutazione degli impatti a medio-lungo termine del cambiamento climatico. L'insieme dei fattori che caratterizzano gli eventi di scarsità idrica richiede azioni volte sia alla gestione dell'emergenza e alla riduzione dei relativi effetti dannosi, sia l'implementazione di un approccio proattivo che consenta una fattiva riduzione del rischio attraverso modelli di gestione pianificati sul lungo periodo.

Proprio la gravità della crisi del 2003 ha dato luogo ad una strategia di intervento che non solo ha permesso la migliore possibile gestione della situazione in atto, ma che ha dato l'avvio ad una prassi operativa di grande efficacia che si è andata via via consolidando negli anni successivi. A partire da un'iniziativa del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (DPCN), che ha riconosciuto nell'Autorità di Bacino del Po l'Ente più adatto a farsi carico del coordinamento delle attività di controllo dell'emergenza, è stato attivato un "Tavolo tecnico" in seno all'Unità di crisi cui hanno preso parte tutti i soggetti coinvolti nella gestione della risorsa idrica presenti sul bacino del Po (Ministeri, Regioni, gestori e produttori elettrici, consorzi di regolazione dei laghi, consorzi di bonifica ed irrigazione).

Il Tavolo aveva due principali obiettivi:

- il mantenimento di minime indispensabili possibilità di prelievo per l'irrigazione a valle dei laghi e nell'asta del Po;
- il mantenimento di valori di deflusso, nelle aste fluviali interessate da impianti termoelettrici, tali da garantire la massima produzione elettrica possibile, come richiesto dal Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (GRTN, ora TERNA).

Al fine del raggiungimento di tali obiettivi, è stata attivata una “rete” di informazioni che garantissero la ricostruzione e il monitoraggio della situazione in tempo reale. Le informazioni che venivano raccolte a cadenza giornaliera riguardavano:

- i volumi invasati ed erogati dagli impianti idroelettrici montani, forniti dalle Aziende di produzione idroelettrica e organizzati e trasmessi dal GRTN;
- i volumi invasati ed erogati dai laghi, forniti dai Consorzi di regolazione dei laghi;
- i volumi prelevati dagli utilizzatori nelle aste fluviali di pianura, forniti dall’AIPO e dai consorzi di bonifica;
- i deflussi medi nell’asta del Po, forniti dall’ARPA – SIMC dell’Emilia Romagna e dalla Regione Piemonte.

Oltre a ciò veniva predisposto un comunicato giornaliero, contenente i dati di portata nel Po, i dati dei laghi e una sintesi delle utilizzazioni.

Visto il perdurare della crisi, il 18 luglio 2003 si giunse alla stesura del “Protocollo d’intesa finalizzato alla gestione unitaria del bilancio idrico del bacino idrografico del fiume Po” tra i partecipanti al Tavolo tecnico, che sanciva le linee di intervento del protocollo. Tali linee guida, e la raccolta dati precedentemente menzionata, hanno permesso la predisposizione di quadri sintetici dotati di efficacia comunicativa (Figura 41 e Figura 42).

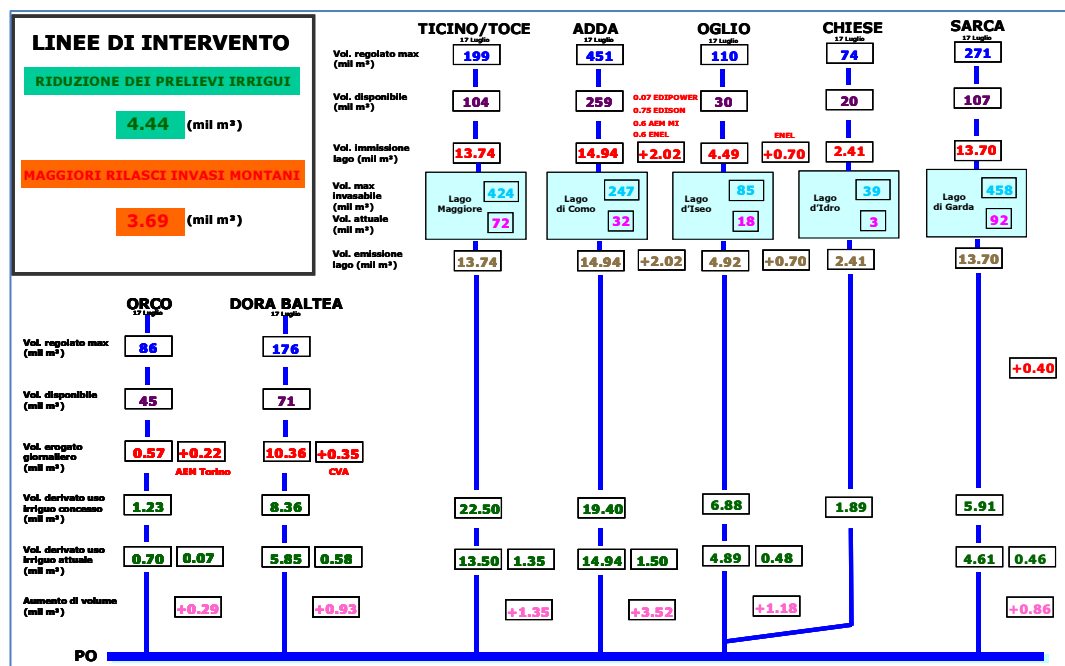


Figura 41 - Schematizzazione dei dati osservati e delle linee di intervento durante la crisi idrica del 2003

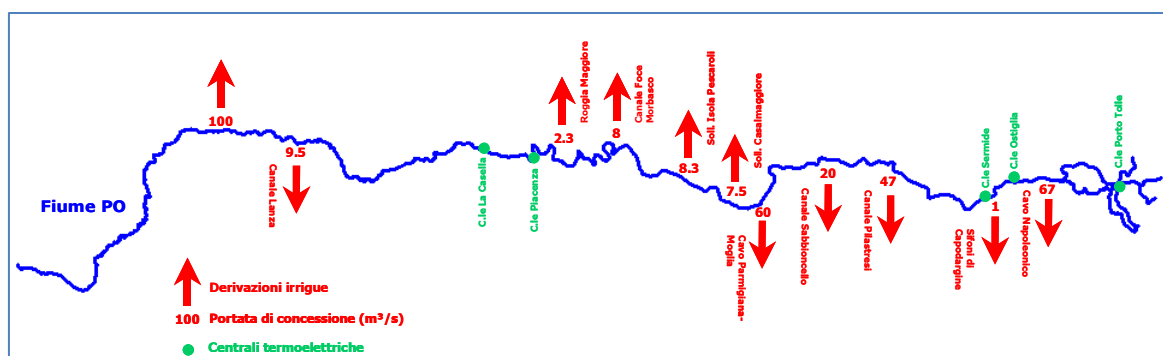


Figura 42 - Schematizzazione dell'asta Po per la gestione della magra del 2003

Le azioni concordate nel Protocollo furono attuate a partire dal giorno 19 Luglio e proseguirono fino al 6 Agosto, generando come risultato più evidente l'inversione della tendenza di riduzione delle portate nel Po a partire dal 23 luglio 2003.

Nel complesso, l'attività permise di mettere in luce gli aspetti portanti su cui successivamente si concentrò, l'attività di contrasto delle crisi idriche:

- le criticità maggiori sono legate ai livelli di Po nel tratto tra Casale Monferrato e il mare; nel resto del bacino la disponibilità idrica è meno critica.
- la portata del tratto medio - basso del Po, in condizioni di magra, è sostenuta principalmente dalle risorgenze di falda, quantificabili, complessivamente sull'intero tratto, in circa 200 m³/s, e dai residui contributi dei bacini alpini;
- al fine di sostenere la portata di Po in assenza di precipitazioni è necessario intervenire su quegli affluenti alpini che nel proprio bacino presentano dei volumi idrici attivabili (significativi serbatoi montani e/o grandi bacini lacustri).
- riduzione dei prelievi irrigui sugli affluenti.

L'applicazione di analoga procedura di intervento in concomitanza degli eventi di crisi idrica avvenuti negli anni successivi 2005 e 2006 ha dato risultati significativi, permettendo una effettiva riduzione del danno derivante dall'evento.

Al fine di fornire un quadro informativo esaustivo sull'evoluzione dello stato idrologico in funzione delle finalità del protocollo d'intesa, L'Autorità di Bacino osserva con continuità dal 2003 le seguenti grandezze, denominate "macrocomponenti del bilancio idrico", ritenute indicatrici dell'accumulo di risorsa idrica nel bacino:

- deflusso nel Po;
- grandezze di gestione dei grandi laghi e dei serbatoi idroelettrici alpini;
- afflusso meteorico;
- accumulo nevoso;
- valori dei principali prelievi irrigui in pianura.

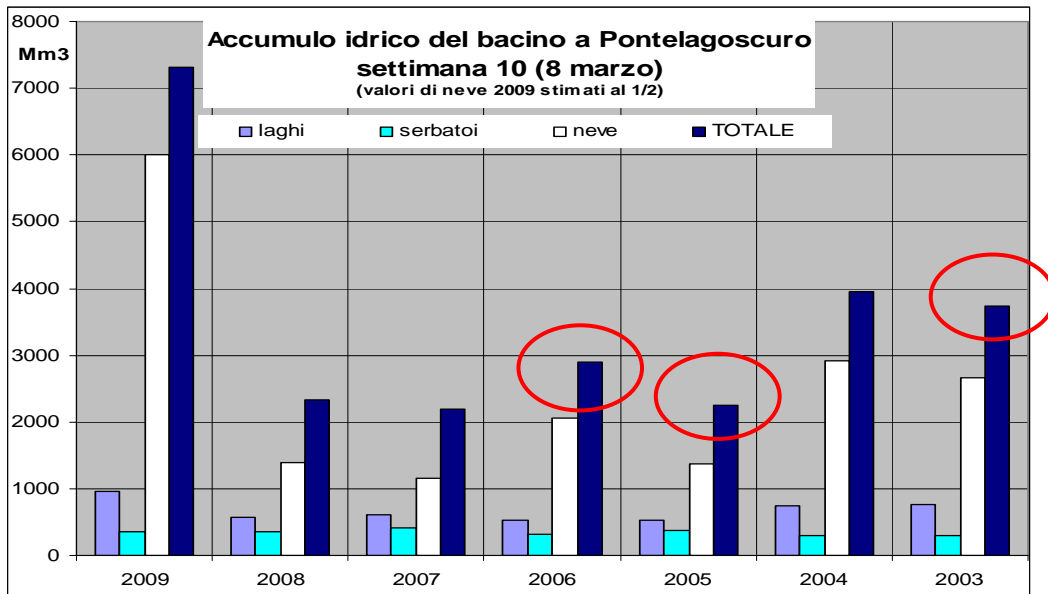


Figura 43 - Volumi idrici accumulati nel bacino del Po alla X settimana dell'anno, dal 2003 al 2009

Osservando l'andamento delle stesse si nota come le crisi idriche che si sono manifestate negli anni 2003, 2005 e 2006 non siano correlate direttamente alle disponibilità idriche accumulate nel bacino alla settimana di riferimento per la fine della stagione invernale, bensì dall'andamento della precipitazione atmosferica e della temperatura nei mesi primaverili ed estivi. Ciò, nel bacino padano caratterizzato nel suo complesso da una buona capacità di accumulo, è indice di una scarsa regolazione della risorsa nel periodo irriguo.

4.3. Criticità emerse durante le crisi idriche

L'elevato uso della risorsa idrica del bacino per finalità diverse e le frequenti situazioni di conflitto tra gli usi che si sono manifestate periodicamente, pongono in tutta evidenza la questione della limitatezza della risorsa, seppur in un territorio notevolmente ricco d'acqua, sia per quantità che per qualità della stessa. Le crisi idriche, in concomitanza a stagioni di ridotto apporto meteorico, hanno generalmente interessato limitate porzioni del bacino e sono state affrontate con strumenti di carattere locale. L'eccezionale magra estiva del 2003 ha invece coinvolto l'intero bacino idrografico, interessando un vasto numero di sottobacini idrografici e manifestando valori particolarmente gravosi sull'intera asta del Po, con condizioni idrometriche molto critiche nel tratto medio – basso, dove i minimi livelli raggiunti hanno fortemente limitato i prelievi sia per uso irriguo che per la produzione termoelettrica, rendendoli talvolta impossibili. In diverse zone del bacino la scarsa disponibilità della risorsa idrica ha messo seriamente a rischio la produzione agricola, mentre le centrali termoelettriche hanno raggiunto condizioni limite per l'approvvigionamento dell'acqua di raffreddamento rischiando, concretamente, di dover mettere fuori servizio alcuni gruppi di produzione e di indurre quindi *black – out* non solo a livello di bacino padano, ma anche su scala nazionale.

Dalla significativa esperienza del "Tavolo tecnico" e successivo Protocollo d'Intesa, attivati per far fronte alla crisi idrica del 2003, è emersa l'opportunità di una gestione unitaria a livello di bacino, ovvero l'esigenza di un "governo" integrato a scala di bacino della risorsa idrica, in grado di regolamentare i prelievi, coordinare gli utilizzi e proteggere i sistemi idrici naturali, applicando il criterio fondamentale dell'unicità e integrità della risorsa idrica a livello di bacino idrografico. Le criticità emerse dall'esperienza precedentemente descritta possono essere sintetizzate nei seguenti punti:



- necessità di un unico referente per il coordinamento delle attività. E' apparsa estremamente significativa ed utile l'istituzione di un centro di coordinamento, nell'occasione (emergenza 2003) realizzato presso l'Autorità di bacino, che svolgesse la raccolta e l'elaborazione delle informazioni e la proposta delle azioni conseguenti, sia per la chiarezza di ruolo e responsabilità, sia per la necessaria rapidità d'intervento.
- Necessità di un protocollo operativo standard per il problema della magra. Le difficoltà incontrate nell'intervento del 2003 sono derivate in gran parte dalla necessità, per i soggetti partecipanti, di disporre di un documento ufficiale sulla base del quale poter assumere impegni, funzioni e responsabilità. Ciò soprattutto a causa delle rilevanti ricadute economiche che ogni intervento sulla gestione delle risorse idriche naturali comporta, in particolare in situazioni di scarsità.
- Necessità di un procedimento automatico di attivazione dell'organismo di coordinamento e dei soggetti interessati, sulla base di riferimenti oggettivi e facilmente controllabili. Ciò comporta l'individuazione di grandezze concrete e relativi "valori soglia" da cui avviare le attività predisposte. Nel caso in esame, il possibile blocco della centrale di Porto Tolle, e quindi le portate del Po a Pontelagoscuro, è stato il fattore di innesco dell'attività.
- Necessità di un sistema di monitoraggio condiviso e immediatamente attivabile e accessibile per tutte le grandezze relative ai prelievi ed alle disponibilità idriche. Il tradizionale sistema di raccolta delle informazioni necessarie ai fini del calcolo del bilancio idrico è risultato incompatibile con i tempi dell'emergenza: l'inadeguatezza riguarda sia la completezza delle informazioni, sia la chiarezza e la tempestività con cui sono state fornite. Occorre definire preventivamente soggetti, situazioni, modalità, contenuti e tempi del trasferimento dei dati necessari alla rappresentazione in tempo reale della situazione. Un sistema siffatto appare utile anche nella gestione ordinaria rispetto alla condivisione dei dati sul territorio.
- Integrazione della gestione su tutte le diverse destinazioni d'uso della risorsa. La gestione di uno stato di carenza idrica raramente investe un singolo utilizzo, sia perché le fonti d'approvvigionamento sono spesso le medesime, sia perché gli utilizzi sono posti in serie; è quindi importante che le diverse destinazioni d'uso siano approfonditamente conosciute, in modo da ottimizzare l'uso della risorsa disponibile.

Tutto ciò ha portato alla stesura, l'8 giugno 2005, di un secondo Protocollo d'intesa, per istituzionalizzare l'"Attività unitaria conoscitiva e di controllo del bilancio idrico volta alla prevenzione degli eventi di magra eccezionale nel bacino idrografico del fiume Po". I soggetti firmatari, gli stessi attori del Tavolo tecnico, s'impegnano in esso a cooperare ai fini della costruzione d'idonei strumenti per l'analisi e il controllo del bilancio idrico, volti alla previsione di potenziali crisi idriche nel bacino idrografico del Po.

I punti fondamentali del protocollo sono i seguenti:

- istituzionalizzazione del tavolo di tutti i soggetti coinvolti nella gestione e utilizzazione della risorsa idrica nel bacino idrografico e definizione delle procedure ai fini del funzionamento ordinario;
- centralizzazione delle informazioni di monitoraggio in tempo reale relative alla disponibilità della risorsa idrica (afflussi, invasi, deflussi) e alle regolazioni;
- costruzione di strumenti tecnici di supporto alla gestione del bilancio idrico a scala di bacino: strumenti di previsione a breve-medio termine, indicatori di criticità, scenari di evoluzione di evento.

L'accordo prevede la costituzione di un Comitato tecnico tra i firmatari, con funzioni di supervisione, orientamento, collegamento e consulenza che, in particolare, deve definire apposite "Specifiche tecniche" che descrivono in dettaglio lo sviluppo operativo delle attività e indicano precisamente gli elementi conoscitivi, le modalità e le azioni per raggiungere gli obiettivi prefissati.

Le Specifiche devono riguardare, oltre che gli indicatori di stato delle risorse e delle possibili tendenze evolutive, anche la realizzazione degli strumenti di raccolta, elaborazione e restituzione delle informazioni necessarie, nonché gli eventuali strumenti ed i modelli di simulazione di distribuzione della risorsa nell'ambito d'interesse.



4.4. Review approcci internazionali

A livello internazionale esistono numerose iniziative per il monitoraggio e la gestione della siccità che hanno punti di contatto e di rottura con l'approccio seguito nel Bacino del Po. Questo capitolo descrive sinteticamente, con il supporto di alcune figure, gli indici e i bollettini preparati da alcune delle più rappresentative iniziative internazionali. Anche se la revisione non è esaustiva permette di comprendere quali siano le tendenze a livello internazionale nell'affrontare il problema delle siccità. Nell'ambito della descrizione dei prodotti verrà fatto riferimento a indici meteorologici e idrologici, per la loro descrizione sintetica si rimanda alla descrizione degli indici di siccità di "Capitolo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** - **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**" del presente Allegato.

4.4.1. European Drought Observatory:

Le previsioni di cambiamenti climatici per l'Europa indicano notevoli cambiamenti nel bilancio idrico in tutta Europa, con una maggiore probabilità di siccità estiva nel Mediterraneo. Tuttavia, anche altre regioni d'Europa possono andare incontro a cambiamenti nella distribuzione annuale delle precipitazioni e del bilancio energetico, con conseguente maggiore probabilità di periodi con ridotta disponibilità di acqua, nonché dell'instaurarsi di una variabilità generalmente più elevata che porta ad un aumento di eventi climatici estremi.

A causa della crescente necessità di avere informazioni consistenti sulle condizioni siccitose a scala europea la comunità europea tramite il JRC, ed in particolare all'interno dell'Azione DESERT ha istituito l'European Drought Observatory (EDO) con lo scopo di prevedere, monitorare e valutare le condizioni di siccità a scala regionale Europea. Lo sviluppo di EDO si appoggia anche all'esperienza modellistica maturata durante lo sviluppo dell' European Flood Forecasting System (EFAS).

Per ulteriori approfondimenti si rimanda al seguente sito: <http://edo.jrc.ec.europa.eu/>

Prodotti: l'EDO esibisce una numerosa lista di indici e mappe per la valutazione delle siccità a scala regionale. Sono disponibili serie storiche di Standard Precipitation Index (SPI) su diverse scale temporali mediate sulla regione europea o sotto-regioni specifiche, così come quelli calcolati a livello di stazione (Figura 44).

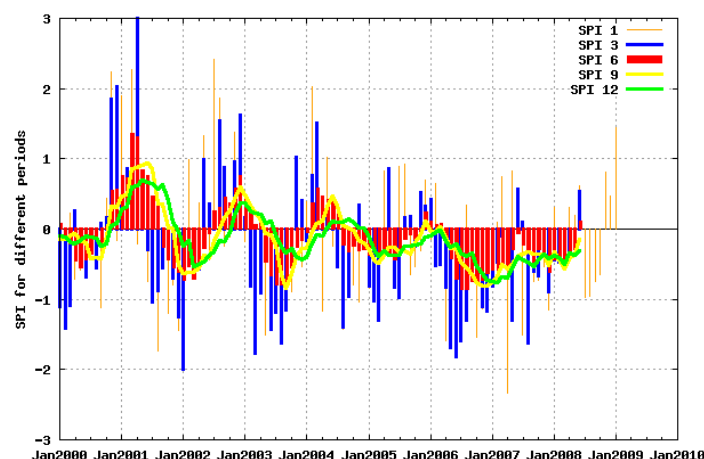


Figura 44 Esempio di andamento dell'indice SPI su diverse finestre temporali per il periodo Gennaio 2000-Gennaio 2010

Tramite un modello idrologico (LisFlood) l'EDO fornisce anche mappe e serie temporali dell'umidità del suolo e della sua anomalia rispetto alla climatologia locale (Figura 45)

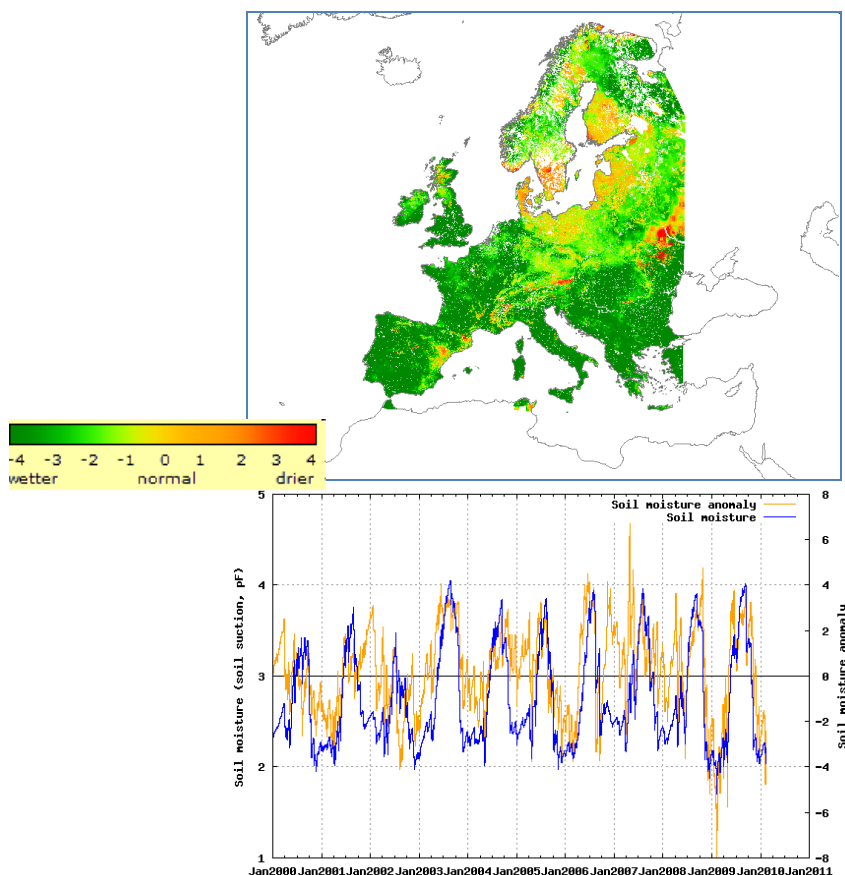


Figura 45 Esempio di andamento della umidità del suolo e della sua anomalia ricavata da modellazione idrologica

Oltre a questo l'EDO fa uso di indici di derivazione satellitare anche avanzati come l'fAPAR (Efficienza Fotosintetica), approcci molto promettenti per determinare lo stato di sofferenza della vegetazione (Figura 46).

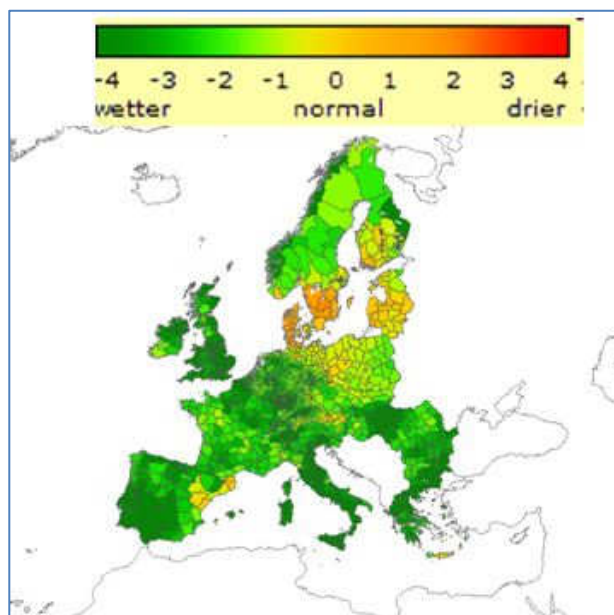


Figura 46 Esempio di mappa di fAPAR ricavata da Satellite (MERIS)

Non esiste alcuno sforzo di interpretazione congiunta dei vari prodotti, interpretazione che viene lasciata all'utente finale.

4.4.2. **Drought Management Centre for SouthEastern Europe (DMCSEE)**

La missione del DMCSEE è quello di coordinare e facilitare la definizione, valutazione e applicazione di strumenti di gestione del rischio siccità e le politiche del Sud-Est Europa con l'obiettivo di migliorare la preparazione alla siccità e ridurre gli impatti. Pertanto DMCSEE concentrerà la sua azione sul monitoraggio e la valutazione della siccità, sulla valutazione dei rischi e sulla vulnerabilità connessa alla siccità. I compiti principali del concordato DMCSEE sono raggruppati in 8 obiettivi riassunti di seguito:

- valutare i dati disponibili per il monitoraggio della siccità e per un efficace sistema di allerta precoce.
- Valutare e selezionare i più efficaci ed affidabili indici e indicatori per la valutazione della siccità.
- Condurre una valutazione del rischio di siccità.
- Individuare le esigenze specifiche di formazione.
- Sviluppare e implementare un sistema di consegna dei dati e informazioni sulla gestione della siccità.
- Sviluppare una rete globale di esperti e di istituzioni per assistere il DMCSEE.
- Assicurare la comunicazione e il feedback degli utenti.
- Stabilire la DMCSEE permanenti e garantire il suo funzionamento e le operazioni sostenibili.

Per approfondimenti si rimanda al seguente sito internet: <http://www.dmcsee.org/>

Prodotti: il DMCSEE si limita a fornire accesso a serie storiche di Standard Precipitation Index (SPI) su diverse scale temporali sulla zona di studio, fornisce inoltre analisi dei percentili di precipitazione. Entrambi i prodotti sono grigliati. Tuttavia anche in questo caso non è fornita interpretazione congiunta dei vari prodotti.

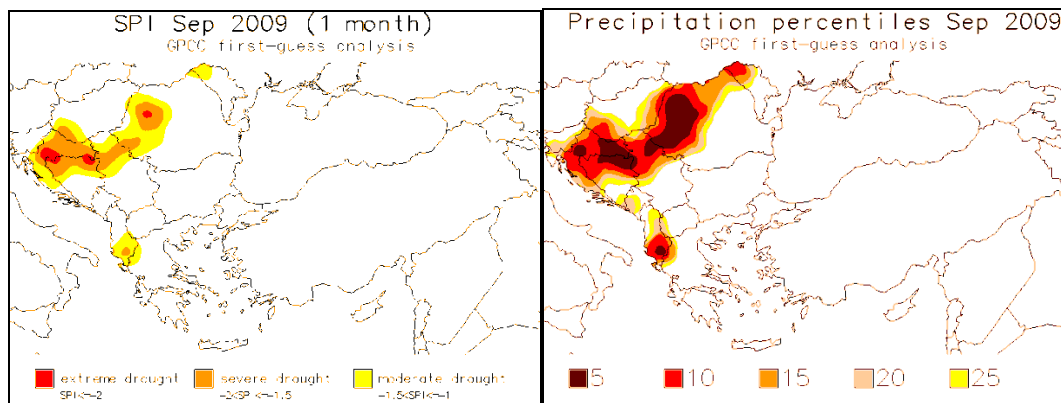


Figura 47 Esempio di mappa di SPI e di calcolo dei percentili (Settembre 2009)

4.4.3. International Research Institute for Climate and Society (IRI)

L'IRI fornisce valori di precipitazioni e di temperature misurati precedentemente e con riferimento a probabili condizioni future. La prospettiva è globale con uno sguardo alle ripercussioni a livello regionale. Le informazioni sono principalmente derivate dalla climatologia contenuta nell'IRI Information Digest del quale esiste una versione diffondibile a livello mensile.

Per approfondimenti si rimanda al seguente sito internet: <http://iri.columbia.edu/climate/highlight/>.

Prodotti: L'IRI, oltre a fornire accesso a serie storiche meteorologiche, per esempio di Standard Precipitation Index (SPI) su diverse scale temporali a livello globale, offre prodotti basati sulle previsioni dei modelli meteorologici di circolazione globale (GCM) in una prospettiva multi-modello che offre quindi anche valutazioni sull'incertezza dei campi. In Figura 48 sono riportate le previsioni di precipitazione e temperatura, i prodotti sono grigliati.

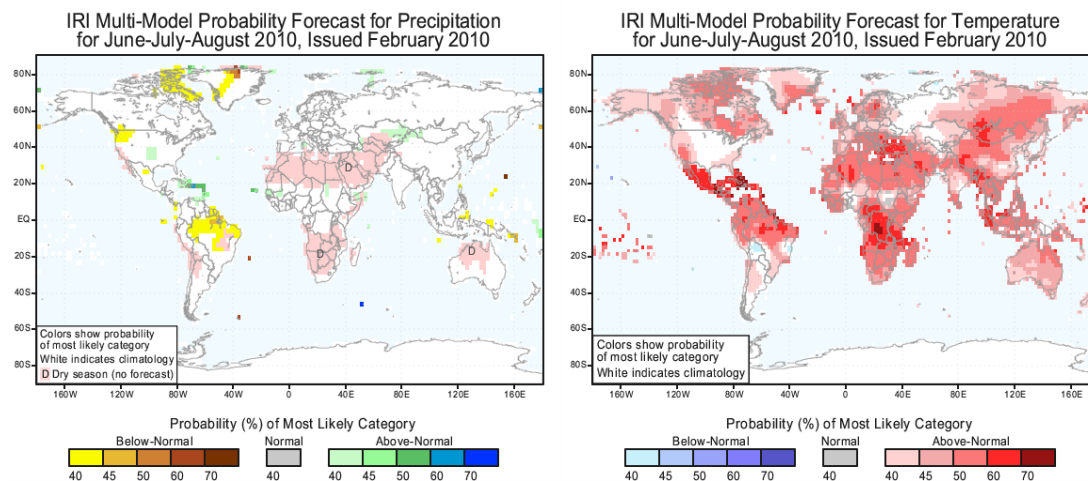


Figura 48 Esempio di mappa di previsioni di precipitazione e temperatura a scala globale

4.4.4. US Drought Monitor

In mancanza di una definizione unica di siccità che sia soddisfacente per tutte le circostanze, si può contare su una molteplicità di indicatori che offrano un panorama completo sulla siccità stessa: per rilevarla e, eventualmente, misurarla. Nessun singolo indice infatti opera in tutte le circostanze, ecco perché il US Drought Monitor è stato concepito come una sintesi di più indici capaci di descrivere gli impatti di un evento siccitoso, che raccoglie il consenso di scienziati di diversa estrazione (applicati e di

ambito accademico). Il prodotto viene continuamente perfezionato nel corso del tempo, attraverso la ricerca delle modalità che meglio rispecchiano le esigenze dei decisori e altri che utilizzano le informazioni prodotte. Per approfondimenti si rimanda al seguente sito internet: <http://drought.unl.edu/dm/monitor.html>

Prodotti: la lista di prodotti contenuti nell'US Drought Monitor è particolarmente ricca e comprende indici meteorologici (e.g., SPI, percentili di pioggia), idrologici (e.g., SWE, percentili di portata misurata, Umidità del suolo), vegetazionali (e.g., Vegetation Drought Response Index), agricoli (e.g., Umidità delle colture). Inoltre vengono utilizzate previsioni di pioggia e temperatura sia su base stocastica sia su base dinamica. I prodotti di maggiore interesse sono comunque il Seasonal Drought Outlook (Figura 49), e gli Short-term and Long-term Drought indicator blend percentile (Figura 50) che uniscono secondo metodologie codificate diversi indicatori fornendo una interpretazione complessiva del fenomeno siccitoso e dei sui potenziali impatti.

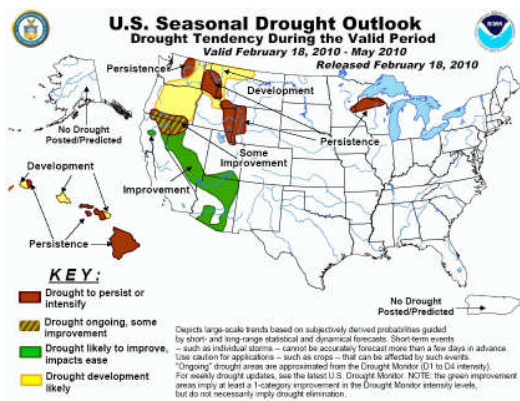


Figura 49 - Esempio di mappa dello Seasonal Drought Outlook con descrizione della scala di intensità dell'evento siccitoso e la sua persistenza anche su base previsionale

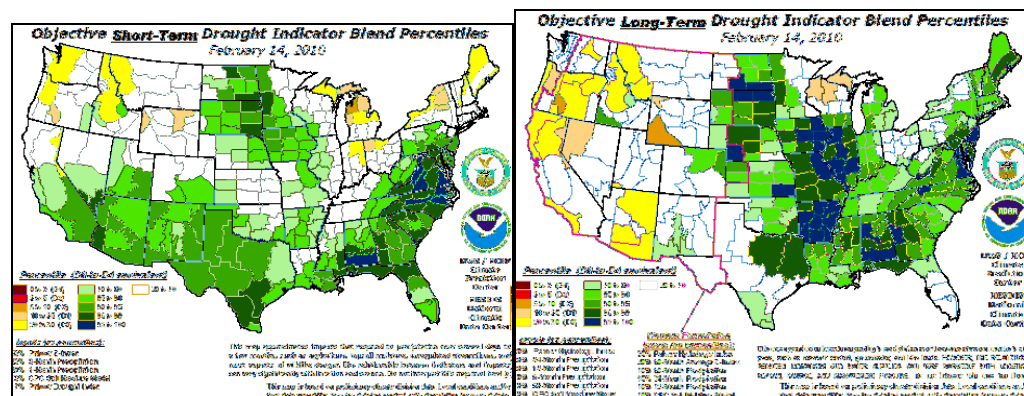


Figura 50 Esempio di mappa dello Short-term and Long-term Drought indicator blend percentile con descrizione della scala di intensità dell'evento siccitoso e degli input utilizzati per la compilazione

4.4.5. Drought Monitor with VIC

Si tratta di un'applicazione di taglio più accademico e meno operativo. L'analisi della siccità si basa sul confronto del tasso di umidità del terreno contro la climatologia retrospettiva di 54-anni basata sulle simulazioni del modello idrologico VIC. La climatologia è calcolata separatamente per ogni cella della griglia (> 55.000 celle-griglia negli Stati Uniti). I risultati indicano le percentuali di umidità del suolo all'istante considerato rispetto alla climatologia a 54 anni, definite a partire dai valori in una finestra di campionamento di 49 giorni centrata nell'istante considerato.

Per approfondimenti si rimanda al seguente sito internet: <http://hydrology.princeton.edu/forecast/>.

Prodotti: Il prodotto rilasciato riguarda una previsione in termini di probabilità che l'umidità si trovi al di sotto del ventesimo percentile per gli stati uniti continentali (esclusa l'Alaska) (Figura 51).

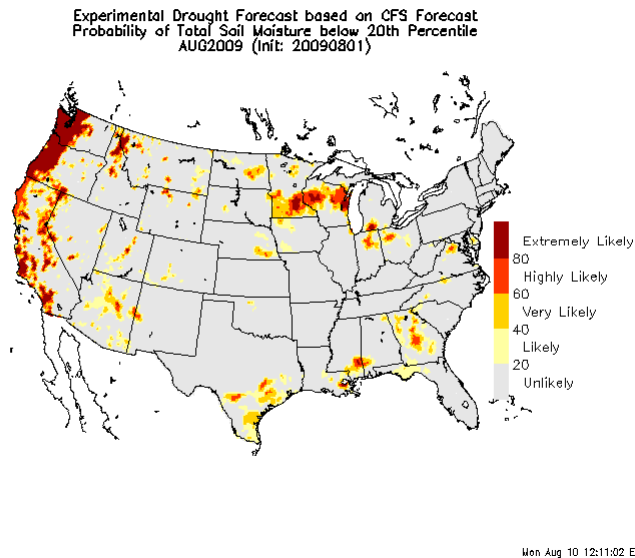


Figura 51 Esempio di mappa probabilità che l'umidità si trovi al di sotto del ventesimo percentile (Agosto 2009)

4.4.6. SINTESI

In tutti i casi analizzati si trova una marcata tendenza all'utilizzo di indici puramente meteorologici (e.g., SPI) questo a causa della semplicità di raccolta di dati e previsioni di precipitazione ed alla semplicità con cui è possibile calcolarli. Inoltre la loro larga diffusione permette anche un confronto con esperienze fatte da altri studi accrescendo la robustezza e la confidenza nei risultati ottenibili da tale approccio. E sempre maggiormente diffusa comunque la tendenza all'utilizzo di un ventaglio di indici, perché viene riconosciuta la necessità di descrivere la siccità nei suoi molteplici aspetti, non limitandone la descrizione a puri fattori meteorologici, idrologici o vegetazionali. Da questo punto di vista si afferma la tendenza a non fornire un'interpretazione congiunta degli indici calcolati, ma di lasciare tale onere all'operatore che deve gestire la crisi, solo nel caso dell'US Drought Monitor si propongono prodotti che contengono un livello di interpretazione ulteriore. Inoltre si trova una tendenza a basare indicatori e decisioni sull'osservato e non sulle previsioni. Esistono comunque diversi prodotti basati sulle previsioni dinamiche di precipitazione e temperatura. Solo in alcuni casi è presente una modellistica idrologica avanzata integrata con le previsioni, questo a causa del costo di implementazione e di manutenzione del sistema. Da ultimi si nota uno scarso utilizzo del dato satellitare che pur sembra produrre risultati scientificamente apprezzabili su scale integrali di tempo e spazio consistenti con la gestione regionale delle magre.



5. LINEE GUIDA PER L'UTILIZZO DELLE USCITE MODELLISTICHE PREVISIONALI E DI ANALISI DEL MODELLO DI MAGRA

Le linee guida descritte nel presente capitolo sono state ispirate allo schema descritto al Paragrafo "4.2- *Il modello di gestione della carenza idrica e della siccità nel bacino del Po.*", al fine di migliorare attraverso la formalizzazione di alcuni aspetti e l'inserimento di elementi innovativi la prassi gestionale già efficacemente operativa da tempo senza stravolgere le abitudini del distretto, che derivano dalle esigenze concrete delle amministrazioni competenti alla gestione e degli stakeholders.

Rispetto alla gestione delle crisi del 2003, 2005 e 2006, è infatti disponibile dal 2010 un forte elemento di innovazione: il modello numerico di formazione dei deflussi, sistema DEWS-Po, attraverso il quale si possono raccogliere le informazioni di previsione climatica a breve e medio termine sulle precipitazioni e le temperature, associandole alle osservazioni in tempo reale relative alla disponibilità della risorsa idrica, afflussi, invasi, deflussi, e alle regolazioni, e valutare con anticipo significativo i deflussi di magra e quindi la disponibilità di risorsa idrica e i livelli nelle diverse sezioni.

L'uso del sistema modellistico nel contesto operativo dell'Autorità di Bacino del Fiume Po e, quando convocata, della Cabina di Regia per la gestione delle crisi idriche, necessita di procedure di utilizzo affidabili e riconosciute da tutto il sistema degli utilizzatori della risorsa, descritte nell'ambito del presente Allegato al Piano del Bilancio Idrico.

L'approccio seguito è quello della "macchina a stati" dove vengono definiti passaggi di stato, modalità di controllo e utilizzo del sistema in funzione dei valori delle variabili idrometeorologiche osservate e previste. Il concetto della macchina a stati è stato quindi applicato in modo che gli stati corrispondano alle fasi operative di gestione della crisi, per ciascuna delle quali sono definite azioni che le diverse componenti del sistema di gestione della risorsa sono chiamate a porre in essere con l'obiettivo di ridurre gli impatti negativi della siccità o di una riduzione della disponibilità idrica stagionale.

Il sistema in particolare può trovarsi in tre possibili stati/fasi operative: Previsione, Vigilanza e Monitoraggio. Per ciascuna fase operativa sono quindi proposte schematizzazioni delle operazioni di analisi e valutazione delle uscite del sistema da effettuare. La terminologia è adeguata ai contenuti delle "*Indicazioni operative per l'omogeneizzazione dei messaggi di allertamento e delle relative Fasi operative per rischio meteo-idro*", firmate dal Capo Dipartimento della Protezione Civile il 10 febbraio 2016, contenenti "*Metodi e criteri per l'omogeneizzazione dei messaggi del Sistema di allertamento nazionale per il rischio meteo-idrogeologico e idraulico e della risposta del sistema di protezione civile*".

Le fasi operative sono, sempre coerentemente alle indicazioni operative di protezione civile, poste in collegamento biunivoco con gli scenari di severità idrica, i livelli di criticità ed i livelli di allerta, come approfondito nel seguito nel documento.

5.1. Impatti attesi dalla buona gestione della siccità

La siccità può essere affrontata secondo due approcci: proattivo e reattivo. L'approccio reattivo è quello fino ad ora meglio conosciuto, e consiste nel reagire alla situazione che si presenta nel tempo reale, con un margine previsionale molto ridotto o nullo. L'approccio reattivo è tipico nella gestione delle emergenze, e il suo successo dipende dalla conoscenza del sistema da parte dei livelli gestionali e dalla capacità di adottare la scelta corretta in poco tempo, nonché dall'evoluzione della singola situazione che viene gestita. L'approccio proattivo prevede invece che vengano studiati in anticipo, rispetto all'occorrenza dell'evento estremo, gli impatti della siccità sul sistema e sul suo funzionamento, e che vengano previste in anticipo, attraverso l'inserimento nei programmi di misure dei piani di settore, azioni preventive a intensità proporzionale alla severità dell'evento, che possano generare una gestione

adattativa del sistema al fine di mitigare gli impatti. L'approccio proattivo contempla quindi anche l'insieme delle azioni conoscitive e delle misure di medio e lungo periodo volte al miglioramento del bilancio idrico, nonché la predisposizione anticipata delle azioni conoscitive e delle misure di tempo reale o breve periodo per la gestione degli eventi estremi.

In tale schema, l'approccio reattivo è relegato alle situazioni di emergenza, quando cioè le condizioni che si verificano sono tali da non poter essere contemplate in anticipo tra quelle risolvibili con una gestione programmata. In tal caso, come meglio delineato nel seguito, le decisioni non potranno basarsi su protocolli pre-impostati *evento-impatto-azione*, ma dovranno essere prese necessariamente nel tempo reale sulla base del monitoraggio istantaneo della situazione: questa evenienza caratterizza la situazione tipicamente emergenziale.

Gli approcci sono interrelati: le misure proattive incrementano l'efficienza del sistema, ed un sistema più efficiente risulta più resiliente agli eventi estremi. La considerazione delle due parti nell'ambito dello stesso Piano del Bilancio Idrico comporta l'importante valore aggiunto che può essere valutata l'efficacia delle misure proattive rispetto all'aumento della resilienza alla siccità, mentre di contro è possibile verificare che la gestione emergenziale operi comunque nell'ambito delle finalità strategiche generali del Piano.

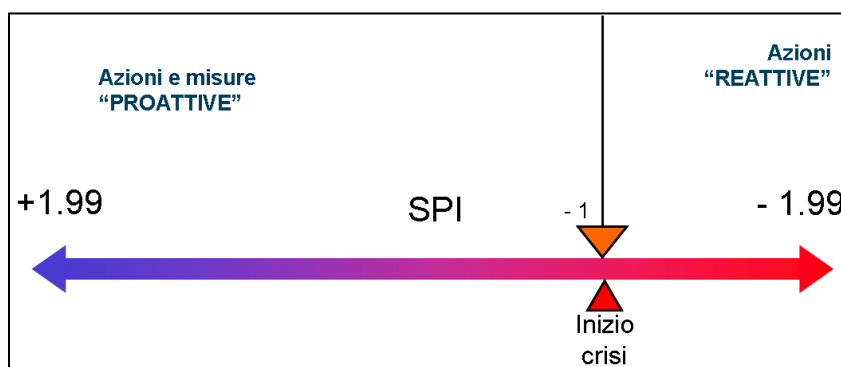


Figura 52

Per illustrare le finalità delle misure relative alla gestione delle siccità nel loro complesso (proattive e reattive) è stato presentato il seguente schema: si immagini di monitorare la siccità sulla base di un indice climatico il cui valore peggiora man mano che si registra un crescente grado di deficit pluviometrico, quale l'SPI (Standard Precipitation Index) (Figura 52). Si supponga che il sistema allo stato attuale sia strutturato in modo da entrare in emergenza quando il valore dell'indice assume il valore di -1. Se però, nell'ambito del Piano, il sistema è stato analizzato e sono state individuate ed applicate efficaci misure proattive, esso dovrebbe essere in grado di far fronte ad eventi climatici più intensi senza che si manifesti lo stato di emergenza, cioè attraverso una gestione programmata che si spinge fino situazioni climatiche (i.e. valori dell'indicatore SPI) peggiori (Figura 53).

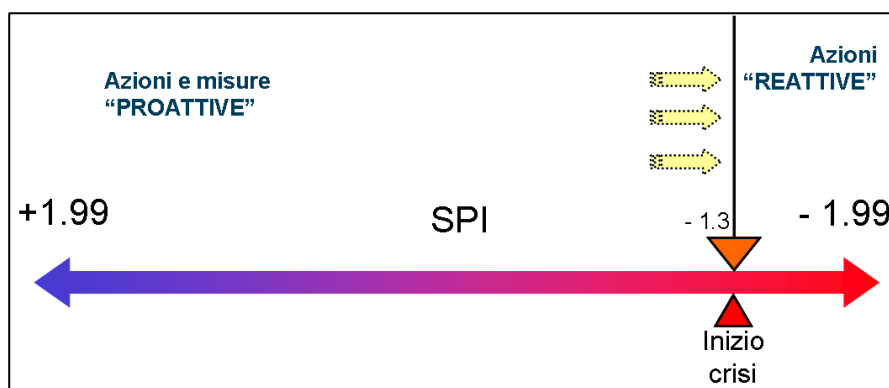


Figura 53

L'azione del Piano, se ben strutturata, deve tradursi in una riduzione del danno complessivamente subito dal *sistema distretto idrografico* a seguito di un evento siccitoso. In particolare il danno deve risultare pressoché nullo fino al momento in cui può essere attuata la gestione programmata. (Figura 54).

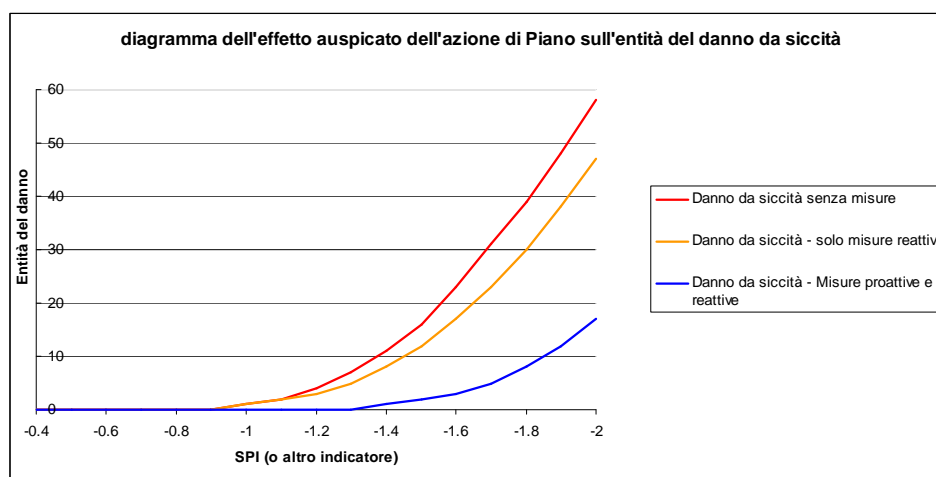


Figura 54 - Diagramma qualitativo degli effetti dell'attuazione dei Piani di Gestione delle Siccità²⁰

Occorre sottolineare che nell'identificare il concetto di danno al sistema di riferimento al danno globalmente subito nell'ambito del territorio del Distretto, aprendo la prospettiva alla necessità di dotarsi di strumenti comparativi dei valori di danno in aree diverse. Una riduzione del danno complessivo può anche essere ottenuta attraverso misure per la dislocazione degli impatti negativi da aree più vulnerabili ad aree meno vulnerabili. Tale azione richiede la promozione di un approccio territorialmente integrato, basato su accordi di cooperazione e secondo i principi della mutualità.

Nel grafico di Figura 54, l'area compresa tra le diverse curve rappresenta il risparmio in termini di "mancato danno" globalmente generato a livello di distretto idrografico dalla buona gestione. Tale risparmio deve essere la base per meccanismi risarcitivi e altre azioni volte a promuovere l'equità della distribuzione della risorsa idrica sul territorio e alle diverse utenze.

²⁰ Il diagramma è puramente qualitativo e non rappresenta il grafico di una funzione matematica del danno in funzione di SPI o di altro indicatore.



5.2. Obiettivi delle Linee guida

Il presente documento ha lo scopo di suggerire una modalità di utilizzo del sistema modellistico *DEWS-Po* (si vedano le caratteristiche tecniche del sistema nell'Allegato 4 alla Relazione Generale del presente Piano) in un contesto operativo di supporto per l'Autorità di Bacino e la Cabina di Regia²¹. Il sistema modellistico di magra si compone di differenti elementi, quali la modellistica di previsione idrologico idraulica, la modellistica stocastica delle precipitazioni su scala stagionale, le componenti per la rappresentazione delle problematiche di risalita del cuneo salino. Le linee guida qui illustrate si prefiggono di indirizzare l'utilizzo di questo complesso strumento in periodi caratterizzati da carenza della risorsa idrica, anche in seguito all'insorgenza di un periodo siccitoso, monitorarne l'andamento, quantificarne la severità, fornire, nel corso dell'evento, con adeguato anticipo, le informazioni necessarie a consentire eventuali azioni di contrasto, compresa la formulazione dei possibili scenari.

Attraverso l'approccio della *macchina a stati* vengono definiti i passaggi di stato, modalità di controllo e utilizzo del sistema in funzione di opportuni indicatori meteo-idrologici osservati e previsti su diversi orizzonti di tempo al fine di attivare tempestivamente azioni di mitigazione degli impatti sul sistema economico (e.g., produzione idro- e termo-elettrica), sociale (e.g., usi civili della risorsa idrica) ed ambientale (e.g., risalita del cuneo salino nel delta di Po).

Il raggiungimento degli obiettivi rientra in un approccio proattivo, che include sia azioni a lungo termine, orientate a conoscere e ridurre la vulnerabilità dei sistemi di fornitura idrica, sia azioni di breve termine da implementarsi durante la siccità.

I diversi elementi affrontati nelle linee guida sono facilmente inseribili nella formalizzazione proposta dall'Agenzia Ambientale Europea (EEA) che propone l'approccio denominato **DPSIR** (*Drivers, Pressures, State, Impacts, Response – Drivers, Pressioni, Stato, Impatti, Risposta*). Le linee guida infatti descrivono gli strumenti per la valutazione dei **Drivers** e delle **Pressioni**, di tipo climatico e antropico, valutati anche a mezzo di indicatori, e sono input fondamentale per la modellazione idrologico-idraulica alla base del sistema previsionale. Tale modellazione permette di determinare lo **Stato** del sistema, che corrisponde, nel linguaggio di Protezione Civile, allo Scenario di severità idrica. Le linee guida inoltre forniscono una metodologia per determinare gli **Impatti** che un determinato scenario ha avuto, avrebbe o potrà avere sul territorio del bacino del Fiume Po, e infine delle azioni che ne permettono la mitigazione, identificando quindi la possibile **Risposta** ad un evento critico.

²¹ Istituita con Decreto Commissariale n. 1 del 13.7.2007

5.3. Definizione di siccità

Carenza idrica²² (water scarcity)

Il termine carenza idrica fa riferimento ad uno squilibrio di lungo termine che nasce dalla combinazione di disponibilità idrica ridotta e di un livello di domanda che eccede la capacità del sistema naturale. Inoltre, al di là degli aspetti quantitativi appena citati, una situazione di carenza idrica può originarsi laddove l'inquinamento intenso da sorgenti diffuse o puntuali possa ridurre la disponibilità di acqua di buona qualità.

Siccità²³ (drought)

Il termine siccità fa riferimento ad una diminuzione temporanea della disponibilità idrica naturale media, dovuto, ad esempio, ad una riduzione della piovosità.

Tabella 9 - Definizioni di carenza idrica e siccità

Nella Tabella 9 sono richiamate le definizioni proposte nella Relazione Generale al presente Piano, che corrispondono a quelle ufficiali reperibili nelle pagine web della Commissione Europea.

Tuttavia, occorre precisare che a livello generale coesistono anche altre e diverse definizioni di siccità, in quanto il termine assume significati diversi in funzione degli interessi che uno specifico individuo/gruppo ha nei confronti dell'utilizzo della risorsa idrica. Ad esempio, per l'agricoltore siccità significa una carenza di umidità nello spessore di suolo interessato dalle radici delle sue coltivazioni; per l'idrologo significa sperimentare dei livelli idrici inferiori alla media nei corsi d'acqua, nei laghi e altre riserve della risorsa (e.g., nevai, ghiacciai); per l'economista una carenza della risorsa idrica che ha effetti negativi sulla economia vigente. Ciascuno ha quindi interessi che dipendono dagli effetti di un'anomalia meteorologica particolarmente persistente (Palmer, 1964).

Pertanto, le definizioni di Tabella 9 pur essendo troppo generali per essere utilizzate in modo pratico, definiscono la base conoscitiva di definizioni specifiche e appropriate alle applicazioni considerate. È ad esempio importante sottolineare come la siccità non debba essere confusa con l'aridità che è una caratteristica permanente dei climi asciutti. E neanche con la carenza idrica, che comporta sbilanci a lungo termine tra domanda e risorsa idrica. Si riportano qui alcune accezioni rilevanti del termine siccità, al fine di fornire quei riferimenti conoscitivi minimi e indispensabili agli operatori del settore.

Nella Tabella 10, ad esempio, diverse tipologie di siccità sono classificate in funzione della componente del ciclo idrologico naturale su cui si misura l'impatto.

²² "It refers to long-term water imbalances, combining low water availability with a level of water demand exceeding the supply capacity of the natural system"[...] "Beyond water quantity, a situation of water scarcity can also emerge from acute water quality issues (e.g. diffuse or point source pollutions) which lead to reduced fresh/clean water availability." - <http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/about.htm>

²³ "Droughts can be considered as a temporary decrease of the average water availability due to e.g. rainfall deficiency." - <http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/about.htm>



Siccità meteorologica: definita comunemente come una carenza di precipitazione rispetto a valori climatologici medi su un periodo definito.

La condizione di riduzione della precipitazione rispetto ai valori normali è conseguenza della variabilità di precipitazione principalmente causata da processi geofisici (i.e., interazioni oceanografiche, interazioni con la biosfera e fluttuazioni di energia solare)

Siccità agricola: definita come una carenza di umidità nel suolo nella zona interessata dall'apparato radicale delle colture sufficientemente prolungata da creare sofferenza nella colture stesse.

Essa si presenta come conseguenza diretta della siccità meteorologica a valle della quale può verificarsi un deficit dell'umidità del suolo.

Siccità vegetazionale: definita come una carenza di umidità nel suolo nella zona interessata dall'apparato radicale della vegetazione permanente sufficientemente prolungata da creare sofferenza nella vegetazione stesse.

Essa si presenta come conseguenza diretta della siccità meteorologica a valle della quale può verificarsi un deficit dell'umidità del suolo.

Siccità idrologica: definita come una persistente condizione al di sotto della media climatologica dei livelli idrici nei corsi d'acqua, nei laghi, nelle dighe e in altre riserve nell'area considerata.

Quando le conseguenze del deficit di umidità del suolo arrivano ad interessare i corpi idrici superficiali e, quindi, quelli sotterranei, si verifica la siccità idrologica come decremento del deflusso superficiale e sotterraneo. A questo spesso si associano effetti sui sistemi di fornitura idrica.

Tabella 10 - Definizioni di siccità in funzione della componente del ciclo idrologico colpito

Nella Tabella 11 sono riportate altre definizioni vigenti al National Drought Mitigation Centre, utili a comprendere la complessità del fenomeno e del cercarne una definizione omnicomprensiva.



NATIONAL DROUGHT MITIGATION CENTER	
Siccità	Espressione di una temporanea diminuzione nella disponibilità idrica media . La causa primaria della generazione della siccità è in genere l' insufficienza delle precipitazioni . Elevate temperature dell'aria e elevati tassi di evapotraspirazione possono interagire con la mancanza di precipitazioni ed amplificare la gravità e la durata delle siccità. Le siccità sono collegate alle stagioni ed avvengono per lo più in estate anche se ci sono anche siccità invernali. Sono inoltre collegate all'efficacia della precipitazione (intensità e numero di eventi piovosi). In conclusione questi eventi sono una combinazione di fattori naturali, in alcuni casi veramente difficili da prevedere. Comunque i loro impatti possono essere aggravati da attività antropiche, in particolare le situazioni di carenza idrica. Allo stesso modo una situazione di carenza idrica può essere esacerbata dall'insorgenza di una siccità
Carenza idrica	Descrive una situazione di squilibrio idrico di lungo termine , nel quale le richieste idriche sono superiori ai livelli di risorsa idrica naturale disponibile. Inoltre gli squilibri del bilancio idrico possono comportare problemi di qualità e generare ampie aree con acque inadatte al consumo (non importa se queste regioni siano direttamente affette da problemi di quantità d'acqua). La carenza idrica è un fenomeno influenzato dal fattore umano
Siccità meteorologica	Definita sulla base del grado di secchezza (in confronto ad una quantità "normale" o media) e della durata del periodo secco. Le definizioni devono essere locali poiché le condizioni atmosferiche che producono deficit di precipitazioni sono altamente variabili da regione a regione. Ad esempio alcune di esse identificano periodi di siccità sulla base del numero di giorni con precipitazioni inferiori ad una soglia specificata. Questa misura è appropriata per regioni caratterizzate da regimi pluviometrici regolari (ad esempio foreste pluviali tropicali, climi umidi delle medie latitudini). Altre regioni sono caratterizzate da una struttura di precipitazione stagionale, ove non è realistico applicare tale definizione. Altre definizioni possono collegare la differenza delle precipitazioni attuali rispetto a quantità medie a scala mensile, stagionale o annuale.
Siccità idrologica	È associata agli effetti di periodi di deficit di precipitazione (inclusa la neve) sulla fornitura idrica superficiale o sotterranea (deflussi, serbatoi, livelli dei laghi, falde). Frequenza e severità della siccità idrologica sono spesso definite a scala di bacino idrografico. Anche se tutte le siccità hanno origine da una insufficienza di precipitazione, gli idrologi sono più interessati agli impatti sul sistema idrologico. Le siccità idrologiche sono in generale fuori fase o in ritardo rispetto alle siccità agricole o meteorologiche. Ci vuole più tempo alla insufficienze di precipitazione a mostrarsi nelle componenti del sistema idrologico (umidità del suolo, deflussi, falde e serbatoi)
Siccità agricola	Collega differenti caratteristiche della siccità meteorologica (o idrologica) agli impatti agricoli, mettendo a fuoco la scarsità di precipitazione, la differenza tra evapotraspirazione reale e potenziale, i deficit di umidità del suolo, i ridotti livelli dei serbatoi e delle falde. Le richieste idriche delle piante dipendono dalle prevalenti condizioni del tempo, dalle caratteristiche biologiche specifiche, dal grado di crescita delle stesse e dalle proprietà fisiche e biologiche del suolo. Una buona definizione dovrebbe poter portare in conto la differente suscettibilità delle piantagioni durante i differenti livelli di sviluppo dalla germogliazione alla maturazione. Una carenza di umidità alla sommità del suolo può ostacolare la germinazione conducendo a una bassa densità di popolazione della piantagione e, quindi, a una riduzione del raccolto. Comunque se l'umidità dello strato superiore di suolo è sufficiente per le prime esigenze di crescita, carenze di umidità del suolo in questa fase iniziale potrebbero non influenzare il raccolto se l'umidità del sottosuolo è rifornita al progredire della stagione di crescita o se la precipitazione è adeguata alle esigenze idriche della piantagione.
Siccità socio economico	Le definizioni, in tal caso associano l'offerta e la domanda di alcuni beni economici con elementi della siccità meteorologica, idrologica e agricola. Differisce dai suddetti tipi di siccità perché si manifesta in dipendenza dei processi spaziali e temporali di fornitura e domanda per identificare e classificare la siccità. La fornitura di molti beni (acqua, foraggio, granaglie pesce, potenza elettrica) dipendono dalle condizioni del tempo. A causa della variabilità naturale del clima la fornitura d'acqua è ampia in alcuni anni ma incapace di riscontrare le esigenze umane ed ambientali in altri. Le siccità socio economiche occorrono quando la domanda di un bene economico eccede la sua offerta a causa di deficit della fornitura idrica legata al tempo atmosferico.

Tabella 11 - Altre definizioni dal National Drought Mitigation Centre (Nebraska)



A causa della complessità della siccità, risulta particolarmente difficile determinare un inizio e una fine dell'evento siccitoso (si pensi per confronto ad un evento di piena, in cui viene verificato il superamento di un livello idrometrico di guardia). È possibile comunque identificare diversi indicatori di siccità che forniscono importanti informazioni per monitorare un evento siccitoso. La determinazione di quali indicatori si debbano utilizzare pone alcune difficoltà agli utilizzatori. Per esempio è necessario scegliere se fidarsi esclusivamente di misure (e.g., misure di portata, estensione dei nevai) oppure costruire indici più complessi che tengano conto di diverse componenti, magari anche modellistiche. Come già puntualizzato nella scelta di tali indicatori è necessario definire lo scopo ultimo di chi utilizza l'informazione, anche in termini delle diverse componenti che devono essere protette da tale evento: ad esempio gli indici che sono utili a difendere interessi agricoli sono di scarso utilizzo per pianificare le risorse in una zona densamente urbanizzata. A causa di queste difficoltà la maggior parte degli approcci internazionali è del tipo "misto", coinvolgendo diversi indici (e indicatori) per poter caratterizzare in modo completo la siccità.

5.4. Procedure di utilizzo – prontuario per l'utilizzo del sistema

La disponibilità di previsioni di livelli, portate e invasi sul bacino del Po tramite il sistema DEWS-Po consente di ottenere informazioni ad ampio spettro riguardanti sia lo stato corrente del fiume nei tratti arginati (osservazioni idrometriche in telemisura, misure pluviometriche tramite centraline o misure da radar meteorologico) sia lo stato futuro in termini di deflussi in alveo, afflussi meteorici e temperature, stati del sistema (e.g. livelli dei laghi previsioni ottenute tramite il modello meteorologico ad ECMWF e il sistema di previsioni di Ensemble sempre del ECMWF).

Il presente documento ha lo scopo di suggerire una modalità di utilizzo del sistema modellistico disponibile presso il Centro Funzionale di riferimento in un contesto operativo di supporto alla Autorità di Bacino del Fiume Po e, quando convocata, della Cabina di Regia per la gestione delle emergenze dovute alla scarsità idrica. In particolare si precisa come il ruolo del Centro Funzionale sia quello di fornire supporto tecnico all'Autorità di Bacino rendendo disponibili i dati, le sintesi degli stessi e le analisi dell'evento potenzialmente siccitoso o dell'evento siccitoso in corso. L'Autorità di Bacino ha la responsabilità nell'emissione delle informative verso gli utilizzatori della risorsa e dei soggetti interessati e di coordinamento delle azioni volte alla mitigazione delle condizioni di crisi.

L'approccio seguito è quello della "macchina a stati" dove vengono definiti passaggi di stato, modalità di controllo e utilizzo del sistema in funzione dei valori delle variabili idrometeorologiche osservate e previste: si parte dalla definizione generale di tre possibili stati del sistema, *Previsione*, *Vigilanza e Monitoraggio*, e si prosegue poi con una schematizzazione delle operazioni di analisi e valutazione delle uscite del sistema da effettuare in ciascuna delle tre fasi.

Si precisa che le indicazioni qui riportate potranno essere specializzate per la loro applicazione da procedure operative. Esse costituiscono una linea guida, in taluni casi già applicabile, per la stesura delle procedure operative stesse, che costituiranno l'essenza della Direttiva Magre, assieme all'analisi degli impatti alla scala del Distretto. Pertanto, gli stati immaginati non costituiscono un disegno vincolante e potranno essere variati o dettagliati nell'articolazione delle procedure. Secondo la stessa filosofia anche le frequenze previste per i controlli e per la produzione dei bollettini e le informative, così come la forma delle informative dovranno essere specificate nelle procedure operative anche variandole in considerazione dell'utente considerato; per esempio le comunicazioni ai consorzi di bonifica, interessati ad applicazioni per l'agricoltura, potrebbero svilupparsi con riferimento alle decadi mensili.

5.4.1. Scenari di severità idrica e livelli di criticità

Le "Indicazioni operative per l'omogeneizzazione dei messaggi di allertamento e delle relative Fasi operative per rischio meteo-idro", firmate dal Capo Dipartimento della Protezione Civile il 10 febbraio 2016, contenenti "Metodi e criteri per l'omogeneizzazione dei messaggi del Sistema di allertamento nazionale per il rischio meteo-idrogeologico e idraulico e della risposta del sistema di protezione civile", individuano una struttura per la gestione degli eventi calamitosi come quella schematizzata in Figura 55.



Figura 55 - Schema dell'intervento in caso di crisi

Collegati agli scenari di severità idrica sono quindi i livelli di criticità descritti nel Box 1. Le indicazioni operative citate individuano tre scenari di severità idrica crescente, più lo scenario corrispondente alla situazione normale, ovvero lo scenario non critico. A ciascuno scenario deve essere univocamente collegato un livello di criticità (ordinaria, moderata, elevata), cui consegue un livello di allerta individuato con i codici colore (giallo, arancione e rosso). La definizione del livello di allerta gialla, arancione o rossa serve quindi ad attivare la corrispondente *fase operativa* prevista dal piano di gestione dell'emergenza, qui identificata anche con il termine *stato del sistema*.

Scenario non critico, assenza di criticità: i valori degli indicatori (portate/livelli/volumi/accumuli) sono tali da prevedere la capacità di soddisfare le esigenze idriche del sistema, nei periodi di tempo e nelle aree considerate;

Scenario di severità idrica bassa - criticità ordinaria la domanda è ancora soddisfatta, ma gli indicatori mostrano un *trend* verso valori più preoccupanti, le previsioni climatiche mostrano ulteriore assenza di precipitazione e/o temperature troppo elevate per il periodo successivo.

Scenario di severità idrica media - criticità moderata: lo stato di criticità si intensifica: le portate in alveo risultano inferiori alla media, la temperatura elevata determina un fabbisogno idrico superiore alla norma, i volumi accumulati negli invasi e nei serbatoi non sono tali da garantire il completamento della stagione irrigua con tassi di erogazione standard. Sono possibili danni economici e impatti reversibili sull'ambiente.

Scenario di severità idrica alta - criticità elevata: sono state prese tutte le misure preventive ma prevale uno stato critico non ragionevolmente prevedibile, nel quale la risorsa idrica non risulta sufficiente ad evitare danni al sistema, anche irreversibili. Sussistono le condizioni per la dichiarazione dello stato di *siccità prolungata* ai sensi dell'art. 4.6 della Dir 2000/60 CE.

Box 1 - Livelli di criticità nel Piano di Gestione delle Siccità dell'Autorità di Bacino del fiume Po

Come meglio approfondito con i diagrammi di flusso riportati nel seguito del documento, in corrispondenza dello scenario non critico, ovvero in assenza di criticità, sono in atto le misure proattive del Piano del Bilancio Idrico, finalizzate all'incremento dell'efficienza del sistema (in termini di uso della risorsa idrica), alla corretta allocazione della risorsa, al riequilibrio del bilancio idrico ed al perseguimento degli obiettivi di qualità del Piano di Gestione del Distretto (DIR 2000/60). In questa fase il sistema gestionale si trova nello stato di "*previsione*", che comporta:

- azioni di analisi mensili o stagionali (osservazione dei livelli di riempimento di laghi e serbatoi, temperatura e umidità del suolo, livelli delle falde e livelli idrometrici, censimento della risorsa accumulata;
- monitoraggio della situazione meteo climatica stagionale e riferita ai 14 giorni successivi;



- diffusione passiva delle informazioni (pubblicazione sul sito dell’Autorità di Bacino, emissione di bollettini).

Nello scenario di severità idrica bassa, per criticità ordinaria e allerta gialla, il sistema gestionale passa dalla fase di previsione alla fase di “*vigilanza*”: l’obiettivo è accrescere la consapevolezza della possibilità di crisi imminente al fine di promuovere l’avvio di misure preliminari di salvaguardia della risorsa, quali buone pratiche irrigue e risparmi. Si intensifica l’osservazione, le previsioni e le analisi vengono condotte ad intervalli settimanali o più brevi, ed iniziano incontri tra i gestori del sistema. Se le previsioni evidenziano un possibile peggioramento, vengono studiati “*scenari what if*”. Possono inoltre essere condotte analisi statistiche sull’evento atteso, e censimenti delle aree maggiormente vulnerabili. Attenzione particolare va riservata alla previsione dei danni ambientali, con particolare riferimento all’ambiente deltizio, SIC e ZPS. Diffusione attiva delle informazioni.

Nello scenario di severità idrica media, per criticità moderata e allerta arancione, il sistema gestionale passa alla prima fase operativa di “*monitoraggio*”, finalizzata ad evitare l’emergenza idrica. Sono necessarie misure di gestione/restrizione della domanda, scelte in relazione agli impatti socio-economici e ambientali, e concertate con i portatori di interesse a scala di distretto. Le misure attivabili in questo stato possono essere dirette e coercitive, predefinite e assoggettate ad una valutazione dei costi.

La gestione della risorsa viene decisa in tempo reale sulla base di aggiornamenti giornalieri delle analisi del sistema con riferimento a previsioni meteorologiche di brevissimo termine (2-3 giorni).

Vengono condotte azioni specifiche per la valutazione dei possibili effetti sul territorio, con attenzione a:

- Delta, SIC e ZPS, suolo.
- Sistemi idropotabili ed altri servizi essenziali per la tutela della salute.
- Sistemi economici dipendenti dalla risorsa.
- Sistema turistico, paesaggistico, socio-economico.

Entrano in vigore a pieno regime tutte le misure previste in caso di siccità dalla Direttiva Magre.

Nello scenario di severità idrica alta, per criticità elevata e allerta rossa, il sistema gestionale passa nella seconda fase di “*monitoraggio*”. Poiché si prevede, o è avvenuto, il superamento delle soglie minime di sicurezza del sistema, sono necessarie misure per:

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

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



5.4.2. Stati del sistema - Fasi Operative - Diagrammi di flusso delle Fasi Operative

In Figura 56 è riportato il diagramma di stato che mostra i possibili stati/fasi operative in cui si può trovare il sistema previsionale e i passaggi da una fase all'altra definiti dalla previsione o dalla osservazione di un evento, sia esso nel bacino del Po o in uno dei sottobacini principali.

Vengono definiti **tre stati/fasi operative possibili:**

- Previsione
- Vigilanza
- Monitoraggio

Il passaggio tra questi stati è determinato a partire dalle uscite del sistema modellistico in termini di previsione e/o monitoraggio delle variabili idrologiche di interesse (livello e portata nelle aste fluviali, accumulo nevoso e relativo volume idrico equivalente, risorsa accumulata negli invasi artificiali, risorsa accumulata nei laghi regolati, etc...) nei diversi tratti di interesse.

Il sistema si trova usualmente nello stato/fase operativa di *Previsione*, che si divide in una *Previsione stagionale* e in una *Previsione ordinaria* denominata semplicemente fase di *Previsione*.

Se è previsto un evento siccitoso, per cui si preveda una modifica dello scenario di severità idrica con ripercussioni sulle portate del Po (a partire dal confronto fra in bollettino mensile basato sulle osservazioni dello stato del sistema e delle previsioni idrologiche e idrauliche dello stato del sistema per i successivi 14 giorni guidate dal modello dell'ECMWF) il sistema passa allo stato/fase operativa di *Vigilanza*.

Dalla fase operativa di *Vigilanza* è possibile, in funzione delle previsioni fatte a partire dalla precipitazione osservata sullo scenario di severità idrica atteso, ritornare alla fase di *Previsione* o qualora gli scenari valutati in funzione delle previsioni e delle azioni di prevenzione confermino la criticità, passare alla fase di *Monitoraggio*. Ovviamente è possibile anche permanere nello stato di *Vigilanza* nel caso in cui l'evento predetto rimanga tale, ma possa essere ancora affrontato con azioni preventive.

La fase di *Monitoraggio* prevede azioni di mitigazione grazie alle quali la gestione della risorsa idrica, a livello dei sottobacini, è condotta con l'ulteriore obiettivo di sostenere i valori minimi di deflusso del Fiume Po.

La frequenza e le tempistiche dei controlli nelle varie fasi sono ovviamente differenti, una indicazione generale è la seguente:

Previsione: è previsto l'aggiornamento mensile del bollettino su finestra mensile e ogni due settimane per le previsioni a 14 giorni (Frequenza Ordinaria) e in funzione dell'approssimarsi di un evento potenzialmente critico un aggiornamento settimanale delle previsioni a 14 gg (Alta Frequenza),

Vigilanza: un aggiornamento dei bollettini ogni 7 giorni

Monitoraggio: un aggiornamento ogni giorno dei bollettini e un monitoraggio continuo dei livelli in asta se la criticità in corso lo richiede.

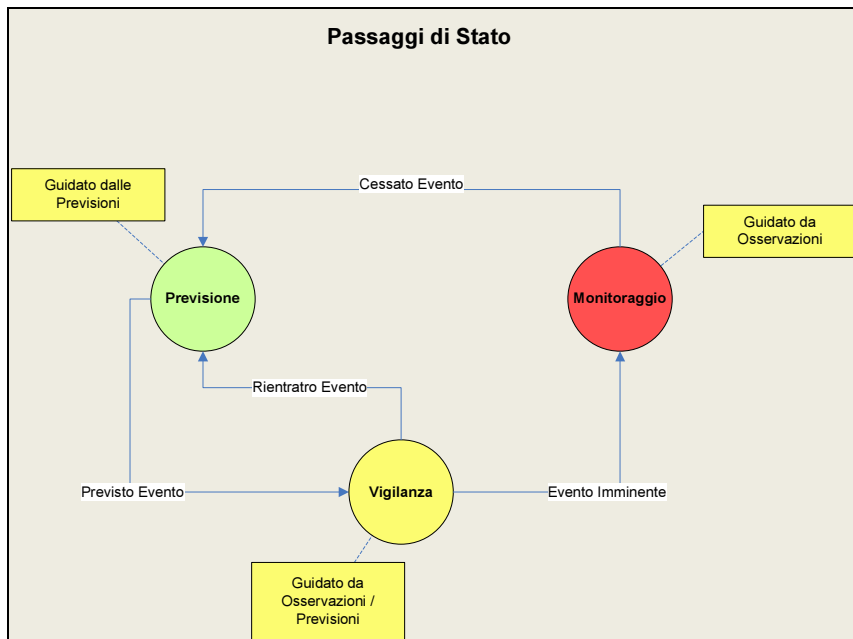


Figura 56. Diagramma dei possibili stati/fasi operative del sistema con una breve descrizione degli eventi che determinano il passaggio da uno stato ad un altro. I rettangoli gialli riportano il tipo di uscita della catena previsionale che guida la maggior parte delle considerazioni che l'operatore deve fare per decidere se rimanere nello stato attuale o passare ad un altro.

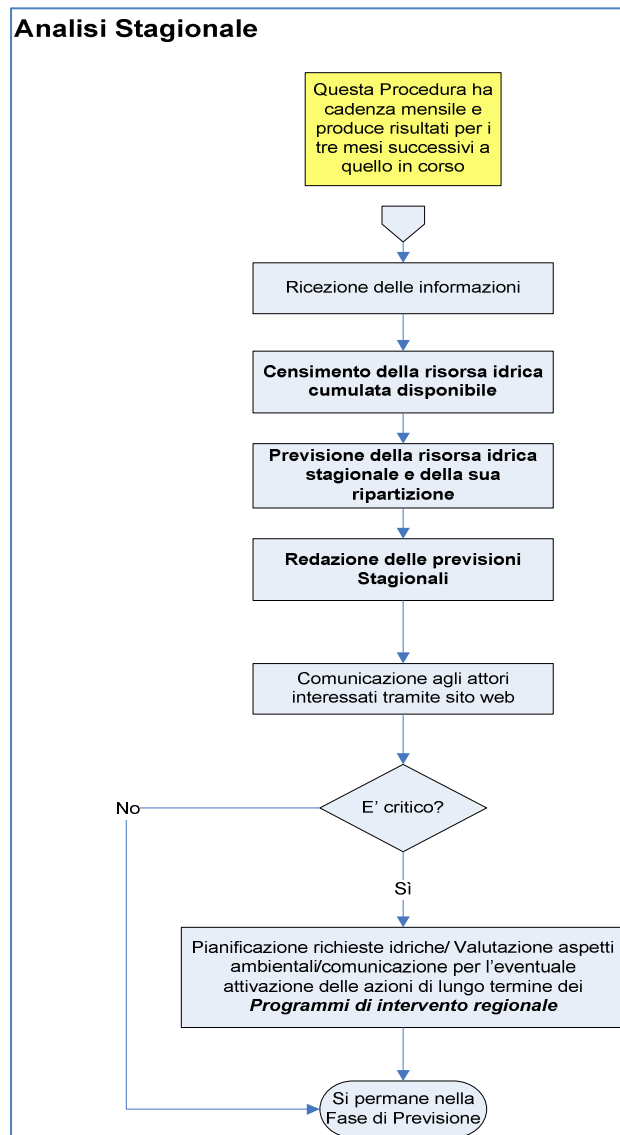
Nelle immagini che seguono sono mostrati diagrammi di flusso (*Previsione, Vigilanza e Monitoraggio*) contenenti l'iter gestionale caratteristico di ciascuno stato/fase operativa. Ogni fase è caratterizzata da una o più delle seguenti azioni:

- analisi stagionale,
- analisi,
- prevenzione,
- mitigazione

I valori delle soglie per passare da un elemento all'altro nel diagramma di flusso sono oggetto di specificazione in base alle caratteristiche dei sistemi cui si applica la procedura.

Previsione

Lo stato di *Previsione* si divide in due fasi. Una *Previsione stagionale* (denominata semplicemente **Analisi Stagionale**) che utilizza previsioni stagionali probabilistiche e una *Previsione ordinaria* che unisce analisi mensili, principalmente sui dati osservati, e previsioni deterministiche a + 14 giorni.



L'**Analisi Stagionale** ha cadenza mensile e produce risultati per i tre mesi successivi a quello in corso. La procedura è descritta in Figura 57. A valle della ricezione delle informazioni necessarie alla redazione dell'analisi stagionale, incluso il censimento della risorsa idrica cumulata disponibile, la previsione della risorsa idrica stagionale e della sua ripartizione, è possibile redigere le previsioni stagionali. Tali previsioni verranno pubblicate sul sito web dell'Autorità di bacino del Fiume Po in modo da darne opportuna diffusione, benché passiva. Se le previsioni dovessero risultare critiche tale informazione verrebbe diffusa in modo attivo agli attori interessati. Questo è necessario al fine di attivare le opportune valutazioni della gestione della risorsa idrica in prospettiva e soprattutto per attivare eventuali azioni di lungo termine contenute nei Programmi di Intervento.

Poiché i risultati dell'analisi stagionale sono affetti da forte incertezza la gestione dei passaggi di stato è delegata alla fase di Previsione: non è previsto passaggio di stato, e si permane quindi sempre nello stato di previsione.

Figura 57. Diagramma di flusso per l'Analisi Stagionale. Vengono riportate le fasi dell'analisi e le eventuali azioni da approntare in caso di situazione critica.

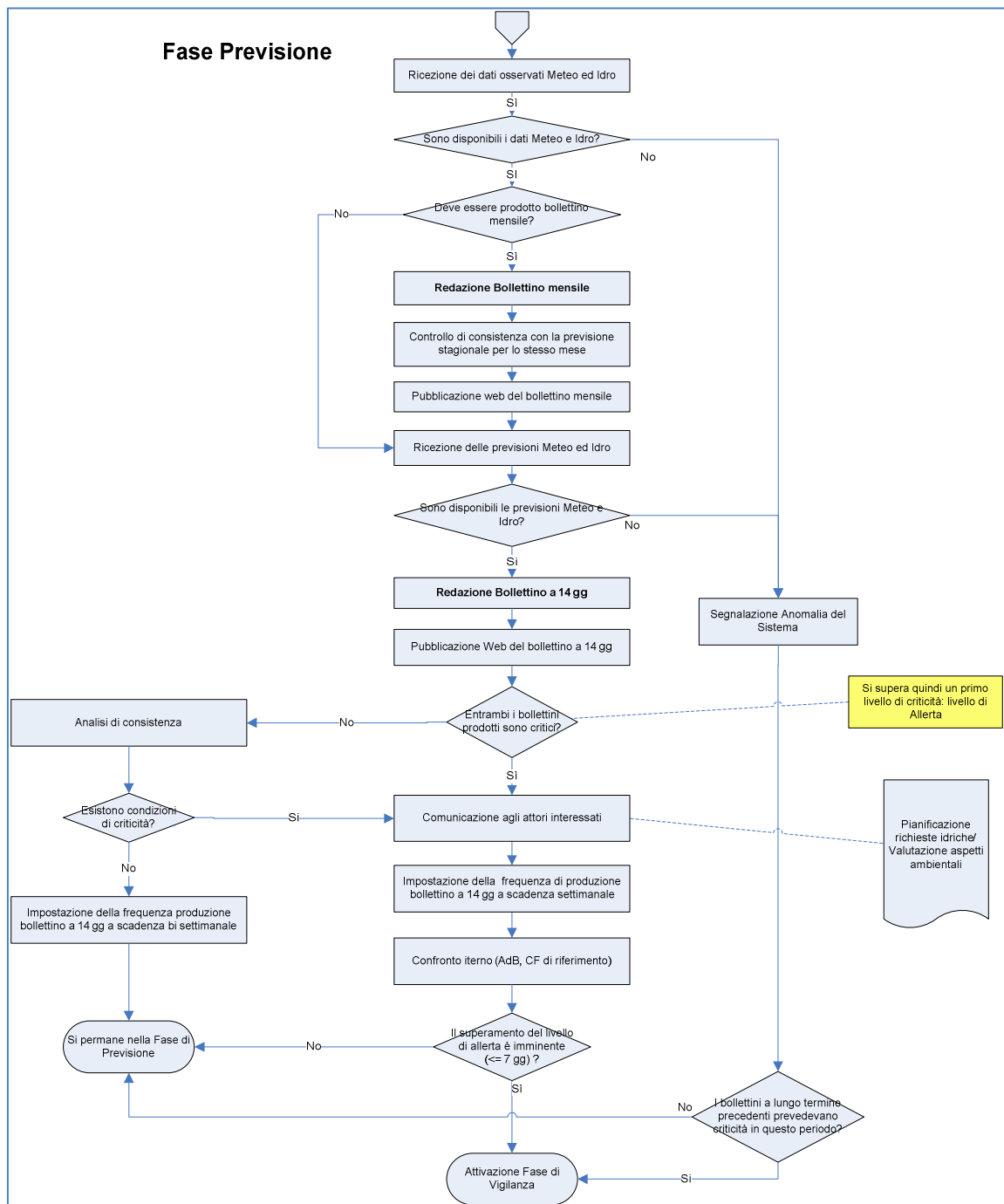


Figura 58. Diagramma di flusso per la fase di previsione. Vengono riportati i controlli che devono essere eseguiti dagli operatori e le possibili uscite del sistema verso gli altri stati (Vigilanza o Monitoraggio).

L'analisi stagionale rappresenta la condizione iniziale del sistema, all'avvio della possibile stagione secca, e prevede:

- il censimento della risorsa idrica accumulata disponibile, nella condizione iniziale, in diverse modalità (livelli rappresentativi delle falde, deflussi sotterranei, entità della copertura nevosa/ghiacciai, volumi e livelli dei serbatoi superficiali, deflussi e livelli idrometrici in alveo, considerazione dei fabbisogni idrici);
- la previsione della risorsa idrica prevedibile nella stagione secca (previsione stagionale trimensile);
- la previsione, in prospettiva, della ripartizione (ad es. evapotraspirazione, infiltrazione deflusso);



- la programmazione delle richieste idriche (fabbisogni delle utenze), in prospettiva anche con riferimento alle condizioni meteorologiche ed idrogeologiche;
- la valutazione delle risorse necessarie per gli aspetti ambientali (ad es. D.M.V, cuneo salino, sviluppo delle foreste).

L'analisi tende, inoltre a valutare differenti tipi di anomalie, ad esempio quelle dell'entità/distribuzione delle precipitazioni/temperature, dell'anticipo dello scioglimento del manto nevoso, dell'anticipo dello svuotamento dei serbatoi a causa di tardivi eventi di precipitazione intensi e incrementi non previsti della domanda.

La fase di **previsione ordinaria** prevede di determinare se è previsto un evento di siccità, la relativa entità e quale sarà l'area interessata, attraverso l'analisi della situazione attuale e delle previsioni meteorologiche e idrologico idrauliche. L'analisi delle previsioni meteo può comportare la valutazione delle precipitazioni cumulate (previste/osservate), dell'evaporazione, dello stato di saturazione del suolo e di indici collegabili a queste grandezze. L'analisi delle previsioni idrologiche può riguardare, invece, la valutazione delle portate e degli indici ad esse collegabili. È lo stato in cui il sistema si trova ordinariamente.

L'operatore verifica per prima cosa la presenza delle osservazioni meteorologiche e idrologiche utili a definire lo stato del sistema. Nel caso non siano presenti ci si trova di fronte ad una anomalia del sistema.

Nel caso in cui queste siano disponibili si producono le analisi mensili basate sulle osservazioni, che verranno dettagliate in seguito. L'operatore effettua un controllo con le analisi stagionali e se necessario effettua una comunicazione attiva agli attori interessati per una eventuale revisione dei piani stagionali. A seguito di questo l'operatore controlla che siano presenti le previsioni a 14 giorni, in caso contrario ci si trova di fronte ad una anomalia del sistema. In funzione delle previsioni deterministiche a 14 giorni viene redatto un bollettino di previsione a 14 giorni e pubblicato sul sito web. Se entrambe le analisi (sull'osservato mensile e la successiva previsione a 14 giorni) concorrono a determinare una condizione critica si effettua una comunicazione attiva ai soggetti interessati. Contrariamente si effettua un'analisi di consistenza prima di decidere se la situazione sia effettivamente critica. Conseguentemente alla comunicazione di criticità il bollettino di previsione a 14 giorni diventa più frequente e viene redatto con scadenza settimanale. Qual'ora la condizione si confermi critica si effettua un confronto interno per confermare tale criticità. Questo sancisce il passaggio di stato alla condizione di *Vigilanza*. In caso contrario si permane nello stato di previsione.

Si propone il passaggio allo stato successivo (stato di *Vigilanza*) quando, in almeno una delle sezioni di controllo, la portata prevista scenda al di sotto del *livello di allerta*.

Vigilanza

Allo stato di *Vigilanza* (Figura 59) si arriva dallo stato di *Previsione* nel caso si siano palesate potenziali condizioni critiche. Si attiva quando è previsto un evento sull'asta principale del Po, ove i tempi di esaurimento dei bacini (tempi per i quali è attesa la criticità) permettono di: valutare l'evolversi della previsione e confermare la previsione attraverso le osservazioni, prima di ricorrere alle azioni di monitoraggio. È lo stato in cui si attestano eventuali aggiornamenti dello stato di previsione, attraverso l'analisi delle osservazioni/previsioni idrologiche idrauliche.

I controlli del sistema nello stato di *Vigilanza* dovrebbero essere svolti con una frequenza settimanale. In fase di definizione delle procedure di controllo e utilizzo del sistema dovranno essere specificati sia la frequenza dei controlli sia le *Azioni di Vigilanza* da attuare una volta attivato lo stato di *Vigilanza*.

L'operatore, attivate le *Azioni di Vigilanza*, passa alla **fase di analisi** delle previsioni Idrologiche -Idrauliche *Deterministiche a 14 giorni* sulle sezioni di riferimento delle aste individuate utilizzando come input pluviometrico le sole osservazioni. In questo modo si determina una sorta di *caso peggiore* che, qual'ora non mostrasse criticità di rilievo, permetterebbe di ritornare allo stato di *Previsione*. Per il resto questa fase è analoga a quella prevista nello stato *Previsione*, con l'unica differenza nella frequenza delle azioni, in questo caso settimanale. Tale aumento di frequenza consente di utilizzare in ingresso alla catena una maggiore porzione di osservazioni e di valutare quindi in maniera più affidabile gli effetti al suolo in termini di tiranti e portate.



Se il nuovo controllo evidenzia l'assenza di criticità in termini di portate o livelli nell'asta principale, si ritorna alla fase di *Previsione*. Questo passaggio è stato introdotto con lo scopo di ritornare allo stato iniziale del sistema nel caso in cui la previsione abbia sovrastimato la severità dell'evento.

Nel caso in cui le previsioni evidenzino delle criticità (che dovranno essere quantificate a mezzo di soglie definite in fase di implementazione delle procedure) si procede con l'analisi approfondita del potenziale evento siccitoso. Tale analisi prevede il calcolo di diversi prodotti, che saranno dettagliati successivamente, quali:

- il dettaglio delle previsioni a 14 giorni che comprende l'analisi delle condizioni basate sulle osservazioni e le previsioni idrometriche di portata a 14 giorni sull'asta del Po,
- il dettaglio dell'afflusso osservato e previsto a 14 giorni sull'asta del Po,
- l'analisi statistica di durata e severità della magra, sia sulla base delle osservazioni sia sulle previsioni a 14 giorni,
- le statistiche del numero di giorni non piovosi
- gli effetti ambientali sul delta a (14 giorni).
- la valutazione complessiva della disponibilità idrica

A valle dell'analisi vengono preparati una serie di scenari *what if* predefiniti (da dettagliare in fase di definizione delle procedure) da associare allo scenario base di *non intervento*. Se la criticità viene confermata negli scenari predisposti si comunica attivamente il risultato degli scenari ai soggetti interessati in modo che essi possano predisporre le azioni previste nella fase di.

La **fase di prevenzione**, inizia a decorrere dal momento in cui, in un sottobacino del Fiume Po, il valore degli indicatori di disponibilità idrica di riferimento (da stabilirsi nella definizione delle procedure) scende al di sotto di valori di soglia predefiniti; i soggetti competenti adottano misure minime di prevenzione. I valori di soglia per la *fase di prevenzione* devono essere definiti in funzione dei volumi idrici accumulati negli invasi artificiali, nei laghi regolati e sotto forma di neve di un determinato sottobacino, rispetto ai relativi valori storici, nonché a partire dalle indicazioni fornite dalla previsione idrologica idraulica.

Se, nonostante le azioni approntate in fase di prevenzione, gli scenari non prevedono una risoluzione delle condizioni critiche si passa nella fase di *Monitoraggio*, che costituisce lo stato più critico.

In particolare, si passa allo stato di *Monitoraggio* quando, in almeno una delle sezioni di controllo, lo scenario di severità idrica comporti il manifestarsi di valori di portata prevista al di sotto della relativa soglia.



Fase Vigilanza

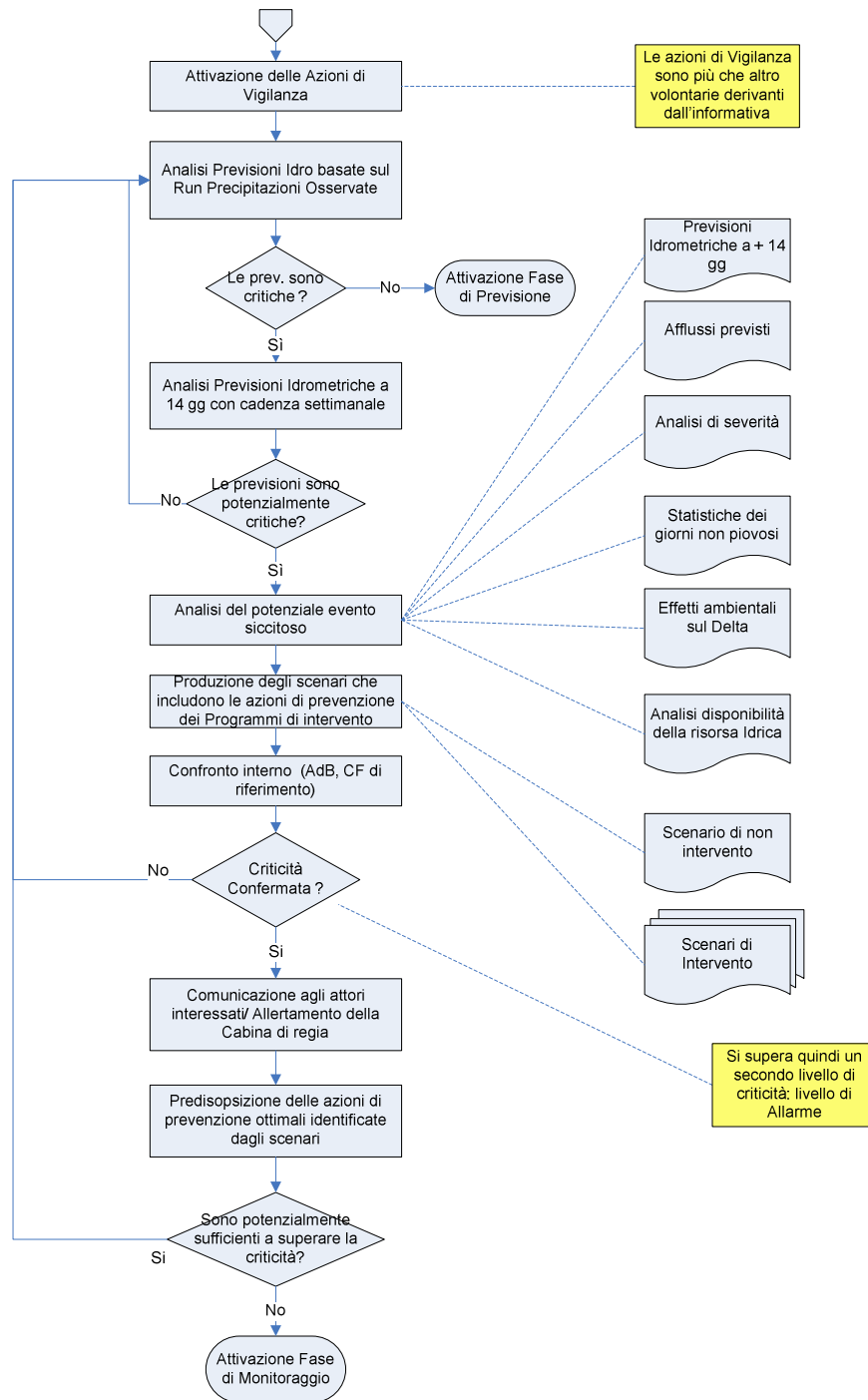


Figura 59. Diagramma di flusso per lo stato *Vigilanza*. Vengono riportate le azioni che devono essere eseguite dagli operatori e le possibili uscite del sistema verso gli altri stati (*Previsione* o *Monitoraggio*).



Monitoraggio

Allo stato di *Monitoraggio* (Figura 60) si perviene dallo stato di *Vigilanza* ed è lo stato più critico.

Si attiva quando è previsto un evento critico imminente sull'asta principale del Po ed è quindi necessario ricorrere alle azioni di monitoraggio. I controlli del sistema nello stato di *Monitoraggio* dovrebbero essere svolti con una frequenza giornaliera. In fase di definizione delle procedure di controllo e utilizzo del sistema dovranno essere specificati sia la frequenza dei controlli sia le *Azioni di Monitoraggio* da attuare una volta attivato lo stato di *Monitoraggio*.

L'operatore, attivate le *Azioni di Monitoraggio*, passa all'**analisi** delle grandezze meteo-idrologiche osservate in cui si fotografa la situazione critica, a questa analisi viene abbinata anche l'analisi delle previsioni a 14 giorni, che vengono comunque presentate con attenzione al breve termine (+2 giorni). Benché i bollettini siano aggiornati giornalmente sul sito web, si prevede un'informazione attiva dei soggetti interessati e dei portatori di interesse a scadenza settimanale.

Se il nuovo controllo evidenzia l'assenza di criticità e quindi l'evento critico è risolto, si ritorna alla fase di *Previsione*. A valle di questo si predispongono comunque azioni per la valutazione degli effetti sul territorio e la redazione di un rapporto di evento.

Nel caso in cui il confronto fra osservazioni e previsioni confermi un evolversi della situazione in senso peggiorativo (che dovrà essere quantificato a mezzo di soglie definite in fase di implementazione delle procedure) si procede con l'analisi approfondita dell'evento siccitoso in corso. Tale analisi prevede il calcolo di diversi prodotti, che saranno dettagliati successivamente, analoghi a quelli compilati in stato di *Vigilanza* ma con maggiore attenzione all'"osservato" e al breve periodo. I prodotti sono:

- il dettaglio delle previsioni a 14 giorni che comprende l'analisi delle condizioni basate sulle osservazioni e le previsioni idrometriche di portata a 14 giorni sull'asta del Po,
- il dettaglio dell'afflusso osservato e previsto a 14 giorni sull'asta del Po,
- l'analisi statistica di durata e severità della magra, sia sulla base delle osservazioni sia sulle previsioni a 14 giorni,
- le statistiche del numero di giorni non piovosi
- gli effetti ambientali sul delta a (14 giorni).
- la valutazione complessiva della disponibilità idrica.

A valle dell'analisi vengono preparati una serie di scenari *what if* predefiniti (da dettagliare in fase di definizione delle procedure) da associare allo scenario base di *non intervento*. Sempre a valle dell'analisi, potrà essere considerata la *fase di mitigazione*, per identificare eventuali interventi rivolti a recuperare lo stato dei corpi idrici che possano subire un temporaneo deterioramento a causa dell'evento siccitoso.

Se negli scenari predisposti la criticità viene confermata si comunica attivamente il risultato degli scenari agli interessati, in modo che essi possano predisporre le azioni previste nella successiva **fase di prevenzione**. I valori di soglia per la fase di prevenzione sono definiti in termini di valori di portata minima nelle sezioni di riferimento del Fiume Po e determinano il superamento del livello di Emergenza.

Se, nonostante le azioni approntate in *fase di prevenzione*, gli scenari non prevedono una risoluzione delle condizioni critiche è necessario approntare misure di Emergenza che vanno discusse e concordate in Cabina di Regia e sono relative alla specifica condizione emergenziale in corso. In base a questi interventi sarà necessario attivare le simulazioni operative degli scenari di intervento concordati (Simulazioni di tipo operativo a breve termine (< 7 giorni) di gestione della risorsa su tutte le macrocomponenti - laghi, irrigazione, serbatoi) e il monitoraggio in continuo delle sezioni critiche anche al fine di verificare l'efficacia delle azioni proposte.

Anche superata l'emergenza si permane nello stato di *Monitoraggio* fino alla cessata criticità, attivando la **fase di mitigazione** in cui i soggetti competenti adottano misure minime di mitigazione affinché sia garantito il recupero dello stato qualitativo dei corpi idrici che hanno subito un deterioramento a causa dell'evento siccitoso.

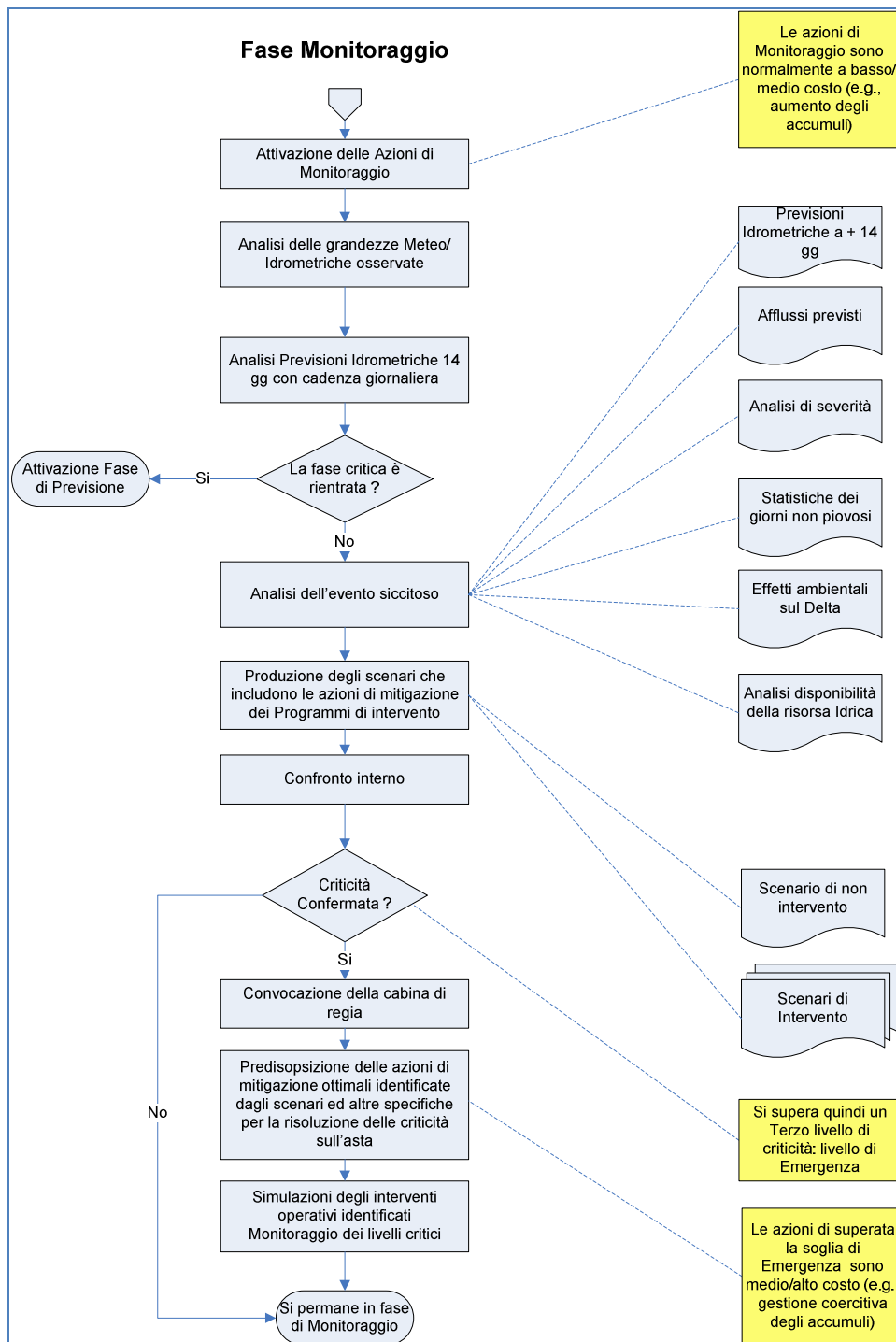


Figura 60. Diagramma di flusso per lo stato *Monitoraggio*. Vengono riportate le azione che devono essere eseguite dagli operatori e le possibili uscite del sistema verso gli altri stati. In questo caso il sistema può passare solamente allo stato *Previsione* una volta cessato l'evento in corso.

5.5. Descrizione delle Analisi

Nel presente paragrafo vengono dettagliate le analisi (necessarie alla compilazioni dei bollettini e delle informative) previste in ciascuna delle fasi operative in cui può trovarsi il sistema.

Generalmente, come illustrato sinteticamente nel grafico di Figura 61, al variare dell'orizzonte temporale varia la tipologia di azione da mettere in campo, così come il suo dettaglio e la tempestività con cui essa deve essere messa in atto anche in considerazione di una diversa incertezza associata alle previsioni su cui si basano informative, bollettino e successive decisioni.

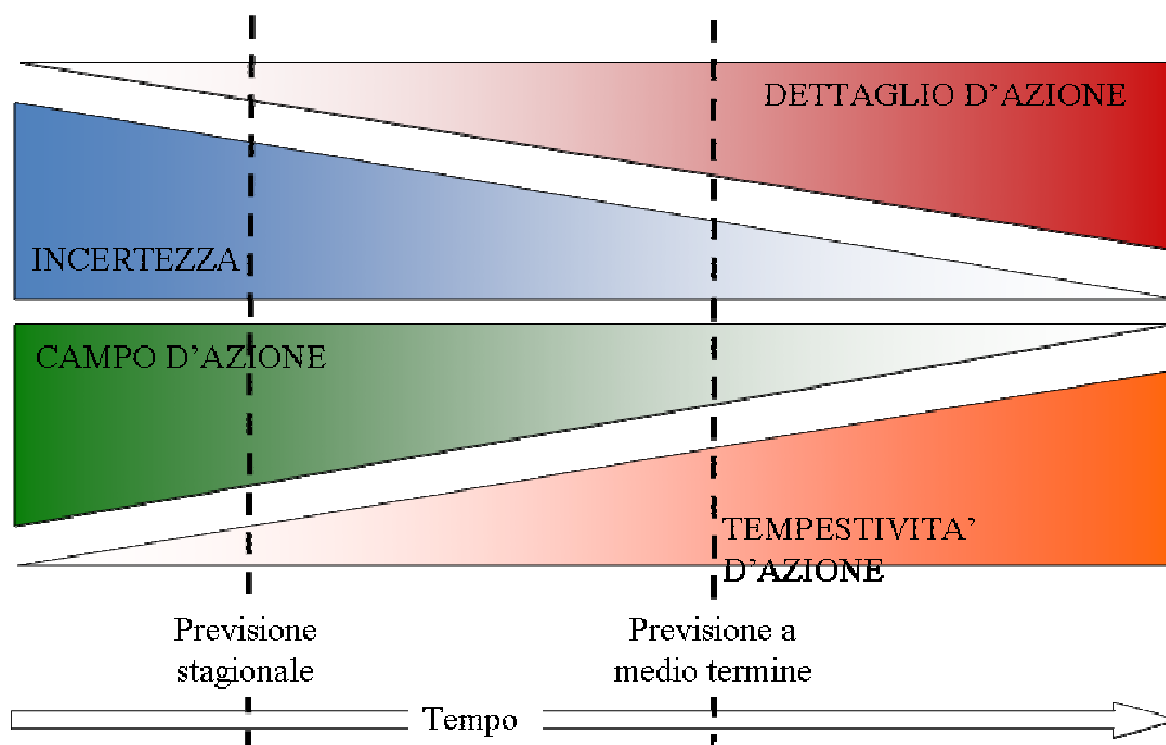


Figura 61. Le azioni conseguenti alle previsioni sono influenzate dal tipo di previsione

5.5.1. Analisi dell'evento siccitoso a mezzo delle previsioni a 14 giorni

L'analisi si sviluppa considerando diversi prodotti qui sotto elencati e descritti:

- **previsioni idrometriche di portata a +14 giorni sull'asta del Po.** I valori delle portate previsti sono ottenuti attraverso l'analisi delle uscite della catena modellistica (RIBASIM) ottenute a partire sia dalle precipitazioni previste (Ensemble ECMWF EPS 7/14 giorni) sia dalle precipitazioni osservate (rete pluviometrica in telemisura) per la parte precedente lo stato attuale. Su questi valori si effettuano confronti, per alcune sezioni individuate dell'asta Po, tra le portate minime previste nei successivi 14 giorni e i livelli di Pre-allerta, Allerta, Emergenza fissati per ciascuna sezione. La frequenza dei controlli dipende dallo stato.
- **Afflusso previsto a +14 giorni asta Po (per interbacino: ad es. Piacenza, Cremona, Boretto).** Si ottiene tramite la precipitazione prevista dall'ensemble ECMWF EPS (7-14 giorni), ragguagliata al bacino sotteso da ciascuna delle sezioni individuate (sezioni di chiusura) e cumulata per i successivi 14 giorni dalla data di analisi; per ogni sezione considerata si assume come area sottesa



- quella dell'interbacino compreso tra la sezione di chiusura in esame e la precedente. La frequenza dei controlli dipende dallo stato;
- **Afflusso settimanale e precipitazione media osservata.** Si potranno valutare gli afflussi osservati nella settimana trascorsa (sia per sottobacini che interbacino). Si ottengono tramite le precipitazioni osservate nella settimana trascorsa ragguagliate al bacino sotteso da ciascuna delle sezioni individuate (sezioni di chiusura) e cumulate nei sette giorni precedenti. La frequenza dei controlli dipende dallo stato.
 - **Analisi delle Temperature.** Nello stato di vigilanza e monitoraggio vengono calcolate le temperature minime e, soprattutto, massime osservate nella settimana precedente e quelle previste per le due settimane successive. Le temperature sono suddivise per fascia montana, pedemontana e pianura di ciascun sottobacino.
 - **Durata e severità della magra.** Si esegue negli stati di Vigilanza e Monitoraggio sull'orizzonte temporale offerto dalla previsione. Per ciascun affluente o sezione di Po si calcola la durata della siccità ad oggi e la previsione di detta durata per le due settimane successive, al di sotto di una soglia prefissata. Analogamente si procede per la severità, con il termine severità si indica il deficit idrico rispetto alla soglia considerata in termini di volume. Per ciascuna sezione individuata si riportano periodo di ritorno secondario (pari al periodo di ritorno associato alla coppia di variabili durata e severità). Per il conteggio di durata e severità si parte dall'istante di inizio evento. I valori delle portate previsti possono ottenersi attraverso l'analisi delle uscite delle catene modellistiche a partire sia dalle precipitazioni previste a 14 giorni che dalle precipitazioni osservate tramite la rete pluviometrica in telemisura.
 - **Numero di giorni non piovosi.** Nello stato di previsione potranno valutarsi il numero medio di giorni non piovosi osservati nell'ultima settimana e previsti a + 14 giorni sui sottobacini e interbacini. Nello stato di Vigilanza e di Monitoraggio, in sezioni selezionate con riferimento in genere a ciascun affluente del Po (o interbacino) si riportano: il numero medio di giorni non piovosi osservati da inizio evento, il numero medio di giorni non piovosi con previsione a + 14 giorni e per entrambe le misure si calcola il tempo di ritorno, in aggiunta si calcola il tempo di ritorno per la pioggia cumulata che include la previsione a 14 giorni. I parametri della distribuzione della probabilità utilizzata, ricavati puntualmente, sono spazializzati secondo la griglia di previsione a + 7/14 gg (10 kmq). La spazializzazione dei parametri calcolati localmente permette, quindi, di ricavare le percentuali di bacino ove i tempi di ritorno (numero di giorni non piovosi) risultano maggiori o uguali a valori assegnati (ad es. 2, 10 e 50 anni).
 - **Effetti ambientali sul delta.** Per una valutazione complessiva si analizzeranno le seguenti grandezze:
 - portata media settimanale a Pontelagoscuro e ripartizione nel delta (formula empirica), osservata nella settimana trascorsa e prevista a +14 gg;
 - lunghezza media settimanale di intrusione del cuneo salino (in bassa ed alta marea), osservata nella settimana trascorsa e prevista a +14 giorni;
 - In aggiunta negli stati di Vigilanza e Monitoraggio:
 - portata minima nella settimana a Pontelagoscuro e ripartizione nel delta (formula empirica), osservata nella settimana trascorsa e prevista a +14 gg;
 - lunghezza massima nella settimana di intrusione del cuneo salino (in bassa ed alta marea), osservata nella settimana trascorsa e prevista a +14 giorni;
 - per ciascun ramo del delta, giorno per giorno, si indica la possibile ripartizione della portata media giornaliera prevista nei diversi rami (formula empirica) e la lunghezza di intrusione del cuneo salino (alta e bassa marea).
 - **Disponibilità della risorsa idrica.** Nello stato di Vigilanza e di Monitoraggio si procede ad un censimento di dettaglio considerano laghi, gruppi di invasi e derivazioni. Per i laghi si riportano i volumi settimanali di immissione, attuali e di emissione osservati nella settimana trascorsa e programmati per la settimana successiva. Per i gruppi significativi di invasi si riportano, come per i laghi, i volumi settimanali di immissione, i volumi attuali e i volumi di emissione osservati nella settimana trascorsa e programmati per la settimana successiva. Per le derivazioni si riportano la derivazione media eseguita nella settimana precedente e la derivazione programmata per la settimana successiva.



5.5.2. Analisi mensile

Per tutti gli stati (previsione, vigilanza e monitoraggio) si calcoleranno mappe di:

- **sintesi mensile delle osservazioni.** Attraverso questa sintesi si fotografa la condizione attuale del bacino considerando: riempimento di laghi, umidità del suolo, livelli rappresentativi delle falde, deflussi sotterranei, entità della copertura nevosa/ghiacciai, volumi e livelli dei serbatoi superficiali, deflussi e livelli idrometrici in alveo, considerando anche i fabbisogni idrici.
- **Analisi degli indici meteorologici e idrologici.** Per tutti gli stati (previsione, vigilanza e monitoraggio) si calcoleranno mappe di:
 - SPI calcolati sui sottobacini e interbacini fino al mese precedente e previsti a + 3 mesi;
 - SFI calcolati sui sottobacini e interbacini fino al mese precedente e previsti a + 3 mesi;
 - altri eventuali indicatori da definirsi in sede di specificazione delle procedure.

Per ciascuna sezione individuata (asta Po - affluenti) si riportano i valori di SPI ed SFI a 1, 3, 6, 12 e 24 mesi, calcolati alla fine del mese in corso, componendo quando necessario la previsione con l'osservazione. L'SPI alle sezioni notevoli dell'asta Po è calcolato tramite analisi statistica delle serie storiche degli afflussi sul bacino chiuso alla sezione in esame. È comunque ipotizzabile una spazializzazione dell'SPI puntuale calcolato sulle stazioni pluviometriche. Si possono calcolare soglie per SPI, indipendenti dalle durate di interesse, e rispettivamente pari a -1, -1.5 e -2 (possono inoltre essere riportati livelli di criticità ad essi collegati), mentre per l'SFI sono necessari approfondimenti locali. L'aliquota dei valori di SPI e SFI relativi all'estensione futura è derivabile dalle previsioni per i successivi tre mesi e, nel caso dell'SPI dalla successiva generazione delle piogge giornaliere/mensili attraverso RAINSIM. Quantificare i deficit di precipitazione/portata per diverse scale temporali (1,3, 6, 12, e 24 mesi) permette di considerare gli impatti della siccità su differenti fonti di risorse idriche.

5.6. Attività da svolgersi nella fase sperimentale

- Le attività da svolgersi nella fase sperimentale, elencate di seguito, possono essere ricavate a partire dalla fase sperimentale già svolta per i tre stati di previsione, vigilanza e monitoraggio delle piene:
- *acquisizione informazioni:* comprendente elementi meteo idrologici e idraulici, sui fabbisogni, sulle programmazioni di prelievi e sui rilasci, forniti dai soggetti interessati;
- *verifica dello stato del sistema:* prevede l'aggiornamento dell'ambiente di sistema (catene, modelli, live system monitor, import status, scheduled forecast), segnalazioni delle anomalie ed eventuale ripristino;
- *esame della situazione e della previsione:* comprende l'esame delle situazioni di piogge, livelli, portate e situazione al suolo con relativi dati osservati e modellati attraverso le catene previsionali, scelta del bollettino, il confronto con il Servizio Meteo, con le Regioni e con l'Autorità di bacino;
- *compilazione:* riguarda gli afflussi (osservati e previsti), i livelli e decrementi osservati, i livelli minimi previsti (ad esempio a +14 giorni), le statistiche dei giorni non piovosi, l'analisi di durata e di severità, l'estrazione dei dati, l'assimilazione dei livelli/portate e la valutazioni al minimo;
- *condivisione e trasmissione:* prevede la condivisione dei documenti/dati tra tutti gli interessati;
- *archiviazione.*

La procedura da utilizzarsi, lo schema di bollettino, il tipo di informazioni ed analisi fornite, la terminologia e simbologia, l'orario e la frequenza di emissione, diversificate per le fasi di previsione, vigilanza e monitoraggio, devono tendere, nel complesso e in maniera agile e sintetica, a fornire sia la corretta percezione di ciò che sta per accadere (o che accade) che le informazioni ed i dati utili, con appropriato grado di incertezza, nei tempi richiesti dalle elaborazioni e operazioni necessarie alla compilazione, compatibilmente con le esigenze (seppure diversificate) degli utilizzatori e riducendo, il più possibile, mancati allarmi, falsi allarmi ed incomprensione.

In particolare occorrerà valutare l'aumento dei contenuti informativi/delle elaborazioni/della frequenza di emissione e l'anticipo dell'emissione del bollettino al fine di incrementare via via l'attenzione per le situazioni che potrebbero verificarsi all'aumentare della criticità e di fornire il maggior numero di elementi utili alle decisioni.

5.7. Considerazioni sulla determinazione delle soglie

Le soglie per il passaggio da uno stato all'altro, e per l'individuazione del livello locale di criticità, devono essere definite a valle dell'analisi degli impatti da attuarsi alla scala di distretto, sulla base del metodo indicato nei paragrafi successivi. Si propone qui la cornice metodologica da applicare per la valutazione delle soglie.

Le soglie sono classificate in due tipologie, proposte nel Box 2.

Generiche: relative alle grandezze rilevanti al fine della descrizione del fenomeno meteorologico o idrologico in atto nell'intero bacino o in alcune sue parti, quali precipitazione e relativi indici statistici, deflussi in alveo, volumi idrici accumulati negli invasi naturali e artificiali o sotto forma di neve, livelli di falda, indicatori di qualità delle aree naturali vulnerabili sotto il profilo eco sistemico, eccetera;

Specifiche, o "funzionali": indicatori legati ai sistemi gestionali locali della risorsa idrica, dipendenti maggiormente dal tipo di infrastrutturazione territoriale. Tra essi si annoverano: la tipologia, il numero e le caratteristiche di funzionalità (livello di pescaggio delle idrovore, necessità di una portata/livello minimo in alveo) dei punti di approvvigionamento idrico per l'irrigazione, per gli acquedotti, per il funzionamento degli impianti di potabilizzazione, per il raffreddamento delle centrali; le tipologie delle reti irrigue; gli eventuali "margini di sicurezza", eccetera.

Box 2 - Definizione dei tipi di soglie

Le soglie generiche sono legate a condizioni fisiche/idrologiche/meteorologiche naturali per lo più indipendenti dall'azione umana, e dal contesto infrastrutturale locale specifico; esse derivano da analisi statistiche e idrologiche attinenti lo studio di lungo periodo dei fenomeni siccitosi e climatici. Le soglie specifiche o funzionali dipendono dalla vulnerabilità specifica del un sistema che gestisce/utilizza la risorsa a scala locale: possono quindi essere modificate attraverso interventi strutturali e gestionali; esse devono essere censite attraverso l'analisi delle condizioni e del funzionamento del sistema idrico localmente.

In questo caso è necessario fare un distinguo concettuale fondamentale nel caso della modellistica a disposizione nel Bacino del Po. Il dettaglio con cui le variabili vengono modellate dal sistema permette una valutazione delle componenti idrologiche del sistema e la sua complessità potrebbe essere aumentata nel caso in cui specifiche esigenze di modellazione nascessero dall'utilizzo del sistema. Ci troviamo di fronte alla possibilità di prevedere localmente le variabili di interesse, sembrerebbe quindi naturale l'esigenza di confrontare tali variabili con **soglie specifiche**, determinate per l'esigenza di un tratto fluviale, di un sottobacino o di un interbacino anche in considerazione dell'utilizzo locale della risorsa in quel punto e del suo riflesso sul sistema complessivo. Un esempio pratico di soglia specifica è nato dalla necessità di non incorrere in impatti particolarmente gravosi come quelli patiti nell'evento siccitoso del 2003. In quella occasione infatti il basso livello del fiume Po nel tratto interessato dalla presa della centrale termoelettrica di Porto Tolle il cui blocco fu causa di un colossale *black out* in gran parte del Veneto. In funzione di ciò è stata stabilita una portata di deflusso minima alla sezione di Pontelagoscuro al di sotto della quale l'opera di presa della centrale presenta problemi di pescaggio. In modo analogo esistono restrizioni sulla portata minima nel tratto terminale del Po in conseguenza della risalita del cuneo salino e dei conseguenti problemi di approvvigionamento idrico a scopi agricoli della zona terminale del fiume Po. Entrambi questi esempi sono legati ad impedire specifici impatti derivanti da una siccità idrologica e costituiscono un esempio pratico di soglia specifica.

La determinazione delle soglie specifiche non può che essere capillare, e richiede la limitata conoscenza della vulnerabilità del territorio relativamente a due aspetti:



- la necessità di stabilire localmente i valori quantitativi delle soglie in relazione agli utilizzi della risorsa;
- la necessità di valutare gli impatti di una mancato rispetto di tali soglie in un contesto costi-benefici.

Il grado di dettaglio non potrà tuttavia essere estremizzato, pena una difficoltà di gestione operativa delle emergenze, e sarà sempre necessario abbinare alle soglie specifiche le **soglie generiche** o **sinottiche**, che indicano lo stato di sofferenza del sistema in relazione ad una probabilità di deficit. In questo senso di seguito sono indicate alcune procedure che possono essere utilizzate per la definizione delle soglie sinottiche in base alla modellazione idrologica disponibile. La figura seguente riassume l'approccio proposto (Figura 62).

Tipo Soglia	Valori	Criteri di determinazione
Soglie Generiche/Sinottiche	<ul style="list-style-type: none"> - Portate/Curve di durata (Q_{355}, $Q_{T=1.3}$) - Indici (e.g., SPI, SFI) relativi alle Q (estensione) - Sintesi degli indici, Mappe sinottiche 	<ul style="list-style-type: none"> -Valutazioni in termini di tempo di ritorno -Analoghi casi storici che hanno portato problemi (questionari/analisi storiche)
Soglie Specifiche	<ul style="list-style-type: none"> - Portate/Livelli in tratti di riferimento - Rischi di rilievo conclamati (centrali termiche, Cuneo salino) 	<ul style="list-style-type: none"> - Criticità storicamente note - Questionari presso portatori di interesse e/o Conoscenza (raffinamento per tratti)

Figura 62. Specchietto riassuntivo per la determinazione delle soglie

5.7.1. Esempi di metodologie per la determinazione delle soglie sinottiche

In questo paragrafo sono descritte alcune semplici analisi e un esempio di utilizzo delle curve di durata naturalizzata²⁴ per la definizione delle soglie generiche, laddove non siano determinate per altra via.

Livello	Soglia generica sul valore di portata
Pre-Allerta (Q275)	Portata con durata 275 giorni
Allerta (Q300);	Portata con durata 300 giorni
Emergenza (Q355).	Portata con durata 375 giorni

Tabella 12 - Metodo per definire le soglie in base alle curve di durata

La portata di magra ordinaria, ovvero il minimo annuale caratterizzato dal tempo di ritorno 1.33 anni, può essere anche utilizzato come termine di confronto e valore di riferimento con le portate determinate dalle curve di durata. La Tabella 13 riporta appunto le stime²⁵ di $Q_{1.333}$ a confronto con il corrispondente valore di portata letto sulle curve di durata medie per la sezione. Si nota come tali valori di portata siano in generale intorno alla portata Q_{350} essendo portate che si verificano appunto con frequenza attesa 1.333 anni.

²⁴ L'utilizzo delle curve di durata naturalizzate appare necessario per non definire soglie influenzate dai regimi di prelievo praticati localmente, il che introdurrebbe delle sperequazioni territoriali. In caso di assenza della curva di durata naturale o naturalizzata, occorrerà determinare la miglior approssimazione del dato richiesto.

²⁵ La distribuzione che ha interpretato meglio i dati è la distribuzione Weibull a 3 parametri



SEZIONE	$Q_{1.333}$ [m^3/s]	Q corrispondente sulla curva di durata naturale
Piacenza	398	Q_{331}
Cremona	477	Q_{348}
Boretto	469	Q_{358}
Borgoforte	558	Q_{355}
Pontelagoscuro	665	Q_{349}

Tabella 13 portata di magra contempo di ritorno $T = 1.33$ anni per le diverse sezioni analizzate - Aggiornate al 2010

5.7.2. Analisi in tempo reale delle soglie nelle stazioni di misura

Le soglie che sono riportate nel paragrafo precedente possono essere sostanzialmente monitorate in fase di evento in modo da gestire una siccità che si palesa con livelli di severità via via sempre più gravosi. Il sistema DEWS-Po permette però delle azioni preventive. Tali sezioni sono infatti anche sezioni di modellazione in cui è possibile ottenere delle previsioni modellistiche sia di lungo termine (stagionali – 3 mesi di *lead time*) o di breve termine (14 giorni di *lead time*). In questo è possibile nel primo caso valutare la probabilità di raggiungimento o superamento delle diverse soglie, nel secondo valutare tale superamento includendo valutazioni di tipo soggettivo per quantificare l'incertezza.

5.7.3. Confronto fra le soglie di portata e i valori degli indici di siccità

Il confronto diretto fra risultati modellistici e soglie è praticabile però solo ove sia possibile determinare le soglie a partire da un congruo numero di osservazioni seguendo gli stessi passi che sono stati indicati nei paragrafi precedenti. Ne segue che non solo la sezione di interesse deve essere monitorata a mezzo di un idrometro e tale idrometro dotato di una scala di deflusso affidabile, ma anche di un numero sufficiente di misurazioni storiche per permettere di determinare una curva di durata media affidabile. Vale la pena far notare come questa esigenza non sussista qualora le soglie siano stabilite per via fisica (soglie specifiche), cioè esistano delle evidenze fisiche per le quali si determinano soglie critiche di una determinata variabile. Di norma la variabile è il livello idrico e un esempio pratico è costituito dalle prese ad acqua fluente che diminuiscono la loro funzionalità fino a non essere più efficaci al di sotto di certi livelli di tirante locale. In questo caso è semplicemente necessaria una buona conoscenza locale del territorio che permetta di costruire nella zona di interesse una scala di deflusso affidabile.

Nelle altre zone invece è necessario utilizzare un approccio alternativo che permetta comunque di identificare una condizione di sofferenza locale. Una possibilità è quella di utilizzare gli indici di siccità ed in particolare quelli che possono essere semplicemente calcolati a livello di bacino anche in tempo reale a partire dalle osservazioni (SPI, SFI ove possibile) o dai dati di modellazione (SPI, SFI).

Sarebbe a questo punto necessario però definire le soglie non più in termini di portata, ma in termini degli indici stessi. A questo proposito è stata condotta un'analisi preliminare che evidenzia correlazioni fra le soglie di portata precedentemente identificate e gli indici calcolati per le medesime sezioni strumentate, al fine di chiarire se è possibile identificare una corrispondenza soglia di portata – soglia in termini di indice basata sul campionamento selettivo degli indici SFI, SPI e SWSI in funzione degli intervalli di portata identificati dalle soglie. In allegato al presente Elaborato è riportata la sintesi dei risultati ottenuti, e la valutazione della metodologia proposta.



6. IMPACT ASSESSMENT

Un approccio internazionalmente riconosciuto per la riduzione del rischio da siccità²⁶ parte dalla definizione di rischio secondo cui:

$$\text{RISCHIO} = \text{DANNO} \times \text{PROBABILITA'}$$

- **Danno** = numero degli elementi esposti x vulnerabilità degli elementi esposti
- **Probabilità** = probabilità di accadimento dell'evento considerato

Il danno è proporzionale all'entità o magnitudo dell'evento considerato, mentre la probabilità di accadimento è inversamente proporzionale alla stessa. Tale approccio è richiamato per riconoscere che, essendo impossibile ridurre attraverso misure di Piano, che siano proattive o reattive, il fattore probabilità dell'evento siccitoso, occorre intervenire sul fattore danno, riducendo la **vulnerabilità** del sistema colpito.

Per fare ciò viene proposto un approccio basato su sei azioni successive:

- individuare il **gruppo adeguato di soggetti** che devono prendere parte al processo, tenendo presente che nel gruppo devono essere rappresentate le conoscenze relative ai temi dell'ambiente, dell'economia e della società.
- Condurre lo **studio di impatto** della siccità: significa censire/esaminare/studiare le conseguenze che l'evento siccitoso ha sul territorio su cui si desidera intervenire. Gli impatti, di cui è disponibile un elenco esaustivo, sono classificati in tre gruppi: economici, ambientali e sociali.
- Redigere una **classifica degli impatti**, valutandone l'importanza relativa. Per redigere la classifica, il metodo suggerisce di tenere conto dei seguenti aspetti: costo, estensione areale, evoluzione nel tempo, opinione pubblica, equità, capacità dell'area colpita di recuperare i danni subiti. La classifica deve essere redatta attraverso un processo partecipato, utilizzando strumenti come i seguenti quesiti per individuare gli impatti a priorità elevata:
 - quali impatti possono avere influenze significative sullo stile di vita degli individui/gruppi sociali/realità produttive colpiti?
 - Se gli impatti non sono distribuiti uniformemente, esistono strumenti che possano proteggere meglio gli individui/gruppi/realità produttive maggiormente colpite?
 - Ci sono "tendenze in atto" che possono indurre un impatto a diventare nel tempo molto più rilevante di un altro?
- Condurre lo **studio di vulnerabilità** dei sistemi: riconosciuti, quantificati e classificati per importanza gli effetti della siccità, lo studio della vulnerabilità ne cerca le cause. Lo studio della vulnerabilità è un passo importante verso un approccio "proattivo", in quanto l'attenzione viene spostata dagli effetti (danno subito) alle cause che li generano. Le cause alla base del danno subito possono essere di vario genere: ad esempio, infrastrutture non adeguate, inefficienza gestionale, impreparazione culturale, politiche di controllo e regolazione non adeguate o non efficaci, eccetera.
- **Identificazione delle possibili azioni di mitigazione**: con il termine "azioni di mitigazione" (*mitigation actions*) del rischio si allude ad azioni di tipo proattivo, in contrapposizione ad "azioni di riposta" (*response actions*) che servono per contrastare l'evento in corso.
- Stilare un **elenco delle misure** organizzato in base alle fasi temporali del *prima, durante e dopo l'evento*. Le misure reattive riguardano la fase di gestione durante l'evento, mentre le altre fasi

²⁶ L'approccio si è diffusa dagli Stati Uniti in svariati diversi contesti sparsi per tutto il mondo. Per una descrizione sintetica si veda: "How to reduce drought risk" del Western Drought Coordination Council.

temporali vanno affrontate in fase proattiva. Le misure devono essere valutate in termini di fattibilità, efficacia, costi ed equità.

6.1.1. Valutazione degli impatti

La valutazione d'impatto esamina in generale le conseguenze di un determinato evento o cambiamento. Ad esempio, la siccità è in genere associata a diversi impatti. Nel caso della siccità le valutazioni d'impatto iniziano individuando le conseguenze dirette della siccità, come la riduzione della resa delle colture, perdite di bestiame, e l'impoverimento delle riserve idriche. Questi risultati diretti possono comportare, inoltre, conseguenze secondarie (spesso effetti sociali), come ad esempio la vendita forzata di beni o terreni di famiglia oppure lo stress fisico ed emotivo della popolazione. Questa prima valutazione individua gli impatti, ma non le cause che li hanno determinati.

L'impatto può essere classificato come *economico, ambientale o sociale*, anche se molti impatti possono ricadere in più classi.

La Tabella 14 fornisce una lista degli impatti suddivisi per classi che potrebbero influenzare una regione o località. Tale tabella può essere utilmente impiegata per il censimento degli impatti dopo un evento siccitoso. In una analisi storica gli effetti dovuti ad una siccità recente, soprattutto se di particolare entità, devono essere tenuti in maggiore considerazione rispetto a censimenti che si riferiscono a eventi siccitosi più lontani nel tempo. Infatti, è maggiormente probabile che gli eventi recenti riflettano in modo più accurato l'attuale vulnerabilità del territorio. In Tabella 14 non si è ritenuto di introdurre una differenziazione fra siccità recenti o lontane nel tempo, questo per semplificare la compilazione. Sarà comunque necessario porre attenzione a impatti che potrebbero aggravarsi o anche emergere nel futuro (e.g., se sono previste ristrutturazioni del piano di navigazione). In questo caso si è previsto un campo dedicato ad impatti che potenzialmente potrebbero insorgere in futuro, qualora si fosse già a conoscenza di pianificati cambiamenti del territorio che determinino un diverso utilizzo della risorsa.

Una volta compilata la Tabella 14 è comunque necessario classificare i tipi di impatto emersi in funzione della gravità della siccità (in questa fase si intende una gravità relativa e quindi anche espressa in modo qualitativo [Evento 1 < Evento 2]), tenendo in considerazione che variazioni della vulnerabilità potranno in futuro creare impatti maggiori anche per eventi siccitosi di entità minore. Si definisce così una casistica di siccità per il Bacino oggetto di studio.

Le siccità differiscono in base all'intensità, durata ed estensione spaziale. A causa di ciò sarà possibile identificare diversi impatti relativi a diverse tipologie di siccità. Qual'ora l'informazione storica lo permetta sarà possibile anche identificare tendenze utili alla pianificazione futura. Questi impatti evidenzieranno i settori più vulnerabili alle diverse tipologie di siccità.

6.1.2. Dare una priorità agli impatti

La Tabella 15, la Tabella 16, e la Tabella 17 contengono l'elenco dei possibili impatti. Tramite il loro utilizzo sarà possibile eliminare alcune tipologie di impatto, restringendo l'elenco agli impatti rilevanti per la zona di interesse. Il metodo non prevede necessariamente di legare la severità della siccità all'impatto. Se si posseggono comunque informazioni in questo senso possono essere indicate nella casella A.

In base alla normativa vigente e alle direttive di riferimento, nonché in base alla sensibilità degli enti preposti alla gestione della siccità, sarà quindi possibile dare una priorità agli impatti identificati. Per essere efficace ed equa, la graduatoria dovrebbe considerare termini quali il costo, l'estensione areale, la tendenza nel corso del tempo, l'opinione pubblica, la capacità di recupero dell'area colpita. È comunque necessario essere consapevoli del fatto che gli impatti ambientali e sociali sono spesso molto difficili, se non impossibili, da quantificare.

La prioritizzazione degli impatti va inoltre condivisa e discussa con gli utilizzatori della risorsa o loro rappresentanti. La lista va quindi aggiornata ripetendo più volte la consultazione con i portatori di interesse. Una tabella simile a Tabella 18 può aiutare in questa operazione. Tabella 14 definizione degli impatti in relazione alla situazione attuale e futura.



A	P	Impatti economici
		Perdite in agricoltura
		Perdite agricole di tipo annuale e perianuale
		Danni alla qualità delle colture
		Produttività ridotta delle colture
		Infestazione da parte di insetti
		Malattie delle piante
		Danni alle colture da parte della fauna selvatica
		Perdite in allevamento
		Ridotta produttività dei pascoli
		chiusura o limitazione nell'uso dei pascoli pubblici
		Mancanza o eccessivo costo dell'acqua per il bestiame
		Mancanza o eccessivo costo del cibo per il bestiame
		Alta mortalità del bestiame
		Disturbi al ciclo riproduttivo del bestiame
		Incendi dei pascoli
		Perdite nella fauna ittica
		Danni all'habitat dei pesci
		Perdita di avannotti a causa della riduzione di flusso vitale
		Altre perdite
		Riduzione delle entrate per gli agricoltori e gli altri attori direttamente coinvolti
		Fallimento di aziende agricole
		Disoccupazione nei settori danneggiati dalla siccità
		Danni all'azienda turistica e indotto
		Azione congiunta di incremento nella domanda di energia elettrica e diminuzione della produzione
		Aumento dei prezzi di prodotti agricoli
		Perdite legate alla limitata navigabilità
		Costi per la redistribuzione dell'acqua
		Costi relativi all'aumento di utilizzo delle acque sotterranee
		Impatti sulla qualità delle acque, intrusione del cuneo salino
		Danni alla fauna

Tabella 15 - Tabella degli impatti economici

A = Condizioni attuali

P = Condizioni potenziali



A	P	Impatti ambientali
		Danni alle piante
		Incremento di incendi boschivi
		Riduzione delle aree umide
		Impatti sul delta (e.g., intrusione del cuneo salino)
		Impoverimento delle falde, subsidenza
		Impoverimento della biodiversità
		Riduzione dei livelli nei laghi
		Riduzione delle alimentazioni sorgive
		Peggioramento della qualità dell'acqua
		Mancanza o eccessivo costo del cibo per il bestiame

Tabella 16 - Tabella degli impatti ambientali

A	P	Impatti sociali
		Stress fisico e mentale
		Problemi di salute relativi alla mancanza di acqua
		Rischio di incendi boschivi
		Insoddisfazione politica
		Diminuzione temporanea della qualità della vita

Tabella 17 - Tabella degli impatti sociali

A = Condizioni attuali

P = Condizioni potenziali

Impatto	Costo	È distribuito equamente?	Tendenza alla crescita?	È una priorità pubblica?	Può essere mitigato?	Rank

Tabella 18 tabella per la definizione della priorità degli impatti.



6.1.3. Valutazione della Vulnerabilità

La valutazione della vulnerabilità fornisce un metodo di lavoro per l'identificazione della cause che determinano gli impatti economici, ambientali e sociali. Il suo scopo è quello di collegare l'analisi degli impatti alla strategia per la loro mitigazione. Nella valutazione di vulnerabilità ci si concentra quindi sulle cause piuttosto che sugli effetti, in modo che sia più semplice identificare azioni mitiganti e correttive. Ad esempio, l'impatto diretto di una scarsa precipitazione può essere una riduzione di produzione dei raccolti. Nella realtà la causa primaria di questa vulnerabilità può essere dovuta al fatto che l'agricoltore non ha selezionato le corrette sementi a sua volta per motivi differenti (culturali, disinformazione, sfiducia, costi). Per quantificare con sufficiente precisione gli impatti ma soprattutto, per chiarire le cause degli stessi al fine di identificare le opportune azioni correttive si utilizzano tabelle/questionari.

In questo ciclo di pianificazione l'analisi di vulnerabilità è considerato uno sviluppo sperimentale, e la proposta consiste nello sviluppo di tabelle/questionari in relazione agli impatti economici con riferimento a diversi utilizzatori della risorsa rappresentanti altrettante tipologie di utilizzo²⁷:

6.1.4. La rappresentazione condivisa degli impatti: il SiccIDROMETRO

Un primo strumento per la valutazione dell'impatto della siccità nel bacino del Po è basato sul parametro che assieme alle previsioni di pioggia e temperatura è il più osservato durante gli eventi di crisi idrica: il **deflusso in Po**.

Il "SiccIDROMETRO" è stato proposto, ed accolto, nell'ambito del processo partecipativo del Piano del Bilancio Idrico per censire e rappresentare in modo sistematico alla scala del distretto idrografico gli impatti legati alla presenza di un deflusso nell'alveo del Po, in particolare tra Isola Sant'Antonio ed il Delta, ritenuto non sufficiente dagli utilizzatori serviti dall'asta. Il SiccIDROMETRO è costituito da un diagramma concettualmente molto semplice, rappresentato schematicamente nella Figura 63: in funzione di valori decrescenti da 700 a 200 m³/s della portata istantanea (freccia verso il basso a sinistra), sono riportati in corrispondenza di ciascuna delle sezioni principali dell'asta, o di altre sezioni rilevanti, eventuali conseguenze negative delle portate di magra (cerchi colorati). Se le conseguenze negative dipendono da un livello idrometrico troppo basso la trasformazione da livello a portata può essere attuata sulla base della scala di deflusso locale.

Almeno in prima battuta nel SiccIDROMETRO è riportata solo l'indicazione della presenza o meno di un impatto con una descrizione (del tipo: fuori uso della presa irrigua di Boretto), senza ulteriori approfondimenti. Sullo stesso diagramma (ma non in Figura 63), possono essere riportati anche valori di riferimento della portata in corrispondenza delle sezioni trasversali rappresentate, come ad esempio il valore della portata di magra ordinaria, alcuni valori dalla curva di durata delle portate, eccetera. Effetti negativi sono stati riportati durante gli eventi siccitosi (o di scarsità idrica) dell'ultimo decennio per portate inferiori ai 600 m³/s, limite al di sotto del quale si manifesta il primo impatto sfavorevole costituito dalla risalita di acque marine salate in uno dei rami del Delta, rendendo impossibile il funzionamento di una presa irrigua a servizio della zona.

²⁷ Una prima esperienza in tal senso è stata attuata nell'ambito del progetto per la produzione delle Linee guida, coinvolgendo i seguenti soggetti: Utilizzo: Agricolo, mini-idroelettrico – Interlocutore: Consorzi di Bonifica e irrigazione (Portatore di interesse), INEA (portatore di conoscenza). Utilizzo: Idroelettrico – Interlocutore: FEDERPERN, APER, singoli gestori grandi impianti. Utilizzo: idropotabile (prese superficiali) – Interlocutore: ATO Utilizzo: industriale – Interlocutore: ATO. Utilizzo: misto, regolatore – Interlocutore: gestori dei grandi laghi. Il questionario è stato organizzato in tre parti. Una che raccoglie informazioni su come la risorsa viene utilizzata e sugli strumenti di captazione, la seconda che definisce i danni storici patiti, e la terza investiga le cause dei danni sia storici sia futuri. Il questionario cerca inoltre di definire le soglie di disponibilità della risorsa ed eventuali conseguenze, in modo che tali soglie possano essere utilizzate come riferimento in fase decisionale. Il questionario proposto tenta di identificare le informazioni necessarie all'analisi di vulnerabilità. I destinatari del questionario possono essere diversi: gli interlocutori degli utilizzatori della risorsa (e.g., consorzi di bonifica), gli utilizzatori della risorsa (e.g., gli agricoltori), i portatori di conoscenza (e.g., INEA). Un'altra sperimentazione è stata effettuata nell'ambito del Progetto Europeo Drought-R&SPI.



Nonostante i limiti di un approccio così semplificato, la rappresentazione risulta di lettura immediata ed offre facili spunti interpretativi della situazione, a partire ad esempio dal fatto che la portata di magra ordinaria, calcolata attraverso l'analisi statistica delle serie dei minimi annuali osservati, diminuisce di $8 \text{ m}^3/\text{s}$ tra Cremona e Boretto invece che aumentare con l'estensione del bacino idrografico sotteso. Oppure dall'evidenza dell'intensificarsi degli impatti negativi procedendo da monte verso valle. Il limite principale dello strumento è costituito dall'assenza della dimensione "tempo", sia per la rappresentazione del trasferimento della perturbazione della portata in alveo (aumenti e diminuzioni di portata non avvengono contemporaneamente in tutta l'asta), sia per quanto riguarda la durata del basso valore del deflusso, che può mutare l'entità, la presenza e la distribuzione di taluni impatti.

Tuttavia, nel proporre il diagramma, si ritiene che tali indicazioni possano essere almeno in parte integrate in un successivo diagramma di approfondimento realizzato in collegamento a questo. Si rimanda quindi alla restituzione dello specifico Focus Group, disponibile sul sito internet dell'Autorità di Bacino del Po, per approfondimenti circa la valutazione attuata dai soggetti interpellati sull'adeguatezza dello strumento *SiccIDROMETRO*.

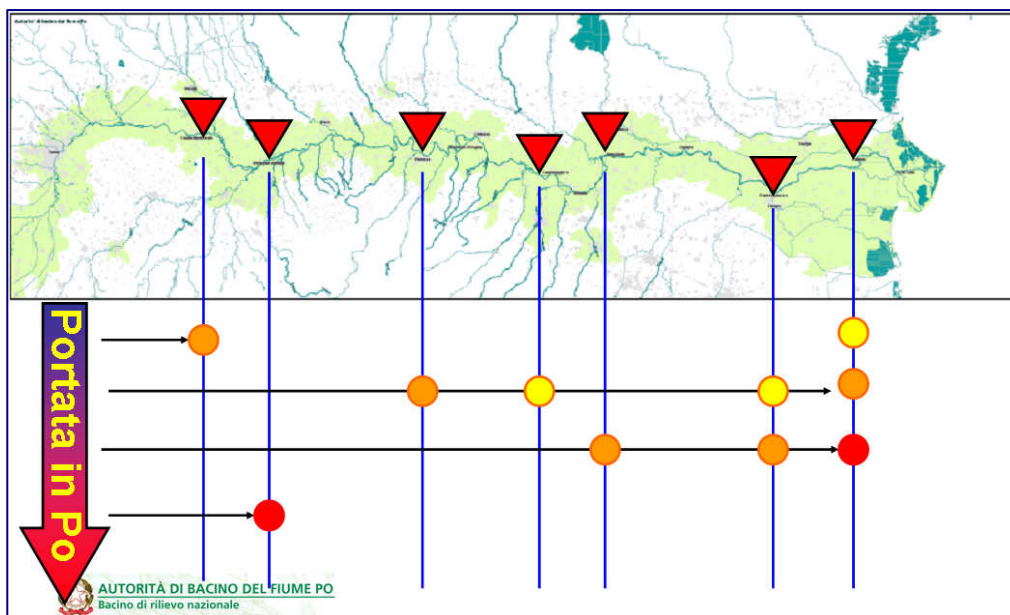


Figura 63: rappresentazione schematica del diagramma "SiccIDROMETRO"



7. SCHEMA DELLA DIRETTIVA MAGRE

La Direttiva Magre qui presentata come schema strutturale rappresenta la sintesi operativa delle procedure presentate al Capitolo 5.2 e delle analisi di impatto e vulnerabilità presentate al Capitolo 6. La rappresentazione in schede degli impatti e delle azioni di mitigazione richieste, organizzate sia per stazione idrometrica che per valori della portata osservata a Pontelagoscuro (ed eventualmente in altre sezioni di monitoraggio) è stata individuata come un efficace supporto alle decisioni durante le fasi di gestione delle crisi idriche.

In sintesi, per ciascuna sezione del Po, o altra sezione di riferimento, sono elencati, in funzione della portata di magra ivi registrata, gli impatti valutati a monte, a valle o nel territorio circostante, l'orizzonte temporale disponibile per intervenire prima dell'emergenza, e le azioni di mitigazione (Paragrafo 7.1). Un ulteriore sviluppo necessario è costituito dalla valutazione economica delle azioni di mitigazione.

Lo stesso tipo di analisi è quindi riproposto utilizzando come dato di riferimento di base la portata osservata a Pontelagoscuro. (Paragrafo 0).

La raccolta dei dati necessari alla definizione dei contenuti delle tabelle è contemplata tra le misure urgenti del Piano del Bilancio Idrico.

7.1. Stazioni idrometriche

7.1.1. Sezione di Pontelagoscuro

Portata m ³ /s	Impatto	Azione
650	--	Inizio monitoraggio
600	Inizio risalita acqua salmastra nei rami del Delta	Monitoraggio Bollettino; in dipendenza delle previsioni meteo Convocazione preliminare Cabina di regia
450	<i>...elencare qui gli impatti</i>	<i>...elencare qui le azioni</i>
400	<i>...elencare qui gli impatti</i>	<i>...elencare qui le azioni</i>
350	<i>...elencare qui gli impatti</i>	<i>...elencare qui le azioni</i>

Tabella 19 - Tabella delle azioni della Direttiva Magre a Pontelagoscuro

7.1.2. Sezione di Borgoforte

Sviluppo di tabella analoga a Tabella 19

7.1.3. Boretto

Sviluppo di tabella analoga a Tabella 19



7.1.4. **Cremona**

Sviluppo di tabella analoga a Tabella 19

7.1.5. **Piacenza**

Sviluppo di tabella analoga a Tabella 19

7.1.6. **Ponte Spessa**

Sviluppo di tabella analoga a Tabella 19

7.1.7. **Isola Sant'Antonio**

Sviluppo di tabella analoga a Tabella 19

7.1.8. **San Sebastiano Po**

Sviluppo di tabella analoga a Tabella 19

7.2. **Valori di portata osservata a Pontelagoscuro**

650 m ³ /s		
Sezione	Impatto	Azione
Delta	Inizio risalita acqua salmastra nei rami del Delta	Azionamento barriere antisale...
Stazione di pompaggio...	<i>...elencare gli impatti</i>	<i>...elencare le azioni</i>
Pontelagoscuro	<i>...elencare gli impatti</i>	<i>...elencare le azioni</i>
...	<i>...elencare gli impatti</i>	<i>...elencare le azioni</i>

Azioni distrettuali:

[elenco da definire]

Altre Azioni:

[elenco da definire]



600 m ³ /s		
Sezione	Impatto	Azione
Delta	Inizio risalita acqua salmastra nei rami del Delta	Azionamento barriere antisale...
Stazione di pompaggio...	<i>...elencare gli impatti</i>	<i>...elencare le azioni</i>
Pontelagoscuro	<i>...elencare gli impatti</i>	<i>...elencare le azioni</i>
...	<i>...elencare gli impatti</i>	<i>...elencare le azioni</i>

Azioni distrettuali:

[elenco da definire]

Altre Azioni:

[elenco da definire]