

## Relazione scientifica

### Implementazione del modulo software LAPS/STMAS e l'esecuzione di alcuni test

Programma Short Term Mobility 2015.

Beneficiario: Dr. Alessandro Tiesi – Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Bologna.

Riferimenti presso ISAC-CNR: Dr. Silvio Davolio.

Istituzione ospitante: Servizio Meteorologico di Catalogna (SMC), Barcellona, Spagna.

Riferimenti presso il SMC: Dr. Abdelmalik Sairouní Afif, Dr. Jordi Moré.

Periodo di permanenza presso il SMC: da lunedì 28-09-2015 a venerdì 16-10-2015.

Periodo di permanenza a Barcellona: da domenica 27-09-2015 a sabato 17-10-2015.

#### 1. Introduzione

Il Local Area and Prediction System (LAPS) è una piattaforma software sviluppata presso la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA – USA; <http://laps.noaa.gov>). LAPS permette di assimilare dati convenzionali e non convenzionali per il nowcasting (previsioni meteorologiche fino a 3-6 ore) e per migliorare la previsione meteorologica ad alta risoluzione (fino a 12-24 ore). È un sistema che permette l'assimilazione anche con modeste risorse di calcolo, ed è open source. LAPS è in uso presso diverse istituzioni internazionali, sia istituti di ricerca che servizi meteorologici regionali. Il sistema è in uso in diverse istituzioni Europee tra cui l'ISAC-CNR e il SMC.

Il sistema LAPS, nella sua versione iniziale (Albers et al, 1996), esegue l'analisi dei dati meteorologici secondo l'approccio di Barnes (1964), basato su approssimazioni successive. Il sistema è costituito da una serie di moduli, i quali possono essere organizzati ed eseguiti in sequenza in base alle esigenze specifiche dell'utente.

Aggiornamenti recenti del sistema LAPS introducono il modulo STMAS (Space and Time Multiscale Analysis System; Xie et al., 2011). STMAS è descritto come un sistema di assimilazione di ultima generazione, che adotta una tecnica a multigriglia e combina i vantaggi dell'assimilazione basata sull'Ensemble Kalman Filter (EnKF) e sul variazionale (4DVAR), al tempo stesso riduce le limitazioni di entrambi (<http://laps.noaa.gov/stmas/>). Presso l'ISAC-CNR è maturata l'intenzione di provare ad utilizzare il modulo STMAS in quanto basato su metodi più avanzati. La finalità è quella di migliorare l'analisi dei dati

meteorologici. I modelli meteorologici ad alta risoluzione possono trarre dei significativi benefici dall'analisi dei dati, ad esempio per le previsioni di precipitazioni intense legate a fenomeni convettivi attraverso il miglioramento della condizione iniziale. Pertanto l'implementazione del LAPS può fornire un utile supporto alla modellistica operativa.

Il conferimento della Short Term Mobility (STM) ha permesso la vivita presso il SMC col fine di apprendere i punti più importanti della messa a punto per l'esecuzione dei moduli basati sull'approccio STMAS. I colleghi della sezione ricerca del SMC sono stati tra i primi in Europa ad installare ed effettuare prove col nuovo modulo, motivo per cui l'istituzione scelta per la STM è stata il SMC.

Un altro fatto di rilevanza è la generale scarsa o poco aggiornata documentazione del pacchetto LAPS. La documentazione del modulo STMAS risulta essere quasi inesistente e limitata ad una serie di succinti commenti nei codici sorgente. Lo scambio di esperienze nell'implementazione del sistema LAPS ha dato grande impulso alla volontà di collaborare.

## **2. Situazione al 28-09-2015**

### *2.1. ISAC-CNR*

La versione utilizzata presso l'ISAC-CNR è la 0-46-1. Per tale versione sono state implementate delle interfacce per i modelli meteorologici BOLAM e MOLOCH, sviluppati presso l'ISAC-CNR. Inoltre sono state effettuate molte modifiche, per correggere errori di programmazione, errori logici, o modifiche necessarie per l'accoppiamento coi modelli meteo ISAC-CNR. Le modifiche sui codici sorgente hanno occupato gran parte del lavoro di implementazione di LAPS. Allo stato attuale la versione ISAC della 0-46-1 ha prodotto delle analisi fisicamente e logicamente ben poste, tali da avere un impatto significativo sulle simulazioni meteorologiche di un caso studio.

### *2.2. SMC*

La versione utilizzata a livello operativo presso il SMC è la 0-48-7 e il modello meteorologico di riferimento è il WRF-ARW. All'interno della piattaforma software LAPS esistono alcuni moduli di interfaccia col modello WRF-ARW, che è assunto come il modello di default. Pertanto l'implementazione del sistema LAPS da parte dei colleghi Catalani ha richiesto tempi più rapidi. Tuttavia la relativa facilità di implementazione, unita alla natura del SMC che è un ente operativo a differenza dell'ISAC-CNR che è un ente di ricerca, non ha dato la possibilità di evidenziare alcuni problemi.

I colleghi del SMC hanno iniziato a lavorare sul modulo STMAS da circa un anno e stanno effettuando test di verifica sul modulo STMAS della versione 0-50-1.

## **3. STMAS**

L'analisi mediante STMAS è effettuata da due moduli che eseguono separatamente le analisi 2D (superficiale) e successivamente le analisi 3D. La sequenza logica è identica a quella seguita dalla versione di LAPS tradizionale: inizialmente vengono assimilati i dati sui campi superficiali, segue l'analisi 3D che tiene conto dell'assimilazione dell'analisi superficiale per quanto concerne lo strato limite atmosferico.

### 3.1. STMAS2D

Per poter utilizzare il modulo che esegue l'analisi superficiale è stato necessario modificare in alcuni punti i codici sorgente, modifiche suggerite dai colleghi del SMC.

Seguendo le indicazioni dei colleghi del SMC è stata adeguatamente completata la messa a punto dei principali parametri per la corretta esecuzione dell'analisi 2D.

### 3.2. STMAS3D

Il modulo 3D è stato progettato per la lettura dei dati in formato BUFR. Pertanto è stato necessario compilare le librerie per la gestione dei files contenenti i dati, successivamente è stato compilato ed utilizzato un modulo che scrive i dati superficiali e da sondaggio in formato BUFR.

Come per il modulo dell'analisi superficiale, sono stati fissati tutti i parametri per una corretta esecuzione del modulo STMAS3D. A differenza di tutti i moduli del pacchetto LAPS, il modulo STMAS3D risulta essere molto più pesante dal punto di vista computazionale. Tuttavia, con un'adeguata memoria centrale (RAM) il tempo di esecuzione risulta essere in linea coi tempi di esecuzione degli altri moduli.

## 4. Risultati dei test

Vengono riportati i risultati preliminari delle simulazioni effettuate con STMAS 2D e 3D. Le prove sono state effettuate su un dominio che comprende la regione catalana. La scelta del dominio ha premesso di confrontare i risultati con i rispettivi ottenuti dai colleghi del SMC.

Le caratteristiche del dominio sono:

- proiezione geografica Lambert conforme. Proiezione in accordo al modello meteorologico di riferimento WRF-ARW, che fornisce i campi di background;
- 166x154x21 (longitudine x latitudine x livelli), risoluzione orizzontale di 3km;
- i dati meteorologici assimilati nelle prove sono di due tipi:
  - 193 stazioni METAR e SYNOP (Iso);
  - satellite geostazionario SEVIRI/MSG.

Il SMC dispone di ulteriori 70 stazioni di misure al suolo indipendenti, che permettono una verifica per la valutazione della qualità delle analisi.

### 4.1. STMAS2D

Le simulazioni col modulo `stmas_mg` (che esegue l'analisi 2D superficiale) sono state eseguite presso il SMC. Le analisi che verranno mostrate sono state ottenute utilizzando il modulo `stmas_mg` modificato dai colleghi del SMC. I campi analizzati verranno presentati assieme ai campi di background e ai campi analizzati dal modulo `laps_sfc` contenente le modifiche implementate presso l'ISAC-CNR. Le modifiche implementate, sia nella versione ISAC-CNR che SMC, riguardano la corretta rappresentazione delle stazioni di misura superficiale rispetto al dominio. Le modifiche sono state implementate sui due moduli distinti e in completa autonomia.

Umidità relativa RH a 2 metri

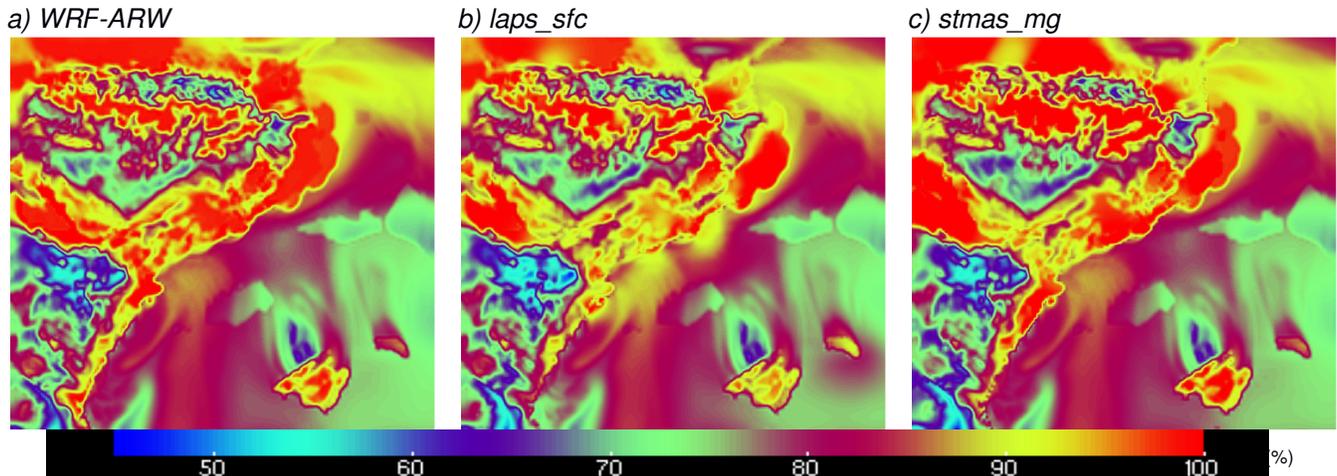


Figura 1. RH a 2 metri: a) dal background WRF-ARW, b) dal modulo laps\_sfc e c) dal modulo stmas\_mg,

Temperatura T a 2 metri

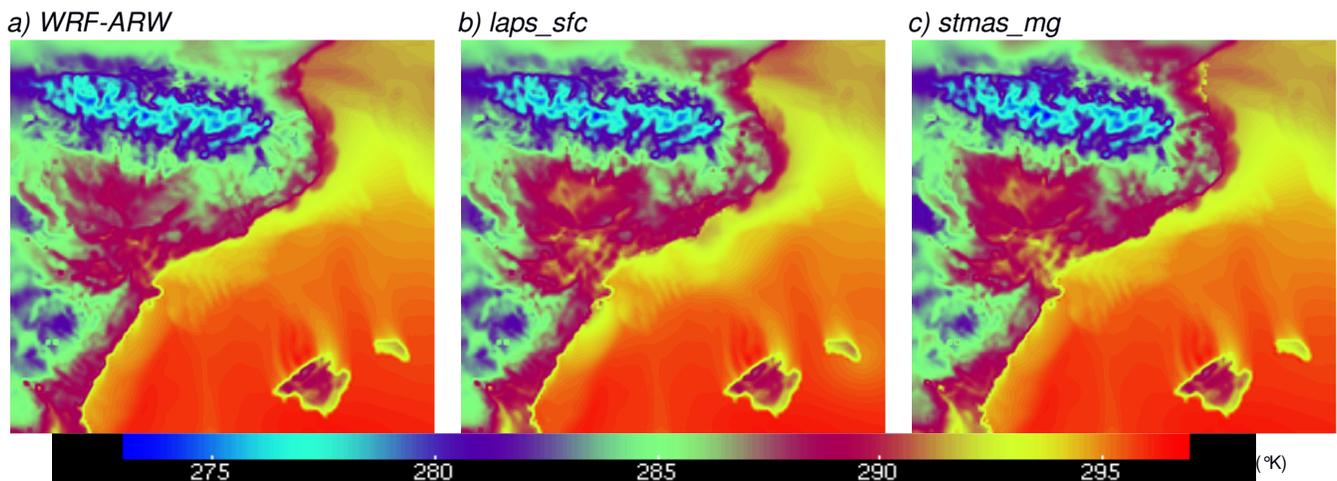


Figura 2. T a 2 metri: a) dal background WRF-ARW, b) dal modulo laps\_sfc e c) dal modulo stmas\_mg.

Nelle figure 1 e 2 sono mostrati rispettivamente i campi superficiali di umidità relativa (RH) e temperatura (T) a 2 metri; nelle figure 3 e 4 rispettivamente i venti zonale (U) e meridionale (V) a 10 metri. In particolare: a) campi di background forniti dal modello WRF-ARW, b) campi analizzati dal modulo laps\_sfc basato sull'approccio alla Barnes (1964) e c) campi analizzati col modulo stmas\_mg (STMAS).

Le figure mostrate hanno lo scopo dimostrativo delle analisi. Per dettagli quantitativi si rimanda ai risultati delle verifiche ancora in atto e ad eventuali pubblicazioni future in collaborazione con i colleghi del SMC. Tuttavia la verifica delle analisi esula dall'obiettivo della missione.

Vento U a 10 metri

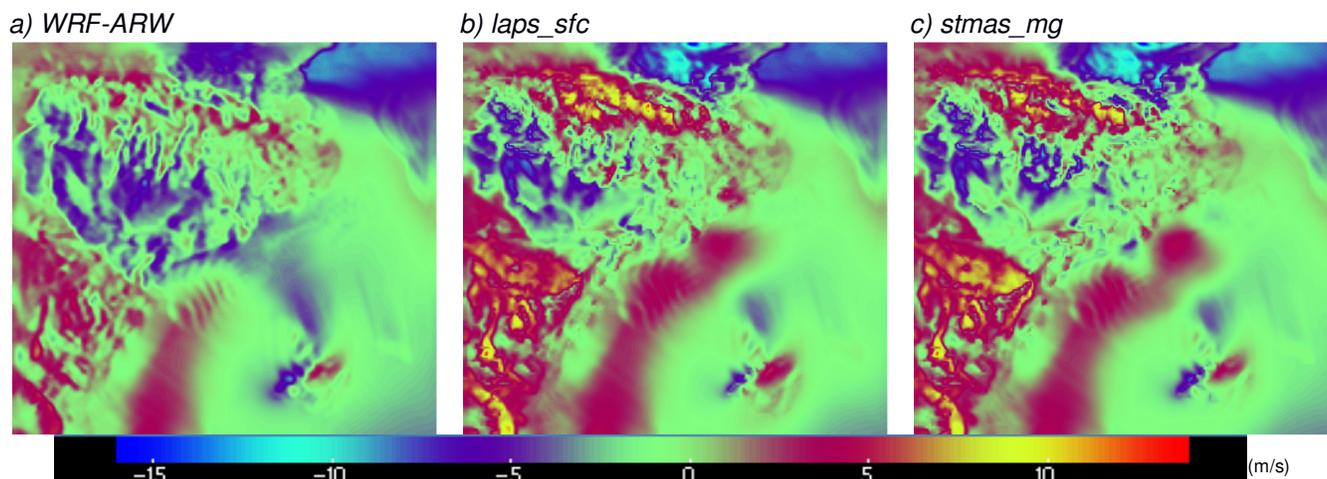


Figura 3. U a 10 metri: a) dal background WRF-ARW, b) dal modulo laps\_sfc e c) dal modulo stmas\_mg,

Vento V a 10 metri

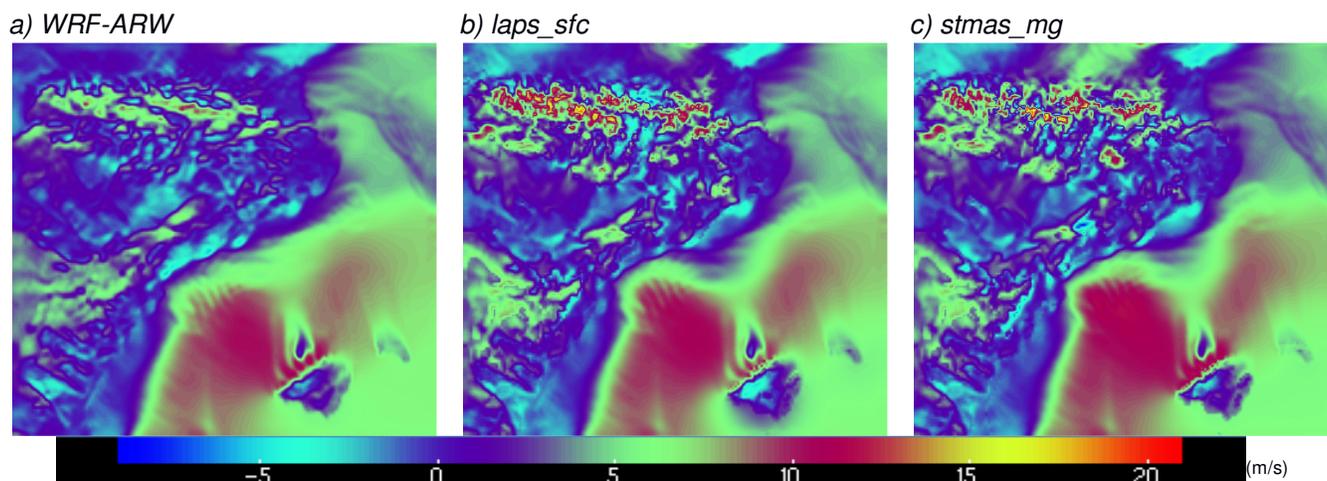


Figura 4. V a 10 metri: a) dal background WRF-ARW, b) dal modulo laps\_sfc e c) dal modulo stmas\_mg,

Le figure 1-4 mostrano una generale consistenza tra l'analisi alla Barnes e alla STMAS. Tuttavia alcune differenze sussistono e si giustificano in quanto laps\_sfc assegna il valore delle variabili meteorologiche misurate al punto di griglia più vicino sulla griglia orizzontale del modello. Stmas\_mg assegna ai quattro punti di griglia siti ai vertici della cella che contiene le coordinate della stazione di misura un valore pesato con l'inverso della distanza assoluta dal punto di misura stesso.

Ulteriore differenze sono visibili in mare lungo le coste. Nelle versione di default del modulo laps\_sfc una misura sulla terra non può modificare l'analisi sul mare e viceversa. La netta distinzione terra/mare può essere ragionevole per alcune variabili (temperatura e umidità del suolo) ma non è in generale pienamente giustificabile per le analisi rappresentate nelle figure 1-4. Le modifiche ISAC-CNR del modulo laps\_sfc consistono di superare questa limitazione. La modifica dovrebbe poter essere estesa al modulo stmas\_mg.

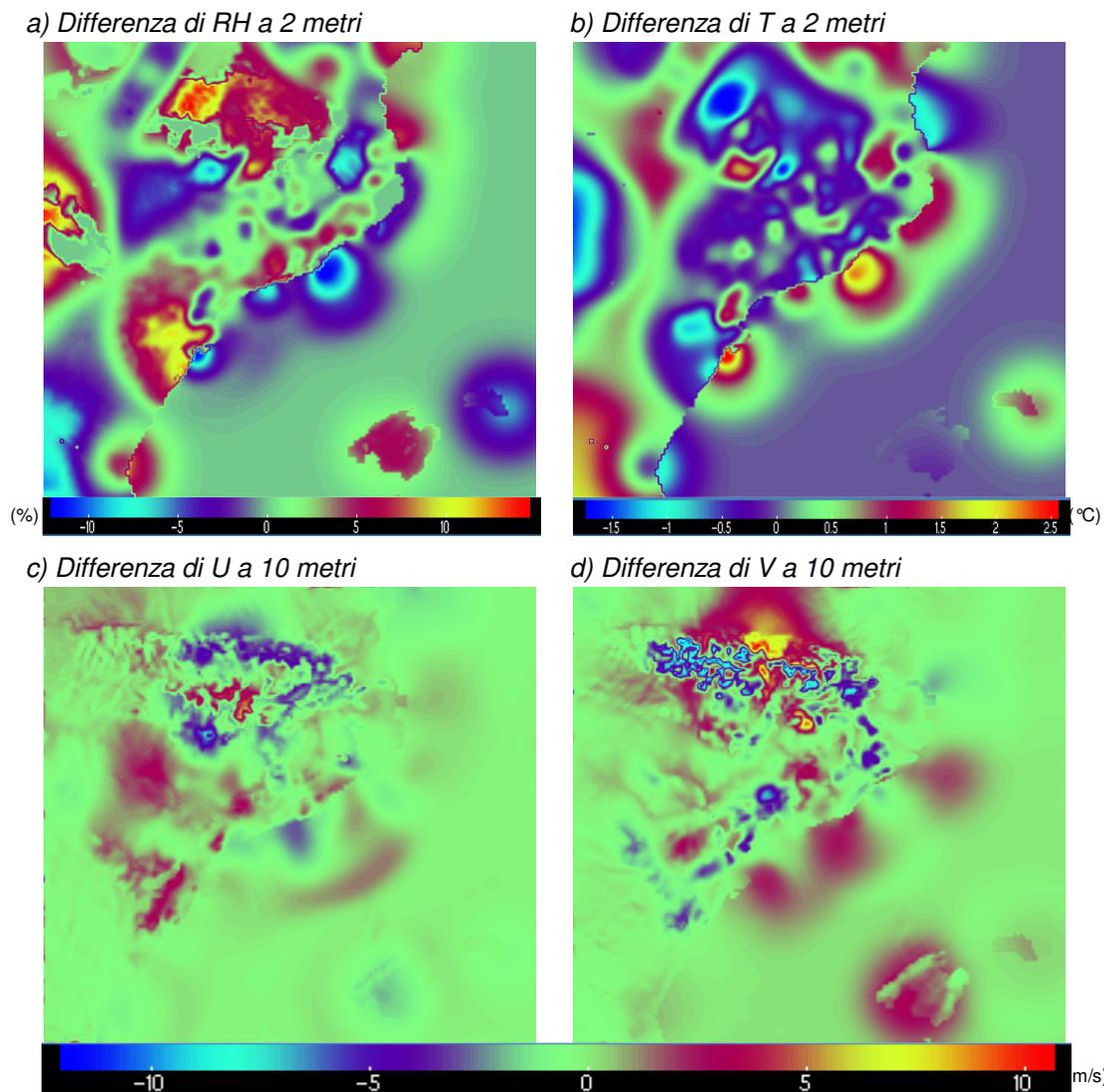


Figura 5. Differenze tra analisi (*stmas\_mg* – *laps\_sfc*) per a) RH a 2m, b) T a 2m, c) U a 10m e d) V a 10m.

I due aspetti appena descritti sono evidenziati nelle figure 5a-d, dove sono mostrate le differenze fra le analisi ottenute col modulo *stmas\_mg* e le analisi ottenute col modulo *laps\_sfc*. Sui rilievi interni si notano alcuni massimi dovuti alla differenza di rappresentazione delle stazioni nei due moduli superficiali, sui Pirenei le differenze sono ovviamente maggiori. Infine la linea di demarcazione terra/mare evidenzia le modifiche fatte sul modulo *laps\_sfc* (le stazioni di misura sono tutte sulla terraferma).

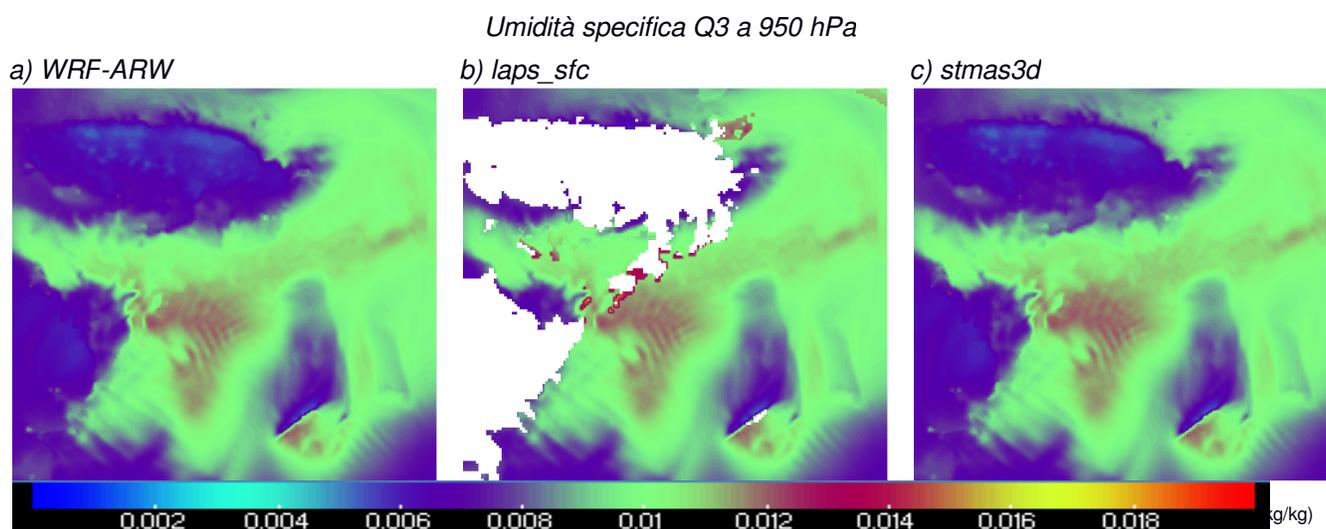


Figura 6. Q3 a 950 hPa: a) dal background WRF-ARW, b) dal lq3driver e c) dal modulo stmas3d.

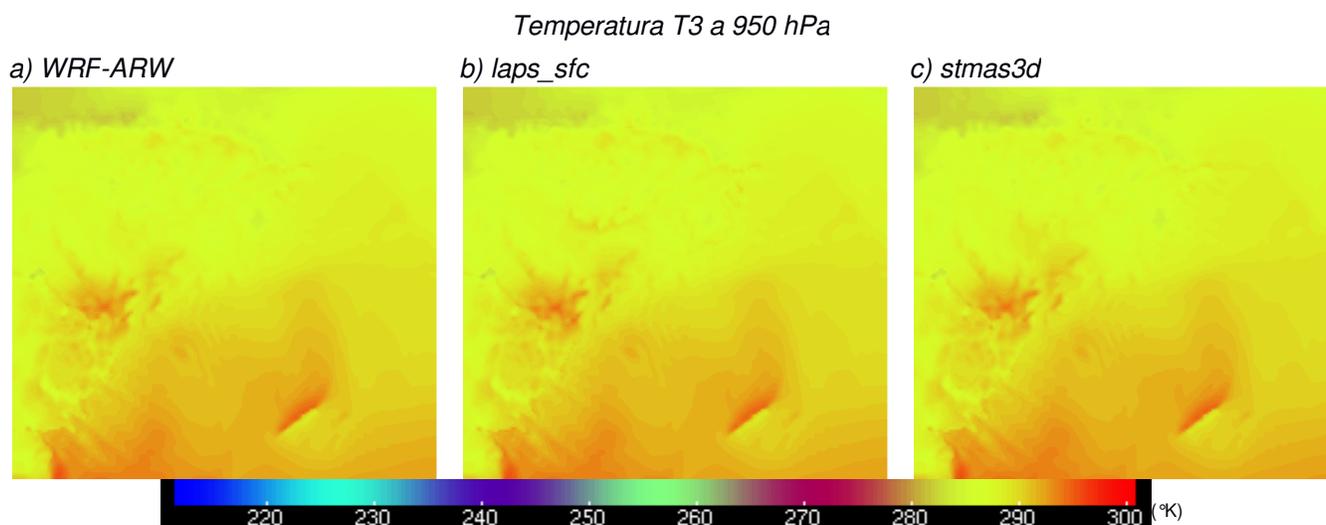


Figura 7. T3 a 950 hPa: a) dal background WRF-ARW, b) dal modulo temp e c) dal modulo stmas3d,

#### 4.2. STMAS3D

Il modulo esegue l'analisi 3D dell'umidità specifica (Q3), della temperatura (T3) e del vento (U3 e V3), e sostituisce rispettivamente i moduli lq3driver, temp e wind. L'esecuzione del modulo è stata effettuata senza alcun particolare problema. Il modulo STMAS3D non è ancora utilizzato a livello operativo presso il SMC. La verifica delle analisi 3D risulta molto più complicata rispetto alla 2D in quanto le misure dirette, rappresentate ad esempio dai sondaggi, sono in numero esiguo (sul dominio catalano si può fare affidamento su un solo sondaggio indipendente mentre le stazioni di misura indipendenti al suolo sono 70). Pertanto verifiche di analisi di variabili in quota sono di non facile realizzazione.

Vento U a 950 hPa

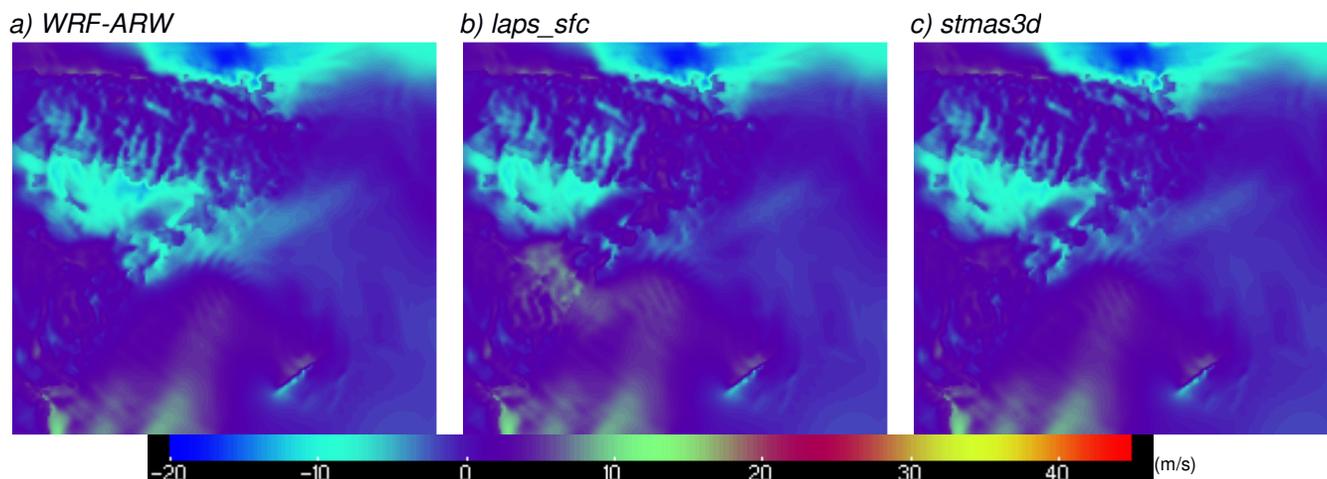


Figura 8. U a 950 hPa: a) dal background WRF-ARW, b) dal modulo wind e c) dal modulo stmas3d,

Vento V a 950 hPa

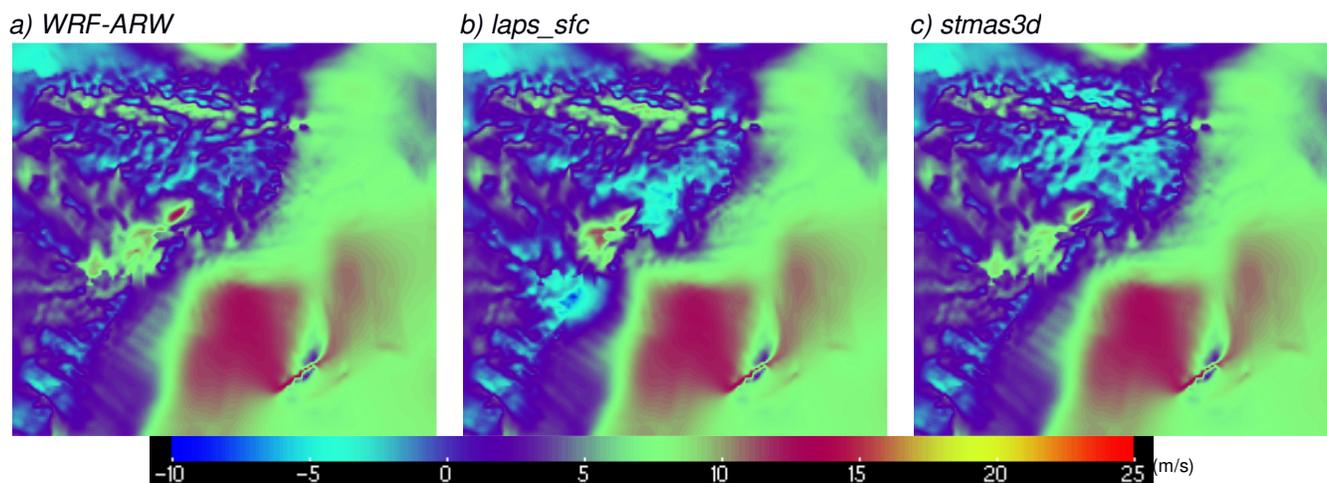


Figura 9. V a 950 hPa: a) dal background WRF-ARW, b) dal modulo wind e c) dal modulo stmas3d,

Nelle figure 6-10 sono mostrate le analisi 3D dell'umidità specifica Q3, temperatura T3 e dei venti U3 e V3 alla quota di 950 hPa. Come nel caso delle figure riguardanti le analisi superficiali le figure indicate con a) rappresentano i campi di background di WRF-ARW, b) le analisi risultanti dai moduli tradizionali e c) dai campi elaborati dal modulo stmas3d. La scelta del livello a 950 hPa evidenzia le differenze maggiori che derivano dagli effetti orografici. Le figure 10a-d mostrano le differenze al livello di 950 hPa fra le analisi prodotte dal modulo STMAS3D e le analisi prodotte dai singoli moduli lq3driver, temp e wind, rispettivamente Q3, T3 e U3 e V3. Le differenze dovute all'orografia del dominio tendono a sparire ai livelli di pressione minore.

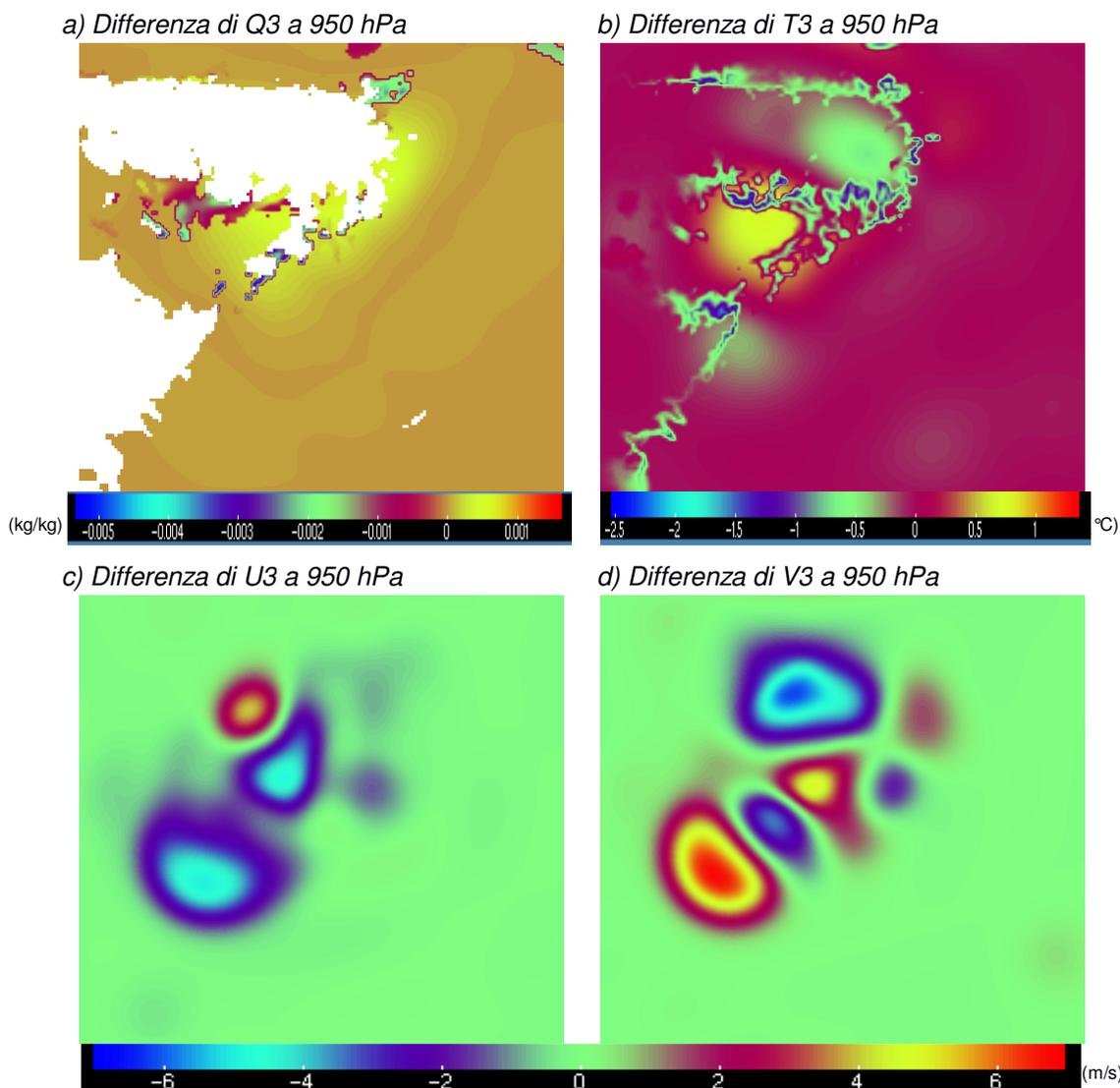


Figura 10. Differenze tra analisi: a) Q3 ( $stmas\_mg - lq3driver$ ), b) T3 ( $stmas\_mg - temp$ ), c) U3 e d) V3 ( $stmas\_mg - wind$ ).

## 5. Conclusioni

Le tre settimane trascorse presso il SMC sono state sufficienti per conseguire lo scopo inizialmente proposto: la messa a punto dei parametri e la capacità di effettuare autonomamente le simulazioni con i moduli che adottano l'approccio STMAS.

Il sottoscritto ha avuto quotidiane stimolanti discussioni con i colleghi del SMC in cui condividere le esperienze col pacchetto LAPS. Sulla base della condivisione delle esperienze e vista l'ottima intesa, sia dal punto di vista scientifico che umano, sono state delineate alcune linee di lavoro futuro da condurre in collaborazione.

Sulla base della competenza e della fiducia reciproca è stato effettuato il trasferimento reciproco dei codici sorgente al fine di unificare tutte le modifiche apportate dai due enti ed arrivare ad una versione comune condivisa dei codici. Tale versione dovrebbe essere

proposta agli sviluppatori della NOAA e agli utenti di tutta la comunità scientifica in quanto contiene rilevanti correzioni e miglioramenti.

All'interno della collaborazione non ufficiale sono stati presi accordi per proseguire il lavoro di concerto.

In occasione della visita è sorto, da parte del SMC, un vivo interesse nei confronti dei modelli meteorologici ISAC-CNR, le cui previsioni sono disponibili quotidianamente sul sito dell'istituto (<http://www.isac.cnr.it/dinamica/projects/forecasts/>). In seguito all'interesse mostrato dai colleghi del SMC è stata fatta una richiesta per ottenere l'uso dei modelli, alla quale dovrebbe in tempi brevi far seguito l'ufficializzazione di una convenzione tra i due Enti.

## Referenze

Albers, S., J. McGinley, D. Birkenheuer, J. Smart, "The local analysis and prediction system (LAPS): analyses of clouds, precipitation, and temperature", *Weather Forecasting*, **11**, 273-287, 1996.

Xie Y., Koch S., McGinley J., Albers S., Bieringer P.E., Wolfson M., Chan M.; "A Space-Time Multiscale Analysis System: A Sequential Variational Analysis Approach". *Mon. Weather Rev.*, **139**, 4, 1224-1240, 2011.