

## GlobVolcano: Global Monitoring of Volcanoes from Space

M. L. Tampellini (\*), R. Ratti (\*), F. M. Seifert (\*\*), S. Borgström (\*\*\*), J. C. Komorowski (\*\*\*\*),  
E. Kaminski (\*\*\*\*), M. Bianchi (\*\*\*\*\*), W. Branson (\*\*\*\*\*)

- (\*) Carlo Gavazzi Space S.p.A., Via Gallarate 150 – 20151 Milano, Italia, e-mail [ltampellini@cgspace.it](mailto:ltampellini@cgspace.it).
- (\*\*) European Space Agency – ESRIN, Via Galileo Galilei, 64 – 00044 Frascati (Roma), Italia.
- (\*\*\*) INGV - Osservatorio Vesuviano, Via Diocleziano, 328 - 80124 Napoli, Italia
- (\*\*\*\*) Institut de Physique du Globe de Paris, 4, Place Jussieu, B89, 75252 Cedex 05, Parigi Francia
- (\*\*\*\*\*) Tele-Rilevamento Europa – T.R.E. S.r.l. Via Vittoria Colonna, 7 – 20149 Milano, Italia
- (\*\*\*\*\*\*) MDA Geospatial Services, 57 Auriga Drive, Suite 201 - Ottawa, Ontario K2E 8B2 Canada

### Riassunto

GlobVolcano è un progetto finanziato dall'ESA (*European Space Agency*) nell'ambito del programma *Data User Element* (DUE). Il progetto è finalizzato alla realizzazione e dimostrazione di un servizio a scala globale, basato su dati di osservazione della terra (*EO Earth Observation*), a supporto delle attività degli Osservatori Vulcanologici e/o Enti di Protezione Civile incaricati della sorveglianza in aree vulcaniche attive.

Nel corso della prima fase del progetto il sistema informativo è stato progettato, sviluppato e validato. La validazione è stata effettuata per un numero limitato di aree test (Colima in Messico, Merapi in Indonesia, Soufrière Hills a Montserrat, Piton de la Fournaise a La Reunion, Karthala alle Comore, Stromboli e Vulcano in Italia).

Attualmente è in corso la seconda fase del progetto che prevede il monitoraggio di 15 aree vulcaniche, distribuite in zone geografiche differenti, con la collaborazione dei rispettivi Osservatori Vulcanologici.

Il servizio è in grado di fornire prodotti EO per il monitoraggio: delle deformazioni del terreno con tecniche *DInSAR* e *PSInSAR<sup>TM</sup>*, delle anomalie termiche, delle Emissioni di SO<sub>2</sub> e delle ceneri vulcaniche.

L'infrastruttura di distribuzione dei prodotti EO comprende le funzionalità: WMS (*Web Map Service*) per la visualizzazione dei prodotti tramite GVUI (*GlobVolcano User Interface*), la distribuzione dei prodotti, il Catalogo Metadati su WEB, e la GVUI, basata sulla piattaforma *Virtual Earth*. Mentre il *download* dei prodotti è consentito solamente agli osservatori vulcanologici che collaborano con il progetto, il catalogo dei metadati è ad accesso pubblico e fornisce un valido strumento per lo scambio di informazione e la cooperazione scientifica.

*GlobVolcano* rappresenta un passo significativo verso l'implementazione di un servizio informativo operativo e globale a supporto del monitoraggio vulcanico.

### Abstract (riassunto tradotto in inglese)

The GlobVolcano project is part of the ESA (*European Space Agency*) DUE (Data User Element) programme. The purpose of the project is to set up and demonstrate a global scale EO-based service to support the Volcanological Observatories and other mandate users (e.g. Civil Protection authorities and the International Volcanological Community) in their monitoring activities.

During the first phase of the project the service infrastructure and interface to the users have been developed. Prototype EO-based information products have been generated and validated for selected test areas (Colima – Mexico; Merapi – Indonesia; Soufrière Hills – Montserrat; Piton de la Fournaise - La Reunion; Karthala – Comoros Islands; Stromboli and Vulcano - Italy).

The phase two of the project is currently ongoing. Fifteen volcanic areas (for different geographical areas) are being monitored in cooperation with the Volcanological Observatories.

The service offers the following EO based information products: 1) Monitoring of ground deformation exploiting either DInSAR or PSInSAR<sup>TM</sup> approach; 2) Monitoring of thermal anomalies; 3) Monitoring of gas (SO<sub>2</sub>) and ash injected into the atmosphere.

The provision infrastructure includes the following functionalities: WMS (*Web Map Service*) for products visualization through the GVUI (*GlobVolcano User Interface*); products delivery; Metadata Catalogue; and User Interface (GVUI) based on the Virtual Earth platform. While product downloading is currently permitted only to the respective user organization, the Metadata Catalogue can be publicly accessed, providing a powerful tool for scientific interchanges and cooperation among the user organizations.

The GlobVolcano information system and its current experimentation represent a significant step ahead towards the implementation of an operational, global volcano observatory from space.

## 1. Introduzione

Lo scopo del progetto *GlobVolcano* è la definizione, lo sviluppo, la validazione e la dimostrazione di un servizio basato su dati EO in grado di fornire informazioni a supporto degli Osservatori Vulcanologici, degli Enti di Protezione Civile e, più in generale, alla comunità Comunità Vulcanologica Internazionale.

Il servizio è rivolto al monitoraggio dei seguenti fenomeni di: deformazioni del terreno, anomalie termiche ed emissioni di gas (SO<sub>2</sub>) e ceneri vulcaniche.

Il sistema informativo si compone di due elementi principali: il sistema di elaborazione dati, che include i sottosistemi di elaborazione dati, ed il servizio informativo che costituisce l'infrastruttura per la fruizione dei servizi.

Durante la prima fase del progetto, terminata a giugno 2008, l'architettura del sistema informativo è stata sviluppata e valutata in collaborazione con il gruppo di utenti del progetto. I prodotti di monitoraggio delle deformazioni e monitoraggio delle anomalie termiche sono stati validati per alcune aree vulcaniche di riferimento. In particolare il vulcano *Piton de la Fournaise (La Reunion)* è stato individuato come sito di riferimento per la definizione del protocollo di validazione dei prodotti. Una validazione dettagliata dei prodotti è stata eseguita per questo sito.

La seconda fase del progetto riguarda la fornitura del servizio. Gli utenti coinvolti in questa fase del progetto integreranno i prodotti di *GlobVolcano* nei loro sistemi di monitoraggio e forniranno una valutazione circa l'utilità di tali prodotti e dei suggerimenti per l'utilizzo di tali prodotti.

## 2. GlobVolcano: Sistema di elaborazione dei dati

Il Sistema di elaborazione dati, dedicato all'elaborazione dei dati di osservazione della terra, si compone di sottosistemi di elaborazione dati basati su tecnologie consolidate e mature.

### 2.1 Servizio di monitoraggio delle deformazioni (*DInSAR* e *PSInSAR<sup>TM</sup>*)

Lo studio della deformazione del suolo e della sua evoluzione temporale è utile per analizzare, individuare e capire i meccanismi geofisici che regolano il sistema vulcanico e le sue caratteristiche dinamiche.

Due differenti metodologie di elaborazione dati sono state adottate nel progetto:

- 1) *DInSAR (Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry)* fornisce una stima accurata della deformazione per ampie aree. È implementata tramite il software *EarthView® InSAR* (MDA Inc). Il servizio è ubicato presso MDA Inc. (Canada).
- 2) *PSInSAR<sup>TM</sup> (Permanent Scatterers Synthetic Aperture Radar Interferometry)* permette l'analisi dell'evoluzione temporale della deformazione. Il servizio è ubicato presso T.R.E. (Italia).

Entrambe le metodologie utilizzano dati *Envisat ASAR*.

La scelta della tecnica da applicare dipende da un'analisi dell'area e dalla disponibilità di dati *ASAR* sull'area oggetto di studio. L'approccio *DInSAR* viene applicato quando non è disponibile un elevato numero di dati *ASAR* sull'area di studio. È vantaggioso nel caso di deformazioni elevate perché può fornire interferogrammi utili all'individuazione dell'area oggetto di deformazione e per una prima analisi qualitativa del fenomeno. L'approccio *DInSAR*, inoltre, permette di migliorare la risoluzione temporale dei prodotti a seguito di un incremento del livello di allerta, sfruttando la capacità del sensore *ASAR* di riprendere una stessa zona con geometrie di vista differenti. Tuttavia affinché sia possibile creare delle coppie interferometriche è necessario che le immagini *ASAR* siano riprese secondo una stessa geometria.

La tecnica *PSInSAR<sup>TM</sup>* fornisce una stima molto accurata della deformazione per un insieme di punti (bersagli radar), detti *Permanent Scatterers*, che mostrano un livello di coerenza costante nel tempo. Tuttavia per poter applicare questa tecnica è necessario che un elevato numero di dati *ASAR* (almeno 25), acquisiti secondo la stessa geometria di vista, sia disponibile sull'area di interesse.

## 2.2 Servizio di monitoraggio delle anomalie termiche

Il servizio di monitoraggio delle anomalie termiche (presso CGS Italia) è basato sull'utilizzo di:

- Dati EO ad alta risoluzione spaziale acquisiti dai sensori *ASTER (TERRA)* e *HRVIR o HRGT (SPOT4 e SPOT5)*.
- Dati EO a bassa risoluzione spaziale e ad alta risoluzione temporale acquisiti dal sensore *MODIS (TERRA o AQUA)*.

L'utilizzo di questi strumenti permette da un lato di incrementare la frequenza delle osservazioni (fino ad osservazioni giornaliere) e dall'altro di migliorare periodicamente il livello di dettaglio dell'analisi. Gli strumenti software utilizzati per l'implementazione del servizio sono:

- *MyVOL (IES-Consulting)*: per il monitoraggio ad alta risoluzione spaziale delle anomalie termiche.
- *MyMOD (IES-Consulting)*: per il monitoraggio a bassa risoluzione spaziale ed alta risoluzione temporale delle anomalie termiche.

La scelta del dato EO e della metodologia di elaborazione più adeguati per l'analisi dipendono dalla dimensione dell'anomalia termica e dalla sua temperatura, e quindi dallo stile eruttivo del vulcano, dalla sua dinamica e dal tipo di anomalie termiche associate.

- *TERRA-ASTER*. I dati acquisiti prima di aprile 2008 sono adeguati per l'analisi di anomalie termiche sia ad alta temperatura (laghi di lava, flussi lavici attivi, fontane di lava, duomi, attività del cratere) che a bassa temperatura (flussi piroclastici, flussi lavici in fase di raffreddamento, laghi craterici, fumarole a basse temperatura). A partire dall'Aprile 2008 i dati acquisiti nei canali dello *SWIR (Short Wave Infrared)* non sono più utilizzabili e lo strumento risulta adeguato solo per lo studio delle anomalie di bassa temperatura.
- *SPOT-4/5 (HRVIR / HRGT)* adeguati per l'analisi di anomalie ad alta temperatura (laghi di lava, flussi lavici attivi).
- *TERRA/AQUA MODIS* adeguati per l'analisi di anomalie ad alta temperatura (laghi di lava, flussi lavici attivi, fontane di lava, duomi, attività del cratere).

## 2.3 Servizio di monitoraggio atmosferico (SO<sub>2</sub> e Ceneri vulcaniche)

Il servizio di monitoraggio atmosferico è fornito mediante un link al progetto *GSE-PROMOTE – Support to Aviation Control Service (SACS)*. Lo scopo del servizio è fornire in *Near Real Time (NRT)* dati riguardanti le emissioni di SO<sub>2</sub>, possibilmente relative ad eruzioni vulcaniche, derivate da dati EO. Questi dati possono fornire informazioni utili per valutare l'impatto delle eruzioni vulcaniche sulla pubblica sicurezza. Queste informazioni possono anche essere utilizzate nella fase di *early warning*, come precursori delle eruzioni.

Il servizio si basa sull'utilizzo di tre differenti strumenti *SCIAMACHY*, *OMI* e *GOME-2* e permette la generazione di tre differenti tipologie di prodotti:

*SO<sub>2</sub> Notification*: notifica di concentrazioni eccezionali di SO<sub>2</sub> automaticamente inviata agli utenti registrati al servizio tramite e-mail.

*Near Real Time*: Densità colonnare di SO<sub>2</sub> (*Dobson Unit - DU*) disponibile 3-6 ore dopo l'acquisizione del dato satellitare.

*Archive*: mappe globali in genere disponibili 2 settimane dopo la fine del mese e ottenute rielaborando tutte le acquisizioni del mese.

Le informazioni relative alle ceneri vulcaniche emesse nell'atmosfera durante un'eruzione vulcanica sono ricavate dai dati *MSG - SEVIRI*, in particolare utilizzando i seguenti canali dell'infrarosso: 8.7 μm (IR8.7), 10.8 μm (IR10.8) and 12.0 μm (IR12.0).

Il servizio di monitoraggio atmosferico è ubicato presso i seguenti centri: *BIRA-IASB* Belgio (*SCIAMACHY*), *KNMI* Olanda (*OMI*), *DLR IMF* Germania (*GOME2*) e *CGS* Italia (Ceneri vulcaniche).

### 3. GlobVolcano – Servizio informativo e interfaccia utente

Il servizio informativo si compone dei seguenti elementi:

Archivio prodotti. Contiene i prodotti generati per le aree di studio del progetto ed offre due funzionalità: *WMS (Web Map Service)* per la visualizzazione dei prodotti tramite l'interfaccia utente e *download* dei prodotti tramite protocollo *FTP*.

Catalogo dei metadati. Contiene i metadati relativi ai prodotti disponibili in archivio.

Interfaccia Utente (GVUI). Permette l'accesso ai metadati ed ai prodotti di *GlobVolcano* e si basa sulla piattaforma *Virtual Earth*. Offre le seguenti funzionalità: selezione dell'area geografica e visualizzazione, ricerca dei metadati e visualizzazione, *login*, ricerca prodotti, visualizzazione prodotti, *download* prodotti. Dispone di due punti di accesso distinti per gli utenti non registrati e per gli utenti registrati. Solo gli utenti registrati possono visualizzare ed effettuare il *download* dei prodotti. Oltre a queste funzionalità l'interfaccia dispone delle funzionalità di *Virtual Earth*, quali: *zoom*, selezione dei *layer*, visualizzazione 2D e 3D.

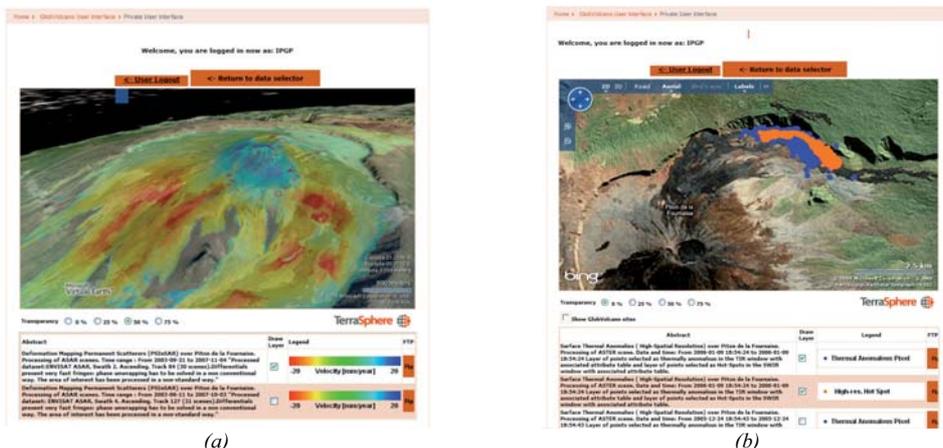


Figura 1 - GVUI: visualizzazione dei prodotti (a) deformazioni del suolo, (b) Anomalie termiche

### 4. Conclusioni e risultati

Il progetto ha evidenziato un crescente interesse degli osservatori vulcanologici per le tecnologie di osservazione della terra applicate al monitoraggio delle aree vulcaniche. Tuttavia i risultati ottenuti sono stati limitati dalla disponibilità di dati EO che in alcuni casi sono risultati insufficienti per eseguire un'analisi approfondita dei fenomeni. Si considerino a titolo di esempio i dati ALOS PALSAR, utili lo studio di aree vegetate, la cui disponibilità è molto limitata.

Si evidenzia inoltre una forte criticità per il monitoraggio delle anomalie termiche a seguito dell'avaria allo strumento ASTER (SWIR) che ha limitato notevolmente il servizio.  
La tabella che segue riporta le aree vulcaniche analizzate nel corso della fase 1 e della fase 2 del progetto, specificando per ciascuna area I servizi offerti.

User	Test site	Fase 1			Fase 2		
		Def.	Anomalie Termiche	Atmo.	Def.	Anomalie Termiche	Atmo.
MVO	Soufrière Hills		MyVOL MyMOD	X		MyVOL MyMOD	X
INGV-CT	Etna		MyMOD	X		MyMOD	X
	Vulcano	PSInSAR™	MyVOL	X	PSInSAR™	MyVOL	X
	Stromboli	PSInSAR™		X	PSInSAR™	MyVOL MyMOD	X
IPGP	Piton de la Fournaise	PSInSAR™	MyVOL MyMOD	X	PSInSAR™	MyVOL MyMOD	X
CNDRS	Karthala /		MyVOL MyMOD	X		MyVOL MyMOD	X
CUEIVC	Colima	DInSAR		X	DInSAR		X
CVGHM	Merapi	DInSAR		X			X
NOA	Nisyross					MyVOL	X
IGN CSIC-UCM	Cumbre Vieja				CTM		X
CRSN	Nyiragongo				DInSAR		X
ICE	Arenal				DInSAR (ROI-PAC)	MyVOL MyMOD	X
IG-EPN	Tungurahua				DInSAR		X
RSMAS	Hilo / Mauna Loa				PSInSAR™	MyVOL	X
USGS	Mt St Helens				PSInSAR™		X
CVARG	Pico				DInSAR (PALSAR)		X

Tabella 1 – Aree vulcaniche analizzate nel corso della fase 1 e della fase 2 del progetto.

Si riportano di seguito alcuni esempi di prodotti.

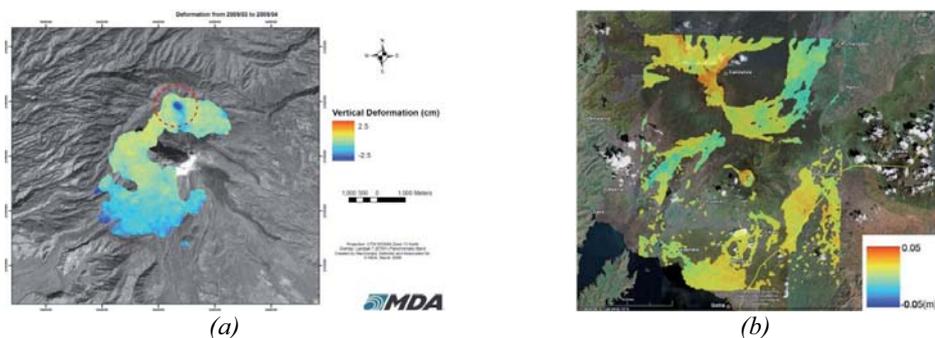


Figura 2 - Mappe di deformazione DInSAR (a) Colima (Messico) Envisat ASAR 20050304-20050408. (b) Nyiragongo (Congo). Envisat ASAR 20070614-20070619

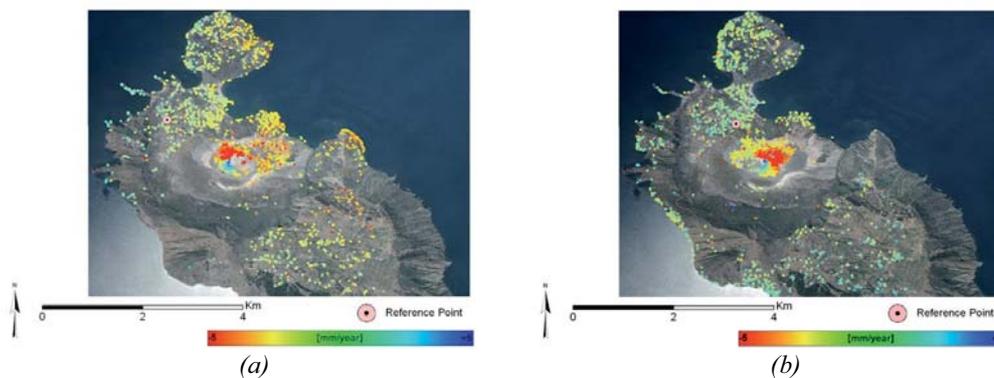


Figura 3 – Vulcano (Eolie) Mappe di deformazione PSInSAR<sup>TM</sup> (a) Envisat ASAR dataset ascendente (20030111–20090311), (b) Envisat ASAR dataset discendente (20030707–20090406)

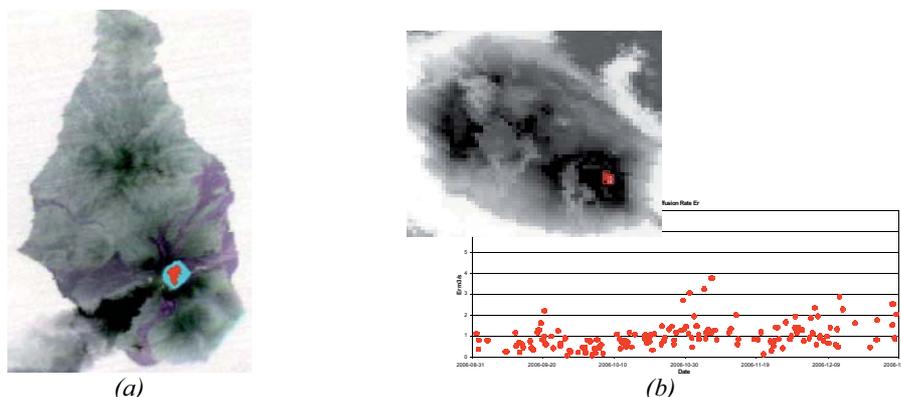


Figura 4 – Anomalie termiche: (a) Soufrière Hills (Montserrat), prodotto ottenuto elaborando dati Terra-ASTER (20060219), in rosso anomalie a alta temperatura ed in blu anomalie a bassa temperatura. (b) Piton de la Fournaise (La Reunion), prodotto ottenuto elaborando dati MODIS (20060901–20061229), Layer hot spots e sequenza temporale dei tassi di effusione.

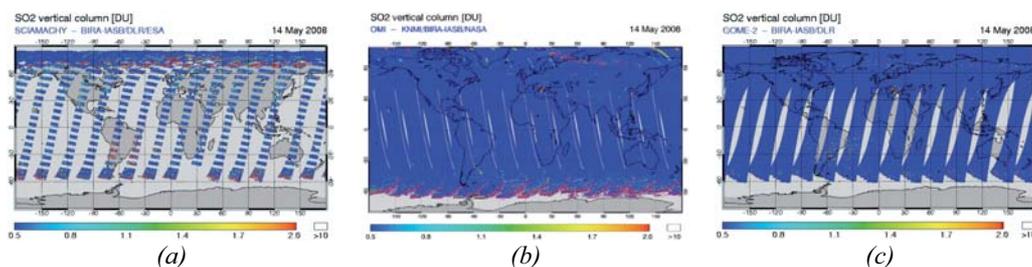


Figura 5 – Emissioni di SO<sub>2</sub>: (a) prodotto ottenuto elaborando dati SCIAMACHY (20080514); (b) prodotto ottenuto elaborando dati OMI (20080514); (c) prodotto ottenuto elaborando dati GOME2 (20080514).

## 5. Ringraziamenti

Si ringraziano tutti gli osservatori vulcanologici che hanno preso parte e contribuiscono al progetto. Si ringrazia Falk Amelung che ha fornito i dati Radarsat per Hilo (Hawaii)