

Modellistica numerica meteo-marina e verifica delle previsioni all'ISPRA: il Sistema Idro-Meteo-Mare



Marco Casaioli, Stefano Mariani

**ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine – Settore Idrologia**



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

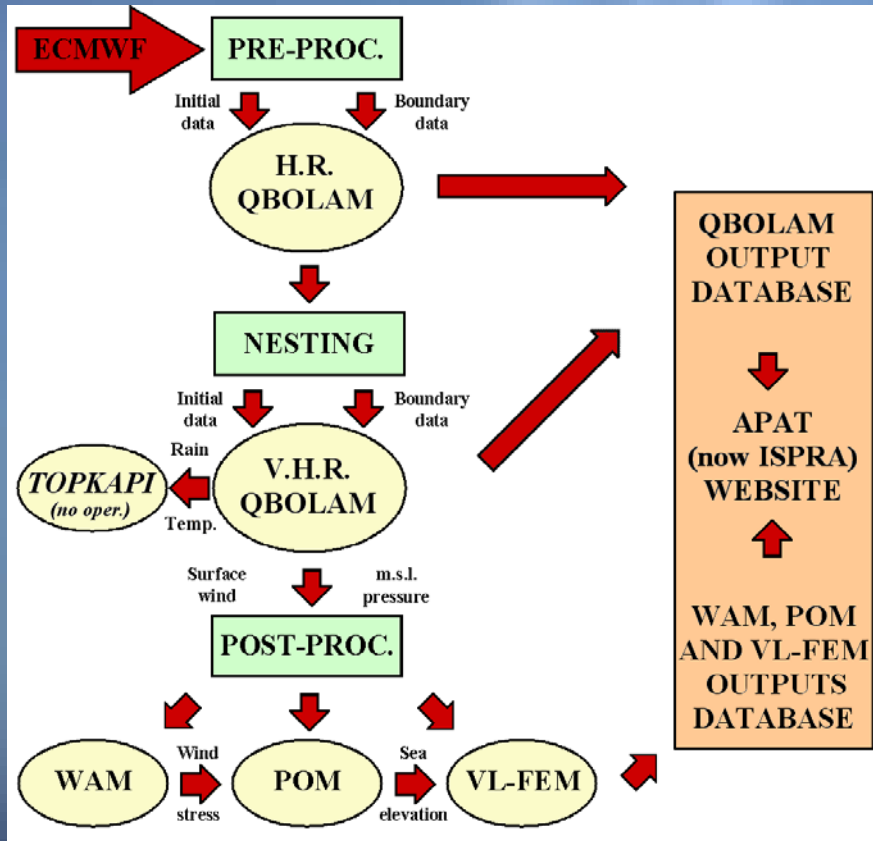
Indice

- 1) Il Sistema Idro-Meteo-Mare: finalità, struttura ed evoluzione (2000-2009)
- 2) Verifica delle previsioni del SIMM: precipitazioni, vento marino, acqua alta
- 3) Tecniche avanzate: *object-oriented methods*, verifica multi-metodo, verifica idro-meteo

Competenze ISPRA e modellistica

- Tra le competenze del Dipartimento Acque Interne e Marine dell'ISPRA figurano:
 - la modellistica meteo-idrologica e marina
 - lo sviluppo di metodologie utili per l'attività operativa (Sistema Agenziale)
 - la raccolta di dati ambientali
- In particolare, il Settore Idrologia ha ereditato le funzioni nazionali dell'ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale:
 - Metodi e standard per l'analisi statistica delle serie idrologiche e l'analisi post-evento, anche tramite modellistica idro-meteorologica
 - Dati osservativi (anche storici) per mappe idro-meteorologiche, utili per il monitoraggio idrologico e per la verifica delle previsioni idro-meteo

Il Sistema Idro-Meteo-Mare dell'ISPRA



Il **SIMM** è un sistema integrato per la previsione idro-meteorologica e marina nel Bacino del Mediterraneo, con lo scopo di rappresentare i processi dinamici dalla scala globale alla scala locale di moto.

Nasce alla fine degli anni'90 presso il DSTN, con la collaborazione di ENEA e CNR.

È finalizzato alla previsione dell'acqua alta a Venezia, senza trascurare le altre applicazioni (idrologiche, ondametrichi ecc.) permesse dall'integrazione della catena previsionale.

Alto costo computazionale ⇒ supercalcolo parallelo (QUADRICS)

Impieghi del SIMM e attività correlate

- Metodologie per la verifica in configurazione di servizio / di ricerca
- Eventi estremi sul Mediterraneo e loro fenomenologia
- Valutazione ed evoluzione delle risorse idriche
- Modellistica idro-meteorologica accoppiata (previsioni di piena)
- Ricostruzione multi-sensore del campo di precipitazione
- Previsioni meteo-marine per l'ottimizzazione delle rotte navali, la stima del potenziale eolico, la difesa dall'inquinamento (oil spills)
- Attività operative (Servizio Laguna di Venezia, missione Libano)

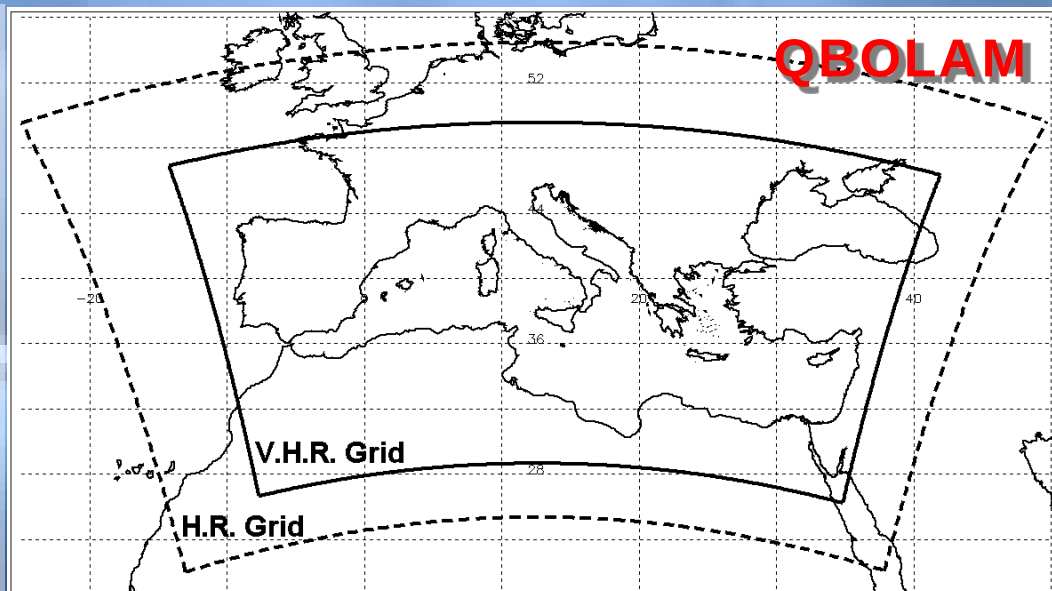
Progetti Europei: INTERREG II C siccità/alluvioni, HYDROPTIMET, VOLTAIRE, SEDEMED, CRUE, NETWET II, FORALPS, MEDEX, MAP D-PHASE, HYDROCARE, MIPAIS

Il modello meteorologico: QBOLAM

BOLAM è un modello meteorologico ad area limitata (LAM), idrostatico, alle differenze finite, sviluppato presso l'ISAC-CNR di Bologna.

QBOLAM ne è l'implementazione su piattaforma parallela QUADRICS, sui domini mostrati in figura:

- Dominio “padre” (HR) a 30 km
- Dominio “figlio” (VHR) a 10 km



Configurazione operativa

Input HR: Analisi (h12 UTC) e forecast del modello globale ECMWF a 50 km, fornite dal CNMCA dietro convenzione (FTP tramite linea telefonica dedicata)

Run HR: 60 ore (giorno 0, h12 UTC → giorno 3, h00 UTC)

Input VHR: previsioni modello “padre” (nesting) con sfasamento di 12 ore (spin-up)

Run VHR: 48 ore (giorno 1, h00 UTC → giorno 3, h00 UTC).

Il modello meteorologico: QBOLAM (II)

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \vec{\nabla} \cdot \vec{u} = 0 \quad \text{eq. conservazione massa}$$

$$\frac{D\vec{u}}{Dt} + 2\vec{\Omega} \times \vec{u} = -\frac{\vec{\nabla} p}{\rho} + \vec{g} + \vec{F} \quad \text{eq. momento}$$

$$c_p \frac{DT}{Dt} - \alpha \frac{Dp}{Dt} = Q \quad \text{eq. termodinamica}$$

$$p = \rho RT \quad \text{eq. di stato}$$

dove $\frac{D}{Dt} \equiv \frac{\partial}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \vec{\nabla})$ è la derivata totale.

Il modello risolve sul grigliato la versione discretizzata delle equazioni del moto e termodinamiche (vento, pressione, temperatura, umidità: medie su *grid box*)

L'uso dell'eq. idrostatica è corretto almeno fino ai 10km di passo.

Principali schemi di parametrizzazione:

- Scambi radiativi (visibile e infrarosso)
- Precipitazione stratiforme (*large-scale*)
- Precipitazione convettiva (cumulonembo)
- Turbolenza nello strato limite (primi 2 km)
- Suolo (flussi di calore e umidità)

$$\frac{Du}{Dt} = -\frac{1}{\rho a \cos \varphi} \frac{\partial p}{\partial \lambda} + \left(f + \frac{u \tan \varphi}{a} \right) v + F_\lambda$$

$$\frac{Dv}{Dt} = -\frac{1}{\rho a} \frac{\partial p}{\partial \varphi} - \left(f + \frac{u \tan \varphi}{a} \right) u + F_\varphi$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g$$

dove $f = 2|\vec{\Omega}| \sin \varphi$ è il parametro di Coriolis e

$u = a \cos \varphi \dot{\lambda}$, $v = a \dot{\varphi}$, $w = \dot{r}$ sono le componenti di velocità rispetto agli assi λ, φ, r ($= a + z$).

Il modello ondametrico: WAM

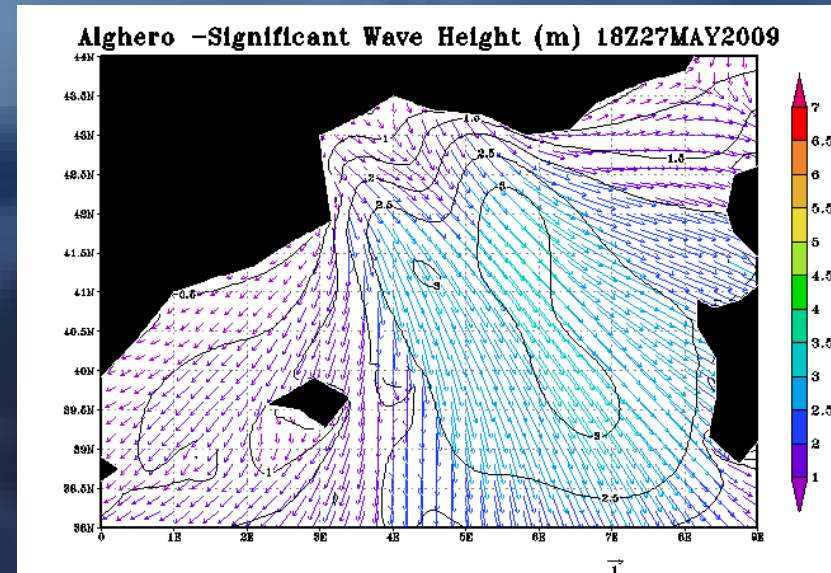
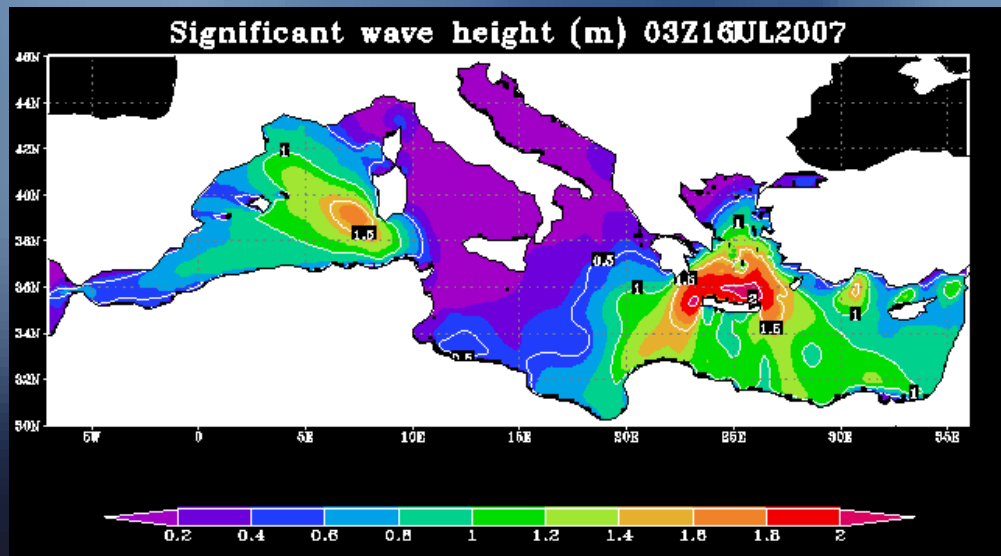
WAM (WAve Model) è un modello spettrale per la previsione dello stato del mare: prevede l'evoluzione dello spettro delle onde (altezza e direzione) a partire dalla propagazione dell'energia del moto ondoso.

Nel SIMM, WAM è implementato su tutto il Mediterraneo con passo di 10 km.

Richiede in ingresso il vento superficiale previsto da BOLAM (forzatura).

Fornisce in uscita l'altezza d'onda significativa e la direzione del moto ondoso, assieme ad altri parametri che caratterizzano lo spettro delle onde.

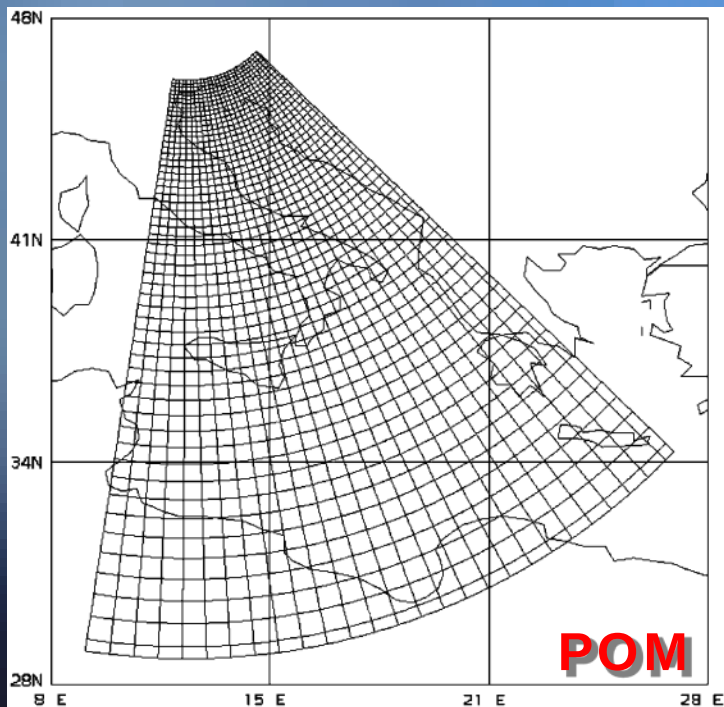
La durata della simulazione corrisponde a quella del BOLAM "figlio".



I modelli mareografici POM e VL-FEM

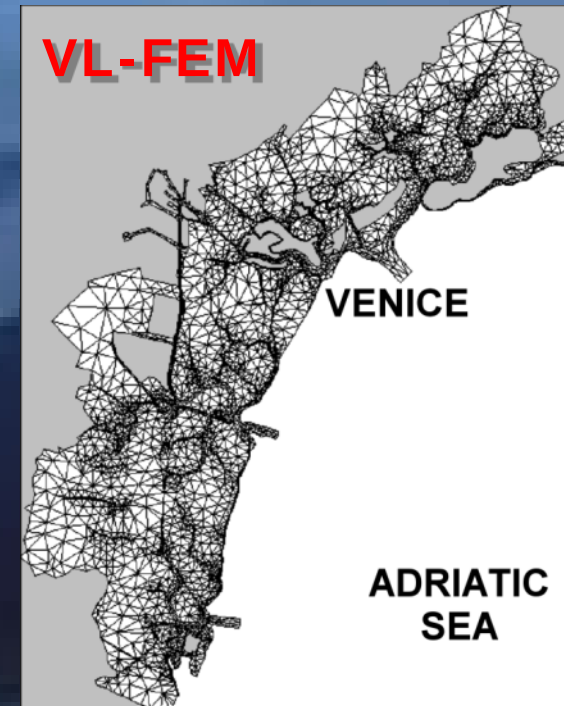
POM (Princeton Ocean Model) è un modello di circolazione marina, implementato nel SIMM in versione bidimensionale (*shallow water*) per la previsione dell'elevazione della superficie marina sull'Adriatico (mareografia).

La forzatura è costituita dal vento di BOLAM, dalle onde di WAM e dalla marea astronomica. La porzione esterna del dominio (Ionio, Golfo della Sirte) serve a fornire le condizioni al contorno (elevazione sul Canale d'Otranto). La griglia si infittisce progressivamente sull'Adriatico, da Sud verso Nord.



VL-FEM è un modello *shallow-water* agli elementi finiti sulla Laguna di Venezia, ad altissima risoluzione, per la previsione dei fenomeni di acqua alta.

Le condizioni al contorno sono fornite da POM sulle tre bocche di porto della Laguna.



Sviluppo del SIMM (2000-oggi)

- Verifica (spec. piogge) su casi studio e serie continue (2 anni su tutt'Italia), entro vari progetti europei $\Rightarrow$ caratterizzazione degli errori di QBOLAM
- 2005-06: Passaggio alla piattaforma ALTIX 350 (MIMD): nuova parallelizzazione di QBOLAM
- Accoppiamento col modello idrologico TOPKAPI
- Reintroduzione della convezione di Kain-Fritsch $\Rightarrow$ database di *reforecast* decennale; partecipazione al Demonstration Operation Period di MAP D-PHASE
- 2007-08: nuova versione seriale di BOLAM: sperimentazione in configurazione di ricerca
- 2009: Parallelizzazione del BOLAM aggiornato ed integrazione operativa nel SIMM (contratto di ricerca con ISAC-CNR BO)

QBOLAM

VS.

BOLAM 2009

$u, v, q, \theta, p_s;$

LIVELLI SIGMA

VARIABILI D'INTEGRAZIONE;

LIVELLI VERTICALI

u, v, q, θ, p_s

+ 5 IDROMETEORE;

LIVELLI IBRIDI

FORWARD-BACKWARDS
ADVECTION SCHEME

SCHEMA DI AVVEZIONE

WEIGHTED AVERAGE FLUX

KUO

PAGE

LOUIS

2 LIVELLI +1

PARAMETRIZZAZIONI:

CONVEZIONE

RADIAZIONE

TURBOLENZA

SUOLO

KAIN-FRITSCH

GELEYN + MORCRETTE

E- $\int$

MOLOCH (3 LIVELLI +1)

Sviluppi:

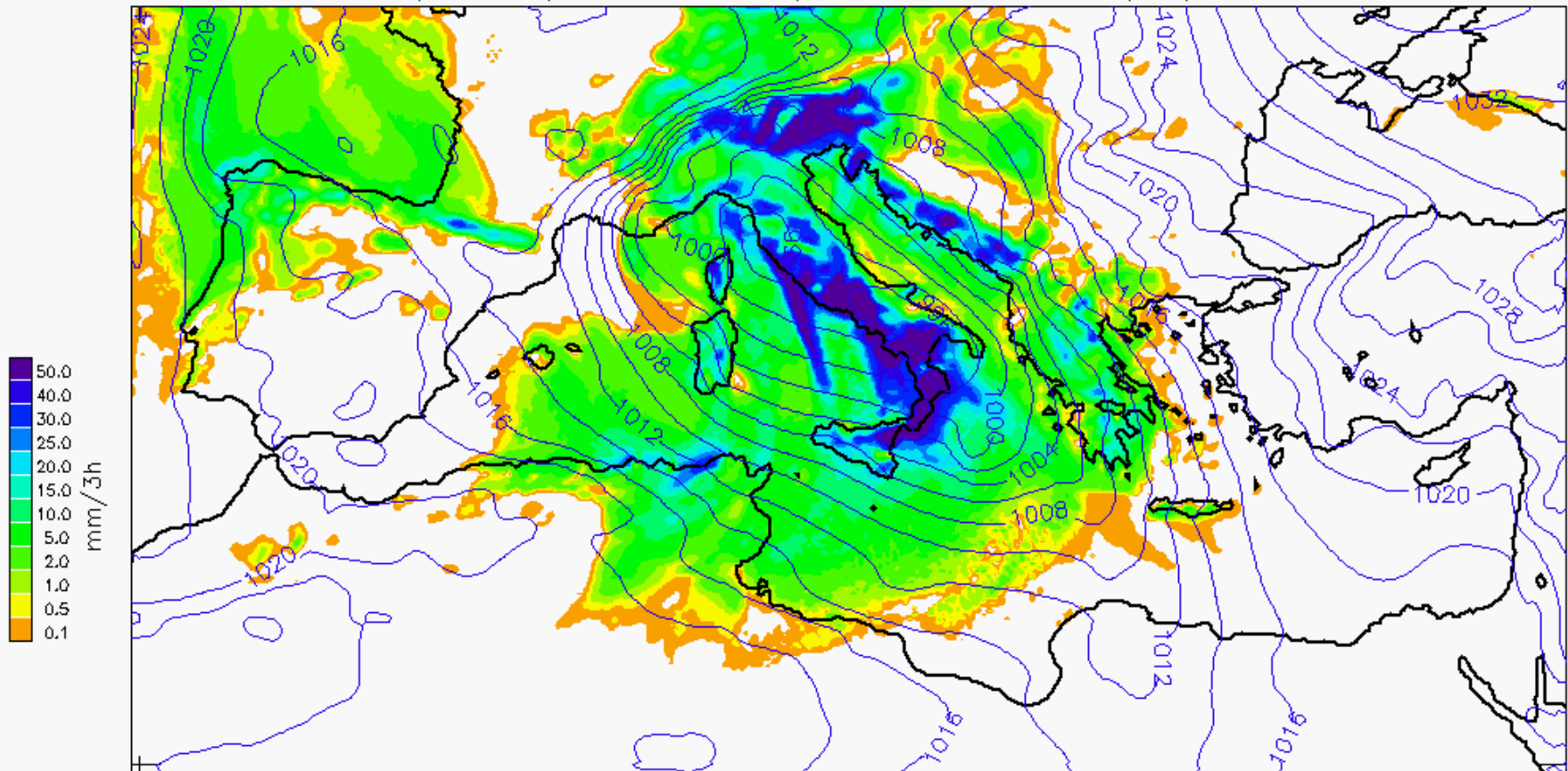
- Incremento risoluzione, estensione dominio, durata run
- Miglioramento modelli marini in cascata; nuovi moduli

Verifica del PBOLAM 2009 (evento 12/2008)

Caso studio: piena del Tevere del Dicembre 2008

- Le differenze con BOLAM 2007 sono compatibili con lo sviluppo del codice
- La versione 2009 riduce l'eccessivo approfondimento orografico del ciclone

pb09eol pressione s.l.m. per le 00 UTC del 12/12/2008

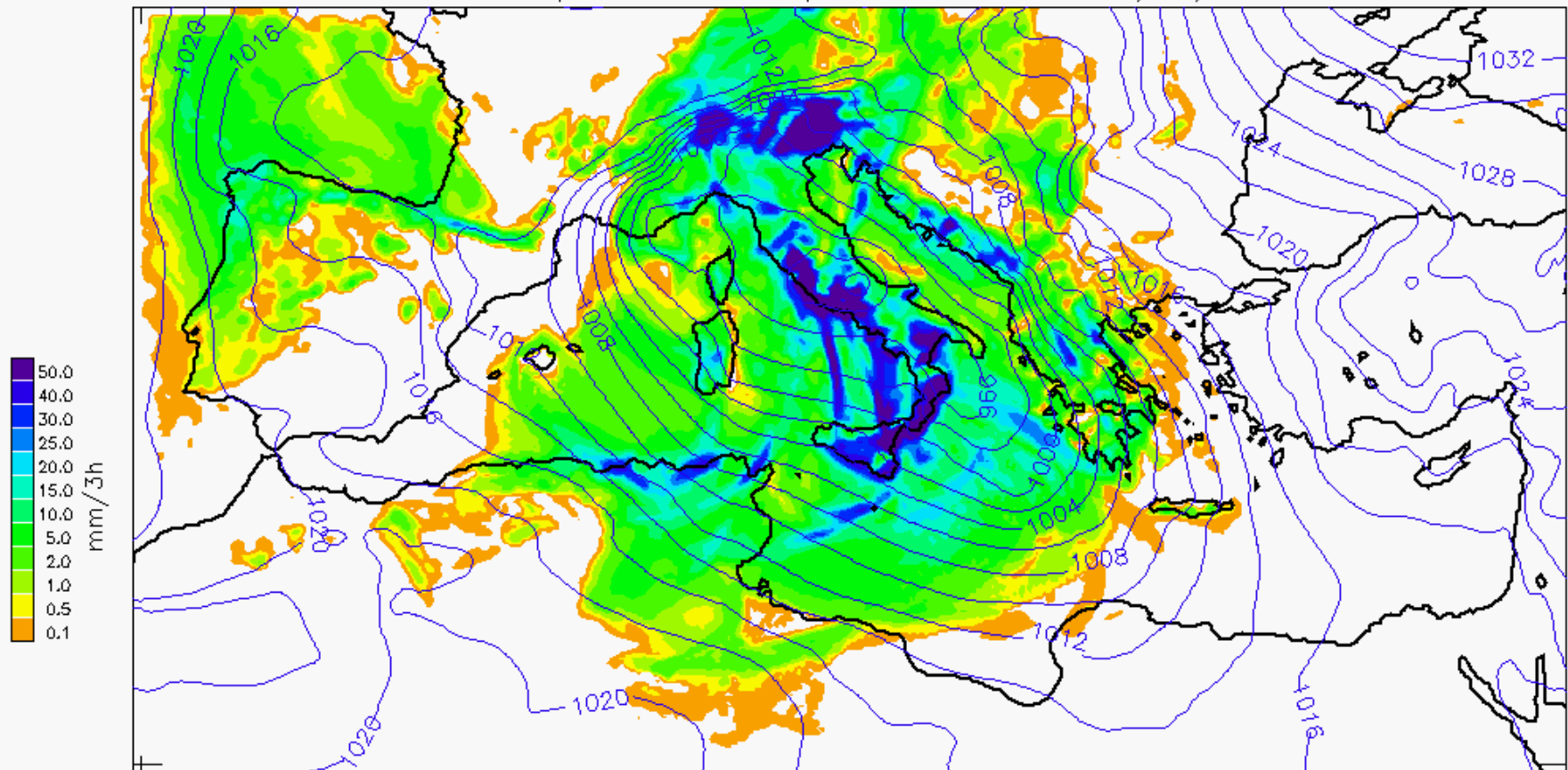


Verifica del PBOLAM 2009 (evento 12/2008)

Caso studio: piena del Tevere del Dicembre 2008

- Le differenze con BOLAM 2007 sono compatibili con lo sviluppo del codice
- La versione 2009 riduce l'eccessivo approfondimento orografico del ciclone

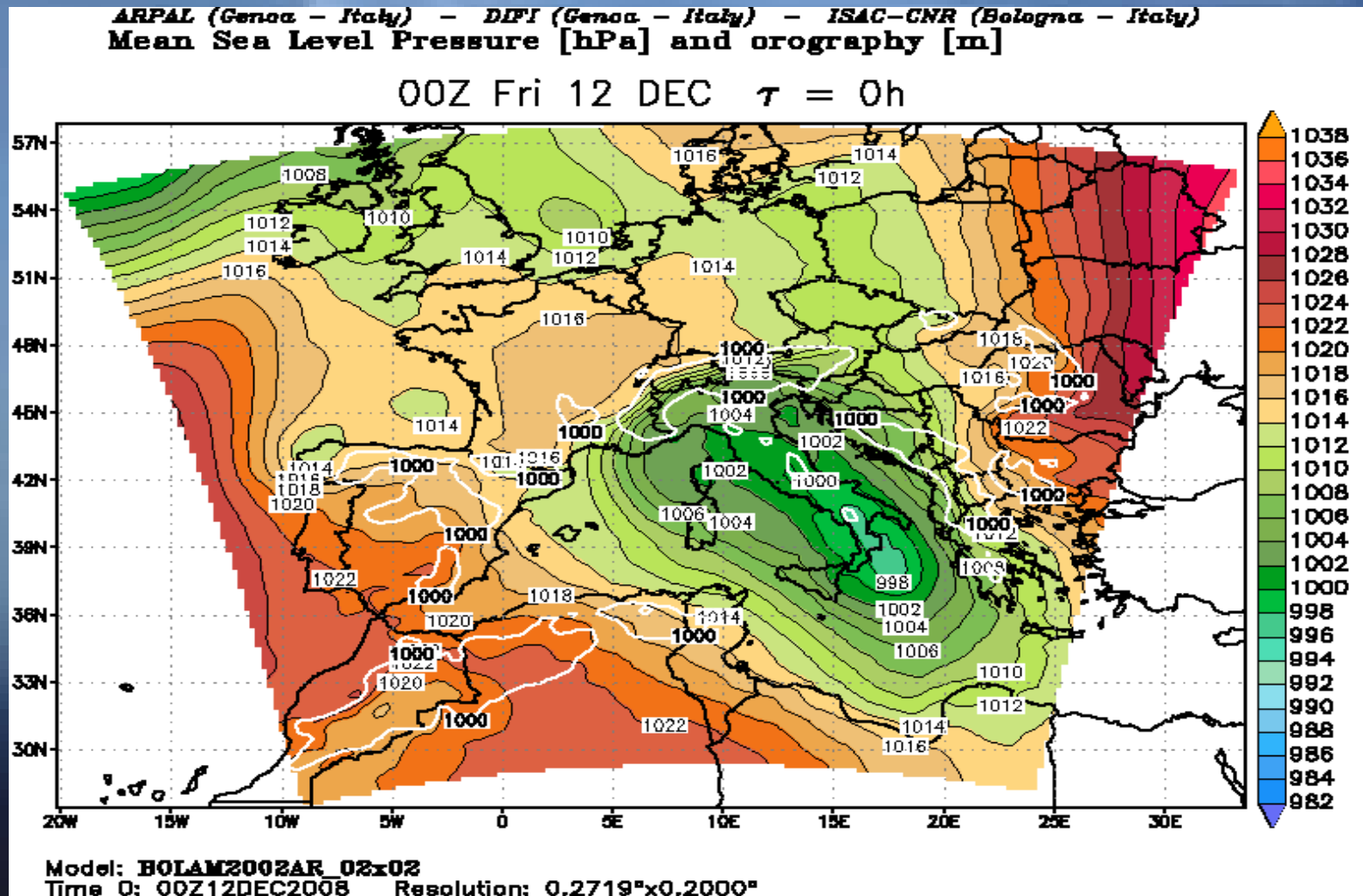
BOLAM07 pressione s.l.m. per le 00 UTC del 12/12/2008



Verifica del PBOLAM 2009 (evento 12/2008)

Caso studio: piena del Tevere del Dicembre 2008

- Le differenze con BOLAM 2007 sono compatibili con lo sviluppo del codice
- La versione 2009 riduce l'eccessivo approfondimento orografico del ciclone





ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Seconda Parte

- **Verifica dei prodotti del SIMM**

NB: attività fino a luglio 2003 condotta presso l'IFA/ISAC CNR di Roma



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

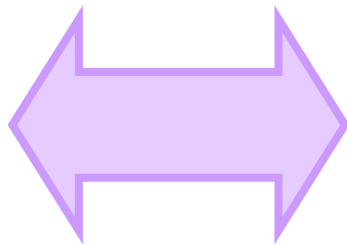
Forecast verification: componente essenziale di ogni sistema previsionale (Murphy e Winkler, 1987) che fornisce una valutazione *a posteriori* della qualità e del valore della previsione numerica f rispetto alla “corrispondente” osservazione o .

Cosa stiamo realmente confrontando?

Una approssimazione numerica dell'atmosfera (valori areali)

vs.

una buona stima dello stato “reale” dell'atmosfera (e.g., valori puntuali da reti standard).





ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

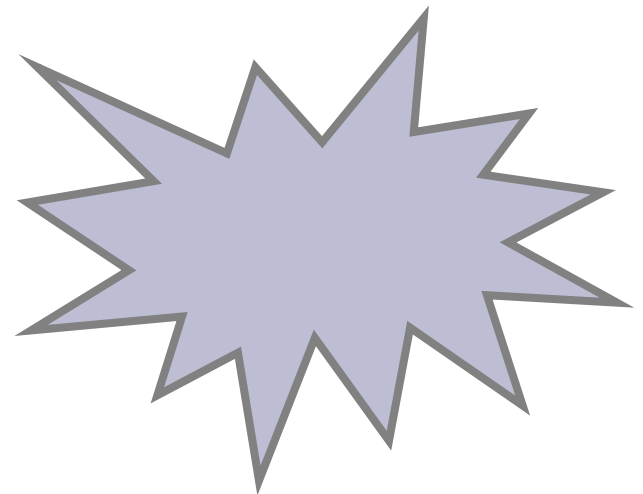
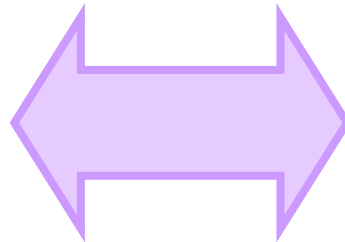
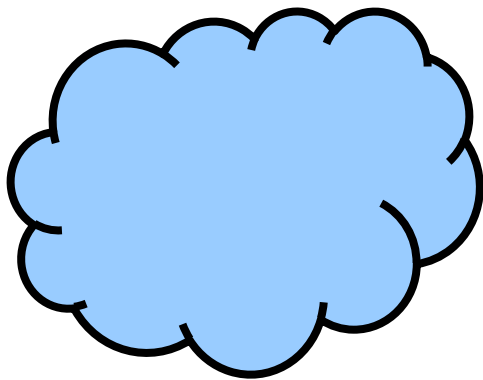
Forecast verification: componente essenziale di ogni sistema previsionale (Murphy e Winkler, 1987) che fornisce una valutazione *a posteriori* della qualità e del valore della previsione numerica f rispetto alla “corrispondente” osservazione o .

Cosa stiamo realmente confrontando?

Una approssimazione numerica dell'atmosfera (valori areali)

vs.

una buona stima dello stato “reale” dell'atmosfera (e.g., valori puntuali da reti standard).



→ Una corretta verifica richiede che le osservazioni e le previsioni siano interpolate ottimamente alla stessa scala

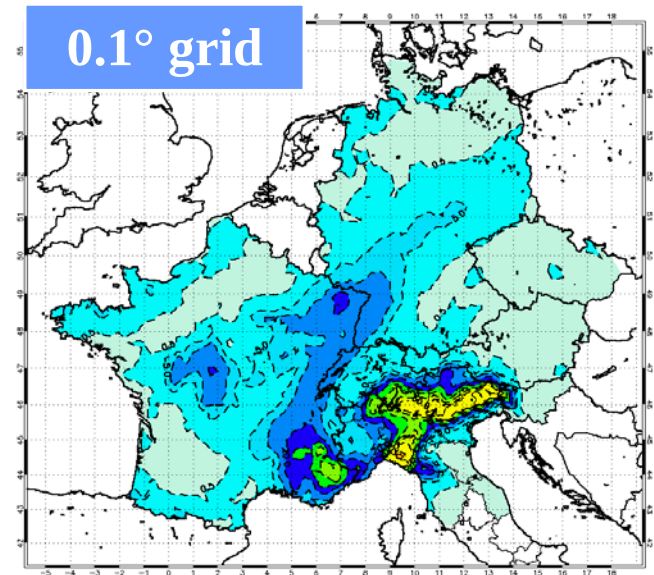
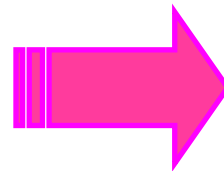
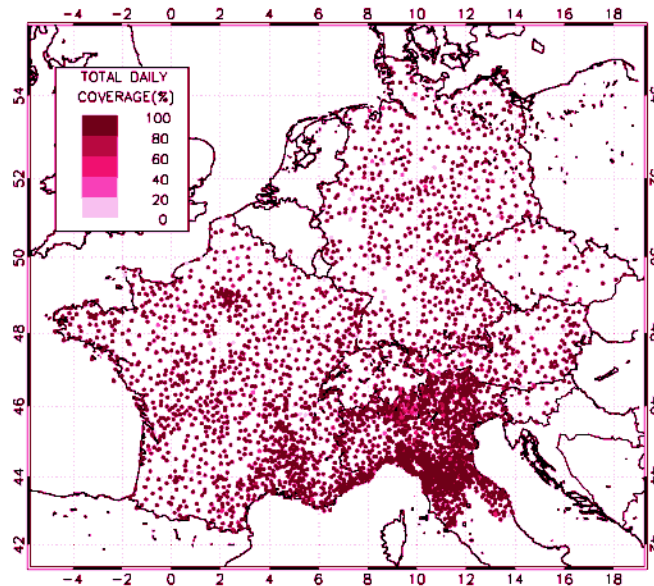
La rappresentatività dei campi messi a confronto (*o* vs. *f* – *o* vs. *competing f*) deve essere presa in considerazione prima di applicare qualsiasi tipo di verifica:

Errore di rappresentatività (Tustison et al. 2001): $\varepsilon_t = \varepsilon_m + \varepsilon_o + \varepsilon_I$

Osservazioni Schema di Barnes (1964, 1973) a 2 passi:

$$f_A^{(1)}(x) = f_A^{(0)}(x) + \sum_{k=1}^K w_{k'} [f_O(x_k) - f_A^{(0)}(x_k)],$$

dove $f_O(x_k)$ è la pioggia misurata dal k-esimo pluviometro e $f_A^{(0)}(x) = \sum_k w_k f_O(x_k)$ è l'analisi al primo passo, essendo w_k e $w_{k'}$ i pesi di tipo gaussiano.



→ Una corretta verifica richiede che le osservazioni e le previsioni siano interpolate ottimamente alla stessa scala

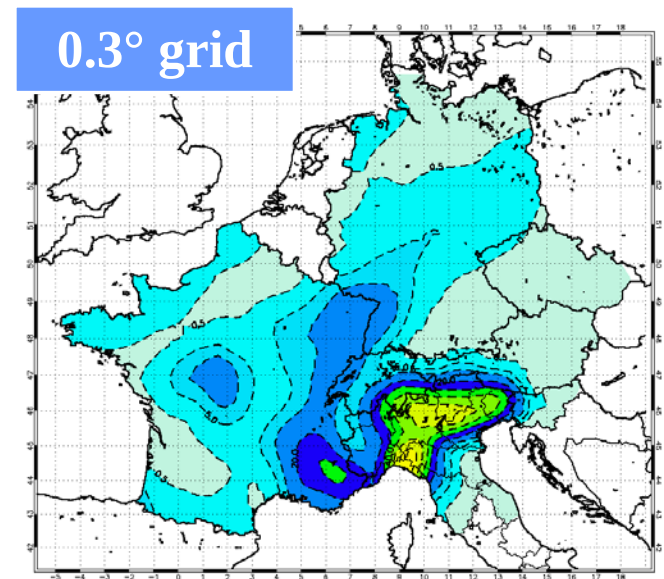
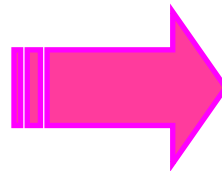
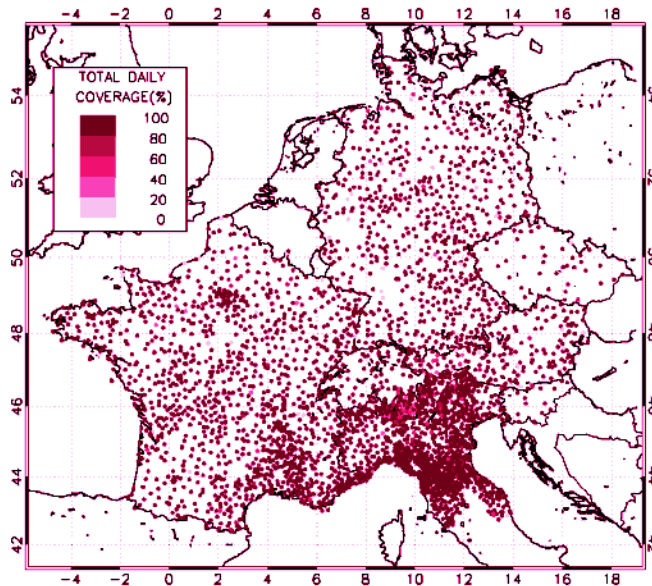
La rappresentatività dei campi messi a confronto (*o* vs. *f* – *o* vs. *competing f*) deve essere presa in considerazione prima di applicare qualsiasi tipo di verifica:

Errore di rappresentatività (Tustison et al. 2001): $\varepsilon_t = \varepsilon_m + \varepsilon_o + \varepsilon_I$

Osservazioni Schema di Barnes (1964, 1973) a 2 passi:

$$f_A^{(1)}(x) = f_A^{(0)}(x) + \sum_{k=1}^K w_{k'} [f_O(x_k) - f_A^{(0)}(x_k)],$$

dove $f_O(x_k)$ è la pioggia misurata dal k-esimo pluviometro e $f_A^{(0)}(x) = \sum_k w_k f_O(x_k)$ è l'analisi al primo passo, essendo w_k e $w_{k'}$ i pesi di tipo gaussiano.



→ Una corretta verifica richiede che le osservazioni e le previsioni siano interpolate ottimamente alla stessa scala

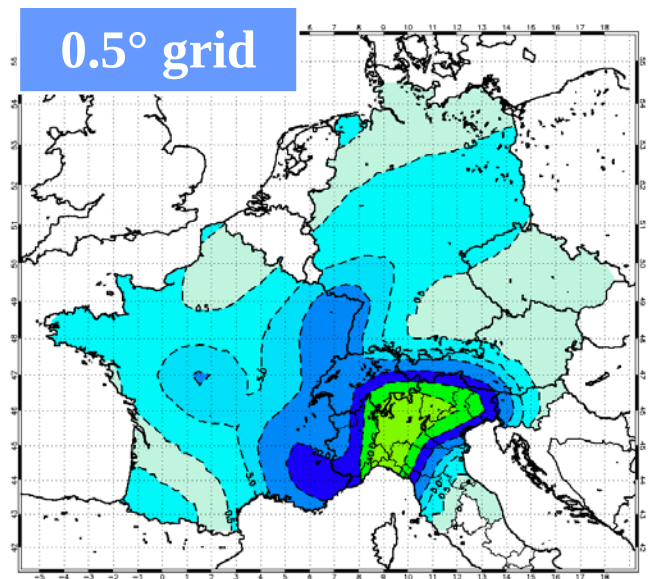
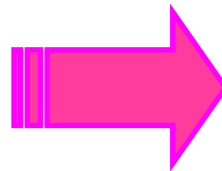
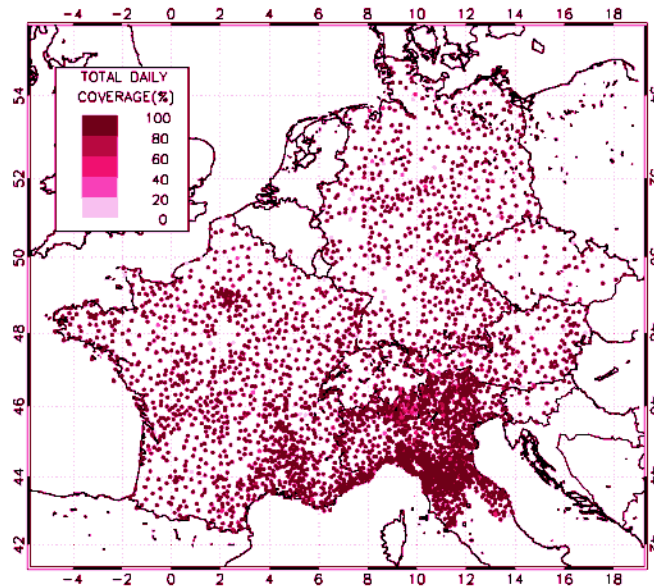
La rappresentatività dei campi messi a confronto (*o* vs. *f* – *o* vs. *competing f*) deve essere presa in considerazione prima di applicare qualsiasi tipo di verifica:

Errore di rappresentatività (Tustison et al. 2001): $\varepsilon_t = \varepsilon_m + \varepsilon_o + \varepsilon_I$

Osservazioni Schema di Barnes (1964, 1973) a 2 passi:

$$f_A^{(1)}(x) = f_A^{(0)}(x) + \sum_{k=1}^K w_{k'} [f_O(x_k) - f_A^{(0)}(x_k)],$$

dove $f_O(x_k)$ è la pioggia misurata dal k-esimo pluviometro e $f_A^{(0)}(x) = \sum_k w_k f_O(x_k)$ è l'analisi al primo passo, essendo w_k e $w_{k'}$ i pesi di tipo gaussiano.





ISPRA

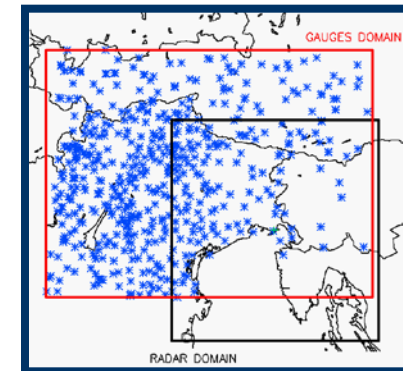
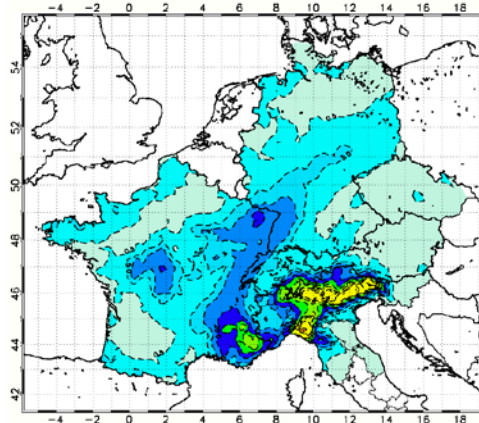
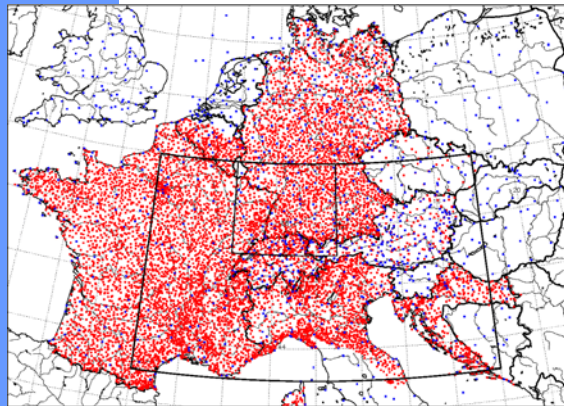
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

WG VER

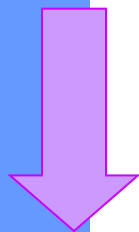
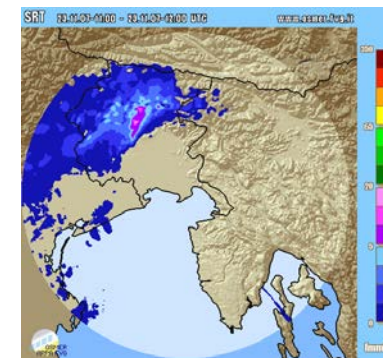


Barnes analysis

Mariani et al. ICAM 2009



+

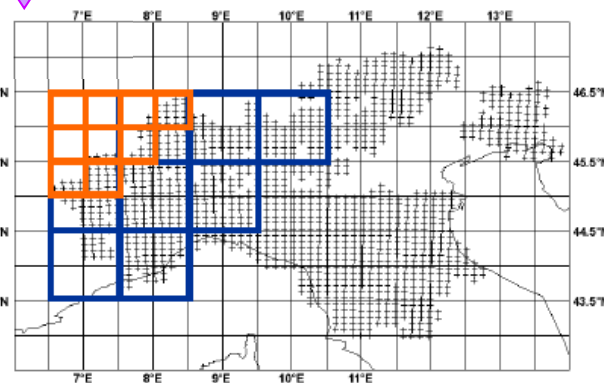
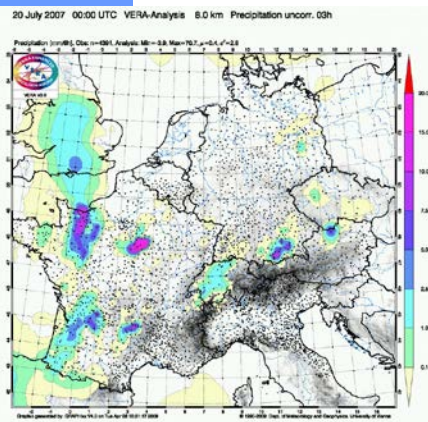


Upscaling

(mean, max, med, perc)

Marsigli et al.,

ICAM 2009

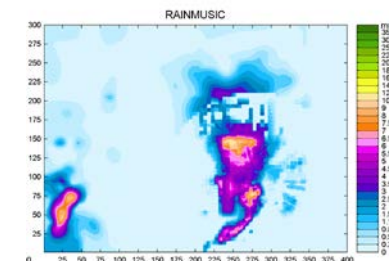


VERA analysis

Gorgas & Doring,
4th Int. Verif. Meth. WS

RainMusic Combination

Mariani et al.
P4.9





ISPRA

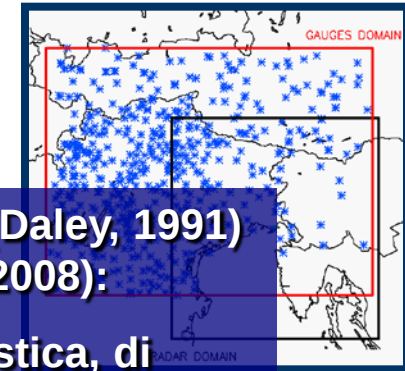
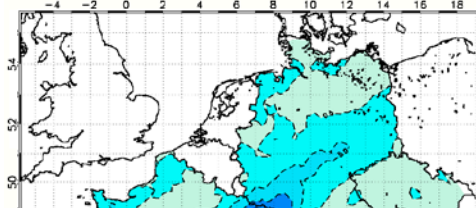
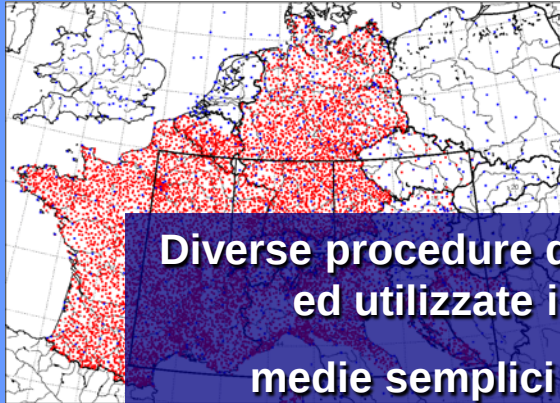
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

WG VER



Barnes analysis

Mariani et al. ICAM 2009

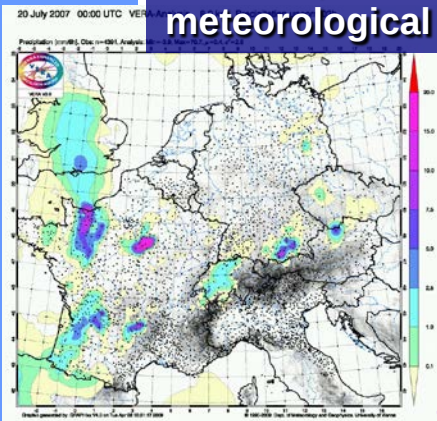


Diverse procedure di *upscaling* sono disponibili in letteratura (Daley, 1991)
ed utilizzate in ambito di servizio (Lanciani and Salvati, 2008):

medie semplici o pesate, procedure di interpolazione statistica, di
correzioni successive, metodi di tipo kringing, ecc

Daley, R., 1991: Atmospheric Data Analysis. Cambridge University Press, Cambridge.

Lanciani, A. e M. Salvati, 2008: Interpolation, spatialization and assimilation of
meteorological data. Technical Report 3, FORALPS, ISBN: 978-88-8443-225-4

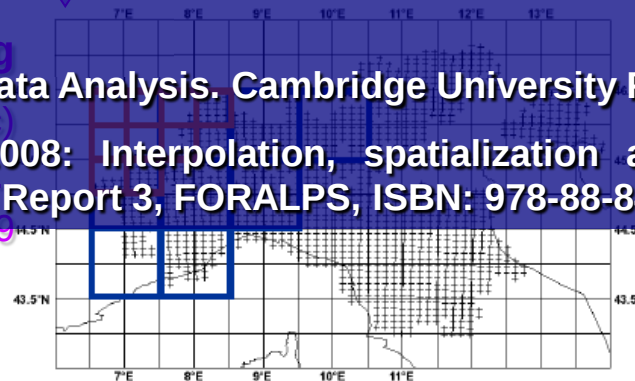


Upscaling

(mean, max, med, perc)

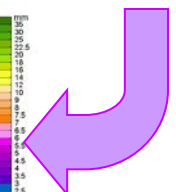
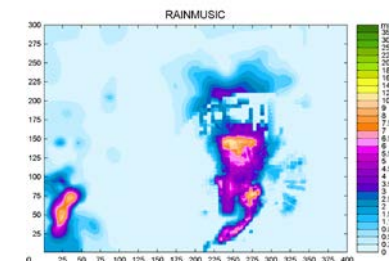
Mariani et al.

ICAM 2009



VERA analysis
Gorgas & Doringe,
4th Int. Verif. Meth. WS

**RainMusic
Combination**
Mariani et al.
P4.9





ISPRA

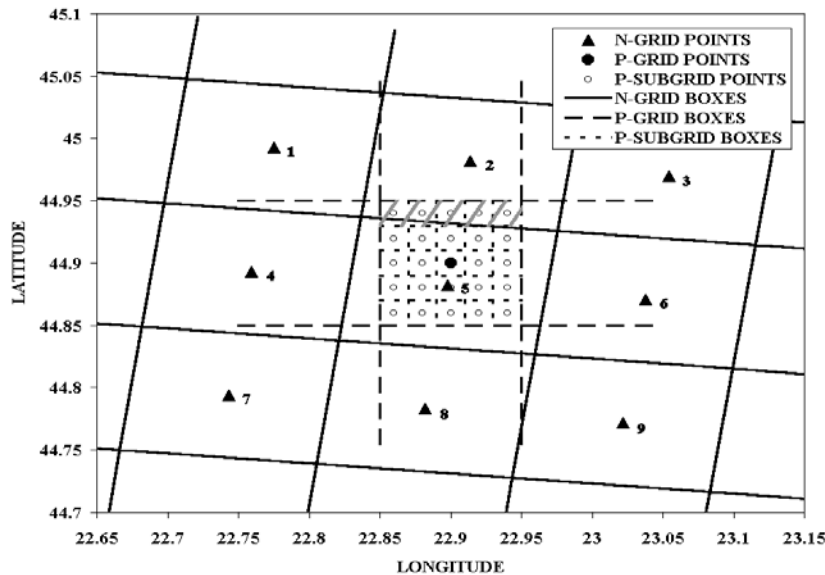
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

→ Una corretta verifica richiede che le osservazioni e le previsioni siano interpolate ottimamente alla stessa scala

La rappresentatività dei campi messi a confronto (o vs. f – o vs. $competing\ f$) deve essere presa in considerazione prima di applicare qualsiasi tipo di verifica:

Errore di rappresentatività (Tustison et al. 2001): $\varepsilon_t = \varepsilon_m + \varepsilon_o + \varepsilon_I$

Previsioni schema di remapping (Accadia et al., 2003, Baldwin, 2000):



Per “rimappare” la pioggia prevista dalla sua griglia nativa (linea solida) a quella di verifica (linea a tratti), conservandone la quantità.

Previsioni da modelli definiti su griglie differenti non sono direttamente confrontabili → le previsioni su griglie più lasche ne possono trarre dei vantaggi.



ISPRA

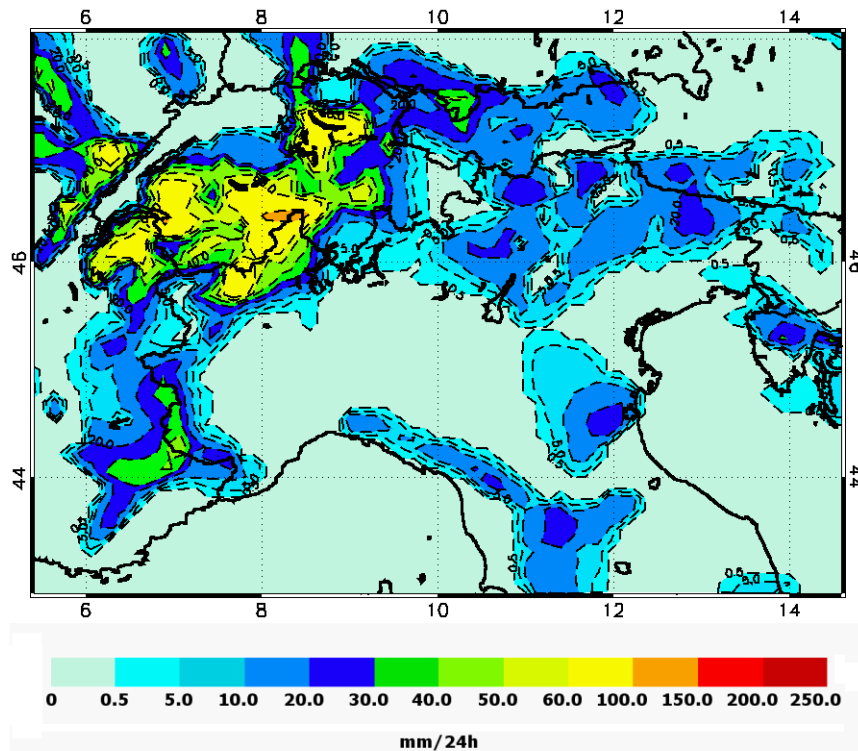
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

→ Una corretta verifica richiede che le osservazioni e le previsioni siano interpolate ottimamente alla stessa scala

La rappresentatività dei campi messi a confronto (o vs. f – o vs. $competing\ f$) deve essere presa in considerazione prima di applicare qualsiasi tipo di verifica:

Errore di rappresentatività (Tustison et al. 2001): $\varepsilon_t = \varepsilon_m + \varepsilon_o + \varepsilon_I$

Previsioni schema di remapping (Accadia et al., 2003, Baldwin, 2000):



Per “rimappare” la pioggia prevista dalla sua griglia nativa (linea solida) a quella di verifica (linea a tratti), conservandone la quantità.

Previsioni da modelli definiti su griglie differenti non sono direttamente confrontabili → le previsioni su griglie più lasche ne possono trarre dei vantaggi.

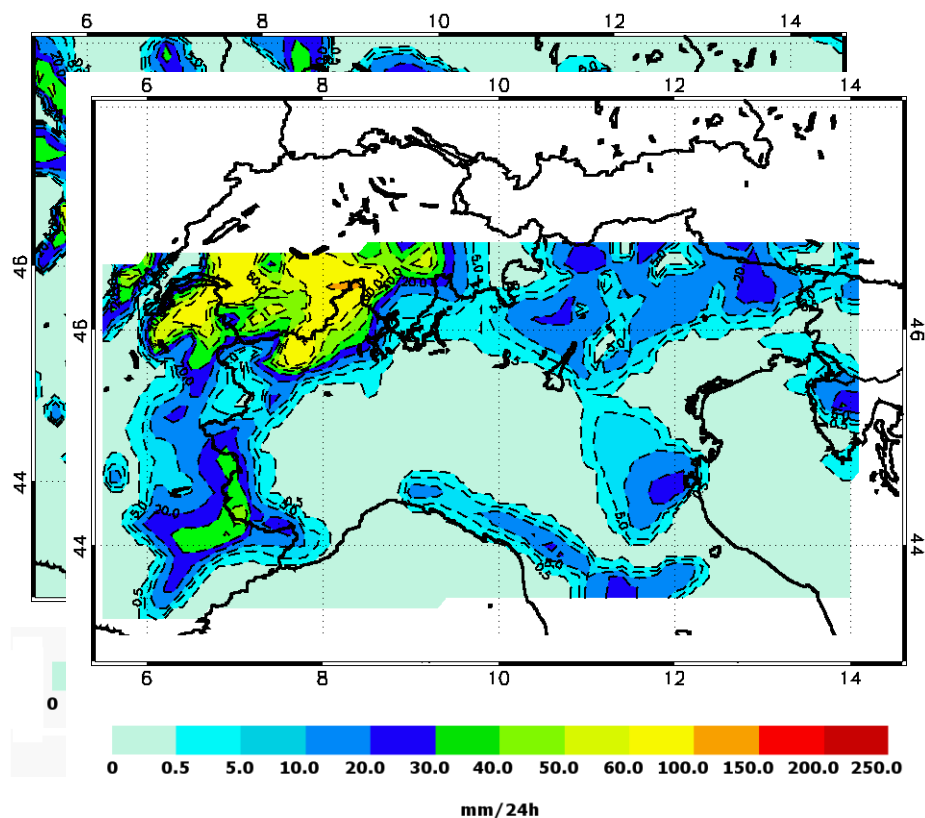
**Precipitazioni previste da QBOLAM
su griglia nativa**

→ Una corretta verifica richiede che le osservazioni e le previsioni siano interpolate ottimamente alla stessa scala

La rappresentatività dei campi messi a confronto (o vs. $f - o$ vs. $competing f$) deve essere presa in considerazione prima di applicare qualsiasi tipo di verifica:

Errore di rappresentatività (Tustison et al. 2001): $\varepsilon_t = \varepsilon_m + \varepsilon_o + \varepsilon_I$

Previsioni schema di remapping (Accadia et al., 2003, Baldwin, 2000):



Per “rimappare” la pioggia prevista dalla sua griglia nativa (linea solida) a quella di verifica (linea a tratti), conservandone la quantità.

Previsioni da modelli definiti su griglie differenti non sono direttamente confrontabili → le previsioni su griglie più lasche ne possono trarre dei vantaggi.

**Precipitazioni previste da QBOLAM
rimappate su griglia a 0.1°**



ISPRA

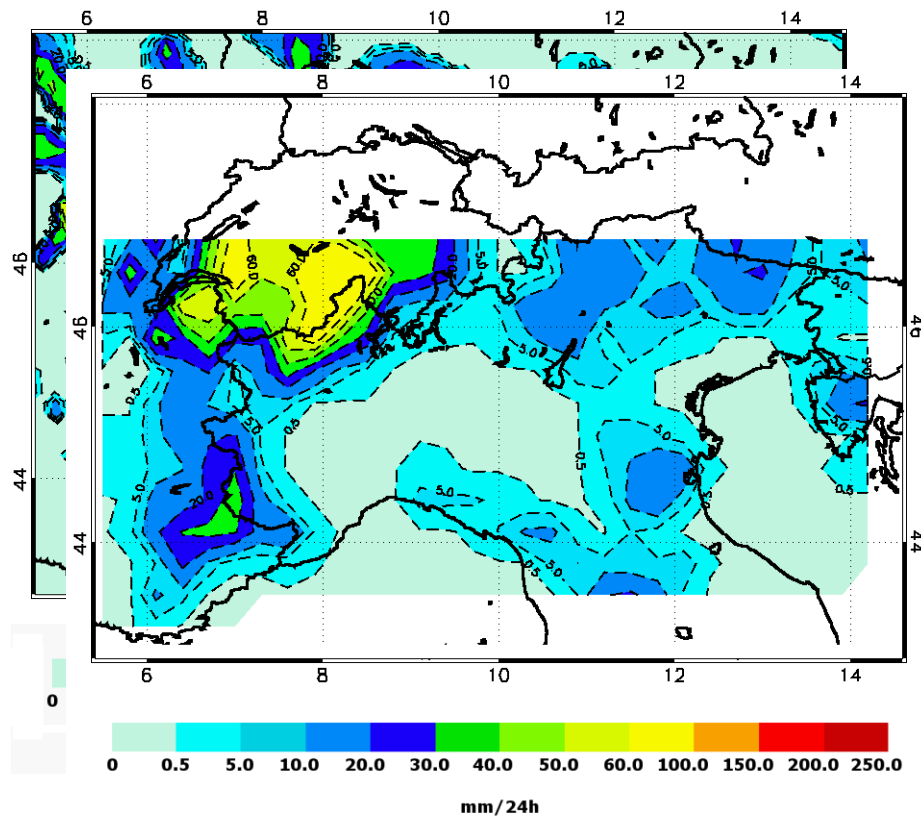
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

→ Una corretta verifica richiede che le osservazioni e le previsioni siano interpolate ottimamente alla stessa scala

La rappresentatività dei campi messi a confronto (o vs. $f - o$ vs. $competing f$) deve essere presa in considerazione prima di applicare qualsiasi tipo di verifica:

Errore di rappresentatività (Tustison et al. 2001): $\varepsilon_t = \varepsilon_m + \varepsilon_o + \varepsilon_I$

Previsioni schema di remapping (Accadia et al., 2003, Baldwin, 2000):



Per “rimappare” la pioggia prevista dalla sua griglia nativa (linea solida) a quella di verifica (linea a tratti), conservandone la quantità.

Previsioni da modelli definiti su griglie differenti non sono direttamente confrontabili → le previsioni su griglie più lasche ne possono trarre dei vantaggi.

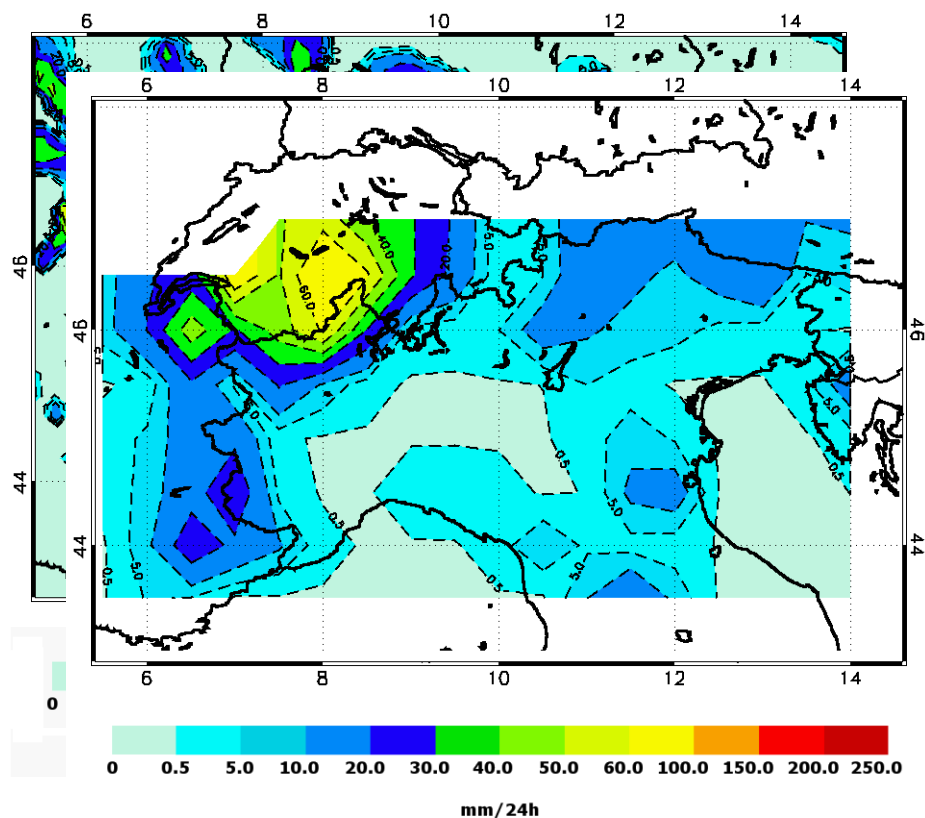
**Precipitazioni previste da QBOLAM
rimappate su griglia a 0.3°**

→ Una corretta verifica richiede che le osservazioni e le previsioni siano interpolate ottimamente alla stessa scala

La rappresentatività dei campi messi a confronto (o vs. $f - o$ vs. $competing f$) deve essere presa in considerazione prima di applicare qualsiasi tipo di verifica:

Errore di rappresentatività (Tustison et al. 2001): $\varepsilon_t = \varepsilon_m + \varepsilon_o + \varepsilon_I$

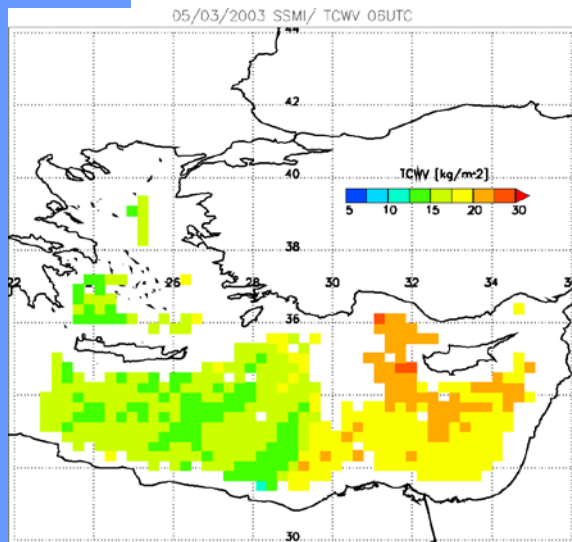
Previsioni schema di remapping (Accadia et al., 2003, Baldwin, 2000):



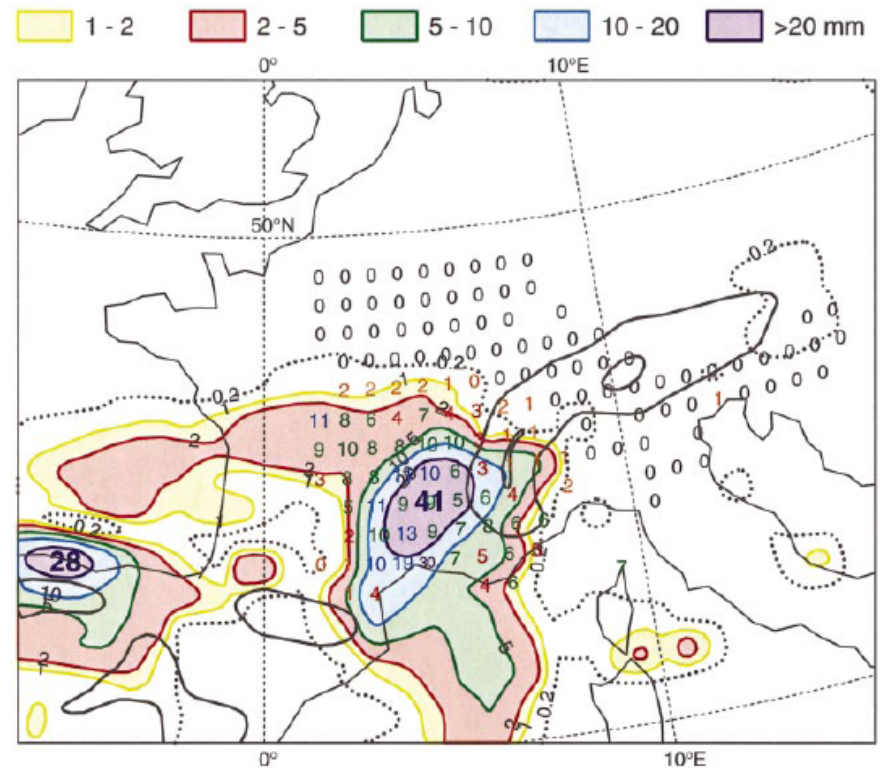
Per “rimappare” la pioggia prevista dalla sua griglia nativa (linea solida) a quella di verifica (linea a tratti), conservandone la quantità.

Previsioni da modelli definiti su griglie differenti non sono direttamente confrontabili → le previsioni su griglie più lasche ne possono trarre dei vantaggi.

**Precipitazioni previste da QBOLAM
rimappate su griglia a 0.5°**



Accadia et al., 2004, Proc. 2nd Voltaire Workshop, Ljubljana, Slovenia



ECMWF precipitation (color shaded) vs. USO (numbers – from MAP dataset)

Cherubini et al., 2002, *Wea. Forecasting*, **17**, 238–249.

L'accuratezza nella previsione della quantità di precipitazione prevista (**QPF**) è considerata un indicatore generale della capacità di un modello meteo a produrre una buona previsione (e.g., WWRP/WGNE 2004; Ebert et al. 2003; Mesinger 1996).

L'attività di verifica del modello meteo ha quindi riguardato principalmente il campo di precipitazione, sebbene sono stati anche condotti studi sul vento, sul TCWV e sul campo di pseudo-vapor d'acqua comparabile con il MSG 6.2 WV.

La verifica dei modelli marini ha riguardato essenzialmente l'altezza significativa d'onda.

Due finalità per l'attività (→ Brier e Allen 1951) :

- ✓ di **servizio**, per verificare l'accuratezza del **BOLAM** nelle diverse configurazioni utilizzate – effettuata su periodi lunghi – a partire dal **2002**;
- ✓ **scientifica** (specie nell'ambito di progetti comunitari ed internazionali), per l'individuazione di standard e linee guida per la verifica – in genere effettuata su periodi brevi (**case studies**).



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Verifica del BOLAM per finalità di servizio: ottobre 2000 – ottobre 2002

COPERTURA OSSERVATIVA ADEGUATA (ESTENSIONE E RISOLUZIONE)

SERIE TEMPORALE SUFFICIENTEMENTE LUNGA (STATISTICA ROBUSTA)

SIGNIFICATIVITÀ STATISTICA (INTERVALLI DI CONFIDENZA)

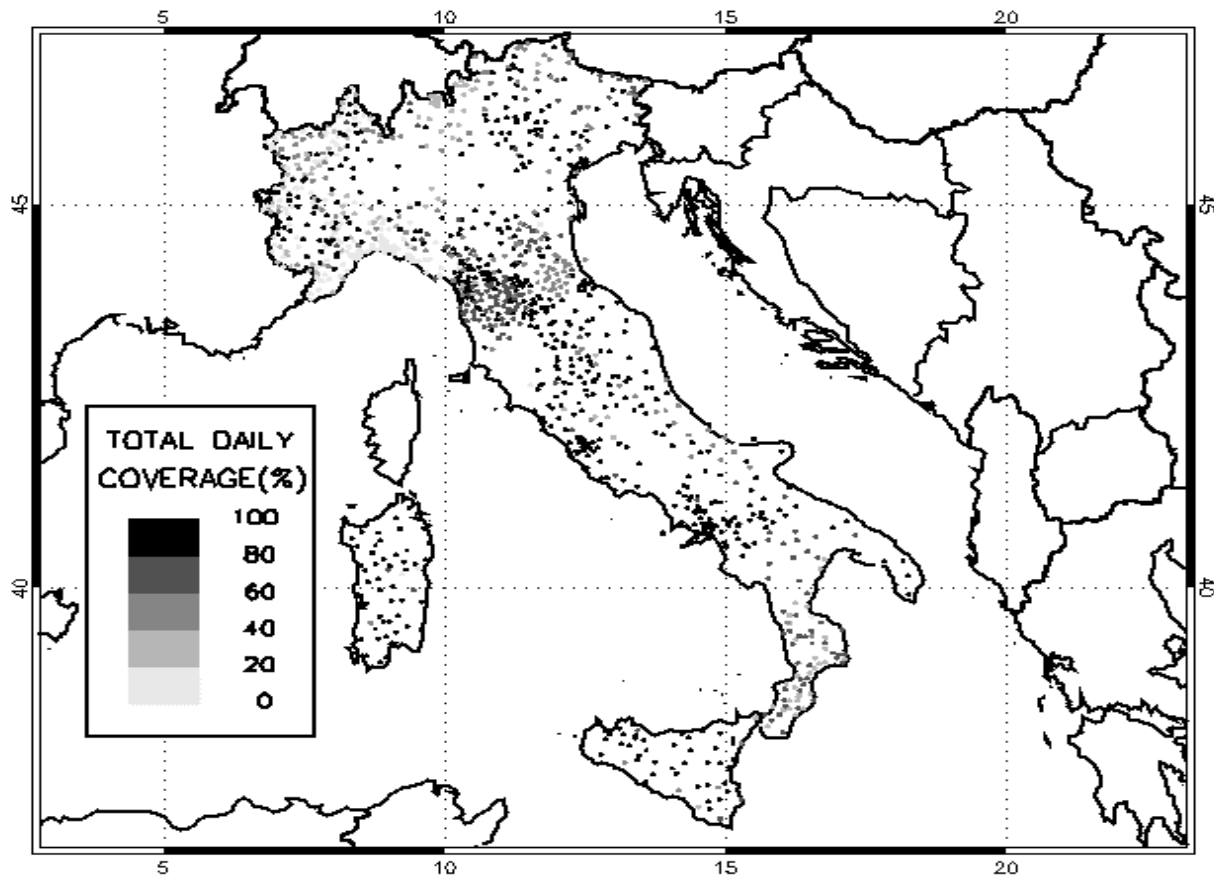
Osservazioni pluviometriche

Più di **1500** pluviometri
distribuiti su tutta l'Italia.

Periodo esaminato: **ott.
2000 – ott. 2002**

Dati pluviometrici da:

- rete ex SIMN
- reti regionali
 - ❖ Emilia Romagna
 - ❖ Piemonte
 - ❖ Liguria
 - ❖ Valle d'Aosta
 - ❖ Marche
 - ❖ Sicilia
 - ❖ Sardegna





ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Verifica del BOLAM per finalità di servizio: ottobre 2000 – ottobre 2002

COPERTURA OSSERVATIVA ADEGUATA (ESTENSIONE E RISOLUZIONE)

SERIE TEMPORALE SUFFICIENTEMENTE LUNGA (STATISTICA ROBUSTA)

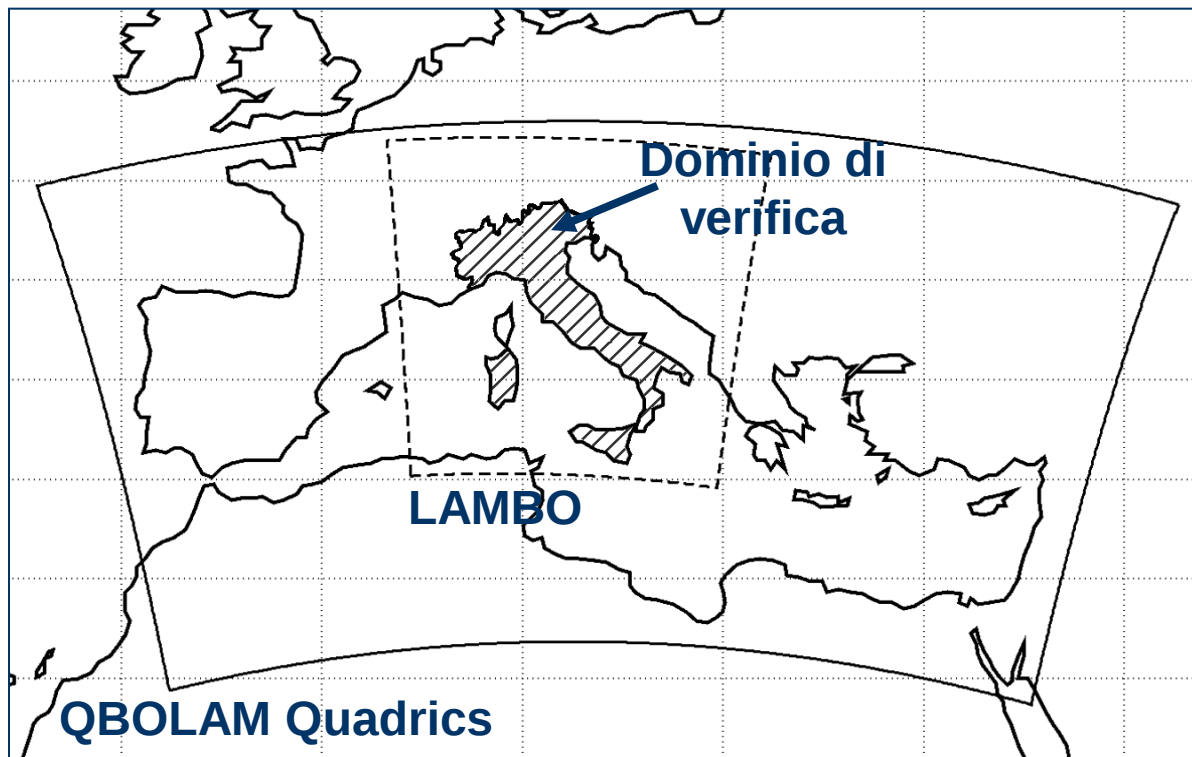
SIGNIFICATIVITÀ STATISTICA (INTERVALLI DI CONFIDENZA)

Previsioni

Base dati:

- QBOLAM vs. LAMBO (idrostatici, 0.1°);
- QBOLAM vs. modello globale ECMWF (0.5°)

Precipitazione cumulata
a 24h (previsione +12h
→ +36h)





Punteggi: *categorical scores & skill scores*

Ulteriori informazioni sui punteggi (categorical scores & skill scores) possono essere trovati, ad es., su: Wilks, 1995; Schaefer, 1990; Stephenson, 2000; Hanssen and Kuipers, 1965; e Murphy, 1990 (→Dimesionalità)

Contingency table of possible events for a selected threshold.

		Rain observed	
		Yes	No
Rain forecast	Yes	a	b
	No	c	d

**Schema della
Tavola di Contingenza**

ESEMPI DI PUNTEGGI

$$\mathbf{BIA} = \frac{a + b}{a + c}$$

$$\mathbf{ETS} = \frac{a - a_r}{a + b + c - a_r} \quad \text{with} \quad a_r = \frac{(a + b)(a + c)}{a + b + c + d}$$

$$\mathbf{HK} = \frac{(ad - bc)}{(a + c)(b + d)} = \mathbf{POD} - \mathbf{F} = \frac{a}{a + c} - \frac{b}{b + d}$$

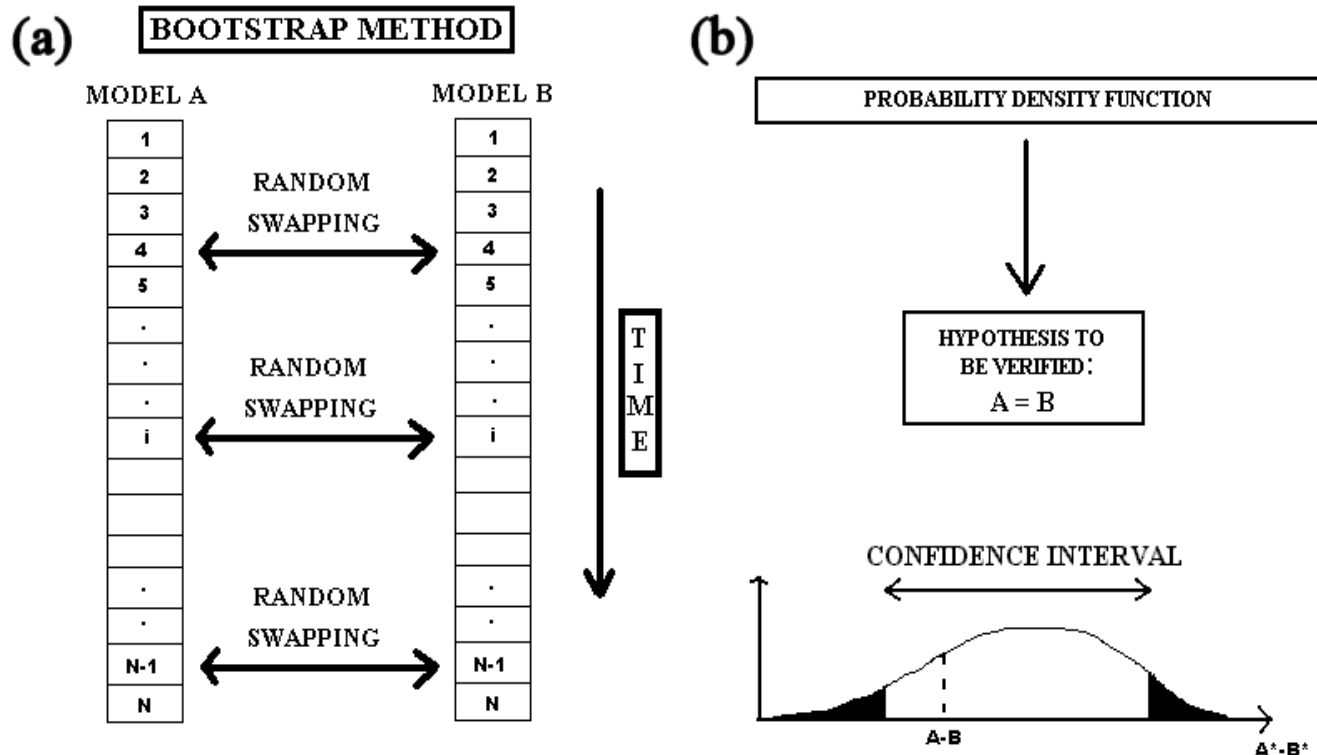
$$\mathbf{ORSS} = \frac{\mathbf{ODDS} - 1}{\mathbf{ODDS} + 1} = \frac{ad - bc}{ad + bc} \quad \text{where} \quad \mathbf{ODDS} = \frac{ad}{bc}$$

Punteggi: *categorical scores & skill scores*

Sensibilità di ETS e HK ai valori del BIAS → *BIAS adjustment* (Hamill, 1999)
aggiustamento delle soglie di previsione per un confronto su base paritaria.

Intervalli di confidenza → *Bootstrap* (Diaconis and Efron, 1983; Hamill, 2000).

Il metodo di Bootstrap per gli intervalli di confidenza sui punteggi



PROCESS REPEATED Nb TIMES ($10^4 - 10^6$)



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

QBOLAM – LAMBO: confronto a 0.1°

Colonna sinistra:
senza *BIAS*
adjustment

Colonna destra:
con *BIAS adjustment*

Punteggi (dall'alto):
BIAS
ETS
HK

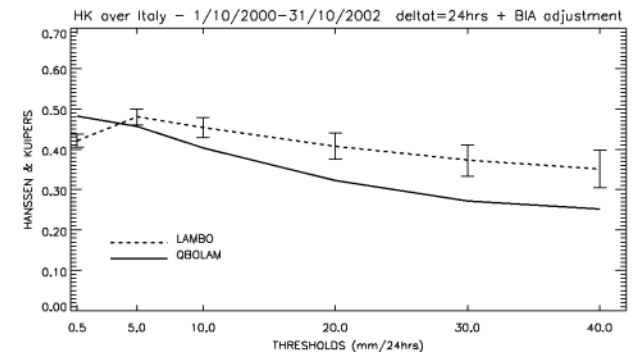
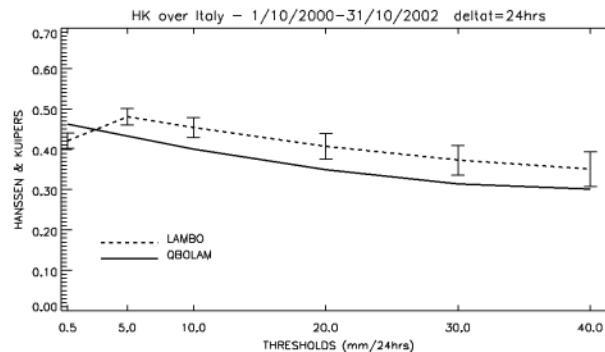
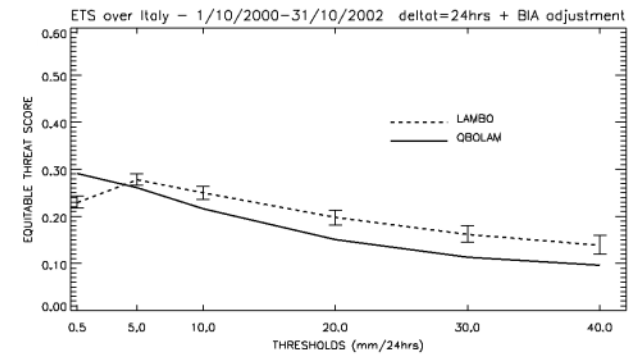
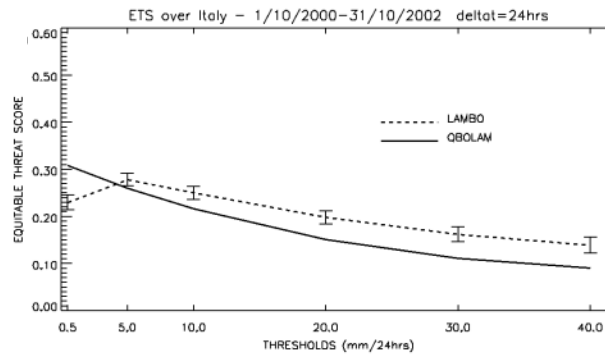
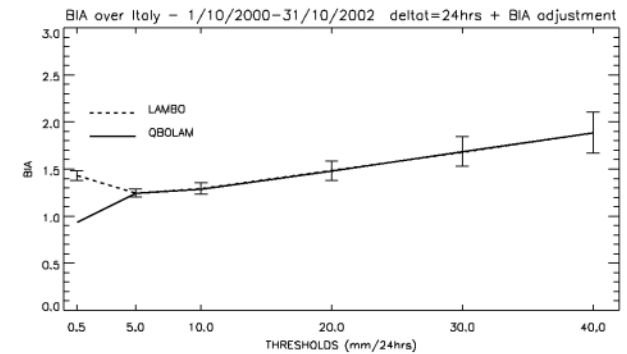
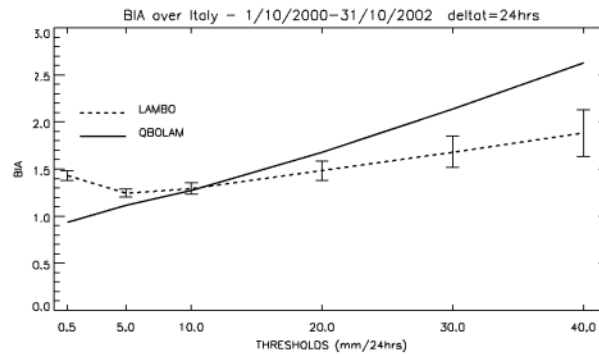




Fig. 1. Catalonia (Spain) internal basins (from Llasat et al., 2003).

Evento idro-meteorologico inteso studiato con diversi modelli meteorologici operativi e di ricerca nell'ambito del progetto europeo HYDROPTIMET – INTERREG IIIB MEDOCC (Mariani et al., 2005).

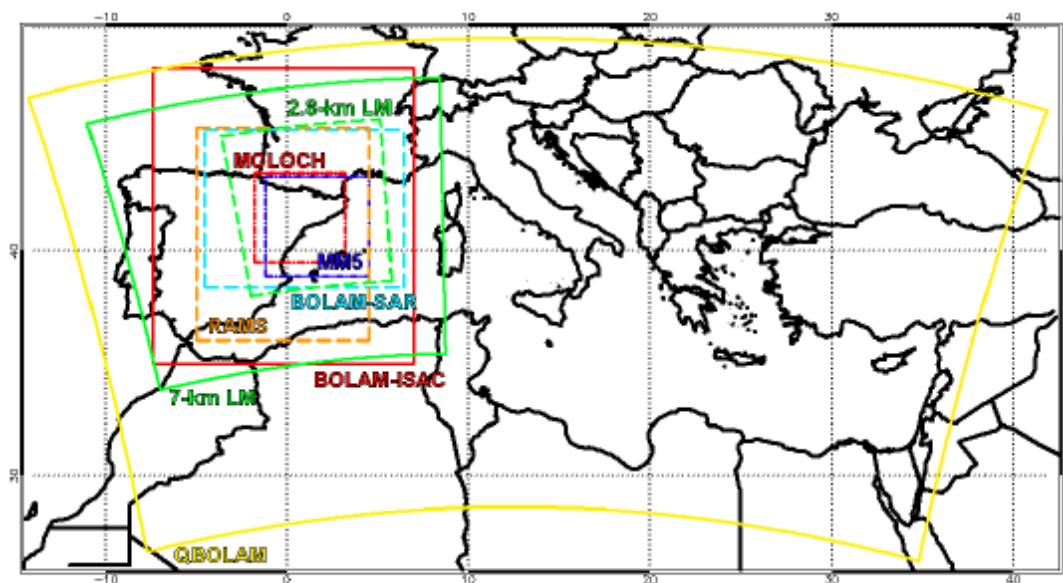


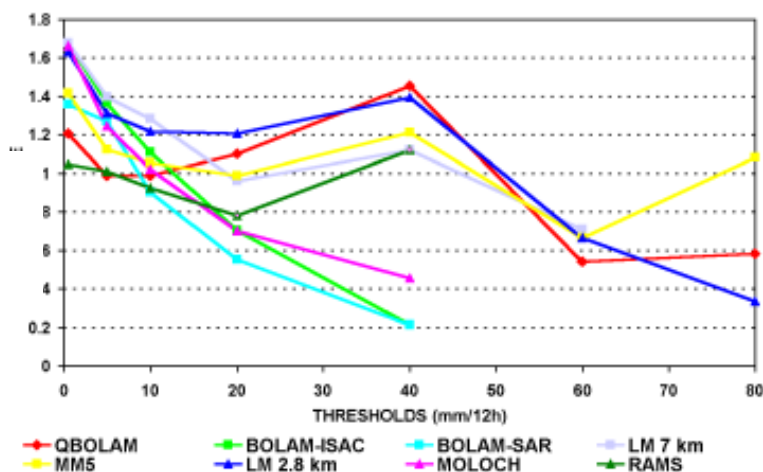
Fig. 2. Extension domains for the selected limited area models. Domains cover from entire Mediterranean Basin to Catalonia region. Solid yellow line: QBOLAM. Solid green line: 7-km LM. Solid red line: BOLAM from ISAC-CNR. Dashed sky-blue line: BOLAM from SAR. Dashed orange line: RAMS. Dashed green line: 2.8-km LM. Dash-dotted blue line: MM5. Dash-dotted red line: MOLOCH.



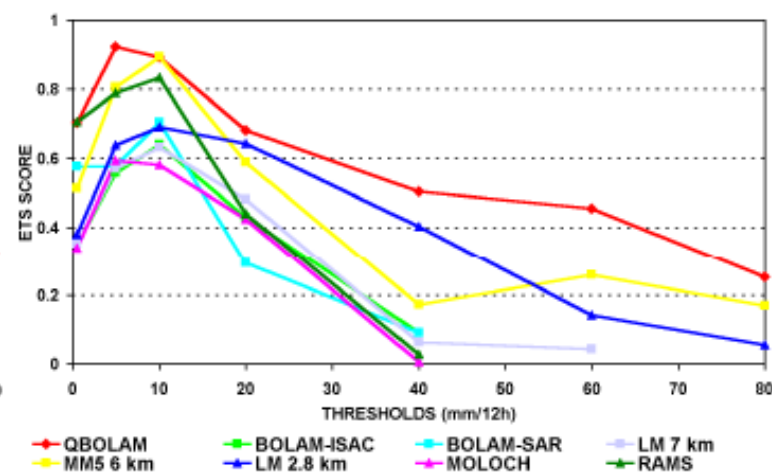
ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

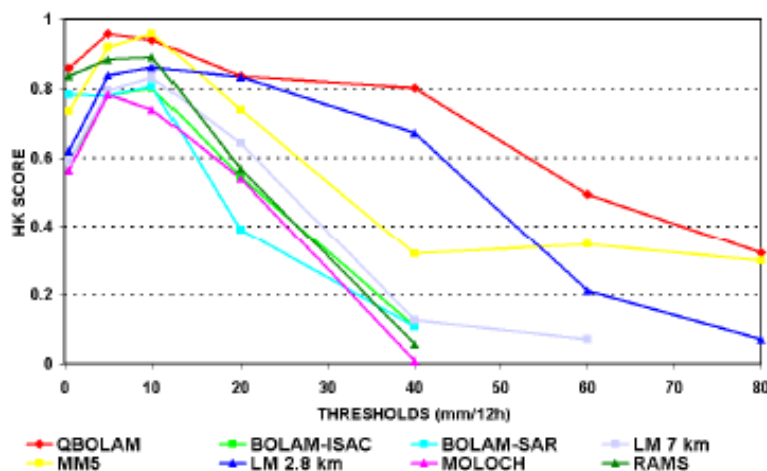
Il QBOLAM nell'evento del Montserrat del 2000 – HYDROPTIMET – INTERREG IIIB MEDOCC



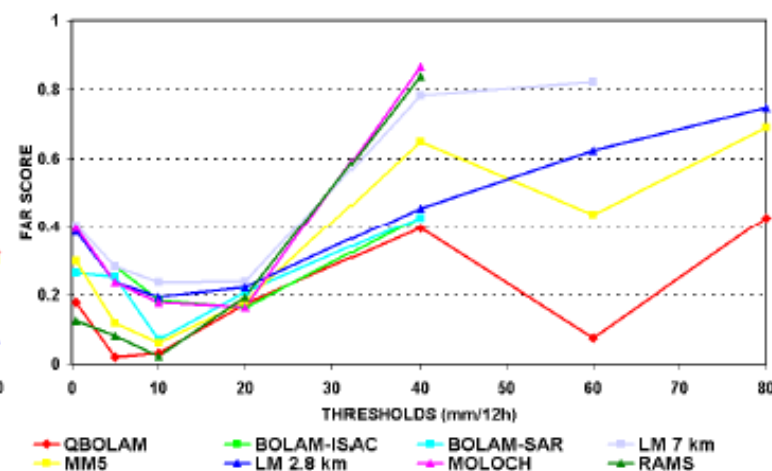
(a) BIA



(b) ETS



(c) HK



(d) FAR

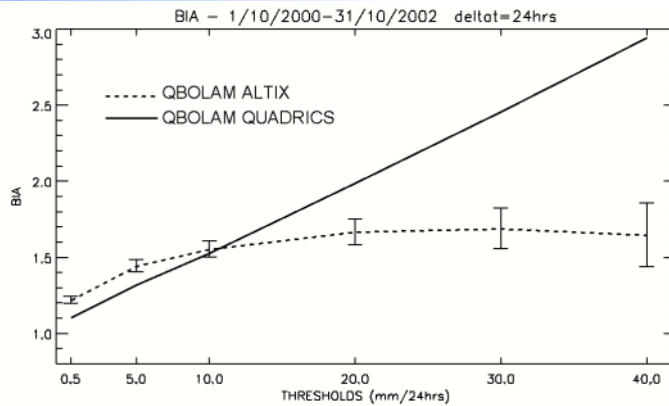


ISPRA

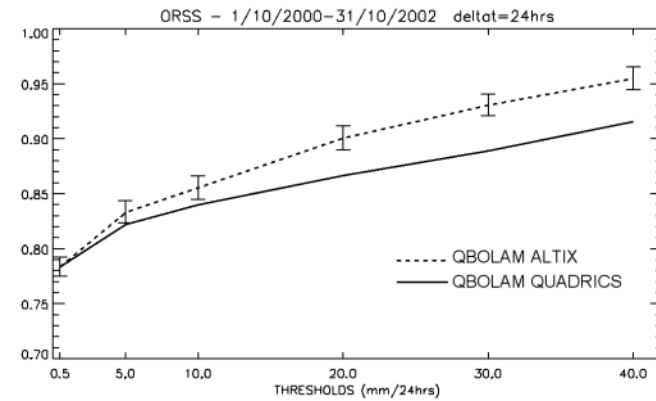
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

QBOLAM Altix vs. QBOLAM Quadrics per il periodo ottobre 2000 – ottobre 2002

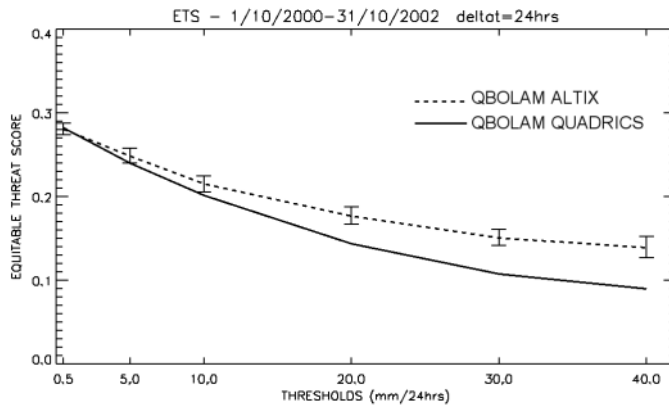
BIAS



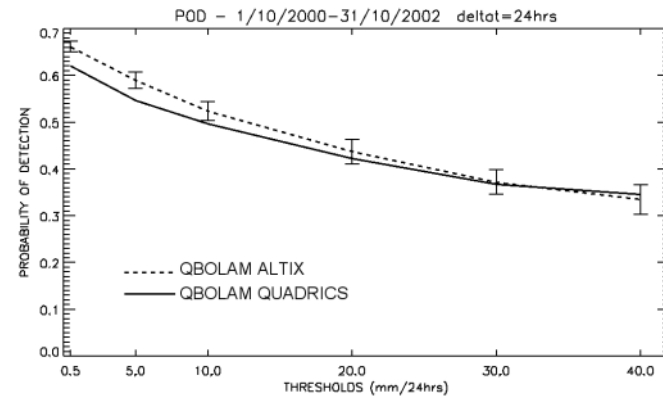
ORSS



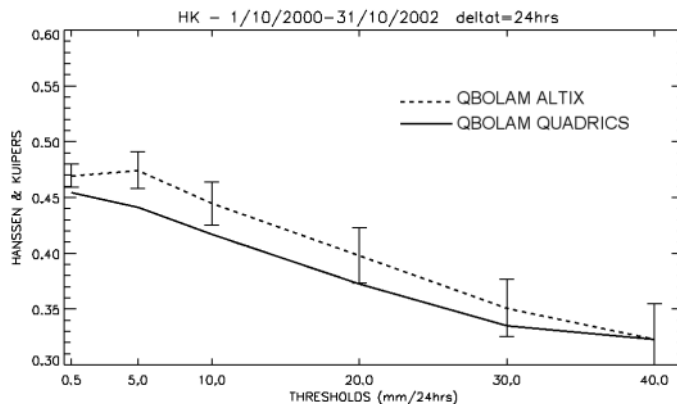
ETS



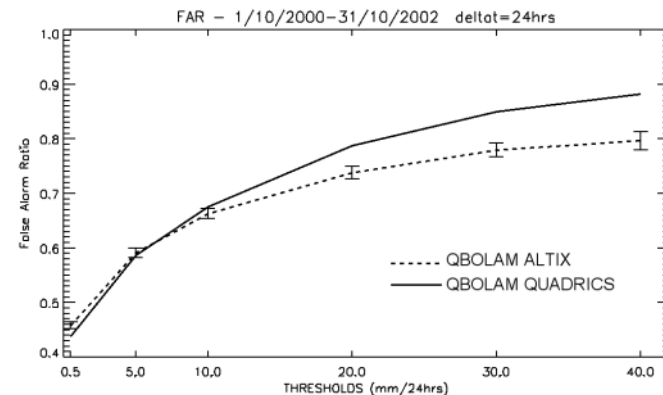
POD



HK



FAR



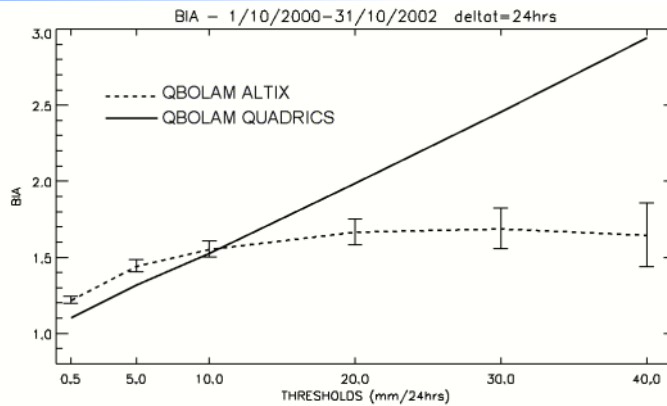


ISPRA

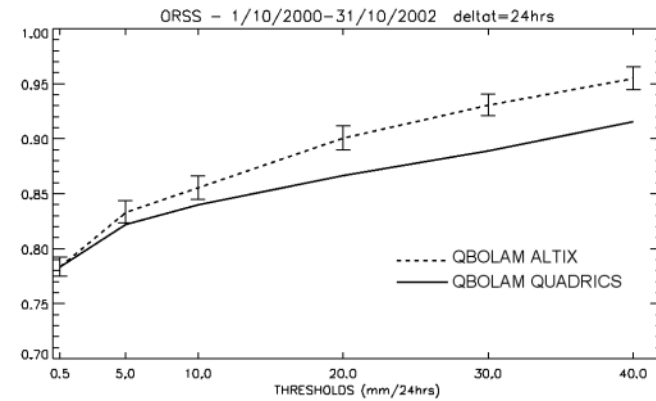
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

QBOLAM Altix vs. QBOLAM Quadrics per il periodo ottobre 2000 – ottobre 2002

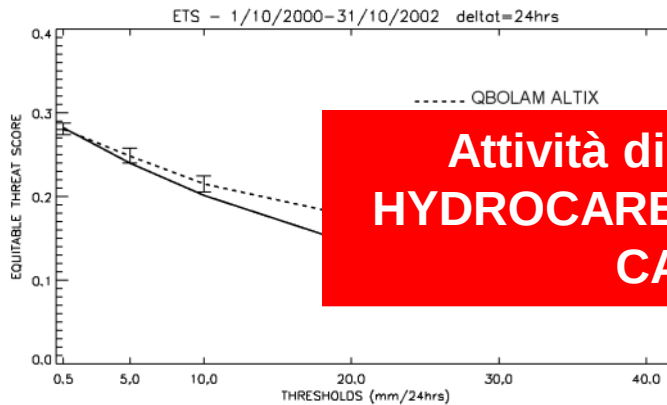
BIAS



ORSS

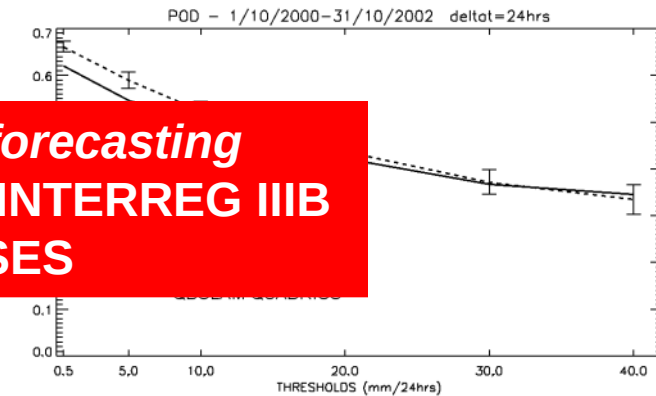


ETS

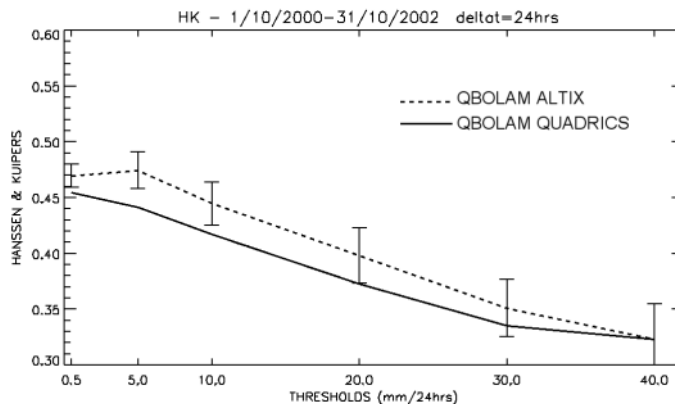


**Attività di reforecasting
HYDROcare - INTERREG IIIB
CADSES**

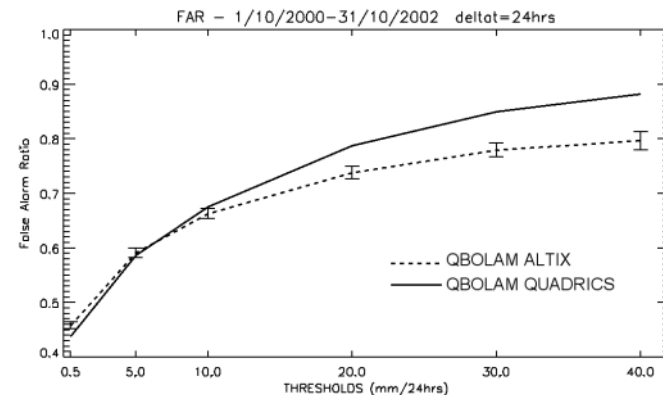
POD



HK



FAR





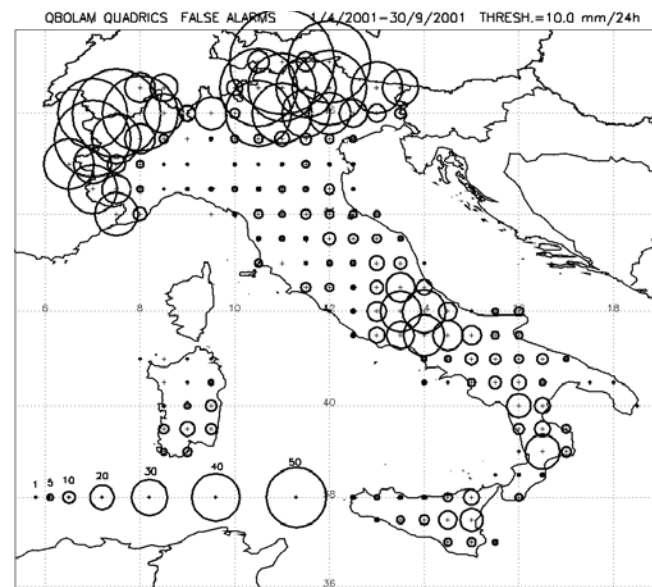
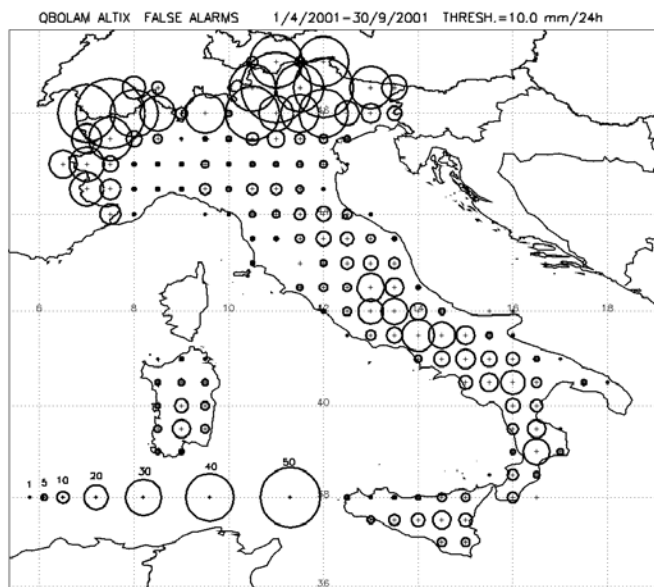
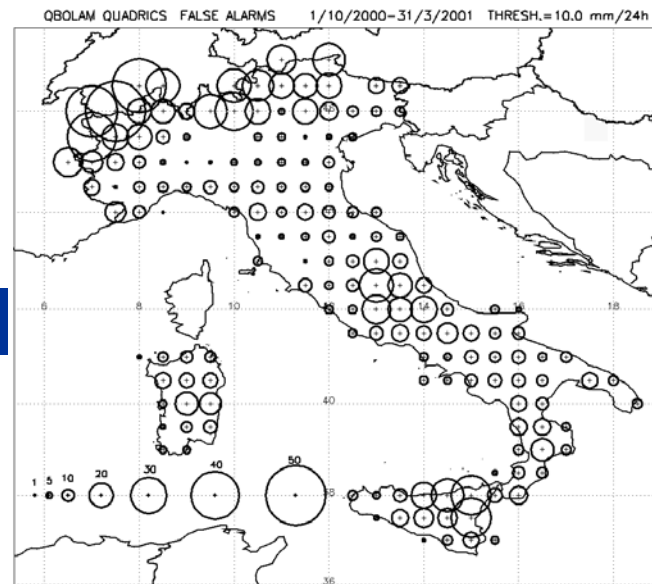
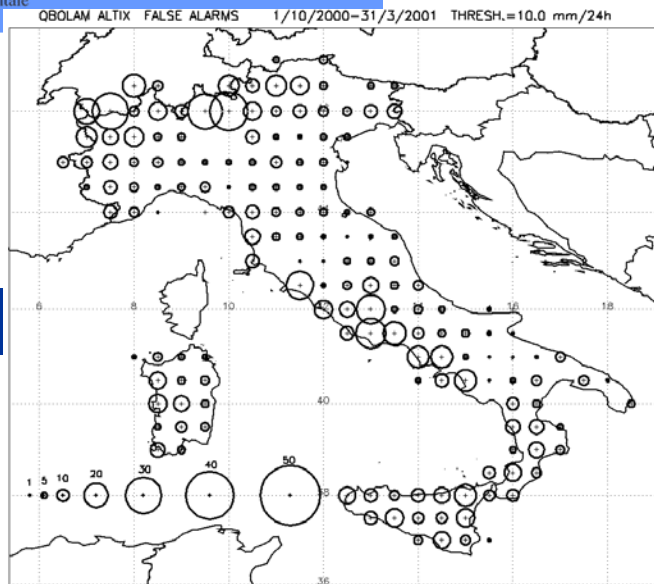
ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Verifica spaziale: falsi allarmi

W
I
N
T
E
R

1



S
U
M
M
E
R

1

QBOLAM ALTIX

QBOLAM QUADRICS



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Distribuzione lungo le
coste italiane delle 14
boe della rete RON

Altezza d'onda significativa: dati osservati e previsti

Nell'ambito dell'attività di verifica dei modelli afferenti al sistema SIMM, è stata condotta una verifica delle previsioni dell'altezza d'onda significativa (SWH) prodotte, con passo temporale triorario, dal modello WAM nei periodi:

- **giugno 2000 – maggio 2002** (effettuata nel 2003);
- **ottobre 2003 – maggio 2005** (effettuata 2007).

In particolare, sono state confrontate le previsioni dell'altezza d'onda significativa (SWH) con i rispettivi dati osservati dalle 14 boe della Rete Ondametrica Nazionale (RON), gestita anch'essa dall'ex-APAT.

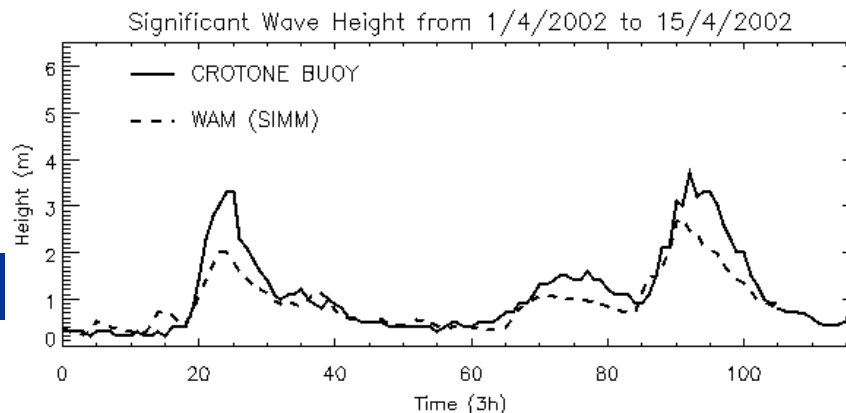
La rete RON (attiva da luglio 1989) è composta da 14 boe direzionali di tipo *pitch-roll*, dislocate lungo le coste italiane. Ogni boa, ancorata su fondali dell'ordine di 100 m, segue il movimento della superficie dell'acqua e permette di determinare l'altezza e la direzione delle onde ogni 30 minuti.



ISPRA

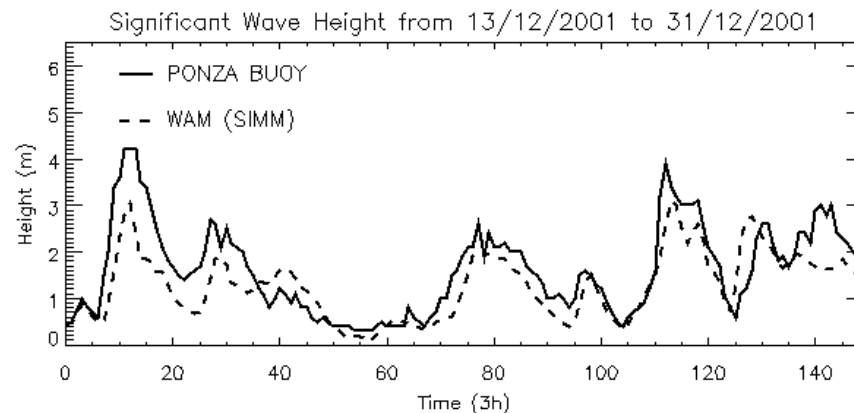
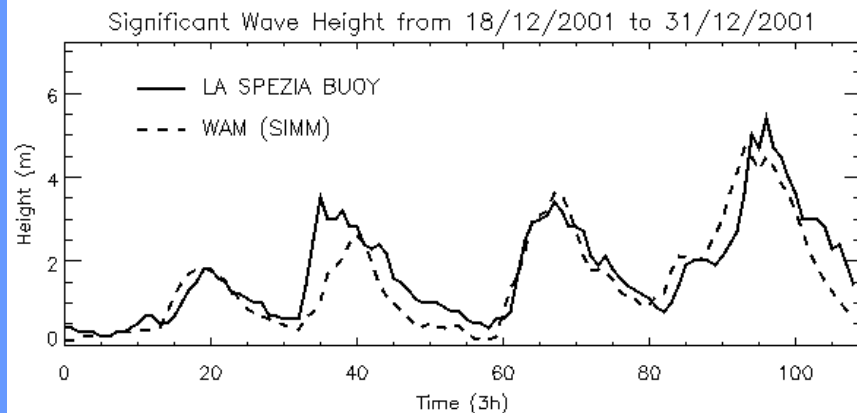
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Risultati della verifica per il periodo giugno 2000 – maggio 2002



I risultati ottenuti nei confronti WAM-boua hanno evidenziato una tendenza prevalente del modello a sottostimare l'altezza significativa delle onde più elevate.

Nel complesso, il confronto evidenzia un buona capacità del modello WAM a catturare la variazione temporale dello stato del mare in termini di SWH.





ISPRA

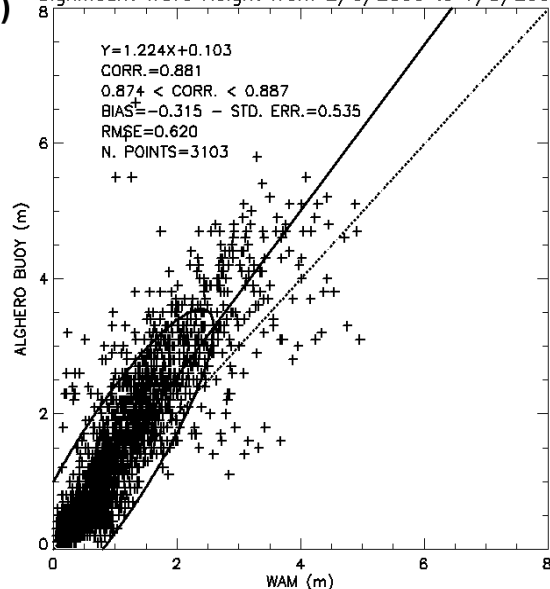
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Risultati della verifica per il periodo giugno 2000 – maggio 2002

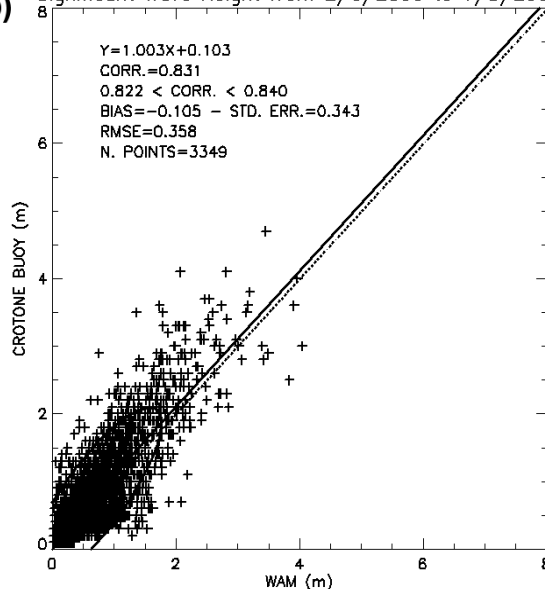
**DIAGRAMMI DI DISPERSIONE E MISURE
PER LE BOE DI ALGERO, CROTONE, LA
SPEZIA E MAZARA.**

Gli scatterplot e gli indicatori riportati sono utili per evidenziare il comportamento generale tra le due serie, facendo emergere (anche con questo tipo di analisi) la difficoltà a prevedere le altezze più elevate.

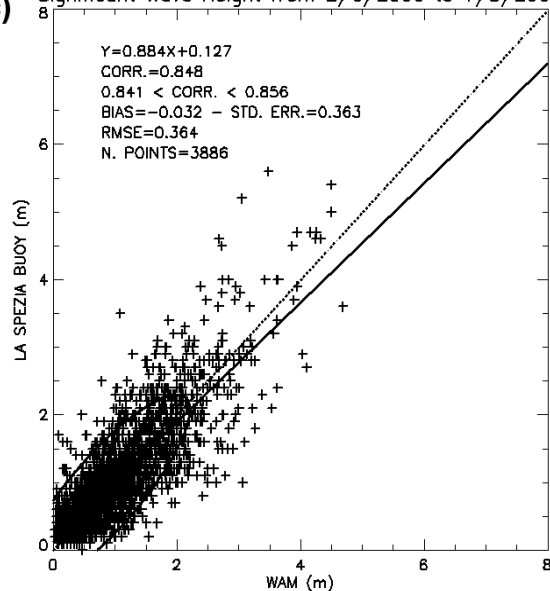
(a) Significant Wave Height from 2/6/2000 to 1/5/2002



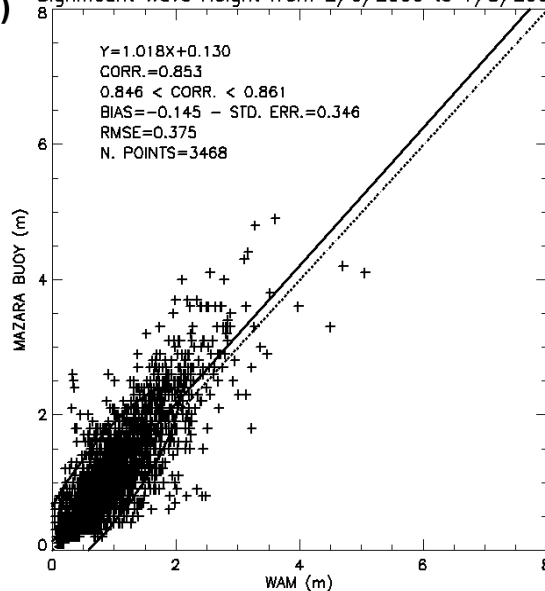
(b) Significant Wave Height from 2/6/2000 to 1/5/2002



(c) Significant Wave Height from 2/6/2000 to 1/5/2002



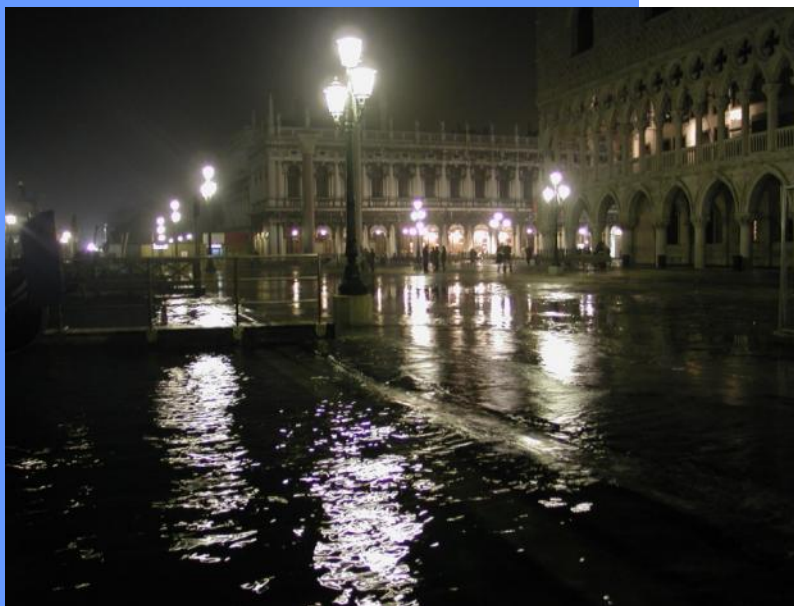
(d) Significant Wave Height from 2/6/2000 to 1/5/2002





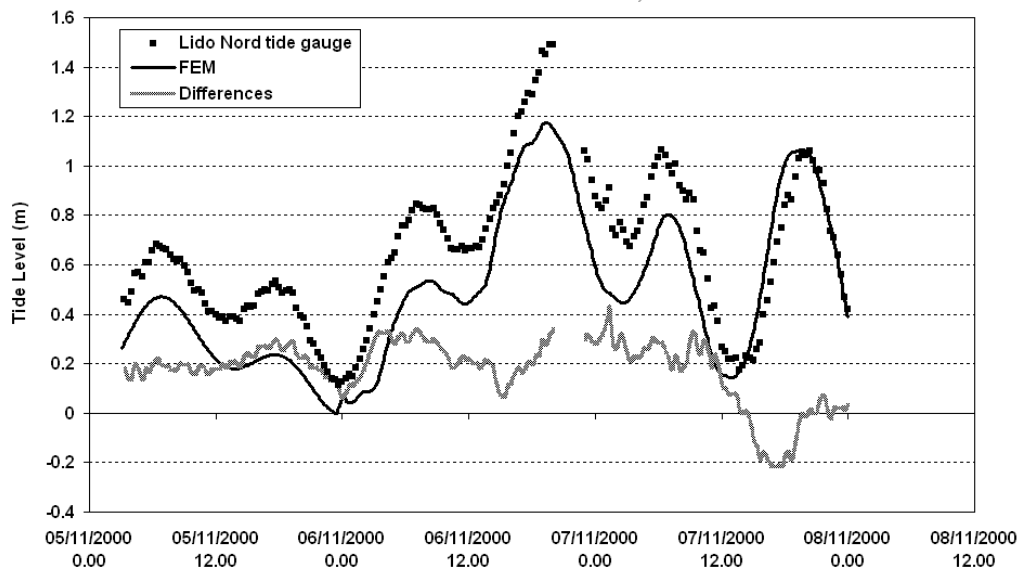
ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

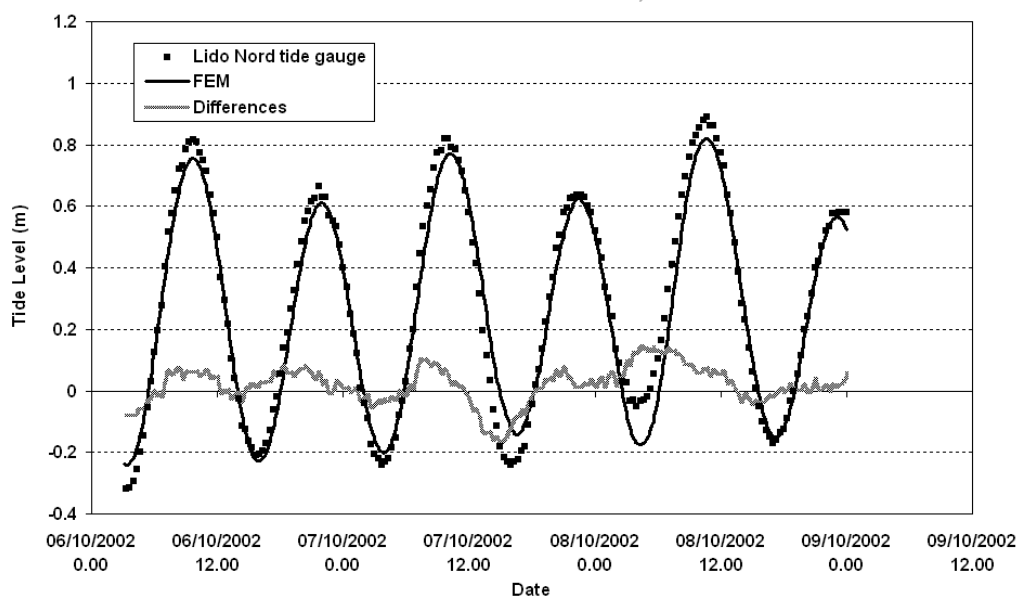


Verifica del VL-FEM (2006)

10TH HIGHEST TIDE EVENT — VENICE, 5-7 NOV. 2000



MEDIUM-HIGH TIDE EVENT — VENICE, 6-8 OCT. 2002



1° caso

Corr. = 0.910 $\in [0.887, 0.928]$

MAE = 0.198 - RMSE = 0.216

2° caso

Corr. = 0.986 $\in [0.982, 0.989]$

MAE = 0.049 - RMSE = 0.063



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Terza parte

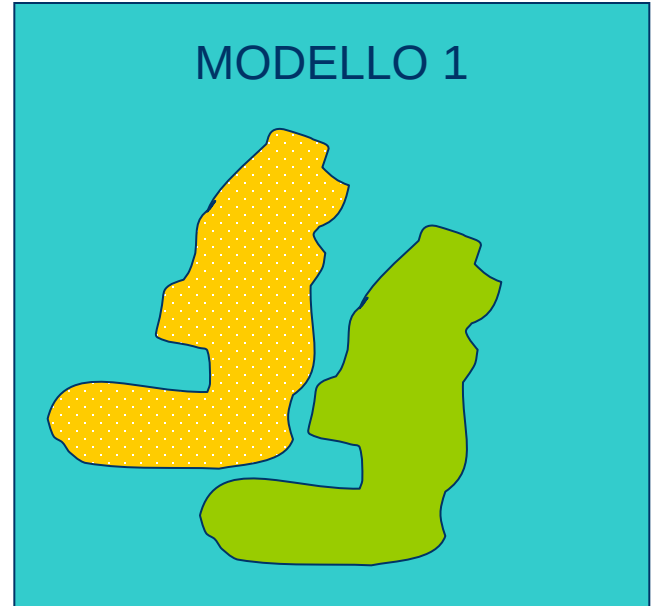
- **Tecniche avanzate di verifica**

Spatial matching issue

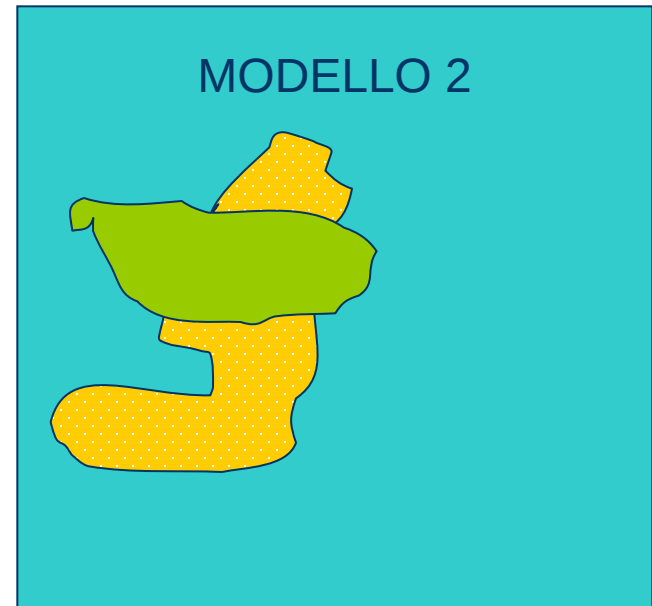
Campo osservato



MODELLO 1



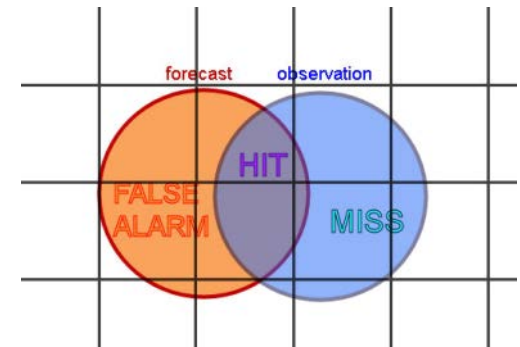
MODELLO 2



**Quale modello è più “performante”
in termine di skill scores?**

Il problema del **double penalty effect**

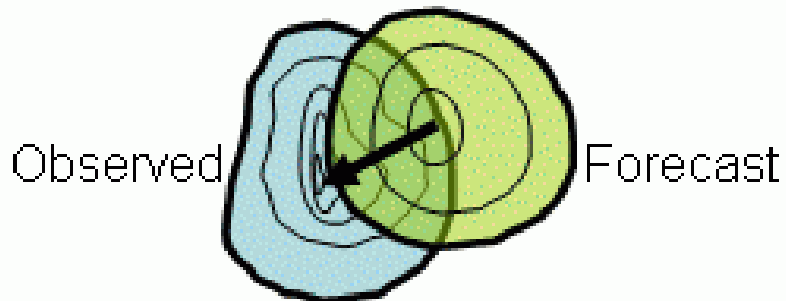
- ✓ stima dell'errore spaziale
- ✓ utilizzo di metodi diagnostici, ad es. **object-oriented**



La Contiguous Rain Area (CRA) analysis

→ Necessità di un approccio differente che “quantifichi” e non penalizzi l'errore spaziale, come quello proposto dai metodi di tipo **object-oriented**.

La CRA, metodologia di verifica sviluppata da Ebert e McBride (2000), è in grado di quantificare l'errore spaziale di previsione (e le sue fonti: **displacement**, **pattern** e



volume) attraverso il **pattern-matching** di due aree contigue (o entità) di precipitazione, quella osservata e quella prevista, definite da una determinata isoietà.

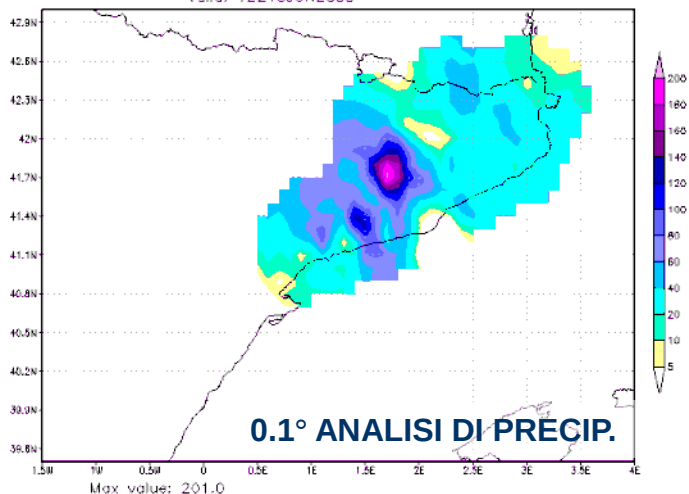
Il **pattern-matching** (traslazione lon-lat dell'entità prevista di precipitazione sull'entità osservata) tra le due entità si ottiene, ad es. minimizzando l'errore quadratico medio (**MSE**) oppure massimizzando il coefficiente di correlazione.



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

HYDROPTIMET - Spain 09Jun00 - OBS - Interp 0.1 deg
Total Precipitation on 36 hours [mm/36hr]
Valid: 12Z10JUN2000



L'evento del Montserrat-2000 HYDROPTIMET - INTERREG IIIB MEDOCC

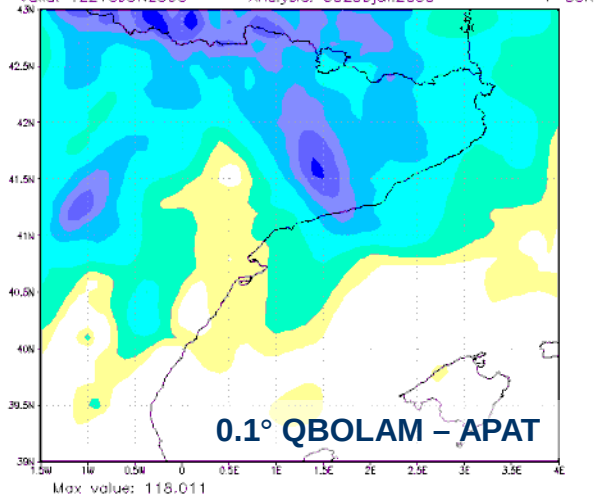
00-06 UTC del 10/06/2000 / griglia a 0.1° in lon-lat

Criterio di pattern match: minimiz. MSE

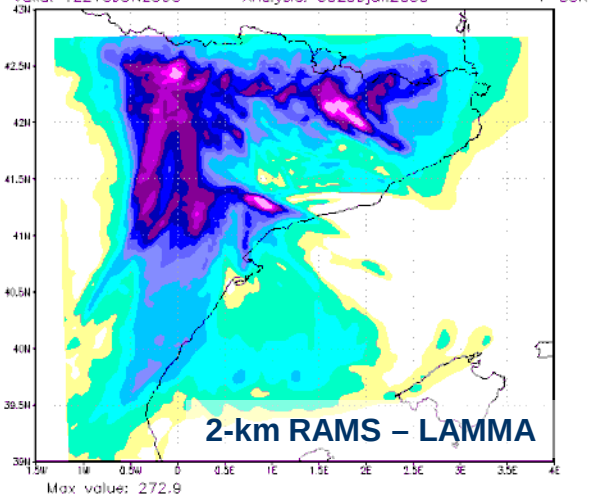
CRA rain-rate contour: 0.5 mm 6h⁻¹

- QBOLAM da spostare 0°E e -0.4°N:
MSE=318.1 → 165.1 & Corr.=0.82 → 0.90
- RAMS da spostare -0.5°E e -0.5°N:
MSE=2739.3 → 631.7 & Corr.=-0.64 → 0.61
→ **il risultato non è fisicamente attendibile**

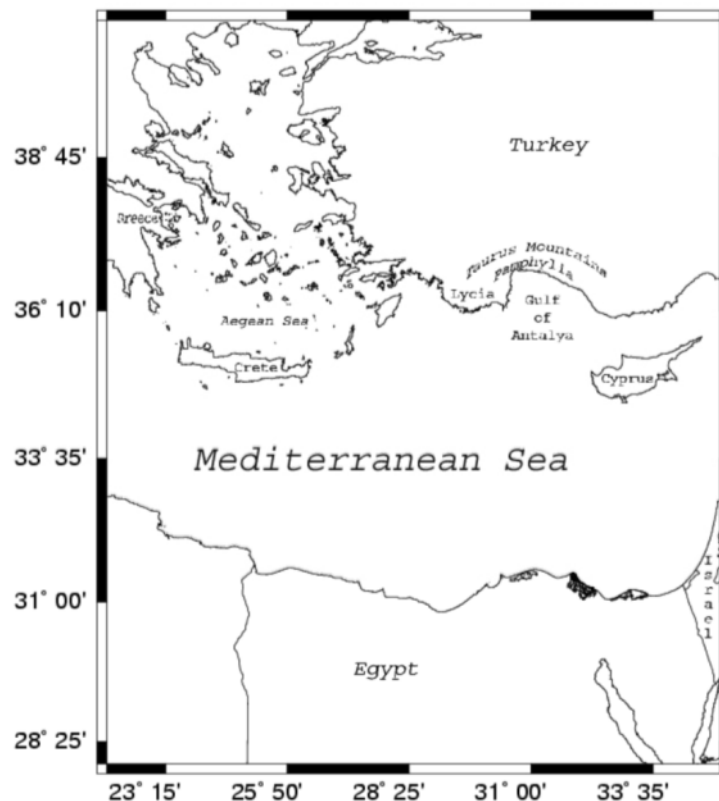
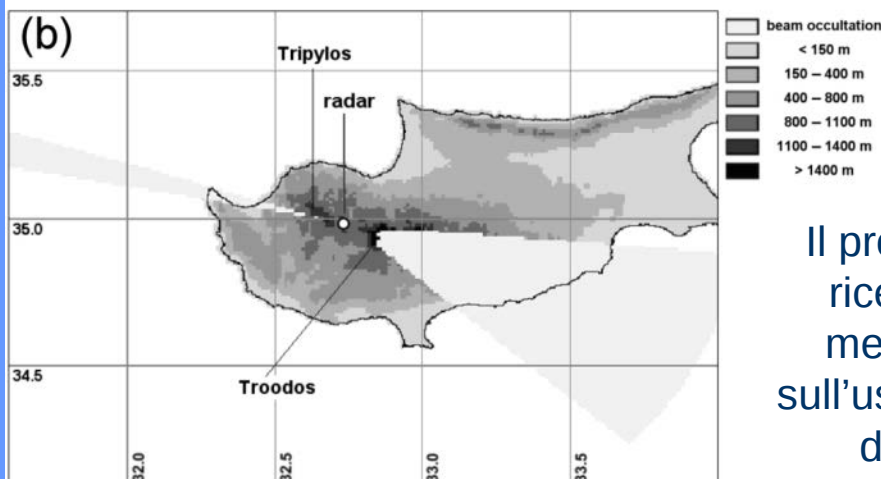
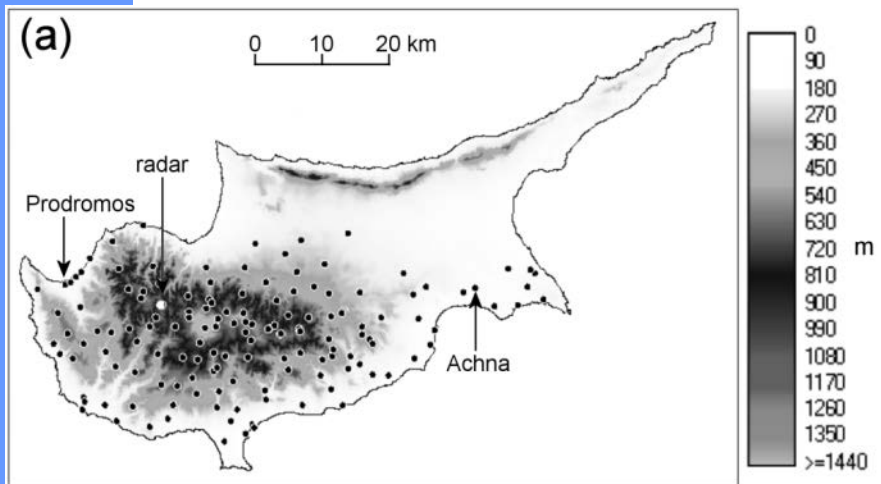
HYDROPTIMET - Spain 09Jun00 - APAT - Model: Q-Bolam 10km
Total Precipitation on previous 36 hours [mm/36hr]
Valid: 12Z10JUN2000 Analysis: 00Z09jun2000 T=36h



HYDROPTIMET - Spain 09Jun00 - LAMMA - Model: RAMS 2km
Total Precipitation on previous 36 hours [mm/36hr]
Valid: 12Z10JUN2000 Analysis: 00Z09jun2000 T=36h



Cipro è un ottimo “test-bed”:
una densa rete di pluviometri – un radar
meteorologico – passaggi del TRMM



Il progetto VOLTAIRE del V Programma Quadro della ricerca (FP5) ha fornito l'opportunità di definire una metodologia di verifica (Mariani et al., 2008) basata sull'uso di osservazioni da pluviometri, radar e satellite e di tecniche di verifica di tipo **object-oriented**, in particolare la **Contiguous Rain Area (CRA) analysis**.

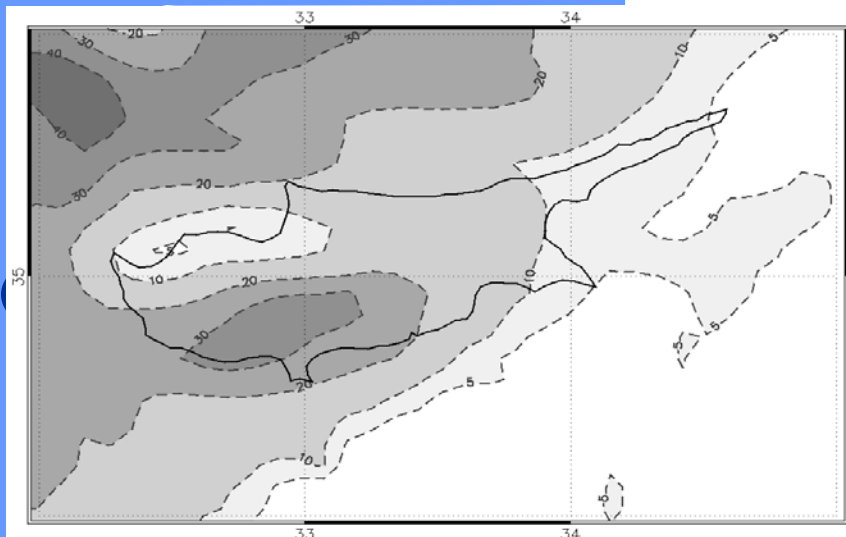
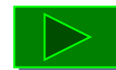


Fig. 6. Contours (in mm) of precipitation modeled by BOLAM. Precipitation is 24-h accumulated from 0600 UTC 5 March to 0600 UTC 6 March 2003.

Obs. type	No. of comparing grid points	MSE [mm ²]	Corr.	Bias (Obs. - Model) [mm]	CRA criterion	[E, N] shift using MSE or Corr. & sig. test constraint	Shifted MSE [mm ²]	Shifted corr.	Shifted bias (Obs. - Model) [mm]	MSE displ. [%]	MSE vol. [%]	MSE patt. [%]
P _{ORD}	446	248.40	0.28	-10.75	MSE 5	[0.45°, 0.45°]	168.98	0.23	-6.95	31.97	19.43	48.60
					MSE 9	[0.72°, 0.81°]	152.49	0.14	-4.58	38.61	8.44	52.95
					MSE 13	[1.17°, 1.17°]	101.43	0.21	-1.33	59.17	0.70	40.13
P _{RORD}	454	273.87	0.36	-2.45	CORR	[0.45°, 0.09°]	215.42	0.42	-10.86	10.18	46.49	43.33
					MSE	[0.27°, 0.09°]	252.1	0.41	-2.34	7.93	1.99	90.08
					CORR	[0.27°, 0.00°]	253.1	0.43	-3.39	9.13	2.18	88.69
					MSE 5	[0.45°, 0.45°]	154.63	0.18	-5.54	32.89	13.30	53.81
					MSE 9	[0.72°, 0.72°]	138.21	0.19	-3.77	40.01	6.17	53.82

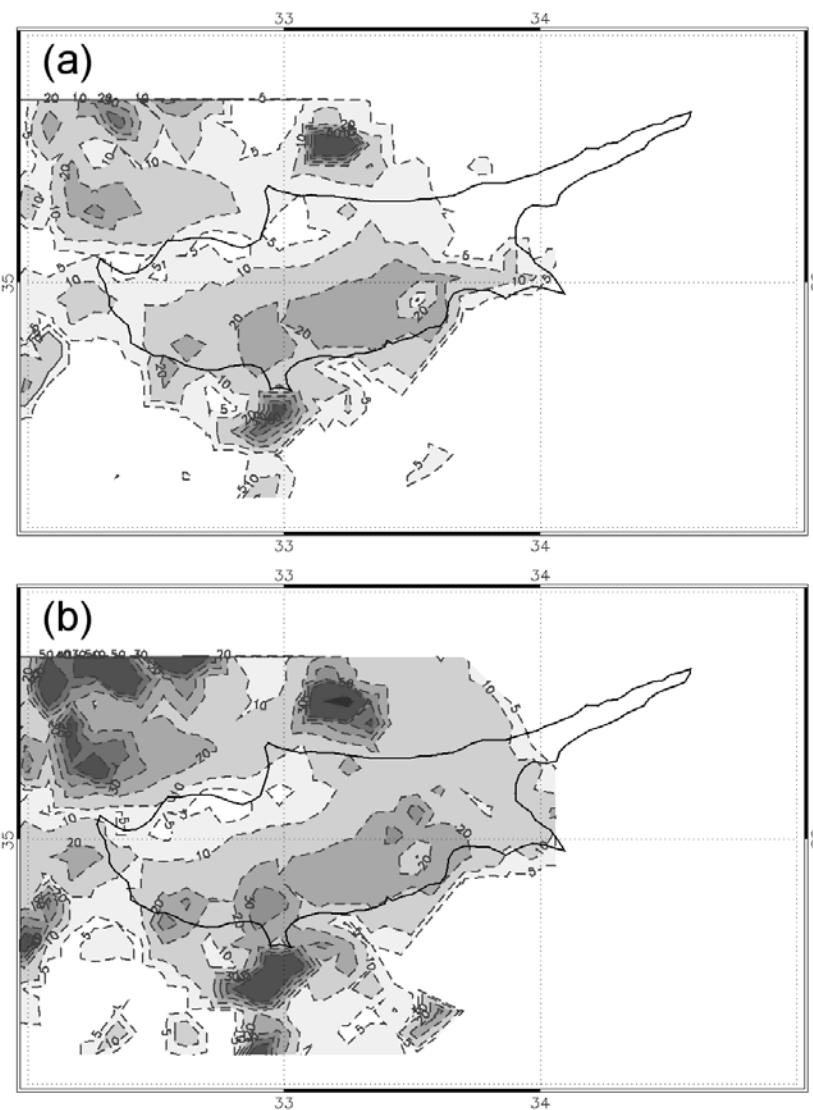


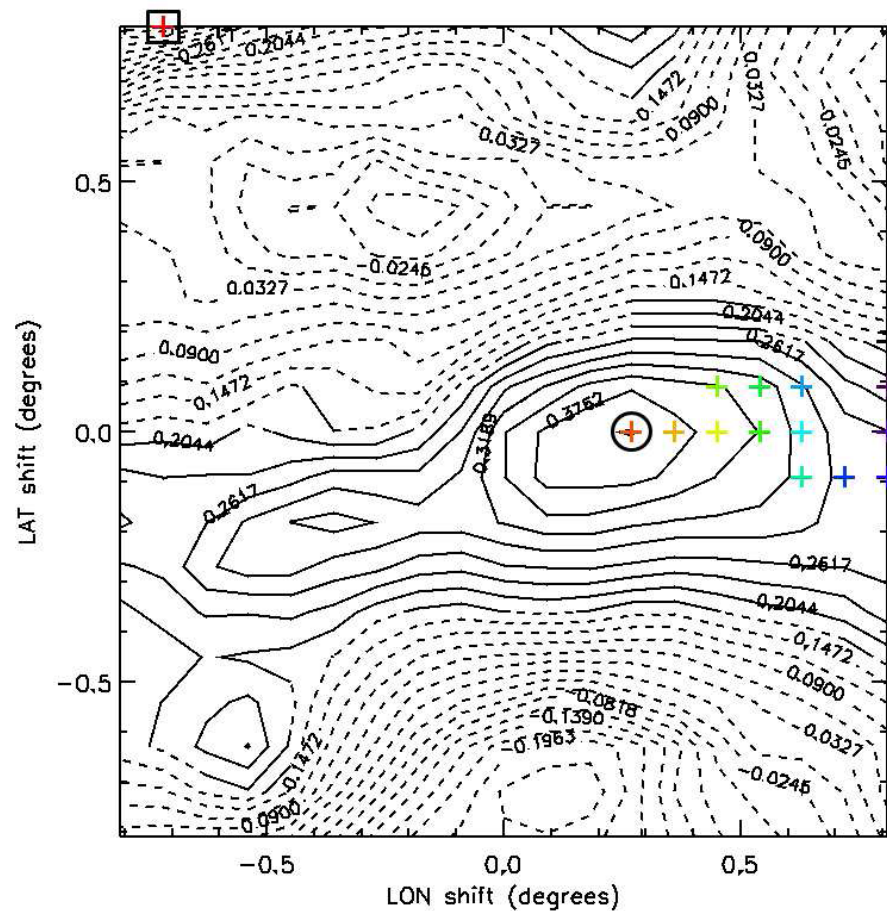
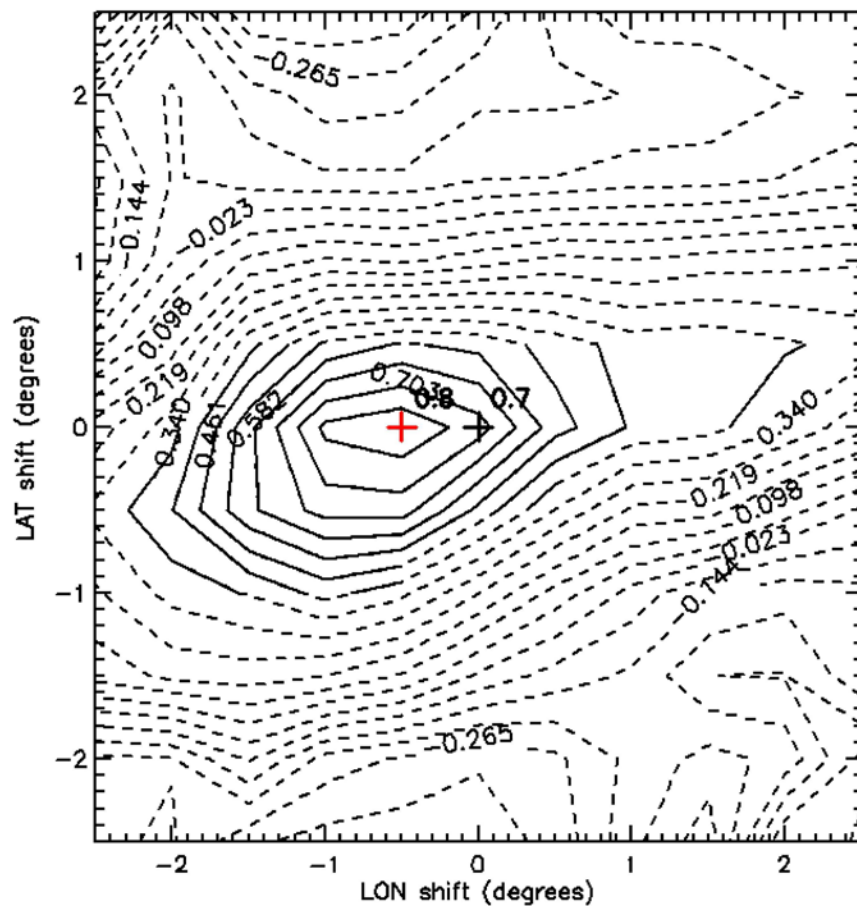
Fig. 8. Contours (in mm) of radar-rain gauge composite using OGRD (a) and RGRD (b). Precipitation is 24-h accumulated from 0600 UTC 5 March to 0600 UTC 6 March 2003.



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Un risultato “fisicamente” plausibile...
Un risultato “sospetto”...

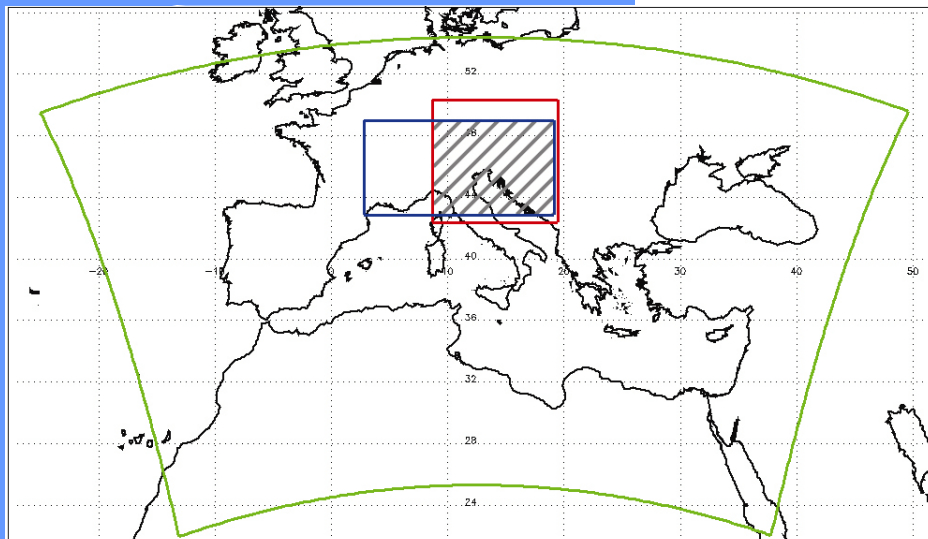


CRA 2D SHIFT ANALYSIS



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



FORALPS – INTERREG IIIB Alpine Space

LAM: **ALADIN**, **QBOLAM**, e **WRF**.

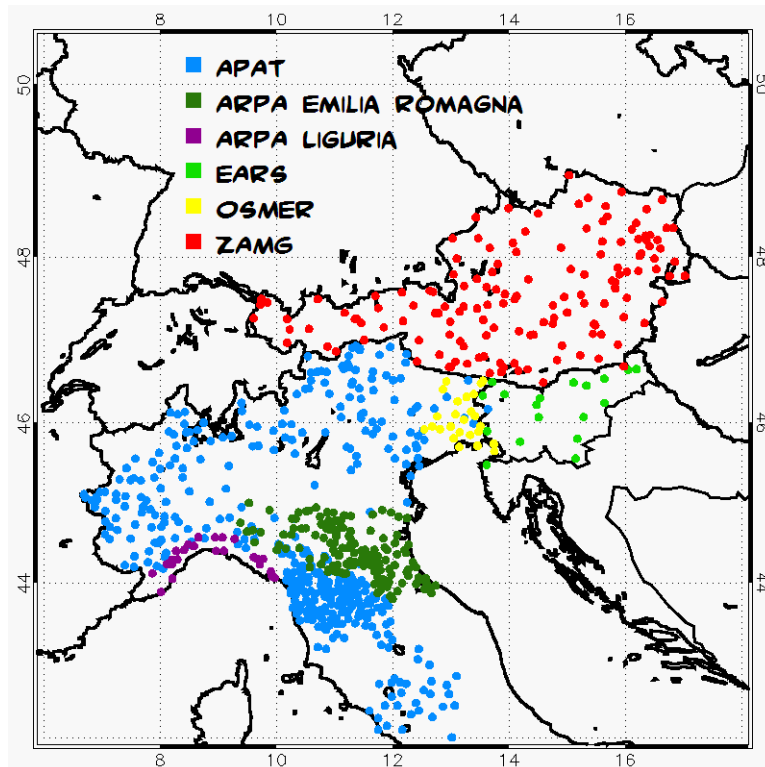
Area di verifica: **intersezione domini**.

Nell'ambito del progetto **FORALPS**, la performance dei 3 LAM in termine di QPF è stata valutata mediante un **approccio combinato** – multi-scala, oggettivo (incl. CRA) e soggettivo (Mariani et al. 2009).

Casi studio: eventi intensi sulle Alpi orientali, connessi al passaggio di una depressione sul Bacino del Mediterraneo.

Mariani, S. et al., Met. Atmos. Phys., 103 (2009) 79–92.

NOVEMBER 2002 EVENT





ISPRA

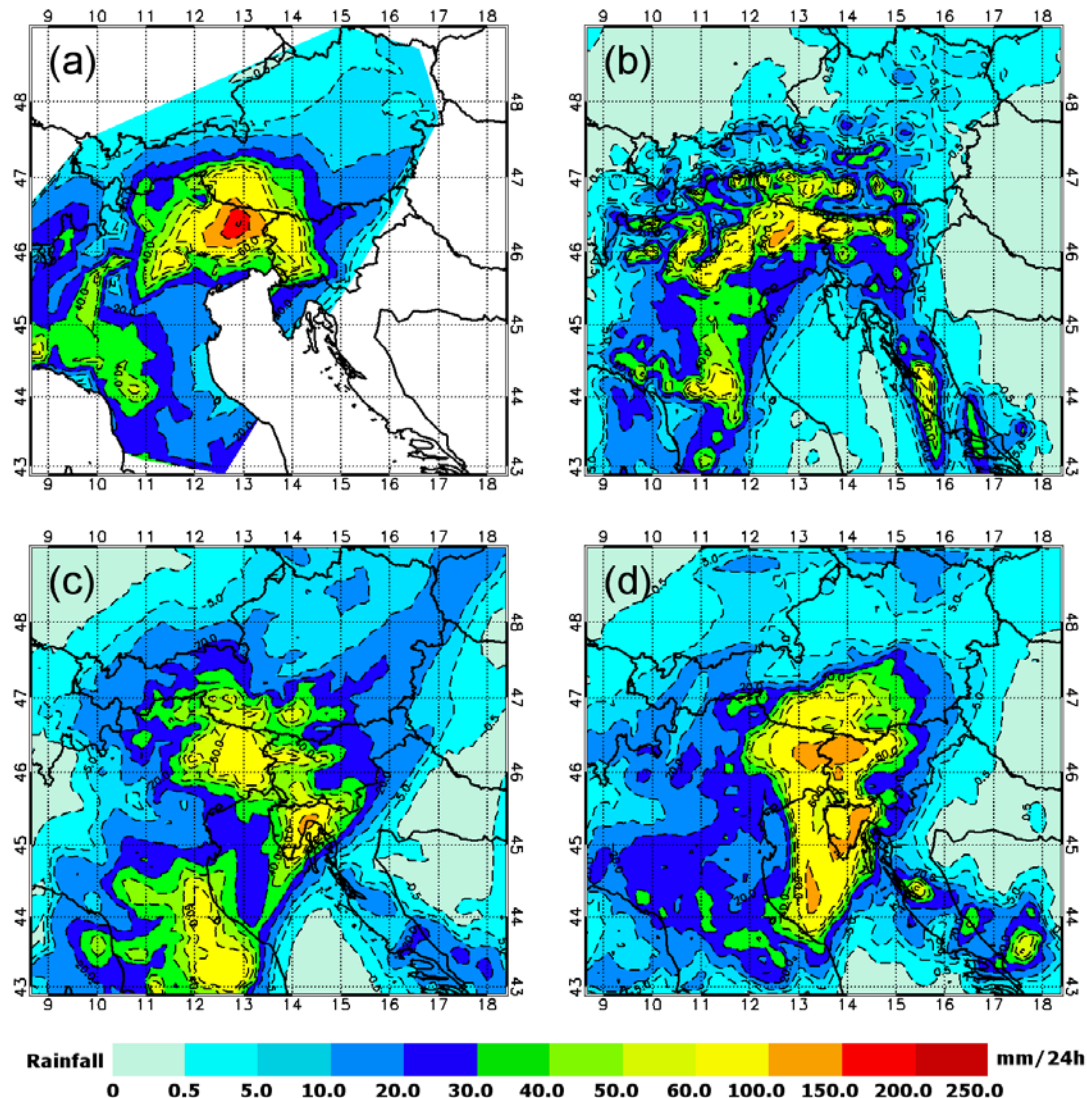
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Piogge osservate (a) e previste da ALADIN (b), QBOLAM (c) e WRF (d)

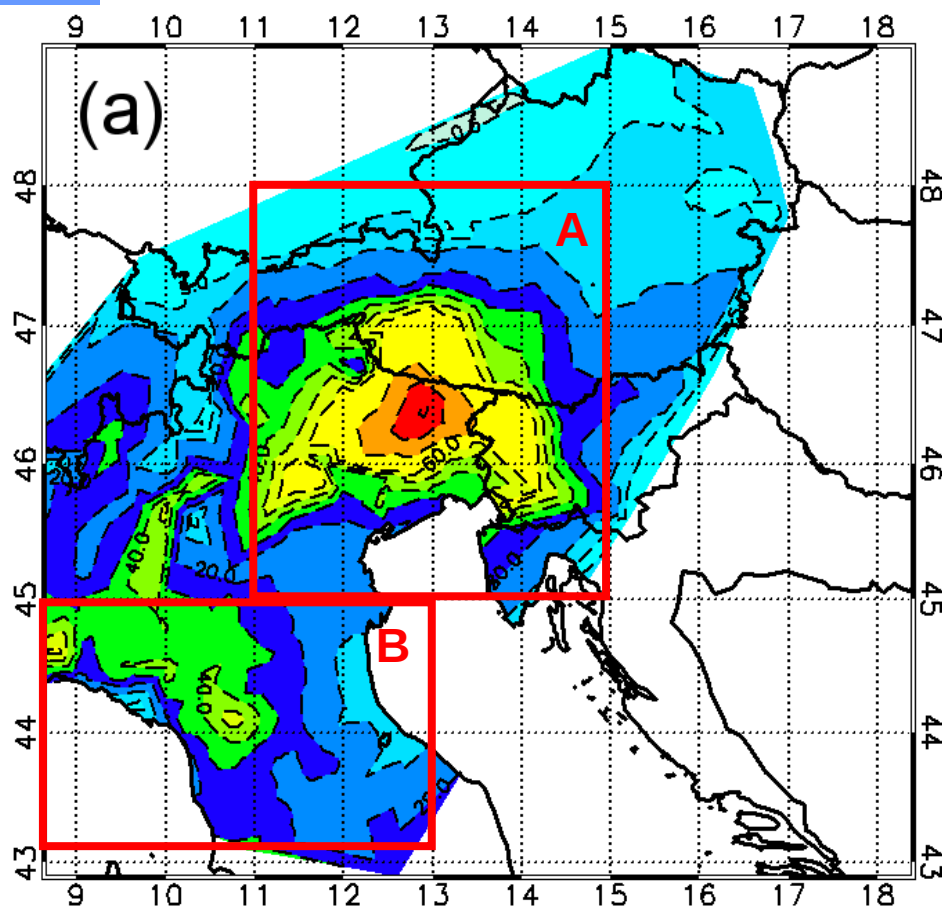
Verifica soggettiva
18 novembre 2002

- ALADIN sembra avere nel complesso il miglior match con l'analisi osservativa
- Il massimo assoluto è meglio catturato da WRF
- Le differenze possono essere parzialmente descritte in termini dell'errore spaziale (prob. dovuto all'incorretta previsione della traiettoria della depressione).

E in termini di CRA?



- Intero dominio
- Area di verifica: • Sotto-dominio A: $45.0^{\circ} - 48.0^{\circ}\text{N}$; $11.0^{\circ} - 15.0^{\circ}\text{E}$
- Sotto-dominio B: $42.9^{\circ} - 45.0^{\circ}\text{N}$; $8.7^{\circ} - 13.0^{\circ}\text{E}$



I risultati della CRA mostrano che la previsione di WRF è spostata ad est di 0.4° (risp. all'oss.); mentre sia per le previsione di ALADIN che per quella di QBOLAM lo shift è abbastanza piccolo.

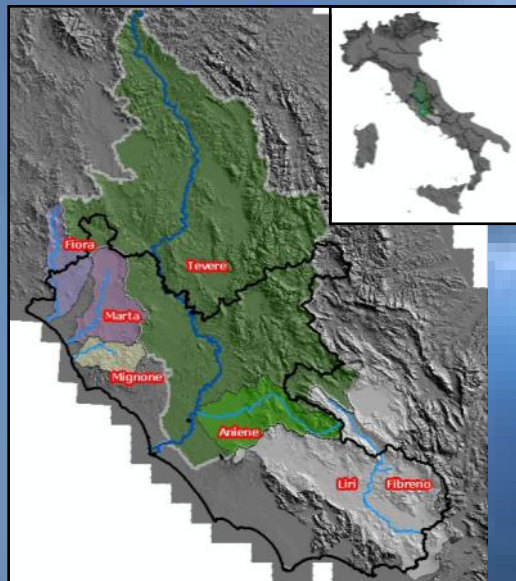
Coerentemente con quanto evidenziato nella verifica visiva se si considera solo il picco sul Friuli Venezia Giulia.

Ma cosa accade se si considera la CRA sui sottodomini (A e B) centrati sui due picchi di precipitazione?

→ È possibile individuare correttamente l'entità dello shift dei due picchi principali

L'evento del Dicembre 2008 a Roma

Tra le attività portate avanti dal Servizio Monitoraggio Acque Interne - Settore Idrologia dell'ISPRA rientra l'analisi ed il monitoraggio degli eventi estremi



- **10-12 dic.:** precipitazioni intense sul versante tirrenico
- Piena del Tevere, dell'Aniene e di alcuni bacini minori
- Inondazione dell'area industriale sulla via Tiburtina
- Inondazione di aree urbanizzate (foce del Tevere)
- Rischio di straripamento nel centro di Roma

- ✓ Una vittima (allagamento di un sottopasso)
- ✓ 500 persone evacuate
- ✓ 150 M€ di danni stimati (Tiburtina)
- ✓ Intensa copertura mediatica

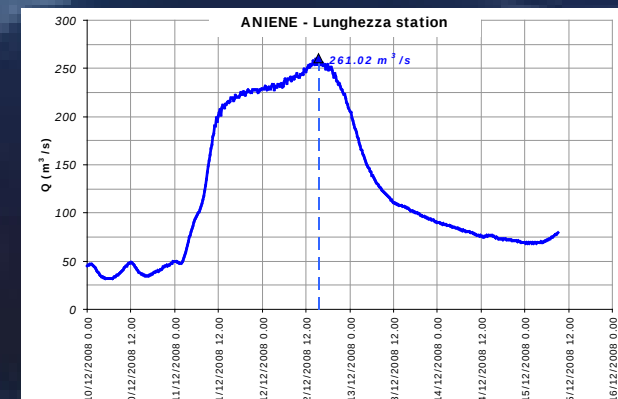
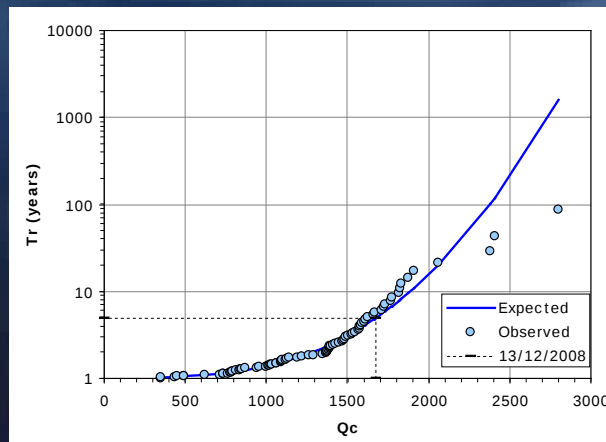
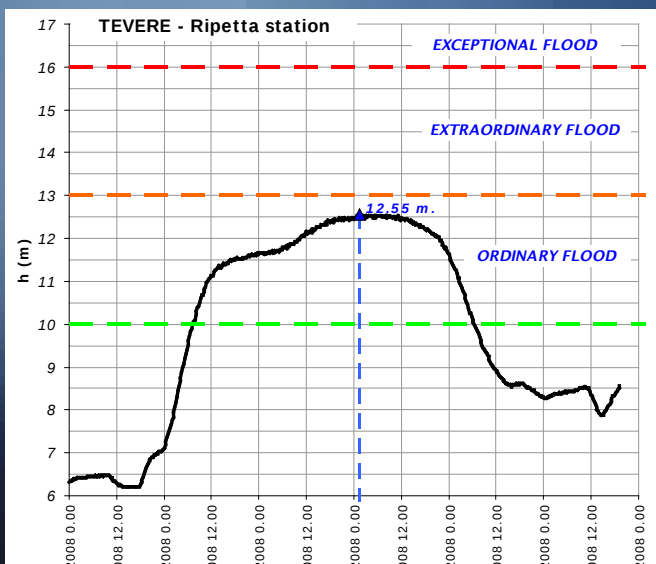
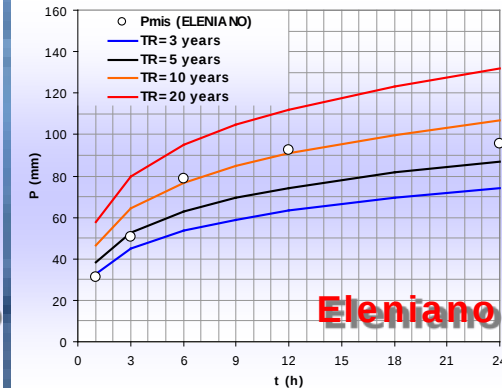
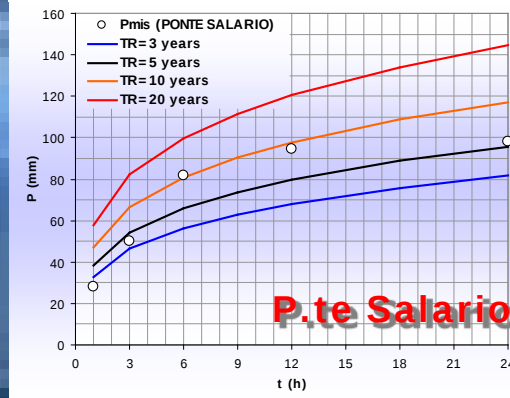
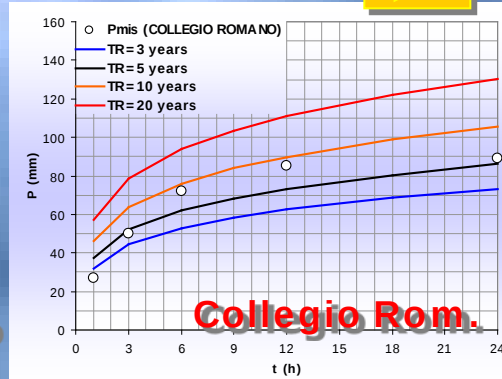
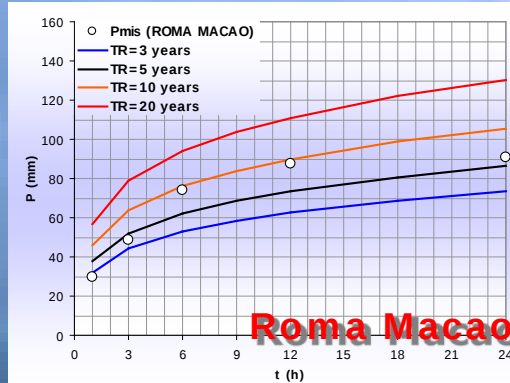


- L'evento è stato generalmente qualificato dai *media* come “estremo”
- Gran parte dei danni derivano da una gestione “impropria” del territorio (es.: costruzione di edifici e impianti in aree golenali)

... fu realmente un evento estremo?



- Il calcolo del tempo di ritorno per le piogge dà un valore di **10 anni** per i pluviometri in area urbana e **< 5 anni** nei dintorni
- Il calcolo del tempo di ritorno della piena (idrometro di Ripetta, Roma centro) dà un valore di **5 anni** (Kolmogorov-Smirnov test)
- Per l'idrometro di Lunghezza (Aniene) il test basato su una distribuzione Two-Component Extreme Value (TCEV) indica un tempo di ritorno di **4.5 anni**



Soglie di Frosini (1977) per Ripetta

Ripetta (distribuzione normale)

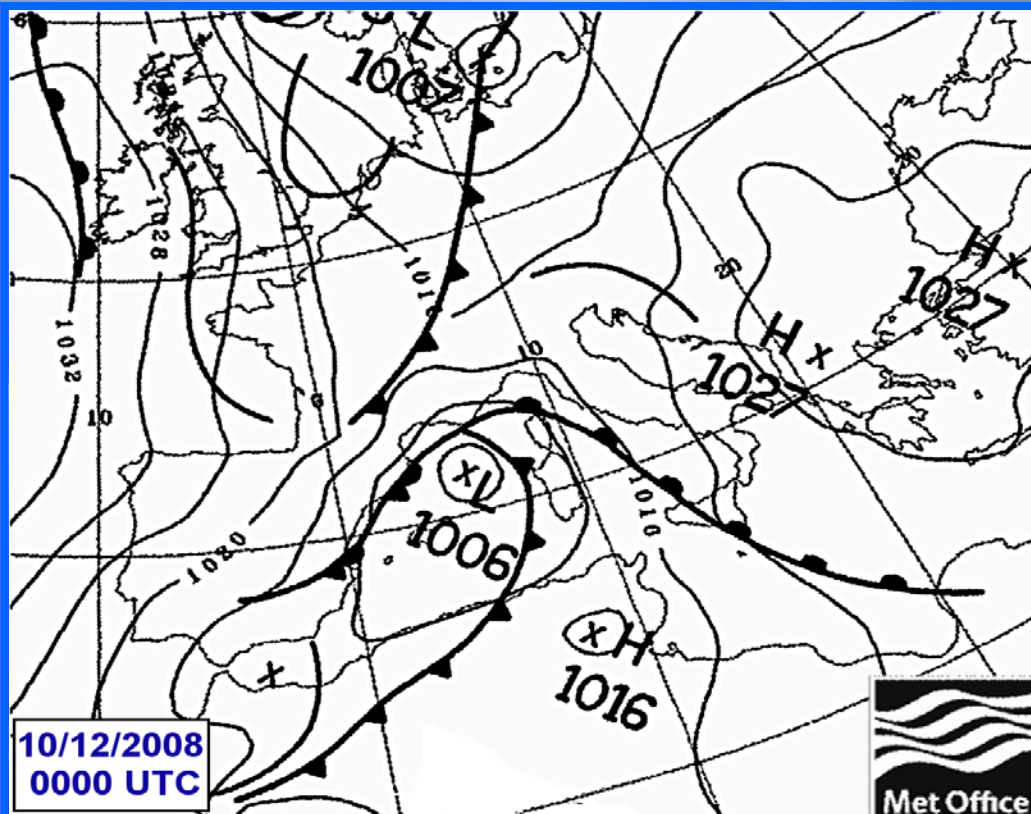
Lunghezza (TCEV)

Analisi sinottica dell'evento

L'evento è provocato da un ciclone Mediterraneo, in moto lento sulla Penisola, bloccato da un'alta pressione sui Balcani:

- Il **giorno 10** il fronte caldo transita sull'Italia centrale
- Il **giorno 11** si osserva una struttura complessa, elongata in senso N-S (3 minimi al suolo)
- Il **giorno 12** il ciclone permane sopra la Penisola

Notare il successivo passaggio (giorni **15/16**) di un imponente ciclone sinottico, con nuove piogge e mantenimento del livello di allerta sul Tevere.



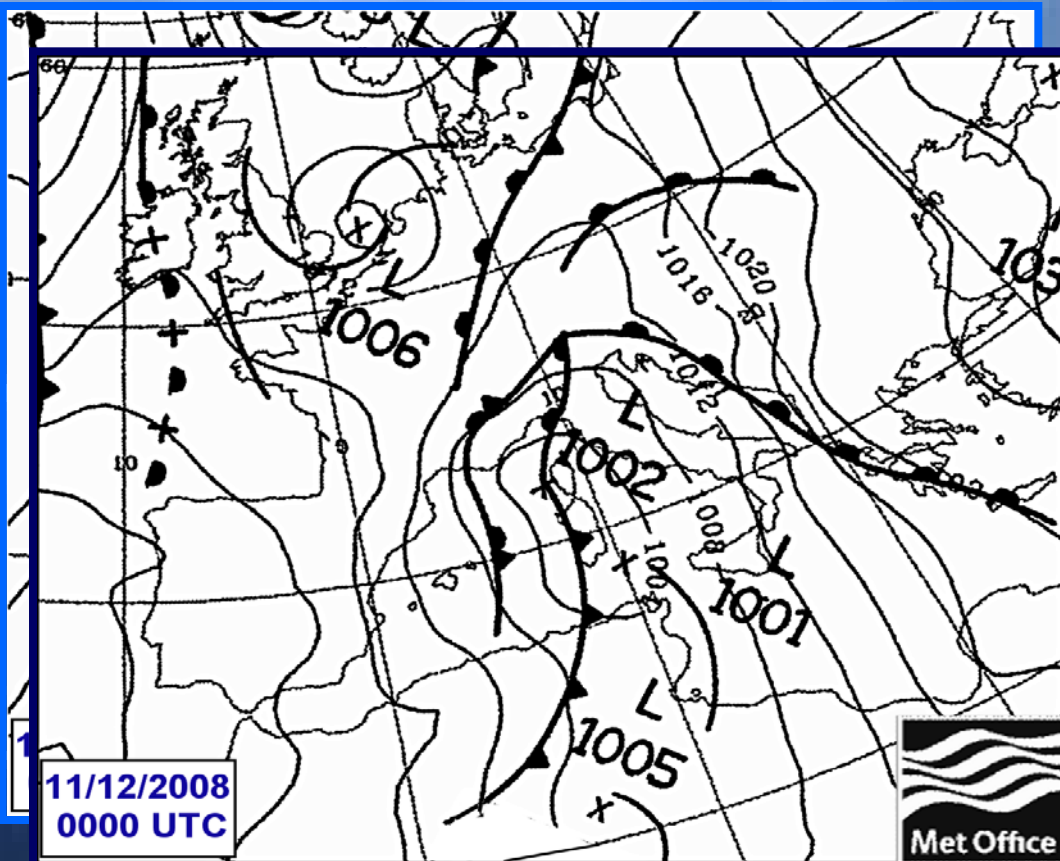
- Il primo ciclone risente dei processi (orografici, termici...) locali, con creazione di strutture difficili da prevedere per i modelli LAM
- Il secondo ciclone è molto più prevedibile

Analisi sinottica dell'evento

L'evento è provocato da un ciclone Mediterraneo, in moto lento sulla Penisola, bloccato da un'alta pressione sui Balcani:

- Il **giorno 10** il fronte caldo transita sull'Italia centrale
- Il **giorno 11** si osserva una struttura complessa, elongata in senso N-S (3 minimi al suolo)
- Il **giorno 12** il ciclone permane sopra la Penisola

Notare il successivo passaggio (giorni **15/16**) di un imponente ciclone sinottico, con nuove piogge e mantenimento del livello di allerta sul Tevere.



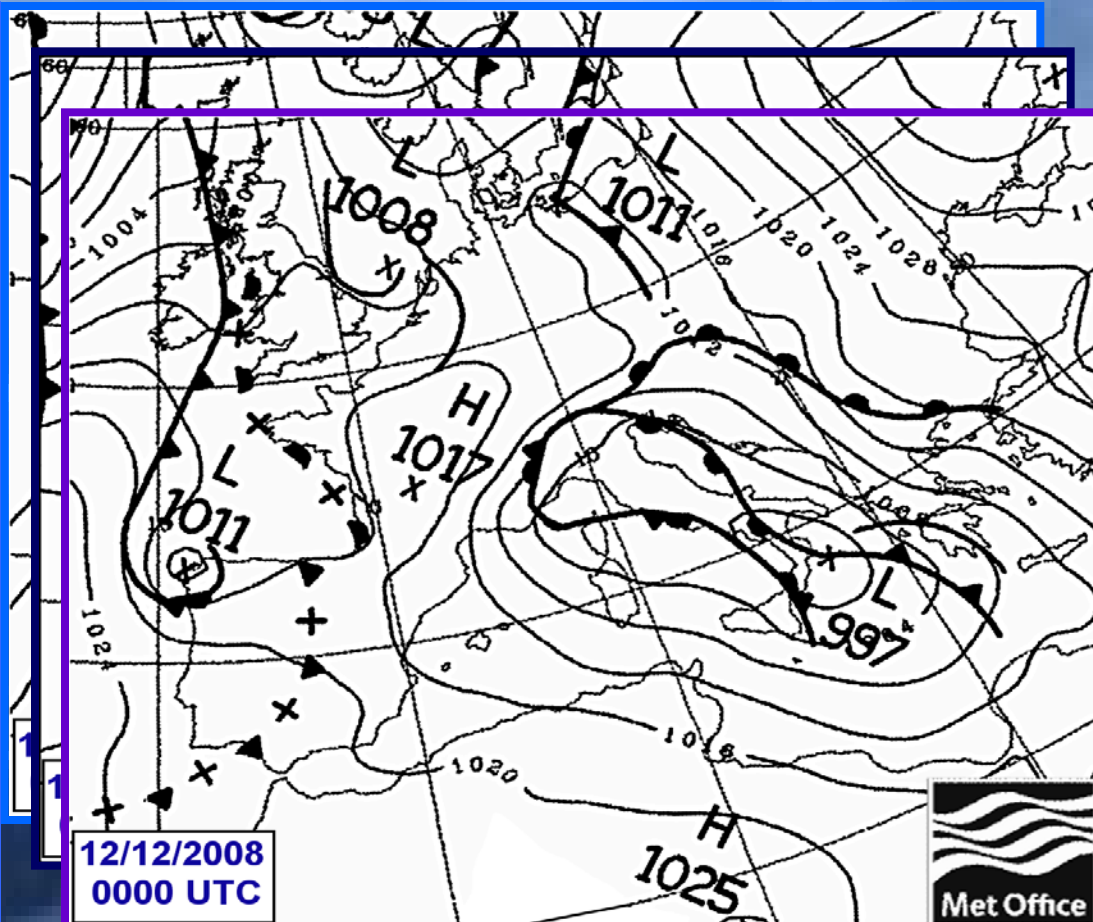
- Il primo ciclone risente dei processi (orografici, termici...) locali, con creazione di strutture difficili da prevedere per i modelli LAM
- Il secondo ciclone è molto più prevedibile

Analisi sinottica dell'evento

L'evento è provocato da un ciclone Mediterraneo, in moto lento sulla Penisola, bloccato da un'alta pressione sui Balcani:

- Il **giorno 10** il fronte caldo transita sull'Italia centrale
- Il **giorno 11** si osserva una struttura complessa, elongata in senso N-S (3 minimi al suolo)
- Il **giorno 12** il ciclone permane sopra la Penisola

Notare il successivo passaggio (giorni **15/16**) di un imponente ciclone sinottico, con nuove piogge e mantenimento del livello di allerta sul Tevere.



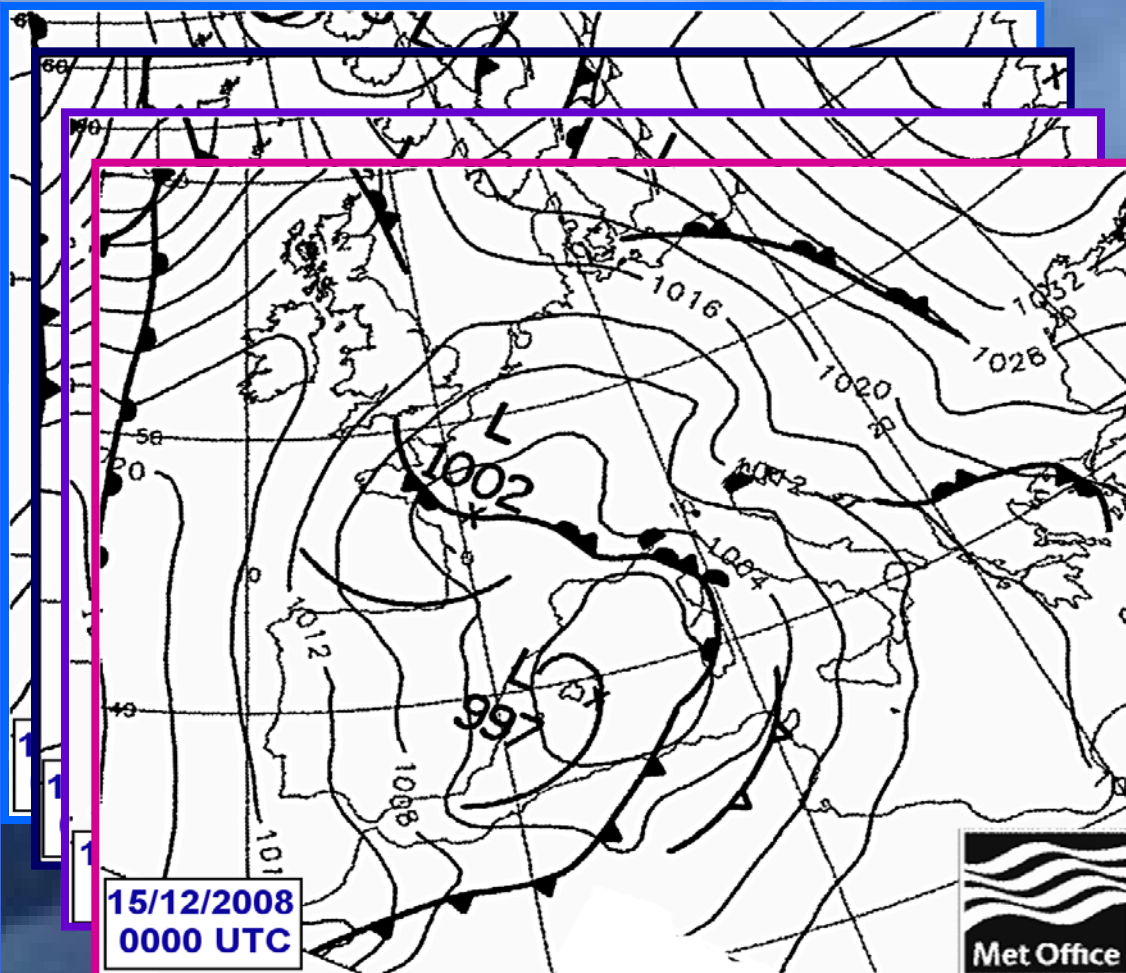
- Il primo ciclone risente dei processi (orografici, termici...) locali, con creazione di strutture difficili da prevedere per i modelli LAM
- Il secondo ciclone è molto più prevedibile

Analisi sinottica dell'evento

L'evento è provocato da un ciclone Mediterraneo, in moto lento sulla Penisola, bloccato da un'alta pressione sui Balcani:

- Il **giorno 10** il fronte caldo transita sull'Italia centrale
- Il **giorno 11** si osserva una struttura complessa, elongata in senso N-S (3 minimi al suolo)
- Il **giorno 12** il ciclone permane sopra la Penisola

Notare il successivo passaggio (giorni **15/16**) di un imponente ciclone sinottico, con nuove piogge e mantenimento del livello di allerta sul Tevere.



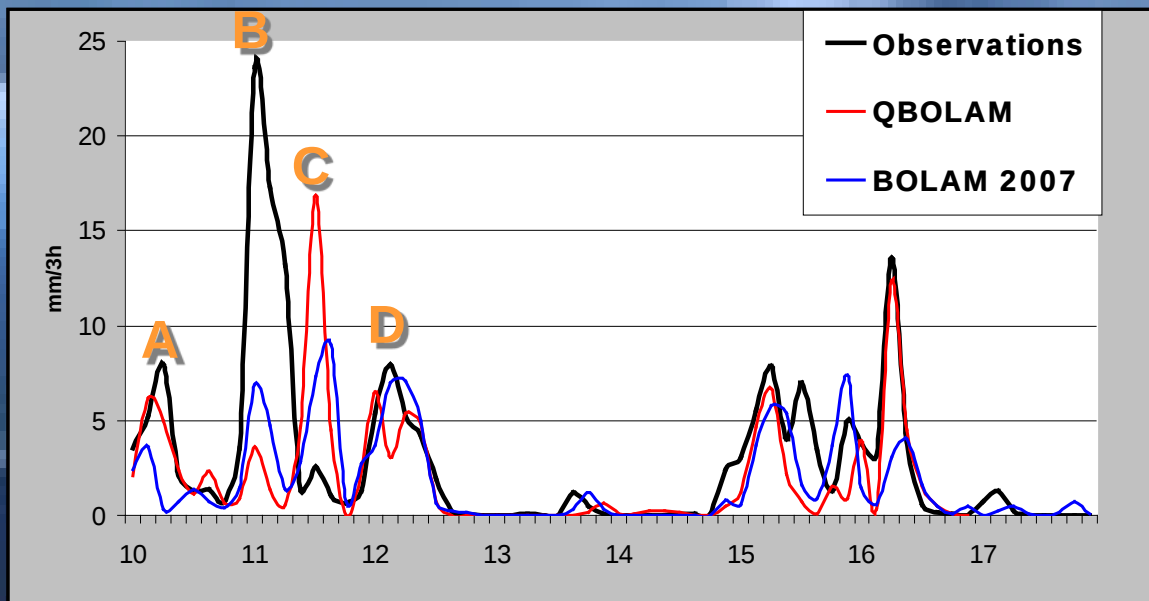
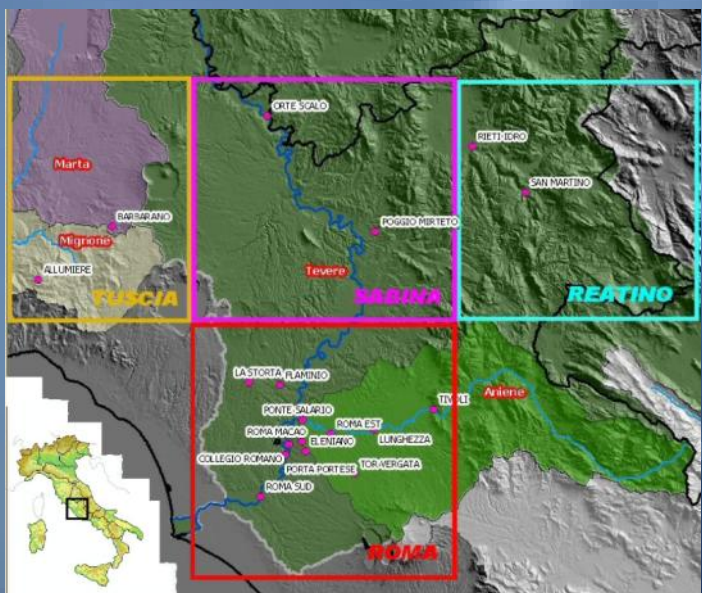
- Il primo ciclone risente dei processi (orografici, termici...) locali, con creazione di strutture difficili da prevedere per i modelli LAM
- Il secondo ciclone è molto più prevedibile

Confronto delle serie pluviometriche

Osservazioni: 17 pluviometri su Roma, valle dell'Aniene e bassa Valle del Tevere

Previsioni: aggregazione dei punti di griglia con pluviometri. Serie costruite unendo 24ore (da +12h a +36h) da ciascun run giornaliero (inizializzato alle 1200 UTC). Pioggia cumulata ogni 3h.

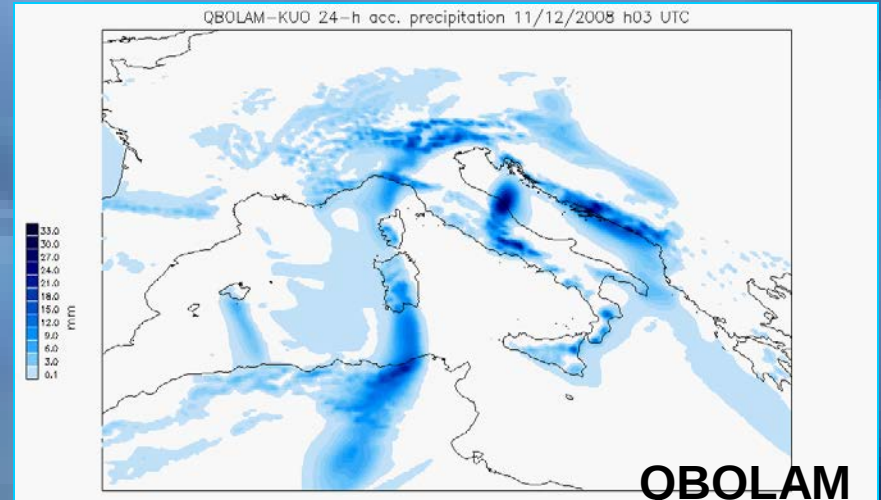
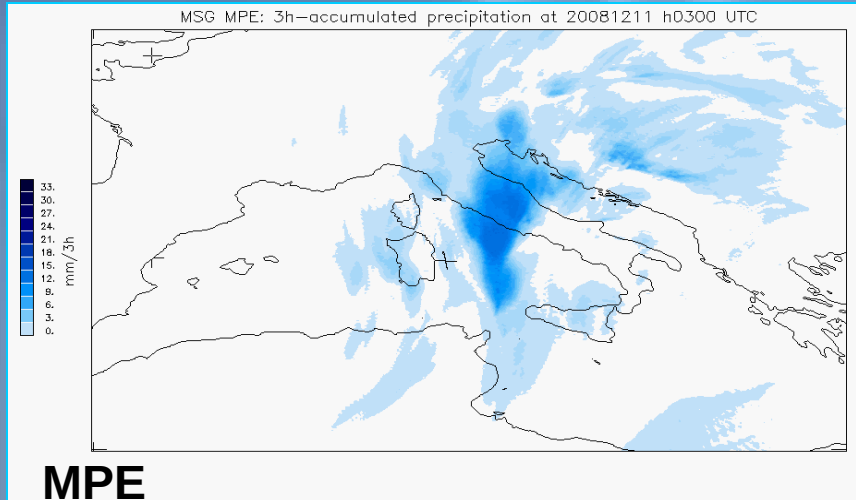
Modelli: QBOLAM e BOLAM 2007 seriale.



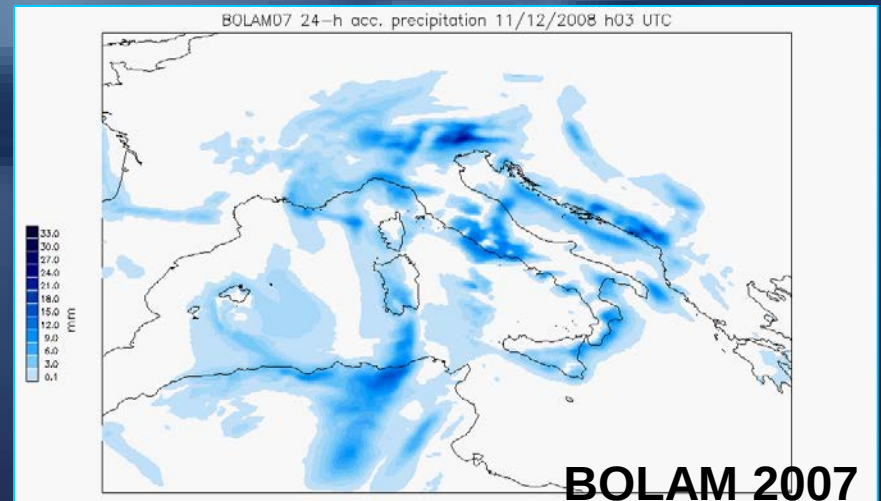
- Picco principale (B): fortemente sottostimato. Parte della precipitazione è “posticipata” di 12h (“falso” picco: C). L’uso del BOLAM 2007 riduce parzialmente l’errore.
- Picchi secondari (A e D): previsioni molto più accurate. NB: si tratta di passaggi frontali.
- Evento del 15-16 dicembre (ciclone sinottico): buone prestazioni di entrambi i modelli

Confronto con stime di pioggia da satellite (picco B)

Le immagini METEOSAT evidenziano lo sviluppo di convezione organizzata (pennacchi “a V”) al centro del settore caldo nella sera del 10 (possibile low-level jet lungo la costa tirrenica). Le nubi convettive transitano per tutta la notte sulla Valle del Tevere.



La stima da satellite evidenzia pioggia intensa nella “squall line” e scarsa nelle zone frontali. Al contrario, per QBOLAM la precipitazione è soprattutto frontale e/o orografica. Il BOLAM aggiornato tende a produrre una struttura simile alla squall line osservata, seppure debole, e a ridurre l'eccesso di precipitazione in corrispondenza dei fronti



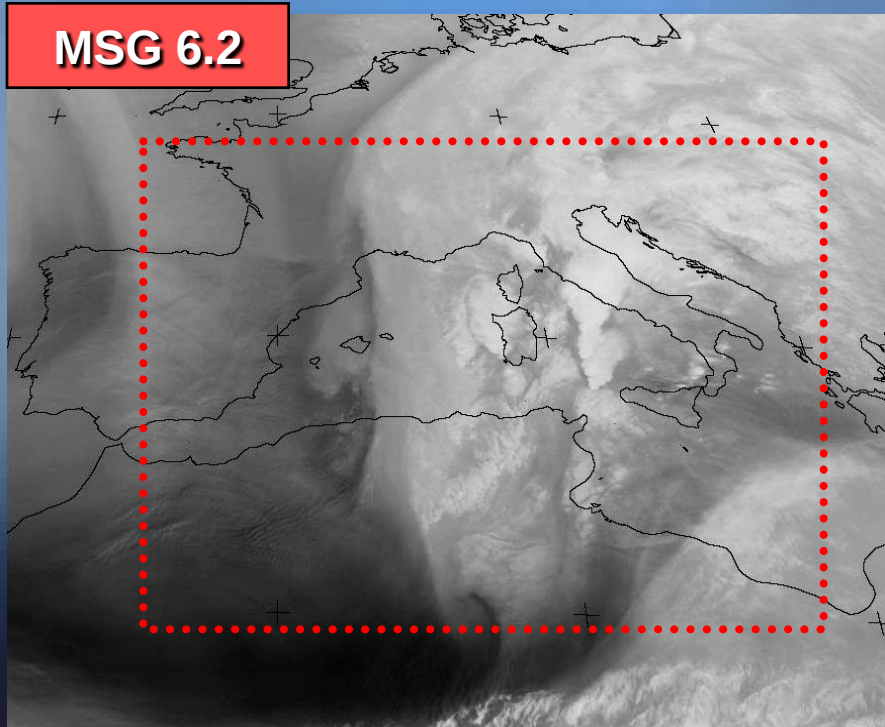
11/12/08 Piogge cumulate 00-03 UTC

Confronto con “pseudo-WV”: picco B

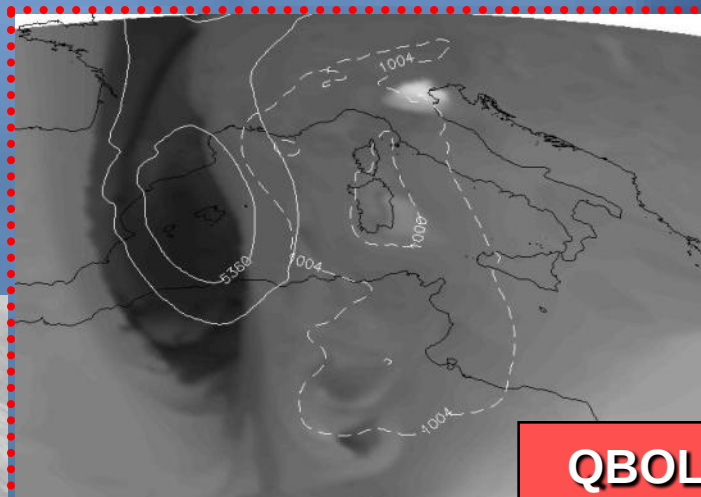
L'intrusione fredda (“lingua “ scura sulle Baleari) indica la posizione del minimo barico in quota. Nei due forecast la “lingua” ha un'eccessiva curvatura sul Golfo del Leone: possibile sovrastima del minimo barico al suolo sul Golfo di Genova.

BOLAM 2007: la banda grigio-chiara su Tunisia e Tirreno indica moti ascensionali. Almeno in parte, la circolazione associata alla squall-line è riprodotta dal modello.

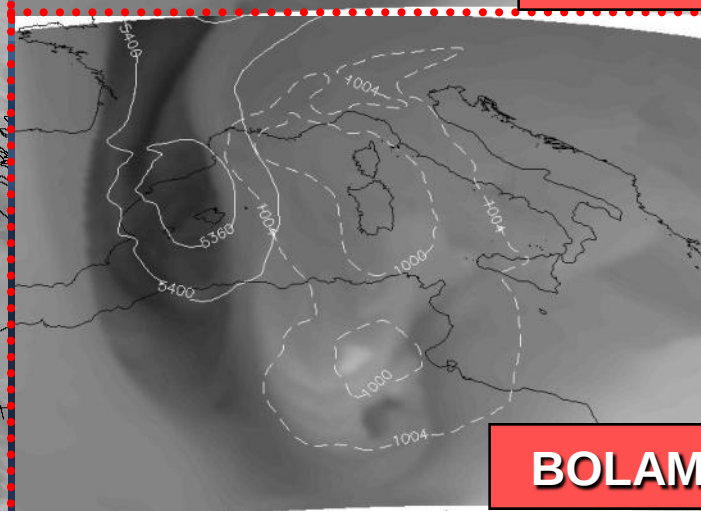
MSG 6.2



QBOLAM



BOLAM '07



11/12/08 00 UTC (B)

Ringraziamenti

Desideriamo ringraziare, fra gli altri:

- Barbara Lastoria, Alexandre Lanciani, Martina Bussettin, Giuseppina Monacelli, Arianna Orasi, Roberto Inghilesi (ISPRA)
- Christophe Accadia (EUMETSAT)
- Antonio Speranza (Università di Camerino)
- Alfredo Lavagnini, Piero Malguzzi, Andrea Buzzi, Oxana Drofa (ISAC-CNR)
- Simona Flavoni (LOCEAN-IPSL-CNRS)
- Nazario Tartaglione (University College Dublin)
- Piero Lanucara, Stefano Tagliaventi (CASPUR)

... e voi, per la vostra cortese attenzione!!!