



### **D4.3 Assimilazione dei risultati dell’HFTA nei modelli idrologici e validazione degli output con le osservazioni di portata**

### **D4.3 Assimilation of HFTA outputs into hydrological models and validation of gathered model outputs against measured discharge**

Revisione v1.0

Work Package	WP4
Task	4.3
Data	31/08/2020
Partner principale	POLIMI - DICA
Versione	1.0
Autore	Greta Cazzaniga (POLIMI - DICA)
Revisore	Roberto Nebuloni (CNR - IEIT) Carlo De Michele (POLIMI - DICA)
Riassunto	<p>Il documento descrive il processo d’integrazione dei campi di precipitazione, ricostruiti mediante l’algoritmo tomografico sviluppato nel Deliverable 3.2 [5], all’interno di modelli idrologici. I relativi output sono confrontati con quelli ottenuti dagli input tradizionali (pluviometri e disdrometri) e con le misure di portata.</p> <p>Le aree su cui sono applicati i modelli sono il bacino del Mallero e il bacino del Lambro.</p>
Parole chiave	Algoritmo tomografico, modello idrologico, idrogrammi di portata, pluviometri, CML.



INDICE

<b>Introduzione .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Modelli idrologici.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Bacino del Mallero .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Bacino del Lambro .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Integrazione degli input pluviometrici nei modelli idrologici .....</b>	<b>8</b>
<b>3. Confronto tra le portate simulate.....</b>	<b>9</b>
<b>Conclusioni .....</b>	<b>16</b>
<b>Riferimenti .....</b>	<b>16</b>



## GLOSSARIO

**ARPA** Agenzia Regionale Protezione Ambientale

**CNR** Consiglio Nazionale delle Ricerche

**CML** ponte radio a microonde commerciale (dall'inglese: Commercial Microwave Link)

**DEIB** Dipartimento di Elettronica Informazione e Bioingegneria (afferisce al Politecnico di Milano)

**DICA** Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (afferisce al Politecnico di Milano)

**DIS** Disdrometro

**HFTA** Algoritmo tomografico per link a frequenze eterogenee (dall'inglese: Heterogeneous-Frequency Tomographic Algorithm) – nei precedenti Deliverable si è utilizzato il termine RRA

**HRU** Unità di risposta idrologica (dall'inglese: Hydrological Response Unit)

**IEIT** Istituto di Elettronica e di Ingegneria dell'Informazione e delle Telecomunicazioni (afferisce al Consiglio Nazionale delle Ricerche)

**MOPRAM** MONitoraggio delle Precipitazioni mediante l'utilizzo di reti RAdio a Microonde

**POLIMI** Politecnico di Milano

**RG** Pluviometro (dall'inglese: Rain Gauge)

**RRA** Algoritmo di ricostruzione della precipitazione (dall'inglese: Rain Reconstruction Algorithm) – termine utilizzato nei precedenti Deliverable per indicare l'HFTA

**WP** WorkPackage



## Introduzione

Questo documento si configura come la fase finale del progetto MOPRAM (vedi Figura 1) e prevede l'applicazione idrologica dei campi di pioggia, ricostruiti tramite l'HFTA a partire dai dati dei CML raccolti durante le campagne di misurazione. Per verificare il potenziale operativo dei CML, ai fini della previsione delle portate al colmo di piena, le stime del campo di precipitazione con l'HFTA sono assimilate all'interno di due modelli idrologici. L'output del modello idrologico (ovvero l'idrogramma di piena) è confrontato (1) con l'output ottenuto utilizzando le osservazioni pluviometriche dei tradizionali sensori quali pluviometri e disdrometri (di cui è stata effettuata un'analisi di qualità in [7]) e (2) con le misurazioni della portata fluviale osservata dagli idrometri in corrispondenza delle sezioni di chiusura dei bacini.

Le aree oggetto di studio, su cui sono stati applicati i modelli idrologici, sono il bacino montano del Mallerio e la porzione settentrionale del bacino del Lambro. Entrambe le aree sono di grande interesse idrogeologico per la Lombardia: la prima perché soggetta a colate detritiche e frane mentre la seconda perché è spesso interessata da esondazioni che si ripercuotono con ingenti danni su aree densamente popolate conseguentemente a intensi eventi di precipitazione, soprattutto nei mesi primaverili e autunnali. I bacini presentano tuttavia caratteristiche opposte, sia da un punto di vista idrogeologico sia per quanto riguarda la distribuzione sul territorio della rete di sensori utilizzati per il monitoraggio delle precipitazioni. Per questi motivi sono stati implementati due modelli idrologici differenti.

Il documento è suddiviso in quattro sezioni. La Sezione 1 presenta i due casi di studio e illustra i modelli idrologici applicati ad essi. La Sezione 2 invece contiene la descrizione dei metodi utilizzati per integrare i dati pluviometrici nei modelli idrologici. Nella Sezione 3 sono mostrati e commentati i risultati degli output idrologici. Infine, nell'ultima sezione, sono presentate le conclusioni.

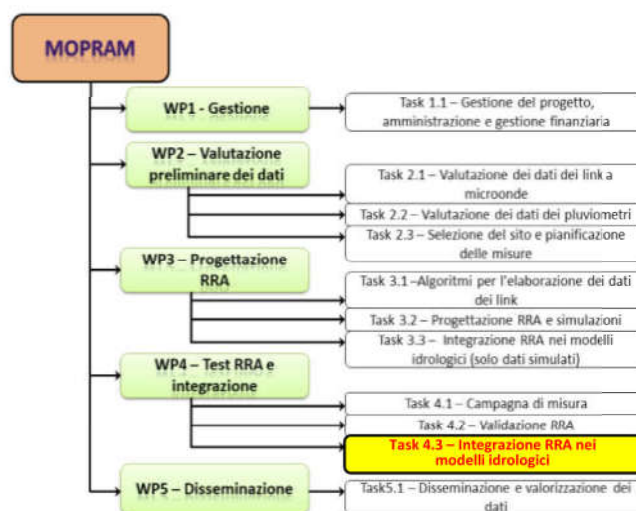


Figura 1 - Schema delle attività previste all'interno del progetto MOPRAM. In giallo la fase finale del progetto, descritta all'interno del presente documento.

## 1. Modelli idrologici

### 1.1 Bacino del Mallero

La prima area di studio presentata è quella del bacino alpino del Mallero, situato in Lombardia, in provincia di Sondrio e già descritto nei precedenti Deliverable ([4] e [6]). Il bacino ha una superficie di 320 km<sup>2</sup> (vedi Figura 2) e la sezione di chiusura si trova in corrispondenza dell'idrometro situato a Sondrio, a monte della confluenza del Mallero con l'Adda. Il bacino è caratterizzato da un regime torrentizio: in primavera ed estate le portate sono dominate prima dalla fusione nivale e successivamente dall'ablazione dei ghiacciai mentre in inverno si osserva esclusivamente un deflusso di base costante, di circa 2.5 m<sup>3</sup>/s. La Valmalenco è inoltre un'area particolarmente sfruttata dal punto di vista dell'energia idroelettrica: i numerosi impianti presenti influiscono sul naturale regime idrologico del bacino. Dopo varie analisi e l'implementazione di due diversi modelli (vedi [4] e [6]) si è optato per un modello idrologico ad eventi e semi-distribuito. Un modello ad eventi simula la risposta diretta del bacino agli eventi di precipitazione liquida, evitando di modellare il deflusso di base e il deflusso generato dalla fusione nivale e glaciale. Ciò permette di confrontare facilmente la risposta idrologica del bacino a vari input di precipitazione, nel nostro caso stimati dai sensori tradizionali o dai CML.

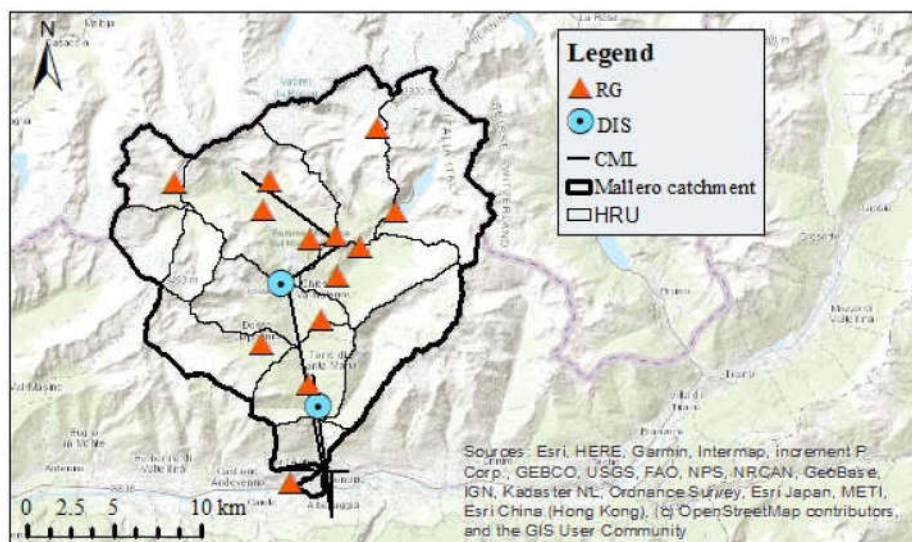


Figura 2 - Mappa del bacino imbrifero del fiume Mallero e posizione dei sensori utilizzati per il monitoraggio della precipitazione.



## I sensori per il monitoraggio della precipitazione

La Figura 2 mostra l'insieme dei sensori di precipitazione utilizzati nel presente studio. Mentre gli strumenti tradizionali (pluviometri e disdrometri) sono disposti piuttosto uniformemente sull'intera area, si nota che i CML sono installati solamente lungo l'asta del fiume Mallero, seguendo quindi il percorso della valle. Le aree esterne alla valle, ad altitudini maggiori, sono quindi completamente prive di link a microonde.

## Descrizione del modello idrologico

Il bacino del Mallero è stato suddiviso in 12 sottobacini o unità di risposta idrologiche (*Hydrological Response Units, HRU*) supposte meteorologicamente e idrogeologicamente uniformi, secondo la classificazione di Carrara [1] (vedi Figura 2). In ogni HRU, il ruscellamento superficiale è calcolato mediante il metodo SCS-CN [2] sottraendo l'infiltrazione al volume di pioggia caduto. I valori medi di CNII, nei sottobacini, sono calcolati a partire dalla mappa di De Michele et al. [3]. Le soglie di AMC utilizzate sono invece quelle proposte dal Soil Conservation Service, relative alla stagione di crescita vegetativa: la soglia AMC I/AMC II è pari a 35.6 mm mentre l'AMC II/AMC III è 53.4 mm. Infine, la propagazione del deflusso superficiale è simulata ipotizzando che ogni sottobacino  $i$  si comporti come un invaso lineare e quindi seguendo il modello di Nash:

$$Q_i = \int_0^t r(\tau) \cdot A_i \cdot \frac{1}{k_i} \cdot e^{\left(\frac{\tau-t}{k_i}\right)} d\tau$$

in cui  $r$  è il tasso di ruscellamento superficiale,  $A_i$  è l'area della  $i$ -esima HRU e  $k_i$  il tempo di lag, calcolato mediante l'approccio geomorfologico [9]. La portata superficiale alla sezione di chiusura è calcolata ipotizzando che i sottobacini interagiscano tra di loro in serie o in parallelo. Per questo caso studio non è stata effettuata nessuna calibrazione del modello ma tutti i parametri sono stati imposti utilizzando formule analitiche.

## 1.2 Bacino del Lambro

Il fiume Lambro, tributario di sinistra del Po, ha origine a Magreglio (1.300 m s.l.m.) e, dopo un percorso di circa 130 km, sfocia nel Po a Senna Lodigiana. La superficie complessiva del bacino del Lambro è pari a circa 1980 km<sup>2</sup>. Di questo solo il 5% è territorio montano. Il bacino può essere sostanzialmente suddiviso in quattro parti:

- *Lago*: a monte del lago di Pusiano, con numerosi piccoli corsi d'acqua a regime torrentizio, con pendenze moderatamente elevate. Al termine di questa parte il fiume diminuisce la sua pendenza sino a confluire nel lago di Pusiano. Le portate provenienti dal bacino di monte sono laminate dal lago stesso che, a causa della sua non trascurabile superficie, esercita una forte azione moderatrice sui fenomeni di piena;
- *Lambro naturale*: tra il lago di Pusiano e il comune di Lesmo, con versanti meno acclivi rispetto alla parte Lago e un territorio maggiormente urbanizzato.
- *Lambro urbano*: tra il comune di Monza e la periferia sud-est di Milano, fino alla confluenza del Deviatore Redefossi;
- *Lambro irriguo*: tra la confluenza con il Deviatore Redefossi e il fiume Po.

Lo studio qui presentato descrive la modellazione idrologica delle prime due parti (Lago e Lambro naturale), mediamente urbanizzate. Il caso studio è mostrato in Figura 3: ha una superficie di 260

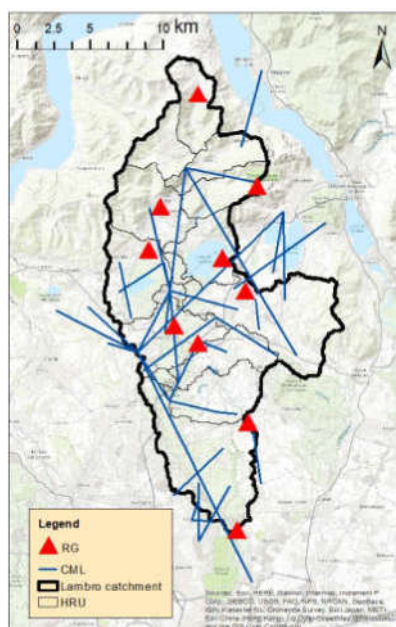


Figura 3 - Mappa del bacino imbrifero del fiume Lambro (chiuso a Lesmo) e posizione dei sensori utilizzati per il monitoraggio della precipitazione.



km<sup>2</sup> e la sezione di chiusura si trova in corrispondenza dell'idrometro situato sul fiume Lambro a Lesmo (Peregallo), a monte della città di Monza. L'altitudine media del bacino è 443 m s.l.m..

### I sensori per il monitoraggio della precipitazione

La Figura 3 mostra l'insieme dei sensori di precipitazione utilizzati per il bacino del Lambro. I CML di cui sono disponibili le misure di attenuazione del segnale sono 37 (contro i 12 dell'area Mallero) e sono disposti uniformemente sull'intera area del bacino, ad esclusione di una piccola area a monte che si trova a quote sono più elevate. I pluviometri disponibili sono invece 10.

### Descrizione del modello idrologico

Per il bacino del fiume Lambro si è scelto di implementare un modello in continuo e, come nel caso della Valmalenco, semi-distribuito. L'area di studio è stata suddivisa in 15 HRU (vedi Figura 3) secondo la suddivisione in bacini di Carrara [1]. Il modello simula la portata  $Q_{tot}$  in corrispondenza della sezione di chiusura a Lesmo, attraverso bilanci di massa che coinvolgono i principali processi del ciclo idrologico (evapotraspirazione, infiltrazione, deflusso superficiale e deflusso sotterraneo). In particolare, i valori di portata che il modello è in grado di predire sono la somma di due contributi principali:

$$Q_{tot} = Q_{sub} + Q_{sup}$$

in cui  $Q_{sub}$  è il contributo sotterraneo della falda mentre  $Q_{sup}$  quello del ruscellamento superficiale. Il modello valuta la porzione di precipitazione che ruscella e quella che invece filtra nel terreno, dando origine al flusso sotterraneo, tramite il metodo SCS-CN adattato per simulazioni continue nel tempo. Il valore di umidità del suolo è dunque aggiornato in ogni istante temporale attraverso il bilancio idrologico che misura gli ingressi (precipitazione) e le uscite (ruscellamento, evapotraspirazione e percolazione) all'interno di ogni HRU. La propagazione del deflusso superficiale è modellata come descritto per il caso del Mallero, ovvero schematizzando le HRU come invasi lineare in serie o in parallelo, seguendo il modello di Nash. I parametri del modello, che richiedono la calibrazione sono:

- $z$ , profondità del suolo che concorre alla formazione del deflusso sotterraneo;
- $K_{SAT}$ , permeabilità a saturazione del suolo.

La calibrazione è stata effettuata confrontando le portate simulate con quelle misurate dall'idrometro alla sezione di chiusura di Lesmo. L'indice statistico ottimizzato è quello di Nash-Sutcliffe. Il periodo di calibrazione è l'intero anno 2019 mentre il set di dati utilizzati per la validazione è quello relativo ai primi 6 mesi del 2020.





## 2. Integrazione degli input pluviometrici nei modelli idrologici

Come riportato nelle precedenti Sezioni, per entrambi i modelli idrologici, i dati di precipitazione in input sono valori uniformi per ogni HRU. Di seguito riportiamo quindi i quattro metodi utilizzati per l'interpolazione dei dati di pioggia, in funzione dei diversi tipi di sensori utilizzati (convenzionali e non).

### 11. Sensori tradizionali (pluviometri e disdrometri)

I dati di precipitazione osservati dai sensori tradizionali sono stati interpolati utilizzando il metodo dell'inverso della distanza (Inverse Distance Weighting, IDW) in cui il peso attribuito alle misure del sensore  $i$ -esimo è:

$$w_i = \frac{1}{d_i^2}$$

dove  $d_i$  è la distanza tra la posizione del sensore e il baricentro del sottobacino.

### 12. Mappe ricostruite tramite HFTA

Come secondo input dei modelli idrologici sono state utilizzate le mappe 2D del campo di precipitazione ricostruito tramite l'algoritmo HFTA a partire dai dati di attenuazione del segnale a microonde dei CML. Il dato in input, interpolato in ogni HRU, è il valore medio della pioggia ricostruita sull'HRU.

### 13. Pluviometri equivalenti

Per la terza soluzione sono stati utilizzati i dati di precipitazione ricostruiti mediante l'HFTA solo all'interno di celle che intersecano il percorso dei link. Queste celle sono quelle in cui la funzione d'errore dell'algoritmo è minimizzata e dunque il dato in esse ricostruito è più preciso rispetto alle celle che non intersecano il link in alcun punto. I dati utilizzati sono trattati come delle misure puntuali (pluviometri equivalenti) e per questo è stato utilizzato, ai fini dell'interpolazione nel baricentro delle HRU, il metodo IDW, ugualmente al caso 11.

### 14. Pluviometri e pluviometri equivalenti

La quarta soluzione integra le osservazioni dei sensori tradizionali con i dati ricostruiti in corrispondenza pluviometri equivalenti, utilizzando anche in questo caso il metodo IDW per l'interpolazione.



### 3. Confronto tra le portate simulate

In questa sezione riportiamo i confronti tra le portate simulate dal modello idrologico, utilizzando gli input pluviometrici sopra descritti, e le portate misurate dagli idrometri alle sezioni di chiusura. Le performance dei modelli, in funzione degli input, sono valutate tramite due indici statistici: l'errore relativo sul picco di portata (*RE*) e l'indice di Nash-Sutcliffe (*NSE*).

#### Bacino del Mallero

Il bacino del Mallero è un'area prevalentemente montuosa e per questo, come già riportato nella Sezione 1, i CML sono pochi e posizionati lungo l'asta fluviale che percorre la valle. Il problema dell'ottimizzazione del campo di precipitazione risulta quindi mal condizionato poiché ci sono poche misure distribuite eterogeneamente sull'area di studio. Questa scarsità di vincoli fa sì che, dal punto di vista dell'algoritmo di ottimizzazione, esistano infiniti "ottimi degeneri", ovvero soluzioni che minimizzano la funzione di costo. Quindi, poiché l'HFTA si basa su un algoritmo intrinsecamente stocastico (un'implementazione di algoritmo genetico [8]), ad ogni sua esecuzione viene trovata un ottimo potenzialmente diverso. Le soluzioni possono essere utilizzate in modo equivalente come input di precipitazione nel modello idrologico. Poiché una variabilità nell'input genera una variabilità anche nell'output si è scelto di ricostruire 100 campi di precipitazione da utilizzare come input del modello e valutare quindi la variabilità dell'output che ne consegue.

Per questo caso studio sono analizzati 3 eventi. Per ognuno riportiamo di seguito (1) il confronto tra gli input di precipitazione (I1-I4) e (2) il confronto tra le portate simulate e quelle osservate dall'idrometro, in corrispondenza della sezione di chiusura a Sondrio. Per gli input da I2 a I4 sono state assimilate nel modello tutte le 100 simulazioni dell'algoritmo tomografico da cui si ottengono 100 idrogrammi di piena.

Il primo evento, dal 6 al 7 agosto 2019, è caratterizzato da un'intensità di pioggia moderata, che non supera i 15 mm/h. Il ruscellamento superficiale genera un picco di portata pari a 32.5 m<sup>3</sup>/s. Dalle misure dei pluviometri, in Figura 4.a, si osserva che la perturbazione ha interessato l'intero bacino in modo uniforme, con valori massimi osservati alle quote più elevate, dove i CML non sono presenti. Nella stessa Figura è mostrato uno dei 100 campi di precipitazione cumulato sull'evento, ricostruito mediante l'HFTA. L'algoritmo non è in grado di riprodurre l'evento di precipitazione stratiforme e ricostruisce invece una soluzione con piccole celle eterogeneamente disposte sull'area. In particolare, si nota una cella caratterizzata da un picco massimo di pioggia molto elevato che ricopre le HRU 7 e 12. Ciò è conseguenza del fatto che la disposizione e il numero dei link non fornisce un numero sufficiente di vincoli per l'ottimizzazione del campo di precipitazione. Dal grafico a barre di Figura 4.b risulta evidente che l'input I2 tende a sottostimare la precipitazione cumulata interpolata nelle HRU rispetto agli altri input. Fanno eccezione le cumulate delle HRU 7 e 12, proprio a causa della presenza della cella di pioggia imposta dall'algoritmo che però non ha significato fisico.



#### D4.3 Assimilazione dei risultati dell'HFTA nei modelli idrologici e validazione degli output con le osservazioni di portata

La sottostima dell'input I2 si riflette sul relativo idrogramma di piena simulato con il modello idrologico (vedi Figura 4.c). Tuttavia, anche con i restanti input gli idrogrammi mostrano picchi di portata piuttosto bassi, rispetto all'idrogramma osservato. L'indice RE è minore di -20% per tutte le quattro soluzioni (vedi Figura 7 - Andamento degli indici di performance per gli idrogrammi di piena simulati, in funzione dei 4 input di precipitazione. Figura 7). La soluzione migliore è quella ottenuta con l'input I1, ovvero utilizzando le misure dei sensori tradizionali (NSE = 0.77 e RE = -27%). Anche gli input I3 e I4, generano idrogrammi con performance accettabili ( $> 0.7$ ), per quanto riguarda l'indice NSE. Questo significa che, almeno per questo specifico caso, i dati ricostruiti nei pluviometri equivalenti, possono essere utilizzati in sostituzione ai sensori tradizionali.

Il secondo evento, dal 18 al 22 agosto 2019, è di tipo convettivo e con picchi di intensità di pioggia piuttosto elevati, che raggiungono anche i 120 mm/h. L'evento è suddiviso in cinque episodi che generano 2 picchi di portata. Confrontando il campo di precipitazione ricostruito e le misure cumulate di pluviometri e disdrometri (Figura 5.a) si osserva una forte divergenza, soprattutto nei sottobacini dove l'assenza dei link non permette di vincolare la soluzione dell'algoritmo di ottimizzazione HFTA. Al contrario, nell'HRU 4 la divergenza tra la precipitazione ricostruita e la misura puntuale potrebbe essere dovuta al fatto che l'algoritmo tomografico riesce a fornire una migliore descrizione del campo di precipitazione, poiché i link sono distribuiti uniformemente sul sottobacino, rispetto alla misura puntuale del pluviometro. Nelle HRU 5, 10 e 11, attraversate dai CML, si osserva invece un buon accordo tra osservazioni puntuali e precipitazione ricostruita. Ciò è maggiormente evidente in Figura 5.b. Osservando i confronti sulle portate fluviali (in Figura 5.c) si può notare che il secondo picco è fortemente sovrastimato in tutti i 4 casi. Per questo si è deciso di concentrare l'analisi sul primo picco di portata. In questo caso l'input I1 genera il risultato peggiore, in termini di RE e il migliore in termini di NSE. Al contrario, la performance migliore in termini di RE è fornita dall'input I3.

Il terzo evento, dall'1 al 2 ottobre, è caratterizzato da una bassa intensità di pioggia. Anche in questo caso, dalla Figura 6.a si osserva che l'HFTA impone celle di precipitazione molto intense in aree lontane dai CML. In funzione della posizione in cui l'algoritmo impone le celle, la precipitazione interpolata nelle HRU con l'input I2 sottostima o sovrastima quella interpolata utilizzando la soluzione I1 (vedi Figura 6.b). Allo stesso modo, la forte variabilità del campo di precipitazione ricostruito, si ripercuote sulle simulazioni degli idrogrammi di piena (Figura 6.c).

Dall'analisi di questi tre eventi si osserva che un network di link non uniforme sull'area di studio, tipico di regioni montuose, non fornisce informazioni sufficienti per un'adeguata e affidabile ricostruzione di un campo di precipitazione. Tuttavia, in alcuni casi dipendenti dal tipo di evento, i risultati ottenuti con pluviometri equivalenti sono comparabili con quelli ottenuti dai sensori tradizionali.

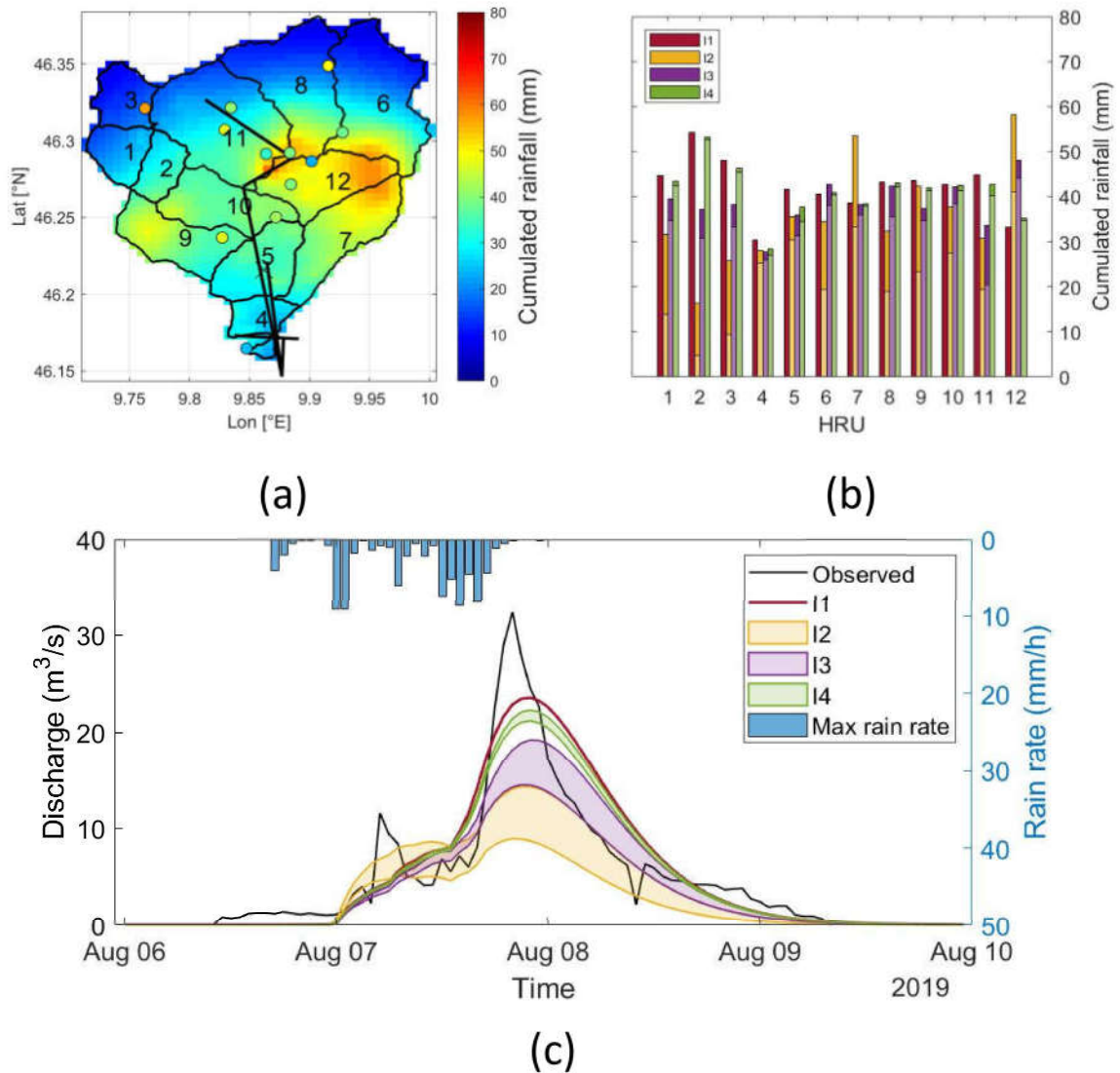


Figura 4 - Evento di precipitazione 6-7 agosto 2019. Il Pannello (a) mostra uno dei 100 campi di precipitazione ricostruiti sull'area del Mallerio e i valori di precipitazione cumulata, misurati dai sensori tradizionali (pallini colorati). Il grafico a barre nel Pannello (b) rappresenta le precipitazioni cumulate interpolate nelle HRU, per le 4 soluzioni (I1-I4). Le barre chiare rappresentano il 5-percentile mentre il limite superiore e inferiore delle barre scure rappresenta il 95 percentile, calcolati con le 100 simulazioni del campo di precipitazione. Nel Pannello (c) si osserva il confronto tra portate osservate e simulate che i quattro input (I1-I4). Le aree colorate rappresentano il limite superiore e inferiore entro cui ricade il 90% delle simulazioni.

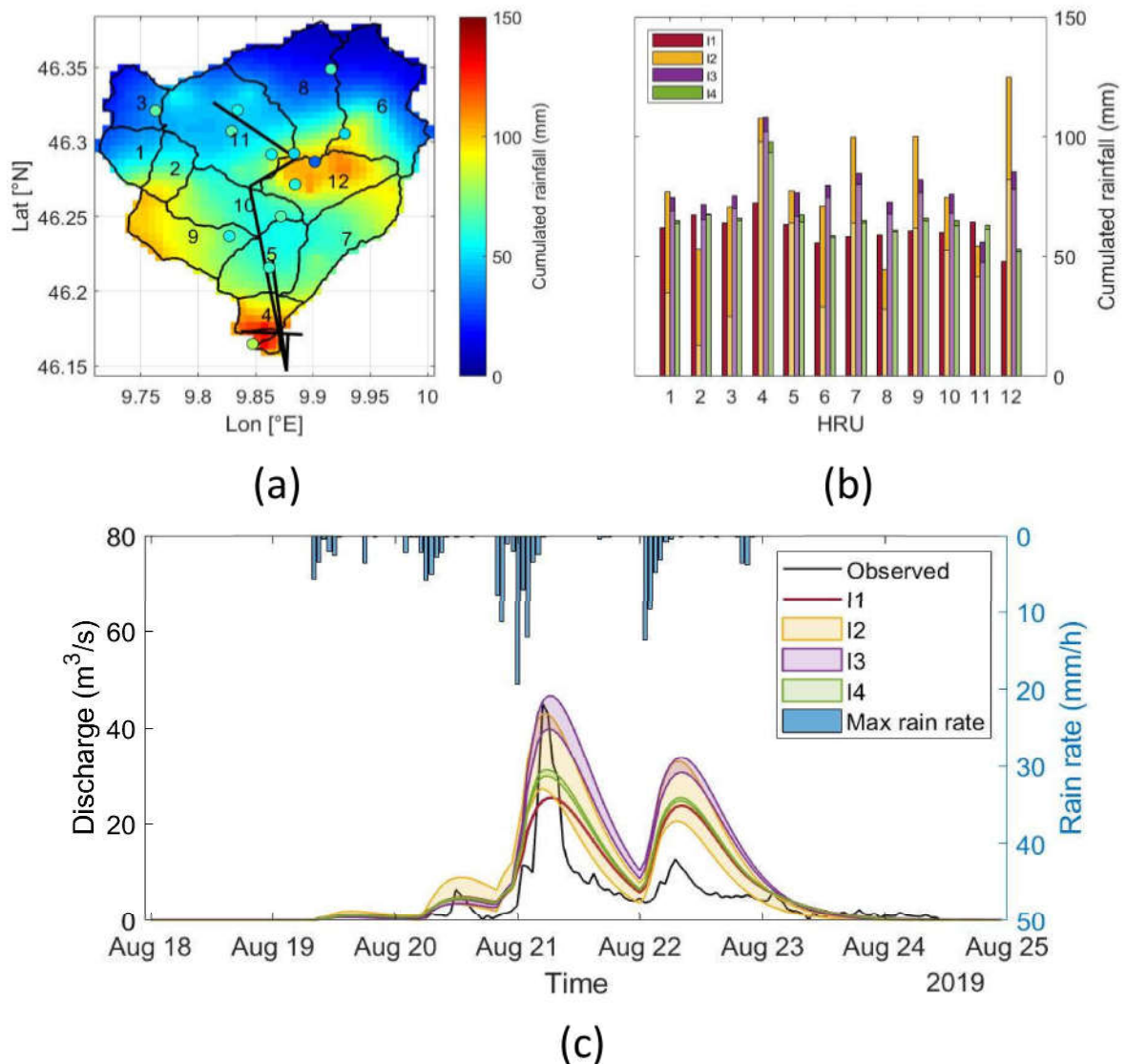


Figura 5 - Evento di precipitazione 18-22 agosto 2019. Il Pannello (a) mostra uno dei 100 campi di precipitazione ricostruiti sull'area del Mallero e i valori di precipitazione cumulata, misurati dai sensori tradizionali (pallini colorati). Il grafico a barre nel Pannello (b) rappresenta le precipitazioni cumulate interpolate nelle HRU, per le 4 soluzioni (I1-I4). Le barre chiare rappresentano il 5-percentile mentre il limite superiore e inferiore delle barre scure rappresenta il 95 percentile, calcolati con le 100 simulazioni del campo di precipitazione. Nel Pannello (c) si osserva il confronto tra portate osservate e simulate che i quattro input (I1-I4). Le aree colorate rappresentano il limite superiore e inferiore entro cui ricade il 90% delle simulazioni.

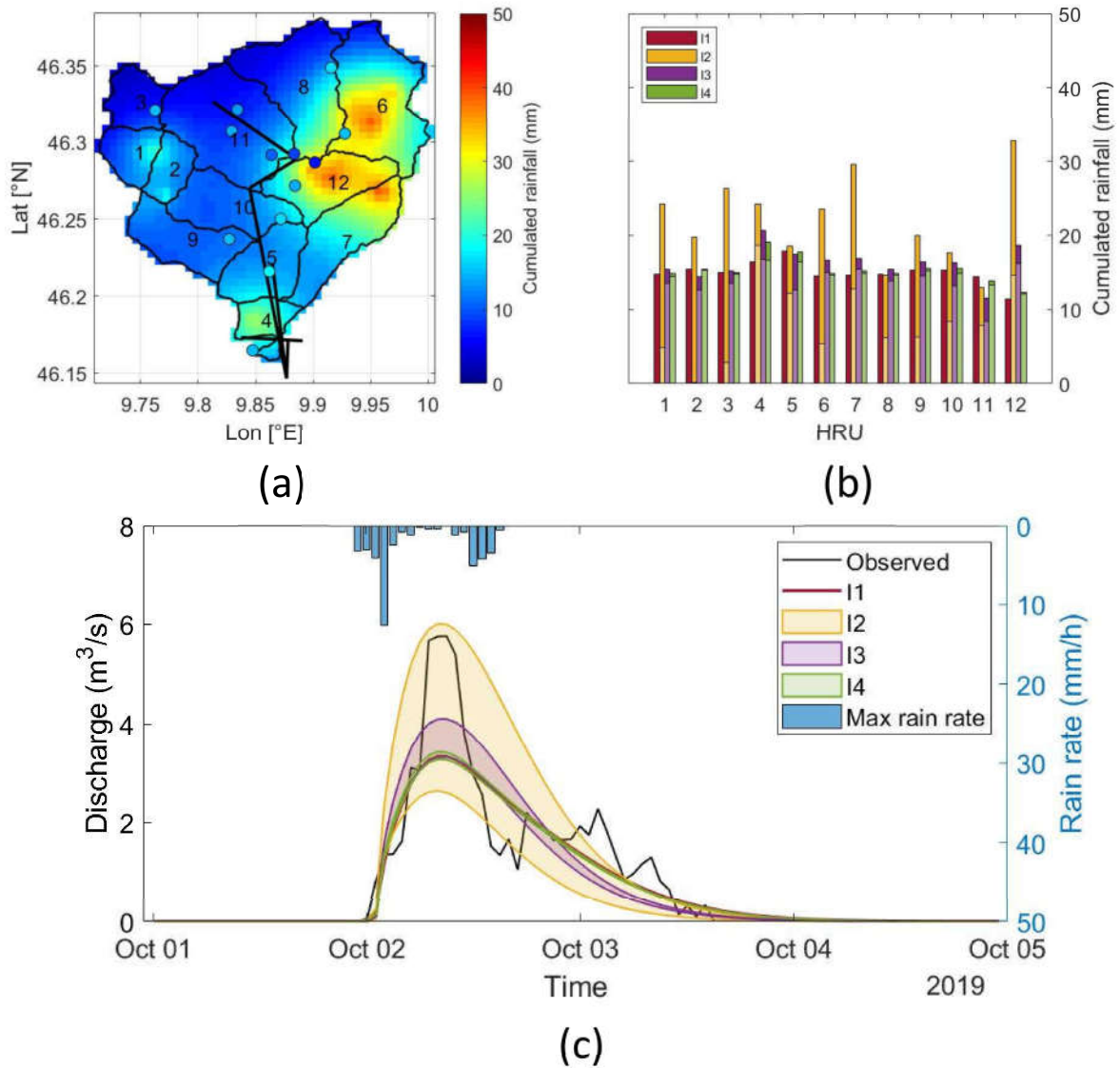


Figura 6 - Evento di precipitazione 1-2 ottobre 2019. Il Pannello (a) mostra uno dei 100 campi di precipitazione ricostruiti sull'area del Mallero e i valori di precipitazione cumulata, misurati dai sensori tradizionali (pallini colorati). Il grafico a barre nel Pannello (b) rappresenta le precipitazioni cumulate interpolate nelle HRU, per le 4 soluzioni (I1-I4). Le barre chiare rappresentano il 5-percentile mentre il limite superiore e inferiore delle barre scure rappresenta il 95 percentile, calcolati con le 100 simulazioni del campo di precipitazione. Nel Pannello (c) si osserva il confronto tra portate osservate e simulate che i quattro input (I1-I4). Le aree colorate rappresentano il limite superiore e inferiore entro cui ricade il 90% delle simulazioni.

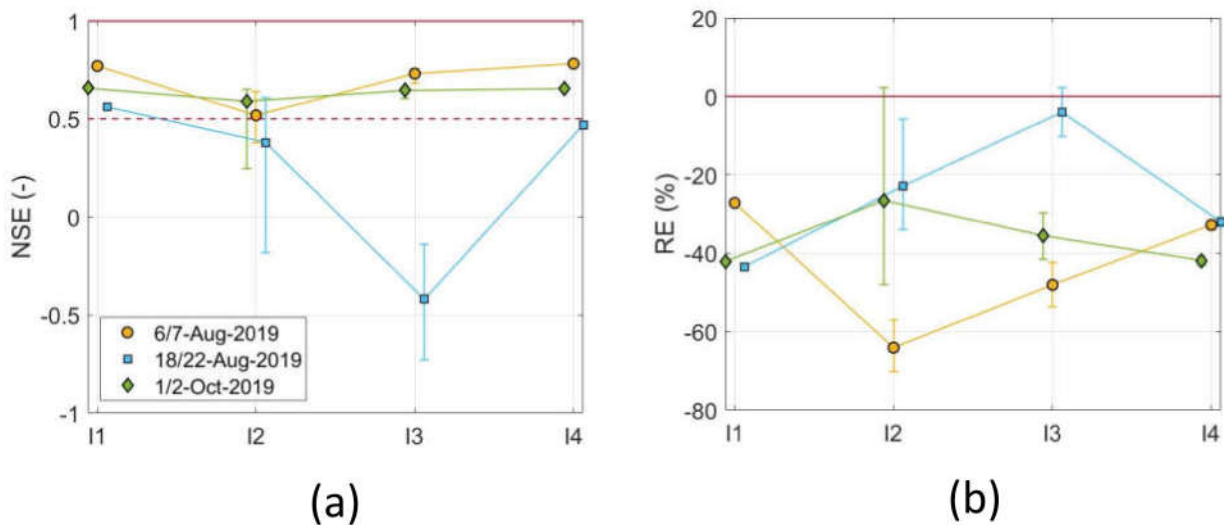


Figura 7 - Andamento degli indici di performance per gli idrogrammi di piena simulati, in funzione dei 4 input di precipitazione.

### Bacino del Lambro

Una situazione completamente opposta a quella del bacino del Mallero si osserva invece per il bacino del Lambro. Quest'ultimo, situato tra le province di Monza e della Brianza, Lecco e Como, appartiene a un'area altamente popolata e per questo anche la densità dei CML è particolarmente elevata. Essi sono distribuiti in modo piuttosto uniforme su tutta l'area di studio e ciò permette di ricostruire il campo di precipitazione, tramite l'HFTA, in modo affidabile senza dover estrapolare dati di precipitazione in aree non vincolate dalle misure dei CML (come invece accade per l'area del Mallero).

L'evento analizzato per il bacino del Lambro è particolarmente intenso e di lunga durata, dal 10 al 24 maggio 2020. In Figura 8 si riportano gli idrogrammi di piena ottenuti con i primi due input (I1 e I2). In entrambi i casi la performance delle simulazioni è molto elevata: assimilando entrambi gli input le portate simulate dal modello riescono a riprodurre molto fedelmente (dal punto di vista della sincronia, del volume in uscita e del picco di portata) le osservazioni dell'idrometro alla sezione di Lesmo. Gli indici statistici, in Tabella 1, mostrano inoltre delle performance leggermente superiori nel caso dell'utilizzo dei CML.

Dall'analisi preliminare di questo evento sembra quindi che la tomografia sia in grado di fornire delle stime del campo di precipitazione affidabili e coerenti con la realtà, al pari delle osservazioni pluviometriche. Tuttavia, è importante sottolineare che l'analisi di un solo evento non è sufficiente per trarre delle conclusioni ed è quindi necessario aumentare la casistica degli eventi e testare l'algoritmo su diversi bacini urbani per validare i risultati qui esposti.

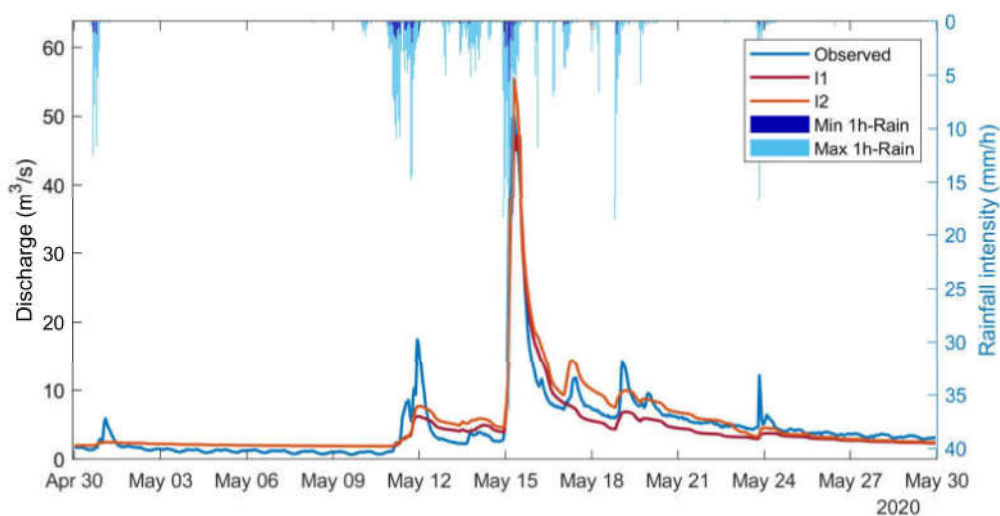


Figura 8 – Evento di precipitazione 10-24 maggio 2020. Confronto tra l'idrogramma di piena osservato e quelli simulati utilizzando gli input I1 e I2.

Tabella 1 - Indici statistici per valutare la performance delle simulazioni relative all'evento 10-24 maggio 2020.

	NSE (-)	RE (%)
I1	0.87	-11
I2	0.88	+6





## Conclusioni

Dal confronto dei risultati tra i bacini dei fiumi Mollero e Lambro si osserva che una rete distribuita uniformemente sull'area di studio è necessaria al fine di ricostruire, con un'elevata attendibilità, il campo di precipitazione, utilizzando i dati di attenuazione del segnale a microonde dei CML. Tuttavia, anche in aree con pochi link (tipicamente aree montuose), come la Valmalenco, è possibile utilizzare i dati di precipitazione ricostruiti con l'HFTA nelle celle posizionate lungo il percorso dei link (pluviometri equivalenti), integrati alle misure puntuali dei pluviometri, in modo da aumentare il numero di informazioni disponibili.

I risultati mostrano che per l'area urbana del bacino del Lambro, coperta da una fitta rete di CML, l'utilizzo di questi ultimi è comparabile all'utilizzo dei tradizionali sensori di precipitazione.

Tuttavia, si ritiene necessario aumentare il numero di eventi da analizzare, al fine di validare i risultati preliminari ottenuti con i 4 eventi presentati sopra.

## Riferimenti

- [1] Carrara, A. (CNR-IEIT Bologna): Generazione delle linee di impluvio e displuvio e calcolo dei parametri morfologici dei sottobacini elementari appartenenti al territorio collinare-montano della Regione Lombardia, 2004
- [2] Chow, T., Maidment, D., and Mays, L.: Applied hydrology, McGraw-Hill, 1988
- [3] De Michele, C., Guidi, G., and Rosso, R.: La valutazione della risposta idrologica del terreno nel bacino padano: Caratterizzazione e map-patura spaziale del massimo potenziale di ritenzione idrica [Evaluation of the hydrological response in the Po river basin: characters and mapping of the maximum soil absorption], L'ACQUA, 6, 17–24, 2000
- [4] D2.2 Verifica e validazione dei dati pluviometrici e analisi preliminare dell'integrazione in modelli idrologici [http://www.mopram.it/deliverable/Del\\_2\\_2\\_V1.0.pdf](http://www.mopram.it/deliverable/Del_2_2_V1.0.pdf)
- [5] D3.2 Algoritmo di ricostruzione tomografica RRA e risultati delle simulazioni <http://www.mopram.it/wp-content/uploads/2019/07/Deliverable-D3.2-1.pdf>
- [6] D3.3 Aggiornamento del modello idrologico e simulazioni con mappe MOLOCH ricostruite dall'algoritmo tomografico <http://www.mopram.it/wp-content/uploads/2019/07/Deliverable-D3.3-1.pdf>
- [7] D4.1 Qualità dei dati raccolti durante la campagna di misura [http://www.mopram.it/wp-content/uploads/2020/02/MOPRAM\\_Del\\_4d1\\_v1d0\\_template.pdf](http://www.mopram.it/wp-content/uploads/2020/02/MOPRAM_Del_4d1_v1d0_template.pdf)
- [8] Goldberg, D. E. (1989), Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning (1st ed.), Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA
- [9] Rosso, R.: Nash model relation to Horton order ratios, Water Resources Research, 20, 914–920, 1984