



Prevedere e prevenire le piene del fiume Po

Linee guida per la previsione e il controllo
delle piene fluviali dell'asta principale del fiume Po



Progetto Realizzato da:
Fondazione Cima

Realizzazione grafica e concept:
Punto a capo Coó'ee

Stampa:
Jollygraf

Indice

Ricordare e osservare per prevenire	pag. 5
1 - Richiami normativi	pag. 12
2 - Valutazioni finali	pag. 16
 Schema per l'utilizzo del sistema di modellistica idrologico-idraulica e approccio metodologico	pag. 19
1 - Diagramma di stato	pag. 20
2 - Diagramma di flusso degli stati	pag. 22
2.1 - Previsione	pag. 22
2.2 - Vigilanza.....	pag. 24
2.3 - Monitoraggio.....	pag. 27
3 - Dettagli delle Analisi	pag. 30
3.1 - Analisi previsioni meteorologiche	pag. 30
3.2 - Analisi previsioni idrologiche-idrauliche deterministiche e delle previsioni basate sulle sole precipitazioni osservate	pag. 34
3.3 - Analisi delle Previsioni idrologiche-idrauliche deterministiche probabilistiche.....	pag. 39
3.4 - Confronto fra livello misurato e run su osservato - la stima dinamica del bias	pag. 48

Ricordare e osservare per prevenire¹

Alcuni di noi stavano scrivendo le prime righe di questo testo quando la rotta del Serchio, il 24 dicembre 2009,² ci fece memoria del rischio cui sono sottoposte le aree perfluviali di fiumi arginati pensili in piena.



Figura 1. Immagine del 30 dicembre 2009 dell'inondazione della bonifica del Massaciuccoli pisano (in azzurro chiaro, con in trasparenza le tracce della bonifica) provocate dalla rotta del Serchio (in basso al centro in colore blu) con traccia ancora evidente del percorso delle acque (macchie azzurro chiaro) attraverso la bonifica e l'abitato. Fonte: Sistema DEWETRA del Dipartimento di Protezione Civile - Fondazione CIMA: elaborazione di immagine SAR di Cosmo SkyMed dell'Agenzia Spaziale Italiana.

Poco dopo avvenne la rotta della Buna a valle del lago di Skutari in Albania, il 7 gennaio 2010 (figura 2). Essa ci ricordò che, in un Paese ai margini dello sviluppo, l'inondazione di 70 km² di terreno agricolo di bonifica veneziana, che costituisce una delle risorse principali del prodotto del Paese, è ben più grave dell'inondazione di 30 km² della bonifica medicea del Massaciuccoli pisano, che è piccola parte del prodotto interno del nostro paese.



Figura 2. Immagine del 9 gennaio 2010 dell'inondazione della bonifica di Skutari (Albania) fin quasi all'Adriatico (in azzurro chiaro, con in trasparenza le tracce della bonifica) provocate dalla rotta della Buna, effluente del lago di Skutari (a sinistra in colore blu). Fonte: Sistema DEWETRA del Dipartimento di Protezione Civile - Fondazione CIMA: elaborazione di immagine SAR di Cosmo SkyMed dell'Agenzia Spaziale Italiana.

Stavamo rivedendo queste righe introduttive quando il sistema del Bacchiglione ebbe ad inondare, nella seconda settimana di Novembre 2010, per rotture³ e insufficienze arginali, la pianura attorno a Vicenza e tra Vicenza e Padova. L'area non è solo agricola. Appartiene a quel Nord-Est italiano dove la piccola impresa ha costruito una trama produttiva che sostiene buona parte del prodotto interno lordo del Veneto. È sembrato tuttavia che nessuno di coloro

¹ A.Brath, L.Natale, F.Siccardi ed E.Todini.

² Il sindaco di V. che osservava il transito della piena tra le arginature in prossimità del paese notò una venuta a mezz'altezza dell'argine destro. Prima che i servizi tecnici potessero intervenire la venuta crebbe in dimensioni e si trasformò in rotta. Il fatto fu attribuito alla presenza di tane di nutrie.

³ Anche in questo caso la presenza di tane di animali è stata suggerita come causa della rottura.

che avevano costruito capannoni e opifici, e nessuno di coloro che avevano assentito le costruzioni, avesse mai sentito parlare del rischio di inondazione.

Poco meno di settanta anni or sono un evento gravissimo colpì le aree dominate dall'asta terminale del Po. L'inverno del 1951 fa parte di una storia recente che la maggior parte delle scuole del nostro paese insegna poco e male. In questo documento ci sembra necessario ricordare, anche con qualche immagine, l'inondazione del Polesine, una delle più gravi inondazioni storiche dell'Italia.

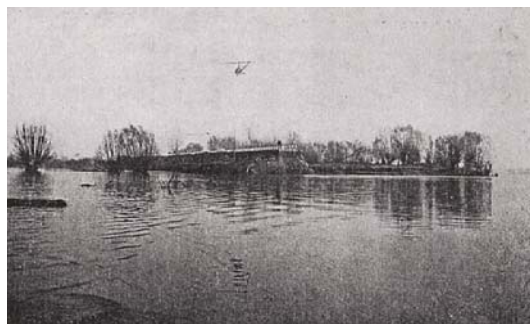


Figura 3. Una delle rotte del 1951 presso Occhiobello. Da *Le rotte del Po*, di M. Sbrana. Ist. Padano di Arti Grafiche, Rovigo, 1952.

La rotta del Po a Occhiobello condusse all'allagamento finale di più di mille km². I danni, in un paese che completava la transizione da agricolo a industriale, furono terribili.



Figura 4. Il completamento dei lavori di chiusura delle rotte del 1951. Visita delle autorità. Da *Le rotte del Po*, di M. Sbrana. Ist. Padano di Arti Grafiche, Rovigo, 1952.

Le due immagini, da un volume edito appena un anno dopo l'inondazione, le abbiamo riportate per ricordare anche visivamente l'Italia di allora. Chi immagina oggi che le autorità in visita alla chiusura delle rotte potessero viaggiare sul trenino di cantiere anziché con l'elicottero? Lo sfondo della figura 3 allora non conteneva centrali termoelettriche né edifici industriali. Immaginiamo la dimensione industriale di un disastro simile oggi. Un metro di paragone si può trovare solo trasferendo lo scenario osservato recentemente nelle aree dominate dal Bacchiglione al più ampio scenario del Po.



Figura 5. La traccia delle rotte del 1951.

Le aree perfluviali di oggi, dominate dalle acque del Po in piena, contengono esposti il cui valore è un'altissima percentuale degli investimenti del nostro Paese. La vulnerabilità del sistema padano centrale è elevata. Per questa ragione l'Agenzia Interregionale per il fiume Po (AIPO) ha intrapreso recentemente la costruzione di un sistema per il preannuncio delle piene in asta e la costruzione di un'organizzazione di coordinamento sovra regionale per la gestione del rischio. Tutto ciò nasce da una politica nuova nel nostro Paese, che ha visto organizzarsi attorno al Sistema di Protezione Civile, negli ultimi due decenni, la capacità dello Stato e delle Regioni di gestire le emergenze e di individuare i punti vulnerabili del territorio. Adeguare argini, canali, sottopassi, fognature bianche urbane, in modo che ovunque il rischio delle vite umane e dei beni sia omogeneo e ridotto molto al disotto dei livelli attuali, richiederebbe una politica attenta e continua di investimenti sul territorio. Pochi calcoli mostrano che l'investimento complessivo è dello stesso ordine di grandezza dell'intero prodotto interno lordo annuo del nostro paese. Poiché però un Paese ordinariamente investe in opere pubbliche qualche percento del PIL, e con questa modesta percentuale deve costruire scuole, carceri, case, ospedali e possibilmente adeguare argini, ponti e infrastrutture urbane, la condizione di rischio a cui il territorio oggi è esposto resterà, mediamente, congelata per molti decenni, ai valori attuali.

Il Paese si è dotato di strumenti di previsione, che ha reso via via più affidabili, affinché, insieme alle Regioni, si possano prevedere gli eventi che probabilmente potranno darsi e tempestivamente suggerire misure di precauzione per rendere meno alta la vulnerabilità e meno gravoso il danno. L'emissione frequente di allerte fondate sta sostituendo, in qualche modo, la pianificazione del territorio. Pianificare nel nostro Paese è difficile. Almeno per ciò che riguarda le grandi organizzazioni territoriali, la presenza di allerte conduce ad accettare oneri di difesa degli investimenti per rendere più basso il danno atteso conseguente a eventi estremi. Il Sistema Nazionale di Protezione Civile è organizzato in Centri Funzionali. Il Centro Funzionale Centrale coordina l'intero sistema. Nella pianura padana sei Regioni - in realtà cinque, perché il ruolo della Regione Liguria è naturalmente assai modesto - concorrono a governare il territorio che affluisce al Po. I cinque Centri Funzionali partecipano attivamente alla realizzazione del sistema padano di gestione del rischio di inondazione.

Il sistema padano, che le nuove autorità si ritrovano a dover governare, è il risultato di un migliaio di anni di storia umana.

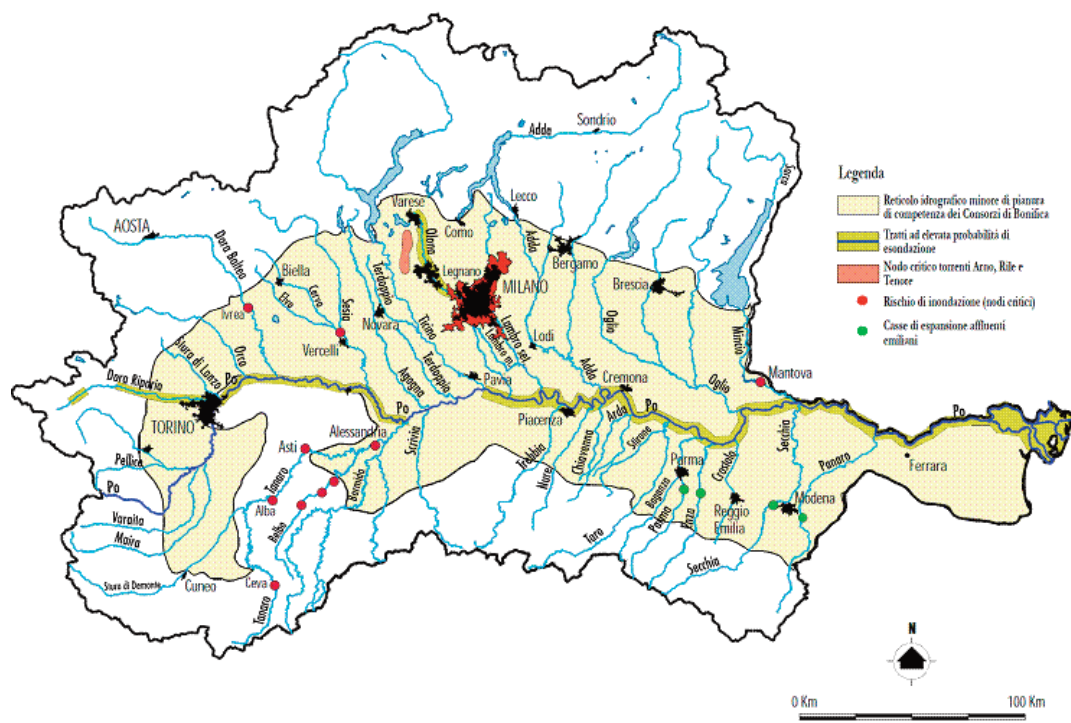


Figura 6. Relazione di sintesi - PAI PO, Criticità strutturali del sistema territoriale: rischio idraulico. Autorità di Bacino del Fiume Po, 2009.

Una descrizione appropriata del paesaggio padano dell'alto Medioevo si trova in V. Fumagalli, *Paesaggi della Paura*, Il Mulino, 1994. *"...Dall'altezza, grosso modo, di Mirandola, le acque occupavano una superficie via via più larga, che s'apriva a ventaglio, a cavallo dei bracci padani, sempre più estesamente, fino alla sterminata palude del delta. Sicché le zone dove la terra coltivata prevaleva o fronteggiava veramente quella incolta erano la pianura prossima alle città, le colline alle spalle di queste... Ma a nord della via Emilia... erano più boschi e stagni che campi e prati artificiali. Qui...*

erano presenti i lupi, si cacciava il cervo, il daino, il cinghiale... lupi erano sorpresi nelle città nei periodi peggiori... Ma erano le acque a dare la fisionomia alla bassa pianura padana."

Le alluvioni erano frequenti con danni gravi in relazione all'esiguità della popolazione e c'è cronaca degli interventi: "... e perciò chiamati Agostino ed Agnolo architetti Sanesi, come ingegnosi e valenti uomini, trovarono modo di rimettere quel terribile fiume nel luogo suo, serrandolo con argini e molti ripari utilissimi, il che fu con molta loro lode ed utile, perché oltre che si acquistarono fama, furono dai signori di Mantova e dagli Estensi, con onoratissimi premi riconosciuti."



Figura 7. Da *"Paesaggi della paura"*, V. Fumagalli, il Mulino, 1994.

Già a partire dal XVI secolo il fiume Po era arginato con notevole continuità, dal territorio mantovano al mare; successivamente e con particolare accelerazione immediatamente dopo gli eventi di inondazione più significativi lo sviluppo delle arginature fu esteso verso monte sia sul Po che sui principali tributari, fino alla situazione attuale. Sono arginati con continuità circa 860 km di asta fluviale di Po e circa 1420 km di asta degli affluenti.

Un documento storico di fondamentale importanza è la Relazione della Commissione Brioschi.

È un peccato che non ce ne sia pervenuto il testo, ma solo la cartografia. La commissione, passata alla storia con il nome di chi ne progettò e diresse i lavori, l'eminente matematico Francesco Brioschi, senatore del Regno d'Italia, fu istituita, a seguito di due piene devastanti del Po nel corso del 1872, con Regio Decreto del 16 febbraio 1873, al fine di prendere i provvedimenti "... più acconci per difendere le pianure padane dalle inondazioni." L'informazione storica e i rilievi delle sezioni condotti dall'Oltrepò Pavese sino alla bocca delizia del Po di Tolle sono stati così importanti che ancora oggi le "sezioni Brioschi" costituiscono il documento di raffronto per lo studio della dinamica fluviale.

La diminuzione della frequenza dei fenomeni di rotta in seguito agli interventi di consolidamento dei rilevati arginali e la crescente estensione verso monte dello sviluppo delle stesse arginature, con la conseguente sottrazione di porzioni rilevanti di pianura alluvionale ai processi di laminazione della piena, ha comportato un progressivo e significativo aumento dei livelli e delle portate defluenti lungo l'asta. Tale fenomeno è documentato confrontando a partire dal 1800 il progressivo aumento dello sviluppo delle arginature dell'asta del Po e l'entità dei livelli di piena osservati alla stazione di Pontelagoscuro.

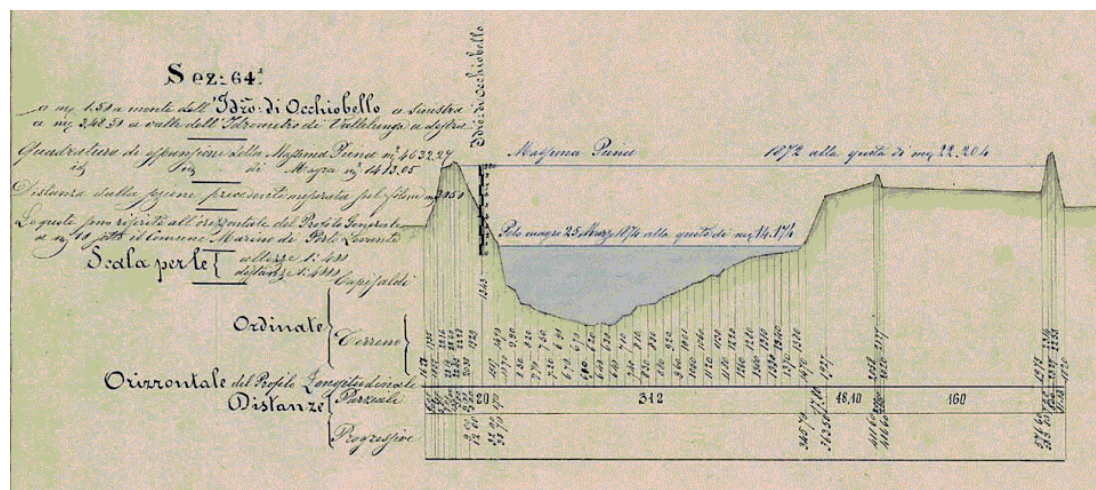


Figura 8. La sezione "Brioschi" di Occhiobello, 1873.

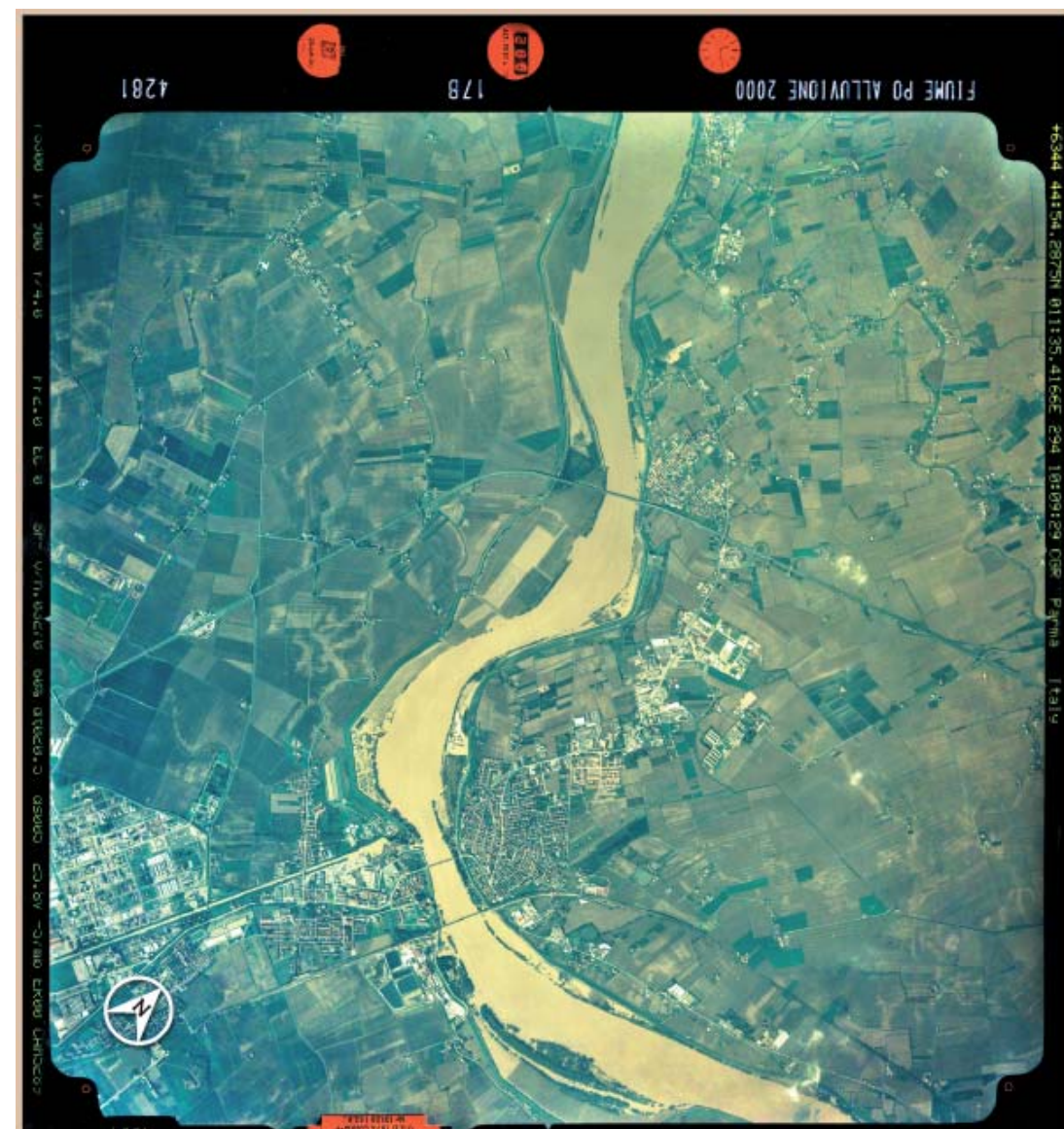
Già nel 1952, subito dopo la catastrofica inondazione del Polesine del novembre 1951, il Prof. De Marchi fece osservare che: "[...] Le piene di Po sono andate progressivamente aumentando nel corso degli ultimi secoli, ed è pure certo che esse aumenteranno ancora in avvenire. I livelli della piena a Pontelagoscuro si sono elevati di un metro durante il secolo decimottavo, di un metro e mezzo nel secolo successivo e, se badiamo all'andamento che secondo il Servizio Idrografico avrebbe avuto la piena ultima qualora non fosse intervenuta la rotta di Occhiobello, si sarebbero elevati di un altro metro nell'ultimo cinquantennio."

De Marchi accompagnava le considerazioni riportate sopra con una serie di essenziali osservazioni in merito alla necessità di rivedere e ripensare il sistema arginato in modo da poter gestire in modo accurato anche eventi di piena non contenibili dal sistema arginato, evidenzia

quello che poi si è verificato sia nella piena del 1994 che in quella del 2000 in cui in particolare sono stati superati nel tratto medio dell'asta (Piacenza, Cremona, Casalmaggiore) i valori massimi storici dell'evento del 1951. Alle osservazioni di De Marchi non si è data ancora oggi risposta.

Di contro il progressivo aumento delle quote di sommità delle arginature effettuato nel corso degli anni per fronteggiare l'innalzamento costante dei livelli, ha comportato il raggiungimento su gran parte dell'asta inferiore del Po di condizioni limite strutturali non più significativamente aumentabili.

L'attuale sistema arginato del fiume Po, per quanto ben realizzato, monitorato e mantenuto nel tempo non può garantire, come qualsiasi altra opera idraulica, un livello di sicurezza assoluto per il territorio circostante, sia in relazione a scenari di rottura arginale sia in relazione a scenari di tracimazione.



Occhiobello (RO), Pontelagoscuro (FE). Ponte A13, ponte SS 16 e Ponte ferroviario - AIPQ Anno 2003.

Figura 9. Occhiobello e l'area della rotta. I. Ferrari ed M. Pellegrini (ed.), *Un Po di Carte*, Diabasis, 2007.

L'entità del rischio residuale deve essere dunque presa in considerazione, valutata e gestita con

opportuni interventi di carattere strutturale e non strutturale.

1 - Richiami normativi

Il nostro paese è ricco di leggi e spesso ne costruisce di nuove senza ricordare di abrogare quelle precedenti. Non è qui il caso di passare in rassegna la normativa. A questo fine esistono testi specializzati. È invece opportuno ricordare che due direttive, una europea e una italiana, hanno delineato la struttura all'interno della quale l'organizzazione della previsione, della prevenzione e della gestione dell'emergenza deve essere svolta⁴. Qui richiamano gli aspetti fondamentali ai fini della gestione della piene di Po.

La direttiva europea sulla valutazione e gestione dei rischi di alluvioni⁵ ha lo scopo (Art. 1) di *"[...] istituire un quadro per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni volto a ridurre le conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche connesse con le alluvioni all'interno della Comunità"*.

Essa integra la normativa Europea in materia di acque⁶ che introdusse l'obbligo di predisporre piani di gestione dei bacini idrografici per tutti i distretti idrografici al fine di realizzare un buono stato ecologico e chimico delle acque. L'attenzione alla mitigazione degli effetti delle alluvioni, che nella direttiva 2000/60 era definita in termini generali e non sostanziali, riacquista con questa nuova direttiva un ruolo centrale nelle politiche europee in termini di gestione dei rischi naturali.

Gli obiettivi per la gestione del rischio alluvione debbono essere stabiliti dagli stessi Stati membri e tener conto delle condizioni locali e regionali. La direttiva prescrive l'elaborazione di mappe della pericolosità e di mappe del rischio di alluvioni in cui siano riportate le potenziali conseguenze negative associate ai vari scenari di alluvione, comprese informazioni sulle potenziali fonti di inquinamento ambientale a seguito di alluvioni. Ciò al fine di disporre di un efficace strumento di informazione e di una solida base per definire le priorità di intervento e adottare decisioni di carattere tecnico, finanziario e politico riguardo alla gestione del rischio.

Le cause e le conseguenze di questi fenomeni sono diverse nei vari paesi e regioni della Comunità. I piani di gestione dei rischi debbono pertanto tener conto delle specifiche caratteristiche delle zone da essi coperte e proporre soluzioni mirate in base alle esigenze e alle priorità di tali zone, garantendo sempre il coordinamento appropriato all'interno dei distretti idrografici e promuovendo la realizzazione degli obiettivi in materia ambientale stabiliti dalla legislazione comunitaria.

I piani debbono essere incentrati sulla prevenzione, sulla protezione e sulla preparazione alla gestione dell'emergenza. Al fine di conferire maggiore spazio ai fiumi, tali piani debbono comprendere, ove possibile, il mantenimento

e/o il ripristino delle pianure alluvionali, nonché misure volte a prevenire e a ridurre i danni alla salute umana, all'ambiente, al patrimonio culturale e all'attività economica.

Gli elementi dei piani di gestione del rischio di alluvioni debbono essere riesaminati periodicamente e, se necessario, aggiornati, tenendo conto delle probabili ripercussioni dei cambiamenti climatici sul verificarsi delle alluvioni.

In particolare gli Stati membri dovrebbero basare le loro valutazioni, le loro mappe e i loro piani sulle «migliori pratiche» e sulle «migliori tecnologie disponibili», che non comportino costi eccessivi.

Vengono individuati tre momenti fondamentali nel processo di definizione dei piani di gestione del rischio di alluvioni:

- Valutazione preliminare del rischio di alluvioni (Capo II Artt. 4 e 5)
- Mappatura della pericolosità e del rischio di alluvioni (Capo III Artt. 6)
- Piani di gestione del rischio di alluvioni veri e propri (Capo IV 7 e 8)

In particolare (Art 7, comma 3) *"[...] I piani [...] riguardano tutti gli aspetti della gestione [...] e in particolare la prevenzione, la protezione e la preparazione, comprese le previsioni di alluvioni e i sistemi di allertamento, e tengono conto delle caratteristiche del bacino idrografico o del sottobacino interessato. I piani [...] possono anche comprendere la promozione di pratiche sostenibili di utilizzo del suolo, il miglioramento di ritenzione delle acque nonché l'inondazione*

controllata di certe aree in caso di fenomeno alluvionale."

Emerge qui per la prima volta in Europa, nel 2007, l'idea introdotta originalmente da De Marchi nel 1952: *"I territori soggetti a quegli allagamenti dovrebbero formare oggetto di una speciale servitù, che naturalmente dovrebbe essere compensata in equa misura [...] dovrebbero essere chiamati a concorrere alla spesa tutti i territori che, grazie agli scolmi tempestivi, abbiano evitato il disastro delle inondazioni"*. Inoltre l'Art 7, comma 5 della Direttiva 2007/60 stabilisce che *"gli Stati membri provvedono a ultimare e pubblicare i piani di gestione del rischio di alluvioni entro il 22 dicembre 2015."*

Analizzando quanto disposto dalla Direttiva europea dal punto di vista della gestione sostenibile delle piene di Po, risulta fondamentale la disponibilità e l'utilizzo di strumenti modellistici operativi, frutto delle migliori tecnologie disponibili, che è appunto l'oggetto delle presenti Linee Guida, quale mezzo, ovviamente non unico, per rispondere alle richieste dell'Unione Europea in termini di gestione del rischio.

La Direttiva europea presenta tuttavia aspetti legati principalmente alla pianificazione incentrando l'attenzione sulla produzione e l'utilizzo di scenari "statici" di pericolosità e di rischio definiti tramite la perimetrazione delle diverse aree geografiche, distinguendo quelle con scarsa probabilità di alluvioni, con media probabilità (tempo di ritorno superiore ai 100 anni), con elevata probabilità (se opportuno).

⁴ I due documenti sono riportati integralmente in due schede nel materiale di documentazione.

⁵ Direttiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa alla Valutazione e alla Gestione dei Rischi di Alluvioni del 23 ottobre 2007, attuata con Legge nazionale (GU n. L 288 del 6.11.2007 pagg 0027-0034).

⁶ Direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2000.

Per ciascuna tipologia di scenario di pericolosità è necessario indicare la portata della piena, il livello delle acque e se opportuno la velocità del flusso considerato.

Gli scenari di rischio vengono poi definiti, a partire dagli scenari di pericolosità in funzione degli esposti presenti nelle aree individuate.

Le disposizioni della direttiva europea sono state anticipate e soddisfatte già nel 2004 e 2005 dalla normativa italiana, improntata non solo alla pianificazione e prevenzione ma soprattutto alla previsione a breve e medio termine e alla gestione nel tempo reale.

Il sistema di protezione civile italiano è infatti incardinato sulle disposizioni della Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 27 Febbraio 2004^{7,8} e basa la sua operatività sulla rete dei Centri Funzionali Regionali.

"[...] il Dipartimento della protezione civile promuove ed indirizza comunque, anche attraverso la rete dei Centri Funzionali, l'interscambio e la condivisione delle informazioni tra tutti i soggetti interessati al governo della piena.

[...] le Regioni interessate, d'intesa tra loro e sentito il Dipartimento della protezione civile, dovranno stabilire tra i Centri Funzionali interessati e per ciascun bacino idrografico, un accordo per la gestione e la condivisione delle informazioni e dei dati, della previsione e della sorveglianza nel tempo reale sia a scala di bacino che a scala regionale e provinciale.

[...] alle attività dell'Autorità di protezione civile per il governo delle piene concorrono, se del caso, e quale affiancamento tecnico - scientifico, oltre al Centro Funzionale di riferimento:

- *L'Autorità di bacino interessata sia per la pianificazione che per la caratterizzazione delle criticità idrauliche e del rischio residuo persistente a scala di bacino;*
- *il Registro italiano dighe per la sicurezza e la funzionalità delle dighe. [...]"*

Nel caso di evento di piena su bacini di interesse nazionale come il Po, la già citata direttiva prevede inoltre l'istituzione dell'Unità di Comando e Controllo (UCC) secondo quanto segue:

"[...] L'Unità di comando e controllo. Tenuto conto che nei bacini dichiarati di interesse interregionale e nazionale ai sensi della legge 18 maggio 1989, n. 183, in cui siano presenti opere di ritenuta iscritte nel Registro italiano dighe, il governo e la gestione dei deflussi durante un evento di piena comporta il concorso di molte amministrazioni statali, regionali e locali afferenti al bacino, e che tale evento, per i possibili e conseguenti effetti, è altresì da ritenersi di livello nazionale, il Dipartimento e le Regioni interessate costituiranno una Unità di comando e controllo che si rappresenterà come l'Autorità di protezione civile per il governo delle piene. Le Regioni interessate, d'intesa tra loro, sentito il Dipartimento della protezione civile, dovranno

decidere la sede e la procedura di costituzione, convocazione e funzionamento dell'Unità di comando e controllo, presso la quale potranno altresì delegare unitariamente ad un unico soggetto la propria rappresentanza. Quindi, tra l'altro, tale Unità potrà anche concretizzarsi in specifici accordi tra le parti che individuino i soggetti e i recapiti di volta in volta competenti, stabilendo il flusso delle informazioni e le modalità di formazione della decisione. Alle attività di tale Unità concorreranno, secondo quanto stabilito dalle Regioni d'intesa tra loro, sentito il Dipartimento:

- *il Centro Funzionale di riferimento per la condivisione delle informazioni e dei dati, la previsione e la sorveglianza nel tempo reale sia a scala di bacino che a scala regionale e provinciale;*
- *L'Autorità di bacino interessata sia per la pianificazione che per la caratterizzazione delle criticità idrauliche e del rischio residuo persistenti a scala di bacino;*
- *il Registro italiano dighe per la sicurezza e la funzionalità delle dighe.*

Nel caso in cui emergano in seno all'Unità pareri tra loro discordanti, il Dipartimento, espletato ogni possibile tentativo per individuare in tempo reale con l'evolversi dell'evento una condivisa sintesi operativa, eserciterà le funzioni di sussidiarietà e/o i poteri sostitutivi dello Stato. Al fine di garantirne l'operatività, attraverso il Centro Funzionale di riferimento, all'Unità di comando e controllo dovranno pervenire tutte le informazioni in possesso dei Centri Funzionali, dei gestori del presidio territoriale idraulico e

degli invasi e degli Uffici territoriali di Governo di riferimento, cioè quelli nel cui territorio ricadono le dighe interessate dalle misure adottate per contrastare l'evento di piena atteso e/o in atto.[...]"

Risulta quindi necessario lo sviluppo operativo di un sistema previsionale in grado di rispondere alle esigenze del Centro Funzionale di riferimento al fine di svolgere sia le funzioni di condivisione delle informazioni e dei dati sia come funzione di supporto tecnico alle attività decisionali dell'Unità di Comando e Controllo. Un sistema di questo tipo è stato realizzato ed è funzionante operativamente presso AIPO in collaborazione con il Centro Funzionale della Regione Emilia-Romagna. La metodologia per il suo utilizzo è tecnicamente descritta nel capitolo che segue.

⁷ Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 27/2/2004, avente per oggetto gli "Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale, statale e regionale per il rischio idrogeologico ed idraulico ai fini di protezione civile", Suppl. Ord. 39, G.U. n.59, 11 marzo 2004.

⁸ Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 25/2/2005, avente per oggetto gli "Ulteriori indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale, statale e regionale per il rischio idrogeologico ed idraulico ai fini di protezione civile", G.U. n.55, 8 marzo 2005.

2 - Valutazioni finali

Deve, a nostro avviso, essere particolarmente apprezzato lo schema modellistico realizzato. Esso utilizza per le previsioni di precipitazione un sistema di ensemble che permette di caratterizzare in probabilità l'estensione e la gravità delle precipitazioni previste.

Il sistema di previsione dei deflussi utilizza tre modelli distinti per la rete di drenaggio e per la propagazione in asta. Essi sono descritti in dettaglio nel rapporto di Fondazione CIMA.

Inoltre il sistema modellistico è capace di "apprendere".

È dovuto infatti a E. Todini l'inserimento operativo di un modulo di valutazione dell'"incertezza predittiva", intesa come la capacità di costruire, via via che saranno osservati eventi di piena registrandone in ogni sezione di misura i livelli, la relazione funzionale tra livelli predetti dal sistema modellistico e i livelli poi effettivamente osservati.

La metodologia per l'utilizzazione delle previsioni modellistiche, riportata nella pagine successive, deve essere apprezzata, perché costituisce uno strumento di avanguardia, anche se tecnicamente agevole, per le operazioni di previsione da parte dell'Autorità Interregionale per il Po.

Per quanto è a nostra conoscenza il sistema di previsione delle piene dell'asta del Po realizzato da AIPO in collaborazione con SIMC della regione Emilia-Romagna è uno dei più avanzati a livello internazionale.

Schema per l'utilizzo del sistema di modellistica idrologico-idraulica e approccio metodologico⁹

La disponibilità di previsioni di livelli e portate sul bacino del Po tramite il sistema FEWS 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 (previsioni ottenute tramite il modello meteorologico ad Area Limitata COSMO-I7 e il sistema di previsioni di Ensemble COSMO-LEPS).

Il presente documento ha lo scopo di suggerire una modalità di utilizzo del sistema modellistico, disponibile presso il Centro Funzionale della Regione Emilia Romagna (ARPA-SIMC, Parma) e replicato presso i Centri Funzionali della Regione Piemonte e delle Regione Lombardia, in un contesto operativo di supporto all'Unità di Comando e Controllo (UCC) definita ai sensi della DPCM 27/2/2004¹⁰ e successive modificazioni.

L'approccio seguito è quello della "macchina a stati" dove vengono definiti passaggi di stato, modalità di controllo e utilizzo del sistema sia in funzione dei valori delle variabili idrometeorologiche osservate e previste, sia in funzione dei tempi di risposta caratteristici delle sezioni rappresentative per i tratti in esame.

L'approccio descritto parte dalla definizione generale di tre possibili stati del sistema, Previsione, Vigilanza e Monitoraggio, prosegue poi con una schematizzazione delle operazioni di analisi e valutazione delle uscite del sistema da effettuare in ciascuna delle tre fasi, terminando con alcuni suggerimenti per effettuare le analisi dei dati delle catene previsionali sia in ingresso sia in uscita.

Il sistema ha la possibilità di utilizzare tre catene modellistiche idrologico-idrauliche: 1) MIKE 11 - NAM/HD, 2) HEC - HMS/RAS e 3) Topkapi/PAB. La metodologia presentata nel seguito può essere applicata a ciascuna di queste tre catene, o alla singola catena che, a valle di una fase di valutazione delle prestazioni previsionali, si ritenga più adatta per l'utilizzo operativo. L'opzione più interessante da un punto di vista tecnico scientifico è rappresentata dall'approccio MCP (Model Conditional Processor¹¹) proposto dal prof. E. Todini. Questo approccio permette la stima dell'incertezza predittiva sfruttando il maggiore contenuto informativo dato dalla presenza di più catene idrologiche-idrauliche rispetto a quella che può essere definita da uno stesso modello con set di parametri diversi.

⁹ N. Rebora, L. Ferraris e R. Rudari.

¹⁰ Pubblicata nella Gazz. Uff. 11 marzo 2004, n. 59, S.O.

¹¹ Todini, E.: A Model Conditional Processor to Assess Predictive Uncertainty in Flood Forecasting. Intl. J. River Basin Management. 6 (2): 123-137, 2008.

1 - Diagramma di stato

In figura 1 è riportato il diagramma di stato che mostra i possibili stati in cui si può trovare il sistema previsionale e i passaggi di stato definiti dalla previsione o dall'osservazione di un evento sia esso in asta principale del Po o nei tratti arginati degli affluenti.

Vengono definiti tre stati possibili in cui si può trovare il sistema:

- 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, portata, persistenza del livello al di sopra di soglie critiche, etc...) e condizionato anche al fatto che l'uscita modellistica sia relativa a tratti, e quindi a sezioni, con tempi di risposta più lunghi (evento in asta principale) o più brevi (evento fuori dall'asta principale).

Il sistema si trova usualmente nello stato di Previsione, se è previsto un evento in asta principale (a partire dalle previsioni idrologiche e idrauliche guidate dal modello COSMO-17) il sistema passa allo stato di Vigilanza da dove è possibile, in funzione delle previsioni idrologiche e idrauliche fatte a partire dalla precipitazione osservata, passare allo stato di Monitoraggio nel caso in cui l'evento previsto sia confermato, o ritornare allo stato di Previsione, nel caso in cui l'evento previsto non si dia. Ovviamente è possibile anche permanere nello stato di Vigilanza nel caso in cui l'evento

predetto rimanga tale ma non ve ne sia ancora evidenza nelle previsioni idrologiche-idrauliche fatte a partire dalle precipitazioni osservate.

Qualora l'evento sia invece previsto fuori dall'asta principale, o comunque la previsione sia relativa a tratti con tempi di risposta più brevi (generalmente inferiori alle 12 ore), il sistema passerà direttamente dallo stato di Previsione a quello di Monitoraggio. Il passaggio diretto è dettato dal fatto che i tempi di risposta del bacino chiuso alla sezione considerata renderebbero del tutto inutili i controlli previsti in Vigilanza. In caso di evento previsto su bacini di minori dimensioni, per garantire un efficace funzionamento del sistema e per fornire un supporto tempestivo all'Unità di Comando e Controllo, occorre eseguire direttamente i controlli proposti per lo stato di Monitoraggio.

La frequenza e le tempistiche dei controlli nelle varie fasi sono ovviamente differenti, una indicazione generale utilizzata nella redazione di questo prontuario è la seguente:

Previsione -> un ciclo di controlli giornaliero;

Vigilanza -> un ciclo di controlli ogni 6-12 ore;

Monitoraggio -> sono previste tre possibili frequenze di controllo in funzione dei livelli idrometrici osservati e previsti: a) bassa frequenza (es. ogni 6 ore); b) alta frequenza (es. ogni 3 ore); c) monitoraggio continuo.

Nei paragrafi successivi scendiamo nella descrizione di dettaglio delle operazioni di controllo suggerite per i tre differenti stati del sistema.

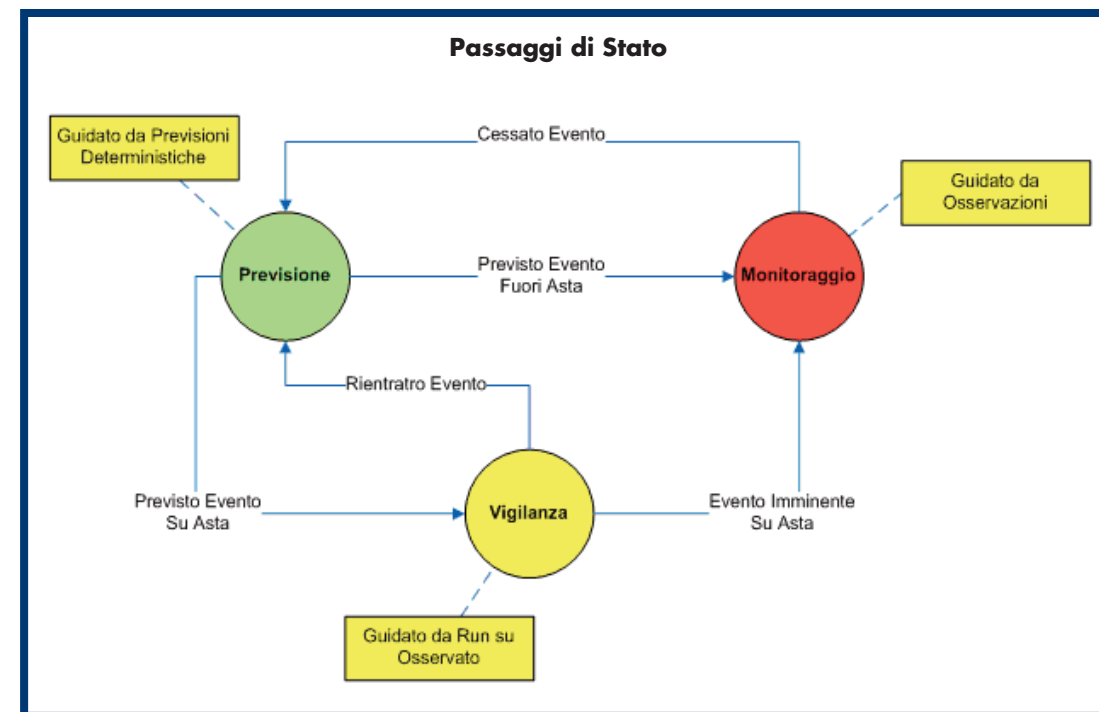


Figura 1. Diagramma degli stati possibili del sistema con una breve descrizione degli eventi che determinano il passaggio da uno stato a un altro. I rettangoli gialli riportano il tipo di uscita della catena previsionale che guida la maggior parte delle considerazioni che l'operatore deve fare per decidere se rimanere nello stato attuale o passare a un altro.

2 - Diagramma di Flusso degli stati

Nei diagrammi che seguono sono mostrati i diagrammi di flusso dei vari stati (Previsione, Vigilanza e Monitoraggio). Le analisi idrologiche e meteorologiche sono indicate in grassetto e riportate con un maggior grado di dettaglio nella sezione 3.

2.1 Previsione

Lo stato di Previsione (figura 2) è quello in cui il sistema si trova ordinariamente.

L'operatore inizia una serie di controlli volti a definire le aree potenzialmente più interessate all'evento, sia in termini di afflussi meteorici sia in termini di possibile superamento di livelli critici (che dovranno essere definiti in fase di definizione delle procedure di controllo).

L'operatore dovrà verificare la presenza delle previsioni meteorologiche sia di COSMO-I7 (previsione deterministica) sia di COSMO-LEPS (ensemble probabilistico). Questa verifica è necessaria per il corretto funzionamento delle catene modellistiche previsionali che utilizzano come ingresso le previsioni dei modelli meteorologici. Nel caso di assenza dell'input meteorologico ci si trova in presenza di una anomalia che va opportunamente segnalata. In quest'ultimo caso essendo impossibile la valutazione delle previsioni idrometeorologiche fatte dal sistema si passerà direttamente allo stato di Monitoraggio avviando contemporaneamente una fase di verifica del sistema di modellistica.

Se le previsioni meteorologiche sono presenti e le catene modellistiche hanno correttamente funzionato, si procede con le Analisi delle Previ-

sioni Meteorologiche (descritte nel dettaglio nel paragrafo 3.1) le quali hanno lo scopo di valutare in maniera speditiva le condizioni di umidità del suolo, le precipitazioni osservate fino al momento della previsione e le precipitazioni future (previste da COSMO-I7), in modo da definire i sottobacini del Po che saranno potenzialmente interessati dall'evento e di conseguenza classificare l'evento in una delle quattro tipologie seguenti:

tipo 1 - *piemontese*;

tipo 2 - *lombardo*;

tipo 3 - *piemontese-lombardo*;

tipo 4 - *intero bacino padano*.

Questa analisi ha lo scopo di definire i tratti di asta potenzialmente critici e di focalizzare maggiormente su di essi le successive analisi.

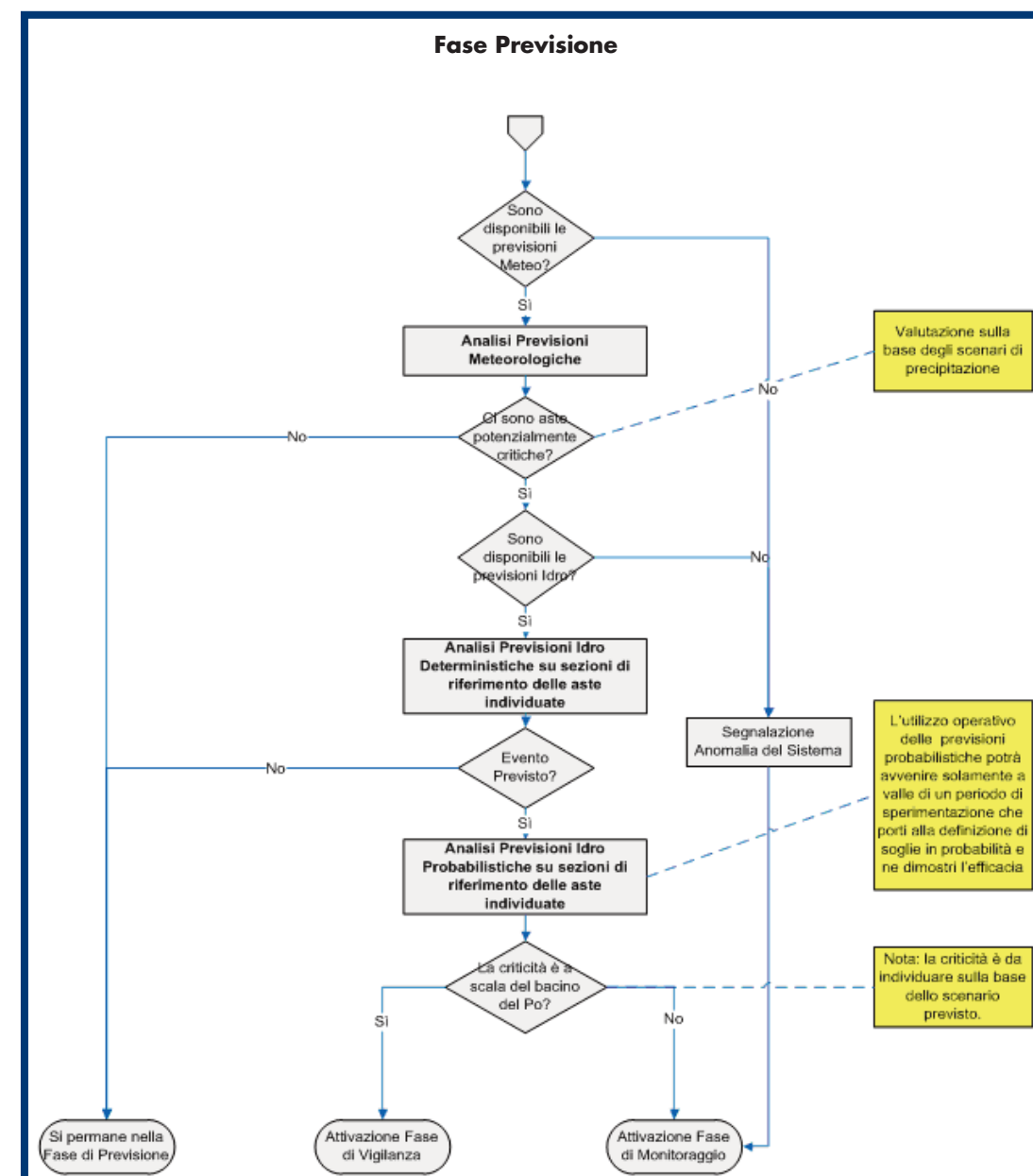


Figura 2. Diagramma di flusso per lo stato Previsione. Vengono riportati i controlli che devono essere eseguiti dagli operatori e le possibili uscite del sistema verso gli altri stati (Vigilanza o Monitoraggio).

Se non vengono individuati tratti di asta critici, si permane nello stato di Previsione.

Se l'analisi basata sulle osservazioni e sulle previsioni meteorologiche evidenzia una criticità che interessa uno o più tratti di asta del Po e dei suoi affluenti, l'operatore verifica la disponibilità delle previsioni idrologico-idrauliche in uscita dalle catene modellistiche. In caso di assenza deve essere segnalata l'anomalia del sistema e si passa direttamente allo stato Monitoraggio, essendo impossibile ogni valutazione fatta a partire dalle previsioni modellistiche.

Se le catene modellistiche hanno funzionato correttamente, l'operatore passa alla fase di Analisi delle Previsioni Idrologico-Idrauliche deterministiche sulle sezioni di riferimento delle aste ritenute critiche (descritte nel dettaglio nel paragrafo 3.2). La previsione idrologico-idraulica deterministica in uscita della catena modellistica utilizza in ingresso la precipitazione osservata fino al momento iniziale della corsa e la precipitazione prevista da COSMO-17 per il tempo futuro.

L'esito di questa analisi può portare:

- a una conferma di quanto individuato dall'Analisi delle Previsioni Meteorologiche. In questo caso si passa all'Analisi delle Previsioni Idrologiche - Idrauliche Probabilistiche sulle sezioni di riferimento delle aste ritenute critiche (descritte nel dettaglio nel paragrafo 3.3). Quest'ultima analisi può essere resa pienamente operativa quando ne sia stata verificata l'efficacia a seguito dell'applicazione su un significativo numero

di eventi. Inoltre questa analisi sarà pienamente utilizzabile una volta che a livello di procedura siano state definite delle soglie (in probabilità) per la valutazione delle criticità espresse dagli scenari probabilistici. Le analisi delle previsioni deterministiche e probabilistiche, nel caso queste ultime siano operative, hanno due possibili esiti:

- si ritiene che un evento sia in procinto di darsi e che possa interessare solo i tratti di asta principale del Po; in questo caso si passa allo stato Vigilanza.
- si ritiene che un evento sia in procinto di darsi e che possa interessare anche i tratti di asta degli affluenti del Po; in questo caso si passa allo stato Monitoraggio sui tratti interessati.
- a ritenere che da un punto di vista idrologico-idraulico gli effetti al suolo dell'evento meteorologico previsto non siano tali da creare delle criticità nei tratti di asta del Po individuati; si rimane nello stato di Previsione.

2.2 Vigilanza

Alla fase di Vigilanza (figura 3) si arriva dalla fase di Previsione nel caso l'evento interessi tratti di asta principale del Po. In questo caso i tempi di risposta dei bacini, che corrispondono ai tempi per i quali è attesa una criticità, sono tali da permettere all'operatore di valutare l'evolversi della previsione e di verificare se l'effetto al suolo, in termini di tirante e portata in asta, della precipitazione prevista è confermato dalle osservazioni disponibili.

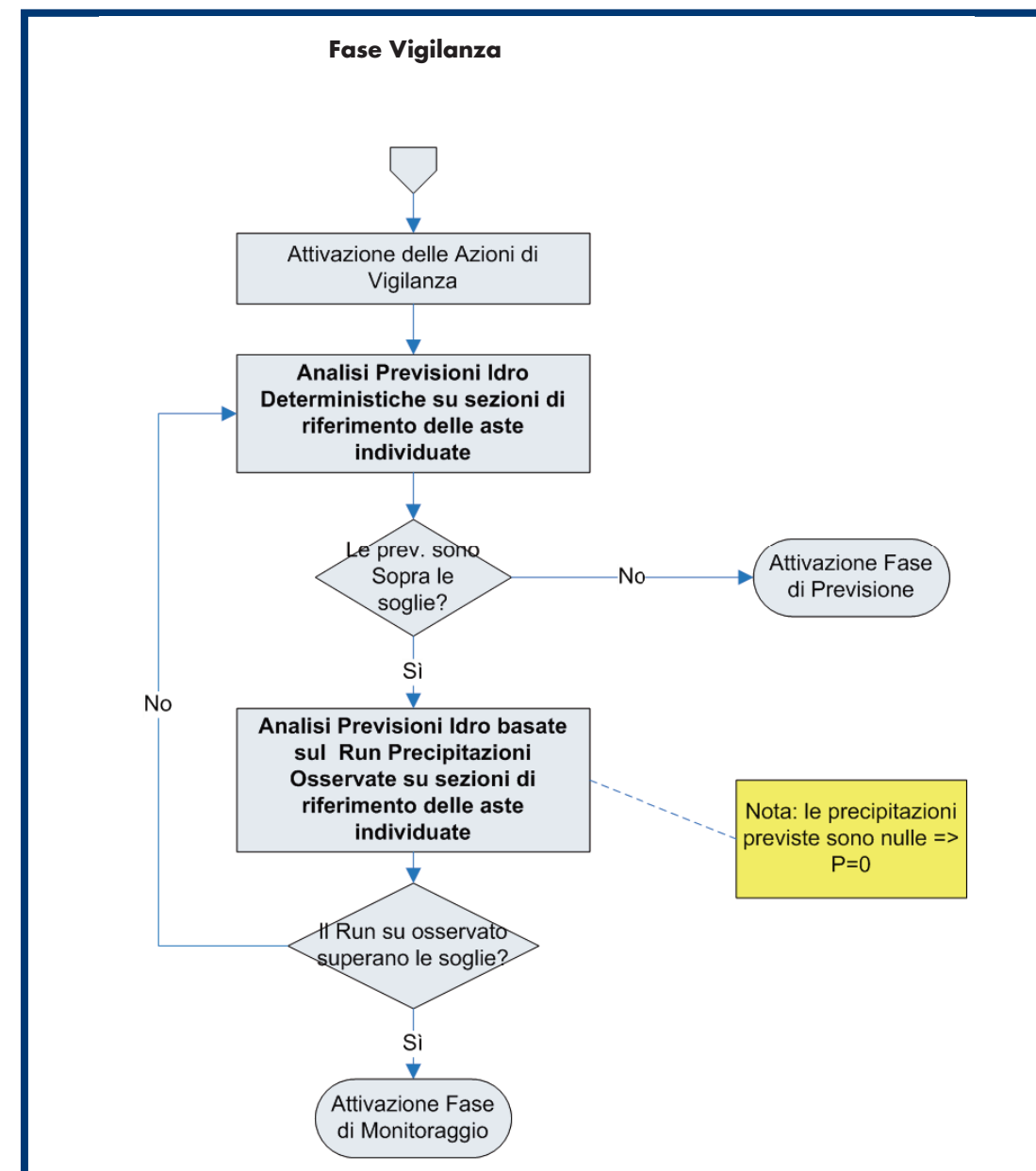


Figura 3. Diagramma di flusso per lo stato Vigilanza. Vengono riportati i controlli che devono essere eseguiti dagli operatori e le possibili uscite del sistema verso gli altri stati (Previsione o Monitoraggio).

I controlli del sistema nella la fase di Vigilanza dovrebbero essere svolti con una frequenza di 6-12 ore. 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 sulle sezioni di riferimento delle aste individuate (descritte nel dettaglio nel paragrafo 3.2). Questa fase è analoga a quella prevista nello stato Previsione e ne differisce solo perché viene ripetuta con una frequenza maggiore. Tale aumento di frequenza consente di utilizzare in ingresso alla catena una maggiore porzione di osservazioni rispetto a quanto fatto in Previsione 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 tiranti in asta principale, si ritorna allo stato 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 gli effetti al suolo dovuti alla precipitazione prevista.

Nel caso in cui le previsioni idrologiche deterministiche diano un superamento delle soglie di riferimento (che dovranno essere definite in fase di implementazione delle procedure), l'operatore deve valutare una seconda previsione idrologico-idraulica deterministica effettuata utilizzando come ingresso delle catene previsionali la precipitazione osservata fino al momento

del controllo e precipitazione nulla dal momento del controllo in avanti. Questa analisi, denominata nel diagramma di Figura 3 Analisi Previsioni Idro basate su Run Precipitazioni Osservate, rappresenta la condizione, di portata o livello, che si darà nelle prossime ore nelle sezioni di asta del Po in esame in assenza di nuove precipitazioni future ma considerando solamente le precipitazioni effettivamente osservate fino al momento attuale.

Questa uscita fornisce una stima del livello e della portata che si daranno nella sezione in esame fatta salva l'incertezza (con errori sistematici e non) della modellazione idrologico-idraulica. Essa rappresenta una condizione minima dei livelli previsti legata solamente alla precipitazione osservata e allo stato di saturazione del suolo nel bacino padano.

Nel caso in cui questa uscita modellistica non evidenzi il superamento delle soglie definite in procedura, il sistema si aggiorna a un controllo successivo ripartendo dall'Analisi delle Previsioni Idrologiche - Idrauliche Deterministiche e proseguendo con quanto già descritto in precedenza.

Nel caso invece si abbia un superamento delle soglie di riferimento da parte delle corse previsionali basate sulle sole precipitazioni osservate, vista la potenziale criticità della situazione, lo stato del sistema passa dalla fase di Vigilanza alla fase di Monitoraggio. Ci troviamo infatti nella condizione in cui un evento sta per darsi con ragionevole certezza e questo è il motivo per cui il sistema passa di stato portandosi in Monitoraggio, che rappresenta lo stato più critico.

2.3 Monitoraggio

Allo stato di Monitoraggio (figura 4) si arriva dallo stato di Vigilanza nel caso l'evento inte-

ressi tratti di asta principale del Po, oppure dallo stato di Previsione nel caso in cui l'evento interessi tratti fuori dall'asta principale.

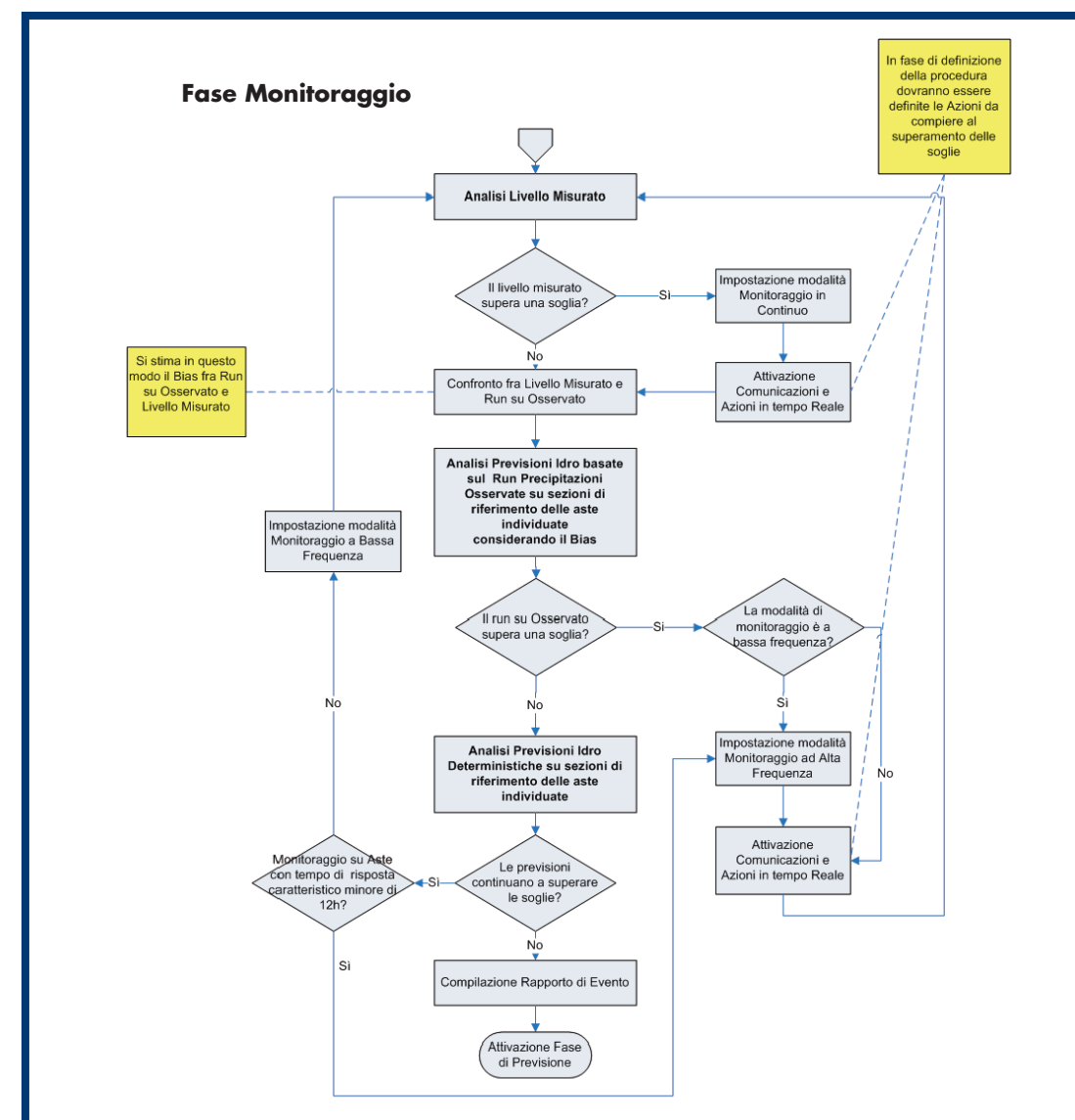


Figura 4. Diagramma di flusso per lo stato Monitoraggio. Vengono riportati i controlli che devono essere eseguiti dagli operatori e le possibili uscite del sistema verso gli altri stati. In questo caso il sistema può passare solamente allo stato Previsione una volta cessato l'evento in corso.

Questo stato prevede una serie di controlli che hanno frequenze differenti secondo la fase dell'evento in cui ci si trova:

bassa frequenza (es. ogni 6 ore);

alta frequenza (es. ogni 3 ore);

monitoraggio continuo.

Il controllo inizia dall'Analisi del Livello Misurato agli idrometri di riferimento per i tratti di asta critici, definiti nelle fasi e negli stati precedenti. L'operatore può trovarsi di fronte a due possibili scenari:

- l'evento è imminente ma non si riscontrano superamenti agli idrometri di riferimento. L'operatore deve, in questo caso, effettuare un confronto analitico delle differenze tra il livello misurato all'idrometro e quello predetto dal sistema utilizzando la corsa che fornisce le previsioni idrologiche a partire dalla corsa sulla precipitazione osservata. Questo confronto, esemplificato nella sezione 3.4, permette di stimare in maniera speditiva gli errori sistematici tra idrogramma misurato e modellato da precipitazione osservata (indicato in figura 4 nel riquadro giallo a sinistra). Questa misura è utile per l'analisi successiva, ossia per l'Analisi delle Previsioni Idrologiche basate su Run Precipitazioni Osservate. In questo caso la valutazione è analoga a quella descritta nella fase di Vigilanza e può beneficiare della valutazione speditiva dell'errore sistematico che è una stima in tempo reale dell'errore dovuto alla modellazione idrologico-idraulica del processo di formazione della piena. Nel caso in cui il "run su osservato" superi una soglia ritenuta critica e

ci si trovi in modalità di monitoraggio in bassa frequenza (modalità iniziale), si modifica la frequenza di monitoraggio portandola ad alta frequenza e si inizia nuovamente dall'analisi del livello misurato mettendo in atto una serie di azioni e comunicazioni che indichino l'imminenza dell'evento e che devono essere definite in fase di implementazione delle procedure. Si rimane in alta frequenza fino a quando non vi sia il riscontro di un superamento delle soglie a un idrometro. In questo caso si passa al punto 2 riportato di seguito;

- l'evento previsto si sta dando, ossia il livello misurato a un idrometro supera una soglia di riferimento (definita nella fase di implementazione delle procedure). In questo caso si passa alla modalità di monitoraggio in continuo. L'evento è già in corso e osservabile nei tratti di asta indicati, per cui devono essere attuate le misure e le comunicazioni previste a livello di procedura per un simile caso. Vengono quindi ripresi i controlli di consistenza fra misurato e corsa modellistica basata sulla precipitazione osservata e relativa previsione. Se si continuano a ravvisare condizioni di superamento delle soglie si permane nella condizione di monitoraggio in continuo e si ripetono i controlli descritti fino a qui. Si rimane in questo ciclo di controlli in continuo fino a quando l'evento è in fase di crescita e/o permane al disopra delle soglie di riferimento.

Quando l'analisi sul livello misurato dà esito negativo, ossia il livello scende al disotto della

soglia di riferimento, siamo di fronte a due possibili scenari di operatività:

- **L'Analisi delle Previsioni Idrologiche basate su Run Precipitazioni Osservate dà esito positivo** (secondo questo output si ha il superamento di una soglia). In questo caso si attende un secondo colmo, non ancora misurato agli idrometri ma previsto dalla modellistica sulla base della precipitazione che è già stata misurata tramite la rete pluviometrica presente sul bacino. Si permane nella condizione di monitoraggio in continuo e si ripetono, le azioni e comunicazioni stabilite per questa fase. I controlli ripartono poi dall'Analisi del Livello Misurato e proseguono come descritto in precedenza;
- **L'Analisi delle Previsioni Idrologiche basate su Run Precipitazioni Osservate dà esito negativo.** In questo caso anche la previsione modellistica sulla base della precipitazione che è già stata misurata tramite la rete pluviometrica presente sul bacino indica una abbassamento dei livelli. In questo caso si passa a effettuare un'Analisi delle Previsioni Idrologiche - Idrauliche Deterministiche, ossia si controlla se le precipitazioni previste dal modello COSMO-17 per le 48-72 ore successive al momento del controllo sono potenzialmente in grado di fare nuovamente alzare i livelli al di sopra delle soglie. Anche in questo caso si aprono due possibili scenari:
 - L'analisi delle previsioni dà esito positivo. In questo caso si attendono eventi di precipitazione tali da poter indurre una risalita

dei livelli nelle prossime 24-48 ore. Si aprono due ulteriori scenari:

- * si sta facendo monitoraggio su tratti di asta con sezioni caratterizzate da tempi di risposta minore delle 12 ore. In questo caso l'evento è atteso ma con tempi inferiori alle 12 ore. La situazione è potenzialmente critica in quanto i tempi di risposta caratteristici delle sezioni considerate critiche non sono sufficienti a mettere in atto contromisure che si basino solamente sui livelli previsti a partire dalla precipitazione realmente osservata. Si permane nello stato Monitoraggio, ma si imposta la modalità di monitoraggio in alta frequenza, con le azioni e comunicazioni che ne conseguono, e si inizia nuovamente con l'Analisi del Livello Misurato;
- * l'evento è previsto per tratti di asta principale del Po, ossia non si sta facendo monitoraggio su tratti di asta con sezioni caratterizzate da tempi di risposta minore delle 12 ore. In questo caso l'evento è atteso ma con tempi più lunghi, si permane nello stato Monitoraggio, ma si imposta la modalità di monitoraggio in bassa frequenza e si inizia nuovamente da capo con l'Analisi del Livello Misurato;
- * l'analisi delle previsioni dà esito negativo. In questo caso non si attendono eventi di precipitazione tali da poter indurre una risalita dei livelli. L'evento si considera in fase terminale, vengono approntate le comunicazioni e le azioni di fine evento e si inizia la redazione del Rapporto di Evento. Il sistema passa quindi allo stato Previsione.

3 - Dettagli delle Analisi

Nei paragrafi che seguono sono riportati suggerimenti sugli elementi da considerare per svolgere le analisi meteorologiche e idrologiche a cui si è fatto riferimento nei diagrammi di flusso degli stati.

3.1 Analisi previsioni meteorologiche

Questa analisi è prevista quando il sistema si trova nello stato Previsione e ha lo scopo di definire i tratti di asta potenzialmente critici sulla base della valutazione speditiva dello stato corrente del Po e dei suoi affluenti e delle previsioni in termini di afflussi meteorici.

Una valutazione speditiva dello scenario di evento in termini di precipitazione può essere di aiuto all'operatore per definire quali bacini hanno maggiore probabilità di contribuire alla piena in asta principale del Po. Questa valutazione permette anche di individuare quali saranno i Centri Funzionali principalmente coinvolti nelle fasi di Previsione, Vigilanza e Monitoraggio dell'evento atteso. L'analisi delle previsioni meteorologiche procede secondo i passi riportati nel diagramma di flusso di figura 5.

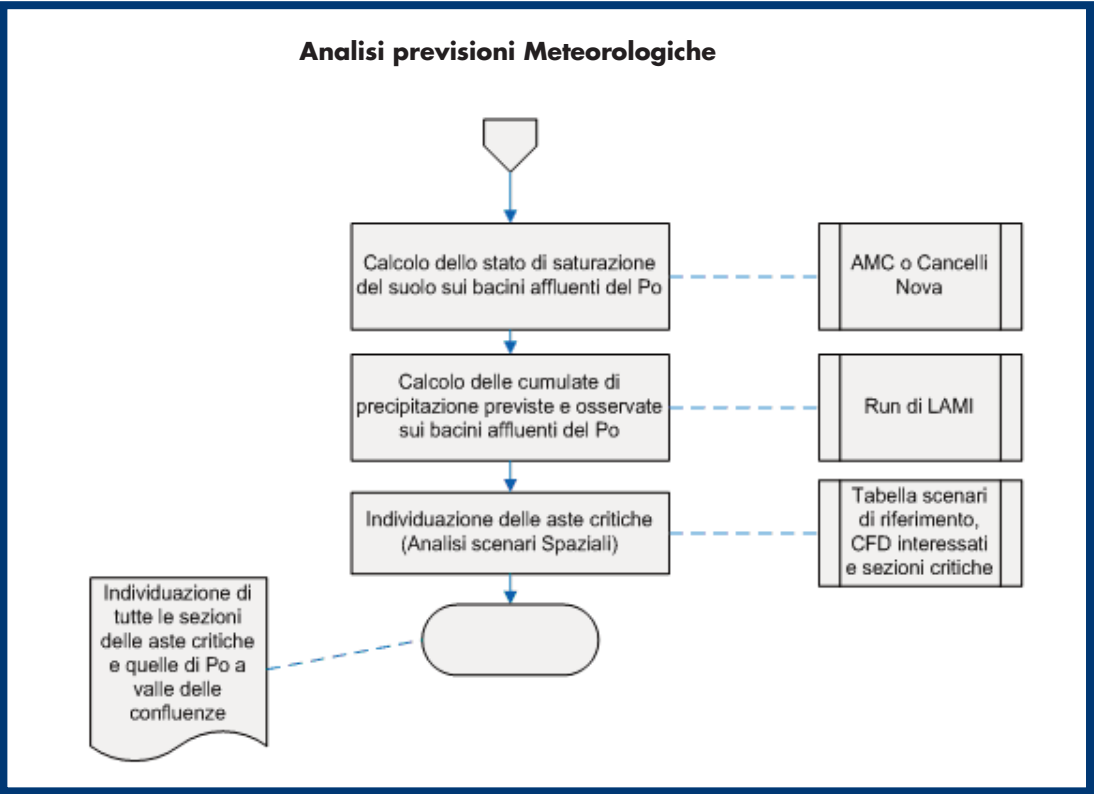


Figura 5. Diagramma di flusso delle analisi meteorologiche utili per l'individuazione degli scenari spaziali di evento e per la definizione dei tratti di asta potenzialmente critici.

3.1.1 Stato di saturazione del suolo dei bacini affluenti del Po

Occorre valutare in maniera speditiva, lo stato di saturazione dei suoli dei bacini in esame nei giorni precedenti al momento in cui viene condotta questa analisi. In via speditiva si può definire il grado di saturazione in funzione della precipitazione cumulata osservata nei giorni antecedenti al momento in cui viene fatto il controllo. Una metodologia robusta e di rapida implementazione è quella legata alla definizione delle condizioni di bagnamento antecedenti (Antecedent Moisture Conditions, AMC) sviluppata dal Soil Conservation Service e associata al metodo del Curve Number (CN), ideato per determinare il

deflusso superficiale che si genera in un bacino, e modificato e aggiornato diverse volte fino ad oggi (McCuen¹², 1982; Mishra and Singh¹³, 2003).

Il metodo propone tre livelli possibili di AMC:

AMC I: suolo secco;

AMC II: suolo mediamente saturo;

AMC III: suolo saturo.

Le condizioni AMC riferiscono in maniera sintetica lo stato del suolo del bacino da intendersi sia come umidità dello stato superficiale del terreno sia come grado di saturazione. Per una descrizione dettagliata della metodologia rimandiamo alla lettura del manuale Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology¹².

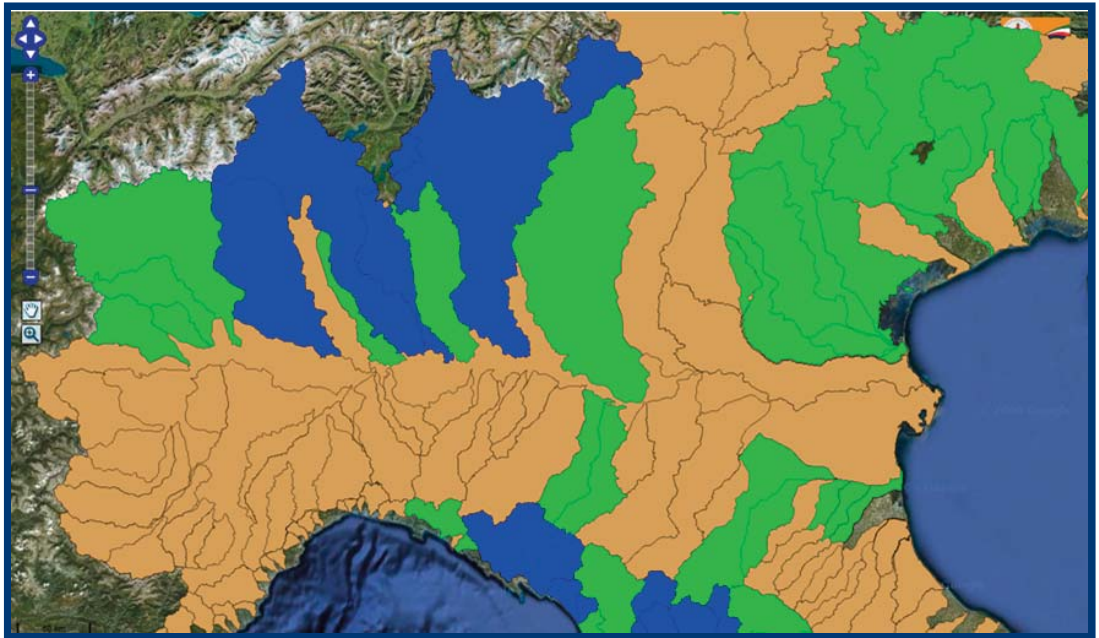


Figura 6. Esempio di visualizzazione dello stato di saturazione dei bacini padani il 3 maggio 2010, per l'evento del 5 maggio 2010, in termini di indice AMC basato sulle piogge dei 5 giorni antecedenti l'evento. In beige AMC I (suolo secco), in verde AMC II (suolo mediamente saturo), in blu AMC III (suolo saturo). (Dewetra Dipartimento della Protezione Civile).

¹² McCuen, R.: A Guide to Hydrologic Analysis using SCS Methods, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NY, 1982.

¹³ Mishra, S. and Singh, V.: Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology, Kluwer Academic Publisher, 2003.

Per implementare in maniera speditiva questi controlli da parte dell'operatore si suggerisce di realizzare mappe che riportino il valore di AMC per ciascuno dei bacini affluenti del Po. Un esempio di visualizzazione, ottenuto tramite il sistema Dewetra (Dipartimento della Protezione Civile), per l'evento del 5 Maggio 2010, è riportato in figura 6.

3.1.2 Calcolo delle cumulate di precipitazione, previste e osservate, sui bacini affluenti del Po

Il secondo controllo suggerito nel diagramma di figura 5 riguarda gli afflussi meteorici, osservati fino al momento del controllo e previsti da modello COSMO-I7 per i giorni futuri.

3.1.2.1 Precipitazione cumulata osservata - pluviometri interpolati

Per la valutazione speditiva dei bacini interessati da afflussi meteorici, si suggerisce di calcolare, o visualizzare come nell'esempio di figura 7, i valori di precipitazione osservata, mediata sui bacini, cumulata su varie durate (es. 12, 24, 36, 48 ore).

3.1.2.2 Precipitazione cumulata prevista - COSMO-I7

Per completare il quadro osservativo-previsionale occorre anche valutare la potenziale criticità delle precipitazioni previste. Anche in questo caso si suggerisce di calcolare, o visualizzare come nell'esempio di figura 8, i valori

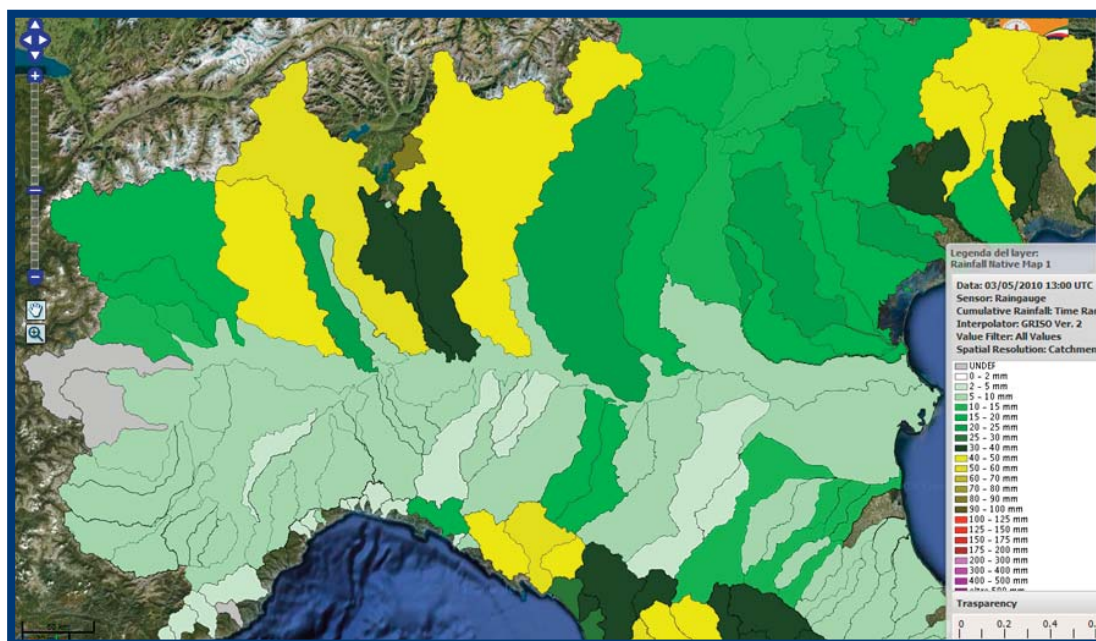


Figura 7. Precipitazione cumulata su 48 ore, aggregata per bacino, osservata dalla rete pluviometrica in telemisura dal 1 maggio 2010 alle 12:00 al 3 maggio alle 12:00. (Dewetra Dipartimento della Protezione Civile).

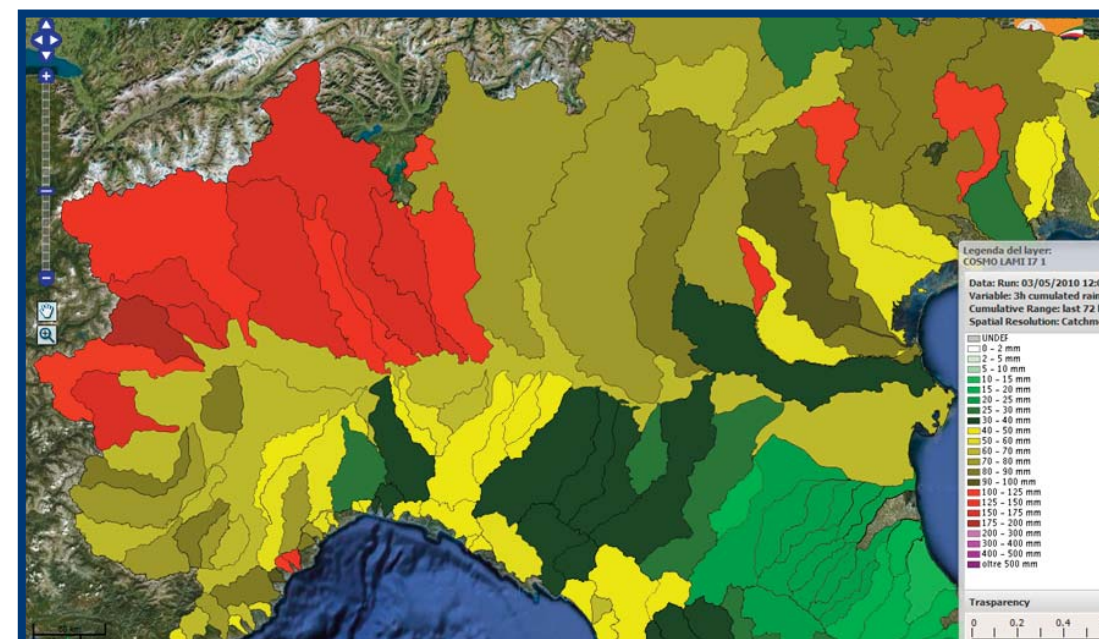


Figura 8. Precipitazione cumulata su 72 (ossia sull'intera corsa di COSMO-I7) e aggregata per bacino, prevista a partire dal 3 maggio 2010 alle 12:00 (Dewetra Dipartimento della Protezione Civile).

di precipitazione prevista, mediata sui bacini, cumulata su varie durate (es. 24, 36, 48, 72 ore). Un'ulteriore informazione complementare utile per discriminare rapidamente la pioggia dalla precipitazione nevosa è quella di valutare la quota media dello zero termico nei vari bacini.

3.1.3 Sintesi dell'evento e individuazione dello scenario di riferimento

Una volta eseguite le analisi delineate nei paragrafi precedenti, è possibile riassumerne le informazioni sintetizzandole in una tabella (es. tabella 1), in cui gli affluenti sono riportati in or-

dine da monte a valle, in modo da permettere di valutare in maniera speditiva i volumi di precipitazione critici e l'andamento temporale delle precipitazioni sull'intero bacino padano.

Bacino	Tempo di risposta caratteristico del bacino t_c [ore]	Saturazione suoli	Cumulata di precipitazione osservata nelle ultime "tc" ore	Cumulata di precipitazione prevista per le prossime "tc" ore	Quota media zero termico [m s.l.m.]
Dora Riparia					
Dora Baltea					
Sesia					
Tanaro					
.....					

Tabella 1. Esempio di tabella sintetica dell'evento pluviometrico previsto

Una valutazione sintetica come quella descritta (che può avvenire sia in termini automatici sia in base ad una valutazione speditiva di un operatore) permette di individuare i tratti di asta potenzialmente più critici.

Considerando poi le informazioni sulle piene storiche, sistematizzate nell'analisi di Mario Govi ¹⁴, si ha la possibilità di delineare quattro scenari principali, che definiscono i tipi di associazione più frequente di bacini contribuenti alla piena lungo il Po, ricadenti in uno o più territori regionali.

I quattro scenari principali, denominati in funzione della localizzazione dei bacini che maggiormente contribuiscono alla piena in asta principale del Po, sono:

tipo 1 - piemontese;

tipo 2 - lombardo;

tipo 3 - piemontese-lombardo;

tipo 4 - intero bacino padano.

In tabella 2 sono individuati, per ciascuno scenario, i bacini contribuenti distinti in principali e secondari.

L'operatore può, fatte tutte le considerazioni fin qui descritte, definire le porzioni di bacino del Po e i tratti di asta che presentano le maggiori criticità individuando anche le sezioni di riferimento per la modellistica previsionale FEWS sulle quale eseguire i successivi controlli.

Sulla base di questa analisi possono essere inoltre individuati i Centri Funzionali decentrati che presumibilmente risulteranno maggiormente coinvolti nella gestione dell'eventuale evento di piena.

3.2 Analisi delle previsioni idrologico-idrauliche deterministiche e delle previsioni basate sulle sole precipitazioni osservate.

In questo paragrafo vengono suggeriti alcuni controlli per l'analisi delle uscite delle catene model-

Scenario	Bacini principali	Bacini secondari
Piemontese	Sesia, Tanaro, Ticino	Dora Baltea, Orco, Stura di Lanzo, altri tributari arco alpino occidentale
Lombardo	Ticino, Adda, Lambro, Oglio	Dora Baltea, Sesia
Piemontese - Lombardo	Sesia, Tanaro, Adda, Oglio	Dora Baltea, Scrivia, Lambro, Olona
Intero bacino padano	Dora Riparia, Dora Baltea, Sesia, Tanaro, Ticino, Lambro, Adda, Oglio, Bacini Emiliani (Parma, Enza, Crostolo, Secchia e Panaro)	

Tabella 2. Scenari di evento e bacini contribuenti.

listiche ottenute a partire sia dalle precipitazioni previste da COSMO-I7 sia dalle osservazioni derivanti dalla rete pluviometrica in telemisura.

Nel paragrafo 2, dove vengono descritti i diagrammi di flusso delle operazioni e dei controlli per i diversi stati del sistema, si fa più volte riferimento all'analisi di due tipologie di output della catena previsionale, che sono analoghe da un punto di vista strettamente modellistico ma differiscono negli input e portano informazioni differenti.

Esse sono:

- L'Analisi Previsioni Idrologiche-Idrauliche Deterministiche su sezioni di riferimento delle aste individuate. In questo caso la previsione si ottiene dando in ingresso alla catena previsionale una storia di precipitazione formata da osservazioni pluviometriche fino al momento del run e da previsioni COSMO-I7 dal momento del run in avanti per un massimo di 72 ore in funzione della lunghezza della corsa modellistica;

- L'Analisi Previsioni Idrologiche-Idrauliche basate sul Run Precipitazioni Osservate su sezioni di riferimento delle aste individuate. In questo caso viene dato in ingresso alla catena previsionale una storia di precipitazione formata da sole osservazioni pluviometriche fino al momento del run mentre si considera precipitazione nulla dal momento del run in avanti. Questo secondo caso è particolarmente utile all'operatore perché, soprattutto nella fase di monitoraggio, permette di definire quali livelli saranno raggiunti con ragionevole certezza a causa delle precipitazioni che già si sono osservate sul bacino.

L'analisi procede, per entrambe le catene, secondo i passi riportati nel diagramma di flusso di Figura 9.

In sostanza viene richiesto all'operatore di rilevare per le sezioni ritenute critiche, definite nelle analisi precedenti e dal confronto con i bollettini emessi dai Centri Funzionali, alcune

¹⁴ M. Govi e O. Turitto, Distribuzione spazio-temporale degli eventi estremi nel bacino padano: analisi storica, Atti dei Convegni Lincei n°129, Accademia nazionale dei Lincei, Roma, 1996, Raccolta in I. Ferrari, M. Pellegrini (ed.) Un Po di Carte, Diabasis, 2007.

semplici grandezze idrologiche e idrauliche che permettono di caratterizzare lo stato del sistema sia in previsione, sia per quanto riguarda le condizioni minime attese nelle ore successive al controllo.

Viene proposta l'analisi di quattro grandezze caratterizzanti l'idrogramma in uscita dalla catena modellistica e utili per una valutazione in tempo reale della situazione.

Esse sono:

- livello massimo previsto;
- tempo all'evento, ossia il tempo al quale è previsto il livello massimo;
- tempo al primo superamento di livelli di soglia definiti in procedura;
- persistenza del livello al di sopra di livelli di soglia definiti in procedura. Questa informazione è particolarmente utile nei tratti soggetti al fenomeno dei fontanazzi o a problemi di stabilità arginale.

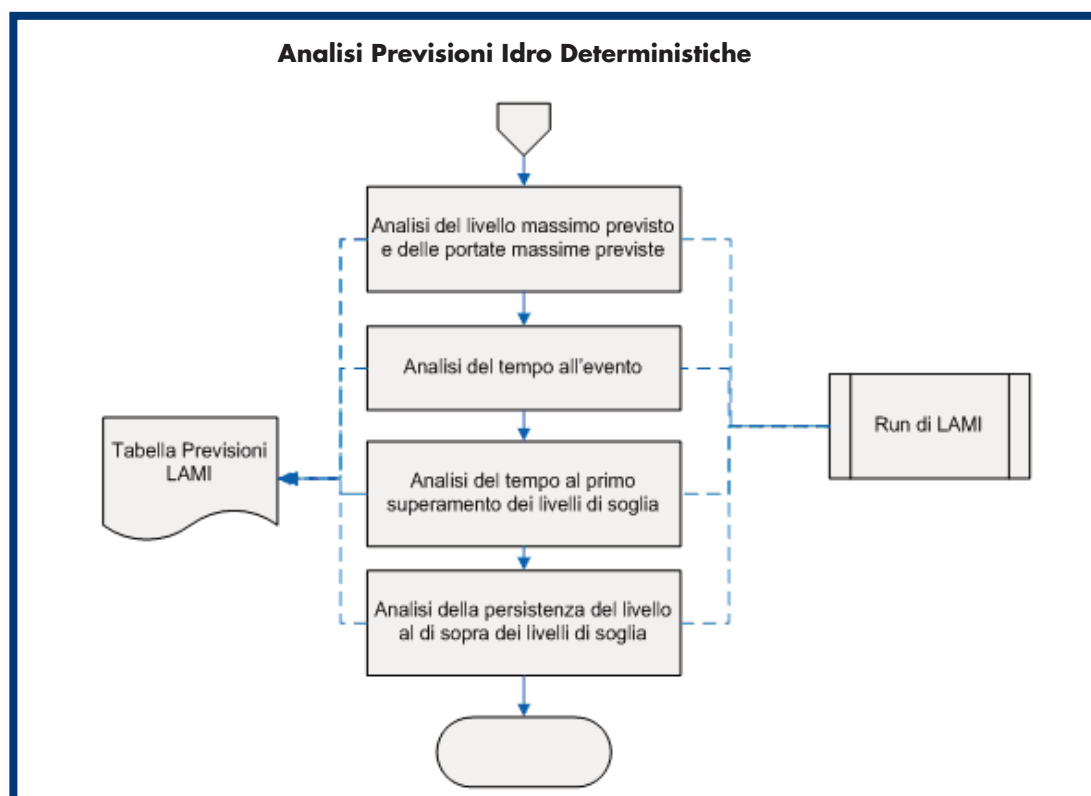


Figura 9. Diagramma di flusso delle analisi delle previsioni idrologiche deterministiche. In figura è riportato lo schema per l'analisi dei run che utilizzano in input le previsioni deterministiche COSMO-I7. Gli stessi passi valgono anche per l'analisi delle uscite previsionali ottenute utilizzando in ingresso la sola precipitazione osservata (Run su Osservato).

Il confronto tra i due tipi di uscita modellistica presentati in questo paragrafo permette anche di valutare in maniera speditiva il tempo di risposta caratteristico della sezione in esame (t_c) per l'evento in atto e/o previsto. Operativamente t_c è il tempo in cui il run sulla precipitazione osservata inizia a essere differente rispetto a quello sulle previsioni COSMO-I7. Il contributo all'idrogramma della precipitazione osservata diminuisce oltre il tempo t_c fino a ridursi a zero. Le previsioni di livelli e portate

oltre un tempo t_c dal momento del run della catena sono dominate dalle precipitazioni previste, con una conseguente maggiore incertezza.

In figura figura 10 è riportato un esempio per la sezione di Piacenza, ove il t_c può essere stimato in circa 24-36 ore per il caso considerato. I dati ricavati dalle analisi degli idrogrammi possono essere riportati sinteticamente in una tabella analoga alla tabella 3.

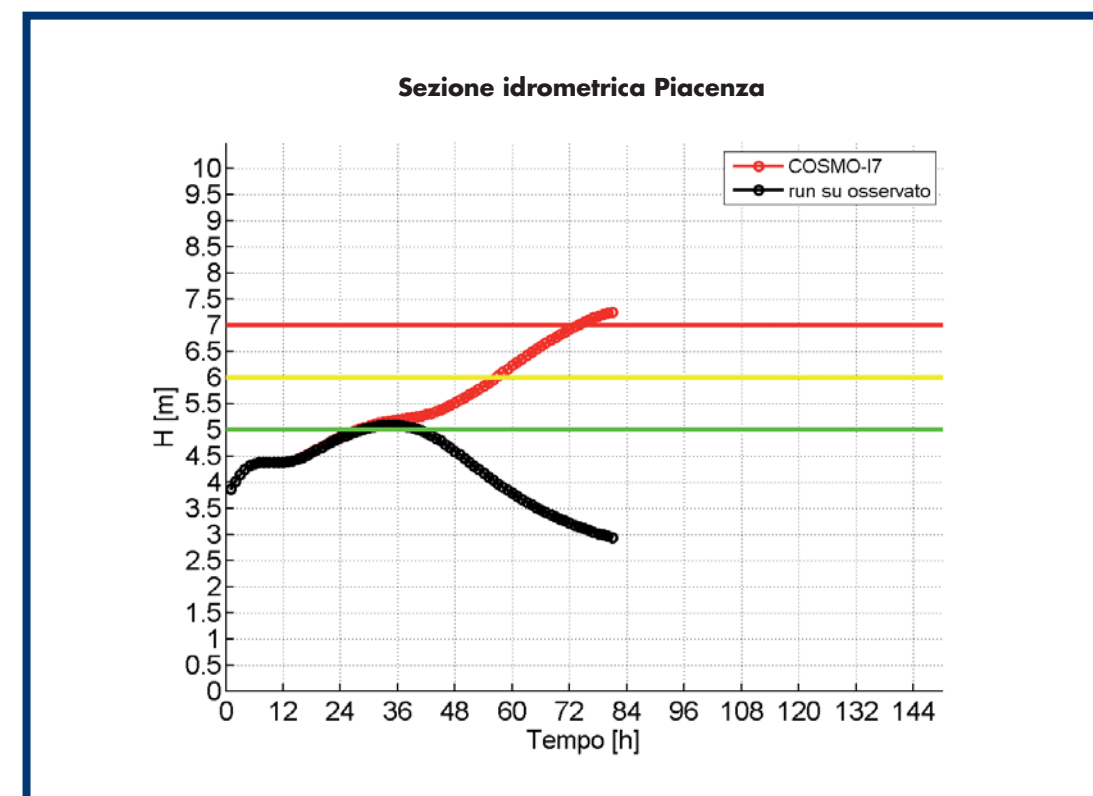


Figura 10. Esempio di confronto grafico tra l'uscita della catena previsionale basata sulla precipitazione prevista da COSMO-I7 (linea rossa) e sulla sola precipitazione osservata (linea nera).

Ora e data riferimento (1)	Tabella sintetica previsioni idrauliche asta principale di Po							
Ora e data run COSMO-I7 (2)	Input COSMO-I7 e Osservato pluviometrico							
Sezione	Livelli critici	Tempo al superamento	Persist.	Colmo livello [m] (3)	Colmo portata	Tempo al colmo	Colmo su oss.	Colmo su prev.
Ponte Becca tc=**ore A=**km ²	h1=3.50m							
	h2=4.50m							
	h3=5.50m							
Piacenza tc=**ore A=**km ²	h1=5.00m							
	h2=6.00m							
	h3=7.00m							
Casalmaggiore tc=**ore A=**km ²	h1=3.61m							
	h2=4.61m							
	h3=5.61m							
Boretto tc=**ore A=**km ²	h1=4.50m							
	h2=5.50m							
	h3=6.50m							
Borgoforte tc=**ore A=**km ²	h1=5.00m							
	h2=6.00m							
	h3=7.00m							
Pontelagoscuro tc=**ore A=**km ²	h1=0.00m							
	h2=1.00m							
	h3=2.00m							

Tabella 3. Esempio di report sintetico degli output operativi ottenuti da COSMO-I7 e Run su Osservato. La tabella contiene informazioni statiche come i dati significativi delle sezioni di riferimento per l'asta principale del Po e informazioni dinamiche come: (1) l'ora di riferimento per i dati riportati in tabelle; (2) l'ora di inizializzazione della corsa di COSMO-I7 utilizzata per le previsioni; (3) i valori massimi, in termini di livello idrometrico e portata, predetti dal sistema; (4) la scadenza temporale in ore a partire dall'ora di riferimento alla quale è atteso il colmo e come ora e data; (5) il fatto che il massimo sia previsto sull'idrogramma dominato dalle precipitazioni osservate (ossia se $t_{massimo} < t_c$) o se il massimo è previsto sull'idrogramma dominato principalmente dalle precipitazioni previste da COSMO-I7 (ossia se $t_{massimo} > t_c$). Sono altresì riportati i tempi al primo superamento dei livelli critici (di esempio) espressi a partire dall'ora di riferimento e la persistenza al di sopra di questi valori.

3.3 Analisi delle Previsioni idrologico-idrauliche Probabilistiche

In questo paragrafo viene riportato un possibile dettaglio della fase denominata Analisi Previsioni Idrologiche-Idrauliche Probabilistiche su sezioni di riferimento delle aste individuate presente nel ciclo di controlli suggerito per lo stato Previsione. Questa analisi considera l'insieme di possibili uscite del sistema ottenute utilizzando come ingresso alle catene previsionali le previsioni generate dal modello di ensemble COSMO-LEPS per gli scenari futuri di precipitazione. Occorre ricordare che le uscite dell'ensemble COSMO-LEPS in termini di precipitazione hanno un orizzonte temporale (120 ore) più

esteso rispetto a quelle della corsa deterministica COSMO-I7 (72 ore). Il motivo fondamentale è che le differenze fra i vari membri dell'ensemble diventano significative nel rappresentare l'evoluzione degli scenari di precipitazione futuri dopo circa 24-48 ore dall'inizio del run. Per questo motivo le previsioni idrologiche-idrauliche fatte a partire dalle precipitazioni COSMO-LEPS sono da utilizzarsi principalmente per definire le tendenze a più lungo termine (5-10 giorni) dei livelli del Po. L'utilizzo delle previsioni basate su COSMO-LEPS permette quindi di prevedere gli stati del Po, con una incertezza quantificabile, su orizzonti temporali dell'ordine della decina di giorni per quanto

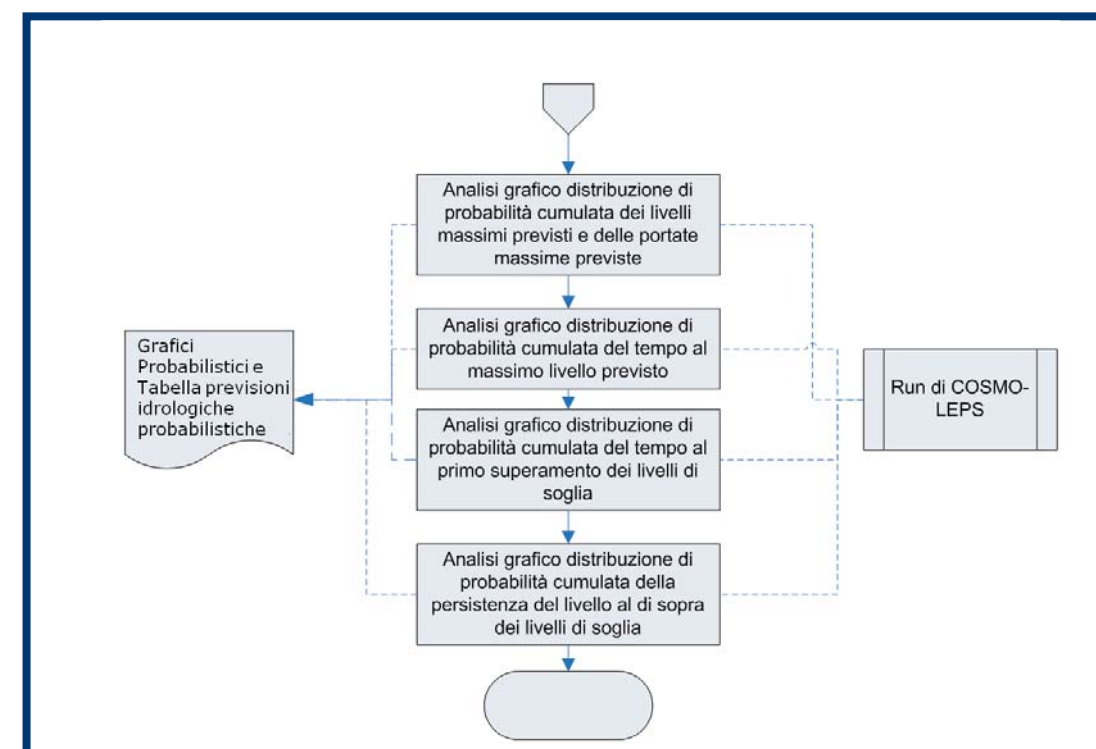


Figura 11. Diagramma di flusso delle Analisi delle Previsioni Idrologiche Probabilistiche. In figura è riportato lo schema per l'analisi dei run che utilizzano in input le previsioni probabilistiche COSMO-LEPS.

riguarda i tratti di asta principale. Queste previsioni, potenzialmente molto importanti ai fini previsionali, potranno però essere rese pienamente operative solamente a seguito di un periodo di test su un numero significativo di eventi, che porti gli utenti e i decisori a definire procedure e soglie (in probabilità) sulle quali basare il loro utilizzo.

L'analisi procede secondo i passi riportati nel diagramma di flusso di figura 11.

Poiché il sistema FEWS permette di avere a disposizione le previsioni di tre catene modellistiche, quanto esposto nel seguito può essere applicato sia agli output di una singola catena modellistica, sia

agli output di un super-ensemble ottenuto dall'unione delle previsioni generate dalle tre catene. In via generale l'utilizzo a catena singola permette all'operatore di maturare una sensibilità operativa sul funzionamento delle catene che riveste un ruolo chiave nel miglioramento del sistema. L'utilizzo del super ensemble invece permette di aggiungere all'incertezza predittiva delle singole catene il contributo dell'incertezza della modellistica idrologico-idraulica (rappresentata dalle differenze fra gli output delle tre catene).

Le analisi degli output modellistici oltre che sulla base dell'analisi dell'ensemble di idrogrammi previsti sono definite anche in termini di:

- distribuzione di probabilità cumulata delle portate al picco e/o dei livelli massimi;
- distribuzione di probabilità cumulata del tempo al massimo livello previsto;
- distribuzione di probabilità cumulata del tempo al primo superamento di un livello di soglia;
- distribuzione di probabilità cumulata della persistenza del livello al di sopra di ciascuno dei tre livelli di soglia.

In figura 12 è riportato un esempio di idrogramma di piena generato da una delle catene modellistiche previsionali implementato all'interno del sistema FEWS operativo presso il Centro Funzionale della Regione Emilia-Romagna - ARPA-SIMC. Sul grafico sono riportate le previsioni di ensemble generate utilizzando il sistema COSMO-LEPS per la previsione delle precipitazioni. Sono riportati i valori di portata corrispondenti ai livelli di attenzione (verde), pre-allarme (giallo) e allarme (rosso)¹⁵.

Una rappresentazione analoga a quella presente in figura 12 può ovviamente essere fatta anche in termini di livelli idrometrici.

Per sintetizzare le informazioni presenti nel diagramma di figura 12 sono proposte nei successivi paragrafi alcune tipologie di visualizzazione che permettono di valutare la pericolosità degli scenari di evento previsti.

3.3.1 Distribuzione di probabilità della portata al colmo e dei livelli massimi

Questa tipologia di grafici permette di definire la probabilità che nel periodo di previsione coperto dal run modellistico si abbia il superamento di soglie idrometriche o di portata critiche.

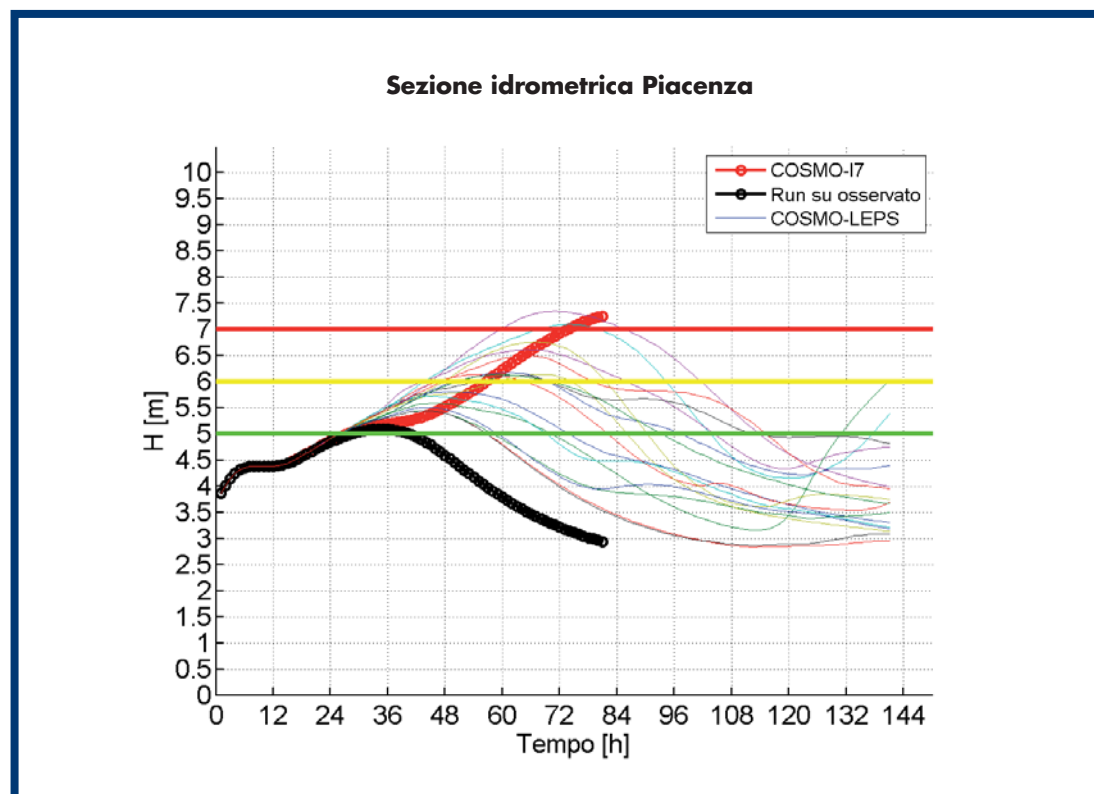


Figura 12. Esempio di idrogramma di piena, in termini di livelli, generato da una delle catene modellistiche previsionali implementato all'interno del sistema FEWS operativo presso il Centro Funzionale della Regione Emilia Romagna - ARPA-SIMC. Sul grafico sono riportate le previsioni di ensemble generate utilizzando il sistema COSMO-LEPS per la previsione delle precipitazioni. Sono riportati i valori di portata corrispondenti ai livelli di attenzione (verde), pre-allarme (giallo) e allarme (rosso). Per aiutare l'operatore a discriminare la parte di idrogramma dovuta principalmente alla precipitazione osservata rispetto alla parte in cui è predominante il contributo della precipitazione prevista dalla modellistica meteorologica, sono state riportate anche le corse ottenute utilizzando il modello COSMO-I7 e la sola precipitazione osservata fino al momento attuale (run su osservato). In questo caso si può approssimativamente definire il tempo t_c in circa 24-36 ore, ossia il tempo al quale il run sull'osservato e il run COSMO-I7 (e COSMO-LEPS) iniziano a divergere.

¹⁵ AVVERTENZA: i livelli di attenzione, pre-allarme e allarme sono definiti in maniera del tutto indicativa e vanno intesi come valori di riferimento per ogni sezione. La determinazione di una o più soglie di riferimento per le corse probabilistiche dovrà essere definita in fase di implementazione delle procedure di previsione e a seguito di un numero di eventi che possa fornire agli utenti e all'UCC una stima della validità di queste catene previsionali.

In figura 13 è riportato un esempio relativo alla previsione di ensemble mostrata in figura 12. La forma della curva di distribuzione di probabilità cumulata, che viene approssimata per punti, può dare inoltre ulteriori informazioni. A titolo di esempio si riportano alcune considerazioni qualitative che legano la forma della curva di distribuzione di probabilità cumulata dei valori previsti con la variabilità attesa del fenomeno previsto (v. figura 14):

- un diagramma di probabilità cumulata verticale è indice di una bassa variabilità prevista per i picchi di portata;
- un diagramma di probabilità cumulata che tende ad essere orizzontale indica invece una elevata variabilità e quindi una maggiore incertezza previsionale;
- un diagramma di probabilità cumulata composto da due tratti separati da una

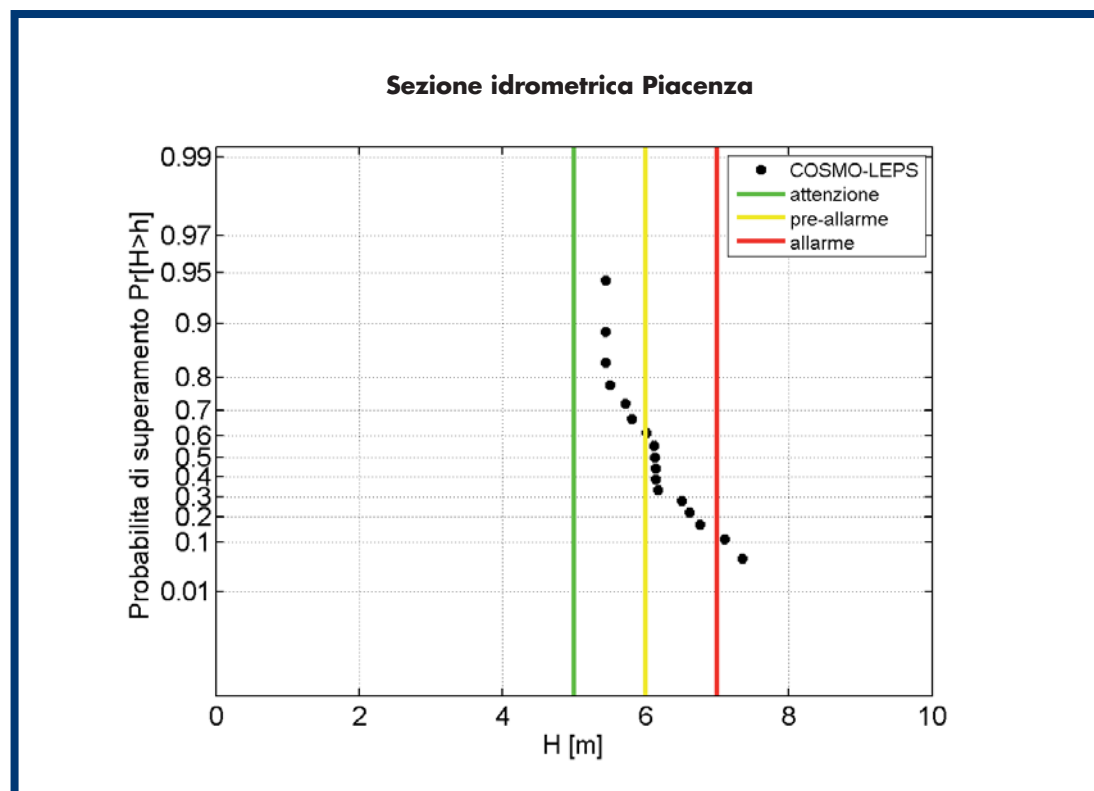


Figura 13. Diagramma che riporta, sulle ordinate, la probabilità di superamento del valore di altezza idrometrica H presente in ascisse. I punti neri rappresentano la distribuzione di probabilità dei livelli massimi di altezza idrometrica riportati in figura 12. Per effettuare valutazioni circa la pericolosità dell'evento previsto sono riportati i valori di portata corrispondenti ai livelli di attenzione (verde), pre-allarme (giallo) e allarme (rosso)¹⁴. Per determinare la probabilità di superamento di un livello critico occorre leggere il valore di probabilità nel punto in cui la linea di livello incrocia la curva della distribuzione dei picchi di portata. In questo caso si ha una probabilità del 60% di superare la portata corrispondente al livello di pre-allarme e una probabilità del 10% di superare una portata corrispondente a quella di allarme.

discontinuità è indicativo di una previsione di ensemble che è sostanzialmente bimodale e che quindi dà origine a due scenari di evento potenzialmente diversi;

- un diagramma di probabilità cumulata composto da due tratti rettilinei ma con pendenze diverse è indicativo di due tipologie di scenari diversi. Il tratto a pendenza maggiore

è indice di scenari sostanzialmente simili tra loro, mentre quello a pendenza minore contiene gli scenari che differiscono in maniera sostanziale dai precedenti e tra di loro. Immagini corrispondenti a queste valutazioni qualitative vengono riportate nella figura seguente (figura 14).

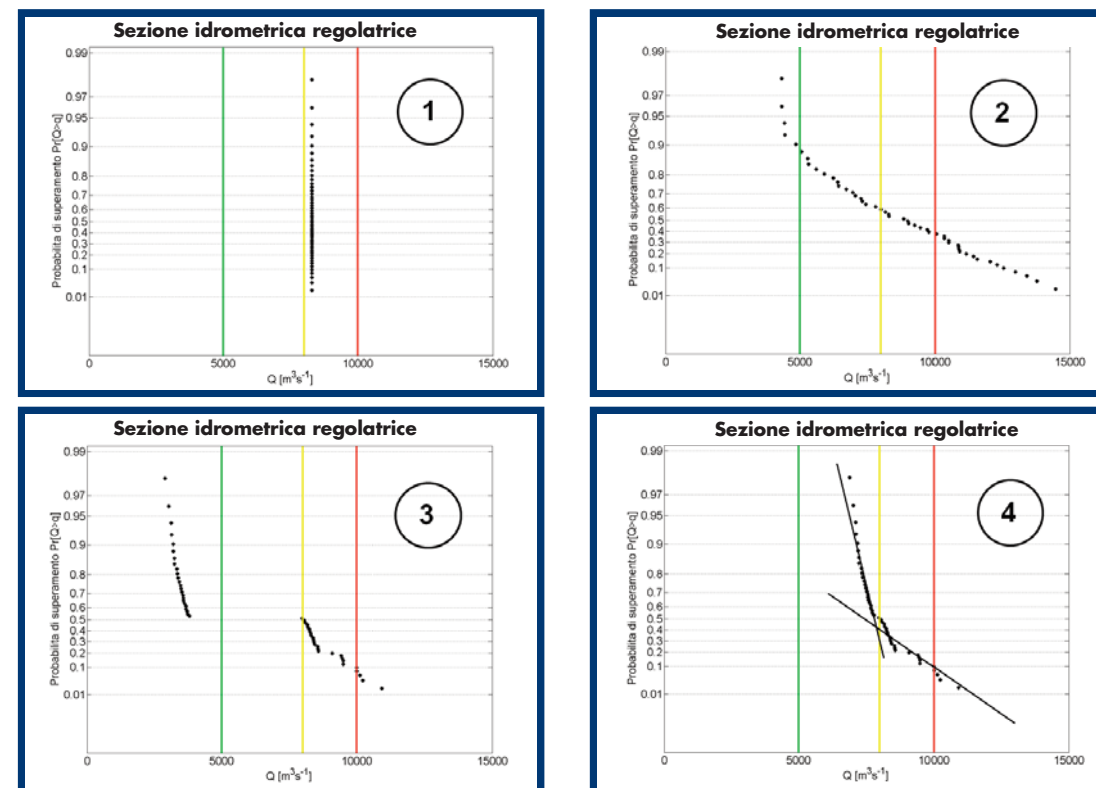


Figura 14. Esempio di possibili configurazioni della curva che rappresenta la probabilità di superamento di una assegnata portata Q per una assegnata sezione idrometrica di riferimento (analogamente può essere definito per i valori di altezza idrometrica come riportato negli esempi precedenti). 1) Varianza nulla, tutti i picchi previsti hanno lo stesso valore; un grafico di questo tipo potrebbe verificarsi nel caso in cui il picco si verifichi a causa della precipitazione osservata e non di quella prevista dall'ensemble. 2) Variabilità (e incertezza elevate) in questi casi possono sussistere probabilità significative di superamento di valori di portata (o di livelli) critici. 3) Grafico associato a una previsione di ensemble di tipo bimodale. 4) Curva composta da due tratti approssimabili come rettilinei ma con pendenze diverse; in questo caso siamo di fronte a due tipologie di scenari diversi. Il tratto a pendenza maggiore è indice di scenari sostanzialmente simili tra loro, mentre quello a pendenza minore contiene scenari che differiscono in maniera sostanziale dai precedenti e tra di loro.

3.3.2 Distribuzione di probabilità del tempo all'evento

Questa seconda tipologia di visualizzazione è complementare alla precedente e permette di definire il "tempo all'evento" ovvero la distribuzione di probabilità dei tempi al massimo livello di piena relativi alla previsione di ensemble. Anche in questo caso valgono le considerazioni del paragrafo precedente e schematizzate in figura 14. In figura 15 è riportata la probabilità di superamento dei tempi all'evento (individuati come i tempi ai quali si verificano i picchi delle previsioni

idrometriche) relativi alla previsione riportata in figura 12. Si può notare come l'evento sia previsto verificarsi con probabilità superiore al 90% tra le 40 e le 80 ore rispetto all'ora di inizializzazione della corsa ($t=0$), mentre resta una probabilità del 10% che tale tempo sia superiore alle 80 ore rispetto al tempo iniziale ($t=0$).

Per fornire una misura sintetica delle scale di tempo dell'evento previsto è possibile definire altre variabili derivanti dalla previsione probabilistica di insieme della catena guidata dal modello COSMO-LEPS. Fra queste riportiamo nel seguito

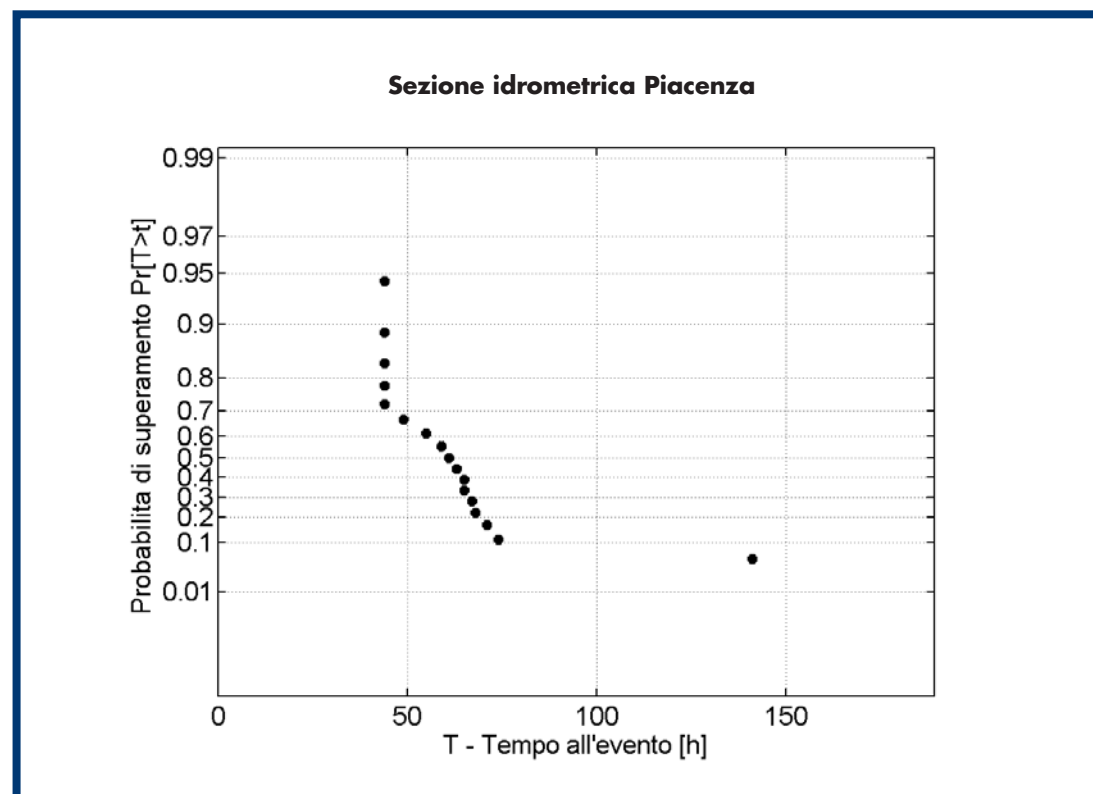


Figura 15. Distribuzione di probabilità cumulata del tempo all'evento. In ascisse è riportato il tempo in ore rispetto all'ora attuale mentre in ordinate è riportata la probabilità che il tempo all'evento sia superiore a quello individuato sull'asse x. Ad esempio la probabilità di avere un tempo all'evento superiore alle 60 ore è di circa il 50%.

il tempo al superamento di uno dei livelli di riferimento eventualmente definiti dalla procedure e il tempo di permanenza al di sopra di un livello critico per la sezione in esame.

3.3.3 Distribuzione di probabilità del tempo al superamento di un livello critico

Nell'ambito delle informazioni previsionali da utilizzare nella pratica operativa può essere utile avere una stima del tempo al primo superamento di un determinato livello. In figura 16 è riportato

l'esempio relativo alla distribuzione di probabilità del tempo al primo superamento del livello di pre-allarme relativo alla previsione di ensemble di figura 12. In questo caso si può stimare un tempo atteso (quantile 50%) del superamento del livello di pre-allarme di poco inferiore alle 50 ore.

3.3.4 Distribuzione di probabilità della persistenza al di sopra dei livelli critici

Il livello di piena al di sopra di un determinato livello può innescare in alcuni tratti arginati il fenomeno dei fontanazzi e altre problematiche

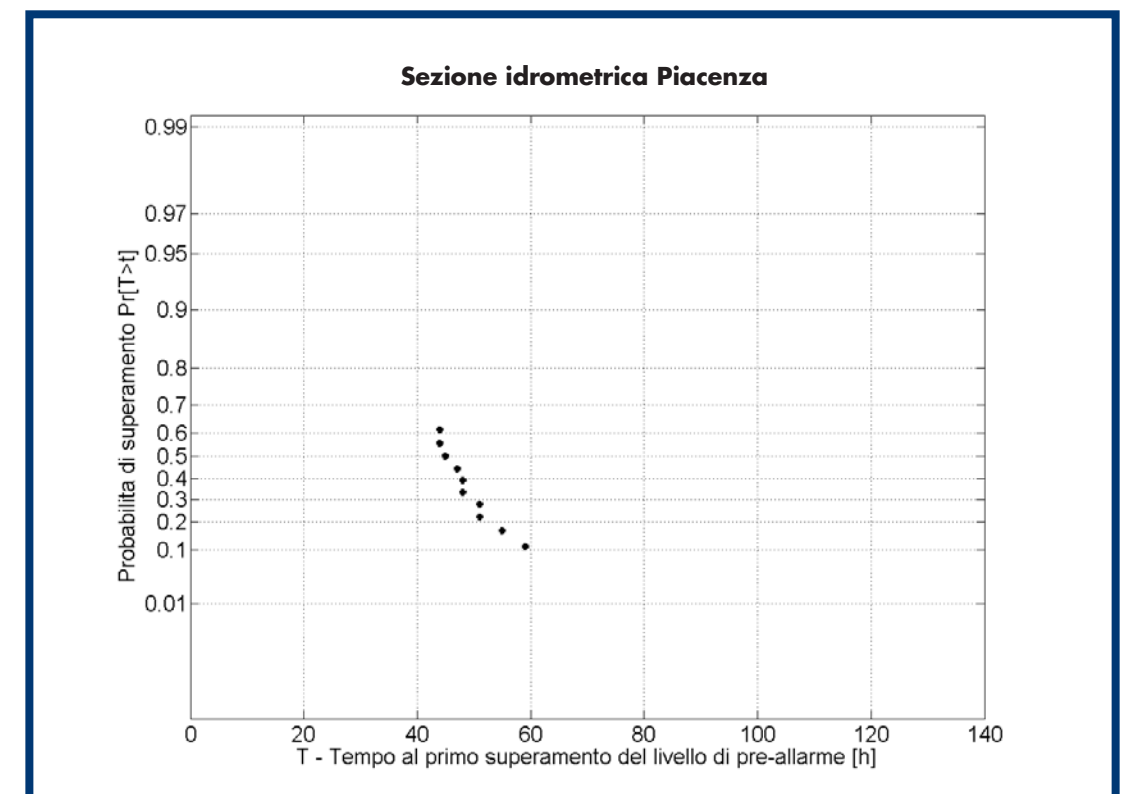


Figura 16. Distribuzione di probabilità cumulata del tempo al primo superamento del livello di pre-allarme. In ascisse è riportato il tempo in ore rispetto all'ora attuale mentre in ordinate è riportata la probabilità che il tempo al primo superamento del livello di pre-allarme sia superiore a quello individuato sull'asse x. Ad esempio la probabilità di avere un tempo al primo superamento del livello di pre-allarme maggiore di 50 ore è di circa il 20%.

idrauliche legate alla stabilità arginale. Per questo motivo un'ulteriore variabile da utilizzare in fase previsionale è rappresentata dalla distribuzione di probabilità della persistenza del livello idrometrico al di sopra di un valore critico (ad esempio il livello di pre-allarme). Nell'esempio riportato per la definizione dei diagrammi di probabilità cumulata sono stati utilizzati i livelli di riferimento riportati in figura 12.

3.3.5 Tabella riassuntiva della previsione probabilistica
Le informazioni derivanti da corse modellistiche effettuate a partire da previsioni idrologico-idrauliche probabilistiche possono essere riassunte in tabelle sul modello di quella presentata in tabella 4. Nell'esempio sono riportate le informazioni sintetiche relative alle variabili probabilistiche descritte nei paragrafi precedenti. Essendo le previsioni espresse in probabilità, la scelta di rappresentare il minimo e massimo della varia-

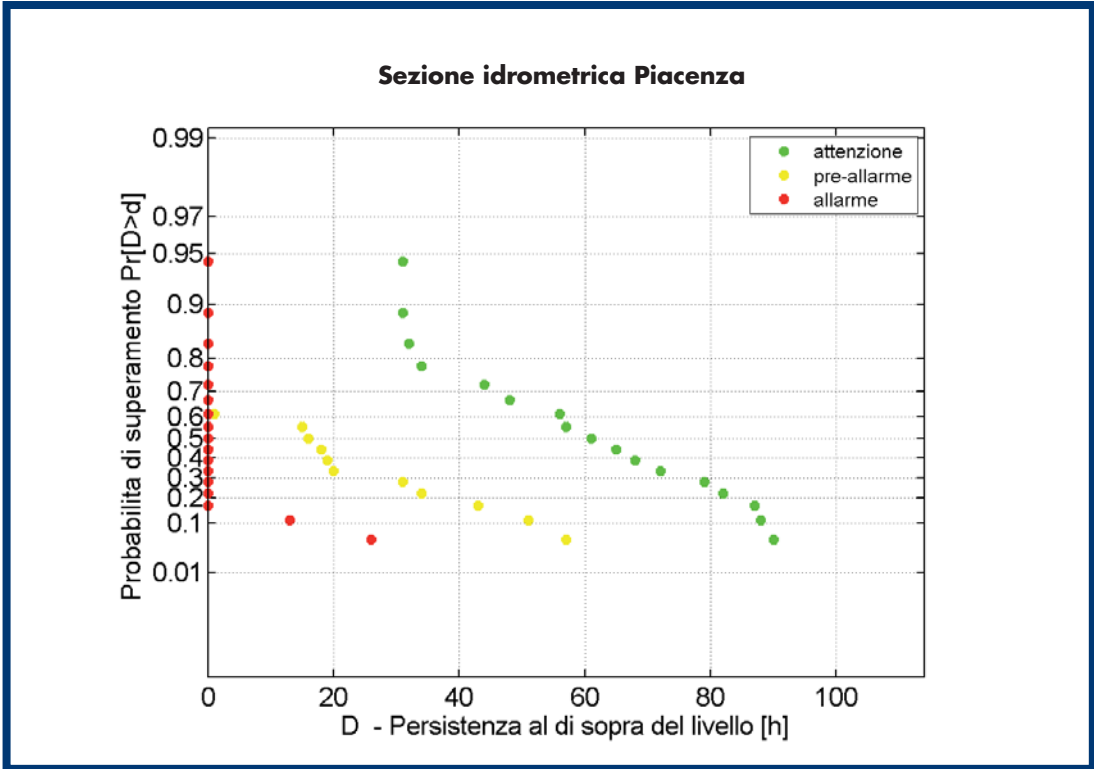


Figura 17. Distribuzione di probabilità cumulata della persistenza del livello idrometrico al di sopra dei tre livelli critici individuati al paragrafo Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. In verde è riportata la curva relativa al livello di attenzione, in giallo quella relativa al livello di pre-allarme e in rosso quella relativa al livello di allarme. Ad esempio si ha una probabilità del 50% di avere una persistenza superiore alle 60 ore del livello idrometrico al di sopra del livello di attenzione.

Ora e data riferimento (1)	Tabella sintetica previsioni idrauliche asta principale di Po				
Ora e data run COSMO-LEPS (2)	Input COSMO-LEPS				
Sezione	Livelli critici	Colmo livello min e max [m] (3)	Tempo al colmo min e max [h] (4)	Tempo al superamento livelli critici (5) Probabilità e Scadenze temporali	Persistenza al di sopra dei livelli critici (6) Probabilità e Durata
Ponte Becca tc=**ore A=**km²	h1=3.50m				
	h2=4.50m				
	h3=5.50m				
Piacenza tc=**ore A=**km²	h1=5.00m				
	h2=6.00m				
	h3=7.00m				
Casalmaggiore tc=**ore A=**km²	h1=3.61m				
	h2=4.61m				
	h3=5.61m				
Boretto tc=**ore A=**km²	h1=4.50m				
	h2=5.50m				
	h3=6.50m				
Borgoforte tc=**ore A=**km²	h1=5.00m				
	h2=6.00m				
	h3=7.00m				
Pontelagoscuro tc=**ore A=**km²	h1=0.00m				
	h2=1.00m				
	h3=2.00m				

Tabella 4. Esempio di report sintetico degli output operativi ottenuti dall'analisi delle previsioni probabilistiche. La tabella contiene informazioni statiche come i dati significativi delle sezioni di riferimento per l'asta principale del Po e informazioni dinamiche come: (1) l'ora di riferimento per i dati riportati in tabelle; (2) l'ora di inizializzazione della corsa di COSMO-LEPS utilizzata per le previsioni; (3) i valori di colmo massimo e minimo (in termini di altezza idrometrica e portata) predetti dal sistema; (4) l'intervallo temporale in ore a partire dall'ora di riferimento per il quale sono attesi i valori di colmo; (5) le probabilità di superamento dei livelli critici e il relativo intervallo di tempo al quale sono attesi; (6) le probabilità di persistenza al di sopra dei livelli critici e le relative durate.

bile in esame può essere sostituita con i valori degli estremi di una fascia di confidenza con significatività assegnata (es. 90%).

3.4 Confronto fra livello misurato e run su osservato - la stima dinamica del bias

Questo confronto è previsto quando il sistema si trova nello stato Monitoraggio. In questo caso il possibile superamento di una soglia critica assume una criticità superiore rispetto a quella che poteva avere quando il sistema si trovava nello stato Previsione o Vigilanza.

Se le catene modellistiche sono calibrate correttamente l'uscita modellistica ottenuta a partire dalla precipitazione osservata dovrebbe rappresentare una buona approssimazione dell'idrogramma che si darà.

Per fornire all'operatore la sensibilità sull'accordo tra il livello previsto tramite la corsa sulle precipitazioni osservate e il livello misurato agli idrometri, si suggerisce di monitorare costantemente, prima e durante l'evento, le differenze tra questi due valori in modo da definire dinamicamente e in maniera speditiva l'incertezza dovuta alla modellazione idrologica e idraulica.

Per monitorare questa incertezza è possibile:

- riportare la differenza in funzione del tempo (v. es figura 19);
- riportare il livello del run sull'osservato in funzione del livello misurato all'idrometro (v. es figura 20).

In questo modo è possibile valutare in maniera speditiva l'incertezza legata alla modellistica idrologica e idraulica e si può utilizzare questa informazione in associazione con le previsioni di livello.

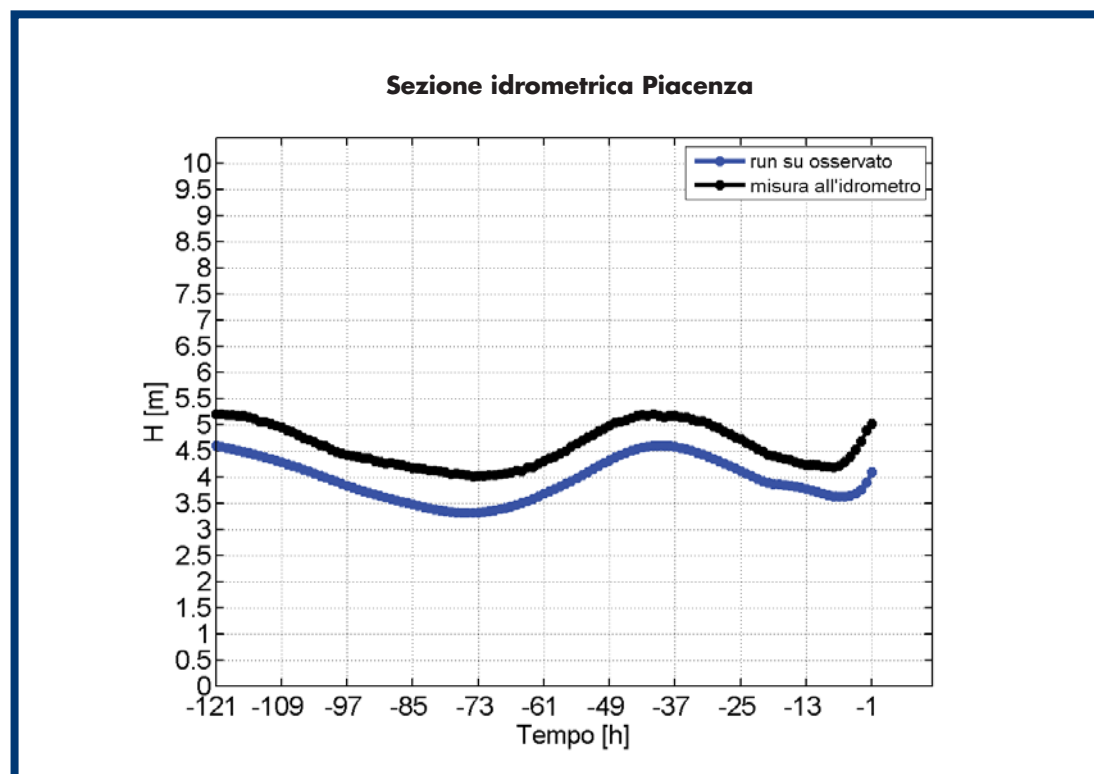


Figura 18. Confronto tra l'idrogramma misurato all'idrometro (in nero) e modellato dalla catena previsionale a partire dalle precipitazioni osservate. L'asse dei tempi ha lo zero posto all'ora attuale della previsione per questo motivo i valori, essendo tutti riferiti ad osservazioni, sono negativi.

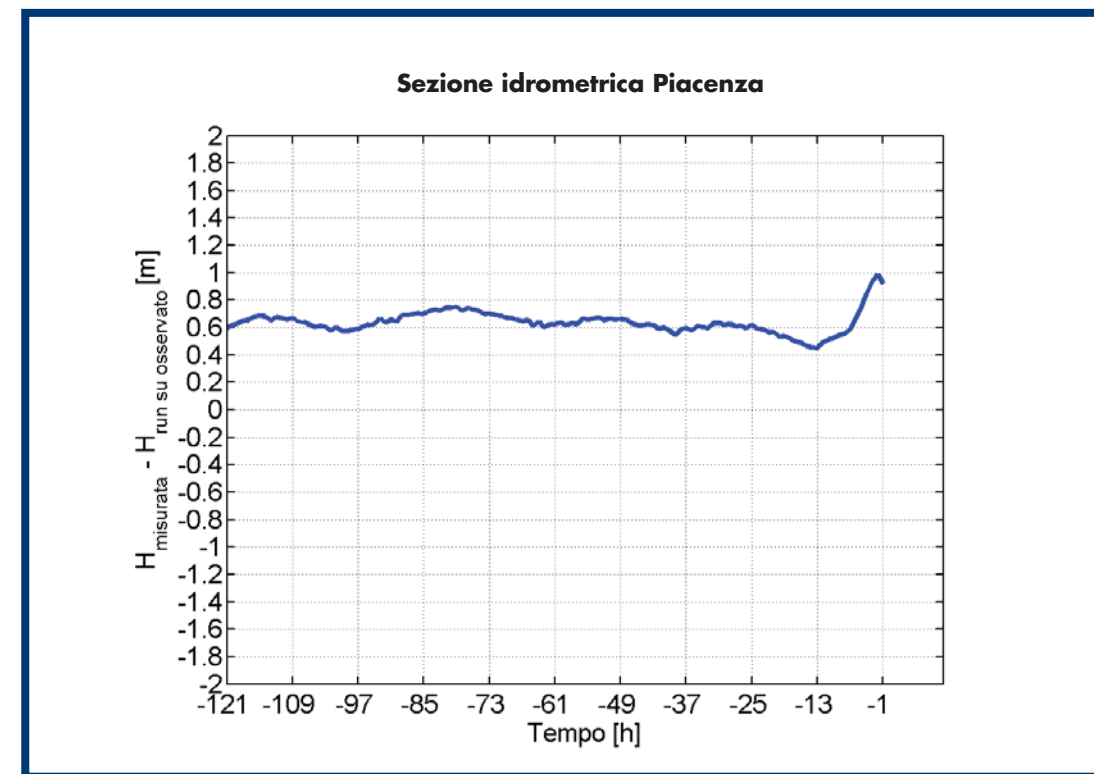


Figura 19. Differenza, in funzione del tempo, tra altezza idrometrica misurata e modellata dalla catena previsionale a partire dalle precipitazioni osservate. Il riferimento è ai due idrogrammi di figura 18. L'asse dei tempi ha lo zero posto all'ora attuale della previsione per questo motivo i valori, essendo tutti riferiti ad osservazioni, sono negativi.

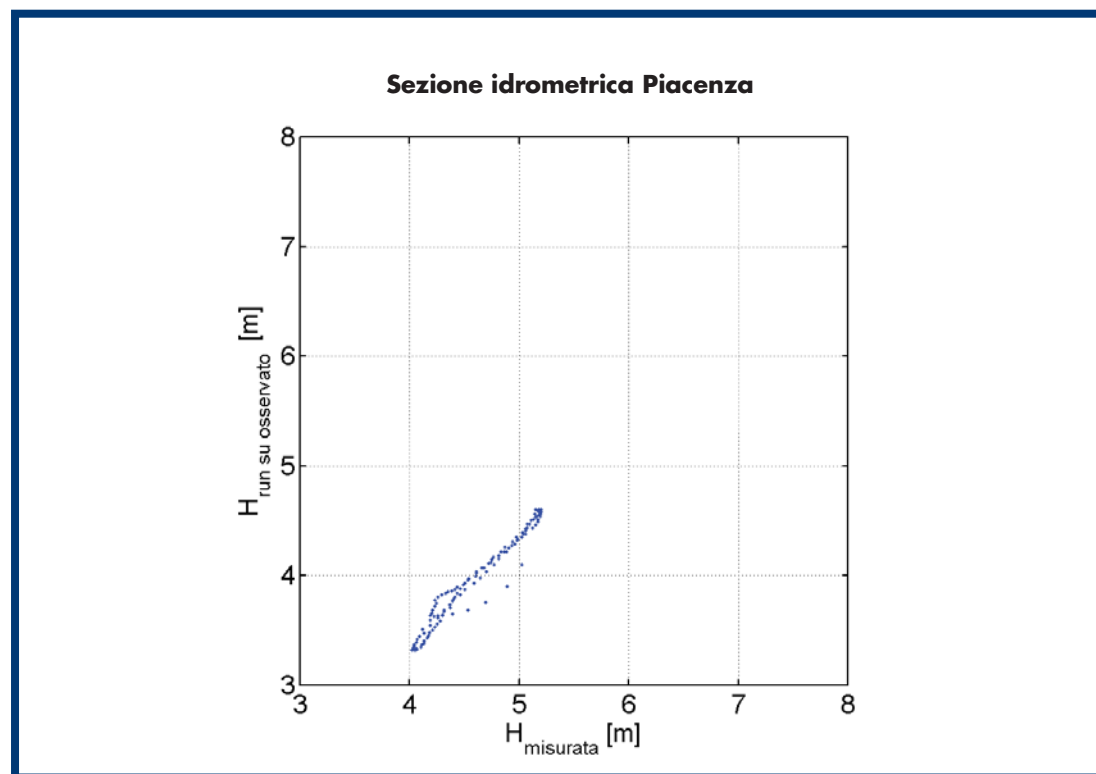


Figura 20. Scatter plot dell'altezza idrometrica misurata verso l'altezza idrometrica modellata dalla catena previsionale partire dalle precipitazioni osservate. Il riferimento è ai due idrogrammi di figura 18.



Piacenza, Maggio 2010