

Modified Conditional Merging

Introduzione

La tecnica Modified Conditional merging (MCM) è una tecnica geostatistica che permette l'integrazione delle misure della precipitazione derivanti da diversi strumenti per la definizione di un campo di precipitazione teoricamente migliore in termini di posizioni e volumi di acqua.

In particolare, nel prodotto in questione, vengono utilizzati come input:

- le osservazioni pluviometriche: per avere indicazioni (dirette) circa i quantitativi di acqua misurati al suolo seppure in posizioni puntuali.
- le stime dei campi radar: per ottenere informazioni circa la struttura spaziale di correlazione del campo di precipitazione.

Il metodo definito deriva direttamente dalla metodologia geostatistica per l'integrazione radar-pluviometro del Conditional Merging (CM, Sinclair and Pegram, 2005). Alla metodologia originale sono state applicate alcune modifiche ed innovazioni quali:

1. L'utilizzo del sistema di interpolazione GRISO-Piogge implementato operativamente nel sistema DEWETRA (vedasi relazione tecnico scientifica conclusiva concernente le attività svolte e i risultati conseguiti nel corso del 2014 all'interno della convenzione tra Presidenza del Consiglio dei Ministri- Dipartimento della Protezione Civile e Centro Internazionale in Monitoraggio Ambientale – Fondazione CIMA)
2. Utilizzo dei campi di precipitazione stimati da RADAR per la definizione della struttura di correlazione spaziale dei singoli pluviometri da utilizzare in GRISO-piogge.

Queste ultime innovazioni permettono di definire nell'intorno dei pluviometri le relative correlazioni locali, derivandole direttamente dal campo di precipitazione stimato dalla rete radar nazionale. Disporre di tali correlazioni locali permette di avere informazioni sulla distribuzione della precipitazione da adottare nell'intorno del pluviometro quindi di potere identificare e riprodurre le caratteristiche di intermittenza della precipitazione negli eventi convettivi nonché stratiformi.

Usare l'Italia come dominio di applicazione consente di avere a disposizione un territorio ove sono presenti sia una rete pluviometrica densa sia una buona rete radar che consente l'osservazione anche laddove la rete a terra sia deficitaria.

Innovazioni

GRISO

L'algoritmo di interpolazione delle precipitazioni GRISO-Pioggie (Generatore Random di Interpolazioni Spaziali da Osservazioni incerte) è una procedura matematica per calcolare un campo continuo di precipitazione $F(x,y)$ a partire dai valori puntuali, (V_i) dalle altezze di precipitazione osservate dai sensori della rete pluviometrica fiduciaria. L'algoritmo è strutturato in modo tale che il campo di precipitazione interpolato F soddisfi le condizioni che riguardano:

- il mantenimento dello stesso valore di precipitazione misurato dal pluviometro in corrispondenza del punto fisico ad esso relativo all'interno del campo interpolato.
- il raggiungimento di un valore imposto μV da raggiungere laddove l'influenza delle strutture di correlazione dei pluviometri risulti nulla.

Affinché il campo interpolato abbia le caratteristiche succitate è necessario definire alcuni parametri matematici relativi alle variabili di ingresso:

- il kernel (o nucleo) di covarianza $K(x,y)$ della singola stazione pluviometrica
- la lunghezza di correlazione (range) λ .

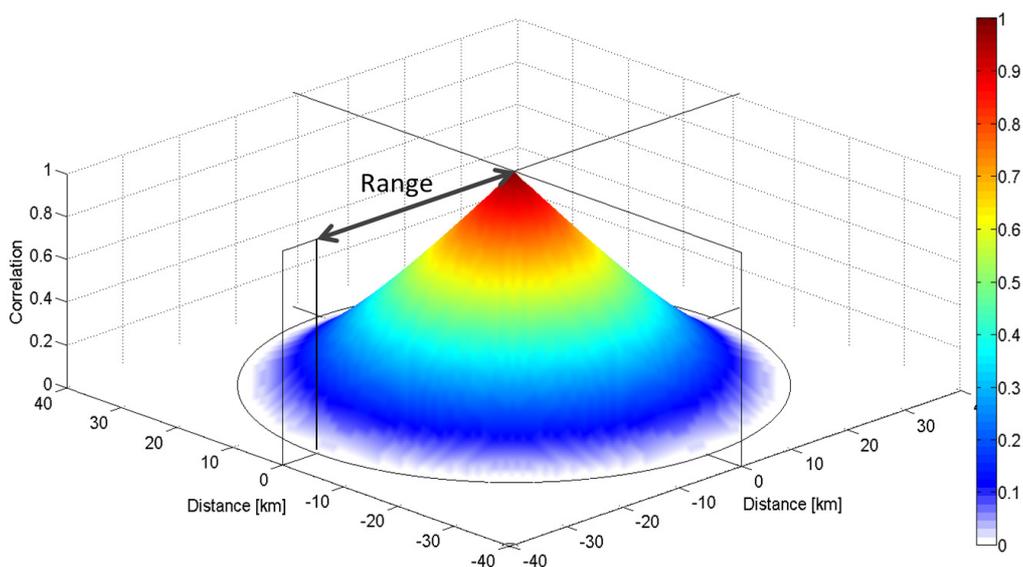


Figura 1: esempio di kernel di covarianza con lunghezza di correlazione fissata a 35 km

Per maggiori informazioni si rimanda alla consultazione della relazione tecnico scientifica conclusiva concernente le attività svolte e i risultati conseguiti nel corso del 2014 all'interno della convenzione tra Presidenza del Consiglio dei Ministri- Dipartimento della Protezione Civile e Centro Internazionale in Monitoraggio Ambientale – Fondazione CIMA.

Stima kernel di covarianza e lunghezza di correlazione

Come detto precedentemente, una delle maggiori innovazioni del metodo MCM è la definizione dei nuclei di covarianza locali da attribuire ad ogni pluviometro. Per ottenere tali funzioni è necessario centrare su ogni pluviometro una finestra di dimensioni scelte (ad es. 60x60 km) e calcolare la correlazione esclusivamente su tale dominio, utilizzando le osservazioni della rete radar.

La scelta di calcolare le correlazioni locali oltre a garantire un migliore andamento nell'intorno dei pluviometri è giustificata dal fatto che nel caso si applicasse il metodo del MCM ad eventi distanti centinaia di chilometri verrebbero conservate le peculiarità locali di correlazione.

Riportiamo un esempio del calcolo della correlazione locali:

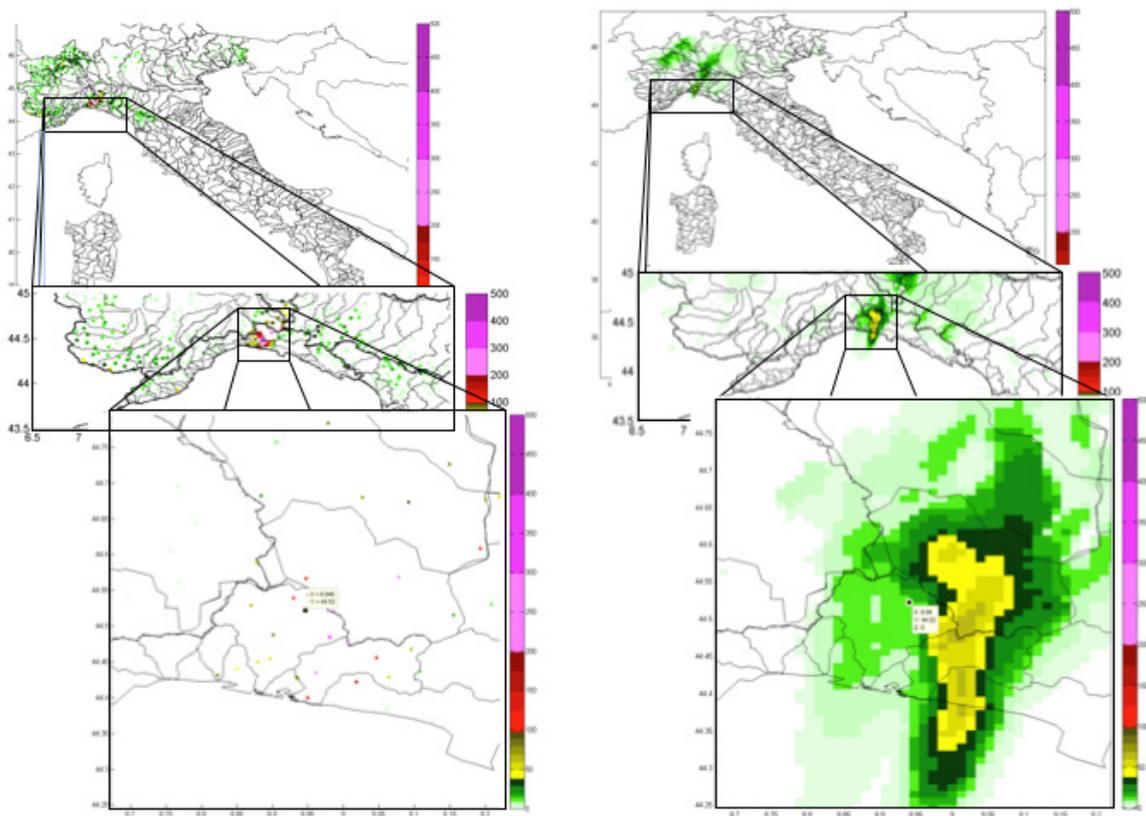


Figura 2: a destra si vede la finestra per il calcolo della correlazione locale (60x60 Km) centrata sulla posizione di un pluviometro. A sinistra si riporta lo stesso dominio definito precedentemente sulle osservazioni del campo radar.

Una volta calcolata la correlazione spaziale locale empirica del singolo pluviometro viene costruito il kernel di covarianza e la relativa lunghezza di correlazione che meglio approssima ne approssima l'andamento. Tale stima viene effettuata sulla base di una lunga serie di forme teoriche del kernel quali:

- sferica
- circolare

- lineare
- pentasferica
- cubica
- esponenziale
- stable
- whittle

Riportiamo di seguito un esempio dimostrativo della differenza che intercorre tra le diverse forme funzionali a parità di estensione del range:

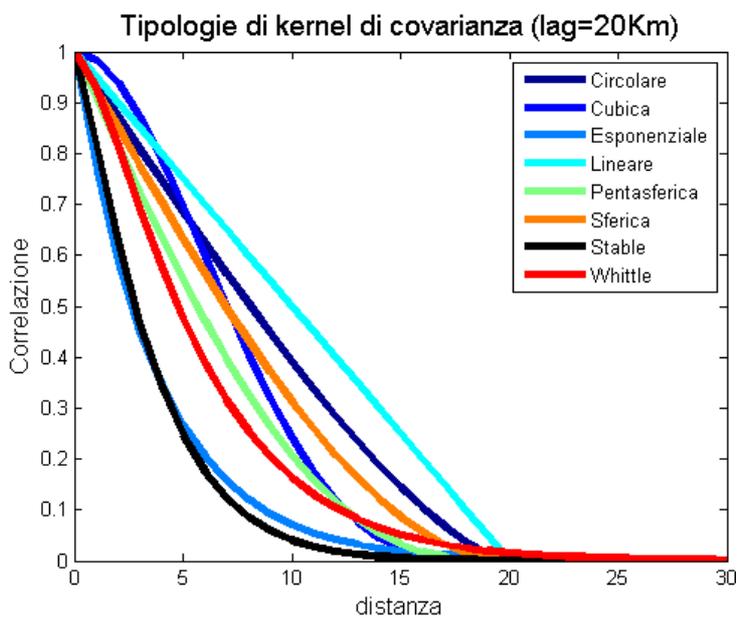


Figura 3: forme funzionali dei kernel di covarianza utilizzabili

Il calcolo delle singole correlazioni pluviometriche locali, come descritto precedentemente, trova ulteriore giustificazione di utilizzo andando a confrontare il kernel di covarianza stimato su un'unica finestra pari all'intero dominio, rispetto a quelli calcolabili centrando finestre di dimensioni inferiori su ogni pluviometro.

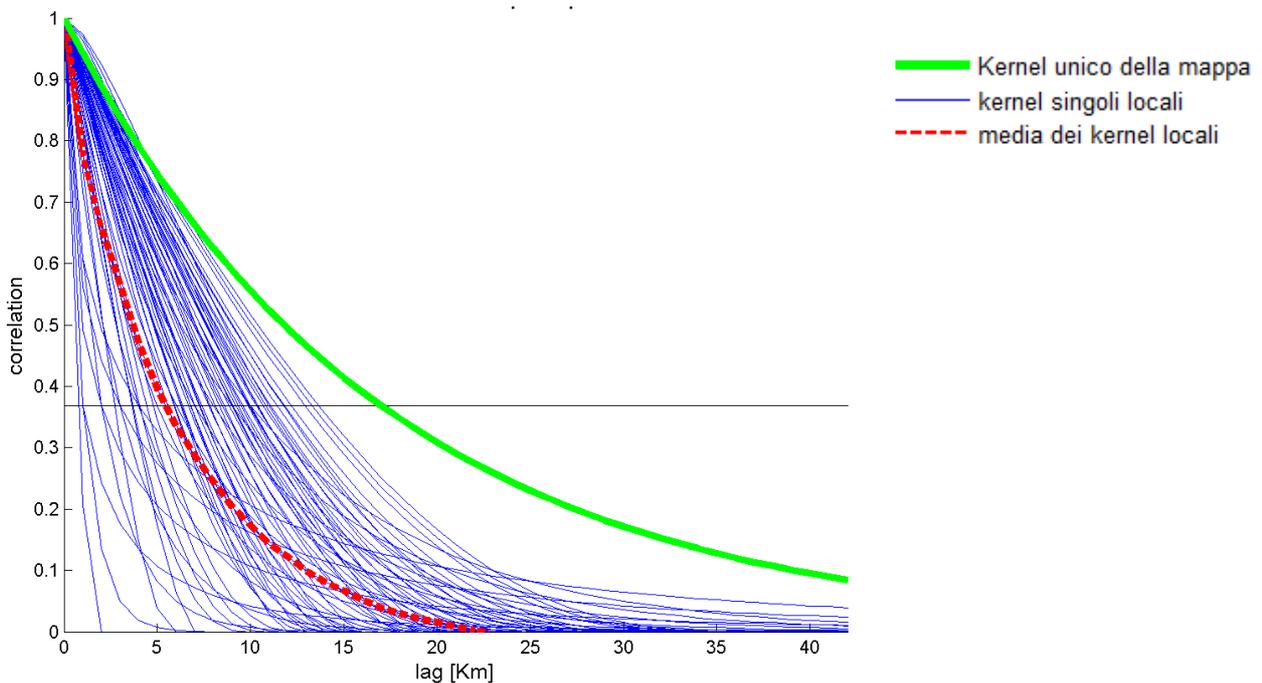


Figura 4: Andamento dei singoli kernel di covarianza locali

Come si può vedere in Figura 4 risulta evidente come ogni pluviometro relativamente alla sua posizione spazio-temporale, debba necessariamente avere la propria correlazione locale. Nel caso di sensori localizzati a distanze ridotte, le aree di competenza saranno in gran parte sovrapposte e di conseguenza le funzioni di correlazione saranno molto simili anche se non identiche. Inoltre la possibilità di definire localmente i nuclei di covarianza permette di scegliere le forme funzionali dei nuclei di covarianza che meglio ricalcano l'andamento "reale" stimato dalla mappa di precipitazione radar.

Le mappe di interpolazione ottenute con questi accorgimenti permettono di ridurre gli errori di spazializzazione sia per tipologie di eventi precipitativi distribuiti e uniformi sia soprattutto in caso di eventi convettivi molto localizzati.

Descrizione matematica del metodo del MCM

Come già accennato si utilizzano in input le osservazioni dei pluviometri e le stime dei campi di precipitazione radar. Le mappe derivanti da radar consentono di ottenere la struttura di covarianza del vero campo di precipitazione. Tali informazioni sono utilizzate per condizionare le limitate informazioni spaziali ottenibili dall'interpolazione pluviometrica.

Gli errori della stima di merging possono essere esaminati considerando le equazioni:

$$Z(s) = G_K(s) + \varepsilon_G(s)$$

Equazione 1: campo di precipitazione reale

$$R(s) = R_K(s) + \varepsilon_R(s)$$

Equazione 2: stima del campo radar

$$M(s) = G_K(s) + \varepsilon_R(s)$$

Equazione 3: stima di merging di Z(s).

$$E[Z(s) - M(s)] = E[\varepsilon_G(s) - \varepsilon_R(s)]$$

Equazione 4: valore atteso dell'errore di stima del campo di merging rispetto a quello reale

$$\begin{aligned} \text{var}[Z(s) - M(s)] &= \text{var}[\varepsilon_G(s) - \varepsilon_R(s)] \\ &= \sigma_{\varepsilon_G(s)}^2 + \sigma_{\varepsilon_R(s)}^2 \\ &\quad - 2\text{cov}[\varepsilon_G(s), \varepsilon_R(s)] \\ &= \beta - 2\sigma_{\varepsilon_G(s)}\sigma_{\varepsilon_R(s)}\rho \end{aligned}$$

Equazione 5: varianza dell'errore

$$\varepsilon_G(s) = Z(s) - G_K(s)$$

Equazione 6: varianza dell'errore decomposta

$$\begin{aligned} \varepsilon_R(s) &= R(s) - R_K(s) \\ \beta &= \sigma_{\varepsilon_G(s)}^2 + \sigma_{\varepsilon_R(s)}^2 \end{aligned}$$

Equazione 7: varianza limite del campo **dove:**

Z(s) è il campo di precipitazione reale nel punto s,

GK(s) è il campo interpolato derivante da pluviometri, stima del campo Z(s),

R(s) è la stima del campo radar,

RK(s) è il campo interpolato derivante dai valori radar nelle posizioni pluviometriche, stima del campo R(s),

M(s) è la stima di merging di Z(s).

Il termine $\varepsilon_G(s)$ è sconosciuto finché Z(s) rimane sconosciuto. $\varepsilon_R(s)$ è noto e, sulla base che R(s) è una misura di Z(s), l'equazione 3 viene utilizzata per la stima di Z(s). L'equazione 4 mostra che il

valore atteso dell'errore tra stima del campo di merging e il reale campo di precipitazione è 0 se i campi sono gaussiani. La varianza dell'errore stimato dato dall'equazione 5 può essere decomposta, come mostrato nell'equazione 6. La varianza dell'errore è 0 nei punti dove sono posizionati i pluviometri, mentre negli altri punti del campo è limitata ad un valore pari a β , per correlazioni positive tra $\varepsilon_G(s)$ e $\varepsilon_R(s)$. Se $\varepsilon_G(s)$ e $\varepsilon_R(s)$ sono fortemente correlate, come ci si può aspettare essendo sia quelle pluviometriche che quelle radar misure dello stesso campo $Z(s)$, la varianza dell'errore sarà significativamente minore di β , come suggerito dall'equazione 7.

Passaggi operativi del MCM

L'algorithmo si può quindi sintetizzare nei seguenti passaggi operativi:

- (a) Individuazione dei pluviometri fiduciari. Vengono utilizzati tutti i pluviometri della rete ufficiale del DPC che presentano serie di osservazioni continue nella finestra temporale scelta, in modo da non introdurre errori dovuti a letture per tempi differenti.

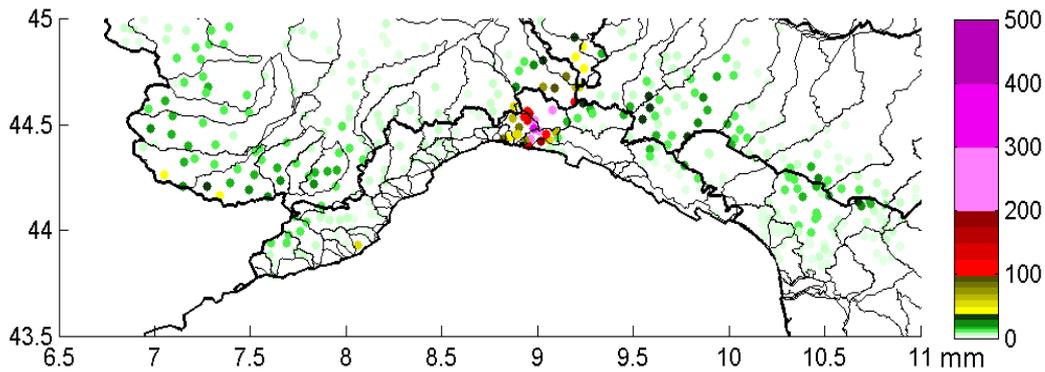


Figura 5: individuazione pluviometri fiduciari

- (b) Definizione del dominio radar contenente i pluviometri fiduciari. Tali dati possono essere opportunamente filtrati in modo da utilizzare solo la parte di mappe radar che non contengano evidenti errori di letture (es. beam blocking, ground clutter, ecc.)

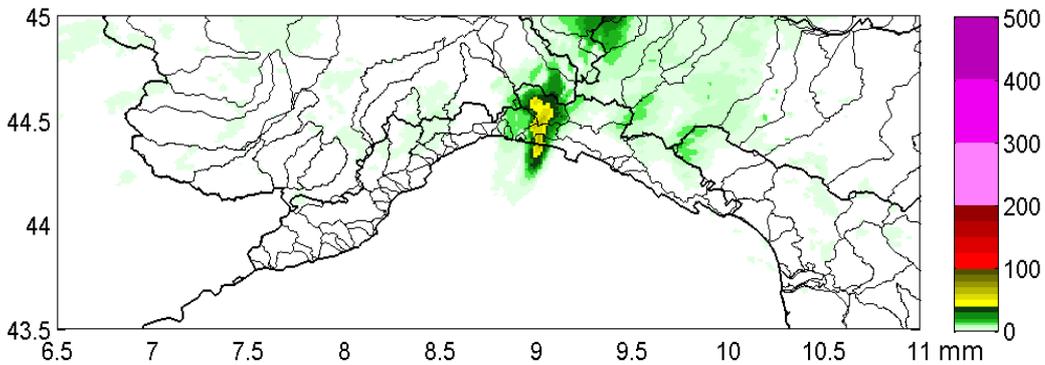


Figura 6: definizione del dominio radar

- (c) Costruzione della mappa di precipitazione interpolata con GRISO-piogge dai valori pluviometrici. Tale mappa verrà creata utilizzando le correlazioni e le forme del kernel locali derivanti dall'analisi dei campi radar.

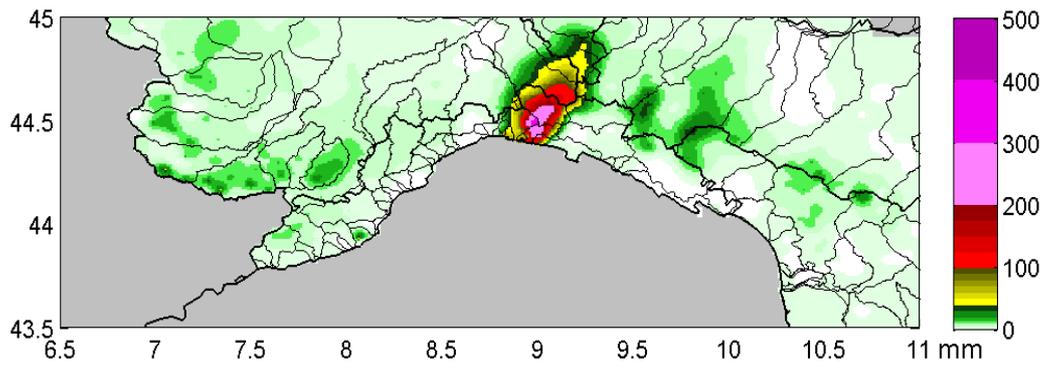


Figura 7: interpolazione GRISO da pluviometri

- (d) Generazione di un campo di pioggia analogo al punto precedente ma utilizzando i valori di osservazione radar nei punti pluviometrici.

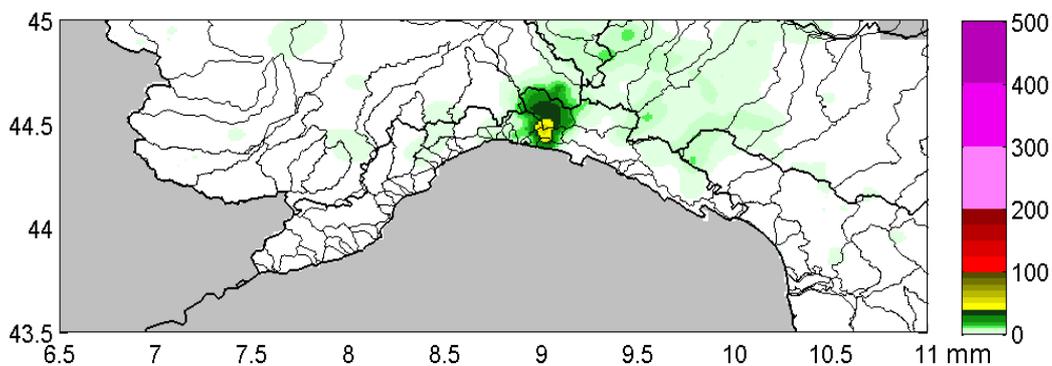


Figura 8: interpolazione GRISO da valori radar nei punti pluviometrici

- (e) Calcolo in ogni punto del dominio, delle differenze tra il campo di pioggia radar e il campo di pioggia calcolato al passo (d).

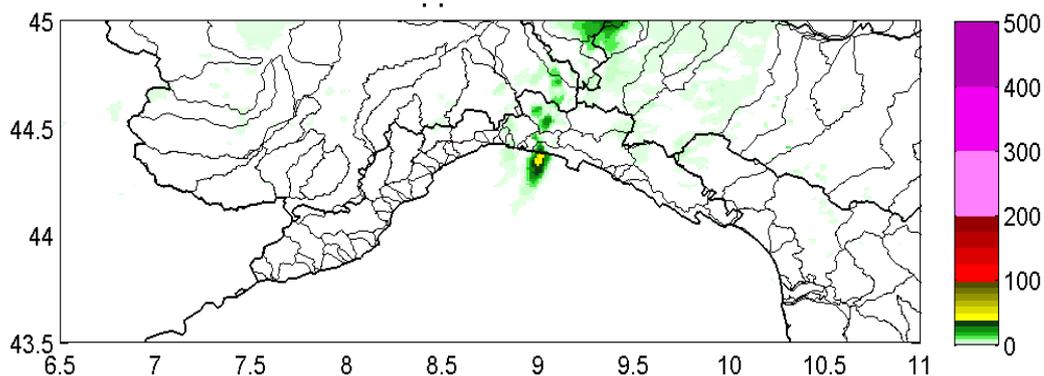


Figura 9: differenza tra mappa radar e campo GRISO radar

- (f) Somma delle differenze calcolate al passo (e) al campo di pioggia ottenuto dalle misure pluviometriche con la tecnica esposta al punto 1.

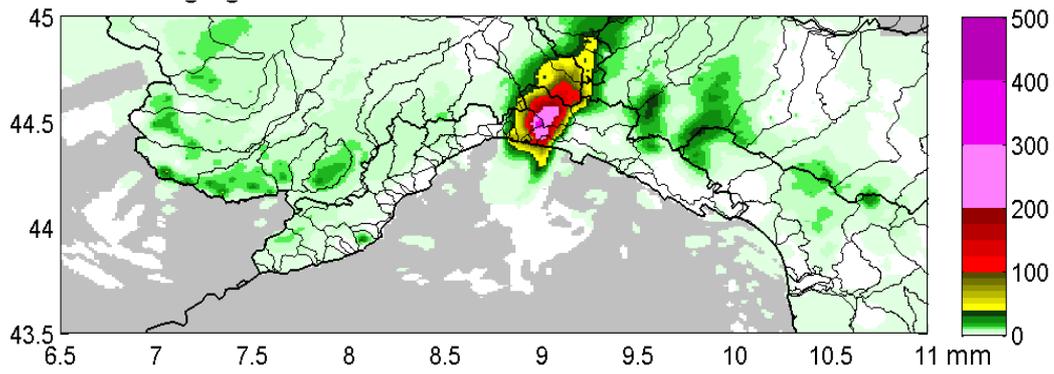


Figura 10: Campo modified conditional merging

Questa metodologia può essere applicabile anche aggiungendo informazioni derivanti da prodotti satellitari. In questa prima fase viene utilizzato il dato da piattaforma satellitare esclusivamente per la definizione di una maschera pioggia/non pioggia da applicare alle analisi.

Tempi di calcolo e Configurazioni operative di utilizzo

L'algoritmo, avendo lo scopo di utilizzo in tempo reale, è stato scritto in modo da avere tempi computazionali ridotti già in fase pre-operativa. Ad oggi, utilizzando un processore Intel(R) Core(TM)2 Quad CPU 2.83GHz e RAM 8 GB, si hanno prestazioni dell'ordine dei minuti.

L'algoritmo può essere utilizzato in due modalità:

1. Real-time a fini di monitoraggio: stima operativa del campo ottimo di precipitazione utilizzando gli ultimi dati a disposizione
2. Analisi e verifica di eventi passati: applicazione degli algoritmi al dataset operativo di Fondazione CIMA/Dipartimento

Ad oggi è stato ultimato il lavoro necessario per la visualizzazione e consultazione delle mappe/eventi sia real-time che passati sulla piattaforma Dewetra. Le uscite dei suddetti algoritmi permettono infatti il salvataggio a database dei raster necessari per la visualizzazione sulla piattaforma.

Per quanto concerne la stima operativa del campo di precipitazione occorre specificare che ricercando sia la velocità computazionale che l'accuratezza della mappa sono state definite due differenti modalità di esecuzione degli algoritmi per perseguire entrambe le caratteristiche richieste. In questo modo si utilizza innanzitutto la stima in tempi più rapidi per una prima mappa di precipitazione che poi verrà sostituita con la stima del campo più accurata.



Figura 11: Caratteristiche necessarie nella stima multi-sensore del campo di precipitazione

Gli algoritmi sono stati infatti schedulati a frequenze orarie sincrone secondo due modalità distinte:

- Configurazione 1: imposizione delle strutture di correlazione a priori. In tale modo la stima risulta computazionalmente più rapida utilizzando però una struttura del campo standard che non rispecchia in pieno le caratteristiche spaziali locali.
- Configurazione 2: stima delle strutture di correlazione. In tale modo la stima della struttura spaziale risulta localmente più accurata, tuttavia questo comporta un maggiore tempo computazionale.

La schedulazione delle corse dei modelli è quella descritta in Figura 12 e ed è operativa da circa un anno.

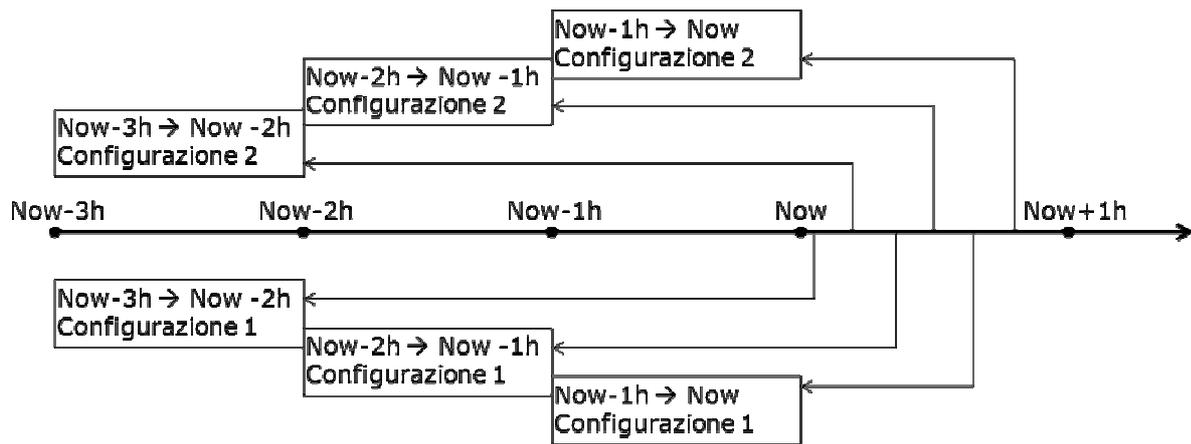


Figura 12: schema operativo di generazione delle mappe di stima multi-sensore del campo di precipitazione

Al momento è stato quindi schedato che nell'arco dell'ora vengono effettuate le stime dei campi nelle due configurazioni descritte relativamente a cumulate orarie dell'ultima ora, della penultima e di quella precedente ancora, in modo da avere campi che utilizzano tutti i dati a disposizione (anche laddove dovessero essere disponibili in ritardo).

Validazione del modello

Ad oggi è in via di rifinitura la validazione del modello. Inizialmente si è pensato ad una cross-validazione, ovvero l'utilizzo di una parte dei dati per l'applicazione del metodo ed una parte per il test dei risultati. Tale metodo di validazione può portare però a risultati contraddittori in quanto maggiore è il numero di dati utilizzati come controllo, minore sarà la veridicità della mappa di precipitazione stimata. Viceversa utilizzare la maggior parte dei dati nello sviluppo della stima di precipitazione fornisce un migliore risultato, ma non ci sono poi numero sufficiente di osservazioni valide per la validazione.

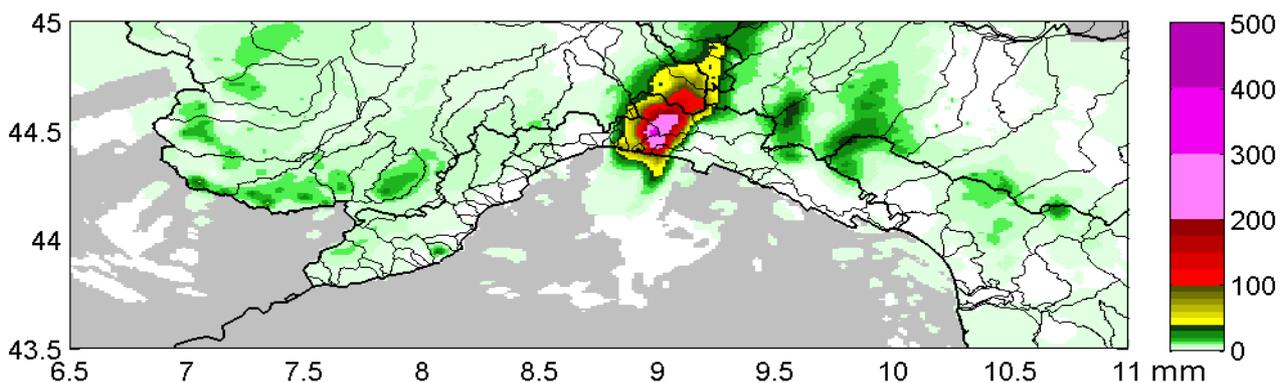
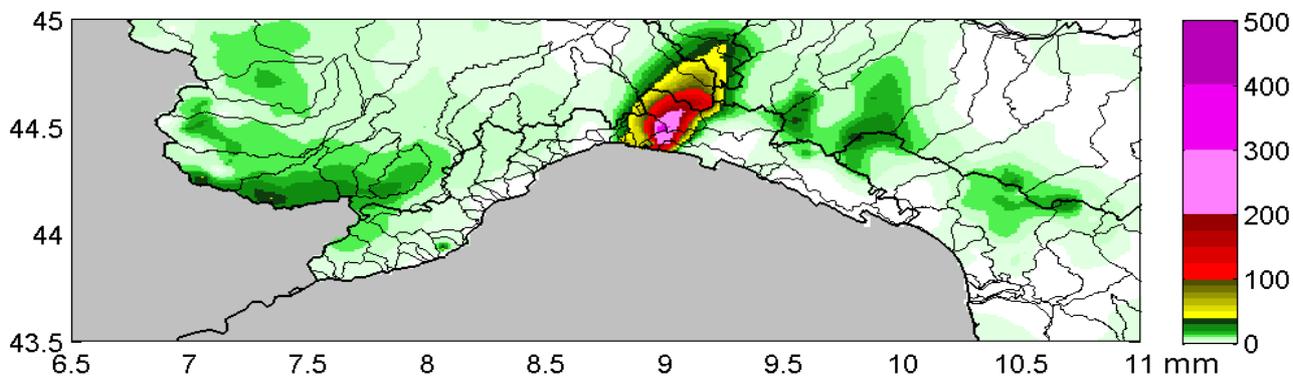
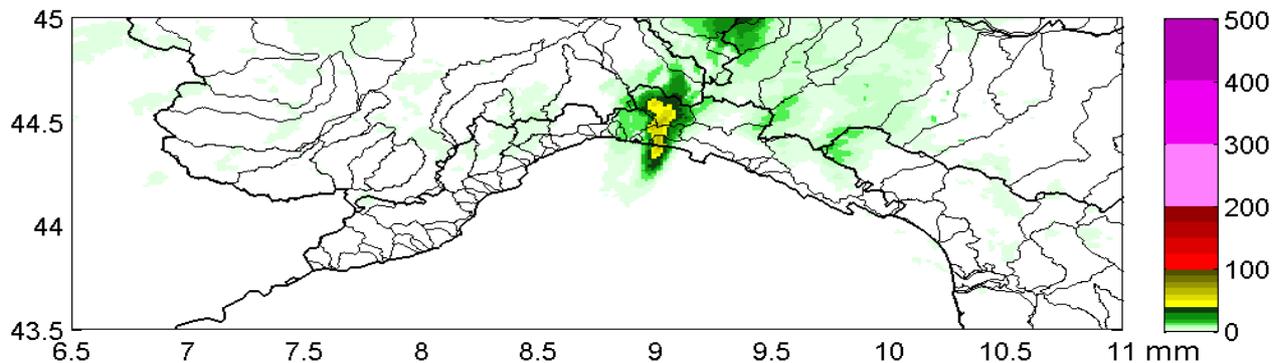
Si è pensato allora ad una validazione di tipo idrologico utilizzando gli output del Modified Conditional merging come input di un modello idrogeologico, quindi verificare e comparare i risultati rispetto ad altri input e osservazioni di deflussi.

La sperimentazione è in corso di svolgimento e i risultati saranno presentati in un prossimo futuro.

Esempi di utilizzo

Evento su Genova del 04 novembre 2011 (cumulata 6 ore)

L'applicazione del MCM su questo evento con una finestra temporale di 6 ore e un dominio spaziale limitato alla Liguria, ha richiesto un tempo computazionale totale di circa 2 minuti.



Evento su La Spezia del 25 ottobre 2011 (cumulata 6 ore)

L'applicazione del MCM su questo evento con una finestra temporale di 6 ore e un dominio spaziale limitato alla Liguria.

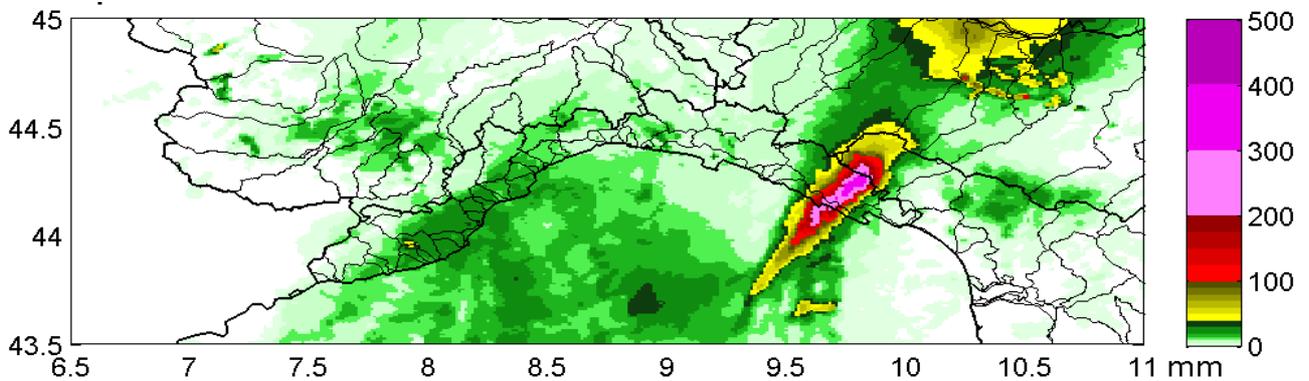


Figura 16: campo radar cumulato 6 ore da 201110251000 a 201110251600

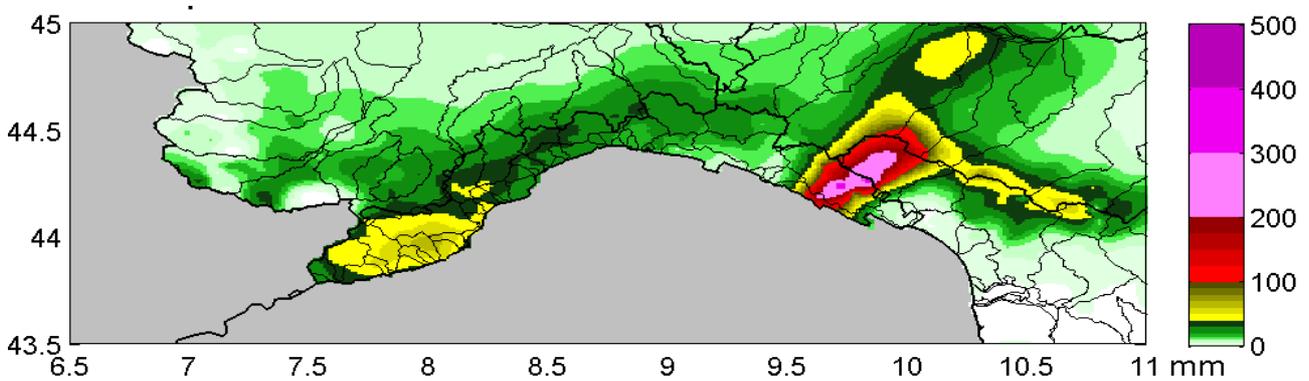


Figura 17: pluviometrico GRISO-pioggie cumulato 6 ore da 201110251000 a 201110251600

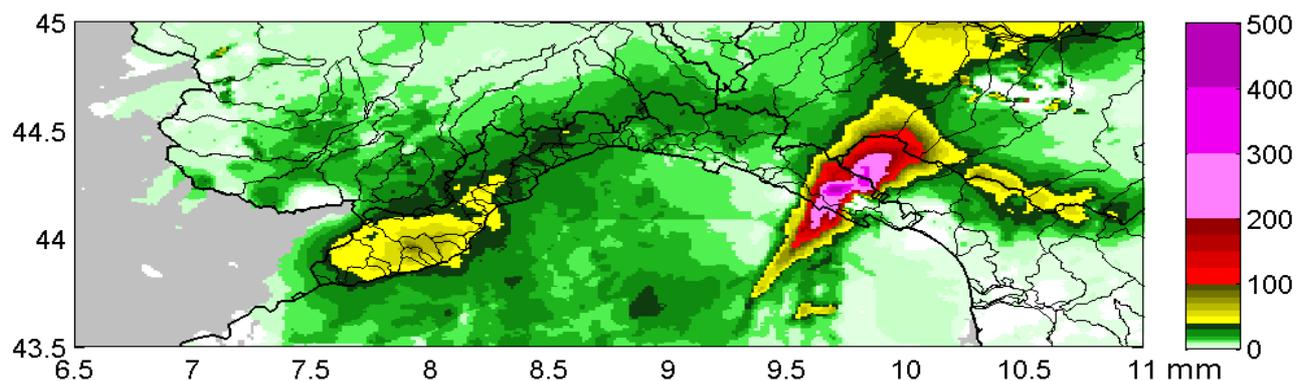


Figura 18: Modified Conditional Merging cumulato 6 ore da 201110251000 a 201110251600

Evento su nord Italia del 13 luglio 2011 (cumulata 24 ore)

L'applicazione del MCM su questo evento con una finestra temporale di 24 ore e un dominio spaziale esteso al nord Italia.

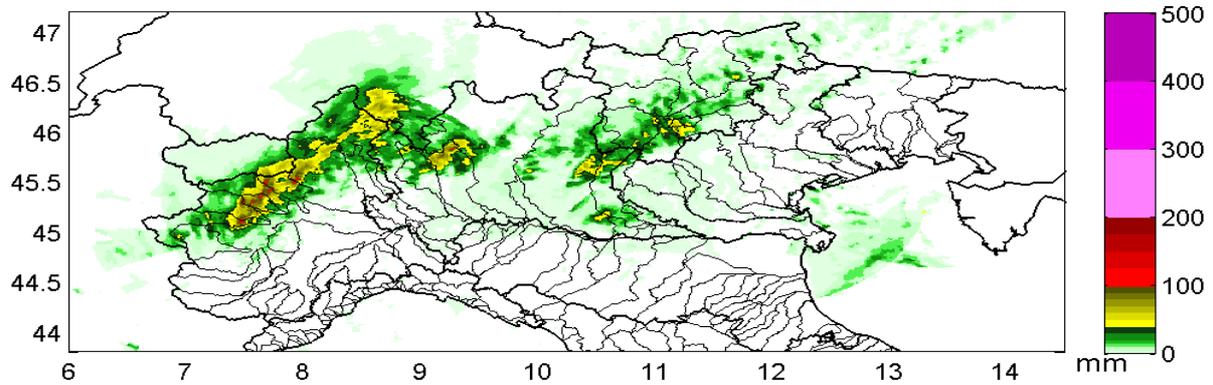


Figura 19: campo radar cumulato 24 ore da 201107130000 a 201107140000

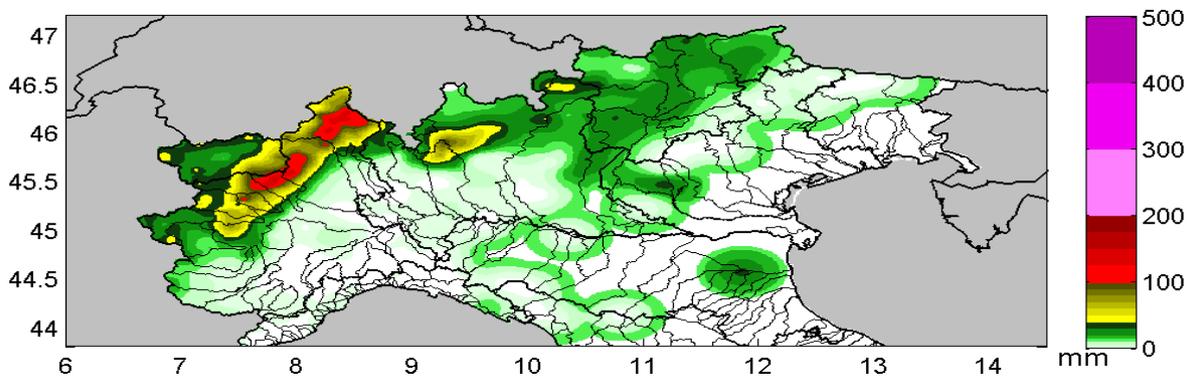


Figura 20: pluviometrico GRISO-pioggie cumulato 24 ore da 201107130000 a 201107140000

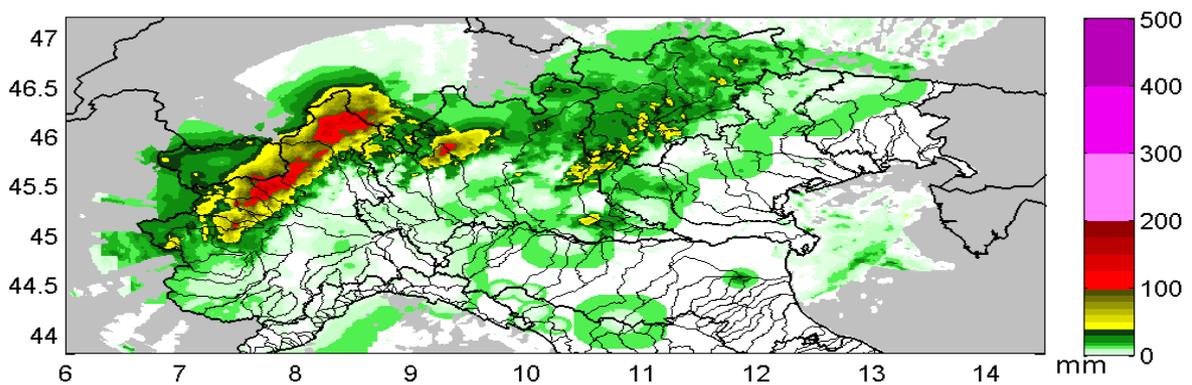


Figura 21: Modified Conditional Merging cumulato 24 ore da 201107130000 a 201107140000

Evento su centro Italia del 27 luglio 2011 (cumulata 24 ore)

L'applicazione del MCM su questo evento con una finestra temporale di 24 ore e un dominio spaziale esteso al centro Italia.

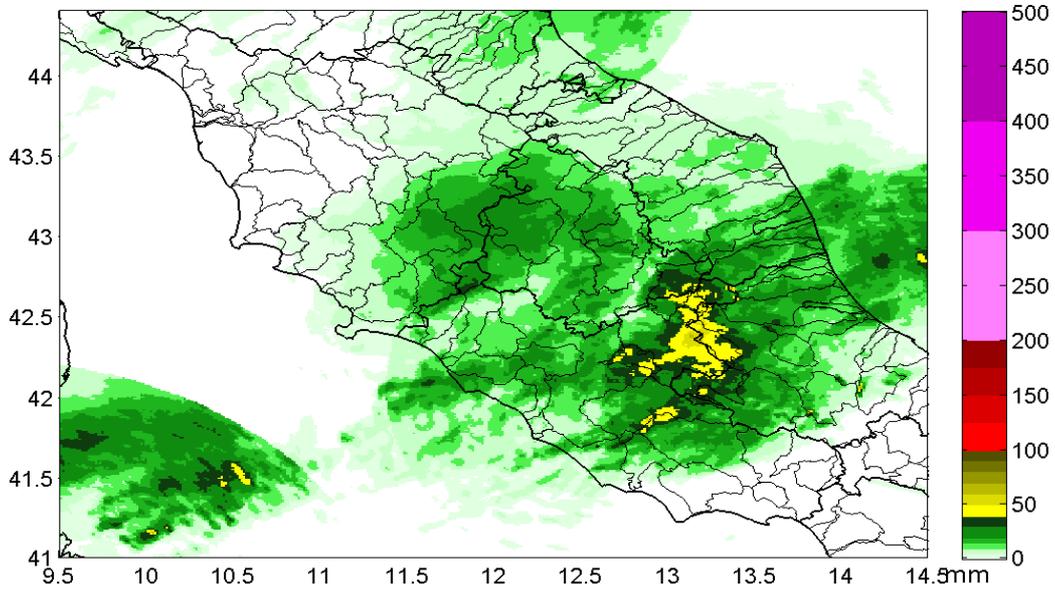


Figura 22: campo radar cumulato 24 ore da 201107270000 a 201107280000

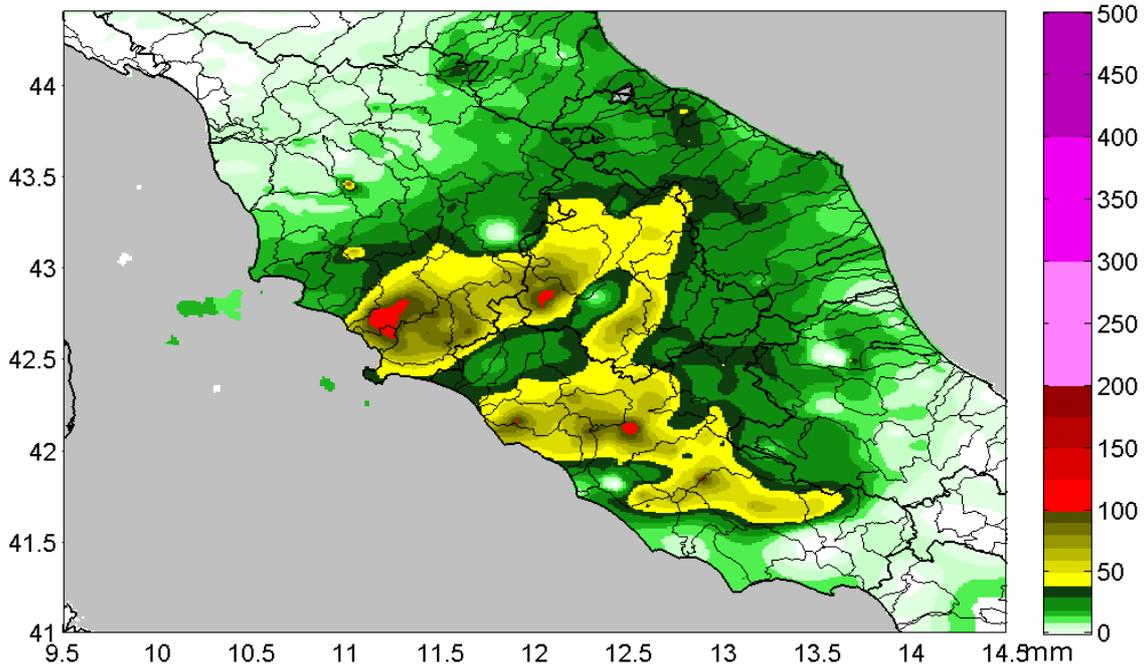
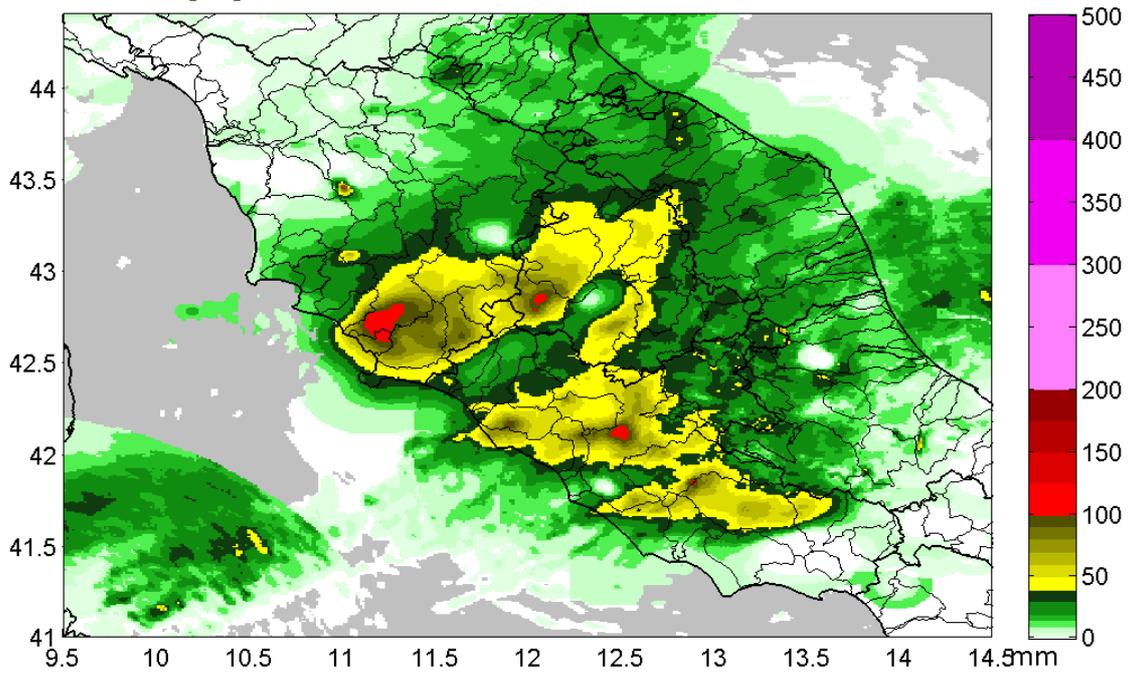


Figura 23: interpolato pluviometrico GRISO-pioggie cumulato 24 ore da 201107270000 a 201107280000



Evento su sud Italia del 22 novembre 2011 (cumulata 24 ore)

L'applicazione del MCM su questo evento con una finestra temporale di 24 ore e un dominio spaziale esteso al sud Italia.

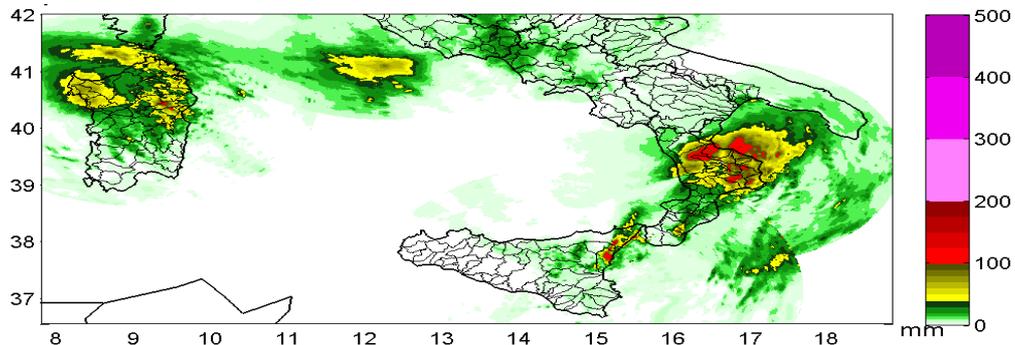


Figura 25: campo radar cumulato 24 ore da 201111220000 a 201111230000

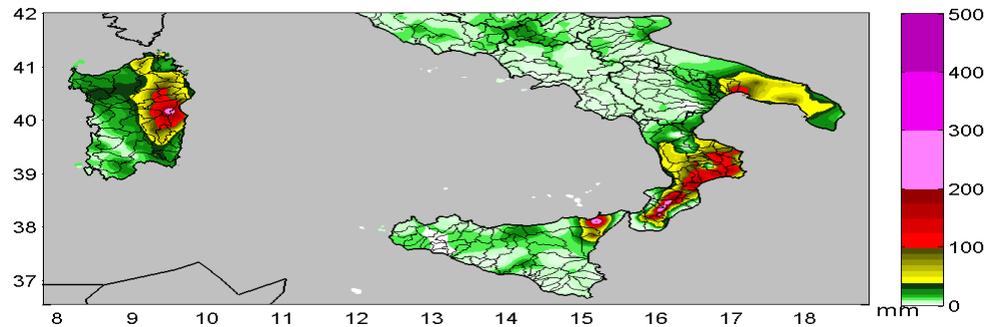


Figura 26: interpolato pluviometrico GRISO-piogge cumulato 24 ore da 201111220000 a 201111230000

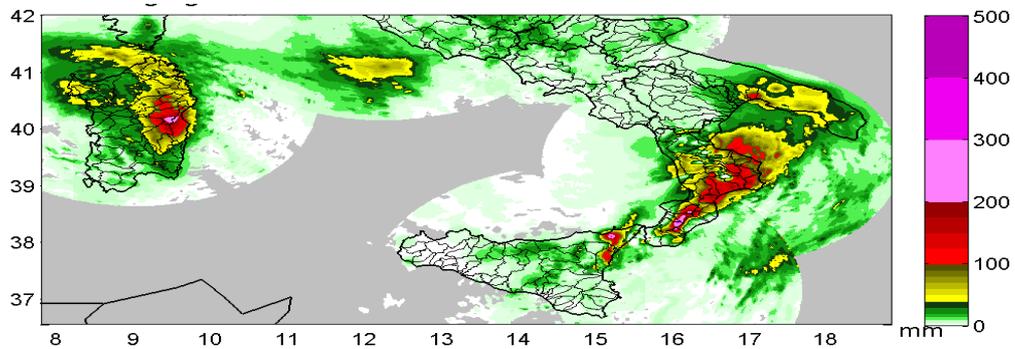


Figura 27: Modified Conditional Merging cumulato 24 ore da 201111220000 a 201111230000