



## **D4.2 Confronto mappe RADAR, dati a terra (pluviometri) e ricostruzione tomografica sui link**

**(RADAR map comparison with CML measurement and Rain Gauge)**

Revisione v1.1

Work Package	WP4
Task	4.2
Data	24/08/20
Partner principale	POLIMI DICA
Versione	v1
Autore	Cristina Deidda (POLIMI-DICA)
Revisore	Roberto Nebuloni (CNR - IEIT)

Riassunto	Questo documento descrive la procedura di elaborazione e acquisizione delle mappe RADAR fornite da MeteoSwiss mostrando i confronti delle cumulate per un caso studio con i dati pluviometrici e i dati derivanti dai CML.
Parole chiave	CML, RADAR, precipitazione



## D4.2 Confronto mappe RADAR, dati a terra (pluviometri) e ricostruzione tomografica sui link

---

### INDICE

1. INTRODUZIONE.....	3
2. DATI RADAR .....	4
3. METODOLOGIA.....	5
3.1 LETTURA MAPPE RADAR.....	6
4. RISULTATI.....	7
4.1 MAPPA CUMULATA .....	7
<u>    4.2 CONFRONTO DATI RADAR PLUVIOMETRI E CML.....</u>	<u>9</u>
4.2.1 Risultati: confronto puntuale pixels mappa RADAR e Pluviometri .....	11
4.2.2 Risultati: confronto puntuale pixels mappa RADAR e CML.....	11
4.2.3 Risultati: confronto qualitativo mappa RADAR, dati pluviometrici interpolati con IDW e mappa tomografica .....	14
5. CONCLUSIONI .....	15



## GLOSSARIO

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

**WP** WorkPackages

**CML** Commercial Microwave Link

**CNR** Consiglio Nazionale delle Ricerche

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

**POLIMI** Politecnico di Milano

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

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

**CE** Comunità Europea

**RRA** Rain Reconstruction Algorithm (in italiano: "algoritmo di ricostruzione della pioggia")

**RRI** Responsible Research and Innovation (in italiano: "ricerca responsabile e innovazione")

## 1. INTRODUZIONE

Il presente lavoro si inserisce nel Task 4.2 del WP4 del progetto MOPRAM (**Figura 1**), che prevede la validazione delle stime di pioggia ottenute dai CML mediante il confronto con quelle fornite da sensori tradizionali, in particolare con le mappe RADAR.

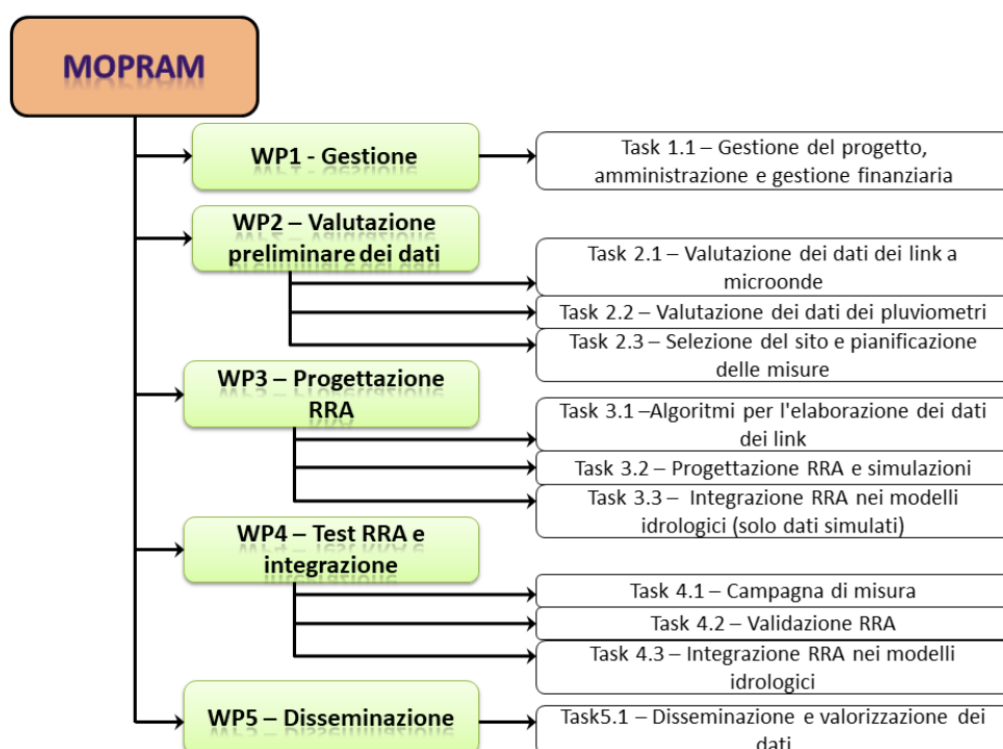


Figura 1: Schema del progetto MOPRAM

Gli input della seguente analisi sono

- I dati pluviometrici analizzati precedentemente nel WP2
- Le stime di precipitazione (su ciascun link) e le mappe ricostruite con gli algoritmi RRA sui dati CML (sia tomografia che IDW), sviluppati nel corso del WP3
- Le mappe RADAR fornite da MeteoSwiss.

In questo documento vengono inizialmente descritti risoluzione e formato delle mappe RADAR forniti da MeteoSwiss. Successivamente viene illustrato il procedimento utilizzato per l'acquisizione, lettura ed elaborazione delle mappe. I risultati presentati si riferiscono all'evento di pioggia dal 10 al 19 maggio 2020 per l'area di studio del Seveso-Olona-Lambro.

Il confronto è basato sul valore della precipitazione cumulata sull'intero evento ottenuto dai dati RADAR, pluviometrici e CML.



## D4.2 Confronto mappe RADAR, dati a terra (pluviometri) e ricostruzione tomografica sui link

### 2. DATI RADAR

I dati RADAR sono stati forniti da Meteo Swiss per un periodo complessivo da Giugno 2019 a Giugno 2020. Le mappe RADAR hanno una risoluzione spaziale (pixel) di 1km x 1km e una risoluzione temporale di 5 minuti. La mappa RADAR copre un'area geografica nell'intervallo [255,965] nella dimensione x (in km) e [-160,480] nella coordinata y (km), secondo il sistema di riferimento svizzero (DATUM CH1903 LV03). Le mappe sono georeferenziate secondo il sistema di riferimento CH1903, che è il sistema di coordinate "ufficiale" in Svizzera con ellissoide di riferimento di Bessel 1841 orientato a Berna. L'area coperta dalle mappe in totale è di 710 x 640 km (**Figura 2**).

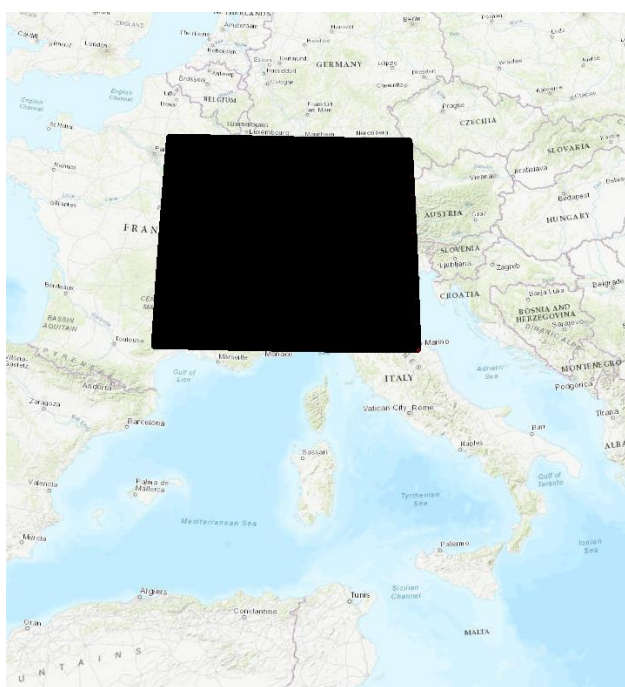


Figura 2- Estensione della mappa RADAR MeteoSwiss

La trasformazione da coordinate svizzere a latitudine e longitudine (WGS84) è eseguita con le seguenti formule<sup>1</sup>:

$$\begin{aligned} \text{LAT} &= 46.9522 + (X-200) * 8.9956E-3 - (Y-600)^2 * [7.5338E-7 + (X-200) * 1.386E-10] \\ \text{LON} &= 7.4394 + [(Y-600) * \{8.97044E-3 - (X-200) * 2 * 8.550904E-11\}] / \cos(\text{LAT}) \end{aligned}$$

<sup>1</sup> Joss, Jürg & Schädler, Bruno & Galli, Gianmario & Cavalli, Remo & Boscacci, Marco, 1997. Operational Use of Radar for Precipitation Measurements in Switzerland, pag.70.

### 3. METODOLOGIA

Il codice sviluppato da MOPRAM prevede lettura delle mappe RADAR, identificazione dell'area del caso studio, calcolo delle cumulate ed estrazione dei valori della mappa in determinati pixels per il confronto con i dati puntuali da pluviometri o da CML.

#### 3.1 LETTURA MAPPE RADAR

Le mappe RADAR sono fornite come file raster in formato '.gif' da 710 colonne e 640 righe con una risoluzione oraria di 5 minuti. La conversione da valore RGB a valore fisico (intensità di precipitazione in mm/h) avviene tramite una look-up table, ossia una tabella di conversione, che, per ogni colore (RGB) della mappa, fornisce una stima dell'intensità di precipitazione (**Figura 3**).

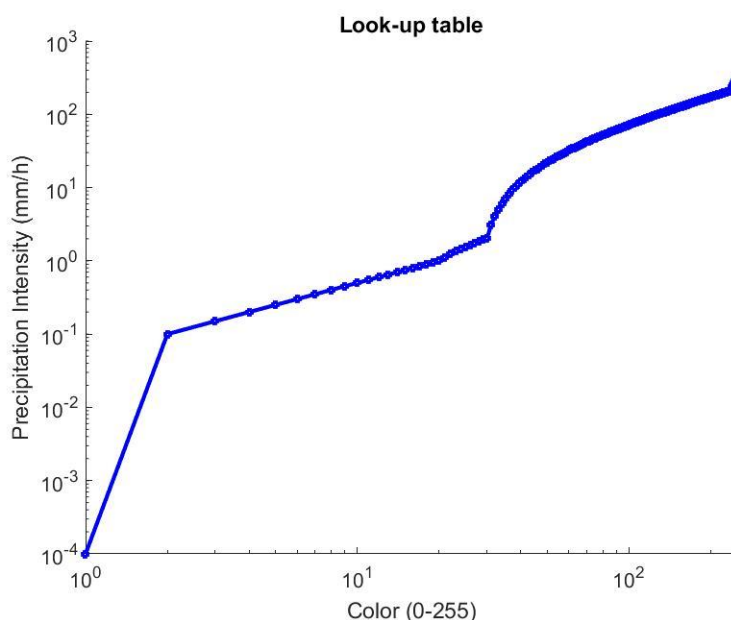


Figura 3-Look-up table: corrispondenza valore RGB con intensità di precipitazione

L'analisi dei dati avviene per evento: considerate le date di inizio e fine evento, vengono lette le mappe ogni 5 minuti e viene calcolata la cumulata della precipitazione totale (in mm) per l'evento considerato. Si considera un valore minimo di 0.1 mm/h come soglia per la precipitazione, mentre i valori inferiori a tale soglia sono considerato rumore piuttosto che dato reale di pioggia.

Per un controllo della qualità della mappa e dell'eventuale presenza di valori anomali sono stati eseguiti una serie di test di pre-analisi: somma delle occorrenze dei valori non validi (NaN) in ogni pixel della mappa, presenza di zeri, somma dei valori maggiori di zero e cumulata (**Figura 4**). La regione ritagliata di 41 x 49 pixels racchiude i bacini Seveso-Olona-Lambro. Le mappe RADAR sono in totale 2882 nel periodo dal 10 al 19 maggio 2020.



#### D4.2 Confronto mappe RADAR, dati a terra (pluviometri) e ricostruzione tomografica sui link

In **Figura 5** si può vedere l'istogramma delle intensità di precipitazione rilevate nella mappa. Dai test diagnostici non si rilevano anomalie evidenti (non sono presenti valori non validi e le occorrenze degli zeri hanno una distribuzione uniforme nei pixel). Pertanto, tutti i pixel del riquadro sono stati considerati ai fini del calcolo della precipitazione.

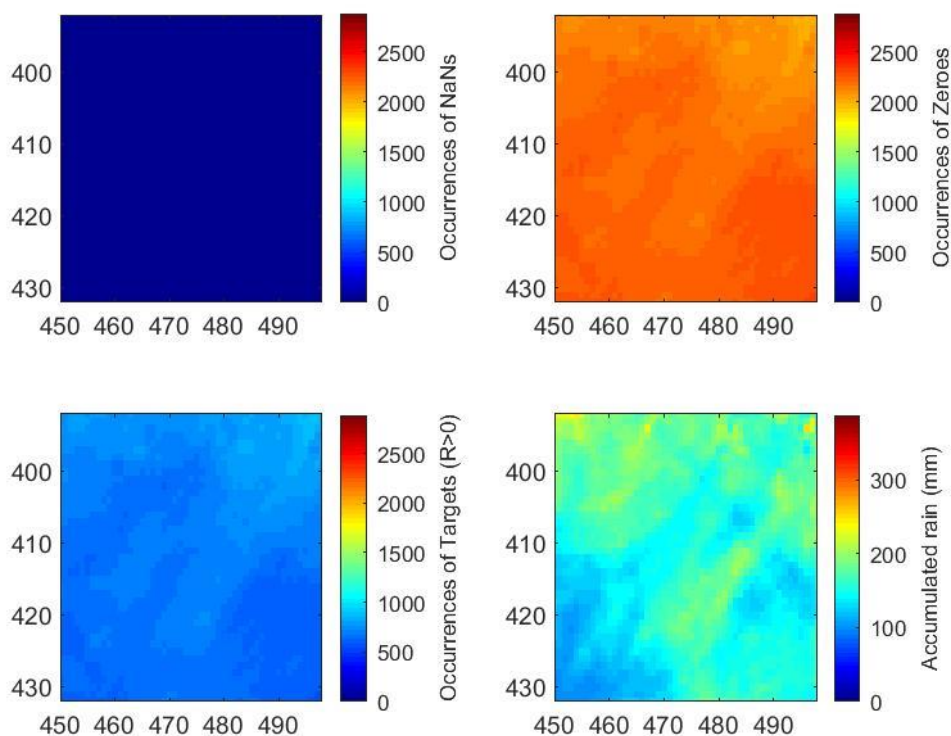


Figura 4: Pre-analisi delle mappe RADAR: occorrenze di dati non validi, zeri, bersagli validi (valori corrispondenti ai precipitazione > 0.1 mm/h e pioggia accumulata)

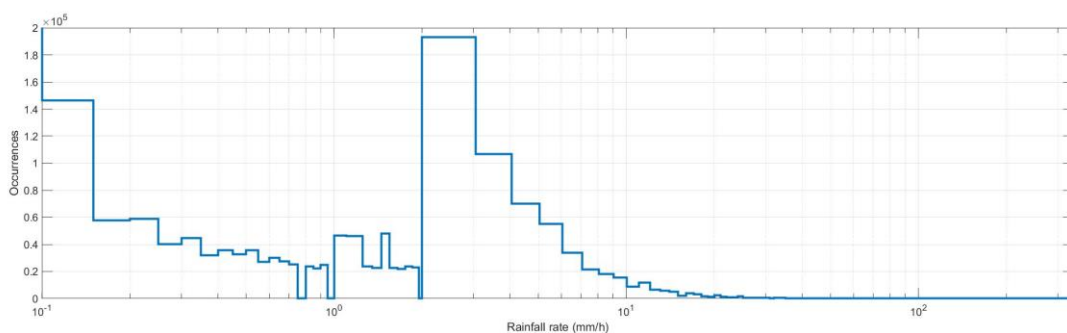


Figura 5: Istogramma dell'occorrenza dei valori di precipitazione

## 4. RISULTATI

### 4.1 MAPPA CUMULATA

Si riportano i risultati per il caso studio del Seveso-Olona-Lambro considerando l'evento dal 10 al 19 maggio 2020. In **Figura 6** è riportata la mappa della cumulata della precipitazione in mm/h per l'intero evento, il quadrato nero indica la posizione dell'area studio.

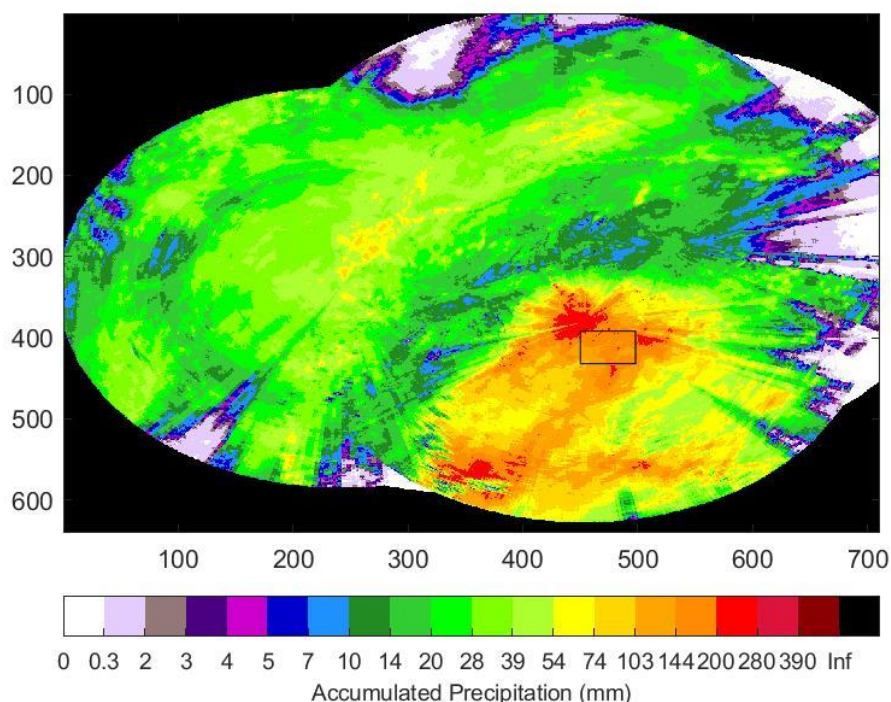


Figura 6: Mappa RADAR della precipitazione cumulata in [mm] nella griglia di coordinate svizzere per il periodo dal 10 al 19 Maggio 2020

In Figura 7 è riportata la mappa ritagliata nell'area di studio con i contorni dei tre bacini: Seveso, Olona e Lambro in latitudine e longitudine. Come si può vedere dalla figura, è stato selezionato come caso studio un evento particolarmente intenso: la massima precipitazione cumulata è di 250 mm.

In Figura 8 sono rappresentate le serie temporali pluviometriche per i 10 giorni di maggio. L'evento di precipitazione considerato è particolarmente intenso con una serie di picchi di precipitazione che superano i 60 mm/h.





## D4.2 Confronto mappe RADAR, dati a terra (pluviometri) e ricostruzione tomografica sui link

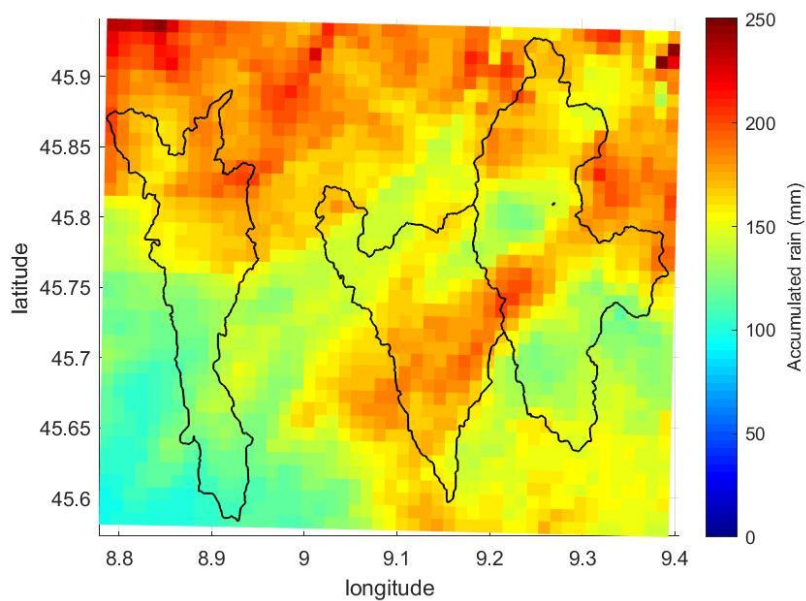


Figura 7: Zoom mappa cumulata della precipitazione nell'area di studio del Seveso Olona Lambro dal 10 al 19 maggio 2020 (WGS84)

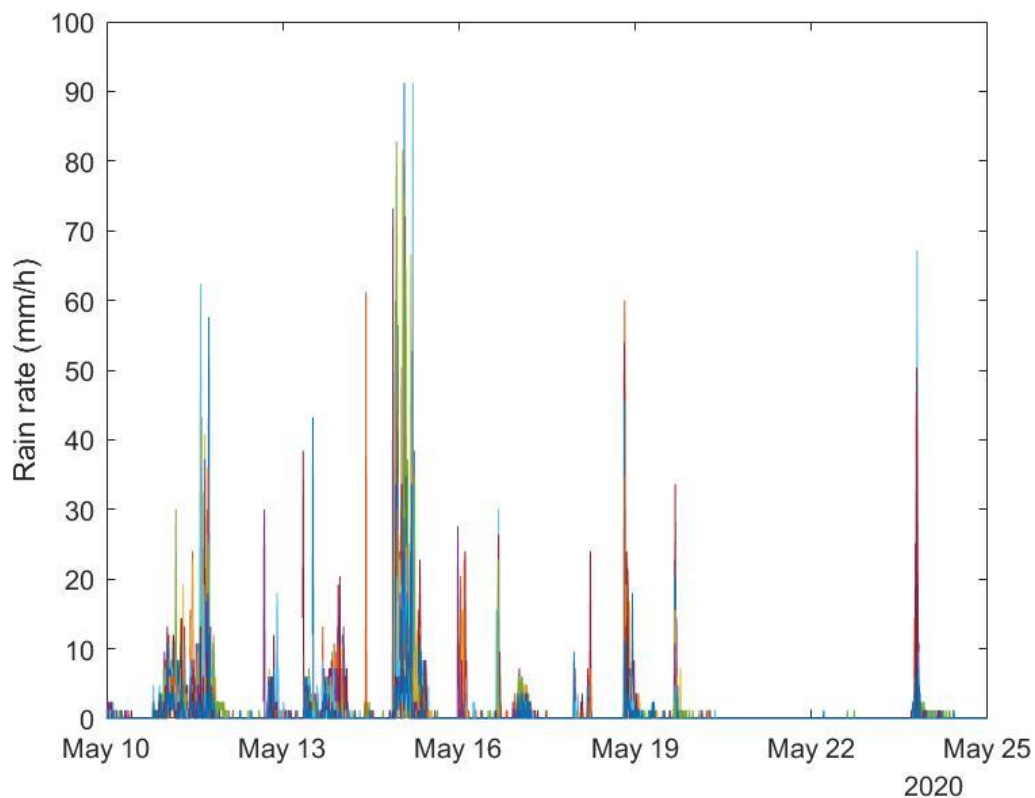


Figura 8: Serie pluviometriche per l'evento del 9-19 Maggio 2020 dell'intensità di precipitazione (mm/h) ogni 10 minuti



## 4.2 CONFRONTO DATI RADAR PLUVIOMETRI E CML

Nell'area di studio sono presenti 37 pluviometri e 105 CML distribuiti nel territorio come si vede in Figura 9. L'obiettivo del presente lavoro è il confronto dei dati di precipitazione ottenuti dai CML con le misure tradizionali: pluviometri e in particolare mappe RADAR. Il confronto viene effettuato puntualmente o a livello di mappa, secondo le seguenti procedure:

### CONFRONTO PUNTUALE

- Dati pluviometrici: in base alle coordinate dei pluviometri sulla mappa, si interpolano linearmente i valori dei pixel della mappa RADAR in corrispondenza della posizione dei pluviometri (funzione `interp2` di MATLAB).
- CML: ogni link viene suddiviso in una serie di segmenti di 500 m ciascuno. Ogni segmento è considerato come un pluviometro equivalente. Per ogni pluviometro equivalente si interpolano linearmente i dati dei pixel RADAR adiacenti (`interp2` di MATLAB). I valori ottenuti dalla mappa radar vengono poi mediati per avere una misura di precipitazione su ogni link. Successivamente vengono confrontati con i valori di precipitazione ottenuti a partire dai CML<sup>2</sup>.

### CONFRONTO TRA MAPPE

- Confronto qualitativo delle mappe RADAR, IDW a partire dai pluviometri e con la tomografia a partire dai CML.

Il confronto tra mappe viene eseguito solo in maniera qualitativa viste le diverse caratteristiche dei sensori e le modalità di ricostruzione delle varie mappe. La mappa ricostruita con l'IDW sulla base dei pluviometri è una ricostruzione 2D a partire da una serie limitata di punti quindi al di fuori delle posizioni esatte dei pluviometri può risultare molto imprecisa. La ricostruzione a partire dai CML ha una copertura maggiore vista la grande quantità dei link presenti ma vi sono comunque delle aree scoperte e permangono tutte le incertezze relative alla trasformazione dal dato disponibile (potenza trasmessa e ricevuta massima e minima in intervalli da 15-min) alla intensità di precipitazione.

Si riporta comunque il confronto delle 4 mappe (RADAR, IDW da pluviometri, IDW da CML, tomografia da CML) per visualizzare le differenze della distribuzione spaziale della precipitazione ottenute con i diversi metodi.

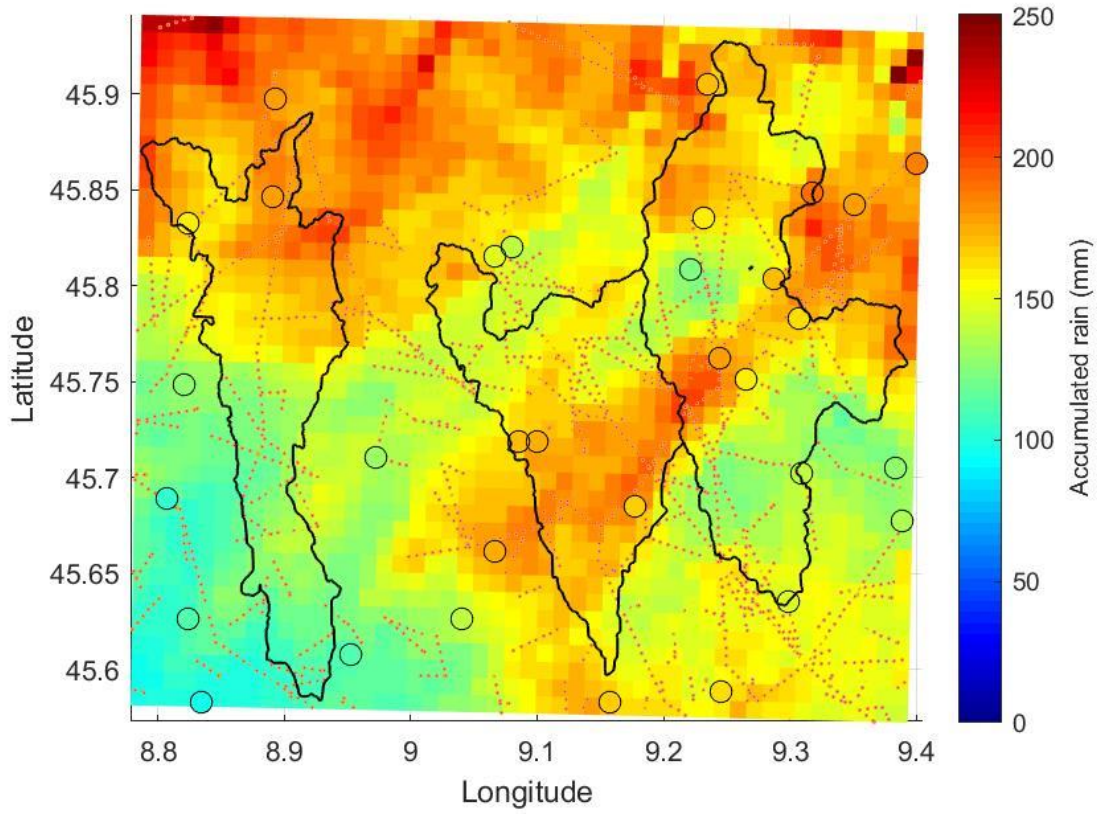


Figura 9: Posizione dei 37 pluviometri (cerchi) e 105 CML (linee tratteggiate) disponibili nell'area dei bacini di Seveso, Olona e Lambro.

#### 4.2.1 Risultati: confronto puntuale pixel mappa RADAR e Pluviometri

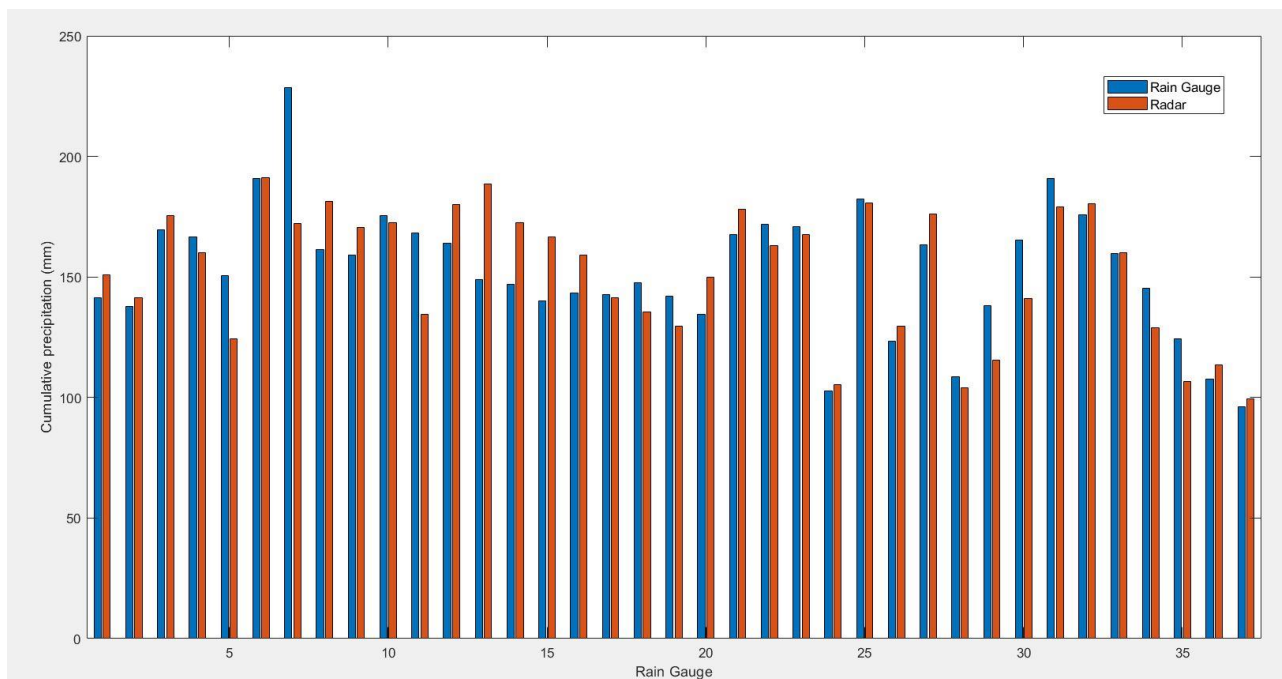


Figura 10- Istogramma confronti pluviometri e RADAR in termini di precipitazione cumulata, per ognuno dei 37 pluviometri

#### 4.2.2 Risultati: confronto puntuale pixel mappa RADAR e CML

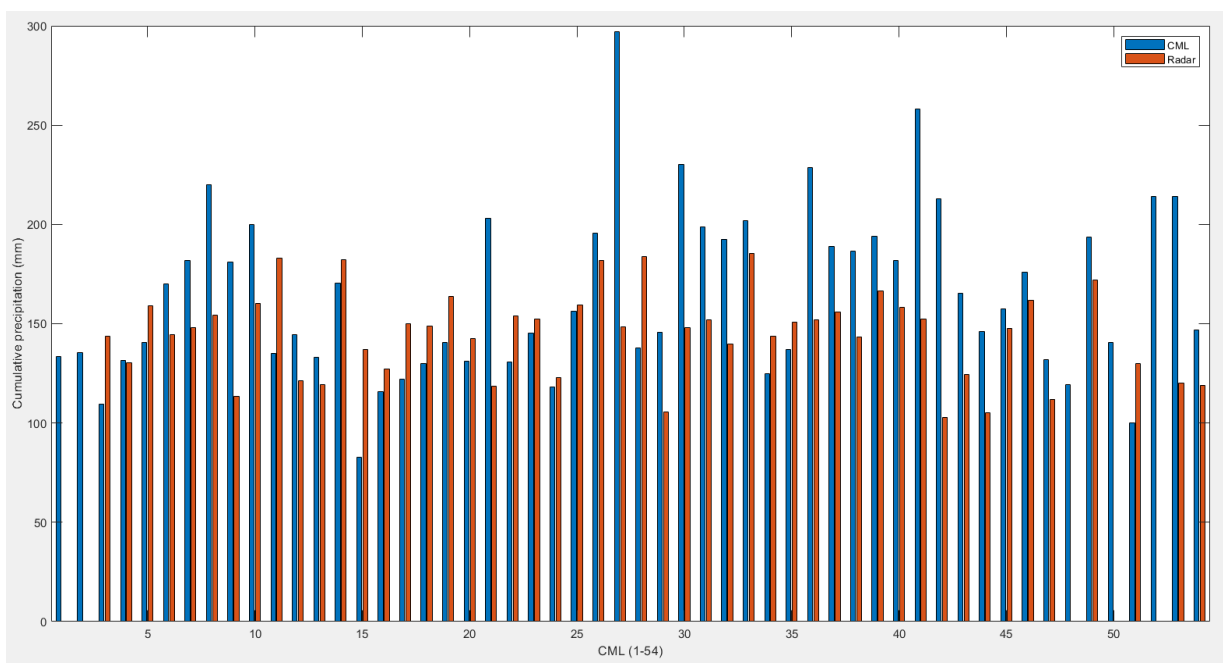


Figura 11: Istogramma confronti tra CML e RADAR in termini di precipitazione cumulata, per i link da 1 a 55

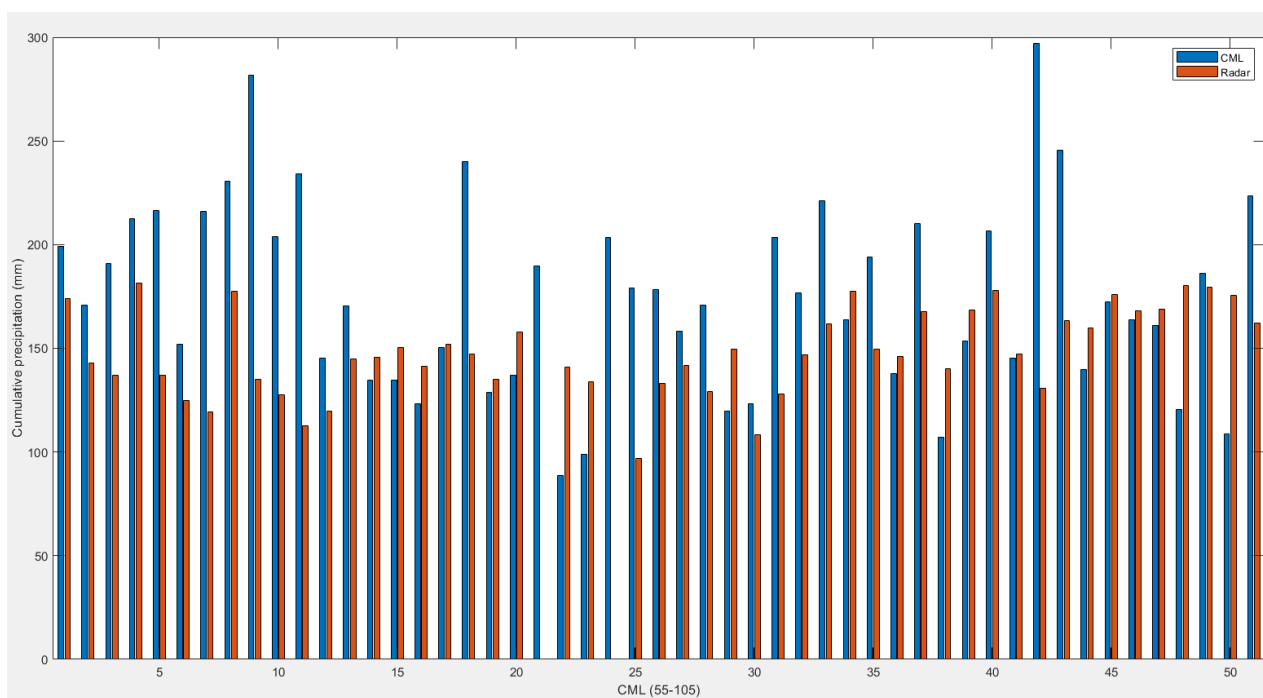


Figura 12: Istogramma confronti tra CML e RADAR in termini di precipitazione cumulata, per i link dal 55 al 105

Gli istogrammi presentati mostrano il confronto delle cumulate di precipitazione per l'intero evento calcolate dalle mappe RADAR e i 37 pluviometri (Figura 10) e i 105 CML (Figura 11 e Figura 12).

Come si può notare nella istogramma in Figura 10, le cumulate tra i dati RADAR e pluviometri sono abbastanza coerenti e in media stanno al di sotto del valore di 200 mm. Dai due istogrammi in Figura 11 e Figura 12 possiamo vedere che i link in generale leggono dei valori di precipitazione più alti avendo più picchi sopra o intorno ai 200 mm. Dal summary in Figura 13 possiamo vedere la distribuzione delle differenze RADAR e CML (in blu), RADAR e pluviometri (in rosso).

Si osserva che con i CML si raggiunge un massimo di 150 mm di differenza contro un massimo di 56 mm per i pluviometri.

I confronti tra i dati RADAR e i pluviometri risultano molto buoni, si osservano differenze percentuali minori del 24% mentre dal confronto RADAR-link si nota una sovrastima di questi ultimi fino ad una differenza percentuale del 56%.

Da una più attenta analisi (istogramma in Figura 13) vediamo che l'errore percentuale delle stime CML non supera il 30% nel 70% dei casi. Possiamo quindi dire che una buona percentuale dei link da dei buoni risultati in termini di differenze puntuali. I valori più elevati possono essere causati da link "problematici" di lunghezza troppo corta o ad una frequenza non adeguata per le analisi meteorologiche.

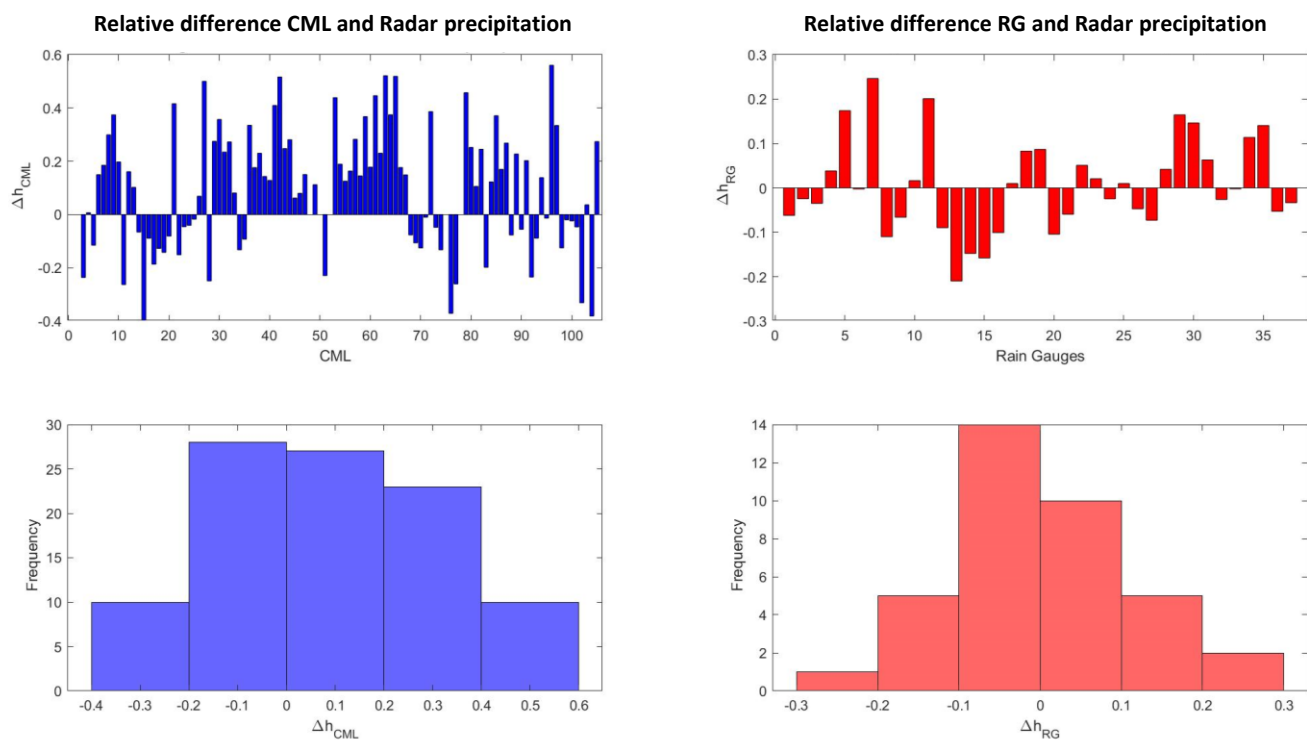


Figura 13: istogrammi e barplot delle differenze percentuali di precipitazione:  $\Delta h_{CML}$  differenza tra dati RADAR e CML (in blu) e  $\Delta h_{RG}$  differenza tra dati RADAR e RG (in rosso).



### 4.3 Risultati: confronto qualitativo mappa RADAR, dati pluviometrici interpolati con IDW e mappa tomografica

Di seguito si riportano le mappe ottenute con 4 diversi metodi: RADAR, IDW da pluviometri, IDW da CML, tomografia da CML. Le quattro mappe riportate per quanto diano delle differenze sostanziali mostrano tutte una variabilità della pioggia cumulata da 0 a 300 mm. Il primo commento si può fare comparando le mappe ottenute dall'IDW con i dati pluviometrici e la mappa RADAR. Nonostante il confronto puntuale delle due misure sia molto buono possiamo notare che la ricostruzione della variabilità 2D della precipitazione con l'IDW non dà dei risultati altrettanto buoni. Il pattern generale della mappa RADAR risulta ripreso in alcune zone come i due picchi nella parte superiore e una minore altezza nell'angolo in basso a sinistra.

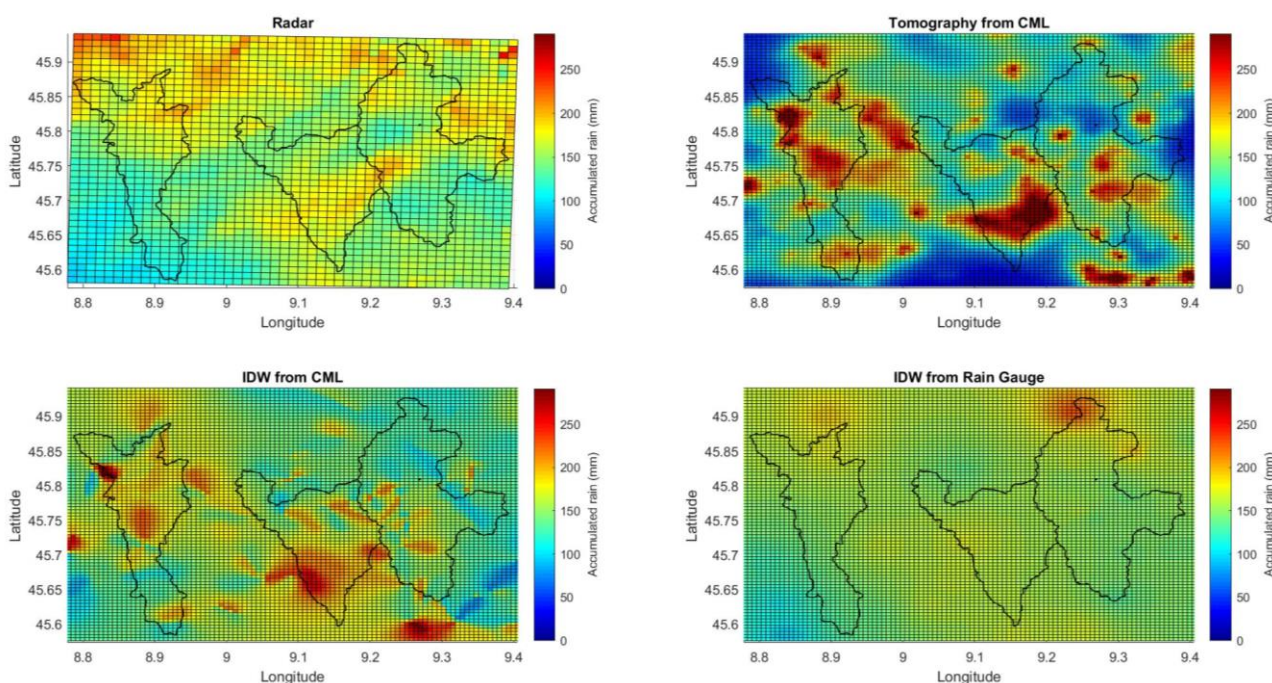


Figura 14: Mappe della precipitazione cumulata ottenute da mappa RADAR, mappe ricostruite a partire dai link con IDW e tomografia e ricostruite con IDW dai dati pluviometrici

Osservando le mappe ricostruite dai link possiamo vedere un comportamento più a macchie e con dei valori di picco più presenti e concentrati rispetto alla mappa RADAR. Le differenze possono essere date da molteplici motivi. Primo fra essi è il diverso tipo di dato rappresentato dalle mappe: il RADAR è una misura data da una scansione ad alta quota nello spazio mentre i CML sono delle misure a terra. Secondo, abbiamo una differenza data dalla diversa risoluzione dei pixels (500mx500m mappa dai link vs 1kmx1km mappa RADAR). Va ricordato che la distribuzione a spot che vediamo dalle mappe ricostruite dai CML può anche essere dovuta alla definizione nell'algoritmo del numero e raggio della cella di pioggia. Un dato che si pone in input all'algoritmo ma che è molto difficile da conoscere con esattezza a priori.



## 5. CONCLUSIONI

Il presente documento riporta i risultati finali di progetto del Task 4.2. Con le presenti analisi si è proceduto ad un confronto tra le precipitazioni cumulate dai link con quelle ottenute dai dati RADAR forniti da MeteoSwiss e dai dati pluviometrici. Selezionato un evento di pioggia di durata di 10 giorni (10-19 maggio 2020) per l'area di studio del Seveso-Olona-Lambro sono state confrontate le cumulate della precipitazione in diversi modi: puntualmente e a livello di mappe. Dai risultati vediamo una buona concordanza delle misure RADAR e dei dati pluviometrici. Il confronto con i CML ha evidenziato una sovrastima di alcuni link che arriva fino al 56% (contro un massimo del 24% dei pluviometri). Nonostante questo dato, osservando l'istogramma delle differenze si può notare che l'errore percentuale delle stime CML non supera il 30% nel 70% dei casi. Possiamo quindi affermare che per un'alta percentuale di link si ha concordanza in termini di misure.

Sono state inoltre prodotte e confrontate le mappe 2D RADAR con quelle ricostruite dai CML sia con la tomografia che con l'IDW. In generale le cumulate totali sono dello stesso ordine di grandezza e nello stesso range di quelle della mappa RADAR. Dalle ricostruzioni dei CML troviamo un gran numero di picchi sparsi e in generale dei valori più alti di precipitazione cumulata. Questi confronti sono utili per un miglioramento futuro dell'algoritmo in termini di posizione, numero e dimensione delle celle generate dall'algoritmo tomografico e per individuare i link di proprietà (lunghezza e/o frequenza) non adeguate alle analisi meteorologiche in oggetto.

Nonostante dei link diano una sovrastima dei valori di pioggia, possiamo notare dal confronto che le mappe ricostruite dai link (IDW e tomografia) danno una distribuzione spaziale più eterogenea rispetto a quella della mappa ricostruita con l'IDW dai dati pluviometrici, che dà in generale una rappresentazione più uniforme e piatta, ossia con meno variazione di colore rispetto ai CML. La mappa dei pluviometri ricostruita con l'IDW ha un aspetto molto più omogeneo e con meno variazioni anche rispetto alla mappa RADAR.

Nonostante il presente documento riporti i risultati per un solo evento, è stato sviluppato un codice che permette l'analisi di più eventi e per entrambi i casi di studio. Un'analisi di più eventi potrà portare ad una maggiore conoscenza della variabilità dei metodi in esame.

Le analisi riportate a conclusione del task, risultano di grande importanza come confronto della distribuzione spaziale delle mappe ricostruite e per il riconoscimento dei link di caratteristiche idonee agli scopi meteo-idrologici.