CETEMPS RAPPORTO ATTIVITA' 2010

RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ DEL CETEMPS PER L'ANNO 2010

L'anno appena trascorso ha visto l'impegno del Centro concentrarsi su diversi progetti che si possono riassumere come segue:

- Convenzione con la Regione Abruzzo per la gestione della parte meteo idrologica del Centro funzionale;
- Convenzione con il Dipartimento della protezione Civile Nazionale quale centro di competenza nazionale: progetto IDRA. Il progetto **IDRA** (**I**ntegrazione di **D**ati di sensori e modelli per il **R**ilevamento **A**tmo-idro-sferico) nasce nell'ambito di una Convenzione tra il Dipartimento della Protezione civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri ed il CETEMPS. IDRA è un progetto di trasferimento tecnologico di prodotti di ricerca applicata. La sua ambizione è quella di trasferire le avanzate competenze, sviluppate nell'ambito del centro di competenza CETEMPS, in forma di prodotti utili per le utenze di protezione civile. Il programma delle attività previste è finalizzato allo sviluppo ed alla messa a punto di procedure di previsione meteo-idrologica ad alta risoluzione su aree urbane, alla realizzazione e distribuzione di prodotti meteo-idrologici ad alto contenuto modellistico-osservativo, ed inoltre alla progettazione e all'implementazione di algoritmi per l'uso di radar meteorologici polarimetrici in banda C ed in banda X. Il progetto IDRA, conclusosi nel 2009, è stato confermato con un finanziamento per il prossimo triennio;
- METAWAVE Mitigation of Electromagnetic Transmission errors induced by Atmospheric Water Vapour Effects. Si tratta di un programma dell'ESA che tende a valutare le correzioni da apportare ai dati SAR per effetto della presenza di vapor d'acqua;
- ACQWA si occupa della raccolta di dati e della modellizzazione numerica dei possibili effetti sul ciclo idrologico che potranno derivare dai cambiamenti climatici. In particolare le simulazioni riguardano la parte più alta dei bacini del Po e del Rodano;
- ES0702. Progetto COST Action ES0702 con delega nazionale, da parte del Ministero Università e Ricerca (MIUR), nell'ambito dell'azione denominata EG-CLIMET "European Ground Based observations of essential variables for climate and operational meteorology". Il CETEMPS è responsabile della gestione del sito web (www.eg-climet.org) e dell'amministrazione dei fondi per attività scientifiche (grant-holder);
- HYDRORAD "Integrated advanced distributed system for hydro-meteorological monitoring and forecasting using low-cost high-performance X-band mini-radar and cellular network infrastructures", è finanziato nell'ambito del bando europeo FP 7-SME-2008-1. Il progetto è finalizzato alla realizzazione di una rete di mini-radar polarimetrici in banda X con l'obiettivo di integrare le misure in tempo quasi-reale con modelli meteo-idrologici durante la campana sperimentale in Moldavia;
- FLORAD^2 ha riguardato la proposta di missione spaziale, nell'ambito del bando ESA denominato EE8, costituita da un satellite in orbita bassa ellittica con un radiometro e radar a microonde per l'osservazione di nubi e precipitazioni stratiformi;
- ESMO (European Student Moon Orbiter), promosso dall'Agenzia Spaziale Europea riguarda lo studio di fattibilità di un metodo di inversione delle misure di un radiometro a micro-onde (MiWaRS) per l'osservazione dello strato sub-superficiale lunare nell'ambito del progetto E-SMO (European Student Moon Orbiter), promosso dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA);
- MIVARS acronimo di "Model-based Integrated Volcanic Ash Remote Sensing", il progetto, approvato da ESA/ESRIN per fornitura dati e supporto calcolo, è finalizzato allo sviluppo di tecniche integrate di stima di cenere da radar e satellite;
- RainXSAR riguarda gli "Effetti atmosferici su immagini SAR" nell'ambito della Call of Opportunity per l'uso di dati di COSMO-SkyMed dell'Agenzia Spaziale Italiana presentata a set-

tembre 2007. Membri del progetto: DIESAP, CNR-ISAC e HIMET. Progetto biennale rinnovabile approvato per acquisizione dati senza fondi di finanziamento con inizio novembre 2009;

- ASI/PRIMES uso sinergico dei prodotti PRISMA con simulazioni Meteo-chimiche ad elevata risoluzione Spaziale e loro validazione a terra e da satellite. La proposta accettata CETEMPS è incentrata sulle applicazioni di land cover, monitoraggio delle aree urbane e monitoraggio dell'atmosfera per la caratterizzazione ottica e spettrale;
- RONOCO (ROle of Nighttime chemistry in controlling the Oxidising Capacity of the atmOsphere), è un progetto per lo studio del ruolo della chimica delle ore notturne nella formazione ed evoluzione dell'ozono ed aerosol secondari. Nell'ambito di questo progetto, coordinato dell'Università di Cambridge, sono state effettuate due campagne di misura con l'aereo inglese BAE146 nell'estate 2010 ed un'altra nel gennaio 2011;
- BORTAS (Quantifying the impact of BOReal forest fires on Tropospheric oxidants over the Atlantic using Aircraft and Satellites). E' un progetto per lo studio degli effetti degli incendi delle foreste boreali sulla qualità dell'aria regionale e globale. E' un progetto coordinato dell'Università di Edinburgo e il CETEMPS parteciperà con il suo strumento LIF alle osservazioni, a bordo dell'aereo BAE146, in Canada nell'estate 2011;
- SHARE (Stations at High Altitude for Research on the Environment). Il CETEMPS partecipa a questo progetto, coordinato dal Comitato EVK2-CNR, per la realizzazione di un database di tutti i dati geofisici osservati nei principali siti di alta montagna del mondo.
- AIACE (An Interdisciplinary Approach for Climatic Evolutions in polar regions) è un progetto svolto in collaborazione col CNR ed altri centri di ricerca Europei ed Argentini ed è finanziato dal Programma Nazionale di Ricerche in Antartide;
- EARLINET-ASOS-CE rete europea di lidar per il monitoraggio della distribuzione 4D degli aerosols;
- EARLINET-CALIPSO-ESA campagna di validazione/calibrazione delle osservazioni lidar da satellite (CALIPSO);
- AEROCLOUDS studio mediante osservazioni e modelli delle proprietà fisico-chimiche degli aerosol troposferici e delle nuvole;
- AUGER-INFN nell'ambito dell'esperimento AUGER, osservazione del flusso di raggi cosmici di altissima energia, implementazione delle osservazioni Raman lidar per la stima del contributo degli aerosols alla trasmissione atmosferica;
- Convenzione CETEMPS/Min. Amb. per il monitoraggio dell'ozono stratosferico attività di osservazione dei profili verticali di ozono mediante sonde su palloni, e di monitoraggio continuo della radiazione UV-A e UV-B al suolo con pirometri tarati.

1. Modellistica meteorologica

Il gruppo di modellistica dell'atmosfera nell'ambito del CETEMPS verifica attraverso indicatori statistici la previsione meteorologica operativa con il modello di *nuova generazione* **WRF** a scala nazionale (21 km), sovra-regionale (7 km), regionale (2.8 km), sull'Abruzzo ed anche a scala provinciale (700 m) sul Lazio. Giornalmente sono riportate sul sito del CETEMPS (http://cetemps.aquila.infn.it/), mappe, di temperatura, precipitazione e la pressione insieme a quelle del modello a mesoscala MM5V3 e gli indicatori statistici.
L'attività di ricerca del gruppo di modellistica è dedicata sia a migliorare le parametrizzazioni dei modelli a mesoscala che ha studi di circolazione locale. In particolare:

- allo studio dinamico e termodinamico ad alta risoluzione di celle convettive nell'area del Mediterraneo (caso Aniene, Tevere etc.) e tropicali (Hector), con particolare attenzione alla calibrazione di alcuni parametri della microfisica e alla validazione della distribuzione delle idrometeore (pioggia, neve, ghiaccio, grandine) attraverso dati da radar da terra e su piattaforme satellitari;
- al confronto con i dati da LiDAR, RADAR e SODAR per la verifica del modello con particolare attenzione allo strato limite delle aree urbane;
- all'integrazione di dati da InSAR nel modello con particolare attenzione al vapor acqueo nello strato limite delle aree urbane;
- limite di applicabilità della parametrizzazione del PBL attraverso l'uso del modello WRF come LES.
- all'assimilazione di dati di riflettività e velocità radiale del vento del RADAR e dati da GPS usando la tecnica variazionale 3DVAR per migliorare il campo iniziale del modello di previsione WRF.
- allo sviluppato MM5-MARS per l'atmosfera di Marte, al fine di riprodurre la dinamica atmosferica planetaria di questo pianeta.

Si è approfondito, inoltre, lo studio microfisico di alcuni eventi sia con il modello MM5 che con quello di nuova generazione WRF. I risultati preliminari svolti nei primi mesi dell'anno mostravano un disaccoppiamento presente nel modello WRF tra la superficie e la struttura in quota; quest'ultima definita in termini di profili verticali di idrometeore. Per valutare la risposta del modello sono stati utilizzati i dati sia da radar a terra che da piattaforma satellitare, come TRMM e CloudSat, che forniscono informazioni sulla struttura verticale. Per entrambi gli eventi, si notava che il modello WRF riproduce bene, con un *bias* spaziale e temporale molto limitato, le precipitazioni sia nella distribuzione che nella quantità ma i contenuti di microfisica sono fortemente sottostimate. Sono stati eseguiti inoltre dei tests sulla risoluzione orizzontale massima e sulla posizione dei domini; quest'ultimi esperimenti hanno consentito di raggiungere dei buoni confronti modello osservazione per i profili verticale di cloud liquid water, cloud ice water, precipitation ice water e precipitation liquid.
Con il modello MM5, invece, è stato eseguito uno studio di dinamica dell'evento Hector, che ci ha consentito di capire e stabilire i limiti per l'impiego dei dati da satellite TRMM in base al tipo di *retrieval* impiegato per ottenere i contenuti di idrometeore.

Tra le altre attività di ricerca si è preso parte al progetto IDRA2. Il programma delle attività previste è finalizzato allo sviluppo ed alla messa a punto di procedure di previsione meteo-idrologica ad alta risoluzione su aree urbane, alla realizzazione e distribuzione di prodotti meteo-idrologici ad alto contenuto modellistico-osservativo, ed inoltre alla progettazione e all'implementazione di algoritmi per l'uso di radar meteorologici polarimetrici in banda C ed in banda X. Nell'ambito del progetto IDRAII è stata realizzata la messa in operativo del modello di nuova generazione WRF su Abruzzo e Lazio; sono state effettuate delle verifiche sulla risposta del modello a diversi tipi di PBL e parametrizzazioni microfisiche su diversi casi studio che hanno evidenziato importanti caratteristiche del modello, suggerendo possibili strategie per la sua messa a punto. Le verifiche sul PBL sono state fatte con dati da stazione a terra, LiDAR, SODAR e anemometro sonico, in particolare in ambiente urbano e rientrano in un più ampio studio del PBL e delle sue combinazioni con diversi schemi di superficie, che sta rivelando la

necessità di un'azione su questi ultimi moduli in termini di tuning dei parametri e di miglioramento dell'archivio di land-use. Quest'ultimo si sta realizzando attraverso l'implementazione di archivi a più alta risoluzione; in ambiente urbano inoltre si è trovata la possibilità di implementare archivi con diverse tipologie di uso del suolo urbano che danno spunto per una serie di studi futuri in ambiente urbano. Oltre alla capacità del modello di rappresentare correttamente le caratteristiche del PBL, sono stati effettuati studi sull'influenza dei siti urbani sulla dinamica dei territori circostanti. Sono state trovate le cause di alcune carenze del modello in termini di sottostima dei moti verticali e sovrastima di quelli orizzontali agli strati bassi; dall'individuazione di queste si sta procedendo allo studio di una strategia per migliorare l'accoppiamento degli schemi di superficie con quelli di PBL.

Si è proseguito la collaborazione per l'attività Verifica di previsioni di precipitazione da MM5 a scala regionale nell'ambito della Convenzione tra Regione Abruzzo e CETEMPS.

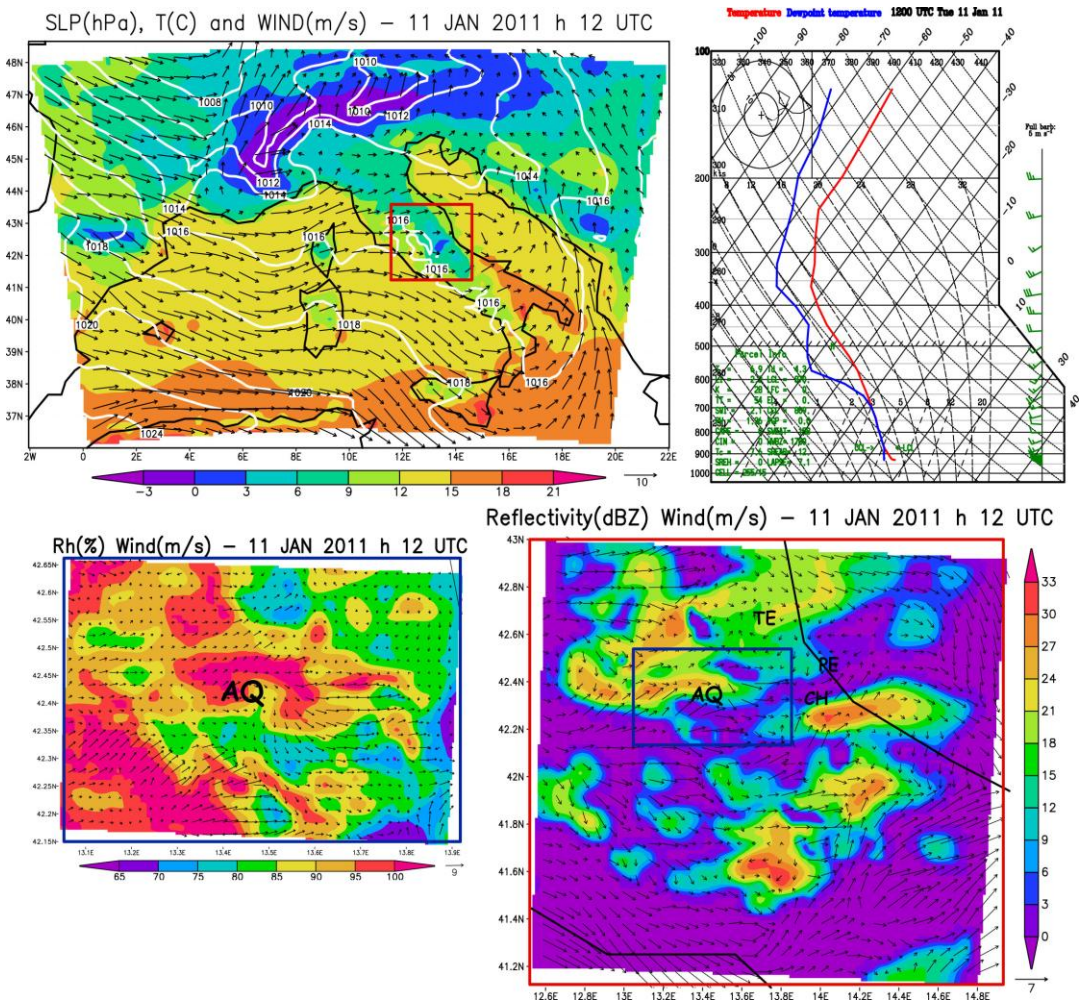

Figura 1: Modellistica atmosferica ad alta risoluzione.

Nel proseguimento del progetto METAWAVE (Mitigation of Electromagnetic Transmission errors induced by Atmospheric Water Vapour Effects, progetto ESA che vede la collaborazione di diverse università italiane) nell'anno 2010 è nata una collaborazione con un gruppo olandese che svolge lo stesso tipo di attività al fine di mettere in evidenza punti di forza e carenze dei rispettivi modelli nella riproduzione dei campi di vapore e nel loro confronto con i dati Envisat (InSAR); sono stati effettuati, pertanto, studi di verifica sul sito SAR olandese. Tirate le somme sulla possibilità di utilizzare il modello MM5V3 nella correzione degli errori sul segnale InSAR, si è cercato di migliorare la prestazione del modello con l'assimilazione di dati GPS. È stata inoltre realizzata l'assimilazione del dato di vapore

InSAR sia con il modello MM5V3 che con il modello WRF. L'assimilazione è stata realizzata in via preliminare con tecniche variazionali già esistenti e partendo dalla più nota assimilazione GPS e deve pertanto essere ulteriormente valutata e migliorata (soprattutto in termini dei parametri di assimilazione).

Un'ulteriore attività del gruppo di modellistica meteorologica nell'anno 2010 è stata quella di assimilare misure radar di riflettività e velocità del vento nel modello numerico di nuova generazione WRF.
Un primo step è stato quello di revisionare gli algoritmi disponibili per l'assimilazione dei dati radar in termini di riflettività e velocità radiale, per poi passare alla messa a punto di tale algoritmo in modo da rendere leggibili i volumi del Radar di Monte Midia. Scelto infine un caso studio, nello specifico l'alluvione dell'Aniene del 19-22 Maggio 2008, è stata eseguita un'analisi di sensibilità sia alle condizioni iniziali che ai parametri specifici del Radar nell'algoritmo di assimilazione. Dai risultati delle simulazioni si evince che l'assimilazione dei dati del Radar ha un impatto positivo sia sulla precipitazione che sulla riflettività e che l'impatto maggiore è dato dalla velocità radiale.

2. Modellistica Idrologica

Il gruppo di modellistica idrologica è coinvolto essenzialmente in tre differenti progetti, il progetto ACQWA, il progetto IDRA2 ed il supporto al CF della regione Abruzzo. Numerose sono le attività svolte nell'ambito di queste collaborazioni, riportiamo qui sono quelle più rilevanti.

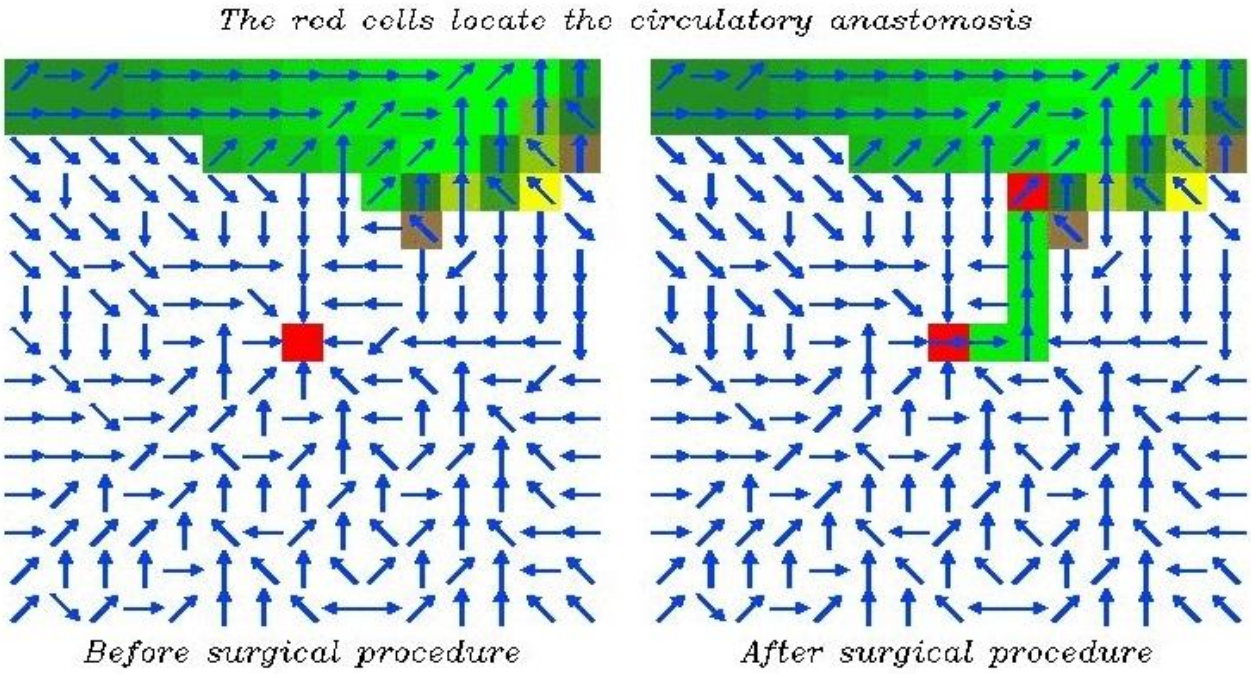

Figura 2: Il modello idrologico CHyM, interamente sviluppato presso il Cetemps, è in grado di ricostruire la rete idrografica su un arbitrario bacino a partire dal modello digitale del territorio. A questo scopo è necessario applicare una cascata di algoritmi che siano in grado di eliminare le singolarità dovute alla risoluzione finita del DEM. La procedura numerica illustrata dalla figura è stata denominata angioplastica in analogia con quanto solitamente si fa in un intervento di chirurgia vascolare: una volta trovata la "singolarità" (punto rosso nella figura a sinistra), questa viene riconnessa al resto del dominio (figura a destra) con una sorta di "canale artificiale".

Nell'ambito del progetto ACQWA. Sono stati acquisiti dati pluviometrici, di portata e del modello digitale del territorio per i bacini del Rodano e del Po. Il data base è stato interfacciato con il modello CHyM per la validazione e calibrazione di quest'ultimo. Tutti i tasks e le milestones previsti dal progetto a carico del nostro gruppo sono stati raggiunti, anche con qualche anticipo e nonostante i ritardi accumulati nel 2009 come conseguenza del sisma. In questo contesto sono altresì notevoli i miglioramenti apportati al modello CHyM che si dimostra ormai essere pronto ad un suo impiego in un qualunque dominio geografico. Uno step particolarmente importante è consistito nell'implementazione di uno schema numerico più realistico per la stima del contributo, al ciclo idrologico, del melting. La parametrizzazione di questo processo, era stato ragionevolmente “trascurato” nelle precedenti versioni del modello utilizzato prevalentemente sulla Regione Abruzzo, ma è ovviamente molto importante per lo studio dei bacini alpini, sia perché costituisce un contributo fondamentale alla portata sia del Po che del Rodano, ma anche perché i risultati riportati in letteratura mostrano che il melting rappresenta, insieme alla precipitazione, il contributo più rilevante ai cambiamenti del ciclo idrologico modulati dalle variazioni climatiche.

Nell'utilizzo di CHyM su bacini medi o grandi si riscontrava una ulteriore difficoltà; in estrema sintesi questa può essere descritta come segue: sebbene in termini numerici il modello possa lavorare a qualunque risoluzione, da un punto di vista pratico la distanza tra due celle deve essere selezionata in maniera coerente con le dimensioni trasversali del fiume che si vuole simulare. In altre parole un punto

del fiume deve essere "*contenuto*" in una sola cella e non in più celle attigue. Questo comporta che se si simulano bacini medio grandi la risoluzione che si sceglie, ad esempio un chilometro, consente una riproduzione realistica della principale rete di drenaggio, ma non è sufficiente a ricostruire i piccoli torrenti che contribuiscono alla portata del fiume principale. Per ovviare a questo problema è stato sviluppato, testato ed implementato nel modello CHyM un particolare ed originale algoritmo. La procedura numerica è stata denominata angioplastica (vedi figura) in analogia con quanto solitamente si fa in un intervento di chirurgia vascolare e consente dapprima di individuare le sotto-aree del dominio non drenate correttamente e quindi di risolvere queste singolarità attraverso la costruzione di una sorta di "*canale numerico artificiale*". L'algoritmo funziona in maniera eccellente ed è in grado, ad esempio, di ricostruire in termini numerici la rete di canali artificiali che drenano l'area del Fucino. Al di là di questi test, la tecnica corregge ottimamente le singolarità sul bacino del Po consentendo di simulare numericamente, in un solo esperimento, sia il fiume principale che i torrenti più piccoli.

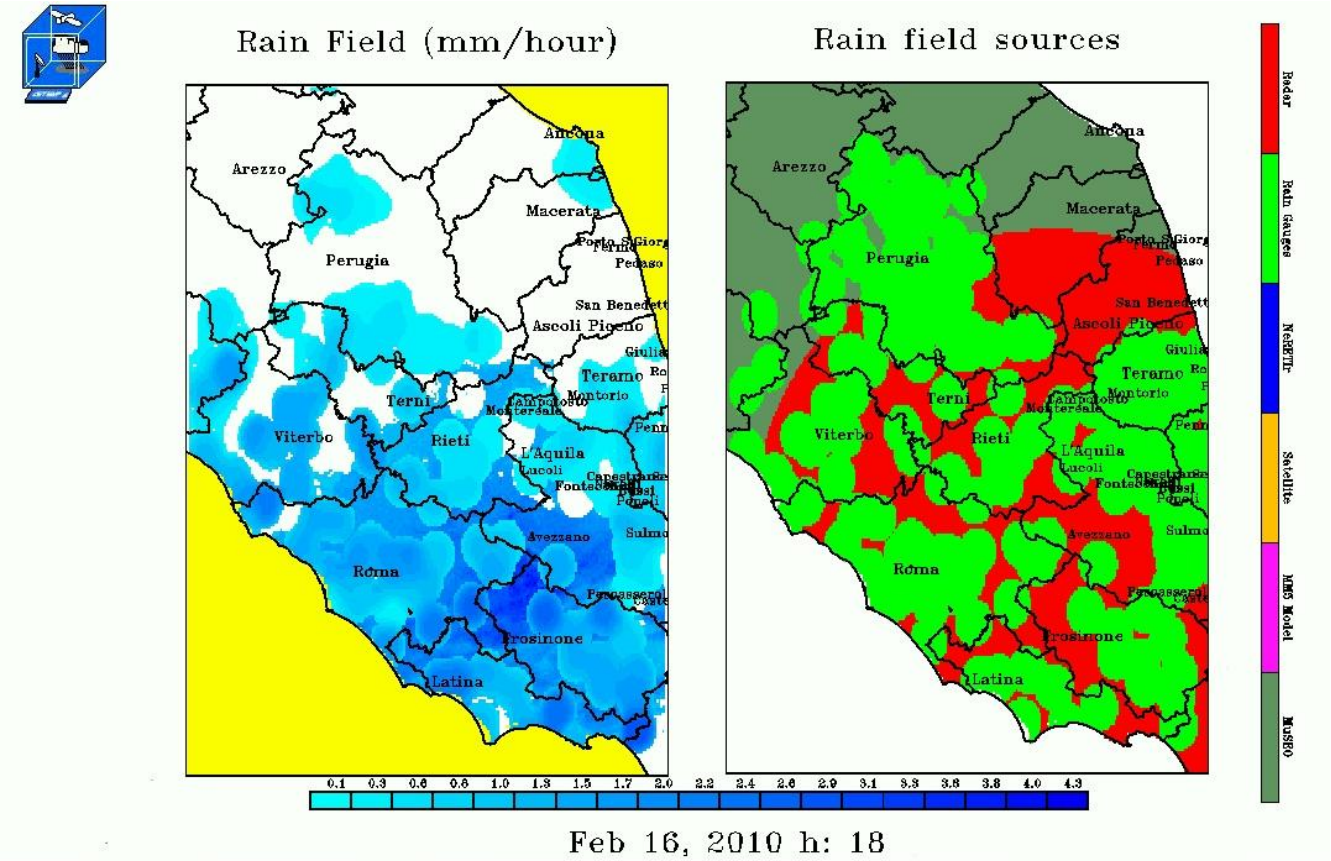

Figura 3: Il modello idrologico CHyM è in grado di assimilare diverse sorgenti di dati per poter ricostruire il campo di precipitazione. Un esempio tipico di una situazione operativa è mostrato nella figura. Il campo di precipitazione in un certo intervallo orario (pannello a sinistra) viene ricostruito utilizzando, dove disponibili, le misure pluviometriche (macchie verdi nel pannello a destra); dove non ci sono misure a terra vengono utilizzate le stime radar (cerchio rosso sottostante le macchie verdi). Infine dove non sono disponibili misure ed al di fuori della copertura radar, si utilizzano le previsioni del modello meteorologico (zona verde scuro).

Nell'ambito del progetto IDRA 2 tutti gli obiettivi sono stati raggiunti, citiamo brevemente solo il lavoro fatto sul modello NN5 che adesso è operativamente utilizzabile in cascata con il risultati del modello MM5 a bassa risoluzione. Tutte queste azioni hanno consentito di completare l'attività operativa con il modello CHyM su un terzo dominio comprendete il l'Umbria ed il Lazio oltre all'Abruzzo. A tale scopo vengono acquisiti ed archiviati quotidianamente i dati dell'Istituto Idrografico della regione Lazio la cui rete pluviometrica copre anche tutta l'Umbria ed in particolare il bacino del Tevere, questi dati vengono quindi utilizzati per i run operativi del modello CHyM. La figura illustra il sistema di aggregazione dei dati che consente di ottenere la mappa pluviometrica a partire da sorgenti eterogenee di dati.

Da citare anche il corposo lavoro fatto per l'IIRA che è valso come attività integrativa del progetto con il CF della Regione Abruzzo.

Un'altra attività importante che si confida di portare a termine nel 2011 riguarda la validazione incrociata dei dati di precipitazione utilizzando simultaneamente cinque diversi fonti di dati, e cioè:

- I dati integrati da rete pluviometrica;
- Le stime di precipitazioni dalle mappe del radar di Monte Midia;
- Le stime di precipitazione da dati satellitari ottenuti con l'algoritmo MICRA;
- Le previsione di precipitazione con il modello MM5
- Le previsione di precipitazione con il modello WRF

Tutti questi dati vengono archiviati quotidianamente con i processori e l'approccio consolidato del database chiamato MuSEO, ogni set di dati viene quindi utilizzato separatamente per stimare la precipitazione su un dominio equispaziato del tutto simile a quello utilizzato da CHyM, adottando conseguentemente anche le medesime tecniche di downscaling basate sui concetti basilari della teoria degli automi cellulari. I campi così ottenuti vengono quindi confrontati a diversi steps temporali ricavando i parametri statistici di errore rispetto alla osservazione pluviometrica che si ipotizza quella più verosimile. I risultati per alcuni casi studio sono visualizzabili alla URL: http://cetemps.aquila.infn.it/chym/rainanalysis. Si confida che questa analisi consentirà il miglioramento delle stime radar.

3. Telerilevamento da terra

L'attività dell'anno 2010 è stata prevalentemente orientata ai seguenti scopi:

- Analisi dati della campagna di misura nell'ambito del progetto METAWAVE per la stima e validazione multisensore di vapore acqueo atmosferico.
- Implementazione ed ottimizzazione di tecniche variazionali per la stima di profili di temperatura, umidità, e liquido delle nubi da osservazioni radiometriche da terra. L'algoritmo sviluppato al CETEMPS ha partecipato al progetto internazionale SNOW-V10 (Science of Nowcasting Olympic Weather for Vancouver 2010).
- Coordinamento di una rete internazionale di radiometri a microonde (MWRnet - http://cetemps.aquila.infn.it/mwrnet/) per applicazioni di meteorologia, climatologia, e telecomunicazioni. MWRnet conta oggi circa 80 radiometri sparsi in tutto il mondo appartenenti a circa 35 servizi meteorologici o enti di ricerca internazionali.
- Sviluppo e implementazione di tecniche radar meteorologiche polarimetriche da terra per la stima delle precipitazioni: i) messa a punto di metodi di correzione dell'attenuazione di percorso, classificazione di idrometeore e stima di acqua liquida da radar polarimetrici in banda C e X; ii) analisi di misure radar polarimetriche in banda C in orografia complessa usando sistemi installati in Abruzzo e Friuli-Venezia Giulia.
- Analisi sistematica delle misure pluviometriche nel 2008-2009 per la calibrazione esterna del radar meteo di M. Midia nell'ambito dei progetti pilota della Regione Abruzzo, unitamente alla validazione pre-operativa dell'algoritmo SPARE di previsione (nowcasting) radar di precipitazione.
- Sviluppo e messa a punto di metodi di inversione di misure radar in banda C per la stima di classi e concentrazione di cenere, utilizzando dati di sistemi installati in Islanda del 2004 e del 2010 congiuntamente a misure al suolo di cenere acquisite nel 2005-2006.

- Coordinamento e gestione di progetti idro-meteorologici:
    - Progetto COST Action ES0702: delega nazionale, da parte del Ministero Università e Ricerca (MIUR), nell'ambito dell'azione denominata EG-CLIMET "European Ground Based observations of essential variables for climate and operational meteorology". Il CETEMPS è responsabile della gestione del sito web (www.eg-climet.org) e dell'amministrazione dei fondi per attività scientifiche (grant-holder).
    - Progetto CFA. Convenzione con la Regione Abruzzo per la gestione di strumenti radar, l'elaborazione dei dati e delle informazioni meteo-idrologiche per il supporto alle decisioni del Centro Funzionale Abruzzo (CFA).
    - Progetto IDRA-2. A seguito della convenzione con il Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (DPCN), il programma di IDRA-2, estensione del progetto IDRA-1, è finalizzato allo sviluppo ed alla messa a punto di procedure di previsione meteo-idrologica ad alta risoluzione su aree urbane, alla realizzazione e distribuzione di prodotti meteo-idrologici ad alto contenuto modellistico-osservativo, ed inoltre alla progettazione e all'implementazione di algoritmi per l'uso di radar meteorologici polarimetrici in banda C ed in banda X per stime di pioggia e nubi di cenere.
    - Progetto HYDRORAD. Tale progetto dal titolo "Integrated advanced distributed system for hydro-meteorological monitoring and forecasting using low-cost high-performance X-band mini-radar and cellular network infrastructures", è finanziato nell'ambito del bando europeo FP 7-SME-2008-1. Il progetto è finalizzato alla realizzazione di una rete di mini-radar polarimetrici in banda X con l'obiettivo di integrare le misure in tempo quasi-reale con modelli meteo-idrologici durante la campana sperimentale in Moldavia.

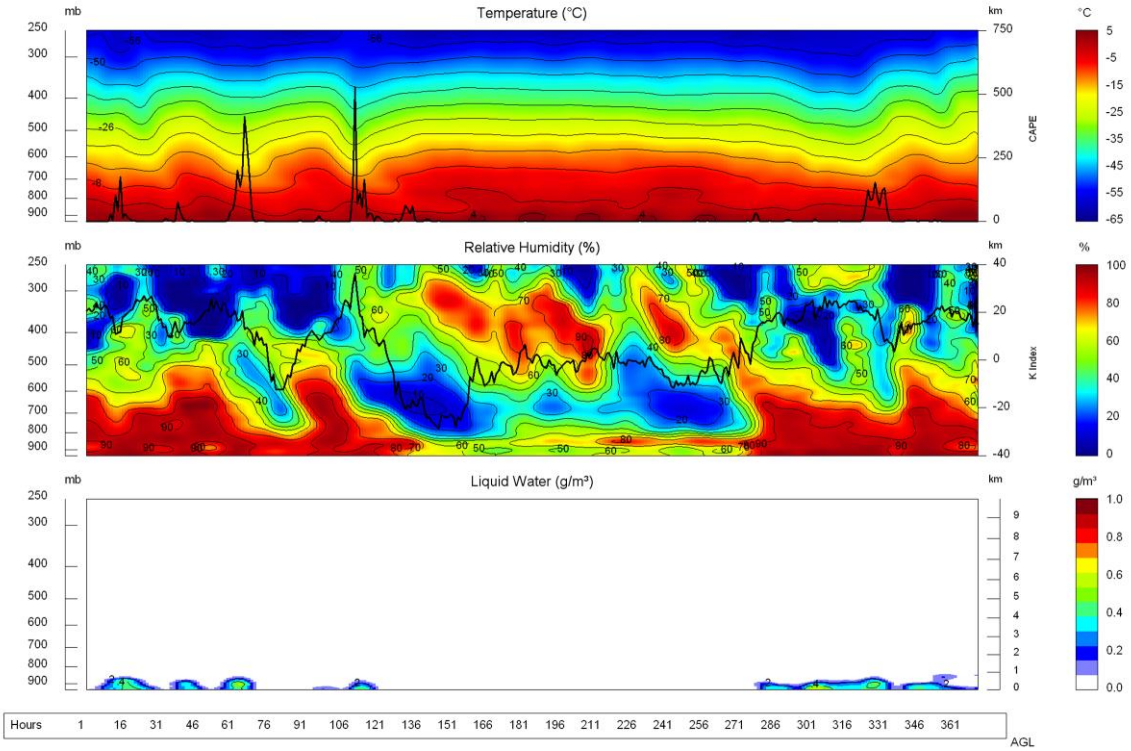

Figura 4: Sequenza temporale della distribuzione verticale di temperature, umidità, e liquido delle nubi nelle 2 settimane durante le Olimpiadi invernali di Vancouver 2010. I profili verticali sono stimati a partire da osservazioni radiometriche mediante un algoritmo variazionale (1DVAR) innovativo sviluppato al CETEMPS.

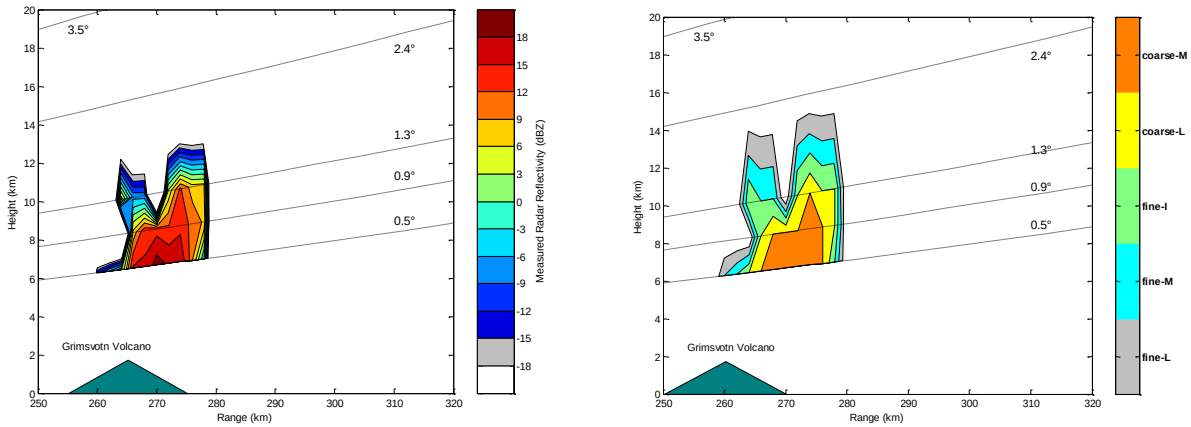

Figura 5 (a) Sezione verticale della riflettività radar in polarizzazione orizzontale acquisita durante l'eruzione del vulcano islandese Grímsvötn il 2 Nov., 2004 alle 0300 UTC. Il settore è visualizzato in funzione della distanza tra il radar Keflavik (64°01' N, 22°38' W) e il vulcano Grímsvötn (64°42' N, 17°33' W) con un'elevazione tra 0.5° e 3.5°. **(b)**. Come in (a), ma per la classi di cenere stimata da radar in banda C: fine-L (fine ash with light concentration), fine-M (fine ash with moderate concentration), fine-L (fine ash with intense concentration), coarse-L (coarse ash with light concentration), and coarse-M (fine ash with moderate concentration). Il triangolo indica schematicamente la bocca del vulcano.

4. Telerilevamento da satellite

Le attività del CETEMPS di Telerilevamento da satellite nell'anno 2010 sono state prevalentemente orientate su:

- Simulazioni di trasferimento radiativo e sviluppo di tecniche di inversione in supporto al progetto FLORAD e successori (FLORAD2, FLORAD^2).
    - Analisi dell'accuratezza di stima per variabili termodinamiche;
    - Analisi del valore aggiunto di carichi utili ausiliari attivi (RADAR) o ibridi (radio occultazione GPS);
- Validazione e sviluppo di procedure di integrazione di dati da sensori MODIS, MERIS, SAR, e GPS nell'ambito del progetto METAWAVE. I metodi di integrazione sviluppati al CETEMPS contribuiscono al rapporto finale per l'Agenzia Spaziale Europea (ESA).
- Sviluppo e test di tecniche di stima assoluta di vapore acqueo integrato atmosferico da osservazioni SAR interferometriche (InSAR) ad alta risoluzione. I metodi di stima sviluppati al CETEMPS contribuiscono al report finale per l'ESA
- Sviluppo di algoritmi per la stima di precipitazione da osservazioni nel visibile/infrarosso (SEVIRI) e microonde (AMSU B) e validazione con osservazioni radar del mosaico nazionale.
- Sviluppo di tecniche radar ad apertura sintetica (SAR) da satellite per la stima delle precipitazioni: i) messa a punto di modelli di simulazione di misure SAR polarimetriche in banda X dallo spazio in presenza di nubi precipitative; ii) sviluppo di metodi di inversione, analitici e statistici, per la stima di precipitazione al suolo ad alta risoluzione spaziale (250-500 m).
- Studio di fattibilità di un metodo di inversione delle misure di un radiometro a microonde (MiWaRS) per l'osservazione dello strato sub-superficiale lunare nell'ambito del progetto **ESMO** (European Student Moon Orbiter), promosso dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA).

- Partecipazione, coordinamento e gestione di progetti di meteorologia da satellite:
    - Partecipazione al Progetto MIVARS, acronimo di "Model-based Integrated Volcanic Ash Remote Sensing", approvato da ESA/ESRIN per fornitura dati e supporto calcolo, finalizzato allo sviluppo di tecniche integrate di stima di cenere da radar e satellite.
    - Coordinamento del Progetto IDRA-2. Nell'ambito della convenzione con il Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (DPCN), il programma di IDRA-2, estensione del progetto IDRA-1, è stato finalizzato allo sviluppo ed alla messa a punto di algoritmi di stima satellitari passiva a microonde e infrarosso.
    - Partecipazione al Progetto ESMO. Osservazione dello strato sub-superficiale lunare nell'ambito del progetto **ESMO** (European Student Moon Orbiter), promosso dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA).
    - Partecipazione al Progetto METAWAVE. Validazione e sviluppo di procedure di integrazione di dati da sensori MODIS, MERIS, SAR, e GPS.
    - Partecipazione al progetto RainXSAR "Effetti atmosferici su immagini SAR" nell'ambito della Call of Opportunity per l'uso di dati di COSMO-SkyMed dell'Agenzia Spaziale Italiana presentata a settembre 2007. Membri del progetto: DIESAP, CNR-ISAC e HIMET. Progetto biennale rinnovabile approvato per acquisizione dati senza fondi di finanziamento con inizio novembre 2009.

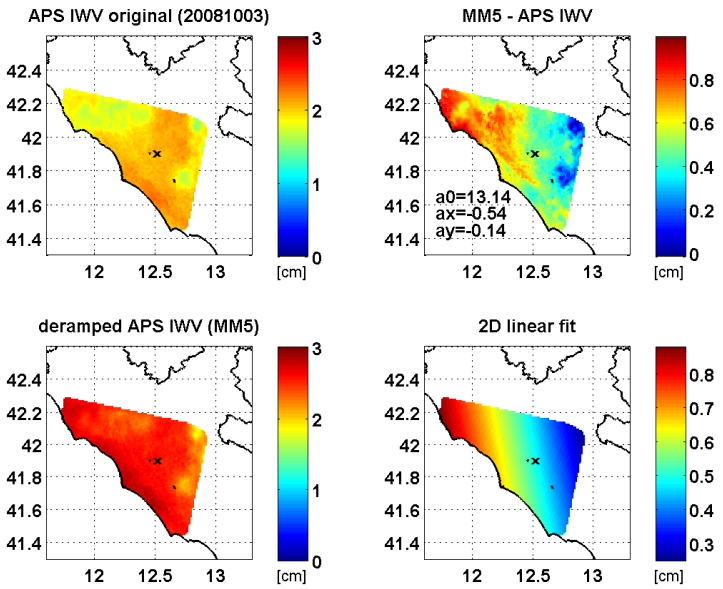

Figura 6: Passi successivi della stima assoluta di vapore d'acqua integrato (IWV) da osservazioni SAR interferometriche (InSAR). In senso orario, dall'angolo in alto a sinistra: Osservazioni InSAR differenziali; Differenza tra InSAR e simulazioni MM5; fit lineare a 2 dimensioni delle differenze; stima assoluta di IWV da InSAR-MM5.

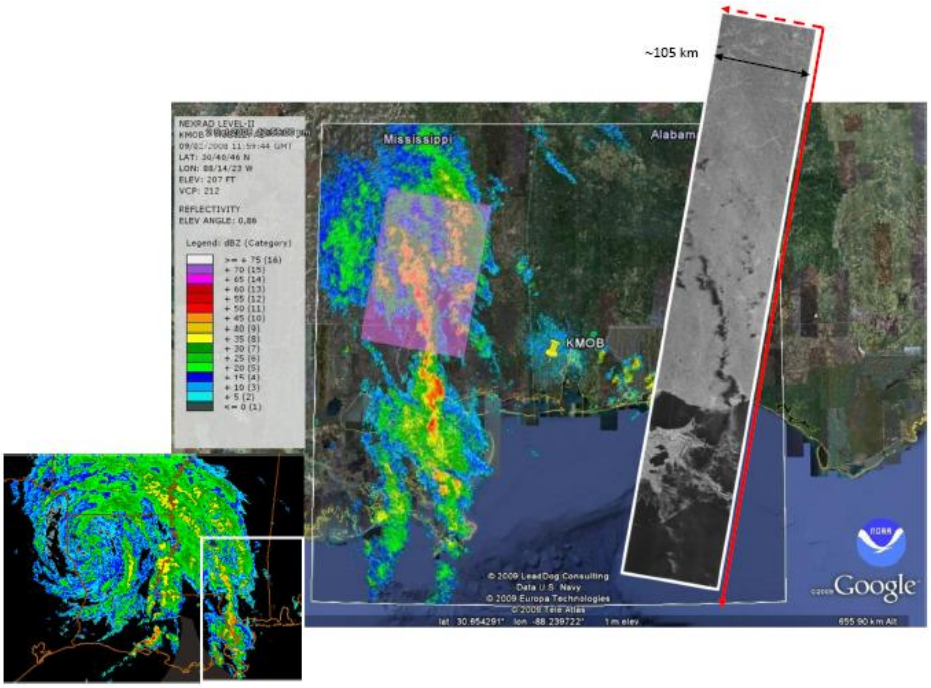

Figura 7. (Pannello a sinistra) Vista sinottica dell'uragano Gustav sulla Lousiana (USA) il 2 settembre 2008 alle 12:00 UTC, rappresentata dal mosaico radar NEXRAD (©NOAA). Il rettangolo bianco mostra un'area di pioggia intorno a 30.5° N x 89.5° W. (Pannello centrale) Immagine NEXRAD CAPPI a 0.86-km di quota, acquisita dal radar NEXRAD in banda S (KMOB, in figura) vicino Mobile (Alabama, USA) e rappresentata mediante GoogleEarth®. (Pannello a destra) Composito di 3 immagini ScanSAR di 100 km di larghezza, acquisite dal radar ad apertura sintetica (SAR) del satellite TerraSAR-X alla risoluzione di 100 m (© DLR) il 2 settembre 2008 alle 12:00 UTC. La linea continua rossa indica la direzione del satellite TerraSAR-X.

5. Chimica

L'attività scientifica dell'area di ricerca di Chimica ha riguardato due filoni fondamentali: la modellistica chimica e l'osservazione della composizione chimica dell'atmosfera. L'attività modellistica è stata incentrata sullo sviluppo e l'applicazione di modelli di chimica e trasporto a scalare regionale (CHIMERE) e globale (GEOS-Chem) e sullo sviluppo del modello WRF/Chem, che possono essere così riassunte:

- messa in operatività di una versione completamente riscritta del sistema di previsione del "tempo chimico" (http://pumpkin.aquila.infn.it/forechem/index_it.html) su un server ospitato da HIMET. Nuova interfaccia web per recupero forecast storici e nuova previsione ad alta risoluzione (0.15° × 0.15°) sull'Italia.
- finalizzazione dello studio sull'inversione di osservazioni satellitari (OMI) della colonna di formaldeide (HCHO) per la stima di sorgenti biogeniche e antropogeniche di composti organici volatili sull'Europa.
- sviluppo di un modulo di post-processing per il calcolo della concentrazione numerica e dell'estinzione degli aerosol (Aerosol Optical DEpth Module, AODEM) da output generico di modello di chimica e trasporto con simulazione sezionale degli aerosol.
- iniziato studio per la valutazione a lungo termine del PM10 a terra stimato da osservazioni satellitari. Effettuate simulazioni periodo 2005-2009.

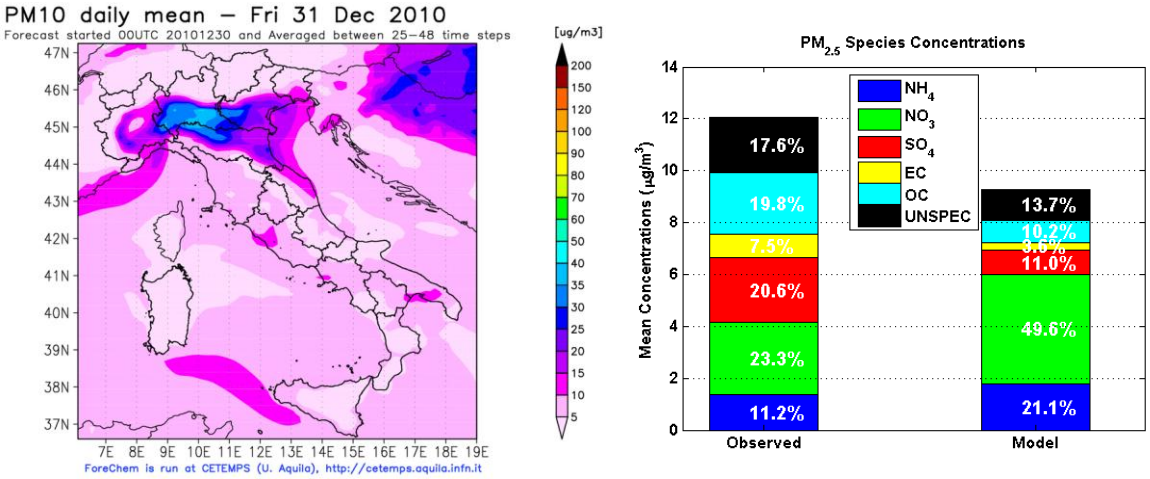

Figura 8. (Pannello a sinistra) Previsione della concentrazione di particolato (PM10) al suolo del 31/12/2010 elaborata dal sistema ForeChem con risoluzione di 0.15° x 0.15° sull'Italia. (Pannello a destra) Confronto tra la speciazione chimica del particolato fine (PM2.5) osservata nelle stazioni EMEP (sinistra) e simulata con il modello WRF/Chem (destra) con una risoluzione di 30 km sull'Europa. La sovrastima di nitrati (verde) e la sottostima di solfati (rosso) è attribuibile al processo di ossidazione del diossido di zolfo, mancante nella versione standard di WRF/Chem.

- sviluppo di un modulo di post-processing per calcolo proprietà ottiche aerosol da output del modello GEOS-Chem (simulazione massa aerosol a scala globale).
- iniziata collaborazione con gruppo Ingegneria di Tor Vergata (Del Frate) per utilizzo di FlexAOD in combinazione con reti neurali e modelli di trasferimento radiativo per il retrieval della composizione chimico-fisica degli aerosol da osservazioni iperspettrali da satellite.
- collaborazione con gruppo ISAC Roma per lo studio dell'impatto degli incendi agricoli russi sulla variabilità stagionale dello spessore ottico degli aerosol sull'Europa.
- collaborazione con gruppo U. Atene sul confronto di un nuovo modello di emissioni biogeniche di composti organici volatili con il modello di riferimento MEGAN.
- iniziata collaborazione con due medici (Fabio Di Stefano/U. Chieti-Pescara, Felice Vitullo/Azienda Sanitaria Regionale) per lo studio della correlazione tra livelli di inquinamento e malattile all'apparato respiratorio in Abruzzo. Relazione su invito ad un convegno ISDE (International Society of Doctors for the Environment).

- collaborazione con gruppo NCSU per lo studio dei livelli di formaldeide osservati da satellite sul bacino del Mediterraneo.
- collaborazione con gruppo LEnviroS per un caso studio di inquinamento sulla regione Puglia.
- Approvato progetto ASI/PRIMES - Uso sinergico dei prodotti PRISMA con simulazioni Meteo-chimiche ad Elevata risoluzione Spaziale e loro validazione a terra e da satellite. Bando ASI "Studi Scientifici a Supporto della Missione PRISMA" (390 k€/4 anni, Kick Off presumibilmente a inizio 2011).

L'osservazione della composizione chimica dell'atmosfera si è concentrata nella conclusione dello sviluppo del sistema a fluorescenza indotta da laser (LIF) da installare sull'aereo per ricerche atmosferiche inglese Bae146. Queste attività possono essere così sintetizzate:

- Certificazione del sistema LIF per il volo su piattaforme aerotrasportate da parte del British Aerospace.
- Partecipazione alla campagna RONOCO dal 12 al 30 luglio in cui dopo 2 voli di test sono stati effettuati 9 voli di osservazione sull'Inghilterra di NO_2, perossinitrati, alchilnitrati ed HNO_3 insieme a tutti gli altri strumenti in funzione sull'aereo BAe146.
- Partecipazione alla campagna SeptEx dal 26 agosto al 18 settembre in Inghilterra, in cui sono stati effettuati 14 voli misurando gli stessi composti osservati durante la campagna RONOCO.
- Nell'ambito del progetto della Regione Abruzzo e dell'Università dell'Aquila per ospitare professori stranieri di chiara fama, presso il CETEMPS, è stato in visita per 6 settimane il Prof. William Brune della Pennsylvania State University (USA). Durante il soggiorno a L'Aquila, il Prof. Brune ha tenuto 4 seminari per studenti di dottorato e post-doc ed ha partecipato attivamente alle attività di ricerca del CETEMPS collaborando alla progettazione preliminare di un sistema ultra-compatto per misure di NO, NO_2 ed SO_2 da installare su aerei unmanned. Ha collaborato, inoltre, alla stesura di un progetto per la comunità europea per la realizzazione di 3 campagne di misura in Europa e negli Stati Uniti per lo studio della fotochimica dell'ozono, infine ha collaborato alla presentazione di una proposta di lavoro di review su rivista con impact factor 35, che richiede una pre-review della proposta prima della sottomissione del lavoro stesso.
- Preparazione della campagna RONOCO winter prevista per Gennaio 2011, realizzando diversi miglioramenti della sensitività e della selettività del sistema LIF riducendo la pressione nelle celle di misura.
- Continuata la collaborazione con la Tokyo Metropolitan University con visita e seminario ad invito nel loro dipartimento di Ingegneria ambientale e studio preliminare per la realizzazione di una campagna di misura in Francia per i prossimi anni e studio di fattibilità di un corso di laurea magistrale a doppio titolo.

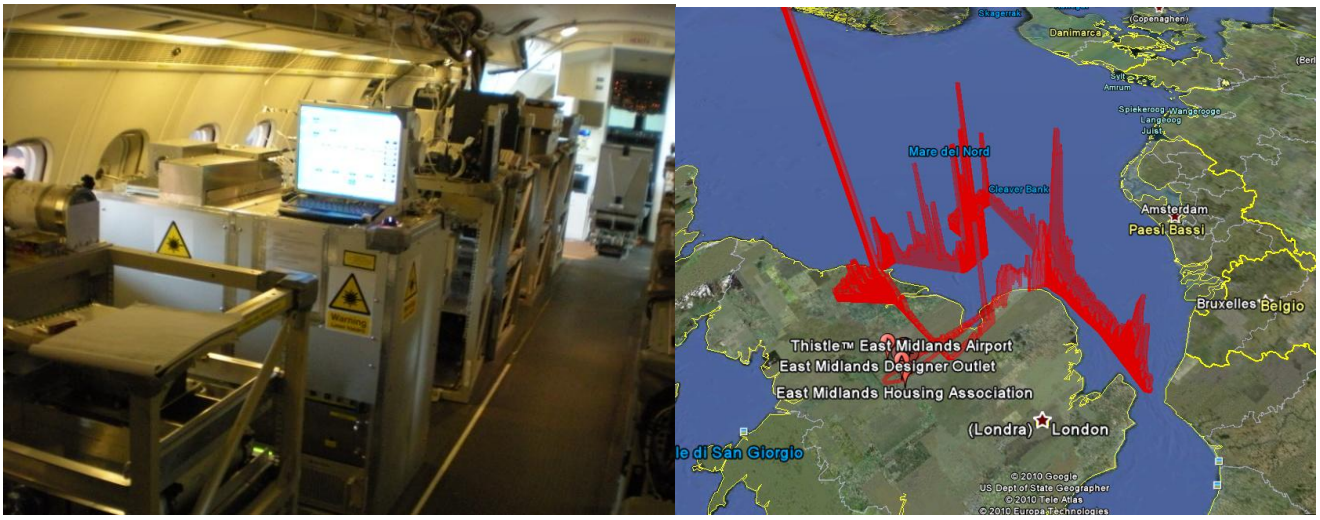

Figura 9. A destra il sistema LIF del CETEMPS installato sull'aereo inglese del Met Office e del NERC BAe146 ed a sinistra un esempio dell'evoluzione di NO_2 misurato dal LIF durante un volo sulle coste inglesi in cui è evidente il trasporto verso est dei plume emessi nell'area di Londra e dell'East Anglia.

6. Modellistica Climatica

Nell'ambito di questa linea di ricerca, il CETEMPS porta avanti un lavoro basato sull'analisi di dati sperimentali e sui risultati di simulazioni modellistiche. Nel corso del 2010 le attività hanno riguardato principalmente le seguenti tematiche:

- Analisi dell'influenza della fase della Oscillazione Pacifica Decadale (PDO) sulla dinamica atmosferica delle alte latitudini antartiche e sull'allargamento della tropopausa tropicale.

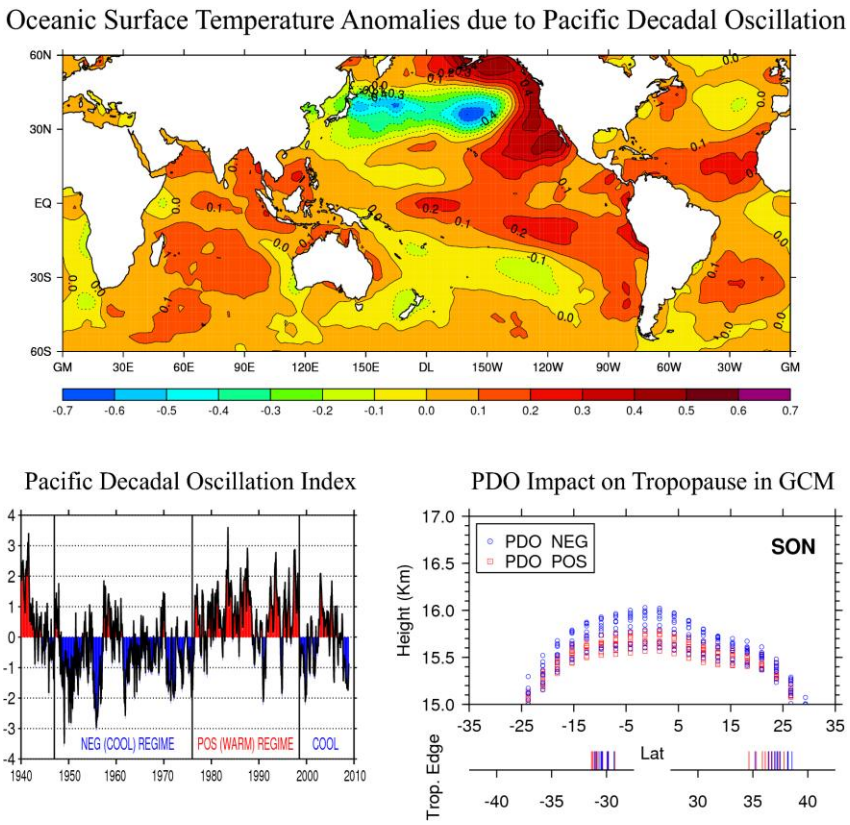

Figura 10: Allargamento della fascia tropicale in risposta all'Oscillazione Pacifica Decadale nel modello di circolazione generale **CAM3.**

- Studio del cambiamento climatico globale sulle regioni del Sud America e del suo impatto sulle attività produttive regionali, in collaborazione con il CNR e centri di ricerca argentini, nell'ambito dei progetti internazionali **ICES-PICT** e **PNRA-AIACE**.
- Partecipazione alla stesura del progetto PRIN 2009, su confronto di dati da radio occultazione e modelli climatici.
- Implementazione presso il CETEMPS del modello UVic ESCM (University of Victoria's Earth System Climate Model) per la realizzazione di studi di geoingegneria.

Altre attività, legate più strettamente alla modellistica dinamica della stratosfera con tecniche di tipo lagrangiano, sono state:

- Studio delle proprietà lagrangiane della circolazione a larga scala in stratosfera, mediante analisi di traiettorie generate da modello, con particolare riguardo agli aspetti caotici della dinamica e a fenomeni di dispersione e mescolamento.
- Partecipazione alla stesura del progetto FIRB 2010 (sulla formazione di ozono ed aerosol da incendi nel Mediterraneo) ed EFESTO-FP7 (con un contributo riguardante il tracking di nubi vulcaniche con traiettorie atmosferiche).

7. Osservatorio atmosferico

Nel corso del 2010, questa linea di ricerca del CETEMPS ha perseguito le seguenti attività:

- Osservazioni regolari mediante Raman LIDAR dei profili verticali ad alta risoluzione spazio-temporale delle proprietà ottiche degli aerosol nel PBL e nella libera troposfera (sito CETEMPS, Casale Calore di San Vittorino), in particolare durante la crisi successiva all'eruzione del vulcano islandese EYJAFJALLAJOKULL (Aprile 2010), tali osservazioni sono state intensificate per seguire l'evoluzione della nube di cenere che si è diffusa su gran parte dell'Europa;
- Osservazioni mediante Raman LIDAR del profilo verticale del contenuto di vapor d'acqua (PBL e libera troposfera) ed acqua liquida nelle nuvole (sito CETEMPS, Casale Calore di San Vittorino);
- Osservazione routinaria del profilo verticale di ozono mediante palloni meteorologici e sensori elettrochimici per conto del Ministero dell'Ambiente [queste attività si svolgono nell'ambito di una convenzione tra CETEMPS/UNIAQ ed il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare per *"La predisposizione di un rapporto annuale dettagliato sulla distribuzione verticale e sulla quantità totale di ozono [...]" (Legge 28 Dicembre 1993 n.549)*], dall'Ottobre 2010 l'Osservatorio Atmosferico di CETEMPS si è dotato di un più avanzato sistema per tali osservazioni;

Figura 11: La localizzazione delle osservazioni effettuate con un pallone-sonda. La quota massima, in questo caso, è circa 34km.

- Osservazione continuativa delle proprietà geometriche delle nuvole mediante nefoipsometro (sito CETEMPS, Casale Calore di San Vittorino);
- Osservazione continua dei flussi UV-A e UV-B mediante pirometri al suolo (sito CETEMPS, Casale Calore di San Vittorino);
- Upgrade degli algoritmi di inversione dati lidar, nell'ambito di diverse collaborazioni internazionali (EARLINET-ASOS, CALIPSO-ESA, AEROCLOUDS, etc.).
- Dislocazione ed operatività di un Raman LIDAR a 3 canali (per la misura di profili verticali delle proprietà ottiche degli aerosol e del contenuto di vapor d'acqua) presso il sito AUGER in Colorado (USA), tale sistema è operato in maniera automatica, ed in concomitanza con le misure di un sistema basato sull'osservazione del side-scattering atmosferico.

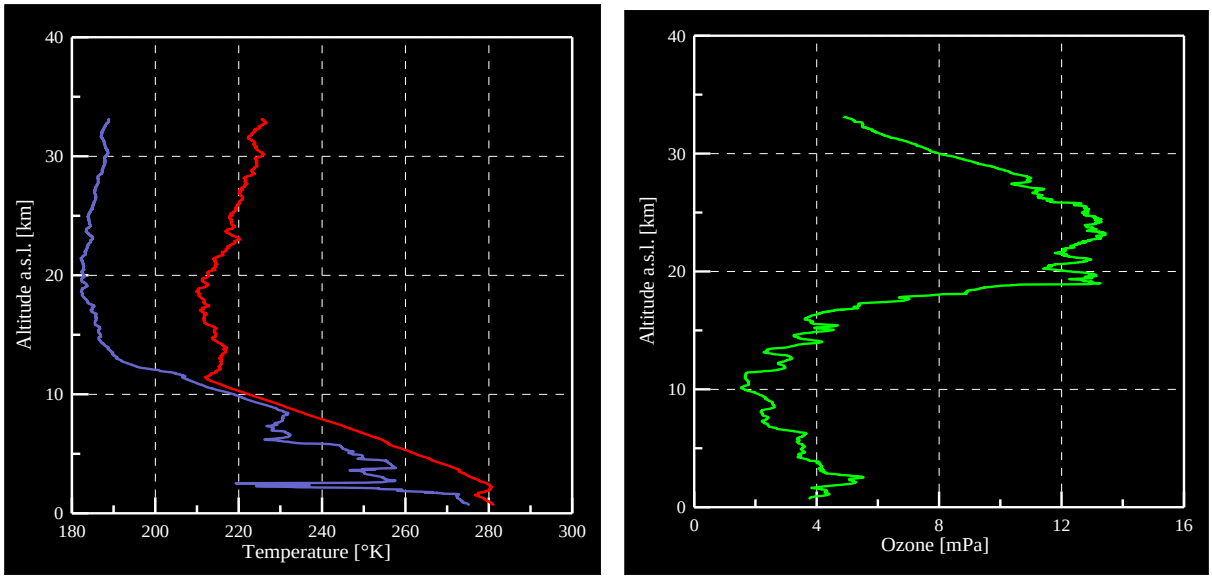

Figura 12: Pannello a sinistra: la misura della temperatura atmosferica (curva rossa) e della temperatura di rugiada (curva blu) in funzione della quota. Pannello a destra: la misura della pressione parziale di ozono in funzione della quota.

Pubblicazioni a stampa (2010)

1. AUGER COLLABORATION, Update on the correlation of the highest energy cosmic rays with nearby extragalactic matter Astroparticle Physics, 34, 5, 314-326, 2010.
2. AUGER COLLABORATION, The fluorescence detector of the Pierre Auger Observatory, Nuclear Instr. and Meth. in Phys. Res. A, 620, 227-251, 2010.
3. AUGER COLLABORATION,, Measurement of the energy spectrum of cosmic rays above 10(18) eV using the Pierre Auger Observatory Physics Letters B, 685, 239-246, 2010
4. AUGER COLLABORATION, A study of the effect of molecular and aerosol conditions in the atmosphere on air fluorescence measurements at the Pierre Auger Observatory, Astroparticle Physics, 33, 2, 108-129, 2010.
5. AUGER COLLABORATION Measurement of the Depth of Maximum of Extensive Air Showers above 10(18) eV, Physical Review Letters, 104, 9, 091101, 2010.
6. AUGER COLLABORATION, Trigger and aperture of the surface detector array of the Pierre Auger Observatory Nuclear Instr. and Meth. in Phys. Res. A, 613, 23-39, 2010.
7. Cimini D. and E. R. Westwater, Principles of radiometric remote sensing of the troposphere, *Integrated Ground-Based Observing Systems - Applications for Climate, Meteorology, and Civil Protection*, Cimini D., Marzano F. S., and G. Visconti Editors, Springer, 3-32, DOI: 10.1007/978-3-642-12968-1_1, 2010.
8. Cimini D., Concepts for integration of measurements and methods, *Integrated Ground-Based Observing Systems -Applications for Climate, Meteorology, and Civil Protection*, Cimini D., Marzano F. S., and G. Visconti Editors, Springer, 129-143, DOI: 10.1007/978-3-642-12968-1_7, 2010.
9. Curci G., Palmer P. I, Kuroso T. P, Chance K, Visconti G (2010). Estimating European volatile organic compound emissions using satellite observations of formaldehyde from the Ozone Monitoring Instrument. Atmos, Chem. Phys., vol. 10; p. 11501-11517, ISSN: 1680-7316, doi: 10.5194/acp-10-11501-2010
10. Di Carlo, P., An Introduction to measurements of atmospheric composition, *Integrated Ground-Based Observing Systems -Applications for Climate, Meteorology, and Civil Protection*, Cimini D., Marzano F. S., and G. Visconti Editors, Springer, 115-128, DOI: 10.1007/978-3-642-12968-1_7, 2010.
11. Ferretti, R:, K. De Sanctis ,L.Molini, A. Parodi, M. Montopoli, F.S. Marzano and F. Siccardi: Investigating the sensitivity of high-resolution mesoscale models to microphysical parameters by the use of polarimetric radar observations, Atmos. Chem. Phys. Discuss., 10, 20461-20514, doi:10.5194/acpd-10-20461-2010.
12. Hewitt C. N., Lee J., M. P. Barkley, N. Carslaw, Chappell N.A., Coe H., Collier C., Commane R., Davies F., Di Carlo P, et al. Oxidant and particle photochemical processes above a south-east Asian tropical rain forest (the OP3 project): introduction, rationale, location characteristics and tools, *Atmos. Chem. Phys*., 10, 169-199, 2010.
13. Marzano F.S., S. Barbieri, E. Picciotti and S. Karlsdóttir, "Monitoring sub-glacial volcanic eruption using C-band radar imagery", *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sensing,* vol. 58, n. 1, pp. 403-414, 2010.
14. Marzano F.S., S. Mori and J.A. Weinman, "Evidence of rainfall signature on X-band synthetic aperture radar measurements over land", *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sensing*, vol. 48, n. 2, pp. 950-964, 2010.

15. Marzano F.S. and D. Cimini, “Flower elliptical-orbit constellation exploiting millimetre-wave radiometry and radio occultation for meteo-climatological applications”, *Adv. in Geosciences*, vol. 25, pp. 167-177, 2010.

16. Marzano F.S., D. Cimini, M. Montopoli, “Investigating precipitation microphysics using ground-based microwave remote sensors and disdrometer data”, *Atmospheric Research*, doi:10.1016/j.atmosres.2010.03.019, 2010.

17. Marzano F.S., D. Cimini, T. Rossi, D. Mortari, S. Di Michele and P. Bauer, “High-repetition Millimeter-wave Passive Remote Sensing of Humidity and Hydrometeor Profiles from Elliptical Orbit Constellations”, *J. Appl. Meteor and Climat.*, vol. 49, pp. 1454–1476, 2010.

18. Marzano F.S., G. Botta and M. Montopoli, “Iterative Bayesian Retrieval of Hydrometeor Content from X-band Polarimetric Weather Radar”, *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sensing*, vol. 48, pp. 3059-3074, 2010.

19. Marzano F.S., S. Marchiotto, S. Barbieri, C. Textor and D. Schneider, “Model-based Weather Radar Remote Sensing of Explosive Volcanic Ash Eruption”, *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sensing*, vol. 48, pp. 3591-3607, 2010.

20. Marzano F.S., “Weather radar remote sensing of volcanic ash clouds for aviation hazard and civil protection applications”, in Integrated Ground-Based Observing Systems Applications for Climate, Meteorology, and Civil Protection, Cimini D., F.S. Marzano and G. Visconti, Eds., Springer-Verlag (Berlin, D), pp. 189-198, 2010.

21. Montopoli M. and F.S. Marzano, “Weather radar principles and ground measurement of rain”, in Integrated Ground-Based Observing Systems Applications for Climate, Meteorology, and Civil Protection, D. Cimini, F.S. Marzano and G. Visconti, Eds., Springer-Verlag (Berlin, D), pp. 38-58, 2010.

22. Montopoli M. and F.S. Marzano, “An introduction on rain gauges and disdrometers”, in Integrated Ground-Based Observing Systems Applications for Climate, Meteorology, and Civil Protection, D. Cimini, F.S. Marzano and G.Visconti, Eds., Springer-Verlag (Berlin, D), pp. 107-114, 2010.

23. Pappalardo, G., Ulla Wandinger, Lucia Mona, Anja Hiebsch, Ina Mattis, Aldo Amodeo, Albert Ansmann, Patric Seifert, Holger Linné, Arnoud Apituley, Lucas Alados Arboledas, Dimitris Balis, Anatoli Chaikovsky, Giuseppe D'Amico, Ferdinando De Tomasi, Volker Freudenthaler, Elina Giannakaki, Aldo Giunta, Ivan Grigorov, Marco Iarlori, Fabio Madonna, Rodanthi-Elizabeth Mamouri, Libera Nasti, Alexandros Papayannis, Aleksander Pietruczuk, Manuel Pujadas, Vincenzo Rizi, Francesc Rocadenbosch, Felicita Russo, Franziska Schnell, Nicola Spinelli, Xuan Wang, Matthias Wiegner, EARLINET correlative measurements for CALIPSO: First intercomparison results , J. Geophys, Res. VOL. 115, D00H19, 21 PP., 2010.

24. Pichelli E., R. Ferretti, D. Cimini, D. Perissin, M. Montopoli, F.S. Marzano, and N. Pierdicca, “Water vapour distribution at urban scale using high-resolution numerical weather model and spaceborne SAR interferometric data”, *Nat. Hazards and Earth System Sciences*, vol. 10, pp. 121–132, 2010.

25. Pierdicca N., Pulvirenti L. and F.S. Marzano, “Simulating topographic effects on spaceborne radiometric observations between L- and X- frequency bands”, *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sensing,* vol. 48, n. 1, pp. 273-282, 2010.

26. Poupkou A, Giannaros T, Markakis K, Kiotsioukis I, Curci G., Melas D, Zerefos C (2010). A model for European Biogenic Volatile Organic Compound emissions: software development and first validation. Environ. Model. Software, vol. 25; p. 1845-1856, ISSN: 1364-8152, doi: 10.1016/j.envsoft.2010.05.004

27. Rizi, V., and M. Iarlori, Atmospheric water vapour measurement with Raman lidar, Fiorani L., and Mitev V. Editors, *Recents Advances in Atmospheric Lidars*, INOE, 217-238, ISBN: 978-973-88109-6-9, 2010.

28. Rizi, V., and M. Iarlori, Principles of aerosol lidar systems, *Integrated Ground-Based Observing Systems -Applications for Climate, Meteorology, and Civil Protection*, Cimini D., Marzano F. S., and G. Visconti Editors, Springer, 59-88, DOI: 10.1007/978-3-642-12968-1_7, 2010.

29. Rivolta G., M. de Rosa and F.S. Marzano, "Precipitation nowcasting from geostationary satellite platforms: neural network approaches trained by polar orbiting and ground-based data", *Italian Journal of Rem. Sensing*, vol. 48, pp. 120-130, 2010.

30. Rolland M-N, Gabrielle B, Laville P, Cellier P, Beekmann M, Gilliot J-M, Michelin J, Hadjar D, Curci G. (2010). High-resolution inventory of NO emissions from agricultural soils over the Ile-de-France region. Environ. Pollut., vol. 158; p. 711-722, ISSN: 0269-7491, doi: 10.1016/j.envpol.2009.10.017.

Relazione sulle attività del Cetemps per l'anno 2010

Hanno contribuito:

Eleonora Aruffo
Nico Cimini
Valentina Colaiuda
Gabriele Curci
Alfonso D'Altorio
Cesare Dari Salisburgo
Piero Di Carlo
Rossella Ferretti
Marco Gaetani
Sabrina Gentile
Graziano Giuliani
Barbara Grassi
Marco Iarlori
Tony Christian Landi
Ida Maiello
Eva Mancini
Frank Marzano
Adelaide Memmo
Mario Montopoli
Emanuela Pichelli
Gianni Pitari
Gianluca Redaelli
Vincenzo Rizi
Barbara Tomassetti
Paola Tuccella
Marco Verdecchia
Guido Visconti
Angelo Zinzi

Grazie allo staff di Himet s.r.l.