Progetto di Interesse strategico NEXTDATA

Rendicontazione scientifica per il periodo di riferimento
01-01-2013 /31-12-2013

WP 2.5: Archive of numerical simulations and projections

Responsabile: Silvio Gualdi
CMCC

Partners
CASPUR, CMCC, CNR-ISAC, ENEA, ICTP

1. Attività prevista e risultati attesi

Nel corso del secondo anno di progetto si prevede, con il contributo di tutti i partner, di: continuare la produzione di simulazioni numeriche globali e regionali mirate alle regioni d'interesse del progetto; continuare la messa a disposizione del contenuto dell'archivio di dati numerici, con particolare attenzione per l'area Mediterranea, la regione Alpina e la regione HKKH; configurare le simulazioni di downscaling dinamico dalla scala climatica globale a quella regionale sulle aree di interesse (Alpi e HKKH); eseguire test preliminari e control run per il periodo 1996-2005; eseguire l'analisi dei risultati; iniziare l'implementazione di modelli numerici a scala locale, non idrostatici, per la simulazione della dinamica climatica e ambientale in zone montane con orografia complessa; configurare le simulazioni ad alta risoluzione per la caratterizzazione della circolazione atmosferica nelle aree di interesse (Alpi e HKKH), raccogliere dati di input al modello e dati osservati, compiere simulazioni di test; continuare il lavoro sul downscaling stocastico con diverse attività, soprattutto mirate alla produzione di scenari futuri di precipitazione ad alta risoluzione in Italia nord-occidentale; avviare le attività di confronto tra diverse tecniche di downscaling dinamico, statistico e stocastico, per comprenderne le caratteristiche e i limiti di applicabilità per diversi e specifici casi studio; avviare la generazione di archivi di dati ad alta risoluzione, applicando le tecniche di downscaling ad osservazioni e output di modelli a bassa risoluzione (sia spaziale sia temporale); organizzare due incontri semestrali dei ricercatori del progetto, relativi agli scenari climatici e alla fruibilità dei dati numerici.

Inoltre, nel secondo anno del progetto sono state avviate le attività relative ai progetti speciali (o casi studio) sviluppati nell'ambito di NextData. Tra questi, il Progetto speciale RECCO (Development of ensembles of regional climate change scenarios, with focus on variability, extremes and uncertainties in areas of complex topography) si svolge nel contesto del WP2.5, coinvolgendone diversi partner (ISAC-CNR, ICTP, CINECA) e contribuendo alle finalità e agli obiettivi del WP. Le attività di RECCO sono presentate e discusse in uno specifico rapporto, in appendice a questo documento.

Milestone M2.5.2 (PM24): Completamento dell'archivio delle simulazioni globali.

2. Deliverables previsti per il periodo di riferimento:

Deliverable D2.5.3: Archivi di simulazioni climatiche globali; trasmissione informazioni al Portale Generale.

3. Attività effettivamente svolta durante il periodo di riferimento:

3.1 Attività di ricerca

Nel corso del secondo anno di attività del progetto, tutti i partner hanno contribuito allo svolgimento delle attività pianificate nell'ambito del WP. In particolar modo, i partner hanno implementato e reso accessibili i data server seguendo i protocolli di archiviazione dati e il loro accesso, come pianificato in modo comune. Questo ha permesso la creazione di una rete di server, omogenei nei loro protocolli, che rappresenta la base del sistema di archiviazione e di accesso ai dati climatici su cui si basa il portale generale di progetto. Oltre ad aver implementato i server, poi, i partner hanno anche cominciato a rendere disponibili su di essi i dati climatici ottenuti dalle simulazioni numeriche censite durante il primo anno di progetto (Deliverable D5.2.1). Alla fine del secondo anno di NextData, è stata completata l'archiviazione delle simulazioni numeriche globali (Deliverable D2.5.3).

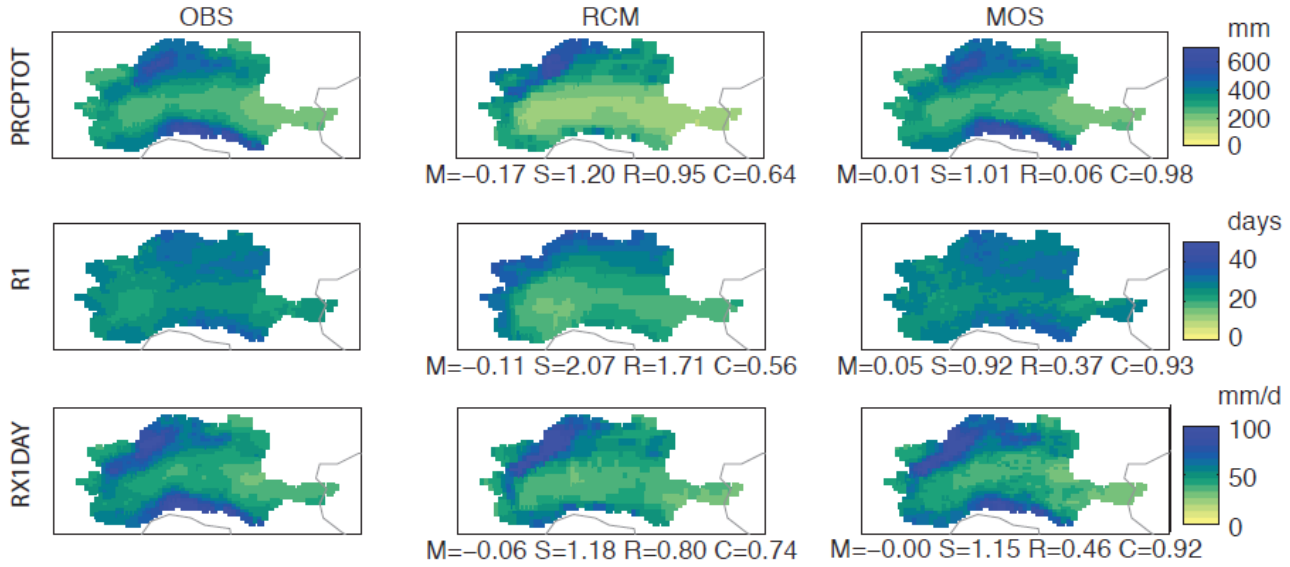

Fig. 1. Distribuzione spaziale dell'osservato (a sinistra), COSMO-CLM (centrale) e con l'applicazione del Quantile Mapping (a destra), valori medi (calcolati sulla media del periodo di controllo 1971-2000) per gli indici di precipitazioni autunnali (dall'alto verso il basso: PRCPTOT-> precipitazione totale; R1-> numero di giorni con precipitazioni oltre 1 mm / giorno; RX1DAY-> massima precipitazione in 1 giorno); gli scores per la validazione spaziali per RCM e QM sono riportati in basso nei pannelli corrispondenti. Essi sono il bias (o errore medio M), deviazioni standard relative (S), correlazione (C) e centred root mean square (R).

Durante il secondo anno di attività del WP, il CMCC ha svolto attività relative allo sviluppo di tecniche di downscaling dinamico e statistico al fine di fornire dati e informazioni più dettagliate sul clima e sulla sua variabilità, nelle aree di interesse per il progetto. Per quanto riguarda le attività di downscaling statistico, il lavoro si é focalizzato sul confronto diverse tecniche di downscaling statistico per valutarne le performance in diversi casi studio.

In particolare l'attenzione si è concentrata su tecniche MOS (Model Output Statistics) come: Analogs, Linear Scaling e Quantile Mapping. Queste differenti tecniche sono state calibrate, validate e testate su differenti aree della penisola Italiana. I risultati dimostrano che il metodo Linear Scaling migliora la rappresentazione dei valori medi, come previsto, ma ha prestazioni peggiori sui valori estremi. La tecnica MOS Analog, invece, mostra un accordo maggiore con le osservazioni, ma non è in grado di ridurre il bias stagionale se il segno del bias cambia tra le diverse stagioni.

Infine, il metodo Quantile Mapping fornisce risultati migliori per gli indici di precipitazione considerati e per le diverse stagioni, e, quando applicato all'output di un modello regionale (in questo caso COSMO-CLM), ne migliora visibilmente il risultato. Un esempio delle analisi eseguite, è riportato in Figura 1, dove i risultati per la stagione autunnale (SON) sono sintetizzati in mappe di confronto tra i dati osservati (colonna di sinistra), il modello COSMO-CLM (al centro) e la corrispondente correzione Quantile Mapping (colonna di destra). Gli indici differenti che sono stati valutati sono: PRCPTOT (precipitazione totale), R1 (numero di giorni di pioggia) e RX1DAY (massimo di precipitazione giornaliera). I valori stagionali degli indici sono mediati sul periodo comune 1971-2000.

La Figura 1 mostra la sottostima del modello COSMO-CLM, specialmente in termini di precipitazione totale e di numero di giorni di pioggia (rispettivamente 17% e 11% di valori osservati); questi bias portano ad una bassa correlazione spaziale tra modello e osservazioni.

Gli output del RCM coretti con il metodo Quantile Mapping (colonna di destra), invece, mostrano un chiaro miglioramento per tutti gli indici considerati e un accordo più alto con le osservazioni, riducendo notevolmente il bias medio e migliorando la correlazione spaziale con le osservazioni.

La Figura 2 fornisce un confronto, sul bacino del Po, per il periodo 1971-2000, tra le medie mensili (in alto a sinistra), 50 -percentile (in alto a destra), 90- percentile (in basso a sinistra) e il 10-percentile (in basso a destra) della precipitazione osservata (in nero) e ottenuta da COSMO-CLM guidato da ERA40 Reanalysis (grigio), e il medesimo campo ma statisticamente corretto utilizzando MOS Analogs (verde), Linear Scaling (blu) e Quantile Mapping (rosso).

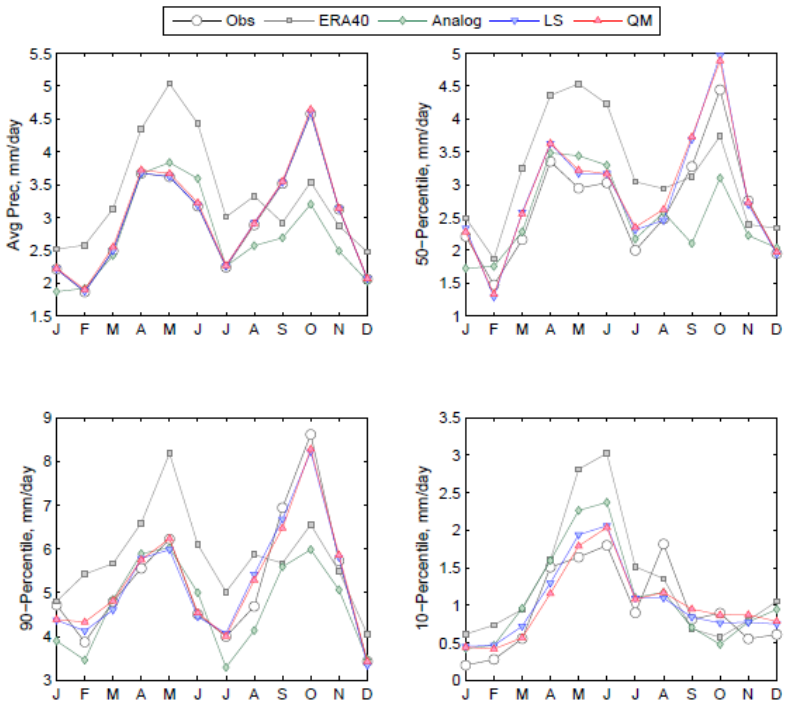

Fig 2. Confronto di media, 50 -, 90 - e 10-percentile delle precipitazioni mensili sul bacino del fiume Po nel periodo 1971-2000. I valori sono stati calcolati per osservazioni di precipitazione (linea nera), COSMO-CLM guidato dalla Reanalysis ERA-40 (grigio) e campi corretti utilizzando la tecnica MOS Analogs (verde), Linear Scaling (blu) e Quantile Mapping (rosso).

La Figura 3 è analoga alla Figura 2 ma COSMO-CLM è guidato dal modello globale CMCC-CM.

Sia la Figura 2 sia la 3 mostrano che le precipitazioni ottenute con COSMO CLM, in assenza di correzioni statistiche, e indipendentemente dalla forzante utilizzata, sono sovrastimate in primavera e sottostimate in autunno. Di conseguenza, uno studio del ciclo idrologico basato su tali precipitazioni sarà affetto da errori non trascurabili, come mostrato nel paragrafo 3.2.

I campi di precipitazione statisticamente corretti relativi riproducono la precipitazione primaverile meglio rispetto a quelli non corretti; per quanto riguarda la precipitazione autunnale, la correzione MOS Analogs, non riesce a riprodurre il picco, mentre sia la correzione Linear Scaling sia quella Quantile Mapping lo riproducono abbastanza bene, anche considerando il 90- e il 10-percentile.

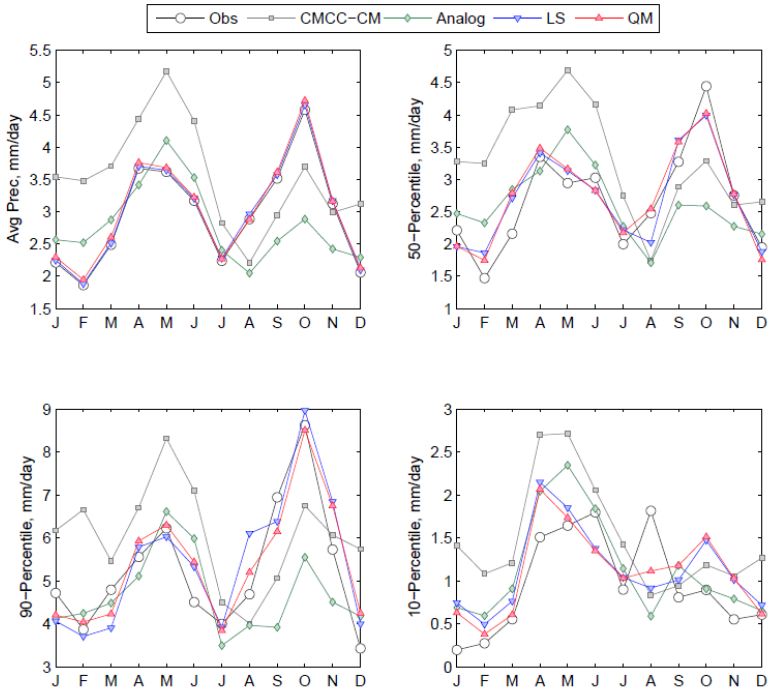

Fig. 3. Confronto di media, 50 -, 90 - e 10 - percentile delle precipitazioni mensili sul bacino del fiume Po nel periodo 1971-2000. I valori sono stati calcolati da osservazioni di precipitazione (linea nera), COSMO-CLM guidato da CMCC-CM (grigio), e campi statisticamente corretti utilizzando la Analogs (verde), Linear Scaling (blu) e Quantile Mapping (rosso).

Le attività di downscaling dinamico svolte dal CMCC durante il secondo anno di progetto hanno principalmente riguardato l'implementazione del modello climatico regionale COSMO-CLM ad un'altissima risoluzione orizzontale di 0.02°(circa 2.2km) sull'area Alpina. Il primo test è stato svolto nel periodo 1979-1989 utilizzando un approccio double-nesting, ovvero, effettuando dapprima una simulazione intermedia alla risoluzione di 0.0715° (circa 8 km) guidata dalle re-analisi ERA-Interim. L'obiettivo principale di questa simulazione è trovare il setup più adatto alla riproduzione del clima alpino con COSMO-CLM utilizzando tale risoluzione.

Inoltre, ci si attende che una migliore rappresentazione dell'orografia permetta di meglio simulare i processi di fusione/accumulo nivale e, in generale, tutti i processi idrologici legati a loro. I risultati sono stati confrontati con due simulazioni a risoluzioni orizzontali rispettivamente di 0,125 ° e 0,0715 °, senza applicazioni di downscaling statistico. I risultati preliminari mostrano che la simulazione ad una più alta risoluzione migliora leggermente i risultati sopra l'arco alpino in inverno, Figura 4 (Mercogliano et al., 2013). Il passo successivo richiede una messa a punto più accurata dei parametri che regolano il regime di convezione. Nuove simulazioni alla risoluzione di 0.02° sono previste nel 2014.

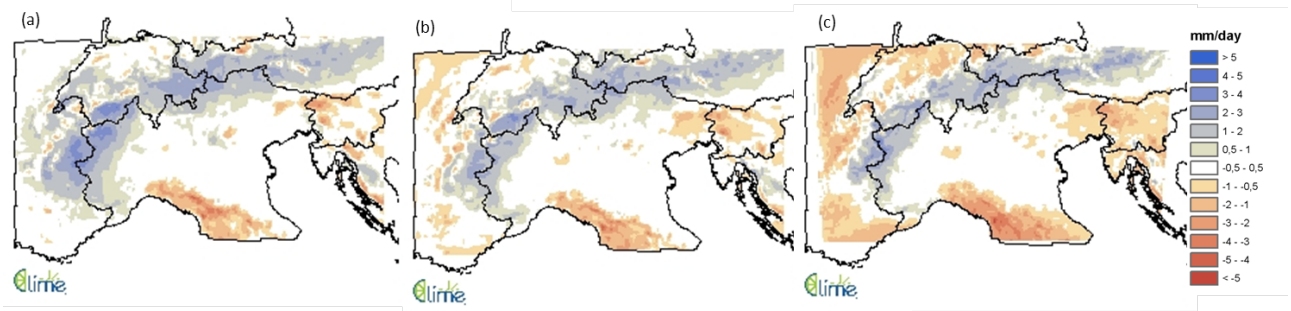

Fig. 4. Il bias delle precipitazioni invernali per le 3 diverse simulazioni COSMO CLM rispetto al dataset di precipitazioni EURO4M (Isotta et al, 2013). (a) COSMO CLM 0.125°, (b) COSMO CLM 0,0715° (c) COSMO CLM 0,02°.

ISAC-CNR ha effettuato sviluppo ed eseguito un gran numero di esperimenti numerici mirati al "tuning" (ottimizzazione e messa a punto) della nuova versione 3 del modello di clima globale EC-Earth. EC-Earth 3 è basato sul sistema di forecast stagionale ECMWF System 4. Nella sua configurazione attuale il modello implementa IFS c36r4 per l'atmosfera, H-Tessel per i processi terrestri, il modello di oceano NEMO 3.3.1 e il modulo di ghiacci marini LIM3. La risoluzione standard di riferimento per lo sforzo di tuning è T255 con 91 livelli verticali nell'atmosfera (ca. 80 km) e ORCA1, 46 livelli per l'oceano. Lo sforzo di tuning si è concentrato in particolare sulla correzione di bias nel bilancio radiativo globale del modello, in particolare i flussi radiativi netti al top dell'atmosfera e alla superficie, e bias nel bilancio idrologico del modello (in particolare il bilancio precipitazione-evaporazione e cambiamenti nel livello dei mari). E' stato determinato in particolare come l'implementazione di uno schema di mass-fixing per l'avvezione (ottenuto con un backporting da IFS c38r1) permetta di migliorare significativamente sia il bilancio radiativo sia quello di massa. Infatti, lo schema di trasporto in IFS non è conservativo e un rilascio di calore latente aggiuntivo dovuto ad errori nell'avvezione di umidità atmosferica può fornire un contributo significativo al bilancio radiativo del modello, dell'ordine di circa 1.3 W/m^2. Altri miglioramenti includono modifiche di tuning a parametri di entrainment dello schema di convezione, una modifica dell'albedo diffusiva dell'oceano e due bug-fix di NEMO. Sono stati eseguiti più di 25 lunghi esperimenti (dai 25 ai 100 anni ciascuno), per un totale di più di 1350 anni di simulazione. Queste attività hanno portato alla definizione di una nuova versione intermedia del modello EC-Earth 3 che verrà rilasciata in primavera 2014.

ISAC-CNR ha eseguito una simulazione ad altissima risoluzione sull'Europa continentale, nel dominio Europeo CORDEX, usando il modello non idrostatico Weather Research and Forecast (WRF) v 3.4.1, forzato con condizioni al contorno ERA-Interim, per il periodo 1979-2009. Questa attività è stata svolta utilizzando risorse di calcolo fornite dal centro di supercalcolo LRZ, Germania. E' stato utilizzato un approccio a nesting two-way, dove in un dominio esterno risolto a 0.11°, è stato inserito un dominio interno comprendente gran parte dell'Europa continentale, risolto a 0.036°. Una serie preliminare di simulazioni a 0.11° per l'intero dominio ha permesso di esplorare e studiare la sensibilità del modello alla scelta delle parametrizzazioni microfisiche e di boundary layer. E' stata prodotta una prima analisi dei risultati del modello, con particolare attenzione alla riproduzione di estremi di precipitazione, soprattutto nella Greater Alpine Region, e al confronto con dataset osservativi grigliati disponibili, in particolare le rianalisi ERA-Interim, MERRA e CFSR, i dataset GPCP, GPCC, EOBS e CRU datasets ed i dataset Alpini HISTALP ed EURO4M-APGD.

E' stata esplorata la capacità del modello Advanced Research Weather Research and Forecasting model (WRF), versione 3.3.1, nel riprodurre fenomeni idro-meteorologici estremi sull'area a topografia estremamente complessa dell'Hindu-Kush-Karakorum. In particolare sono stati effettuati esperimenti per esplorare le condizioni atmosferiche che caratterizzarono i giorni più intensi dell'alluvione del 2010 in Pakistan (26-31 luglio, 2010). Sono stati utilizzati due domini, uno con risoluzione 14 km e l'altro, innestato nel primo, a risoluzione 3.5 km, con un accoppiamento 'two-way nesting' tra i due domini. La verticale è stata discretizzata in 42 livelli, di cui 10 nei 2.5 km più bassi. E' stato utilizzato un numero maggiore di livelli vicino alla superficie al fine di risolvere meglio i flussi atmosferici su orografia complessa nella regione di interesse e l'attività convettiva correlata. La parametrizzazione turbulenta utilizzata è lo schema Mesoscale 1D e per lo schema di planetary boundary layer è stato utilizzato quello della Yonsei University (YSU). Le condizioni al contorno per gli esperimenti sono state fornite da rianalisi ERA-Interim a risoluzione di 0.7° (~78 km). E' stata compiuta una serie di esperimenti utilizzando diverse configurazioni per la convezione e per la microfisica e sono state esplorate inizializzazioni in giorni diversi. La configurazione migliore è stata selezionata attraverso un confronto con le osservazioni in termini di precipitazione giornaliera, contenuto colonnare di vapore acqueo, velocità e direzione del vento. Gli output modellistici sono stati confrontati con osservazioni di precipitazione, dati da radiosondaggi, immagini da satellite e osservazioni cloudsat.

Abbiamo analizzato le proprietà della precipitazione nella regione dell'Hindu-Kush Karakoram Himalaya, simulata da 32 modelli globali di clima inclusi nel Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5). A questo scopo sono stati scaricati e raccolti presso ISAC i dati di precipitazione simulati per il periodo storico dall'archivio CMIP5. I dati sono stati confrontati con i dati osservati negli archivi Climate Research Unit (CRU) e Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) per il periodo 1901-2005. Sono state scaricate e analizzate precipitazioni da modelli CMIP5 per i due scenari RCP 4.5 e RCP 8.5. Ulteriore ricerca è stata dedicata all'esplorazione delle principali sorgenti di umidità per la precipitazione invernale nella regione dell'Hindu-Kush-Karakorum, analizzando le relazioni tra evaporazione, venti troposferici, temperature di superficie del mare, acqua precipitabile e l'indice NAO, su un'area che si estende dal Mediterraneo fino al subcontinente Indiano. A questo scopo sono stati scaricati e raccolti presso ISAC-CNR dati di pressione al suolo e venti zonali dalla rianalisi ERA 20 cm dell'ECMWF.

E' stata iniziata un'applicazione del modello di downscaling stocastico RainFARM a misure di precipitazione da satellite (TRMM, 25 km risoluzione) per la regione del Karakoram. In effetti solo poche e sparse stazioni di misura sono disponibili al momento per le regioni montuose del Nord del Pakistan e le misure riportate da queste stazioni sono fortemente biased dalla quota (le stazioni di misura sono posizionate principalmente in valle, a quote più basse di dove avviene il massimo di precipitazione). Per questo motivo, l'applicazione della procedura di downscaling a misure da satellite può rappresentare un modo efficace per ottenere stime sintetiche di precipitazione per una regione con poche stazioni. Abbiamo confrontato le proprietà statistiche (come la forma dello spettro di potenza della precipitazione e le distribuzioni di ampiezza di probabilità (PDF) dei campi TRMM di precipitazione downscalati con le poche osservazioni disponibili per quest'area, fornite dal Pakistani meteorological Department (PMD) e dalla Water and Power Development Authority (WAPDA). Abbiamo svolto la nostra analisi su base stagionale, in particolare per il periodo 1998-2012. Le PDF di TRMM downscalato corrispondono meglio alle PDF osservate, rispetto a quelle ottenute direttamente dai dati TRMM, sia in termini di ampiezza, sia nella loro capacità di riprodurre estremi di precipitazione.

Nel corso dell'anno, ENEA ha prodotto le simulazioni regionali accoppiate dell'area del Mediterraneo allo scopo di analizzare la variabilità a bassa frequenza nel bacino, sia per quanto riguarda i regimi atmosferici sia per la circolazione oceanica. Inoltre è stata ulteriormente approfondita la valutazione delle simulazioni regionali già a disposizione comparandole con dati SYNOP dalle stazioni meteorologiche dell'Aeronautica. Tali simulazioni sono state messe a disposizione come forzanti per i modelli di downscaling statistico ad alta risoluzione.

Infine sono stati effettuati studi preparatori per la possibile implementazione di simulazione ad alta risoluzione nella regione Andina, iniziando ad analizzare la capacità dei modelli globali che dovrebbero forzare tali simulazioni nel riprodurre la variabilità atmosferica a varie scale spaziale e temporale.

3.2 Sviluppi applicativi, tecnologici e informatici

Presso i principali partner del WP (CASPUR-CINECA, CMCC, ENEA, ISAC-CNR) sono stati installati server THREDDS che permettono l'interrogazione dal portale dati NextData e l'accesso ai database di simulazioni numeriche climatiche messe a disposizione dai centri e documentate nel censimento che costituisce il Deliverable di progetto D2.5.1. Nel corso del secondo anno di progetto, i partner hanno anche completato l'archiviazione delle simulazioni globali che ora sono accessibili presso i server dati. Una più dettagliata descrizione di come accedere ai server e ai dati archiviati è fornita nel Deliverable di progetto D2.5.3.

Il TDS[1] (THREDDS Data Server) installato presso il CINECA è raggiungibile all'indirizzo:
http://nextdataproject.hpc.cineca.it/thredds

Il sistema è installato sul FEC (Front End Cluster) composto da nodi Intel Xeon E5530 bi-processori quad-core a 2.4 Ghz. In particolare, come schematizzato nella Figura 5, i nodi 01 e 02 sono configurati per l'alta affidabilità e forniscono il web server Apache[2] che, tramite protocollo AJP, è connesso al nodo 03 dove è installato il servlet container Tomcat[3] (versione 7) che contiene il TDS (versione 4.3).
Il TDS è stato configurato per consentire l'accesso ai dati tramite i protocolli OpeNDAP, OGC WMS, OGC WCS e HTTP. Sono inoltre stati abilitati i servizi NetCDF Subset e ncISO.

Il servizio di data repository del CINECA permette infine l'archiviazione dei dati. Tale servizio è implementato tramite iRODS[4] e i dati sono resi disponibili al server thredds tramite FUSE[5].
Nel data repository CINECA, sono mantenuti i dati del CNR ISAC e del ICTP per un totale di 5 Terabyte.

L'implementazione eseguita dal CMCC del modello COSMO-CLM ad altissima risoluzione sull'area Alpina ha richiesto un notevole lavoro di ottimizzazione del codice e lo sviluppo di un numero di tools diagnostici mirati a un'efficace post-processamento e alla valutazione degli output delle simulazioni. Inoltre, sempre allo scopo di produrre data set ottimali per lo studio di processi e per la valutazione dei modelli, è stata iniziata un'attività preliminare

[1] http://www.unidata.ucar.edu/software/thredds/current/tds/TDS.html
[2] http://httpd.apache.org
[3] http://tomcat.apache.org
[4] https://www.irods.org
[5] http://fuse.sourceforge.net

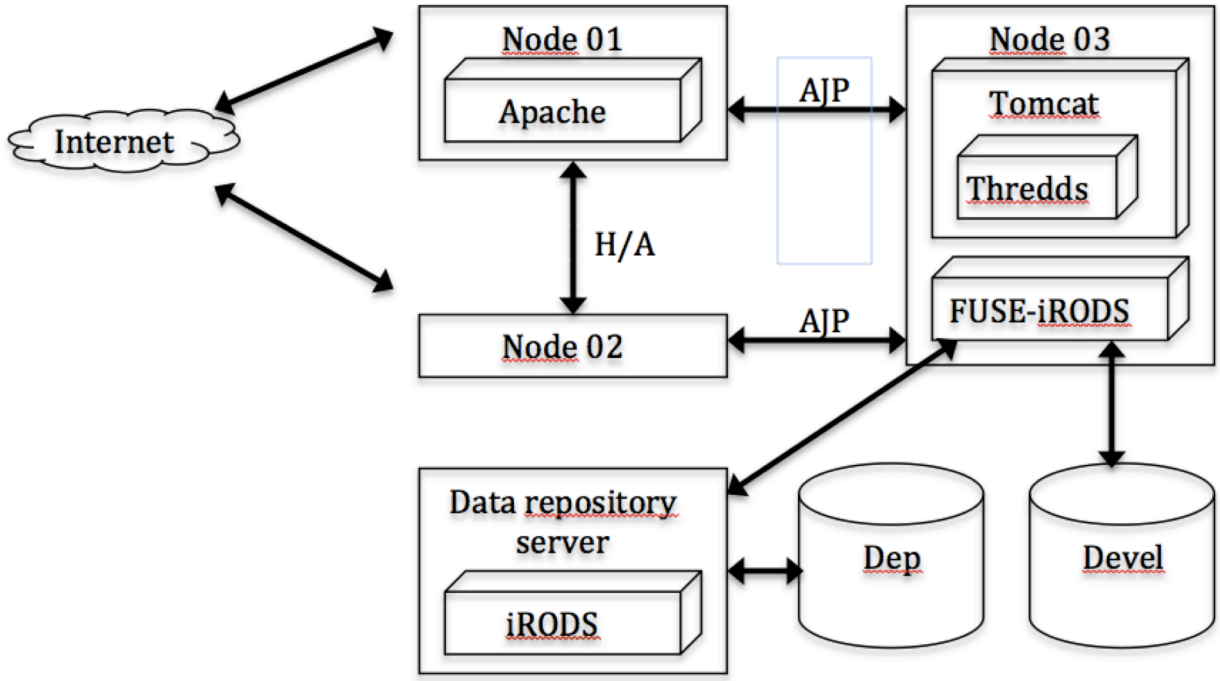

Fig. 5. Schema dell'installazione di TDS a CINECA.

riguardante l'uso di prodotti di telerilevamento per l'individuazione delle zone coperte da neve, con l'obiettivo di riprodurre su larga scala la distribuzione e l'estensione della neve sul Nord Italia negli ultimi dieci anni (2003 - 2013). In tale studio sono stati elaborati 10 anni di mappe di neve giornaliera con una risoluzione di 500 m. Tale analisi ha messo in evidenza i trend annuali di accumulo e scioglimento di neve sull'intera regione alpina. Questo studio sarà integrato con misure di altezza della neve e con stime di densità della neve, al fine di valutare le fluttuazioni inter-annuali dell'equivalente idrico nivale immagazzinato nella parte montana del bacino del fiume Po, che influenzano le portate primaverili.

Il tuning di EC-Earth 3 ha richiesto l'implementazione e l'ottimizzazione del modello sul calcolatore Supermuc presso LRZ, Germania. Sono stati eseguiti una serie di esperimenti di ottimizzazione e speed-up al fine di determinare la configurazione migliore in termini di numero di core allocati alle diverse componenti del modello (http://www.to.isac.cnr.it/ecearth3/scaling.html). E' stato implementato un gran numero di tool di post-processing per permettere l'analisi dei risultati del modello. In particolare è stato adattato e implementato uno script di post-processing, sviluppato nell'ambito del progetto PRACE Hiresclim, che fornisce output direttamente in formato netcdf per variabili selezionate. ISAC-CNR ha adattato e ottimizzato per EC-Earth 3 uno script, originariamente sviluppato dal consorzio EC-Earth per EC-Earth v2, per il calcolo di un performance index (PI) secondo Reichler and Kim (BAMS 89, 2008). Questo strumento fornisce indici di qualità (PI) del clima, risultante dalle simulazioni di modello attraverso il confronto con un set standard di dataset di riferimento. La suite diagnostica AMWG, originariamente sviluppata da NCAR e ulteriormente adattata dal consorzio EC-Earth, con il contributo di ISAC-CNR, è stata implementata operativamente e permette di ottenere un gran numero di plot diagnostici attraverso il confronto della climatologia del modello con un ampio numero di dataset osservativi di riferimento. Abbiamo creato un set di routine per plottare serie temporali diagnostiche per l'atmosfera e abbiamo implementato analoghe routine, sviluppate dal consorzio EC-Earth, per i dati oceanici. Tutte le diagnostiche (grafici AMWG, tabelle PI, tabelle di medie globali di variabili selezionate, serie temporali atmosferiche ed oceaniche) vengono calcolate e sono disponibili dopo ogni run, pubblicate su pagine web dedicate su un server ISAC-CNR (http://sansone.to.isac.cnr.it/ecearth/diag).

Le simulazioni ad alta risoluzione con WRF sono state post-processate salvando un insieme di variabili selezionate a frequenze temporali raccomandate e definite da parte della comunità WRF-Cordex (http://www.meteo.unican.es/wiki/cordexwrf/OutputVariables). A questo scopo un precedente script di post-processing scritto in NCAR Command Language (NCL) è stato ampliato e adattato per i dati di output WRF-Cordex. I file netcdf di output prodotti, seguono da vicino il formato raccomandato in CORDEX. Le principali variabili di superficie sono archiviate ad intervalli di 3 ore. Complessivamente l'output post-processato della simulazione forzata con ERA-Interim (30 anni) occupano circa 11 TB. Questi dati sono attualmente archiviati presso LRZ e verranno trasferiti su macchine ISAC-CNR al portale del progetto nell'anno corrente.

Dataset di precipitazione mensile da modelli CMIP5 per il periodo storico e per gli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5 sono stati scaricati ed archiviati su server ISAC-CNR, insieme ai dataset osservativi di precipitazione CRU e GPCC per il periodo 1901-2005.

3.3 Attività di formazione.

Marco Turco (CMCC) ha partecipato alla Summer School "Climate Change and the Mountain Environment" dal 18 al 28 giugno 2013 (http://www.to.isac.cnr.it/aosta/).

Pierfrancesco Da Ronco (CMCC) ha partecipato alla conferenza "High Summit 2013 - International Conference on Mountains and Climate Change" dal 23 al 25 ottobre 2013 (www.highsummit.org).

Supervisione di un dottorato di ricerca, con inizio a gennaio 2013, della "Scuola di Dottorato in Scienze dalla Natura e Tecnologie Innovative" dell'Università di Torino.

Supervisione di un dottorato di ricerca, con inizio a marzo 2013, della "Scuola di Dottorato in Fluidodinamica" del Politecnico di Torino.

Supervisione di una tesi di primo livello (Univ. di Torino) su modellistica climatica con il modello Plasim.

Supervisione di una Laurea Magistrale dell' Univ. di Torino sul tema "Predictability in Climate System Models".

Co-Supervisione di una Laurea Magistrale (Environmental Engineering –Sustainable

Development and Risk Management – Univ. di Genova) su "High-resolution non-hydrostatic simulations of extreme rainfall events: the case of Pakistan flood 2010".

3.4 Attività di disseminazione e divulgazione.

Si veda anche la sezione 3.5 "Conferenze, Workshops, Meetings" & 4.2 "Pubblicazioni".

Scuola estiva "Climate Change and the Mountain Environment", Valsavarenche, Valle d'Aosta (Italy), 18-28 giugno, 2013, corso XXI della Alpine Summer School**.** Al corso hanno partecipato 22 docenti e 33 studenti (http://www.to.isac.cnr.it/aosta_old/aosta2013/index.htm).

CISM Advanced course, The Fluid Dynamics of Climate.
Coordinatori: A. PROVENZALE, K. FRAEDRICH, International Centre for Mechanical Sciences, Udine, Italy, 26-30 agosto 2013.

M. TURCO: Seminario "Forest fires under climate change in a Mediterranean environment (Catalonia, NE of Spain)" presso CIMA RESEARCH FOUNDATION, 5 maggio 2013, Savona (IT).

3.5 Partecipazione a conferenze.

R. VEZZOLI, P. MERCOGLIANO, S. PECORA, E. ZENONI: Impact simulations of climate change on hydrological extremes in the Po basin. *EGU* 2013, Vienna (AT)

P. MERCOGLIANO, E. BUCCHIGNANI, M. MONTESARCHIO, A. L. ZOLLO: Very high resolution simulations with COSMO-CLM over Alpine space: benefits versus costs. *CORDEX 2013*. Disponibile "http://cordex2013.wcrp-climate.org/parallel_B4/B4_07_engelbrecht.pdf"

M. TURCO, A. L. ZOLLO, R. VEZZOLI, C. RONCHI, and P. MERCOGLIANO: Daily precipitation statistics over the Po basin: observation and post-processed RCM results. *SISC Prima conferenza annuale*, Lecce, 2013.

International meeting with EC-Earth contributors/users, Lisbon, Portugal, 16-17 April, 2013.

European Geosciences Union, General Assembly 2013, Vienna, Austria, 07 – 12 April 2013:

- The 2010 Pakistan floods: high-resolution simulations with the WRF model (F. VITERBO, A. PARODI, L. MOLINI, A. PROVENZALE, J. VON HARDENBERG, e E. PALAZZI (oral).
- Western weather patterns and winter precipitation in the Hindu-Kush Karakoram L. FILIPPI, E. PALAZZI, J. VON HARDENBERG, e A. PROVENZALE (poster).
- Snow cover changes in the Hindu-Kush Karakoram Himalaya S. TERZAGO, J. VON HARDENBERG, E. PALAZZI, e A. PROVENZALE (poster).

International Conference on Regional Climate – CORDEX 2013, 4-7 November 2013 in Brussels, Belgium:

- The 2010 Pakistan floods: high-resolution simulations with the WRF mode (F. VITERBO, A. PARODI, VON HARDENBERG J., PROVENZALE A.)(poster).
- Impact of different microphysics parameterizations on dynamical downscaling with WRF for the EURO-CORDEX domain (A. PIERI, J. VON HARDENBERG, A. PROVENZALE, A. PARODI) (poster).
- Stochastic rainfall downscaling of a regional climate model over North-Western Italy (D'ONOFRIO D., PALAZZI E., VON HARDENBERG J., PROVENZALE A., CALMANTI S.) (poster).

4. Risultati ottenuti durante il periodo di riferimento:

4.1 Risultati specifici (banche dati, risultati delle misure, output di modelli, etc)

Tutti i partner del WP hanno implementato, presso i rispettivi centri, server THREDDS che permettono l'accesso alle banche dati di simulazioni numeriche del clima censite nel Deliverable di progetto D2.5.1 e messe a disposizione della comunità e degli stakeholder interessati al loro utilizzo. Oltre a ciò, sono stati prodotti database ottenuti da simulazioni climatiche specificamente eseguite e processate nell'ambito del WP. Alcuni di questi database sono già (o sono in corso di essere) resi disponibili presso i data server dei partner:

- Archivio di output post-processati da simulazioni WRF nel dominio Euro-CORDEX, alla risoluzione 0.036°, nel periodo 1979-2009, forzate da condizioni al contorno ERA-Interim. Questi dati sono attualmente archiviati presso LRZ e verranno trasferiti su macchine ISAC-CNR ed al portale del progetto nell'anno corrente.
- Dati mensili di precipitazione da 32 modelli dall'archivio CMIP5, archiviati presso ISAC-CNR.
- Dati di pressione a terra e venti zonali dall'archivio ERA-20 cm dell'ECMWF, archiviati presso ISAC-CNR.

- Output diagnostici (grafici AMWG, tabelle di indici di performance, tabelle di medie globali di variabili selezionate, serie temporali atmosferiche e oceaniche) per il tuning EC-Earth v3, disponibili da un server web pubblico presso ISAC-CNR (http://sansone.to.isac.cnr.it/ecearth/diag).
- Il database di simulazioni climatiche dell'ENEA, in seguito alla riorganizzazione avvenuta durante il primo anno, è stato messo a disposizione ed è consultabile direttamente dal Portale NextData. Inoltre sono state completate, validate e messe a disposizione le seguenti simulazioni prodotte con il modello regionale accoppiato atmosfera-superficie-oceano PROTHEUS (modello atmosferico RegCM3.1 +s chema idrologico IRIS + modello oceanico MEDMIT) sviluppato all'ENEA per la regione Mediterranea (Artale et al, 2010):
  1) Simulazione ERA-INTERIM: le condizioni al contorno laterali (temperatura, umidità, vento) sono ottenute dalla rianalisi globale ERA-INTERIM, sviluppata presso l'ECMWF (Simmons et al, 2006) per il periodo 1982-2010. La rianalisi globale ERA-INTERIM è prodotta assimilando differenti tipi di dati meteo-climatici (satellite, navi, aerei, stazioni meteorologiche) in un modello di circolazione globale. I dati, con una risoluzione temporale di 6 ore, sono resi pubblici su un grigliato regolare di passo pari a .75° su 37 livelli di pressione anche se il grigliato del modello numerico adottato ha una risoluzione più elevata. Con le stesse condizioni al contorno è stata prodotta un'analoga simulazione utilizzando solo il modello RegCM3.1 che costituisce la componente atmosferica del sistema accoppiato PROTHEUS.
  2) Simulazione storica CNRM-CM5-RF: le condizioni al contorno laterale per l'atmosfera dal 1971-2005 sono ottenute dalla simulazione globale accoppiata CNRM-CM5-RF (run r1i1p1) prodotta nell'ambito dell'esperimento CMIP5. Le concentrazioni di anidride carbonica sono quelle di riferimento per il XX secolo.
  3) Simulazione scenario CNRM-CM5-RCP45: Le condizioni al contorno laterale per l'atmosfera dal 2001-2085 sono ottenute dalla simulazione globale accoppiata CNRM-CM5-RCP45 (run r1i1p1) inclusa in CMIP5. Le concentrazioni di anidride carbonica sono quelle prescritte per lo scenario di sviluppo RCP 4.5.

Le uscite standard del modello vengono salvate ogni 6 ore e successivamente post-processate e convertite in formato auto-descrittivo ("NETCDF") e interpolate su livelli di pressione dai livelli σ su cui vengono originariamente calcolate.

Nella configurazione adottata il dominio è costituito da una griglia 150x160 con una risoluzione orizzontale di 30 Km proiettata secondo la proiezione conforme di Lambert. In tale configurazione le uscite standard post-processate del modello hanno dimensione di circa 25 Gigabyte per anno.

Altri database, la cui produzione è in corso di completamento, verranno resi accessibili nel corso del terzo anno del progetto.

4.2 Pubblicazioni

M. TURCO, A.L. ZOLLO, C. RONCHI, C. DE LUIGI, P. MERCOGLIANO: Assessing gridded observations for daily precipitation extremes in the Alps with a focus on northwest Italy. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*., 13, 1457-1468, doi:10.5194/nhess-13-1457-2013, 2013

D'ONOFRIO, D., PALAZZI, E., VON HARDENBERG, J., PROVENZALE, A. and CALMANTI, S.: Stochastic rainfall downscaling of climate models. *Journal of Hydrometeorology*, doi: 10.1175/JHM-D-13-096.1, 2014 (online 2013).

PALAZZI E, VON HARDENBERG J, PROVENZALE A. (2013): Precipitation in the Hindu- Kush Karakoram Himalaya: observations and future scenarios. *J Geophys Res* 118:85–100, DOI 10.1029/2012JD018697

PARODI A., VON HARDENBERG J., PROVENZALE A.: Emergence of large-scale patterns in moist atmospheric convection, in preparazione.

PIERI A., VON HARDENBERG J., PARODI A., PROVENZALE A.: Do precipitation rates from non-hydrostatic simulations agree with data? A view from the WRF model over Europe. In preparazione.

D. D'ONOFRIO, E. PALAZZI, J. VON HARDENBERG, A. PROVENZALE, and S. CALMANTI: Stochastic rainfall downscaling of climate models*. Journal of Hydrometeorology*, in press (doi: 10.1175/JHM-D-13-096.1).

S. CALMANTI, A. DELL'AQUILA, F. MAIMONE, V. PELINO: Evaluation of climate patterns in a regional climate model over Italy using long-term records from SYNOP weather stations and cluster analysis. Under review (Minor revision) on Climate Research.

DI BIAGIO V., CALMANTI S, DELL'AQUILA A. and RUTI PM., Northern Hemisphere winter midlatitude atmospheric variability in CMIP5 models. Under review (Minor revision) on *Geophysical Research Letters.*

4.3 Disponibilità di dati e output modellistici (formato, supporto, etc)

I dati resi disponibili ai partner e agli utenti del progetto sono inclusi nel Deliverable D2.5.3 (prima versione degli archivi di simulazioni climatiche globali e regionali resi disponibili presso i server dati dei centri partner, trasmissione informazioni al Portale Generale) e sono consultabili in via sperimentale tramite il server THREDDS direttamente dal portale dati del Progetto NextData.

4.4 Deliverables completati

D2.5.3 (Prima versione degli archivi di simulazioni climatiche globali e regionali resi disponibili presso i server dati dei centri partner, trasmissione informazioni al Portale Generale.).

5. Commento su eventuali scostamenti fra attività/risultati/Deliverables previsti ed effettivamente realizzati.

Non si sono riscontrate particolari criticità né scostamenti rispetto a quanto previsto nel Piano Esecutivo del progetto per il secondo periodo di attività. Il Deliverable 2.5.3 è stato spostato all'inizio del terzo anno per includere i risultati di tutte le simulazioni numeriche in corso di completamento.

6. Attività previste per il periodo successivo

- Nel corso del terzo anno di progetto verranno svolte e valutate simulazioni a risoluzioni molto alte (2.2 km) con il modello COSMO CLM su un dominio che comprenda le Alpi e la pianura padana. La valutazione di queste simulazioni verrà svolta anche attraverso il confronto con altri RCM e/o configurazioni del modello

COSMO a diverse risoluzioni orizzontali, mentre per il confronto con le osservazioni, verranno utilizzati diversi dataset di disponibili sull' area.

- Verrà continuata l'attività di confronto dei metodi dinamici e statistici per la generazione di precipitazione su scale temporali sub giornaliere e diverse aree geografiche, a seconda della disponibilità dei dati.
- Downscaling con WRF ad alta risoluzione di proiezioni EC-Earth nello scenario RCP 4.5, nel dominio Europeo ed analisi dei risultati, in particolare per la regione Alpina, e confronto con archivi osservativi disponibili.
- Preparazione di una versione ottimizzata di EC-Earth 3 a risoluzione T255 ed analisi e output diagnostici corrispondenti.
- Sviluppo e applicazione della tecnica di downscaling stocastico RainFARM per il downscaling di osservazioni da satellite in aree ad alta quota e poco strumentate.
- Nel corso del terzo anno di progetto, verranno analizzate le simulazioni regionali mediterranee in particolare in termini della loro capacità di riprodurre la variabilità a bassa frequenza. Inoltre verrà completato e reso totalmente operativo l'archivio interattivo delle simulazioni disponibili.

Progetto di Interesse strategico NEXTDATA

Rendicontazione scientifica per il periodo di riferimento
01–05–2013 / 31–12 2013

Progetto speciale
RECCO
Development of ensembles of regional climate change scenarios, with focus on variability, extremes and uncertainties in areas of complex topography.

Responsabile: Silvia Trini Castelli
ISAC-CNR

Responsabili di Unità e WPs:

F. Giorgi
ICTP

A. Parodi
ISAC-CNR

G. Erbacci
CINECA

F. Madonna
IMAA_CN

Collaboratori:

P. Lanucara
CINECA

L. Mariotti
ICTP

1. Attività prevista e risultati attesi (come indicato sul Piano Esecutivo, inclusi i milestones)

Il programma di ricerca del progetto RECCO è articolato per Unità e Working Packages (WPs), in funzione delle diverse attività modellistiche, i cui risultati convergeranno nel WP conclusivo WP4 "Valutazione e analisi comune dei risultati delle simulazioni".

In questo primo report la descrizione delle attività è quindi strutturata per Unità e WP.

Unità 1, ISAC-CNR, WP2.

Attività modellistiche WRF: questo WP è focalizzato su due differenti aree di studio simulate a 0.11 gradi di risoluzione orizzontale, il dominio EURO-CORDEX e il dominio sud asiatico CORDEX. In aggiunta, due domini innestati a risoluzione "convection-permitting" pari a 0.04 gradi risolveranno la cosiddetta Grande Area Alpina e l'area del Hindu Kush – Karakorum - Himalaya (HKKH). Il Progetto RECCO richiede l'esecuzione sia di run di controllo forzate dalle reanalisi ERA-Interim e del modello climatico EC-Earth, sia di due scenari futuri corrispondenti allo scenario di emissione RCP 4.5 e di durata pari a dieci anni, sui due domini discussi in precedenza.

Milestone e deliverable:
test preliminary e run di controllo

Unità 1, ISAC-CNR, WP3.

Nell'ambito delle attività modellistiche con RAMS si effettuerà un'analisi preliminare di sensitività per identificare le criticità, sia da un punto di vista fisico sia numerico, che rappresentano fattori chiave per migliorare la riproducibilità della circolazione atmosferica in orografia altamente complessa. Verranno definite le aree e i periodi temporali di interesse per le simulazioni nelle Alpi italiane e nella regione dell'HKKH, saranno raccolti dati topografici e meteorologici di input adatti a simulazioni ad alta risoluzione e i dati osservati disponibili, si definirà la configurazione delle simulazioni e si faranno test preliminari sulle Alpi Italiane.

Milestone e Deliverable:
elaborazione di un database contenente output e risultati di simulazioni già disponibili da run preliminari. Analisi dei risultati e discussione.

Unità 2, ICTP, WP1.

Per il progetto speciale RECCO, l'ICTP si è prefisso queste attività:

Completamento dell'analisi dei percorsi già effettuati nel corso del primo anno di NextData, composto da 14 simulazioni di scenario per il dominio del Mediterraneo (2 GCM, 2 scenari, 7 configurazioni del modello), 6 simulazioni di scenario per i domini del Sud America e del Centro America (2 GCM, 2 configurazioni RegCM, 2 scenari), e 5 simulazioni di scenario per il dominio del Sud Asia (2 GCM, 2 configurazioni RegCM, 2 scenari). Ogni simulazione di scenario e' stata effettuata dal 1970 al 2100. Le attività comprendono anche la realizzazione di una simulazione ad alta risoluzione (1970-2050) per la regione Mediterranea. Dati rilevanti saranno poi trasferiti nell'Archivio NextData.

Milestone e Deliverable:
trasferimento dati e completamento analisi.

Unità 3, CINECA, tutti i WPs

CINECA è l'unico Consorzio di Supercalcolo in Italia, dopo la fusione di CILEA e CASPUR, e uno dei maggiori a livello europeo.

CINECA è presente nel progetto per l'utilizzo della potenza di calcolo necessaria allo svolgimento delle attività dei partner CNR ISAC e ICTP. Inoltre garantisce supporto ordinario e specialistico ai modelli che sono parte integrante dell'attività simulativa.

Unità 4, IMAA-CNR, tutti i WPs

IMAA-CNR contribuisce al progetto con un approccio trasversale e nel periodo di riferimento si impegnerà nella raccolta ed elaborazione di dati in-situ, nonché nelle osservazioni al suolo e in quelle remote-sensing da satellite, che verranno utilizzate per verificare i risultati delle attività modellistiche. I dati IMAA in-situ e da remote sensing, da utilizzare per la valutazione dei modelli, saranno distribuiti agli altri partner di progetto e saranno messi a disposizione nell'Archivio NextData.

2. Deliverables previsti per il periodo di riferimento

Unità 2, ICTP; WP1

D1.1. Relazione in cui si descrivono i dati trasferiti all'Archivio NextData;

D1.2. Relazione che sintetizza i principali risultati dell'analisi delle simulazioni disponibili; saranno allegate eventuali pubblicazioni derivanti da questo lavoro.

Unit 1, ISAC-CNR, WP3.

D3.1. Relazione contenente la review degli aspetti critici per le simulazioni ad alta risoluzione e in topografia complessa e l'analisi dei run preliminari con il modello RAMS.

3. Attività effettivamente svolta durante il periodo di riferimento

3.1 Attività di ricerca

Unità 1, ISAC-CNR, WP2.

Parte 1. Identificazione della configurazione di riferimento di WRF: le attività di ricerca nell'ambito del WP2, condotte durante il primo anno di attività, si sono focalizzate sulla identificazione della migliore configurazione del modello WRF per la riproduzione delle statistiche della precipitazione sull'area europea. Al fine di conseguire tale risultato è stato identificato un anno di riferimento, ovvero il 1979, quale anno iniziale del dataset delle re-analisi ERA-Interim, e sono state poi testate diverse configurazioni del modello WRF.

La regione di studio usata per la modellazione con WRF corrisponde al dominio EURO-CORDEX, definito in termini di una proiezione equidistante longitudine-latitudine con polo Nord ruotato, che si estende nella regione 22W-45E in longitudine e 27N-72N in latitudine (Figura 1). All'interno dell'area EURO-CORDEX sono state identificate due differenti regioni di riferimento. La più estesa, denominata la Regione Europea Interna (IER), copre la maggior parte dell'Europa ed è stata adottata per simulazioni ad alta risoluzione con risoluzione spaziale pari a 0.04°. La seconda, di dimensioni inferiori, corrisponde invece alla Regione Alpina Estesa (GAR), che da 4E a 19E in longitudine e da 43N a 49N in latitudine, la cui

adozione corrisponde alla necessità di comparare le simulazioni modellistiche con i dati osservativi relativamente a tale area a topografia così complessa.

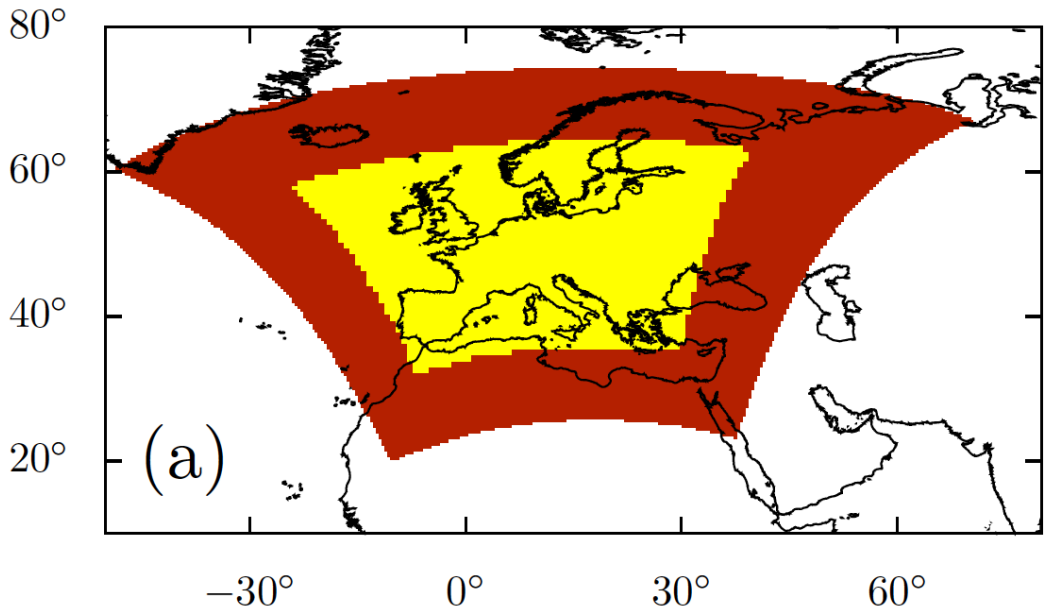

Fig. 1. Il dominio EURO-Cordex (0.11, in rosso) e la Regione Europea Interna (0.04, in giallo) usati per l'integrazione ad alta risoluzione con WRF.

I risultati modellistici in termini di precipitazione e delle sue statistiche sono confrontati con differenti dataset osservativi e con le reanalisi disponibili per l'anno di riferimento 1979: dal punto di vista delle reanalisi sono stati considerati l'ERA-interim dataset (Dee et al., 2011), la Modern Era Retrospective analysis for Research and Applications (MERRA; Rienecker et al., (2011)); the Climate Forecast System Reanalysis (CFSR); Saha et al., (2010) and Wang (2011)); in termini osservativi sono stati considerati invece il Global Precipitation Climatology Project merged precipitation dataset (GPCP; Adler et al. (2003)), il Global Precipitation Climatology Centre dataset (GPCC), il Climatic Research Unit dataset (CRU) e infine l'European high resolution gridded data set E-OBS (Haylock et al., 2008). E' anche importante ricordare che per l'area GAR sono disponibili il dataset HISTALP precipitation (Auer et al., 2007) e il più recente dataset ad alta risoluzione Alpine precipitation ridde dataset (EURO4M- APGD) sviluppato da MeteoSwiss nel contesto del progetto EURO4M (Isotta et al., 2013).
Gli esperimenti numerici con WRF hanno adottato risoluzioni spaziali da 0.44° a 0.04° nonchè diverse possibili parametrizzazioni relative ai fenomeni microfisici, convettivi e dello strato limite turbolento planetario, con lo scopo di identificare una configurazione in grado di riprodurre le statistiche della precipitazione in maniera soddisfacente in funzione della risoluzione spaziale utilizzata. Di seguito forniamo una sintesi delle opzioni usate:
Schemi microfisici. Sono stati considerati tre diversi schemi microfisici: lo schema single-moment WSM6 (Hong and Lim 2006), lo schema di Thompson (2004) e lo schema di Morrison e Gettelman (2008). Tutti questi schemi considerano 6 specie ovvero: vapore acqueo, pioggia, neve, ghiaccio non precipitabile, acqua non precipitabile e grandine. Sono stati inoltre implementati ulteriori test di sensitività mediante la microfisica Thompson attraverso l'esame dell'impatto dei cambiamenti nel parametro relativo al numero di cloud droplet e una modifica della efficienza di collisione tra pioggia e acqua non precipitabile.
Parametrizzazioni convettive e risoluzione spaziale. Due diverse parametrizzazioni convettive sono state adottate: la Kain-Fritsch CAPE removal time scale closure (KF; Kain and Fritsch,

1990) e la Betts-Miller-Janjic adjustment type closure (BMJ; Betts, 1986). Sono state dunque condotte una serie di simulazioni, con grid spacing uguale rispettivamente a 0.44° e 0.11° per il dominio EURO-CORDEX. Successivamente queste simulazioni sono state comparate con una simulazione ad alta risoluzione (0.04°≈ 4 km) con convezione esplicita, innestata two-way nel dominio a 0.11°.
Parametrizzazioni dello strato limite planetario turbolento. Nell'ambito di questo studio sono stati considerati due diversi schemi: lo schema Yonsei University (YSU) (Hong et al., 2006) e il Mellor-Yamada-Janjic (MYJ) (Mellor and Yamada, 1982). Lo schema MYJ PBL è di ordine 1.5 (livello 2.5), di tipo locale e usa l'energia cinetica turbolenta calcolata in maniera prognostica per valutare il mescolamento verticale, mentre lo schema YSU è del 1° ordine e non locale.

Parte 2. Run WRF di controllo. Un insieme di run di WRF forzati da ERA-Interim per il periodo 1979-2009 è attualmente in corso al LRZ Supercomputing Center in Garching, Germania nell'ambito del progetto Gauss-EXPRESS Project. Tali run adottano il setup WRF ottimale definito nella parte 1 del presente studio.

Unità 1, ISAC-CNR, WP3.

Nel corso della prima fase di lavoro con il modello RAMS, si è proceduto con una review approfondita della letteratura relativa a simulazioni ad alta risoluzione, prodotte in terreno complesso. Ciò ha consentito di evidenziare gli aspetti critici della modellistica della circolazione atmosferica in condizioni topografiche altamente disomogenee. Gli aspetti critici fondamentali sono:

- Risoluzione della griglia di calcolo: per simulare i fenomeni sotto-griglia, in particolare le variazioni delle proprietà della superficie che influenzano la meteorologia locale, sono necessarie alte risoluzioni (dell'ordine di 1 km). Si è dimostrato che risoluzioni più basse non sono sufficienti a riprodurre in modo appropriato i processi atmosferici in terreno complesso e superficie fortemente disomogenea.
- Tecniche di nesting: grazie all'utilizzo di tecniche di nesting le simulazioni producono risultati migliori, quando confrontati con i dati osservati, sulle griglie più fini rispetto alle griglie 'madri' più lasche.
- Smoothing della topografia: l'efficacia delle simulazioni dipende fortemente dall'algoritmo utilizzato per lo 'smoothing' della topografia; algoritmi che dipendono dalla risoluzione sono carenti nella corretta riproduzione delle fluttuazioni osservate per i campi meteorologici.
- Condizioni iniziali e al contorno: le simulazioni alla mesoscala sono molto sensibili rispetto alle condizioni iniziali e al contorno; si è verificato che un'analisi preliminare è generalmente opportuna per configurare la simulazione sul caso specifico.
- Campi di input e nudging: l'assimilazione di dati osservati locali può contribuire a migliorare i risultati delle simulazioni ma deve essere utilizzata con cautela, in particolare quando la rete osservativa copre un'area limitata all'interno del dominio di calcolo, in quanto può produrre effetti sui campi meteorologici anche a grandi distanze dalle osservazioni.
- Valori iniziali nel suolo (temperatura e umidità): la limitatezza di dati osservati e di appropriate informazioni sulle variabili termodinamiche nel suolo è uno dei problemi che può incidere sulle performance del modello, particolarmente nei periodi invernali; inoltre, spesso non è disponibile una valutazione appropriata del manto nevoso.
- Parametrizzazione della turbolenza: l'ipotesi di boundary-layer, generalmente adottata nei modelli a mesoscala, non consente di tenere conto in modo appropriato del contributo orizzontale al rateo di strain, che invece gioca un ruolo importante in topografia complessa e disomogenea.

- Aspetti computazionali: vari aspetti possono influenzare i risultati delle simulazioni modellistiche, quali i compilatori, le opzioni di compilazione e l'hardware utilizzato con il corrispondente software, gli algoritmi di arrotondamento etc.
- Aspetti numerici: è importante tenere conto della scelta dello schema di discretizzazione, rispetto ad accuratezza, stabilità e costo computazionale, dell'impatto della diffusione implicita ed esplicita e dei problemi associati al sistema di coordinate scelto.

Grazie all'analisi dei risultati di letteratura, è possibile stabilire delle line guida per l'analisi di sensitività programmata con il modello RAMS, nell'ambito del progetto RECCO.

Una seconda attività ha riguardato la selezione e organizzazione in database di simulazioni già prodotte con il modello RAMS su aree alpine in Italia, in particolare nei transetti del Frejus e del Brennero. Nei prossimi mesi gli output delle simulazioni saranno ulteriormente analizzati allo scopo di fornire linee guida specifiche per la configurazione ottimale del modello da applicare sulle altre aree di interesse del Progetto NextData, quali l'HKKH.
In questo ambito sono stati identificati i seguenti dataset utili per simulazioni ad alta risoluzione:
http://eros.usgs.gov/elevation-products;
http://eros.usgs.gov/land-cover;
http://bioval.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/glc2000.php
http://due.esrin.esa.int/globcover/

Unità 2, ICTP; WP1.

Le attività di ricerca nel periodo di riferimento NextData si sono per lo più concentrate sull'analisi di una serie di simulazioni di scenari completate con RegCM4 a 50 km di risoluzione su 5 domini CORDEX, e sulla realizzazione di una nuova simulazione di scenario per la regione mediterranea a 12 km di risoluzione.

Le simulazioni CORDEX, che fanno parte dell'esperimento CORDEX RegCM hyper-MAtrix (CREMA), sono state effettuate sui domini CORDEX dell'Africa, del Mediterraneo, dell'Asia Meridionale, dell'America Centrale e del Sud America. Le simulazioni sono state eseguite utilizzando diversi GCM come condizioni al contorno, con diversi scenari di gas a effetto serra (RCP4.5 e RCP8.5) e diverse configurazioni fisiche del modello RegCM4 (ad esempio diversi schemi di convezione e di superficie terrestre). Le analisi coprono diversi aspetti delle simulazioni. Una serie di articoli è stata prodotta come parte di questa analisi, contribuendo ad un numero speciale di Climatic Change attualmente in corso. I diversi articoli di questo numero speciale (vedere "Pubblicazioni") trattano i seguenti argomenti:

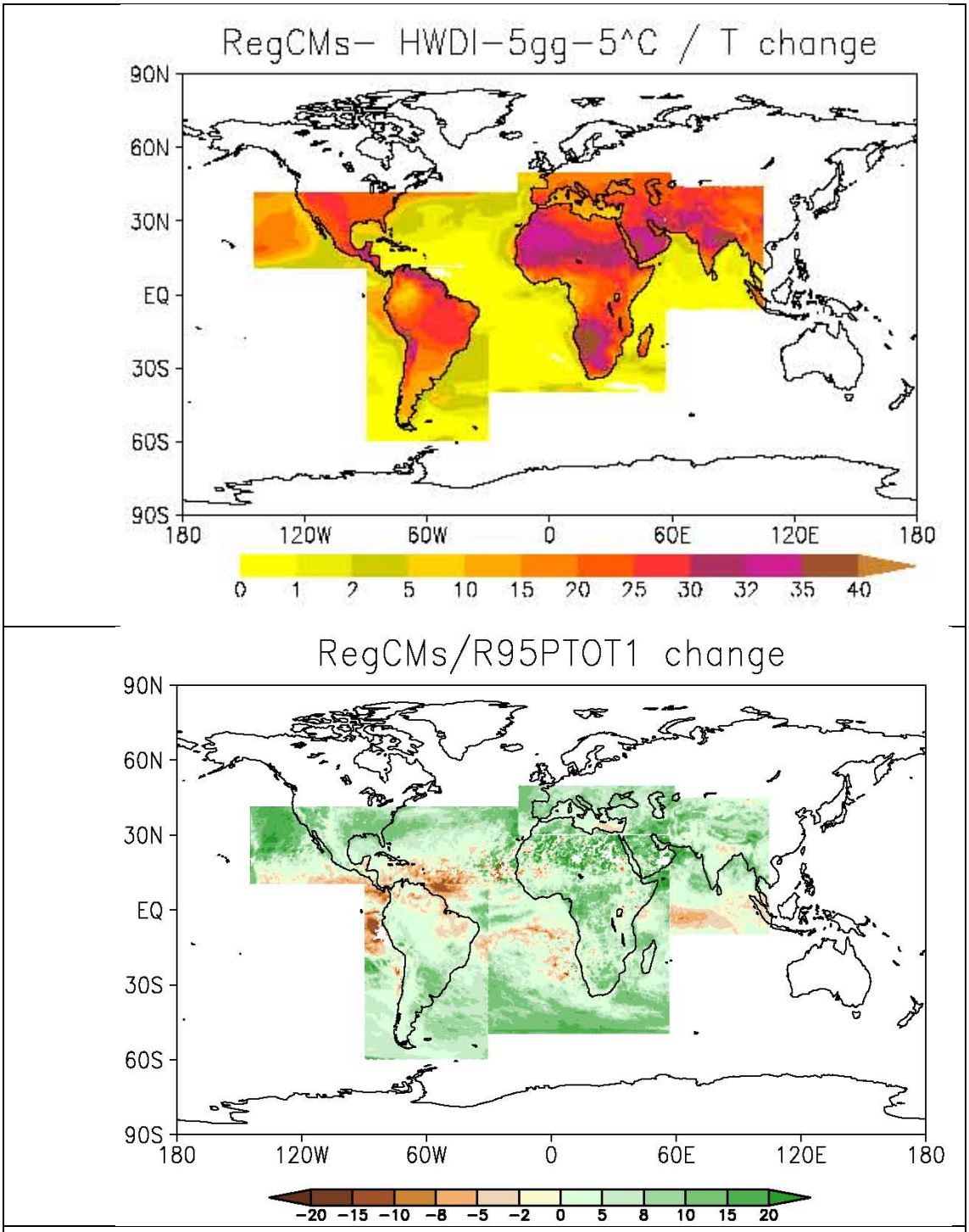

Fig. 2. Pannello superiore: Variazione media dell'ensemble nell'occorrenza delle ondate di calore sui cinque domini dell'ensemble CREMA delle simulazioni di scenario di RegCM4 (RCP8.5). Le unità sono il numero di giorni all'anno per un grado di riscaldamento. Pannello inferiore: Variazione media al novantacinquesimo percentile delle precipitazioni sui cinque domini dell'ensemble CREMA delle simulazioni di scenario di RegCM4 (RCP8.5). La colorbar indica l'aumento o la diminuzione percentuale di pioggia rispetto al presente.

Analisi dei bias e dei cambiamenti dell'insieme completo dei modelli globali e regionali (Coppola et al., 2014). Questo lavoro mostra che tutti i modelli hanno una buona performance sui domini di interesse.

Analisi di temperatura e precipitazioni degli eventi estremi su diversi domini (Giorgi et al., 2014, Figura 2). Questo lavoro mostra il valore aggiuntivo del modello regionale nel simulare gli eventi estremi e un aumento delle ondate di calore e degli estremi di precipitazione associati al riscaldamento globale.

Analisi dei cambiamenti nei regimi delle precipitazini monsoniche sul dominio dell'Africa (Mariotti et al. 2014). Si nota un prevalente ritardo dell'inizio del monsone e una fine anticipata che porta a un restringimento e ad un'intensificazione della stagione delle precipitazioni monsoniche.

Analisi delle variazioni delle precipitazioni monsoniche estative sull'India (Dash et al., 2014.), che hanno mostrato un decremento generale della pioggia dei monsoni in linea con le tendenze rilevate sulle principali regioni coltivate centrali dell'India.

Analisi dei cambiamenti della variabilità interannuale (Fuentes-Franco et al., 2014) e delle statistiche delle tempeste tropicali (Diro et al., 2014), che mostrano sia una forte sensibilità del modello nel simulare le tempeste tropicali con diverse configurazioni fisiche del modello e con diversi GCM come condizioni al contorno, sia una diminuzione nel numero di eventi, ma con l'aumento nell'intensità delle tempeste sulla regione atlantica.

Analisi degli effetti di El Nino (Da Rocha et al., 2014) e delle interazioni terra-atmosfera (Llopart et al., 2014) sul segnale del cambiamento climatico in Sud America.

Applicazione del metodo del fattore di separazione (FS) a un grande insieme di scenari sulla regione Mediterranea al fine di studiare l'importanza relativa dei diversi aspetti della configurazione del modello per determinare il segnale di cambiamento climatico (Torma et al., 2014). Questo studio ha illustrato l'utilità della tecnica FS per studiare l'importanza delle diverse fonti di incertezza nelle proiezioni climatiche.

In generale, questi esperimenti hanno indicato una forte sensibilità dei segnali di cambiamento climatico simulati ai diversi schemi fisici del modello, fornendo così un contributo sostanziale sull'incertezza dei segnali simulati e sottolineando la necessità di grandi insiemi di scenari per individuare queste incertezze.
Infine, nel periodo di riferimento, è stata anche avviata, ed è attualmente in corso, l'analisi ad alta risoluzione della simulazione di scenario sul Mediterraneo.

Unità 4, IMAA-CNR, tutti i WPs

- Processamento delle osservazioni dal suolo e da satellite per lo studio delle nubi e delle precipitazioni (accessibili sia sui database delle reti alle cui attività partecipa il CNR-IMAA ma anche da archiviare sul Database di NextData).
- Stima giornaliera della precipitazione accumulata sull'intero dominio italiano ottenute dalle osservazioni da satellite
- Valutazione sistematica delle performance dei principali modelli europei alla mesoscala (ECMWF, MetOffice, Meteo France, ….).

3.2 Sviluppi applicativi, tecnologici e informatici

Unità 1, ISAC-CNR, WP3:

E' stata scaricata la versione più aggiornata del modello RAMS 6.0 e si sta operando su di essa per includere le routine più aggiornate per la parametrizzazione della turbolenza elaborate negli anni scorsi presso l'ISAC di Torino.

Unità 2, ICTP; WP1.

La doppia parallelizzazione orizzontale e verticale del modello è stata completata; questa versione ci ha permesso di aumentare la risoluzione del modello fino a 12 km, mantenendo tempi di calcolo ragionevoli.
L'accoppiamento con il modello oceanico MIT GCM è stato completato nel mese di settembre 2013. Da novembre 2013, un nuovo accoppiamento con l'ultima versione del Community Land Model (CLM4.5) è iniziato, per il quale è però necessario un altro cambiamento sostanziale nella parallelizzazione del codice.

Unità 3, CINECA.

CINECA è "Hosting member" dell'infrastruttura della ricerca europea (PRACE) ed è coinvolto in numerosi progetti di comunità. L'infrastruttura di calcolo che è stata utilizzata per le attività del progetto comprende una delle architetture presenti nella Top500 (FERMI) caratterizzata da un elevatissimo numero di cores computazionali per le applicazioni maggiormente "challanging" e una nuova macchina (EURORA) che garantisce elevate prestazioni ad un ridottissimo consumo energetico, considerata il prototipo delle architetture future verso l'Exascale Computing.
EURORA è un cluster composto da 64 nodi di calcolo. Ciascun nodo si compone di 2 processori Intel Xeon Sandy bridge e 2 "acceleratori" di supporto al calcolo che possono essere nello specifico o 2 Intel XeonPhi (MIC) o 2 schede NVIDIA K20S.
Questo cluster (o l'altro cluster per il calcolo tecnico PLX basato su processori similari) viene ovviamente utilizzato per simulazioni di non eccessiva taglia computazionale, come ad esempio RAMS.
RAMS è il modello ad area limitata utilizzato da CNR ISAC per le simulazioni previste nell'ambito del progetto, con particolare enfasi per tutte quelle ad orografia complessa ad alta/altissima risoluzione spaziale. RAMS, attualmente alla Release 6.0, è stato sviluppato nel corso degli anni per adattarsi all'evoluzione architetturale dei "supercomputer". In particolare, per quanto riguarda gli aspetti computazionali, è stato reso parallelo mediante l'utilizzo dello standard MPI (Message Passing Interface) che lo ha trasformato in un codice di calcolo efficiente e portabile sulla stragrande maggioranza dei calcolatori odierni ("clusters" a memoria distribuita o MIMD).
Per questo tipo di attività le potenzialità del modello per quanto riguarda gli aspetti maggiormente legati alla parallelizzazione del RAMS (scalabilità, speed-up, efficienza, I/O) sono state prese in esame e affrontate, per ora, attraverso semplici benchmark sul cluster EURORA (o PLX).

3.3 Attività di formazione

Unità 1, ISAC-CNR, WP3*:* un ricercatore inizierà ufficialmente a collaborare al progetto nell'ambito di un assegno di ricerca da marzo 2014. In questi mesi il ricercatore si sta formando sull'uso di RAMS ad alta risoluzione e sta studiando la letteratura relativa a questo tipo di simulazioni.

Unità 2, ICTP; WP1: uno studente è stato invitato all'ICTP per un periodo di 8 mesi per fare dei tests con la nuova versione del modello sotto la supervisione del personale scientifico ICTP.

3.4 Attività di disseminazione e divulgazione

Unità 2, ICTP; WP1*:* Il modello RegCM è un codice libero e pubblico ed è mantenuto per uso di tutta la comunità. I dati di output delle simulazioni CORDEX sono disponibili per tutta la comunità, in particolare per gli studi di impatto.

3.5 Partecipazione a conferenze

I risultati preliminari delle simulazioni con WRF (WP2) sono stati presentati al: *International Conference on Regional Climate - CORDEX* 2013 (Bruxelles, 4-7 novembre 2013).

F.GIORGI, L. MARIOTTI, G. XUEJIE, R. FUENTES F. ED I. DIALLO dal 4 al 7 novembre 2013 hanno partecipato alla *Conferenza Internazionale sul Clima Regionale* – CORDEX 2013 a Bruxelles (Belgio).

F. GIORGI ha partecipato alla riunione NextData-RECCO a Torino (3 luglio 2013).

L. MARIOTTI ha partecipato alle riunioni NextData a BOLOGNA (19 settembre 2013) e a Roma (12 novembre 2013).

S. TRINI CASTELLI ha organizzato la riunione NextData-RECCO a Torino (3 luglio, 2013), ha partecipato alla riunione NextData-WP2.5 a Bologna (19 settembre 2013) ed alla riunione generale NextData a Roma (12 novembre 2013).

PIERO LANUCARA ha partecipato alla riunione NextData-RECCO a Torino (3 luglio 2013), ed alla riunione generale NextData a Roma (12 novembre 2013).

FABIO MADONNA ha partecipato alla riunione NextData-RECCO a Torino (3 luglio 2013).

4. Risultati ottenuti durante il periodo di riferimento

4.1 Risultati specifici (banche dati, risultati delle misure, output di modelli, etc)

Unità 1, ISAC-CNR, WP2

Un esempio illustrativo della prima parte dei risultati delle simulazioni nel WP2 è presentato di seguito. Con riferimento alla precipitazione annuale la tabella 1 mostra la sua media nell'ambito della Regione Europea Interna limitatamente alla parte terrestre, in funzione dei differenti esperimenti numerici e dei differenti dataset osservativi. La tabella mostra anche la differenza percentuale tra le precipitazioni mediate derivate dalle differenti simulazioni e il dataset osservativo CRU. E' evidente come tutti gli esperimenti numerici sovrastimino i dati osservati. Nello specifico la simulazione utilizzante la parametrizzazione convettiva BMJ (c4ei) e la sua controparte ad alta risoluzione (h1e4) sono le uniche con una differenza percentuale inferiore al 30%.

Tab. 1. Precipitazione media annuale (arr) per (a) I diversi dataset osservativi e (b) diverse configurazioni di WRF usate. La Colonna più a destra riporta le differenze percentuali rispetto al dataset CRU.

(a)

Dataset	arr [mm.day^{-1}]
cfsr	2.89
cru	2.09
eobs	1.75
erai	2.24
gpcc	2.16
gpcp	2.51
merra	2.06

(b)

Run	arr [mm day^{-1}]	Excess
c1ei	2.78	33.2%
c2ei	2.83	35.4%
c3ei	2.92	39.8%
c4ei	2.65	26.9%
c1fi	2.89	38.4%
c1gi	2.84	35.8%
c1hi	2.81	34.7%
c1li	2.91	39.4%
cmjy	2.77	32.9%
h1e4	2.63	26.1%

Unità 1, ISAC-CNR, WP3.
L'analisi risultante dalla review della letteratura relativa alla simulazione ad alta risoluzione in terreno complesso ha consentito di identificarne le principali criticità e di stabilire le linee guida per l'analisi di sensitività che verrà effettuata con il modello RAMS su Alpi e Appennini italiani e nell'area dell'HKKH.

Unità 2, ICTP; WP1.
Una nuova simulazione sul Mediterraneo a 12 km di risoluzione è stata completata alla fine di dicembre 2013. I dati delle simulazioni dell'esperimento CREMA sono in fase di raccolta e trasferimento nell'Archivio NextData.

Unità 3, CINECA, tutti i WPs
Review di letteratura sugli aspetti computazionali del modello RAMS. Benchmarks preliminari del modello sui cluster CINECA (EURORA and PLX).

Unità 4, IMAA-CNR, tutti i WPs

- Osservazioni dal suolo di variabili climatiche essenziali (ECV) per lo studio di aerosol, nubi, precipitazioni e radiazioni (disponibili dal 2004).
- Output dei principali modelli europei alla mesoscala calcolati per l'osservatorio del CNR-IMAA (CIAO), in collaborazione con Cloudnet (www.cloud-net.org).
- Radiosondaggi sistematici in grado di fornire i profili verticali di PTU e vento comprensivi del bilancio dell'incertezza stimato con gli algoritmi della rete GRUAN(GCOS Upper-Air Network Reference).
- Stima del tasso di precipitazione calcolato per tutti i passaggi di AMSU sull'Italia a partire dal 2011 (possibile estensione ai dati pregressi).

4.2 Pubblicazioni

Unità 2, ICTP; WP1. Sono stati inviati gli articoli per lo speciale su *Climate Change* (circa 8 articoli) sui primi risultati e l'analisi delle simulazioni CORDEX. Gli articoli sono in fase di approvazione finale, si prevede l'uscita del numero speciale entro il 2014.

Un'altra pubblicazione e' stata inviata ad *Atmospheric Science Letters.*

Inviati a *Climatic Change Special Issue* 2014:

The bias and climate change signal in the Phase I CREMA ensemble (COPPOLA et *AL.*).

Changes in extremes and hydroclimatic regimes in the CREMA ensemble projections (GIORGI et AL.).

Seasonal and intraseasonal changes of African monsoon climates in 21st century CORDEX projections (MARIOTTI et AL.).

Projected Seasonal Mean Summer Monsoon over India and Adjoining Regions for the 21st Century (DASH et. AL).

Changes in inter-annual variability of precipitation over Southern Mexico and Central America from RegCM4 CORDEX projections and their relationship to Sea Surface Temperature (FUENTES FRANCO et AL.).

Tropical cyclones in a regional climate change projections with RegCM4 over the CORDEX Central America domain (DIRO et AL.).

Interannual variability associated with ENSO: present and future climate projections of RegCM4 for South America-CORDEX domain (DA ROCHA et AL.).

Climate change impact on precipitation for the Amazon and La Plata basins (LLOPART et AL.).

Inviato a *Atmospheric Science Letters:*
Assessing the contribution of different factors in regional climate model projections using the Factor Separation method (TORMA et AL.).

Unità 1, ISAC-CNR; WP2.
PIERI A., J. VON HARDENBERG, A. PARODI and A. PROVENZALE: Do precipitation rates from non-hydrostatic simulations agree with data? A view from the WRF model over Europe, submitted to *Journal of Hydrometeorology*, 2013

Unità 4, IMAA-CNR
E. RICCIARDELLI, D. CIMINI, F. DI PAOLA, F. ROMANO, and M. VIGGIANO: A statistical approach for rain class evaluation using Meteosat Second Generation-Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager observations, *Hydrology and Earth System Sciences*, in review.

4.3 Disponibilità di dati e output modellistici (formato, supporto, etc)

Unità 1, ISAC-CNR; WP3. Gli output delle simulazioni RAMS selezionate sono disponibili in format HDF5 e devono essere adattati al formato stabilito secondo il protocollo NextData.

Unità 2, ICTP; WP1. L'Output delle simulazioni e' in formato NetCDF secondo il protocollo NextData.

Unità 4, IMAA-CNR. Tutti i dati sono disponibili sia sull'archivio del CNR-IMAA sia sui database "open access" delle reti di osservazione in cui il CNR-IMAA partecipa attivamente (Cloudnet, AERONET, EARLINET, GRUAN, …). I dati sono in formato NetCDF.

4.3 Deliverables completati

I seguenti Deliverable sono in preparazione (vi è stato un ritardo a causa del ritardo nell'erogazione del finanziamento NextData):

D1.1. Relazione che descrive i dati trasferiti all'Archivio NextData;

D1.2. Relazione che sintetizza i principali risultati dell'analisi delle simulazioni disponibili. Inoltre, saranno allegate eventuali pubblicazioni derivanti da questo lavoro.

D3.1. Relazione contenente la review degli aspetti critici per le simulazioni ad alta risoluzione e in topografia complessa e l'analisi dei run preliminari con il modello RAMS (in preparazione per la fine di maggio 2014).

5. Commento su eventuali scostamenti fra attività/risultati/Deliverables previsti ed effettivamente realizzati

Unità 1, ISAC-CNR.

Poiché i fondi per l'attività di ricerca sono stati ricevuti a fine settembre 2013, non è stato possibile attivare assegni di ricerca presso l'ISAC fino a fine anno 2013. Questo ha implicato un ritardo nell'inizio delle attività di simulazione numerica vera e propria, che saranno principalmente svolte dai giovani ricercatori, anche per motivi di formazione. L'attività di simulazione numerica con RAMS partirà nei primi mesi del 2014 e si confida di recuperare il ritardo temporale grazie al contributo del nuovo personale a contratto, compensando pertanto lo scostamento tra i risultati previsti e quelli già ottenuti.

Unità 2, ICTP .

La raccolta dei dati sull'archivio non è ancora completa; la fase di post-processing è ancora in corso. Nella Tabella 2 che segue è riportato un elenco delle simulazioni nell'Archivio NextData.

Tab. 2. *Unità 2, WP1.* Riassunto degli esperimenti trasferiti nell'archivio NextData; tutti I run sono a risoluzione orizzontale di 50 km.

Dominio	**Condiioni al contorno (GCMs)**	**periodo**
Africa	HadGEM scenari: RCP4.5, RCP8.5	1970-2100
Africa	MPI ECHAM6 scenario RCP8.5	1970-2100
America Centrale	HadGEM scenario: RCP8.5	1970-2100
America del Sud	HadGEM scenario: RCP8.5	1970-2100
Mediterraneano	HadGEM scenario: RCP8.5	1970-2100
Mediterraneaon	MPI ECHAM6 scenario RCP8.5	1970-2100

6. Attività previste per il periodo successivo

Unità 1, ISAC-CNR, WP2

Sarà simulato uno scenario temporale (10 anni) sull'area Europea con il modello WRF, utilizzando come forzante lo scenario RCP4.5 prodotto dal modello climatico EC-Earth.

Unità 1, ISAC-CNR, WP3

Finalizzazione dell'elaborazione dei run di test e analisi delle problematiche chiave per l'applicazione nella modellistica ad alta risoluzione; prime simulazioni con RAMS sull'area alpina in Italia e nell'area dell'HKKH.

Unità 2, ICTP .

Completamento delle simulazioni aggiuntive per i domini del Mediterraneo e dell'Asia Meridionale.

Unità 3, CINECA

I prossimi passi, una volta realizzato il "fine-tuning" del modello RAMS sulle macchine, riguarderanno studi di "sensitivity analysis" che comporteranno l'utilizzo del modello in modalità "farm" sulle aree geografiche di interesse per il progetto.

Unit 4, IMAA-CNR, tutti i WPs

- Fornire osservazioni di telerilevamento in situ, dal suolo e da satellite, nonchè le stime delle variabili climatiche essenziali (ECV) ottenute con algoritmi di calcolo.
- Fornire i dati pluviometrici della stazione CIAO e di tutta la rete disponibile in Basilicata (dati forniti dall'Agenzia regionale ALSIA) per la validazione dei modelli sulla regione montuosa dell'Appennino.
- Individuare osservazioni e prodotti rilevanti per le attività correlate ai modelli.

Bibliografia

ADLER, R. F., et AL., 2003: The version-2 global precipitation climatology project (gpcp) monthly precipitation analysis (1979-present). *J. Hydrometeorology*, 4 (6), 1147-1167.

BETTS, A. K., 1986: A new convective adjustment scheme. Part i: Observational and theoretical basis. *Quarterly J. Royal Meteor. Soc.,* 112 (473), 677-691.

DEE, D. P., et AL., 2011: The era-interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly J. Royal Meteor. Soc*., 137 (656), 553-597.

HAYLOCK, M. R., N. HOFSTRA, A. M. G. KLEIN TANK, E. J. KLOK, P. D. JONES, and M. NEW, 2008: A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006. *J. Geophys. Research*, 113 (D20).

HONG, S.-Y. and J.-O. J. LIM, 2006: The WRF single-moment 6-class microphysics scheme (wsm6). *J. Korean Meteor. Soc*, 42 (2), 129-151.

HONG, S.-Y., Y. NOH, and J. DUDHIA, 2006: A new vertical diffusion package with explicit treatment of entrainment processes. *Mon. Wea. Rev*., 134, 2318-2341.

ISOTTA, F. A., et AL., 2013: The climate of daily precipitation in the Alps: development and analysis of a high-resolution grid dataset from pan-alpine rain-gauge data. *Int. J. Climatology*.

KAIN, J. S. and J. M. FRITSCH, 1990: A one-dimensional entraining/detraining plume model and its application in convective parameterization. *J. Atm. Sci*., 47 (23), 2784-2802.

MELLOR, G. L. and T. YAMADA, 1982: Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Rev. Geophys*., 20, 851-875.

MORRISON, H. and A. GETTELMAN, 2008: A new two-moment bulk stratiform cloud microphysics scheme in the community atmosphere model, version 3 (cam3). Part i: Description and numerical tests. *J. Climate*, 21 (15), 3642-3659.

RIENECKER, M. M., et AL., 2011: Merra: Nasa's modern-era retrospective analysis for research and applications. *J. Climate*, 24 (14), 3624-3648.

SAHA, S., et AL., 2010: The NCEP climate forecast system reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91 (8), 1015-1057.

THOMPSON, G., R. M. RASMUSSEN, and K. MANNING, 2004: Explicit forecasts of winter precipitation using an improved bulk microphysics scheme. Part i: Description and sensitivity analysis. *Monthly Weather Review*, 132 (2), 519-542.

WANG, W., 2011: An assessment of the surface climate in the NCEP climate forecast system reanalysis. *Climate Dynamics*, 37 (7-8), 1601-1620, doi: 10.1007/s00382-010-0935-7.