Il progetto SINOPIAE, impiego di dati telerilevati multisorgente per applicazioni ambientali innovative

Giovanna Ober (*), Walter Di Nicolantonio (*), Roberto Colombo (**), Giuseppe Maffeis (***), Ilaria Cazzaniga (****), Raffaella Brumana (*****), Paolo Marras (******), Luca Ferrero (**), Alessandra Cacciari (*), Noemi Marmorale (*), Anna Rampini (****), Mariano Bresciani (****), Sergio Cogliati (**), Biagio Di Mauro (**), Roberto Garzonio (**), Roberta Gianfreda (***), Fabrizio Ferrari (***), Luigi. Barazzetti (*****), Mattia Previtali (*****), Barbara Tattarletti (******), Ezio Bolzacchini (**), Giorgia Sangiorgi (**), Maria Grazia Perrone (**), Sandro Pastore (*******), Fabio Casini (*******), Natalie Fiorentino (*)

(*) CGS Spa Compagnia Generale per lo Spazio, Via Gallarate 150, 20151, Milano, Italy
(**) DISAT, Università degli Studi di Milano-Bicocca, Piazza della Scienza 1, 20126, Milano, Italy
(***) TerrAria s.r.l, via Melchiorre Gioia, 132, 20125, Milano, Italy
(****) CNR IREA, Via Bassini, 15, 20133, Milano
(*****) ABC, Politecnico di Milano, Via G. Ponzio 31, 20133, Milano, Italy
(******) AERMATICA S.P.A., Technopolo Gironico, Via P. Tettamanti, 1, 22020, Colverde (CO), Italy
(*******) Sanitas EG S.r.l., Via Bassini, 15, 20133, Milano, Italy

Riassunto
SINOPIAE è un progetto finanziato nel contesto del Bando Regione Lombardia-MIUR il cui obiettivo è facilitare la comprensione dei processi meteo-climatici a scala regionale indotti dalle attività antropiche, attraverso l'uso delle applicazioni delle tecnologie aerospaziali. Il progetto ha sviluppato un sistema modulare prototipale integrante tecniche di osservazione da satellite, aeree e da terra per il monitoraggio multi-scala della variazione di indicatori ambientali legata ai costituenti atmosferici ed alla dispersione energetica; è stata inoltre realizzata una piattaforma fotogrammetrica multi-sensore integrata su APR (Aeromobile a Pilotaggio Remoto).
Vengono presentate le attività realizzate nel progetto ed i principali risultati ottenuti.

Abstract
SINOPIAE is project funded under the Regione Lombardia/Ministry of Education call aiming at facilitating the understanding of the climate processes at regional scale induced by human activities, through the use of space technologies. A prototype of SINOPIAE modular system has been developed, integrating earth observation techniques, aerial and ground data. It performs a multi-scale variation monitoring of environmental indicators linked to atmospheric constituents and energy losses. Moreover a platform photogrammetric multi-sensor has been integrated on RPA (Remotely Piloted Aircraft).
In this paper the main activities and the main results obtained are presented.

Il Sistema SINOPIAE

SINOPIAE ha realizzato un sistema prototipale che valuta i processi meteo-climatici a scala regionale indotti dalle attività antropiche, attraverso l'impiego di modelli che considerino la meteorologia, il trasporto e la dispersione e la chimica degli inquinanti e la loro interazione con gli aspetti radiativi. I moduli sviluppati sono preposti alle valutazioni:

- degli effetti dell'inquinamento atmosferico (gas e aerosol) su scala regionale e su ambienti scarsamente antropizzati come laghi e ghiacciai,
- della dispersione energetica,

- degli effetti diretti degli aerosol sul bilancio di radiazione del sistema superficie-atmosfera alla scala regionale (questo modulo è ad un livello di maturità che richiede ulteriori attività di ricerca per avvicinarsi al mercato)
- della interazione di scenari emissivi di inquinanti atmosferici ed energetici in ambiente urbano.

Le varie componenti realizzate in SINOPIAE sono sia hardware (relative al segmento di volo) che software (moduli di elaborazione), il cui uso integrato porta alla realizzazione dei servizi di SINOPIAE.

I moduli del sistema

Il sistema è di tipo modulare e fornisce uno strumento utile alla comprensione dei processi meteo-climatici a scala regionale indotti dalle attività antropiche. I moduli hardware e software sviluppati in SINOPIAE sono:

Sensore termico/ottico integrato: HE Stereo Platform

Questa piattaforma è costituita da un sistema di acquisizione video ad alta velocità per misure fotogrammetriche/termiche integrate, sviluppato da Sanitas EG. Il sistema comprende una telecamera stereo ad elevate prestazioni composta da due sensori, uno nel visibile e l'altro nell'infrarosso, capaci di operare simultaneamente o stand-alone ed è progettato per consentire l'integrazione di altri sensori. Il dispositivo potrà essere installato a bordo di un APR oppure utilizzato autonomamente in modo da fornire uno strumento professionale per il prelievo dei dati di emissione degli edifici. Inoltre il payload, personalizzato per le specifiche esigenze del progetto, è stato sviluppato per essere utilizzato, più ampiamente, come sistema di acquisizione video ad elevate performance grazie alla presenza di un sensore visibile di tecnologia Global Shutter ed di un sensore termico ad alta risoluzione. Durante il progetto il sensore è stato installato sulla piattaforma APR ANTEOS di Aermatica e sono state svolte delle campagne di validazione degli strumenti.

APR ANTEOS, HE Stereo Platform Architecture e modulo 3D GIS per il monitoraggio della dispersione termica di edifici in ambiente urbano

Il modulo "3D GIS per la dispersione termica di edifici in ambiente urbano" è sviluppato dal Politecnico di Milano (Lab. GICARUS con RE3_Lab) e realizzato in collaborazione con Sanitas EG, volto all'integrazione di dati termografici, raccolti dalla piattaforma implementata (APR e terra), con modelli digitali 3D di edifici. La metodologia di integrazione di dati multi sorgente ha lo scopo di consentire un rilievo e una elaborazione speditiva dei dati per la mappatura delle dispersioni termiche a livello sia del singolo edificio sia a livello più generale di distretto urbano. L'inserimento di una serie di parametri significativi (temperatura superficiale ed ambientale, incidenza delle superfici opache, valori di trasmittanza termica, kWatt istantaneamente dispersi, etc.) integrata alla mappatura termica viene gestita in un sistema GIS 3D a supporto dell'analisi di dispersione termica su piattaforme user-friendly.

Questo prodotto permette un controllo non invasivo (non si richiede cioè la rottura della parete) e non sono necessari scomodi e costosi ponteggi per monitorare le facciate di edifici (localizzando le parti danneggiate). Un notevole vantaggio competitivo di questo prodotto lo abbiamo nel monitoraggio di aree industriali o urbane. In questo scenario applicativo l'APR viene utilizzato per il monitoraggio dello stato di macchinari o infrastrutture in complessi industriali. La caratterizzazione e la capacità di mantenere una posizione per un tempo desiderato, rende uno strumento di ispezione utile a fornire, con un supporto visivo, lo stato di manutenzione di un macchinario complesso, difficile da ispezionare per collocazione e dimensione. Il sistema sviluppato è stato anche installato sulla piattaforma APR ANTEOS di Aermatica.

Punti di forza:

- Acquisizione multi-sorgente: il modulo consente di effettuare una integrazione delle mappe di temperatura derivate da piattaforme satellitari e UAV
- Incremento della risoluzione spaziale: le mappe di temperature consentono di ottenere una analisi a livello della facciata del singolo edificio integrando le informazione satellitari di minore risoluzione

• Analisi speditiva di distretti urbani: la possibilità di automazione sia nella fase di acquisizione dei dati sia nella fase di generazione della mappa di temperatura consente di condurre una analisi delle dispersioni termiche a livello di distretto urbano

Figura 1 - Il sistema per il monitoraggio della dispersione termica di edifici in ambiente urbano da satellite e APR.

APR ANTEOS, Sensore Iperspettrale e modulo indicatori ghiacciai

Il modulo "indicatori ghiacciai" è una metodologia multi-scala sviluppata dal gruppo di telerilevamento dell'Università Milano Bicocca, volta a valutare gli effetti del particolato atmosferico sia di tipo minerale (dust) che carbonioso (black-carbon) sull'albedo di nevai e ghiacciai. Il sistema di monitoraggio ha visto l'installazione del sensore iperspettrale sulla piattaforma APR ANTEOS di Aermatica e sono state svolte delle campagne di validazione degli strumenti. Tale sensore acquisisce misure di radianza ad alta risoluzione operando in coppia con una camera RGB. Dopo una fase di pre-elaborazione dei dati si determina un indicatore degli effetti delle polveri atmosferiche sulla neve e sui ghiacciai e le conseguenti implicazioni sull'accelerazione dei processi di fusione. Il modulo permette inoltre di valutare le prestazioni dell'indicatore mediante immagini satellitari (e.g. Landsat-8, MODIS) in modo da generare mappe a livello regionale.

Punti di Forza:

• Primo metodo che utilizza misure iperspettrali da piattaforma APR per lo studio di impurità in neve e ghiaccio.
• I risultati forniscono importanti valutazioni quantitative sull'azione come forzante radiativa del particolato minerale e carbonioso di origine sia naturale che antropica.
• Monitoraggio degli effetti di un trasporto di polveri minerali di origine Sahariana sull'albedo di nevai e ghiacciai Alpini
• Innovazione scientifica e sviluppo indici/modelli

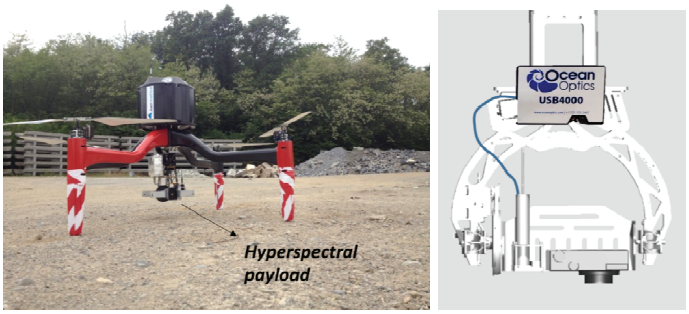

Figura 2 - Il sistema HyUAV durante i test di calibrazione/validazione (immagine a sinistra); schema concettuale del payload iperspettrale + camera RGB (immagine a destra).

APR ANTEOS e Sensori Qualità dell'Aria

Il payload "Qualità dell'Aria" è stato messo a punto dal gruppo di Chimica dell'Ambiente e dei Beni Culturali del DISAT –Università Milano Bicocca. Questo payload è composto da due strumenti: Elettrometro DiSCmini (Matter Aerosol) per la misura della concentrazione di nanoparticelle in atmosfera e Etalometro AE51 AethLab per la determinazione delle concentrazioni di Black Carbon (BC) in atmosfera (ng m^{-3}) e del relativo coefficiente di assorbimento (Mm^{-1}).

Punti di Forza:
- Basso peso, da dimensioni compatte e da una lunga durata della batteria.
- Esecuzione di monitoraggi locali in quota.
- Predisposizione di un sistema modulare su cui integrare payload il monitoraggio da APR di parametri legati alla qualità dell'aria, fornendo un sistema ready-to-use proponibile come servizio o come prodotto ad entità specializzate.

Il sistema di monitoraggio è stato installato sulla piattaforma APR ANTEOS di Aermatica e sono state svolte delle campagne di validazione degli strumenti.

Online Modelling Module-Modellazione del caso base e degli scenari energetico-emissivi

Il modulo software «Online Modelling Module», realizzato da TerrAria srl, è integrato in una piattaforma informatica che unisce la pratica fruibilità di un applicativo web e l'utilizzo di un modello all'avanguardia nella definizione della quantità, della distribuzione e della trasformazione degli agenti inquinanti. Il modulo integra in un'unica interfaccia il modello WRF-Chem (Weather Research and Forecasting model coupled with Chemistry) e permette di realizzare uno studio simultaneo e interattivo dell'inquinamento atmosferico e dei principali fenomeni meteorologici. WRF-Chem, sviluppato presso il National Center for Atmospheric Research (NCAR) gestito dalla University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), tiene conto dei seguenti processi: emissione, trasporto, diffusione, rimozione secca e umida, reazioni chimiche di trasformazione degli inquinanti gassosi ed in fase particolata.

L'applicativo web consente di visualizzare gli output del modello WRF-Chem. Si tratta di un visualizzatore di mappe statiche di variabili meteo e di qualità dell'aria. L'utente potrà scegliere lo scenario energetico-emissivo simulato (Estate, Inverno, Scenario Energetico, PRIA Lombardia), la variabile da visualizzare, l'istante temporale ed eventualmente il livello verticale. Le mappe sono navigabili in stile Google Maps e caratterizzate dalle usuali funzionalità GIS (zoom in, zoom out, etc).

Punti di forza:
- Utilizza il modello WRF-Chem che è considerato uno «state of the art» internazionale per la componente meteorologica e chimica
- È caratterizzato da una struttura modulare che permette di integrare moduli sulla qualità dell'aria e l'energia e di utilizzarli singolarmente
- Utilizzando una piattaforma open-source non ha alcun costo di licenza
- Offre un'interfaccia user- riendly

Indicatori acque interne

Il Pacchetto Software 'Qualità Acque Interne', sviluppato dal CNR-IREA, valuta l'effetto delle deposizioni atmosferiche sulla qualità delle acque lacustri (Lago di Garda) in relazione alla tipologia/origine e alla composizione chimica degli aerosol atmosferici. Il software permette di individuare le classi di probabilità degli effetti delle deposizioni di aerosol di origine desertica sulle anomalie dei macro-descrittori di qualità delle acque superficiali, tramite architettura ad albero decisionale, basata su schemi logici e regole definite da esperti. In modalità stand-alone, permette la gestione user-friendly dei parametri descrittivi della qualità delle acque e delle deposizioni atmosferiche sia in formato raster che scalare, attraverso finestre d'interfaccia grafica, generando output con formati compatibili ai più comuni software di gestione d'immagini. Le deposizioni atmosferiche vengono caratterizzate a partire sia da misure di parametri meteorologici (precipitazioni) e atmosferici (es. intensità dell'evento), sia da predefiniti modelli di default. Il software permette di valutare l'effetto delle deposizioni atmosferiche in relazione alla loro intensità e tipologia e in funzione dell'uso del suolo delle aree costiere e della temperatura superficiale delle acque. Essendo composto da moduli paralleli, il software permette di ottenere, oltre alla mappa dell'effetto di deposizione, anche mappe di anomalie di concentrazione di clorofilla-a (chl-a) e di temperatura superficiale (LST).

Punti di forza
- Integrazione di tipologie diverse di dati in modo user-friendly, con possibilità di utilizzare informazioni qualitative dei parametri (attraverso classi descrittive di default dei parametri);

• supporto alla conoscenza e alla gestione delle risorse idriche.

Dati Atmosfera satellite-based

Il modulo software Dati Atmosferici da Satellite è realizzato da CGS S.P.A. ed è suddiviso in due parti: Satellite – based PM Module e Satellite-based Gas Module. I due sotto-moduli open-source, utilizzando osservazioni satellitari, rispettivamente, del sensore MODIS sulle piattaforme Terra e Aqua e del sensore OMI sulla piattaforma Aura, consentono di ottenere mappe di concentrazione medie giornaliere di polveri sottili (PM) e di gas in traccia (O3 e NO2) (Di Nicolantonio, 2009a, 2009b).

Punti di Forza

- Rapidità nel calcolo della colonna troposferica di NO2 e O3: Il modulo analizza la quantità colonnare di NO2 e O3 utilizzando metodologia DOAS e ricava la colonna troposferica di NO2 e O3 senza l'ausilio della modellistica. Infine la riproduce su di una mappa in falsi colori del dominio.
- Rapidità nel calcolo della concentrazione al suolo di NO2 e O3: Il modulo utilizza le colonne troposferiche ricavate da satellite e ottenute integrando i profili del modello per ricavare il valore al suolo di concentrazione. Infine riproduce su di una mappa in falsi colori del dominio la concentrazione così ottenuta.
- L'ozono troposferico viene fornito come prodotto di ricerca in maniera automatica per tutto il periodo delle campagne di misura.
- Adattabile ad un qualsiasi dominio di interesse
- «verifica indipendente» – il modulo utilizza soltanto informazioni derivanti dai modelli meteo e non da modelli chimici di trasporto.
- Incremento della risoluzione spaziale delle mappe di Aerosol Optical Properties e PM, da 5x5 km2 a 2x2km2, partendo direttamente dall'elaborazione dei dati di livello 1B (spettri di radianza misurati) di MODIS;
- Potenziamento delle informazioni ausiliarie sulle proprietà microfisiche e ottiche degli aerosol della pianura padana utilizzate nel modulo, facendo una verifica sulla variabilità stagionale e giornaliera delle stesse, sulle caratteristiche di assorbimento e diffusione degli aerosol da 0.4 a 2.13 µm, per poi utilizzarle per la prima volta come dato in input nelle elaborazioni delle mappe di PM.
- Aumento della definizione del fattore di crescita igroscopico, essenziale nei fattori di calibrazione per poter dar una stima migliore delle concentrazioni dry dei PM. Questo fattore dipende dall'umidità relativa ambientale ma anche dal tipo di aerosol. Verrà definito quindi su alcuni siti e quindi utilizzato nella elaborazione dei prodotti finali del modulo.
- Possibilità di verificare il grado di disomogeneità spaziale delle distribuzioni delle concentrazioni di PM sulla pianura padana e in particolare in un'area intorno alla Città di Milano

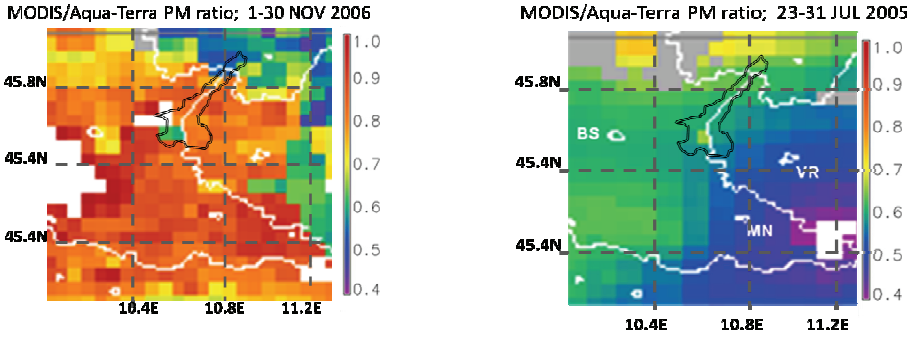

Figura 3 - Mappe di valori medi del rapporto PM2.5 / PM10 Lago di Garda, derivate dalle analisi dei dati del sensore satellitare MODIS (Aqua e Terra). A sinistra: un evento di inquinamento antropogenico; a destra la presenza di polvere desertica.

La validazione dei prodotti

Tutti i prodotti del sistema SINOPIAE sono stati validati durante il corso del progetto. Le metodologie di validazione sono state definite dal team e verificate dal CNR-IREA. I risultati ottenuti vengono brevemente riportati

Indicatore Ghiacciai: I risultati ottenuti mostrano la possibilità di rappresentare la variabilità spaziale di polveri minerali utilizzando dati ottici multiscala (UAV, satellite). La metodologia proposta è stata sviluppata in seguito ad un rilievo di campo in seguito ad un naturale trasporto di polveri sahariane nel Febbraio del 2014. Gli spettri di riflettanza osservati in campo sono stati confrontati con quelli simulati parametrizzando il modello di trasferimento radiativo SNICAR. Sia a partire dai dati osservati che da quelli simulati sono state individuate le lunghezze d'onda maggiormente correlate alla concentrazione di polveri minerali, in questo modo è stato definito un nuovo indice spettrale, lo Snow Darkening Index (SDI). In seguito, a partire sia da dai dati UAV, che satellitari (Landsat OLI) è stato calcolato l'indice SDI e sono state prodotte mappe a scala locale e regionale di SDI.

Indicatori acque interne: tutte le procedure di validazione utilizzate per i prodotti derivati dai dati Remote Sensing hanno permesso di ottenere dei risultati soddisfacenti per tutti i sensori e di evidenziare i limiti imposti dalla risoluzione spaziale del sensore MODIS. In particolare, per quanto riguarda il sensore MERIS i prodotti C2R di riflettanza presentano una leggera sovrastima delle riflettanze nella regione del blu con un anticipo del picco a lunghezze d'onda minori: questa discrepanza non sembra però avere effetti significativi sui prodotti finali di concentrazione di chl-a per i quali si sono ottenuti dei buoni risultati (RMSE calcolato rispetto alle misure in situ: 0.29 mg/m^3). Per i prodotti MODIS, ad eccezione delle zone settentrionali compromesse dalla vicinanza delle coste, il confronto fra le firme spettrali stimate dai prodotti Remote Sensing e quelle misurate in situ, ha prodotto dei buoni risultati. Anche per i prodotti di concentrazione di chl-a, sia nel confronto con i prodotti MERIS che con le misure in situ, i risultati ottenuti possono ritenersi soddisfacenti (con un RMSE rispettivamente di 1.17 e 0.08 mg/m^3).

Dispersione Termica Ambiente Urbano: il raffronto tra i dati di temperatura rilevati dal modulo sviluppato da SANITAS e i valori rilevati da camera termica commerciale (FLIR T640) sono, a parità di temperatura esterna ed emissività settata, mostrano uno scostamento inferiore a 0.3°C. Tale scostamento risulta essere assolutamente accettabile e non inficia in modo sensibile i parametri di dispersione termica speditivi sviluppati. Il raffronto tra i dati di temperatura superficiale rilevati mediante termometri (laser ed a contatto) con i valori di temperatura rilevati dal modulo sviluppato da SANITAS, così come quelli rilevati mediante FLIR T640, mostrano uno scostamento di 1°C circa. Questo è legato all'incertezza riguardo ai parametri di emissività propri della tecnica di rilievo termografico. Questi scostamenti possono essere corretti accoppiando alla termografia un rilievo puntuale di temperatura da utilizzare per tarare l'emissività del materiale murario. Come risultato di questo primo test di validazione è possibile osservare come i risultati di temperatura ottenibili mediante il modulo sviluppato da SANITAS EG possano essere equiparati a quelli ottenuti mediante una camera termica commerciale considerabile come top di gamma.

La seconda fase della validazione è stata eseguita il 3 Febbraio 2015 presso il Politecnico di Milano (Campus Leonardo edificio 21). Tale edificio è stato scelto in quanto strumentato in modo tale da poterne calcolare mediante la dispersione termica mediante la modalità prevista come stato dell'arte. In modo particolare, la strumentazione dell'edificio 21 prevede:

- Termometri a contatto ed ambientali interno / esterno;
- Igrometri interno / esterno;
- Termoflussimetri;
- Sensori per la misura della radiazione solare globale.

A partire da questi dati è possibile calcolare la trasmittanza termica dell'elemento murario attraverso il metodo delle medie progressive secondo la norma ISO 9869; essa descrive "il metodo del termo flussimetro per le misure di trasmissione del calore per elementi piani di involucro (strati opachi perpendicolari alla direzione del flusso termico senza significativo flusso laterale)".

Durante tale test è stato eseguito il raffronto tra i parametri di dispersione mediante il metodo delle medie progressive ed i parametri di dispersione speditivi sviluppati. I risultati ottenuti sono in linea con i valori di riferimento.

Modellazione del caso base e degli scenari energetico-emissivi: in generale WRF-Chem mostra qualche difficoltà nel riprodurre il trend temporale degli inquinanti (l'indice di correlazione R risulta sempre inferiore a 0.3). Per tutte le variabili l'indice NMSD negativo indica che la variabilità temporale delle serie simulate è minore di quelle osservate (l'indice NMSD si attesta intorno a -18% per O3 e PM10 e circa - 36% per l'NO2). Per quanto riguarda l'NMB, si attesta intorno al 5% per i valori di O3, contro circa il 20% per i valori di PM10 e NO2.

I risultati risultano comunque soddisfacenti se valutati utilizzando i criteri di performance elaborati attraverso il software DELTA, secondo le linee guida della direttiva Air Quality Directive 2008 della Commissione Europea. Infatti i valori stimati di almeno il 75% delle stazioni considerate soddisfano il criterio MPCRMSE.

Modulo satellite-based PM: I risultati della validazione svolta nel periodo invernale-estivo 2013 mostrano una buona correlazione tra i dati a terra ed i dati misurati dal satellite. L'indice di correlazione R per il PM a 2 e 5 km è stato calcolato solo per le stazioni in cui sono disponibili almeno 10 punti di confronto. Per il PM a 2km questo indice raggiunge il valore massimo di correlazione 0.8 e minimo 0.05, con una media di 0.52 su 9 stazioni. Per il PM a 5 km questo indice raggiunge il valore massimo di correlazione 0.9 e minimo 0.04, con una media di 0.49 su 28 stazioni.

Modulo satellite-based GAS: I risultati della validazione svolta nel periodo invernale-estivo 2013 mostrano una buona correlazione tra i dati a terra ed i dati misurati dal satellite. L'indice di correlazione R per l'NO2 è stato calcolato su 132 e per l'O3 è stato calcolato su 68. Per l'NO2 questo indice raggiunge il valore massimo di correlazione 0.85 e minimo -0.06, con una media di 0.56 su 132 stazioni. Per l'03 questo indice raggiunge il valore massimo di correlazione 0.92 e minimo 0.48, con una media di 0.84 su 68 stazioni. E' da notare che questo modulo utilizza come dati di input i valori NO2 calcolati dal modulo scenari energetico-emissivi. Come riportato nella validazione relativa a questo modulo, questi dati sono affetti da una sottostima dei valori di NO2 nelle ore centrali della giornata al passaggio del satellite. Questa sottostima porta ad una diminuzione della correlazione R per l'NO2 satellitare.

Le potenziali ricadute

Il progetto SINOPIAE può avere un rilevante impatto nell'intercettare gli obiettivi UE, a supporto dei cosiddetti *grand challenge*, temi strategici per la ricerca futura: tra cui Energy Efficiency e Climate change. A livello istituzionale si chiede esplicitamente di sviluppare servizi agli utenti in grado di integrare dati di Osservazione della Terra acquisiti dai satelliti con i dati acquisiti a terra in-situ, utili al collegamento di politiche di scala globale e locale, finalizzati (1) all'analisi di fenomeni e indirizzo di azioni in tema di sostenibilità, a supporto delle politiche di intervento, (2) all'individuazione di strumenti di azione dal punto di vista degli obiettivi, delle metodologie di ricerca e delle tecnologie di supporto, (3) al miglioramento dell'efficienza energetica e riduzione della dispersione termica.

In questo contesto le potenziali ricadute del sistema SINOPIAE e dei suoi moduli in ambito produttivo e territoriale possono essere riassunte come segue:

- la HE Stereo Platform potrà essere utilizzata per il monitoraggio della dispersione termica degli edifici, machine vision, sicurezza, sorveglianza, strumenti di diagnosi medica, sistemi "smart" per il monitoraggio del traffico, beni culturali;
- pubblicazione 3D Google© on-line dei risultati del monitoraggio della dispersione termica di edifici in ambiente urbano. Le analisi possono essere condivisi online per essere consultati sia dalla pubblica amministrazione sia dai cittadini. L'implementazione di questo sistema esteso su larga scala potrà consentire una valutazione quantitativa della dispersione termica in ambito

urbano a supporto dell'indirizzo di politiche per l'efficienza energetica e il raggiungimento degli obiettivi EU2050;

- gli indicatori dei ghiacciai potranno essere utilizzati in modelli empirici per la stima delle concentrazioni di impurità in neve e ghiaccio, come indicatore per la stima del discioglimento dei ghiacciai. Questo indicatore potrà esser parte delle informazioni necessarie per supportare l'indirizzo di politiche per la riduzione degli impatti dei cambiamenti climatici;
- gli indicatori di qualità dell'aria potranno supportare le PA nell'elaborazione di strategie per la gestione della QA e la mitigazione dell'impatto dei cambiamenti climatici adottando un monitoraggio a diverse scale di indicatori ambientali finalizzato ad una migliore identificazione degli scenari attuali e previsionali per una definizione delle politiche per la riduzione delle emissioni in atmosfera. Inoltre potranno essere raccolti dati qualità dell'aria a differenti quote;
- gli scenari energetico-emissivi potranno supportare le PA nell'elaborazione di strategie per la gestione della QA e la mitigazione dell'impatto dei cambiamenti climatici adottando un monitoraggio a diverse scale di indicatori ambientali finalizzato ad una migliore identificazione degli scenari attuali e previsionali per una definizione delle politiche di efficienza energetica e la riduzione delle emissioni in atmosfera;
- la definizione di indicatori di qualità delle acque potrà consentire una valutazione dell'effetto di deposizione degli inquinanti sulle acque a supporto degli enti per il monitoraggio del territorio e gestione delle acque.

Conclusioni

Il progetto SINOPIAE ha realizzato un primo prototipo di un sistema integrato multi-sorgente per il monitoraggio multi-scala dei parametri ambientali legati ai processi meteo-climatici a scala regionale indotti dalle attività antropiche. Il sistema potrà fornire un valido supporto alla comprensione dei processi meteo-climatici a scala regionale mediante l'integrazione di osservazioni multi-sorgente da sensori a terra, su aeromobile e satellite ed attraverso l'impiego di modelli che considerino la meteorologia, il trasporto e la dispersione e la chimica degli inquinanti e la loro interazione con gli aspetti radiativi.

Riferimenti bibliografici

Balzarini A., G. Pirovano, G.M. Riva, A.M. Toppetti (2012), Prime valutazioni delle interazioni clima-qualità dell'aria mediante l'applicazione del modello accoppiato meteorologico-chimico WRF-Chem, RSE

Di Nicolantonio W., Cacciari A., Tomasi C. (2009a), Particulate Matter at Surface: Northern Italy Monitoring Based on Satellite Remote Sensing, Meteorological Fields, and in-situ Samplings, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2 (4): 284-292.

Di Nicolantonio W., Cacciari A., A. Petritoli, Carnevale C., Pisoni E., Volta M.L., Stocchi P., Curci G., Bolzacchini F., Ferrero L., Ananasso C., Tomasi C., (2009b), MODIS and OMI Satellite observations supporting air quality monitoring, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol.137, No. 3-4.

Forkel, R., J. Werhahn, A. B. Hansen, S. McKeen, S. Peckham, G. Grell, P. Suppan (2012), Effect of aerosol-radiation feedback on regional air quality – A case study with WRF/Chem, *Atmos. Environ*., Vol. 53, Issue 53, 202 – 211. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.10.009

Grell, G., S E. Peckham, R. Schmitz, S. A. McKeen, G. Frost, W. C. Skamarock, B. Eder (2005), Fully coupled "online" chemistry within the WRF model, *Atmos. Environ*., Vol. 39, Issue 39, 6957 – 6975. doi:10.1016/j.atmosenv.2005.04.027

Zhang, Y., 2008: Online-coupled meteorologicy and chemistry models: history, current status, and outlook. *Atmos. Chem. Phys*., 8, 2895-2932

Baklanov, A., Korsholm U., Woetmann Nielsen N.,Gross A. (2008) Online coupling of chemistry and aerosols into meteorological models: advantages and prospective, DMI