

Attività di elaborazione di dati EO SAR su aree in frana nell'ambito del progetto ASI MORFEO

F. Agliardi (*), F. Bovenga(**), L. Candela(***), M. T. Chiaradia(****), G.B. Crosta(*),
C. D'Aprile(****), G. Fornaro (*****), P. Frattini(*), M. Gilardoni (*****),
F. Guzzetti (*****), R. Lanari (*****), D. O. Nitti(****), R. Nutricato (*****),
G. Ober (*****), F. Rana (*****), G. Venuti(*****), G. Zeni(****)

- (*) Dipartimento di Scienze Geologiche e Geotecnologie, Università degli Studi di Milano Bicocca, P.za della Scienza 4, 20126 Milano, E-mail federico.agliardi@unimib.it, giovannibattista.crosta@unimib.it, paolo.frattini@unimib.it
(**) CNR-ISSIA, Via Amendola 122/D, 70126 Bari, Italy, tel. 080 5929425, e-mail bovenga@ba.issia.cnr.it
(***) Agenzia Spaziale Italiana, Centro di Geodesia Spaziale 'Giuseppe Colombo', Località Terlecchia, 75100 Matera (MT), Italy, tel. +39 0835 3779 e-mail laura.candela@asi.it
(****) Dipartimento Interateneo di Fisica, Politecnico di Bari, Via Amendola 173, 70126 Bari, Italy tel.+39 080 5443144 e-mail. davide.nitti@fisica.uniba.it, chiaradia@ba.infn.it
(*****) IREA - CNR.- Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente – Via Diocleziano, 328 Napoli, Italy tel. +39 081 5707999 e-mail fornaro.g@irea.cnr.it, zeni.g@irea.cnr.it
(*****) DIAR – Politecnico di Milano – Polo regionale di Como- Via Valleggio, 11 – Como, Italy, tel. +39 0313327527 e-mail maddalena.gilardoni@mail.polimi.it, giovanna.venuti@polimi.it
(*****) CNR IRPI Via Madonna Alta 126 06128 Perugia (Italy) e-mail: Fausto.Guzzetti@irpi.cnr.it
(*****) GAP srl, c/o Dipartimento Interateneo di Fisica, Politecnico di Bari, Via Amendola 173, 70126 Bari, Italy tel.+39 080 5443144 e-mail raffaele.nutricato@gapsrl.eu
(*****) Carlo Gavazzi Space SpA, Via Gallarate, 150 20151 Milano, Italy tel. +39 02 380481, e-mail gober@cgspace.it

Riassunto

Nel contesto del progetto MORFEO, finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), è in corso un'analisi, valutazione e validazione delle tecniche di monitoraggio delle deformazioni con dati SAR, per la realizzazione di un servizio pre-operativo a supporto del Dipartimento di Protezione Civile nel monitoraggio del rischio da frana. Lo studio delle deformazioni del suolo viene svolto in MORFEO applicando due differenti tecnologie: SBAS sviluppata dal CNR-IREA di Napoli e SPINUA sviluppata dal Politecnico di Bari. Queste tecnologie lavorano con dati SAR in banda C ed è in corso di sperimentazione l'utilizzo dei dati in banda X acquisiti da COSMOSKY-MED. In particolare la presente relazione descrive le attività di generazione e validazione dei prodotti EO SAR (Synthetic Aperture Radar) ottenuti su aree in frana in Lombardia e Umbria utilizzando passaggi ascendenti e discendenti del satellite ENVISAT. In Umbria le deformazioni osservate dal SAR sono state confrontate con osservazioni GPS dello stesso campo di deformazione su una rete di 25 punti, materializzata nell'area di Ivancich per scopi di monitoraggio dall'Università di Perugia. Dal confronto risulta un generale accordo tra i due data set. In Lombardia, nell'area di Bindo (LC) le serie temporali di deformazioni sono state stimate su punti GPS per la validazione del dato SAR. Questa ha messo in evidenza potenzialità e limiti delle tecniche interferometriche SAR per il monitoraggio di frane in contesto alpino.

Inoltre è stata effettuata una prima indagine interferometrica multitemporale in banda X con l'algoritmo SPINUA e di effettuare primi interessanti raffronti con le mappe di deformazione ottenute in banda C. In particolare sull'area di GARZENO (CO), pur classificando tali risultati come preliminari, dato l'esiguo numero di immagini processate, è stato possibile anche con COSMO/SkyMED osservare la presenza di movimenti al suolo in buon accordo con quelli già individuati con ENVISAT. Indagini più approfondite in banda X saranno possibili non appena si potrà disporre di un congruo numero di acquisizioni COSMO/SkyMED (non inferiore a 25-30).

Abstract

In the framework of MORFEO project, financed by the Italian Space Agency (ASI), a study is currently under way to estimate and validate monitoring technologies of deformations with SAR data, to the implementation of a pre-operational service supporting the Civil Protection Department in landslide risk monitoring. The study on ground deformations is performed in MORFEO by applying two different technologies: SBAS developed by CNR-IREA in Naples and SPINUA developed by Politecnico of Bari. These technologies work with SAR data in C band and the use of X band data acquired by COSMO/SKY-MED is under trial. In particular the present report describes the generation and validation activities of EO SAR products (Synthetic Aperture Radar) obtained in landslide areas in Lombardia and Umbria by using ascending and descending passages of ENVISAT satellite. The results obtained in Umbria highlight the presence of deformation phenomena in the area corresponding to the landslide region in Ivancich (Assisi). A general accordance between GPS and SAR sets results by the comparison. In Lombardia GPS deformation time sets have been estimated for SAR data validation. This has highlighted the potential and limits of SAR interferometric techniques for landslide monitoring in an alpine context. Moreover, a first multi-temporal interferometric analysis in X band has been carried out through the SPINUA algorithm. Preliminary results over the area of GARZENO (COMO) show that even with a limited number of COSMO/SkyMED images, there is a good agreement with linear displacement rate maps estimated in C-band. An accurate investigation shall be feasible as soon as a consistent number of COSMO/SkyMED acquisitions is available (not less than 25-30).

Analisi e validazione DInSAR-SBAS nell'area di Ivancich (Assisi)

Nell'ambito del progetto MORFEO, è stata effettuata una analisi DInSAR a bassa risoluzione spaziale utilizzando la tecnica denominata SBAS (Berardino et al. 2002). In particolare, sono state elaborate 31 immagini ENVISAT-ASAR acquisite su orbita discendente (Track 351, Frame 2741) relative al periodo Ottobre 2003 – Gennaio 2009. Partendo da questo dataset sono stati generati 92 interferogrammi ed è stata ottenuta una mappa di velocità media e le serie storiche di deformazione per un'area di circa 80×80 km. Il nostro lavoro è stato focalizzato sull'area di Ivancich nel comune di Assisi. Nell'area, che si estende per circa $3 \times 105 \text{ m}^2$, è in atto un fenomeno di deformazione che causa ripetuti danni a strade, palazzi e strutture di contenimento. La capacità della tecnica DInSAR di monitorare questo particolare fenomeno è stata già dimostrata (cf. Guzzetti et al., 2009) applicando la tecnica DInSAR-SBAS su immagini ERS1-ERS2 relative al periodo 1992-2000. I risultati ottenuti su dati ENVISAT per il periodo 2003-2009 confermano l'evoluzione temporale della deformazione in esame. In Figura 1 è riportata la distribuzione dei punti su cui sono disponibili serie temporali DInSAR di deformazione lungo la linea di vista del sensore e un esempio di serie temporale ottenuta dalla elaborazione di immagini ENVISAT.

I prodotti DInSAR-SBAS stati validati dal Politecnico di Milano (DIAR), che a tale scopo ha selezionato 55 dei 12604 punti disponibili dalla elaborazione delle immagini SAR discendenti. Le immagini ascendenti sono state trascurate in quanto erano presenti solo 2 punti sull'area interessata al test. La validazione è stata effettuata utilizzando i dati GPS di due campagne di misura condotte dal gruppo di ricerca del Prof. Fabio Radicioni del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Perugia nel 2006 e 2007. Tali campagne sono state commissionate dal Provveditorato alle Opere Pubbliche di Firenze e Perugia, e l'impiego dei dati è stato possibile in seguito ad un accordo di collaborazione tra il gruppo di lavoro MORFEO e il Provveditorato stesso. In Figura 2 a sinistra sono riportati i 55 punti SAR ed i 28 punti GPS utilizzati per la validazione.

Le tecniche di osservazione da satellite SAR e GPS rilevano aspetti diversi della deformazione in atto, modellizzabile come un campo vettoriale definito su ogni punto della superficie e variabile nel tempo. Il SAR osserva la componente del campo vettoriale lungo la LOS, mentre il GPS rileva il vettore di deformazione nelle sue tre componenti. Il SAR osserva la deformazione nel tempo a intervalli di tempo minimi pari al tempo di ritorno del satellite ENVISAT sulla stessa zona a terra, il GPS fornisce, nel caso in questione, la deformazione avvenuta nell'intervallo intercorso tra le due

campagne di misura effettuate. Entrambe le tecniche forniscono osservazioni su punti sparsi; nell'area test, il numero dei punti SAR è pari circa il doppio di quelli GPS. Le osservazioni SAR non sono ridondanti e quindi non è possibile una stima della loro deviazione standard, quelle GPS invece consentono una stima delle coordinate delle stazioni con relativi sqm, che possono essere propagati alle stime delle componenti di deformazione, nonché a tutte le successive trasformazioni lineari. La validazione di un data set con l'altro richiede una preliminare elaborazione delle osservazioni volta a determinare valori di deformazione confrontabili, riferiti cioè agli stessi intervalli temporali, alla stessa direzione nello spazio e negli stessi punti. Tali elaborazioni introducono errori che vengono presi in considerazione nel confronto statistico. I valori a confronto possono variare all'interno cioè di un intervallo la cui ampiezza dipende dagli errori di osservazione e di manipolazione dei dati. Nella procedura di validazione adottata, si assume una distribuzione normale delle osservazioni e si assume che le varianze in gioco siano valori deterministici e non stocastici.

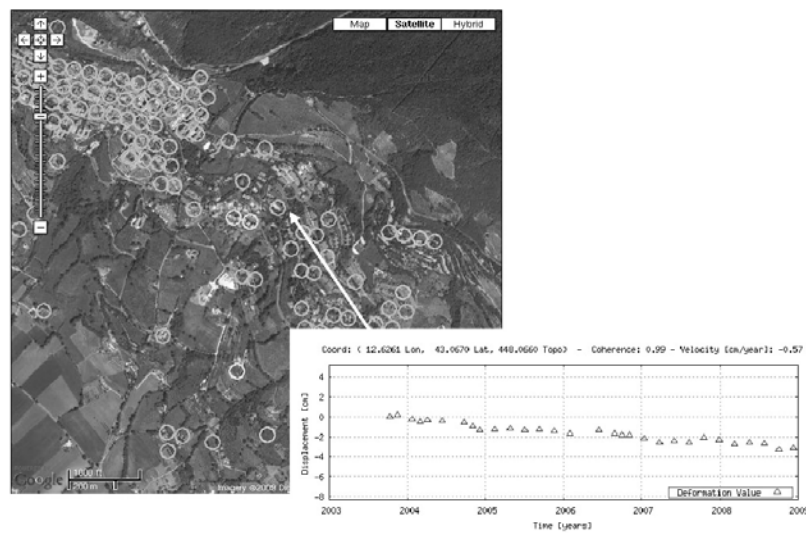


Figura 1 - Mappa e serie temporale di deformazione del suolo misurata lungo la linea di vista del sensore (LOS) relativa all'area di Ivancich

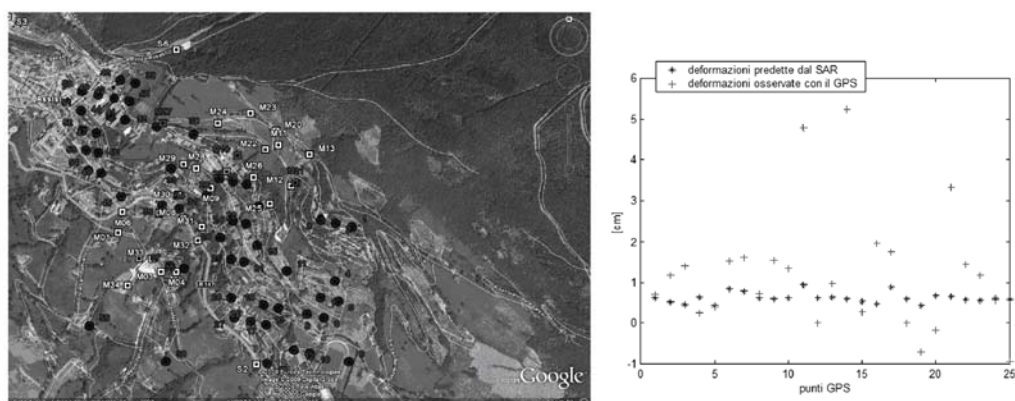


Figura 2: Sito Test: Area di Ivancich (Assisi). [Sinistra] Punti SAR (simbolo circolare) e punti GPS (simbolo quadrato bianco) utilizzati per la validazione. I 3 punti GPS indicati con simbolo quadrato grigio non sono stati utilizzati, così come i punti indicati con la lettera S. [Destra] Deformazioni osservate dal GPS e predette dal SAR.

Ciò restringe l'intervallo di variabilità delle differenze e quindi rende i test più restrittivi. Tale scelta è praticamente forzata, non essendo possibile ricostruire la distribuzione degli stimatori delle varianze in gioco. In particolare le deformazioni GPS sono state interpolate linearmente nel tempo nelle date in cui sono disponibili i prodotti SAR; quindi si sono calcolate le componenti lungo la LOS. Le deformazioni SAR sono state infine predette tramite kriging nei punti GPS e quindi si è effettuato il confronto statistico (cf. Figura 2 [destra]).

Analisi e validazione SPINUA nell'area di Bindo (Lecco)

Nell'ambito del progetto MORFEO, grazie ad un accordo con la comunità montana di Cortenova, si è avuto accesso alla rete di monitoraggio costituita da 4 stazioni GPS permanenti. Tale rete è ufficialmente operativa dall'autunno 2004. I 4 ricevitori impiegati sono Leica di qualità geodetica a doppia frequenza (serie System500, modello 520). Uno di essi, denominato RR2 a sinistra in Figura 3, che costituisce la stazione di riferimento, è posto a valle della frana di Bindo, mentre gli altri tre (B1, R28 e R32) sono collocati in diversi punti del versante a monte dell'area interessata dai dissesti del 2002. Inoltre, un dataset di 32 immagini ENVISAT-ASAR acquisite su orbita discendente (Track 480, Frame 2673) relative al periodo Dicembre 2004 – Gennaio 2009 è stato elaborato con la tecnica interferometrica multi-temporale denominata SPINUA (Bovenga et al., 2004). Anche al caso della frana di Bindo si è applicato lo stesso concetto di validazione usato per la frana di Ivancich. Tuttavia è risultato evidente, fin da una prima analisi sommaria, che il sito considerato non si presta alla validazione del dato SAR. Le stazioni GPS sono infatti fuori dall'area in cui sono osservabili le deformazioni ASAR di Envisat è a una distanza troppo elevata per poter effettuare la predizione delle deformazioni SAR necessarie al confronto. Il punto GPS più vicino ai punti SAR monitorati con l'approccio SPINUA, è posto a monte della frana di BINDO, a circa 300m dal corpo di frana, di diametro pari a 200m, in cui cadono i punti SAR (cf. Figura 3 [sinistra]). Ne segue che la predizione da SAR a GPS è una pura estrapolazione, in cui il grado di correlazione spaziale del segnale gioca un ruolo minimo. Se si procede comunque alla predizione e al confronto si ottengono valori di deformazione incompatibili (cf. Figura 3 [destra]). La massima velocità stimata col SAR sul corpo di frana si attesta intorno ai 2 cm/yr, contro i 20 cm misurati dalla strumentazione GPS nell'arco di tre anni. Tali discrepanze potrebbero essere dovute alla forte disomogeneità del fenomeno fisico-geologico tra l'area dove insistono punti visibili per via InSAR e il punto monitorato dal GPS. Un'altra possibile spiegazione potrebbe però risiedere nelle oggettive difficoltà di *phase unwrapping* della serie interferometrica, nel caso di trend di deformazione caratterizzati da velocità superiori a quelle teoricamente monitorabili con tecniche interferometriche multitemporali.

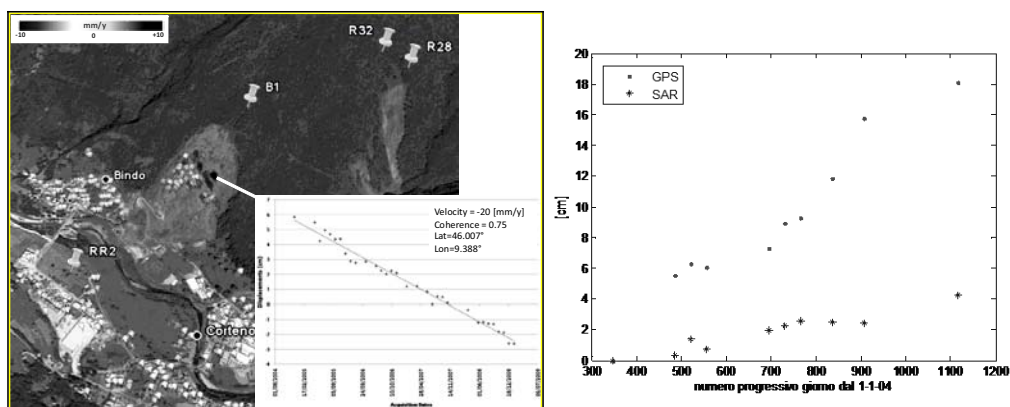


Figura 3 Sito Test: Bindo (LC). L'immagine a sinistra mostra la collocazione delle stazioni GPS, nonché quella dei Persistent Scatterers (PS) individuati attraverso l'algoritmo SPINUA. Nel riquadro è mostrata la serie temporale di deformazione del suolo misurata lungo la linea di vista del sensore (LOS): la massima velocità lineare stimata si attesta intorno ai 20 mm/yr. A destra invece tale trend è posto in relazione al risultato dell'estrapolazione effettuata mediante i dati GPS, nei soli intervalli in cui sono disponibili entrambe le tipologie di dato.

Con riferimento a questo aspetto si è osservato, infatti, che laddove le velocità di deformazione sono più basse si ha un buon accordo tra SAR e GPS. La massima velocità che è possibile stimare in modo non ambiguo coll'interferometria SAR è espressa dalla seguente relazione: $v_{\max} = \lambda / (4 \cdot \delta t)$, dove λ è la lunghezza d'onda del sensore e δt è il *revisit time*. Nel caso delle missioni ESA, ERS ed ENVISAT, operanti in banda C, tale valore è limitato a soli 14.6 cm/yr. Nell'area di Bindo, se è vero che la strumentazione GPS ha misurato circa 20 cm in tre anni, è altresì evidente come vi siano intervalli temporali caratterizzati da forti accelerazioni, con velocità che localmente superano di molto il limite dei 14.6 cm/yr, come evidenziato a destra in Figura 3. Tali limitazioni sono molto meno stringenti nel caso del nuovo sensore in banda X, COSMO-SkyMed (CSK). Di notevole interesse sarà pertanto la cross-validazione con i dati SAR in banda X, una volta disponibili un numero di immagini CSK sufficiente a poter applicare tecniche di interferometria multitemporale.

Analisi interferometriche in banda X con SPINUA nell'area di Garzeno (Como)

Il versante in sinistra idrografica del torrente Albano (Provincia di Como, Alpi Meridionali, Italia) è interessato da grandi frane profonde che hanno storicamente prodotto danni a edifici e infrastrutture nei paesi di Garzeno e Catasco (cf. Figura 4 in alto a sinistra). Nonostante i danni fossero noti da anni, i fenomeni franosi che interessano il versante sono stati individuati e mappati solo recentemente, e non ancora studiati in modo approfondito. Solo lo scorso anno è iniziata un'attività di monitoraggio degli spostamenti nella frazione di Catasco. L'instabilità è caratterizzata dalla presenza di un grande corpo di frana parzialmente attivo, con movimenti prevalenti nella porzione orientale dei due paesi interessati dal fenomeno. Inoltre, la zona è frequentemente interessata da frane superficiali che si sviluppano nelle coltri superficiali del corpo principale (cf. Figura 4 in alto a destra). Nonostante l'orientazione del pendio, prevalente in direzione Nord-Sud, non sia ottimale per effettuare misure col SAR, data la geometria *side-looking* del sensore SAR e quindi la sua scarsa sensibilità lungo tale direzione, è stato comunque possibile stimare con l'algoritmo SPINUA sia la mappa di deformazione al suolo lungo la direzione di puntamento ascendente del satellite ENVISAT che quella lungo la LOS relativa ad orbite discendenti. In particolare, sono state processate 32 immagini ENVISAT-ASAR discendenti (Track 480, Frame 2673) e 30 ascendenti (Track 215, Frame 927) acquisite tra Ottobre-Dicembre 2004 e Gennaio 2009. I risultati sono mostrati in Figura 4 in basso. Tali andamenti sono in buon accordo con quelli ricavati in precedenza su dati ERS nell'ambito del progetto IFFI e liberamente consultabili in rete (catalogo web all'indirizzo <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/GeoIFFI/index.html>). Le differenze tra le velocità misurate lungo le LOS relative alle orbite ascendenti e discendenti sono spiegabili in funzione del differente angolo di *heading* e dell'andamento delle curve di livello mostrato in Figura 4 in alto a sinistra. Per il solo abitato di Garzeno è stata infine condotta una indagine preliminare processando 12 acquisizioni COSMO/SkyMED (CSK) ascendenti HIMAGE (Satellite CSKS1; Beam HI-03; POL: HH; angolo di incidenza: 29°) fornite dall'ASI nell'ambito del progetto MORFEO, acquisite tra Agosto 2008 e Giugno 2009. Le mappe CSK preliminari fin qui stimate con la catena SPINUA sono in linea con i risultati ottenuti in banda C in modalità ascendente. Il confronto è facilitato dai rispettivi valori degli angoli di incidenza, molto prossimi tra loro. La copertura dei Persistent Scatterers in banda C non è estesa all'intero abitato di Garzeno, lasciando scoperta la parte più occidentale del medesimo. I dati in banda X non solo hanno una copertura dell'abitato più omogenea (cf. Figura 5), ma mostrano movimenti al suolo lungo la LOS del sensore COSMO/SkyMED molto ridotti nella parte più occidentale del paese, in parte spiegabili in termini di una differente orientazione del pendio in tale porzione, come mostrato dalle curve di livello in Figura 4 in alto a sinistra. Tali deformazioni in banda X sono peraltro in linea con le misure ottenute col sensore RADARSAT sempre su orbite ascendenti, anch'esse consultabili dal catalogo IFFI.

L'elevata risoluzione in *ground range* dei dati COSMO/SkyMED (3m, contro i circa 30m di ERS/ENVISAT) agevola il monitoraggio di aree soggette a fenomeni di dissesto idrogeologico con un numero di immagini SAR inferiore alle 25-30 solitamente necessarie in banda C, consentendo così in teoria di ottenere risultati, ancorché preliminari, in tempi molto più rapidi e di rilevare pertanto possibili condizioni di rischio in tempi sensibilmente ridotti.

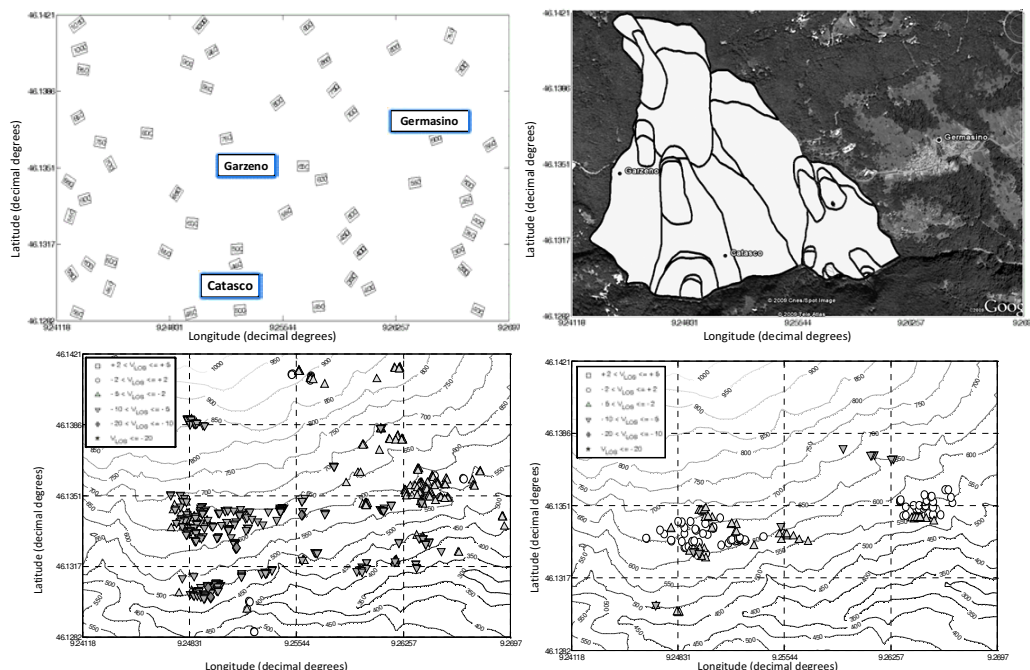


Figura 4. In alto a sinistra sono mostrate le isoipse sovrapposte ad una immagine ottica dell'area di Garzeno Germasino e Catasco. La mappa delle aree interessate da fenomeni franosi per i comuni di Garzeno e Catasco è mostrata in alto a destra. In basso sono mostrate le mappe di deformazione al suolo lungo le LOS relative ad orbite ascendenti (a sinistra) e discendenti (a destra) del sensore ENVISAT, espresse in mm/yr.

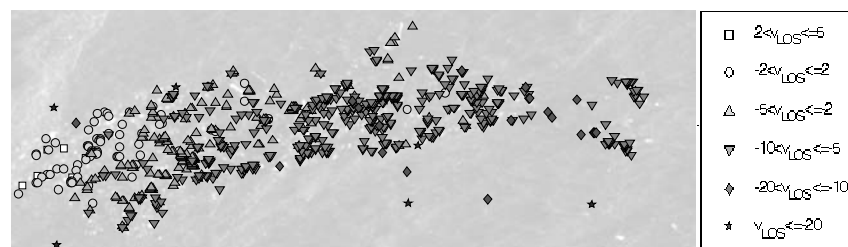


Figura 5. Mappa preliminare della componente LOS delle velocità al suolo in mm/yr stimate con SPINUA per il solo abitato di Garzeno processando 12 immagini COSMO/SkyMED ascendenti acquisite tra Agosto 2008 e Giugno 2009 (Modalità: HIMAGE; Satellite CSKSI; Beam HI-03; POL: HH; angolo di incidenza: 29°)

Riferimenti bibliografici

- Berardino P., Fornaro G., Lanari R. and Sansosti E. (2002), "A New Algorithm for Surface Deformation Monitoring based on Small Baseline Differential SAR Interferograms" IEEE Trans. Geosci. and Remote Sens., 40 (11): 2375-2383.
- Bovenga, F., Refice, A., Nutricato, R., Guerriero, L., and Chiaradia, M. (Sept. 2004), "SPINUA: a flexible processing chain for ERS / ENVISAT long term interferometry," Proceedings of ESA-ENVISAT Symposium, Salzburg, Austria.
- Guzzetti F, Manunta M, Ardizzone F, Pepe A, Cardinali M, Zeni G, Reichenbach P, Lanari R (2009), "Analysis of Ground Deformation Detected Using the SBAS-DInSAR Technique in Umbria, Central Italy" PURE AND APPLIED GEOPHYSICS, ISSN: 0033-4553, doi: 10.1007/s00024-009-0491-4