



Anas SpA

Direzione Centrale Progettazione

ASR 18/07
AUTOSTRADA A3 SALERNO – REGGIO CALABRIA

LAVORI DI AMMODERNAMENTO ED ADEGUAMENTO AL TIPO 1^a DELLE NORME CNR/80
Dal km 153+400 al km 173+900
MACROLOTTO 3 – PARTE 2[^]

PROGETTO ESECUTIVO

CONTRAENTE GENERALE

ital  SARC

IL RESPONSABILE DEL CONTRAENTE GENERALE

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

RTP: TECHNITAL S.p.A. (mandataria)
3TI PROGETTI ITALIA S.p.A.
PROMETEOENGINEERING.IT S.r.l.
STUDIO MELE ASSOCIATI S.r.l.
SOIL S.r.l.
SITECO S.r.l.



Dott. Ing. M. Raccosta

I RESPONSABILI DI PROGETTO

Dott. Ing. M. Raccosta
Ordine Ing. Verona n° A1665

Dott. Ing. S. Possati
Ordine Ing. Roma n° 20809

Dott. Ing. A. Focaracci
Ordine Ing. Roma n° 28894

Prof. Ing. M. Mele
Ordine Ing. Roma n° A10145

Dott. Ing. L. Albert
Ordine Ing. Milano n° 14725

Dott. Ing. A. Frascari
Ordine Ing. Bologna n° 7115/A

INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Vittorio Federici
Ordine dei Geologi del Lazio n. 784

IL RESPONSABILE AMBIENTALE

Dott. Massimiliano Bechini

IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN
FASE DI PROGETTAZIONE
Ing. Giovanni Maria Cepparotti
Ordine Ing. Viterbo n. 392

VISTO: ANAS S.p.A. – IL RESPONSABILE
DEL PROCEDIMENTO
Dott. Ing. Maurizio Aramini

STUDI ED INDAGINI

INDAGINI GEOGNOSTICHE

Report tecnico di Analisi PSP-IFSAR delle aree Gallarizzo e svincolo di Mormanno

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.
L0411B E 1301

NOME FILE

T00-GE01-GE0-RE21_A.dwg

REVISIONE

SCALA:

CODICE ELAB. T00GE01GE0RE21

A

D					
C					
B					
A	<i>EMISSIONE</i>	<i>20/02/2014</i>	<i>Trillo</i>	<i>Mammone</i>	<i>Possati</i>
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

WBS DI RIFERIMENTO : GE

PROGETTO:




**Terzo Macro-Lotto
Autostrada SALERNO –REGGIO C:
Analisi PSP-IFSAR**

TITOLO:

REPORT TECNICO

Numero di pagine 54

Work Package (WP): 2000

	Nome	Firma
Preparato da:	Francesco Trillo	
Verificato da:	Claudio Mammone	
Autorizzato da:	Maria Grazia Ciminelli (PJM)	

NOT CLASSIFIED

Page 1 of 54

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

STORIA DEL DOCUMENTO

ED.	DATA	PREPARATO	VERIFICATO	AUTORIZZATO	DESCRIZIONE
1	13/01/2014	Francesco Trillo	C.Mammone	M.G. Ciminelli	Prima versione

MODIFICHE AL DOCUMENTO

Versione	Pag.	Sezione	Modifiche
02	-	5.2.2	Modifiche alle didascalie delle figure
02	-	5.2.3 5.2.4	Aggiunta di due nuovi esempi dei risultati ottenuti

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

LISTA DI DISTRIBUZIONE INTERNA

NOME	SOCIETA'
Francesco Trillo	e-GEOS
Maria Grazia Ciminelli	e-GEOS
Claudio Mammone	e-GEOS

LISTA DI DISTRIBUZIONE ESTERNA

NOME	SOCIETA'
Chiappini	Italsarc
Castelli	3TI ITALIA SpA - ROMA
Rottaris	AK Ingegneria Geotecnica s.r.l.

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

Indice

1.	INTRODUZIONE	5
1.1.	Scopo	5
1.2.	Struttura del documento	5
1.3.	Documenti di riferimento	5
1.4.	Documenti scientifici	5
1.5.	Acronimi e definizioni	7
2.	SOMMARIO	8
3.	MISURE DELLA DEFORMAZIONE TRAMITE TECNICHE DI INTERFEROMETRIA SAR	12
3.1.	Descrizione della metodologia.	12
3.2.	Prodotti PSP-IFSAR	18
3.2.1.	Prodotto Shapefile.	19
3.2.2.	KMZ products	20
4.	DESCRIZIONE DATI	22
4.1.	Area d'interesse	22
4.2.	Input dataset	22
4.2.1.	Dataset ERS	22
4.2.2.	Dataset ENVISAT	28
4.2.3.	Dataset COSMO-SkyMed	32
5.	RISULTATI	36
5.1.	Visione d'insieme dei risultati ottenuti	36
5.2.	Esempi e confronti fra le misure ottenute	40
5.2.1.	Svincolo autostradale di Mormanno: area a Nord della galleria	41
5.2.2.	Area del parcheggio a Nord dello svincolo autostradale di Mormanno	44
5.2.3.	Svincolo autostradale di Mormanno	48
5.2.4.	Svincolo autostradale di Mormanno: area centrata nel punto di Latitudine 39,902587°e Longitudine 15,960461°	52

1. INTRODUZIONE

1.1. Scopo

Lo scopo del presente documento è quello di descrivere l'analisi interferometrica effettuata da e-Geos per conto di Itlasarc [RD1] nell'area del terzo macro-lotto dell'autostrada Salerno-Reggio Calabria. Nel documento sono descritti in maniera sintetica anche i principali risultati ottenuti ed evidenziati alcuni esempi significativi.

Non è obiettivo del presente documento fornire un'analisi geologica del sito. A questo scopo, i prodotti forniti costituiscono uno strato informativo di rilevante importanza da integrare con dati in sito e informazioni complementari per una completa interpretazione dei fenomeni osservati.

1.2. Struttura del documento

Nella sezione successive si riportano:

- una breve introduzione al lavoro svolto;
- una breve introduzione ai principi dell'interferometria SAR
- le informazioni relative ai dati utilizzati per l'analisi;
- una breve analisi dei risultati e confronti tra i tre risultati ottenuti;

1.3. Documenti di riferimento

[RD1] Proposta Tecnico-economica per la realizzazione di un servizio di analisi dei movimenti del terreno nell'area del terzo macro-lotto della Salerno-Reggio Calabria tramite tecniche interferometriche. e-Geos CMM-PRO-13-127/3 del 13 Settembre 2013

1.4. Documenti scientifici

1. M. Costantini, S. Falco, F. Malvarosa, F. Minati (2008), A new method for identification and analysis of persistent scatterers in series of SAR images, in Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS '08), Boston, Ma, USA, 6-11 July 2008.
2. M. Costantini, S. Falco, F. Malvarosa, F. Minati and F. Trillo (2009), Method of persistent scatterer pairs (PSP) and high resolution SAR interferometry, in Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS '09), Cape Town, South Africa, July 2009.

3. M. Costantini, S. Falco, F. Malvarosa, F. Minati, F. Trillo, F. Vecchioli (2010), Persistent Scatterer Pairs (PSP) Approach in Very High Resolution SAR Interferometry, in EUSAR 2010 – 8th European Conference on Synthetic Aperture Radar, 7-10 June 2010
4. M. Costantini, T. Chen, Y. Xu, F. Trillo, F. Vecchioli, L. Kong, D. Jiang, Q. Hu (2011), High resolution ground deformations monitoring by COSMO-SkyMed PSP SAR interferometry: accuracy analysis and validation, in Proceedings of the ESA International Fringe 2011 Workshop, Frascati, Italy, Sept. 2011.
5. M. Costantini, F. Malvarosa, F. Minati (2012), A General Formulation for Redundant Integration of Finite Differences and Phase Unwrapping on a Sparse Multidimensional Domain, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 50, no. 3, pp. 758-768, doi 10.1109/TGRS.2011.2162630, 2012.

1.5. Acronimi e definizioni

Acronyms	Description
AOI	Area of Interest
Bn	Normal Baseline
Bt	Temporal Baseline
CSK	Cosmo-SkyMed
Dc	Doppler Centroid
GIS	Geographic Information System
LOS	Line of Sight
PRF	Pulse Repetition Frequency
PS	Persistent Scatterers
PSP-IFSAR	Persistent Scatterers Pair- SAR Interferometry
SAR	Synthetic Aperture Radar

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

2. SOMMARIO

Il seguente documento ha lo scopo di presentare i risultati ottenuti dall'analisi storica dei fenomeni di deformazione del terreno che hanno interessato il tratto del terzo macro-lotto dell'autostrada A3 Salerno - Reggio Calabria. L'area di interesse (Figura 1) ha un'estensione di circa 13 km².



Figura 1: Area d'interesse totale(riquadro in rosso); area di interesse minima (poligono giallo).

L'analisi è stata effettuata utilizzando la tecnica interferometrica proprietaria di e-GEOS, chiamata PSP-IFSAR, a partire da dati acquisiti dai seguenti sistemi satellitari: ERS (periodo 1992 - 2000), Envisat (periodo 2003 - Luglio 2010) e COSMO-SkyMed (periodo 2011 - 2013).

Le tabelle sottostanti riportano le caratteristiche principali dei tre set di dati utilizzati.

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

Sensore	ERS1/ERS2
Geometria d'acquisizione	Descending
Angolo d'Incidenza	23°
Polarizzazione	VV
Impronta a terra di un singolo frame ERS1/ERS2	~ 100 x 100 km ²
Risoluzione a terra dell'immagine SAR	5 x 25 m ²
Numero di scene	78
Copertura temporale	Maggio 1992 – Dicembre 2000

Sensore	Envisat
Geometria d'acquisizione	Ascending
Angolo d'Incidenza	23°
Polarizzazione	VV
Impronta a terra di un singolo frame Envisat	~ 100 x 100 km ²
Risoluzione a terra dell'immagine SAR	5 x 25 m ²
Numero di scene	42
Copertura temporale	Maggio 2003 – Luglio 2010

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

Sensore	COSMO-SkyMed
Geometria d'acquisizione	Ascending
Angolo d'Incidenza	33,97°
Polarizzazione	HH
Impronta a terra di un singolo frame COSMO-SkyMed HIMAGE	~ 40 x 40 km ²
Risoluzione a terra dell'immagine SAR	3 x 3 m ²
Numero di scene	41
Copertura temporale	Maggio 2011 – Agosto 2013

La tecnologia utilizzata permette di misurare spostamenti del terreno con accuratezza millimetrica, elaborando i dati acquisiti dai satelliti equipaggiati con sensori SAR. Le misure sono fornite su punti sparsi della area di interesse oggetto dell' analisi (da identificare), corrispondenti a elementi a terra che hanno proprietà di backscattering del segnale radar stabili nel tempo. Questi elementi, chiamati Persistent Scatterers (PS), si trovano solitamente in aree non coltivate e scarsamente vegetate. In particolare, corrispondono a strutture artificiali o naturali come dighe, palazzi, chiese, rocce esposte, ecc..

I sensori SAR montati a bordo dei satelliti possono osservare una determinata area volando in due direzioni:

- l'orbita ascendente, in cui il satellite percorre la sua orbita approssimativamente nella direzione Sud-Nord;
- l'orbita discendente, in cui il satellite percorre la sua orbita approssimativamente nella direzione Nord-Sud.

Per ciascuna di queste direzioni di volo si può riprendere l'area di interesse guardando verso sinistra (left-looking) o verso destra (right-looking). La combinazione di orbita e lato di osservazione definiscono la geometria di acquisizione della scena. La scelta di effettuare l'analisi dei movimenti in un'area con geometrie complementari (ascendente e discendente, guardando dallo stesso lato, oppure right-looking e left-looking, volando nella stessa direzione) è legata alle caratteristiche topografiche dell'area e alla modalità di osservazione dei sensori SAR. Questi sensori osservano la scena a terra con un certo angolo e questo, unito alla topografia dell'area, implica la presenza di distorsioni geometriche nelle immagini SAR (fenomeni

di layover e shadow). Nelle aree in cui queste distorsioni sono forti non possono essere selezionati punti di misura. Due geometrie d'osservazione complementari acquisiscono immagini con distorsioni geometriche differenti su una stessa area a terra: in particolare, se una zona è afflitta dal fenomeno di layover (o shadow) in una geometria non lo sarà nell'altra e viceversa. Inoltre l'utilizzo di due geometrie permette di ottenere misure degli spostamenti lungo direzioni di vista differenti.

L'area d'interesse, pur essendo un'area collinare, non presenta un'orografia particolarmente complessa e pertanto, una qualsiasi delle geometrie di acquisizione può essere usata con successo per l'analisi interferometrica.

Le Figura 2 mostra le mappe di velocità media di spostamento misurata utilizzando i dati satellitari ERS, ENVISAT e COSMO-SkyMed. Dalle immagini è possibile evidenziare diverse aree, alcune delle quali in prossimità di due viadotti del tratto della Salerno – Reggio Calabria, caratterizzate da una velocità media dello spostamento sensibilmente diversa da zero.

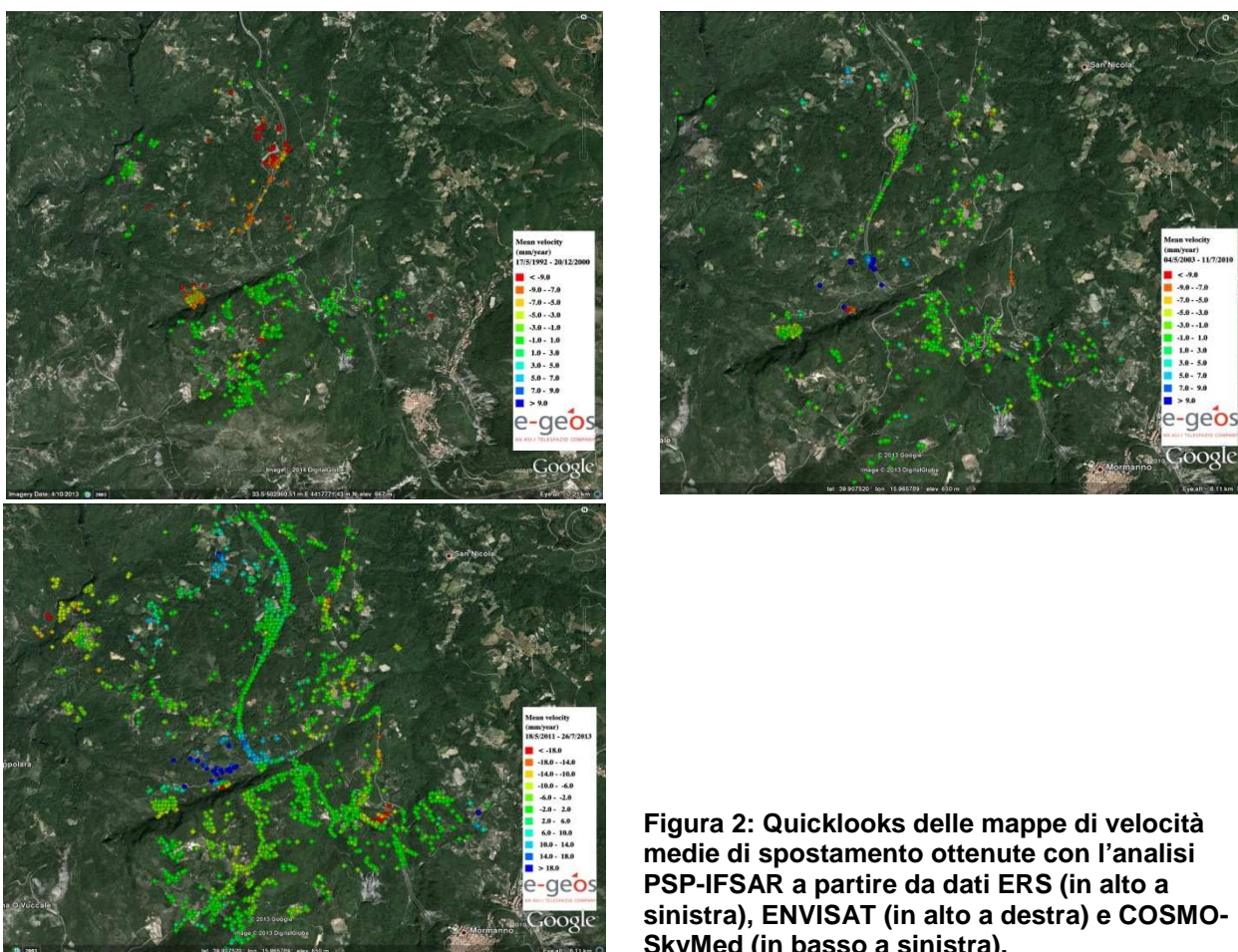


Figura 2: Quicklooks delle mappe di velocità medie di spostamento ottenute con l'analisi PSP-IFSAR a partire da dati ERS (in alto a sinistra), ENVISAT (in alto a destra) e COSMO-SkyMed (in basso a sinistra).

3. MISURE DELLA DEFORMAZIONE TRAMITE TECNICHE DI INTERFEROMETRIA SAR

3.1. Descrizione della metodologia.

L'interferometria SAR satellitare è una tecnica molto efficace per la misura accurata di movimenti lenti del terreno dovuti a subsidenza, frane, terremoti e fenomeni vulcanici. Grazie alla tecnologia IFSAR è possibile misurare spostamenti del terreno con precisione millimetrica, a partire da dati acquisiti da satelliti che orbitano intorno alla terra ad una altezza media di circa 600 km.

Il principio fondamentale alla base di questa tecnica è che la differenza di fase tra due immagini SAR acquisite in tempi diversi e con angoli di vista leggermente differenti è legata alla topografia della scena osservata nonché ai movimenti avvenuti nell'intervallo di tempo intercorso tra le due acquisizioni. Il segnale retrodiffuso dalla scena osservata – immagine SAR – è un segnale coerente, composto pertanto da ampiezza e fase. L'ampiezza dipende dalla lunghezza d'onda del segnale trasmesso, dalla geometria di osservazione e dalle caratteristiche fisiche della scena osservata, la fase dipende, invece, dalla distanza tra l'antenna radar e il target e dalle caratteristiche del mezzo di trasmissione e del target stesso.

Anche se l'immagine di ampiezza (a sinistra) presenta differenze significative rispetto ad un'immagine ottica, le caratteristiche della scena osservata sono ancora chiaramente visibili, è possibile riconoscere una zona urbana (area bianca) in alto a sinistra, un corpo d'acqua (zona nera) al centro. Al contrario la fase di una singola immagine SAR (sulla destra) sembra contenere solo rumore.

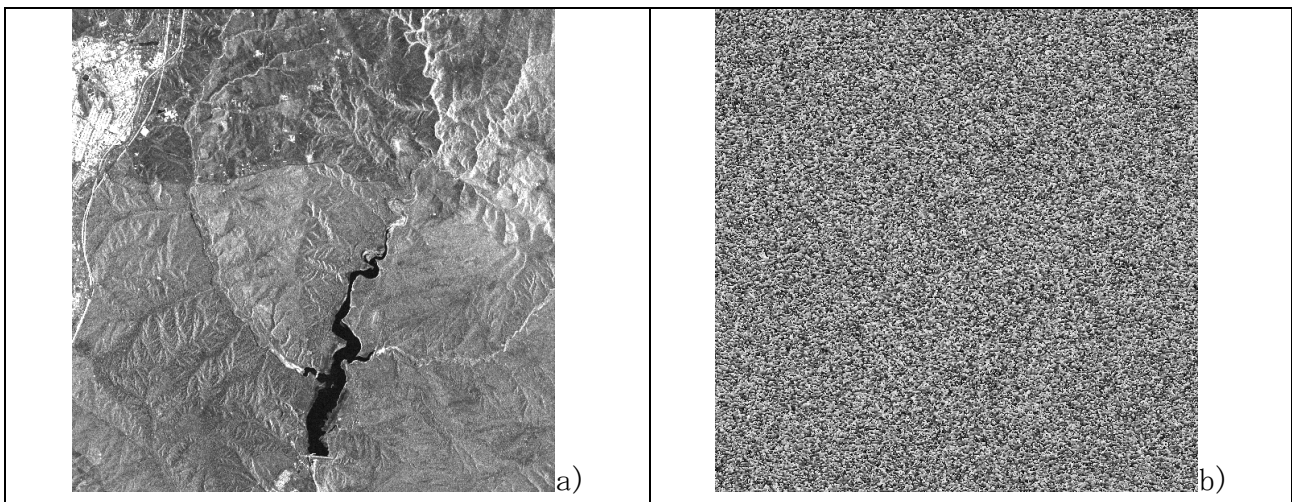


Figura 3: Esempio di ampiezza (a) e fase (b) di un'immagine SAR. Nell'immagine d'ampiezza si riconosce la topografia, un'area urbana in alto a sinistra e un lago al centro. L'immagine di fase, invece, sembra contenere solo rumore.

La situazione cambia notevolmente se consideriamo la differenza di fase, "fase interferometrica", tra due immagini SAR, ottenute osservando la stessa scena con due angoli di vista leggermente diversi. Assumendo che le caratteristiche del mezzo di trasmissione e del target non cambino da un'acquisizione all'altra, la fase interferometrica risulta proporzionale alla differenza tra la lunghezza dei percorsi seguiti dal segnale elettromagnetico durante le due acquisizioni. La figura sottostante mostra un esempio di fase interferometrica; è evidente la forte correlazione che esiste tra fase e topografia della scena osservata. Le transizioni dal rosso al blu visibili in figura prendono il nome di "frange interferometriche" e rappresentano un ciclo di fase, cioè una rotazione del segnale di fase di 360° . La sensibilità della fase interferometrica alla topografia dipende dalla distanza tra i due satelliti negli istanti di acquisizione delle due immagini SAR. Quando questa distanza, che prende il nome di "baseline interferometrica", è nulla, la fase interferometrica è del tutto insensibile alla topografia e risulta anch'essa identicamente nulla; all'aumentare della componente della baseline interferometrica ortogonale alla direzione di vista del radar, cresce la sensibilità alla topografia ed aumenta la frequenza delle frange interferometriche. E' necessario garantire che la componente ortogonale della baseline interferometrica rimanga al di sotto della "baseline critica" in quanto, per valori maggiori o uguali a tale valore, le frange risultano indistinguibili e la fase misurata è inutilizzabile.

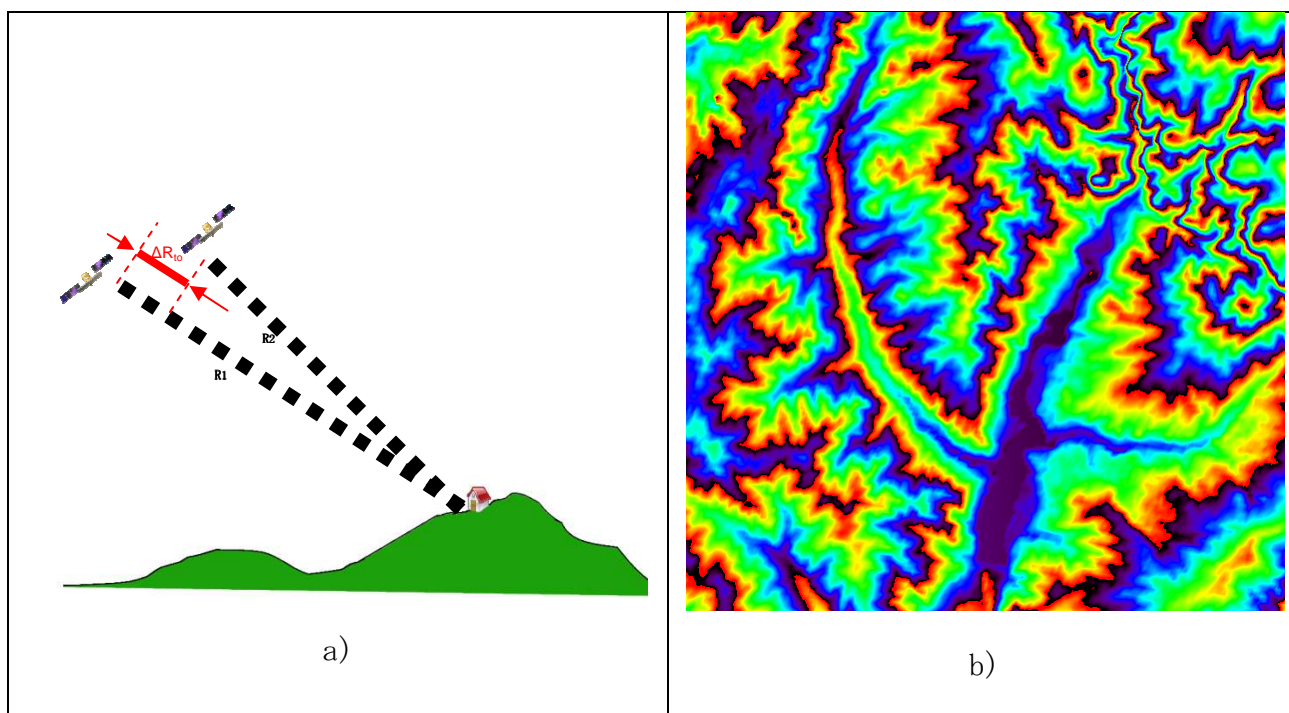


Figura 4: Modello geometrico dell'acquisizione interferometrica (a) e un esempio di fase interferometrica SAR (b) corrispondente all'immagine d'ampiezza SAR riportata nella figura precedente. La topografia è chiaramente visibile nella fase inteferometrica.

Conoscendo il contributo topografico che caratterizza la scena osservata, è possibile rimuoverlo dall'interferogramma ed isolare le altre componenti del segnale di fase tra cui la parte direttamente correlata ad un'eventuale deformazione millimetrica della superficie terrestre intercorsa tra le due acquisizioni.

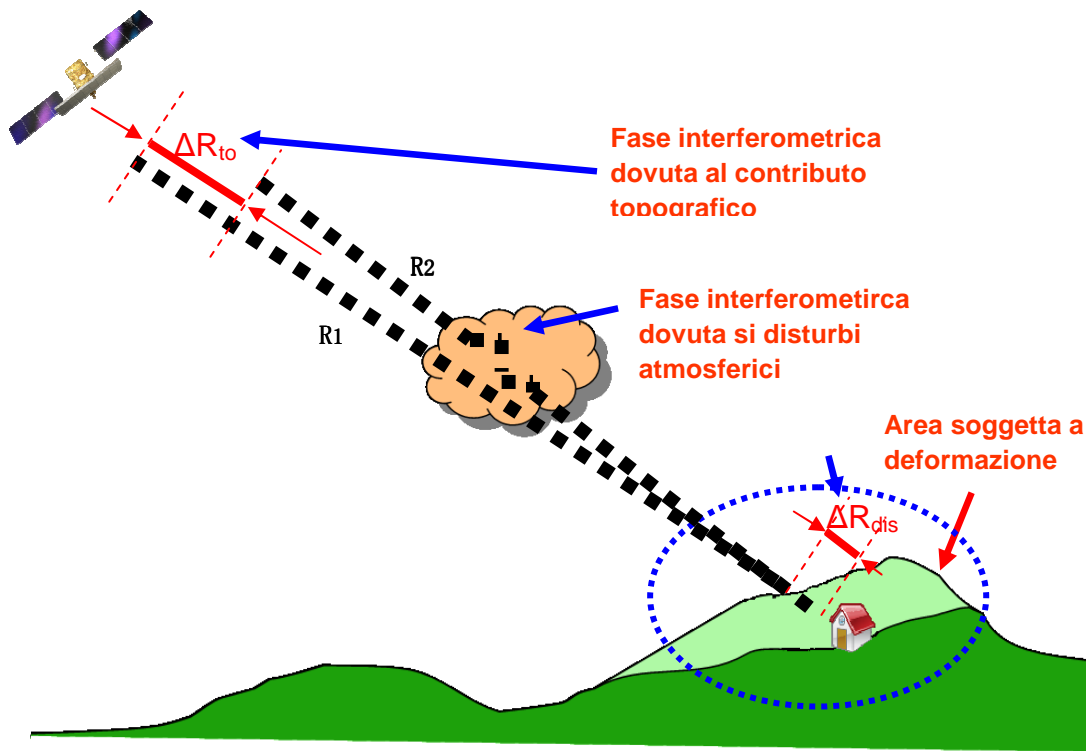


Figura 5: Modello di acquisizione interferometrica. I cambiamenti delle condizioni atmosferiche tra le due acquisizioni introducono dei ritardi di fase che alterano la misura della topografia o dello spostamento.

La fase interferometrica ϕ , a valle della rimozione del contributo topografico, può essere, pertanto, espressa come:

$$\phi = \frac{4\pi}{\lambda} \delta + c_q h + \phi_a + \phi_n$$

dove con λ indichiamo la lunghezza d'onda del segnale radar, con δ lo spostamento del target avvenuto tra le due acquisizioni, con c_q un coefficiente correlato alla differenza tra le due geometrie di acquisizione, con h l'elevazione del target, con ϕ_a il ritardo di fase associato ai cambiamenti delle condizioni atmosferiche tra una acquisizione e l'altra e con ϕ_n il rumore nella misura di fase.

L'estrazione dell'informazione di spostamento δ dalla fase interferometrica è un compito estremamente complesso. Infatti, cambiamenti delle caratteristiche geometriche o fisiche del target, paragonabili con la lunghezza d'onda del segnale radar, introducono variazioni di fase che possono superare il contributo dato dalla distanza tra radar e target rendendo il segnale di fase del tutto inutilizzabile. Inoltre, il segnale di fase è "arrotondato", cioè può essere misurato soltanto all'interno di un ciclo, ovvero tra 0° e 360° ; quindi, per

recuperare le informazioni di spostamento, è necessario stimare ed aggiungere alla fase misurata un numero appropriato di cicli.

Questi sono solo alcuni dei motivi per cui tramite l'interferometria SAR si riescono ad ottenere misure affidabili solo su un sottoinsieme di punti sparsi all'interno della scena osservata. Questi punti, chiamati Permanent Scatterers (PS), sono identificabili solo in fase di elaborazione e corrispondono ad oggetti a terra che hanno un comportamento, dal punto di vista del segnale radar retrodiffuso, stabile nel tempo. I PS si distribuiscono normalmente in zone non coltivate, scarsamente vegetate ed urbanizzate. In particolare si addensano in corrispondenza di strutture artificiali o naturali, come edifici, rocce, ecc. La figura sottostante riporta un esempio di come i PS si distribuiscono spazialmente.



Figura 6: Esempio di distribuzione dei PS (pallini rossi) sovrapposti a un'immagine ottica. I PS corrispondono a aree urbane, strade ferrate, autostrade, singoli edifici e infrastrutture. Non ci sono punti in corrispondenza di aree coltivate e vegetate o di corpi d'acqua.

Un altro aspetto fondamentale delle misure interferometriche è che esprimono la proiezione del movimento tridimensionale del target lungo la sola direzione di vista del sensore (LOS - Line of sight - vedi Figura 7). Per comprendere meglio il significato delle misure interferometriche prendiamo in considerazione un

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

Page 15 of 54

esempio

(vedi

Figura

8

e

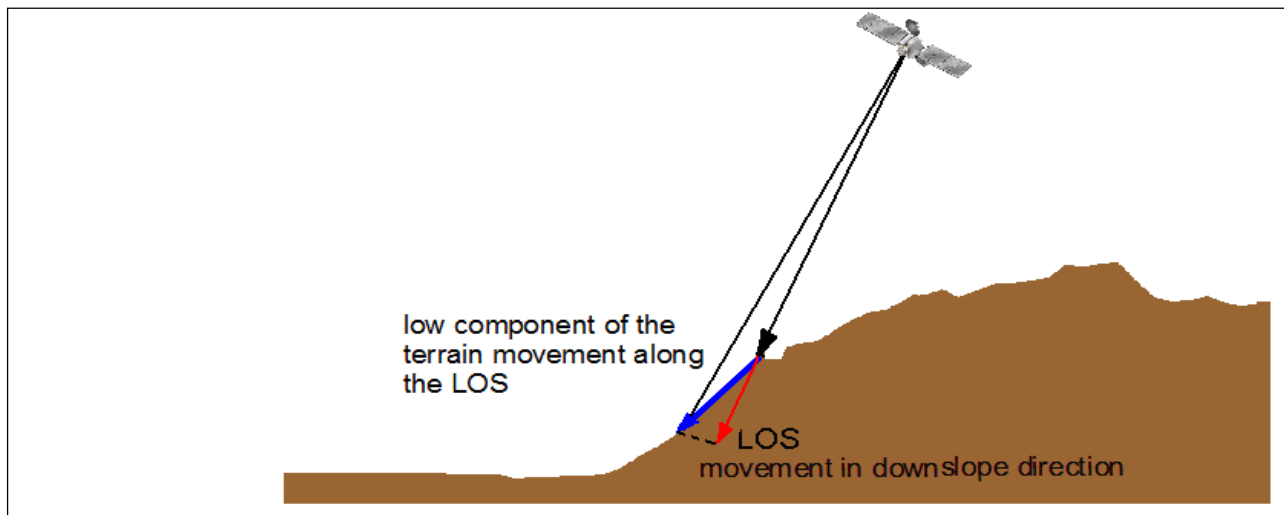


Figura 9).

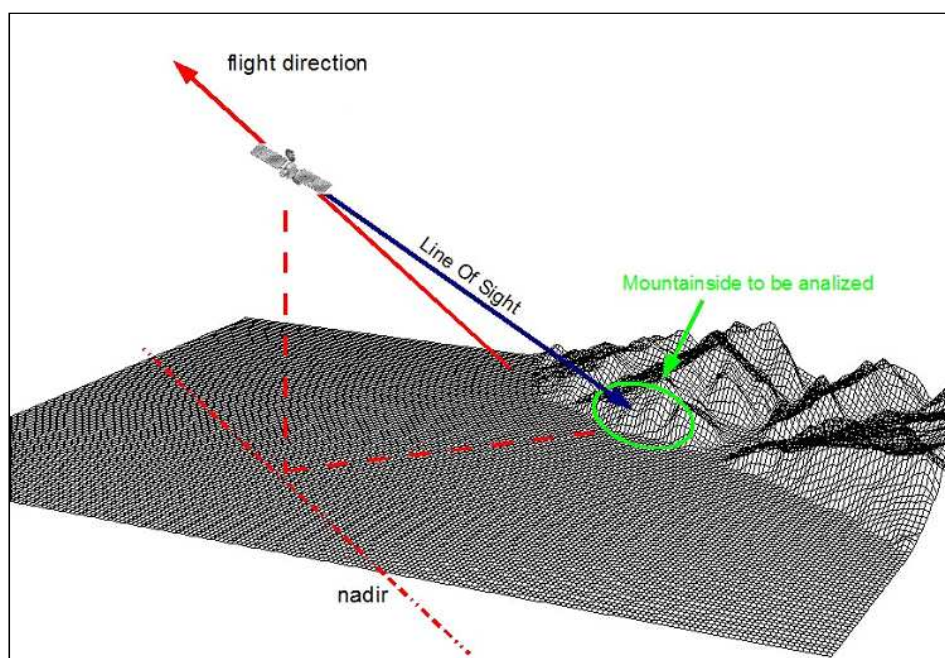


Figura 7: Direzione di vista del sensore.

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

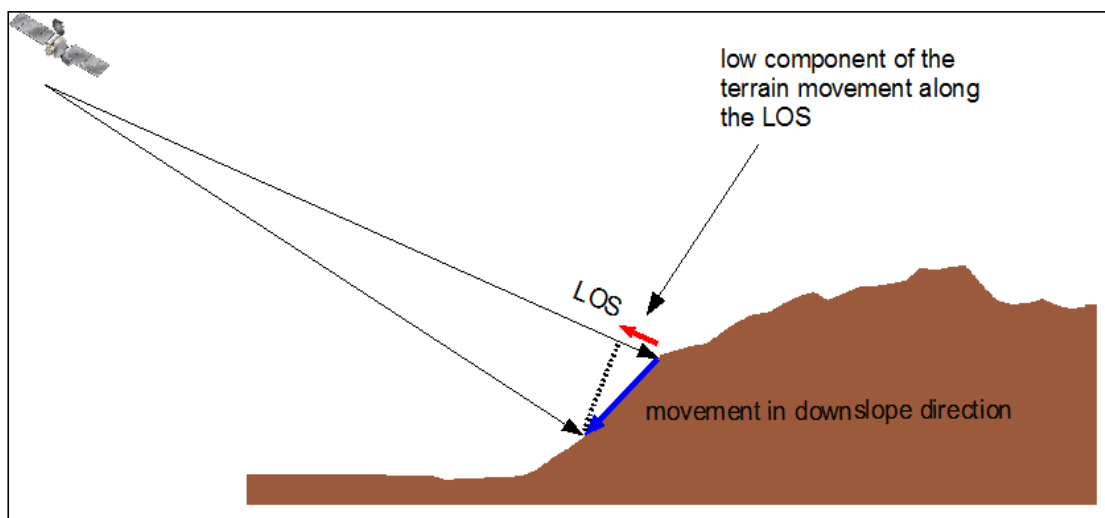


Figura 8: Il segmento rosso rappresenta la componente dello spostamento del terreno misurata dalla tecnica PSP-IFSAR nel caso di acquisizione in geometria ascendente.

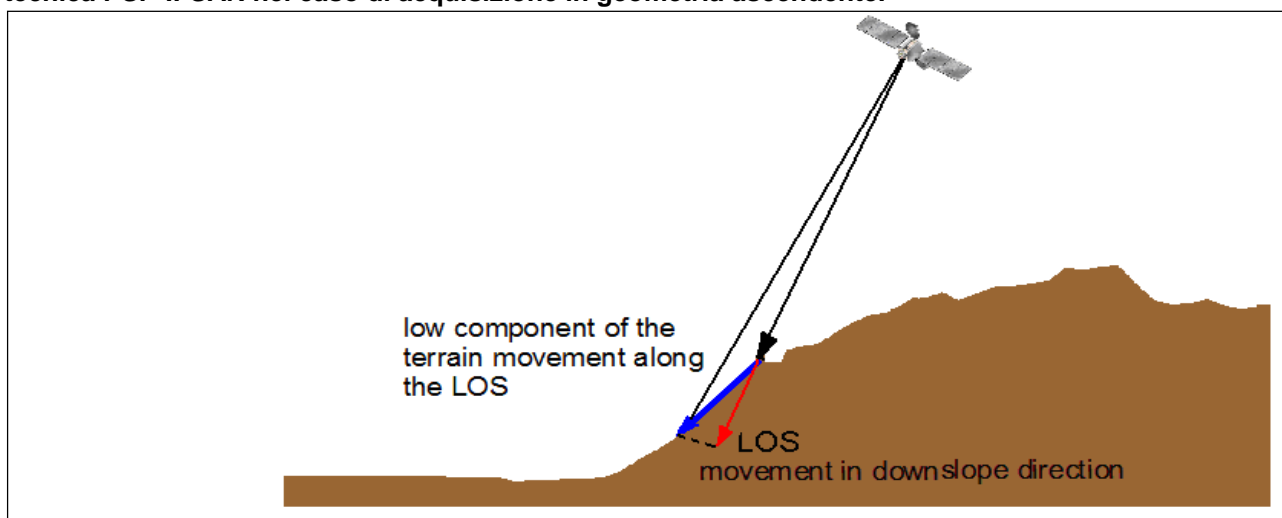


Figura 9: Il segmento rosso rappresenta la componente dello spostamento del terreno misurata dalla tecnica PSP-IFSAR nel caso di acquisizione in geometria descending.

Le figure qui sopra mostrano lo stessa frana osservata da due diverse posizioni; in Figura 8, la componente dello spostamento misurabile è diretta verso il sensore; (per convenzione un avvicinamento del target al sensore corrisponde ad un movimento positivo). In figura

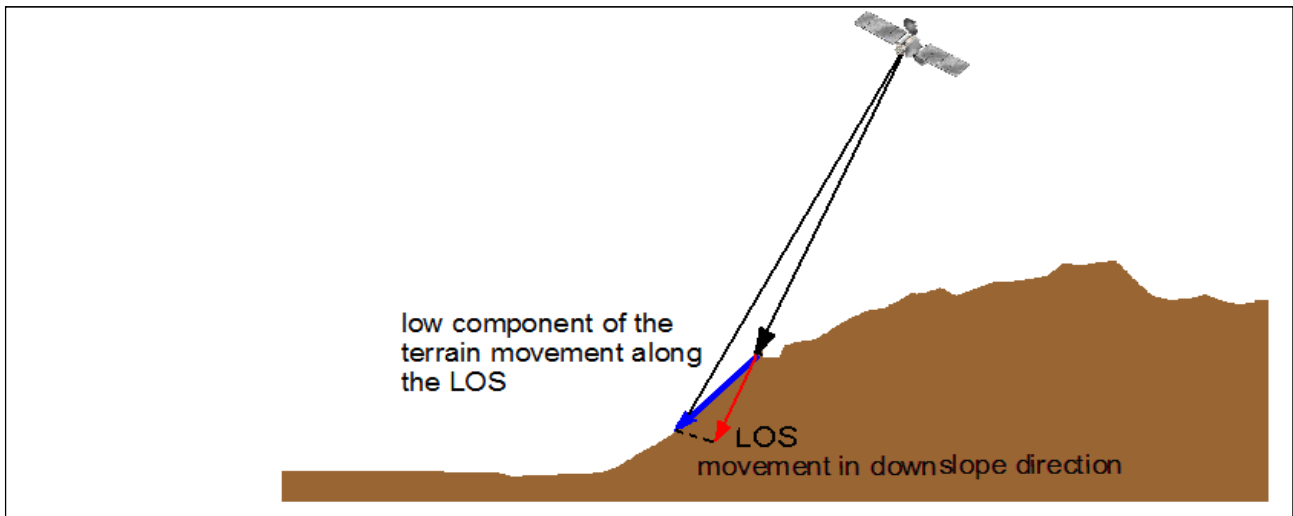


Figura 9, invece, la proiezione dello stesso spostamento lungo la linea di vista del sensore è in direzione opposta rispetto al sensore (per convenzione un allontanamento del target dal sensore corrisponde ad un movimento negativo). Questo esempio mostra chiaramente come, cambiando il punto di osservazione, la misura interferometrica di uno stesso fenomeno franoso possa cambiare significativamente (passando, in questo caso, da un valore positivo ad un valore negativo). E' evidente, pertanto, che per interpretare correttamente i risultati ottenuti da un'analisi interferometrica è fondamentale conoscere i coseni direttori (ovvero i parametri che identificano precisamente una direzione nello spazio) della linea di vista del sensore (LOS). Con i sistemi satellitari attualmente disponibili è possibile eseguire analisi interferometriche utilizzando due geometrie di acquisizione complementari (ascendente/discendente guardando nella stessa direzione o sinistra/destra volando nella stessa direzione). Combinando il risultato di due analisi complementari su una stessa area, si riescono ad isolare la componente dello spostamento lungo la direzione est (E) e quella lungo la direzione verticale (H). Non è possibile, invece, misurare un'eventuale componente lungo la direzione nord (N) poiché, a causa delle orbite che percorrono, i satelliti SAR sono del tutto ciechi a movimenti in direzione nord-sud.

3.2. Prodotti PSP-IFSAR

I prodotti dell'elaborazione PSP-IFSAR sono stati consegnati in due diversi formati:

ESRI shapefile (Database georiferito, in formato SHAPE)

KML

Ognuno dei tre prodotti dell'elaborazione costituisce un insieme di elementi del terreno (naturalmente presenti e/o corrispondenti a strutture antropiche), denominati Persistent Scatterer (PS) a cui sono associati una serie di attributi il cui dettaglio è fornito nei successivi paragrafi. Le misure di movimento sono relative a una data e un punto di riferimento identificato fra i punti di misura appartenenti al set di PS. Ad ognuno dei PS identificati sono associate le seguenti informazioni:

Codice: questo attributo ha lo scopo di identificare in modo univoco ogni PS, associando a questo una stringa alfanumerica.

Posizione: l'elaborazione interferometrica consente di ottenere informazioni accurate oltre che sulla localizzazione planare dei punti anche sulla loro elevazione. Sarà quindi restituita la posizione tridimensionale di ogni punto PS identificato. I PS costituiranno un insieme sparso di punti, corrispondenti tipicamente ad aree urbane, manufatti (edifici, aree industriali, costruzioni rurali), linee di trasporto ed infrastrutture (porti, aeroporti, ferrovie, autostrade), aree aride o scarsamente vegetate. La posizione come tutte le altre misure ottenute è relativa e non assoluta. Al fine di facilitare l'associazione fra punti PS e oggetti a terra, la posizione assoluta è restituita allineando la posizione dei PS identificati con le ortofoto messe a disposizione da Google Earth.

Coerenza: la coerenza è un indice normalizzato tra 0 ed 1, che rappresenta il grado di aderenza delle misure di fase interferometrica al modello del segnale SAR considerato per la identificazione dei punti PS. Quanto più il numero è prossimo ad 1 tanto più il segnale misurato è in accordo con il modello adottato. Un valore basso non significa necessariamente che la misura sia di qualità inferiore, ma semplicemente che il moto presenta caratteristiche che non si adattano al modello scelto. Tutti i punti PS restituiti hanno comunque superato dei criteri di qualità e sono quindi ritenuti affidabili. In base a quanto sopra esposto la coerenza può essere utilizzata per identificare delle aree con comportamenti anomali o come informazione di supporto in spazializzazioni/interpolazioni del dato puntuale.

Velocità media: questo attributo rappresenta la velocità media dei PS, misurata lungo la direzione di vista del sensore e rispetto ad un punto PS di riferimento ritenuto stabile, relativa all'intervallo di tempo comprendente tutte le acquisizioni elaborate.

Deviazione standard associata alla stima della velocità media dei PS: questa è una misura statistica sulla rumorosità attesa nella stima della velocità media dei PS rispetto al punto di riferimento selezionato. Questa è funzione della distribuzione spaziale dei punti PS, della rete identificata durante l'elaborazione che li connette, delle stime relative agli artefatti atmosferici e del rumore presente su ogni singola immagine e del punto PS di riferimento stesso. Questa mappa presenta valore nullo in corrispondenza del punto di riferimento e solitamente aumenta allontanandosi da questo.

Serie temporale completa di spostamento: questo attributo riporta lo spostamento dei PS, lungo la linea di vista del sensore e rispetto ad un punto PS di riferimento ritenuto stabile, avvenuto in corrispondenza di ciascuna acquisizione analizzata. Questa informazione è la più completa, da cui possono essere derivate tutte le altre, e supporta l'analisi di dettaglio della deformazione di ciascun punto PS di misura consentendo lo studio del comportamento durante l'intero arco temporale in esame.

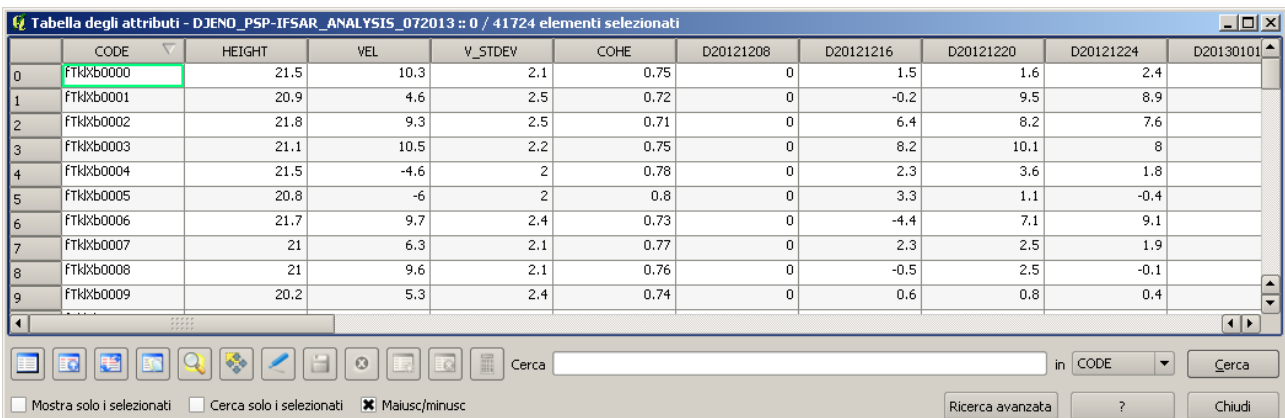
3.2.1. Prodotto Shapefile.

Con shapefile si indica di norma un insieme di file con estensione “.shp, .dbf, .shx”, che hanno in comune il prefisso dei nomi. Gli shapefile descrivono spazialmente punti, polilinee, poligoni utilizzabili, ad esempio, per rappresentare strade, pozzi, fiumi, laghi, etc.

Gli shapefile che contengono i risultati dell'analisi PSP-IFSAR sono di tipo punto e per ogni PS contengono i seguenti campi:


- **CODE:** codice alfanumerico di identificazione del PS
- **HEIGHT:** altezza del PS riferita all'ellissoide WGS84 (unità di misura: m)
- **VEL:** velocità media dello spostamento del PS nel periodo di analisi (unità di misura: mm/anno)
- **V_STDEV:** stima della deviazione standard della velocità media dello spostamento del PS (unità di misura mm/anno)
- **COHE:** valore compreso tra 0 to 1 che rappresenta la coerenza temporale del PS. Tanto più la coerenza si avvicina ad uno tanto maggiore è l'affidabilità del PS. (unità di misura: adimensionale)
- **DYYYYMMDD:** lo shapefile contiene per ogni PS un campo di questo tipo per ognuna delle scene utilizzate per l'analisi PSP-IFSAR. Ogni attributo contiene il valore dello spostamento del PS alla data DD / MM / YYYY. (unità di misura mm)

La Figura 10 mostra la struttura degli attributi associati ad ognuno dei PS selezionati.



	CODE	HEIGHT	VEL	V_STDEV	COHE	D20121208	D20121216	D20121220	D20121224	D20130101
0	FTKxb0000	21.5	10.3	2.1	0.75	0	1.5	1.6	2.4	
1	FTKxb0001	20.9	4.6	2.5	0.72	0	-0.2	9.5	8.9	
2	FTKxb0002	21.8	9.3	2.5	0.71	0	6.4	8.2	7.6	
3	FTKxb0003	21.1	10.5	2.2	0.75	0	8.2	10.1	8	
4	FTKxb0004	21.5	-4.6	2	0.78	0	2.3	3.6	1.8	
5	FTKxb0005	20.8	-6	2	0.8	0	3.3	1.1	-0.4	
6	FTKxb0006	21.7	9.7	2.4	0.73	0	-4.4	7.1	9.1	
7	FTKxb0007	21	6.3	2.1	0.77	0	2.3	2.5	1.9	
8	FTKxb0008	21	9.6	2.1	0.76	0	-0.5	2.5	-0.1	
9	FTKxb0009	20.2	5.3	2.4	0.74	0	0.6	0.8	0.4	

Figura 10: Struttura degli attributi associati ad ognuno dei PS selezionati.

	<p>Macro-lotto 3 Autostrada SA-RC: Analisi PSP-IFSAR</p>	<p>Documento: GSP-TN-265.335-01 Versione: 02 Data: 20/01/2014</p>
---	--	---

3.2.2. KMZ products

I prodotti PSP_IFSAR sono stati consegnati anche in formato KMZ. Il KMZ è particolarmente utile per scopi di visualizzazione; consente, infatti, di visualizzare i punti di misura con GoogleEarth, Maps and Mobile e qualsiasi altro software di visualizzazione che implementi la decodifica di file KMZ.

Il contenuto della directory principale, che contiene tutte le informazioni relative ai PS selezionati, è il seguente.

1. la sottodirectory *data* nella quale si trovano tutti i file necessari ad una corretta visualizzazione dei PS,
2. il file *.kmz* da caricare in GoogleEarth.

Per visualizzare i dati è sufficiente cliccare sul file *.kmz* contenuto nella directory principale; tutti gli altri file (di ausilio alla visualizzazione) non vanno modificati in alcun modo.

Per garantire elevate prestazioni di visualizzazione e navigabilità dei dati in GoogleEarth, i PS sono stati suddivisi in una struttura piramidale. Il numero di PS visualizzati varia, pertanto, in funzione del livello di zoom con cui si esamina l'area.

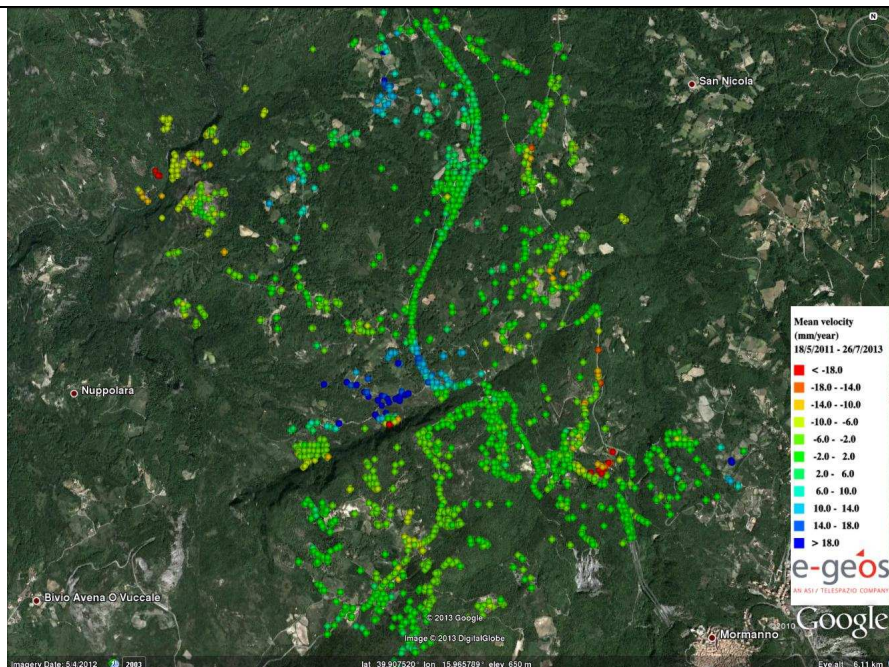
Per visualizzare le informazioni associate ad ogni singolo PS è sufficiente cliccare su di esso. Così facendo apparirà sullo schermo una finestra (balloon) rettangolare che conterrà le seguenti informazioni:

- il codice identificativo del PS
- l'elevazione del PS espressa rispetto all'ellissoide WGS84
- la velocità media dello spostamento del PS
- la stima della deviazione standard della velocità media dello spostamento del PS
- un grafico nel quale verrà visualizzata l'evoluzione dello spostamento del PS

E' importante sottolineare che non c'è corrispondenza tra il codice identificativo utilizzato nello shapefile e quello utilizzato nel KMZ.

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.



Code: ML51X51X51_2AD

Mean vel: 1.2 mm/year

Height: 12.46 m

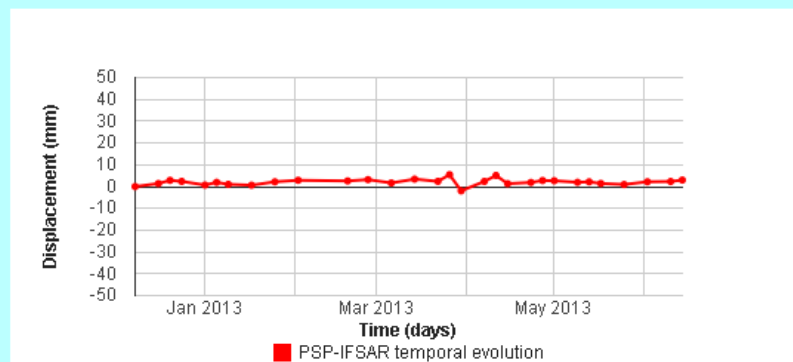


Figura 11: Esempio di visualizzazione con Google Earth. La figura in alto mostra i PS sovrapposti ad un immagine ottica messa a disposizione da Google Earth. Il colore di ogni PS ne rappresenta il valore di velocità media di spostamento. L'immagine in basso è un esempio di come vengono visualizzate in Google Earth le informazioni associate ad ogni PS.

4. DESCRIZIONE DATI

4.1. Area d'interesse

L'area d'interesse corrisponde al tratto del terzo macro-lotto dell'autostrada A3 Salerno - Reggio Calabria, ed è centrata in prossimità dello svincolo autostradale di Mormanno, Cosenza. L'area di analisi (Figura 12) ha un'estensione di circa 13 km².



Figura 12: Area d'interesse totale (riquadro in rosso); area di interesse minima (poligono giallo).

4.2. Input dataset

4.2.1. Dataset ERS

Nella seguente tabella è riportata la lista delle immagini utilizzate per l'elaborazione ed i relativi parametri: Doppler centroid (Dc), baseline ortogonale (Bn) e baseline temporale (Bt).

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

Con M è indicata l'immagine Master.

Id	Data	Satellite	Dc*	Bn^	Bt [giorni]
1	17/05/1992	ERS	0.133	0.5	-1774
2	21/06/1992	ERS	0.135	0.626	-1739
3	26/07/1992	ERS	0.125	-0.111	-1704
4	04/10/1992	ERS	0.141	-0.384	-1634
5	08/11/1992	ERS	0.122	-0.278	-1599
6	13/12/1992	ERS	0.159	-0.137	-1564
7	17/01/1993	ERS	0.115	0.13	-1529
8	21/02/1993	ERS	0.108	-0.304	-1494
9	28/03/1993	ERS	0.133	-0.191	-1459
10	02/05/1993	ERS	0.140	-0.424	-1424
11	06/06/1993	ERS	0.162	0.692	-1389
12	11/07/1993	ERS	0.156	0.830	-1354
13	15/08/1993	ERS	0.115	0.178	-1319
14	19/09/1993	ERS	0.129	-0.350	-1284
15	24/10/1993	ERS	0.127	-0.450	-1249
16	05/07/1995	ERS	-0.024	0.616	-630
17	09/08/1995	ERS	-0.050	0.010	-595
18	18/10/1995	ERS	-0.033	-0.712	-525
19	27/12/1995	ERS	0.001	-0.188	-455
20	31/01/1996	ERS	-0.014	-0.081	-420
21	06/03/1996	ERS	-0.041	-0.320	-385

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

22	09/04/1996	ERS	0.133	-0.060	-351
23	10/04/1996	ERS	-0.021	0.007	-350
24	14/05/1996	ERS	0.147	-0.16	-316
25	15/05/1996	ERS	-0.035	-0.050	-315
26	19/06/1996	ERS	-0.029	0.276	-280
27	24/07/1996	ERS	-0.049	-0.095	-245
28	28/08/1996	ERS	-0.034	0.649	-210
29	02/10/1996	ERS	-0.033	0.278	-175
30	06/11/1996	ERS	-0.032	-0.763	-140
31	11/12/1996	ERS	0.005	0.482	-105
32	15/01/1997	ERS	-0.012	0.052	-70
33	19/02/1997	ERS	0.023	0.340	-35
(M) 34	26/03/1997	ERS	0.0	0.0	0
35	30/04/1997	ERS	-0.028	0.426	35
36	04/06/1997	ERS	-0.017	0.328	70
37	13/08/1997	ERS	-0.042	0.017	140
38	17/09/1997	ERS	-0.048	0.562	175
39	22/10/1997	ERS	-0.037	0.148	210
40	26/11/1997	ERS	-0.031	-0.111	245
41	31/12/1997	ERS	-0.023	0.036	280
42	04/02/1998	ERS	-0.029	0.185	315
43	11/03/1998	ERS	-0.035	0.415	350
44	15/04/1998	ERS	-0.014	0.051	385

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

45	20/05/1998	ERS	0.001	-0.082	420
46	24/06/1998	ERS	2.044	0.602	455
47	28/07/1998	ERS	0.148	-0.212	489
48	29/07/1998	ERS	-0.008	0.141	490
49	02/09/1998	ERS	0.019	-0.033	525
50	07/10/1998	ERS	-0.058	-0.332	560
51	11/11/1998	ERS	-0.029	-0.362	595
52	24/02/1999	ERS	-0.014	-0.537	700
53	05/05/1999	ERS	-0.001	-0.153	770
54	09/06/1999	ERS	0.012	-0.035	805
55	14/07/1999	ERS	-0.002	-0.037	840
56	18/08/1999	ERS	-0.021	-0.849	875
57	27/10/1999	ERS	-0.021	-0.140	945
58	01/12/1999	ERS	-0.053	0.546	980
59	05/01/2000	ERS	0.001	-0.033	1015
60	15/03/2000	ERS	-0.385	0.468	1085
61	19/04/2000	ERS	-0.212	-0.363	1120
62	24/05/2000	ERS	-0.241	-0.680	1155
63	28/06/2000	ERS	-0.331	0.442	1190
64	02/08/2000	ERS	-0.379	0.596	1225
65	06/09/2000	ERS	-0.281	0.178	1260
66	11/10/2000	ERS	-0.180	-0.063	1295
67	15/11/2000	ERS	-0.097	-0.097	1330

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

68	20/12/2000	ERS	-0.289	0.050	1365
----	------------	-----	--------	-------	------

* Frazione della PRF ^ Frazione della baseline critica (M) Immagine Master

Le tabelle successive riportano le principali informazioni relative al processamento dei dati ERS

Tipologia analisi	PSP-IFSAR
Satellite utilizzato	ERS1/2
Geometria di acquisizione	Discendente, Right-looking
Baseline critica [m]	1280
Pulse Repetition frequency [Hz]	1652
Numero di scene utilizzate	68
Periodo	17/05/1992 - 20/12/2000
Data consegna prodotto	10/01/2014

Lo spostamento dei PS è una misura relativa ad un riferimento temporale e spaziale. Come riferimento temporale è stata scelta la prima data di acquisizione (17/05/1992). Il punto di riferimento spaziale è stato scelto in un'area identificata dal cliente. I dati sono proiettati nel sistema di riferimento Geografico (Lat/Lon) con datum WGS84.

Layer utilizzato per la georeferenziazione	Ortofoto disponibili su Google Earth
Sistema di proiezione	Geografico WGS84
Codice del punto di riferimento	SA-RC_ERS252
Ipotesi sul moto del punto di riferimento	Motionless (non in movimento durante tutta la durata dell'analisi)

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

Page 27 of 54

Estensione dell'area di interesse (km²)	13.0
Numero di PS identificati	1660
Densità media dei PS (PS/km²)	127.7

Le misure di spostamento dei PS, come spiegato nel paragrafo 2.1, rappresentano la proiezione lungo la linea di vista del sensore del reale spostamento tridimensionale. La tabella sottostante riporta i coseni direttori che identificano la linea di vista del sensore (o più precisamente il suo versore). E' evidente dai valori dei coseni direttori, che il sistema SAR è praticamente insensibile alla componente nella direzione Nord-Sud (N) del movimento ed è, al contrario, particolarmente sensibile alla componente verticale (H) dello spostamento

Coordinate del versore di puntamento (LOS – Line Of Sight)	N: -0.077469	E: 0.386767	H: 0.918918
---	--------------	-------------	-------------

4.2.2. Dataset ENVISAT

Nella seguente tabella è riportata la lista delle immagini utilizzate per l'elaborazione ed i relativi parametri: Doppler centroid (Dc), baseline ortogonale (Bn) e baseline temporale (Bt).

Con M è indicata l'immagine Master.

Id	Data	Satellite	Dc*	Bn^	Bt [giorni]
1	04/05/2003	ENVISAT	0.053	0.299	-1505
2	21/09/2003	ENVISAT	-0.035	-0.021	-1365
3	26/10/2003	ENVISAT	-0.041	-0.359	-1330
4	14/03/2004	ENVISAT	-0.012	0.295	-1190
5	18/04/2004	ENVISAT	-0.033	0.761	-1155
6	27/06/2004	ENVISAT	-0.014	-0.298	-1085
7	01/08/2004	ENVISAT	-0.021	0.035	-1050
8	10/10/2004	ENVISAT	-0.032	0.882	-980
9	23/01/2005	ENVISAT	-0.021	0.429	-875
10	27/02/2005	ENVISAT	-0.028	-0.401	-840
11	08/05/2005	ENVISAT	-0.012	0.62	-770
12	17/07/2005	ENVISAT	-0.019	0.396	-700
13	21/08/2005	ENVISAT	-0.035	-0.343	-665
14	25/09/2005	ENVISAT	0.008	0.574	-630
15	04/12/2005	ENVISAT	-0.004	-0.600	-560
16	12/02/2006	ENVISAT	0.004	-0.241	-490
17	23/04/2006	ENVISAT	0.001	0.557	-420
18	02/07/2006	ENVISAT	-0.007	0.657	-350

NOT CLASSIFIED


This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

Page 29 of 54

19	28/01/2007	ENVISAT	-0.008	0.337	-140
(M) 20	17/06/2007	ENVISAT	0.0	0.0	0
21	26/08/2007	ENVISAT	0.005	-0.16	70
22	04/11/2007	ENVISAT	0.001	0.017	140
23	13/01/2008	ENVISAT	-0.01	-0.055	210
24	23/03/2008	ENVISAT	-0.024	-0.122	280
25	01/06/2008	ENVISAT	-0.002	0.065	350
26	10/08/2008	ENVISAT	-0.004	-0.068	420
27	19/10/2008	ENVISAT	0.003	0.025	490
28	28/12/2008	ENVISAT	0.007	0.067	560
29	01/02/2009	ENVISAT	0.001	0.251	595
30	08/03/2009	ENVISAT	-0.01	0.007	630
31	17/05/2009	ENVISAT	0.002	0.085	700
32	21/06/2009	ENVISAT	-0.016	0.257	735
33	26/07/2009	ENVISAT	0.007	-0.057	770
34	30/08/2009	ENVISAT	0.008	-0.087	805
35	04/10/2009	ENVISAT	-0.004	0.294	840
36	08/11/2009	ENVISAT	-0.012	0.035	875
37	13/12/2009	ENVISAT	0.004	0.335	910
38	21/02/2010	ENVISAT	-0.008	0.125	980
39	28/03/2010	ENVISAT	-0.007	-0.037	1015
40	02/05/2010	ENVISAT	0.012	0.143	1050
41	06/06/2010	ENVISAT	0.003	0.01	1085

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

 AN ASI/TELESPAZIO COMPANY	Macro-lotto 3 Autostrada SA-RC: Analisi PSP-IFSAR	Documento: GSP-TN-265.335-01 Versione: 02 Data: 20/01/2014
--	--	--

42	11/07/2010	ENVISAT	0.016	0.355	1120
----	------------	---------	-------	-------	------

* Frazione della PRF ^ Frazione del baseline critico (M) Immagine Master

Le tabelle successive riportano le principali informazioni relative al processamento dei dati ENVISAT

Tipologia analisi	PSP-IFSAR
Satellite utilizzato	ENVISAT
Geometria di acquisizione	Ascendente, right-looking
Baseline critico [m]	1280
Pulse Repetition frequency [Hz]	1652
Numero di scene utilizzate	42
Periodo	04/05/2003-11/07/2010
Data consegna prodotto	03/11/2013

Lo spostamento dei PS è una misura relativa ad un riferimento temporale e spaziale. Come riferimento temporale è stata scelta la prima data di acquisizione (04/05/2003). Il punto di riferimento spaziale è stato scelto in un'area identificata dal cliente. I dati sono proiettati nel sistema di riferimento Geografico (Lat/Lon) con datum WGS84.

Layer utilizzato per la georeferenziazione	Ortofoto disponibili su Google Earth
Sistema di proiezione	Geografico WGS84
Codice del punto di riferimento	SA-RC_ENVISAT28C
Ipotesi sul moto del punto di riferimento	Motionless (non in movimento durante tutta la durata dell'analisi)

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

Page 31 of 54

Estensione dell'area di interesse (km²)	13.0
Numero di PS identificati	1216
Densità media dei PS (PS/km²)	93.5

Le misure di spostamento dei PS, come spiegato nel paragrafo 2.1, rappresentano la proiezione lungo la linea di vista del sensore del reale spostamento tridimensionale. La tabella sottostante riporta i coseni direttori che identificano la linea di vista del sensore (o più precisamente il suo versore). E' evidente dai valori dei coseni direttori, che il sistema SAR è praticamente insensibile alla componente nella direzione Nord-Sud (N) del movimento ed è, al contrario, particolarmente sensibile alla componente verticale (H) dello spostamento. Da sottolineare l'inversione del segno della componente Est-Ovest del versore di puntamento di ENVISAT rispetto al caso ERS. Questo cambiamento è dovuto alla diversa geometria di acquisizione con cui sono stati collezionati i due stack interferometrici (ENVISAT ascendente, ERS discendente, entrambi right-looking).

Coordinate del versore di puntamento (LOS – Line Of Sight)	N: -0.084340	E: -0.380008	H: 0.92113
---	--------------	--------------	------------

4.2.3. Dataset COSMO-SkyMed

Nella seguente tabella è riportata la lista delle immagini utilizzate per l'elaborazione ed i relativi parametri: Doppler centroid (Dc), baseline ortogonale (Bn) e baseline temporale (Bt).

Con M è indicata l'immagine Master.

Id	Data	Satellite	Dc*	Bn^	Bt [giorni]
1	18/05/2011	CSKS4 -H4-05	0.01	-0.008	-448
2	03/06/2011	CSKS4 -H4-05	0.016	-0.058	-432
3	21/07/2011	CSKS4 -H4-05	-0.006	0.064	-384
4	10/11/2011	CSKS4 -H4-05	0.014	-0.097	-272
5	12/12/2011	CSKS4 -H4-05	-0.024	-0.153	-240
6	13/01/2012	CSKS4 -H4-05	-0.014	-0.01	-208
7	29/01/2012	CSKS4 -H4-05	0.019	-0.161	-192
8	14/02/2012	CSKS4 -H4-05	-0.014	-0.037	-176
9	02/04/2012	CSKS4 -H4-05	0.002	0.072	-128
10	18/04/2012	CSKS4 -H4-05	0.012	0.043	-112
11	05/06/2012	CSKS4 -H4-05	0.001	-0.004	-64
12	23/07/2012	CSKS4 -H4-05	-0.004	-0.095	-16
(M) 13	08/08/2012	CSKS4 -H4-05	0.0	0.0	0
14	24/08/2012	CSKS4 -H4-05	0.001	-0.035	16
15	11/10/2012	CSKS4 -H4-05	-0.032	-0.051	64
16	27/10/2012	CSKS4 -H4-05	0.010	-0.147	80
17	12/11/2012	CSKS4 -H4-05	0.014	0.099	96
18	02/12/2012	CSKS1 -H4-05	0.168	-0.012	116
19	18/12/2012	CSKS1 -H4-05	0.153	-0.078	132

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

Page 33 of 54

20	26/12/2012	CSKS2 -H4-05	0.162	-0.091	140
21	03/01/2013	CSKS1 -H4-05	0.148	0.040	148
22	11/01/2013	CSKS2 -H4-05	0.159	-0.023	156
23	19/01/2013	CSKS1 -H4-05	0.16	-0.005	164
24	27/01/2013	CSKS2 -H4-05	0.134	0.042	172
25	04/02/2013	CSKS1 -H4-05	0.151	-0.008	180
26	12/02/2013	CSKS2 -H4-05	0.131	0.008	188
27	20/02/2013	CSKS1 -H4-05	0.149	0.101	196
28	28/02/2013	CSKS2 -H4-05	0.152	0.075	204
29	08/03/2013	CSKS1 -H4-05	0.169	-0.042	212
30	16/03/2013	CSKS2 -H4-05	0.196	-0.145	220
31	24/03/2013	CSKS1 -H4-05	0.184	-0.048	228
32	01/04/2013	CSKS2 -H4-05	0.154	0.050	236
33	21/04/2013	CSKS4 -H4-05	-0.004	-0.002	256
34	07/05/2013	CSKS4 -H4-05	-0.006	0.067	272
35	23/05/2013	CSKS4 -H4-05	0.003	0.004	288
36	08/06/2013	CSKS4 -H4-05	-0.012	0.065	304
37	24/06/2013	CSKS4 -H4-05	-0.012	-0.085	320
38	10/07/2013	CSKS4 -H4-05	0.024	0.033	336
39	26/07/2013	CSKS4 -H4-05	-0.023	0.082	352
40	11/08/2013	CSKS4 -H4-05	-0.008	-0.035	368
41	27/08/2013	CSKS4 -H4-05	-0.021	0.073	384

* Frazione della PRF ^ Frazione del baseline critico (M) Immagine Master

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

Le tabelle successive riportano le principali informazioni relative al processamento dei dati COSMO SkyMED

Tipologia analisi	PSP-IFSAR
Satellite utilizzato	CSK
Geometria di acquisizione	Ascendente, right-looking
Baseline critico [m]	5336
Pulse Repetition frequency [Hz]	3336
Numero di scene utilizzate	41
Periodo	18/05/2011-27/08/2013
Data consegna prodotto	03/11/2013

Lo spostamento dei PS è una misura relativa ad un riferimento temporale e spaziale. Come riferimento temporale è stata scelta la prima data di acquisizione (18/05/2011). Il punto di riferimento spaziale è stato scelto in un'area identificata dal cliente. I dati sono proiettati nel sistema di riferimento Geografico (Lat/Lon) con datum WGS84.

Layer utilizzato per la georeferenziazione	Ortofoto disponibili su Google Earth
Sistema di proiezione	Geografico WGS84
Codice del punto di riferimento	SA-RC_CKS2514
Ipotesi sul moto del punto di riferimento	Motionless (non in movimento durante tutta la durata dell'analisi)
Estensione dell'area di interesse (km²)	13.0
Numero di PS identificati	23635
Densità media dei PS (PS/km²)	1823.7

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

Page 35 of 54

Confrontando la densità media di PS ottenuta dall'elaborazione di dati ad alta risoluzione COSMO-SkyMed con quella ottenuta dall'analisi di dati a media risoluzione ERS/ENVISAT è evidente uno dei vantaggi dell'alta risoluzione: la densità di PS ottenuta è ben 20 volte superiore. Le misure di spostamento dei PS, come spiegato nel paragrafo 2.1, rappresentano la proiezione lungo la linea di vista del sensore del reale spostamento tridimensionale. La tabella sottostante riporta i coseni direttori che identificano la linea di vista del sensore (o più precisamente il suo versore).

Coordinate del versore di puntamento (LOS – Line Of Sight)	N: -0.106361	E: -0.548306	H: 0.829485
---	--------------	--------------	-------------

5. RISULTATI

5.1. Visione d'insieme dei risultati ottenuti

Nel seguente paragrafo viene presentati una visione d'insieme dei risultati ottenuti dall'elaborazione dei dati SAR acquisiti dai satelliti ERS, ENVISAT e COSMO-SkyMed sull'area d'interesse descritta nel paragrafo 4.1.

Le informazioni sui datasets utilizzati e sulle loro caratteristiche sono riportate nei paragrafi 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3.

Le figure in basso rappresentano le mappe di velocità media di spostamento ottenute con i tre dataset utilizzati. Le velocità sono rappresentate con una scala di colore che va dal rosso (velocità negative) al blu (velocità positive): sia i punti in rosso che i punti in blu presentano significativi valori di velocità media di spostamento nel periodo analizzato. I punti rossi si riferiscono a fenomeni di movimento del terreno la cui componente proiettata lungo la linea di vista del sensore ha la stessa direzione della congiungente satellite-punto a terra (ovvero il punto è in allontanamento dal sensore). I punti in blu, invece, corrispondono a un movimento del terreno la cui componente lungo la linea di vista ha verso opposto alla congiungente satellite-punto a terra (ovvero il punto è in avvicinamento al sensore). Per la corretta interpretazione del significato delle misure effettuate si veda il paragrafo 3.1.

Le misure PSP-IFSAR sono relative e non assolute. Il riferimento temporale scelto è la prima data di ciascun dataset utilizzato, mentre il riferimento spaziale è un punto identificato con l'uso di informazioni statistiche tra i punti selezionati di ciascun dataset. Allo scopo di confrontare meglio le misure fatte con i tre sensori, i punti di riferimento sono stati scelti nella stessa area (ad una distanza relativa inferiore alla centinaia di metri).

L'analisi fatta con dati ERS e' relativa ad acquisizioni ottenute in geometria descending e copre il periodo temporale che va dal 17/05/1992 al 20/12/2000 La Figura 13 mostra fenomeni di deformazione nella parte centrale dell'area, a nord della galleria dello svincolo autostradale di Mormanno.

L'analisi fatta con dati ENVISAT e' relativa ad acquisizioni ottenute in geometria ascending e copre il periodo temporale che va dal 04/05/2003 all' 11/07/2010. La Figura 14 mostra fenomeni di deformazione nella parte centrale dell'area, a nord della galleria dello svincolo autostradale di Mormanno. Ulteriori fenomeni di deformazione sono evidenti anche in corrispondenza dello svincolo stesso.

L'analisi fatta con dati COSMO-SkyMed e' relativa ad acquisizioni ottenute in geometria ascending e copre il periodo temporale che va dal 18/05/2011 al 27/08/2013. La Figura 15 mostra fenomeni di deformazione nella parte centrale dell'area, a nord della galleria dello svincolo autostradale di Mormanno. Ulteriori fenomeni di deformazione sono evidenti anche in corrispondenza dello svincolo stesso.

In sintesi nella tabella seguente sono riportati i periodi e le geometrie di acquisizione relative ai i tre data-set:

SATELLITE	PERIODO	GEOMETRIA ACQUISIZIONE
ERS	17/05/1992 - 20/12/2000	DESCENDING
ENVISAT	04/05/2003 - 11/07/2010	ASCENDING
COSMO SKY-MED	18/05/2011 - 27/08/2013	ASCENDING

I risultati ottenuti con i dati COSMO-SkyMed sono coerenti con quelli ottenuti con i dati ENVISAT e confermano, nelle aree dove sono presenti punti di misura per entrambi i sensori, la presenza di fenomeni di deformazione dovuti, probabilmente, a fenomeni franosi. Il fatto che i valori di velocità misurati con i datasets COSMO-SkyMed ed ENVISAT siano paragonabili in segno è legato al fatto che entrambi i datasets sono stati acquisiti con la geometria ascending. Le misure ERS, invece, sono state attestate con un dataset acquisito con la geometria descending: questo implica che lo stesso fenomeno franoso (nell'ipotesi che la componente principale della deformazione è quella in direzione della massima pendenza del terreno), viene visto con segni diversi.

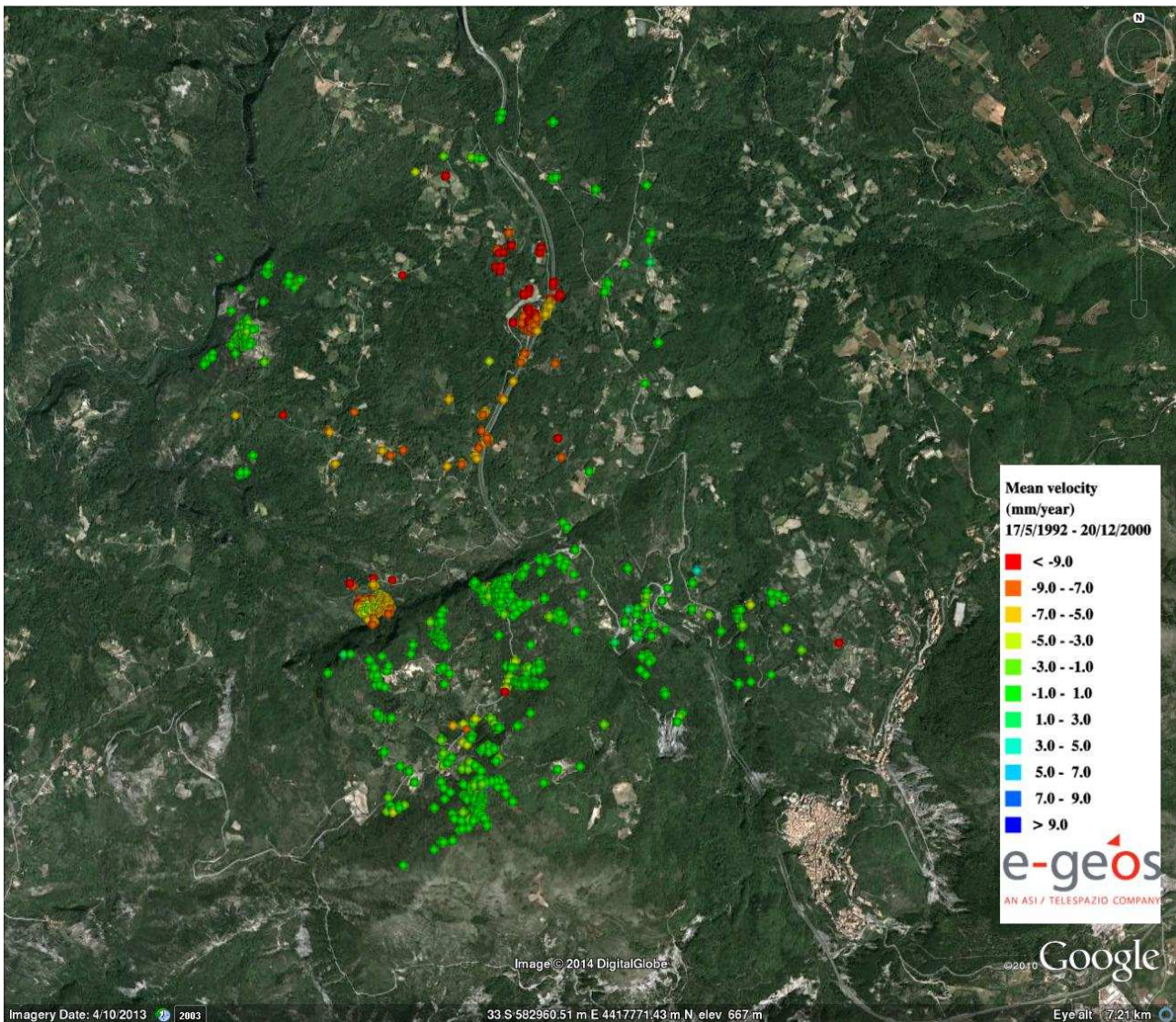


Figura 13: Visione d'insieme della mappa di velocità media di spostamento ottenuta dall'elaborazione PSP-IFSAR dei dati ERS, acquisiti con geometria descending nel periodo Maggio 1992 – Dicembre 2000.

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

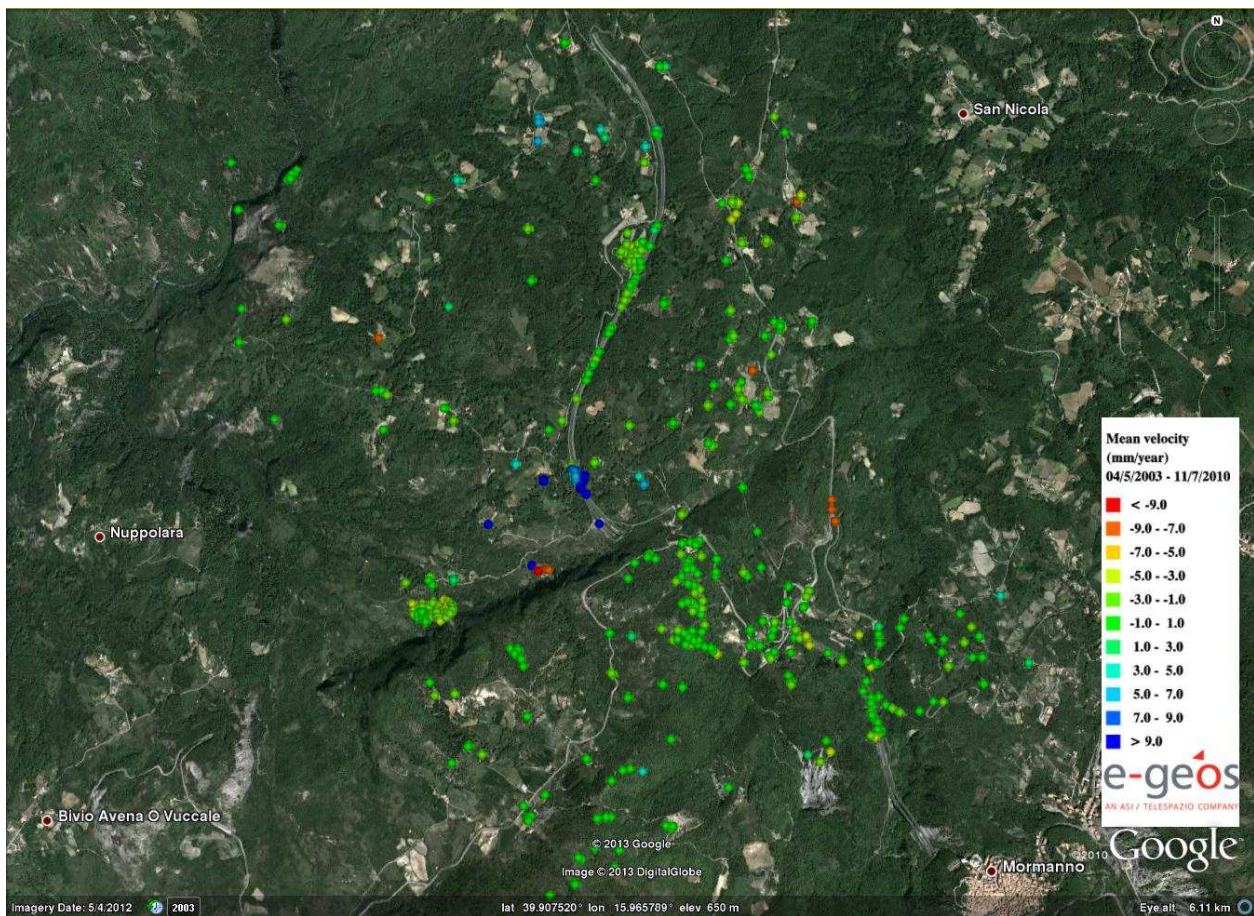


Figura 14: Visione d'insieme della mappa di velocità media di spostamento ottenuta dall'elaborazione PSP-IFSAR dei dati ENVISAT, acquisiti con geometria ascending nel periodo Maggio 2003 – Luglio 2010.

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

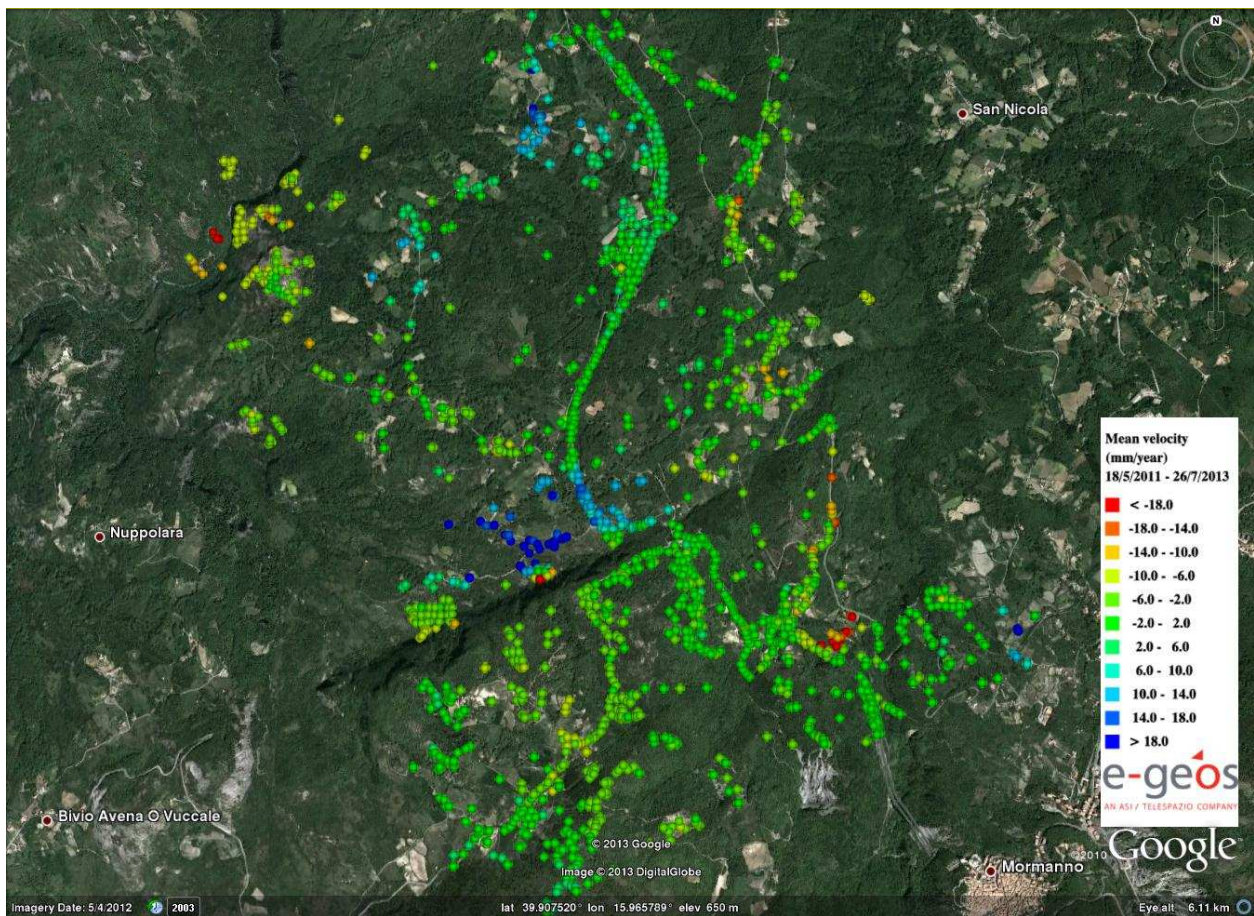


Figura 15: Visione d'insieme della mappa di velocità media di spostamento ottenuta dall'elaborazione PSP-IFSAR dei dati COSMO-SkyMed, acquisiti con geometria ascending nel periodo Maggio 2011 – Agosto 2013.

Particolare attenzione, come evidenziato nel paragrafo successivo, va posta non solo all'analisi della mappa di velocità media, ma anche all'evoluzione temporale di spostamento di ciascun punto. Tale analisi, infatti, può evidenziare accelerazioni o decelerazioni del fenomeno di deformazione o evidenziare delle anomalie non immediatamente visibili con la sola mappa delle velocità medie.

5.2. Esempi e confronti fra le misure ottenute

Nel seguente paragrafo vengono presentati alcuni esempi delle misure ottenute con i tre datasets di immagini SAR, relativi ad alcune aree caratterizzati da fenomeni di deformazione significativi.

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

5.2.1. Svincolo autostradale di Mormanno: area a Nord della galleria

La Figura 16 riporta la mappa delle velocità medie di spostamento relative all'elaborazione PSP-IFSAR fatta con dati ERS (periodo di riferimento 1992-2000) nell'area a Nord della galleria dello svincolo autostradale di Mormanno. In quest'area, al contrario delle analisi fatte con i sensori ENISAT e COSMO-SkyMed, non sono stati selezionati punti di misura. Più a nord, nella parte in alto della figura, sono però presenti alcuni PS con velocità medie di spostamento comprese tra -5 e -9 mm/anno lungo la direzione di vista (punti in allontanamento dal sensore).

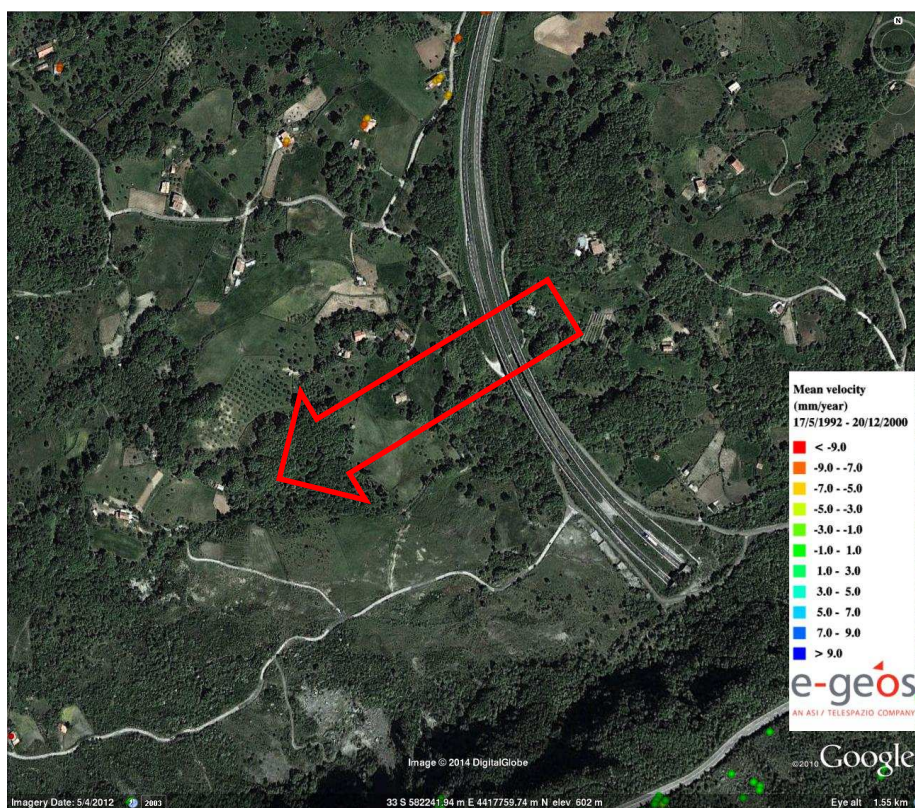


Figura 16: Mappa di velocità media di spostamento ottenuta dall'elaborazione PSP-IFSAR dei dati ERS, acquisiti con geometria descending nel periodo Maggio 1992 – Dicembre 2000 nell'area a Nord della galleria in prossimità dello svincolo autostradale di Mormanno. La freccia in rosso indica la direzione di massima pendenza dell'area.

La Figura 17, invece, riporta la mappa delle velocità medie di spostamento relative all'elaborazione PSP-IFSAR fatta con dati ENVISAT (periodo di riferimento 2003-2010) sulla stessa area. Considerando la geometria d'acquisizione (ascending) e la direzione di massima pendenza (identificata dalla freccia in rosso), le misure ottenute confermano la presenza di una deformazione simile a quella misurata dai pochi punti PS ottenuti da dati ERS nella zona. In questo caso i valori positivi delle velocità medie raggiungono valori anche superiori ai 9 mm/anno. La componente principale della deformazione è lungo la direzione della pendenza del versante.

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

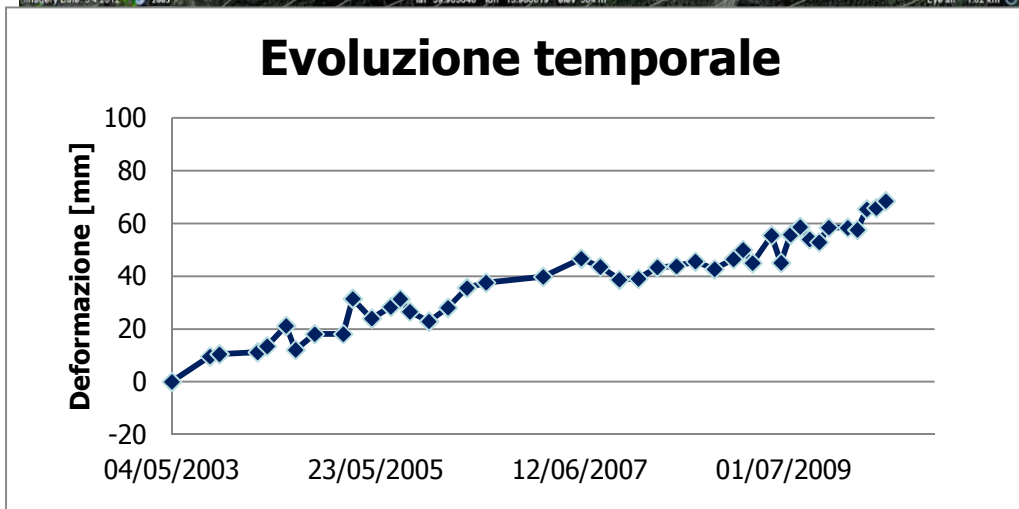
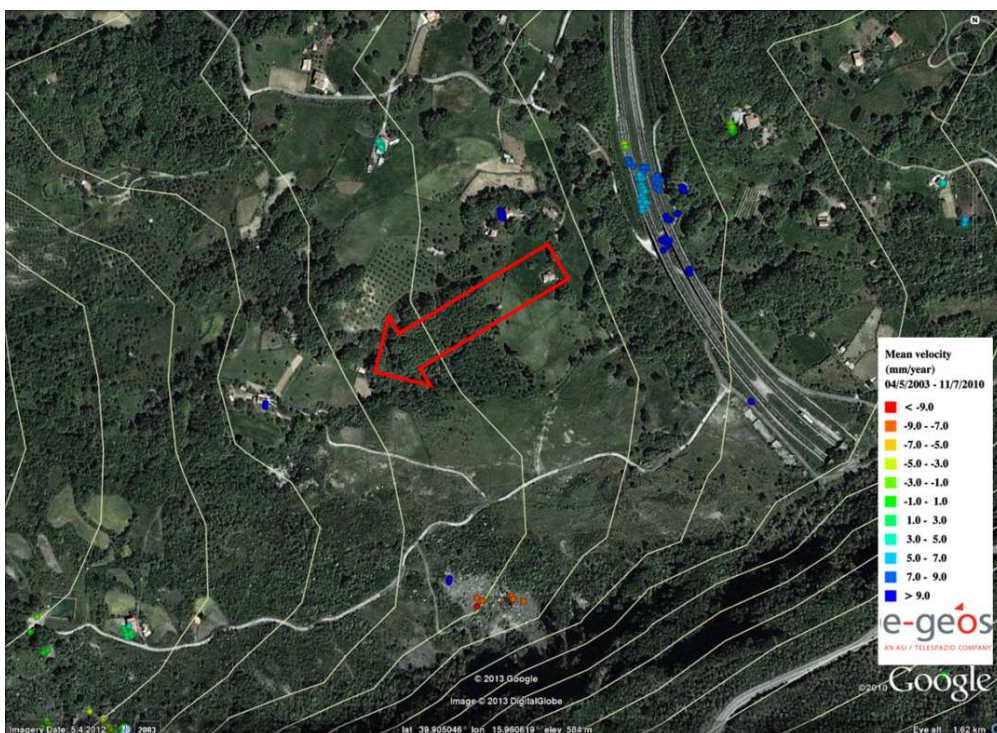


Figura 17: Mappa di velocità media di spostamento (in alto) ottenuta dall'elaborazione PSP-IFSAR dei dati ENVISAT, acquisiti con geometria ascending nel periodo Maggio 2003 – Luglio 2010 nell'area a Nord della galleria in prossimità dello svincolo autostradale di Mormanno. La freccia in rosso indica la direzione di massima pendenza dell'area. In basso, è riportato il grafico dell'evoluzione temporale dello spostamento di un punto nell'area.

La Figura 18, infine, riporta la mappa delle velocità medie di spostamento relative all'elaborazione PSP-IFSAR fatta con dati COSMO-SkyMed (periodo di riferimento 2011-2013) sulla stessa area. L'analisi fatta

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

con questi dati conferma il fenomeno già misurato con i dati ENVISAT. Visto che la geometria usata è quella ascending, valgono le considerazioni già presentate nel caso ENVISAT.

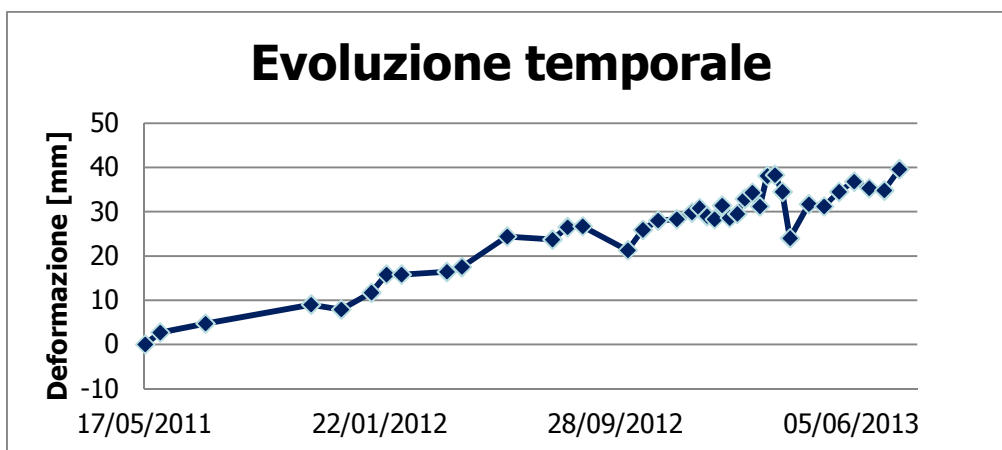
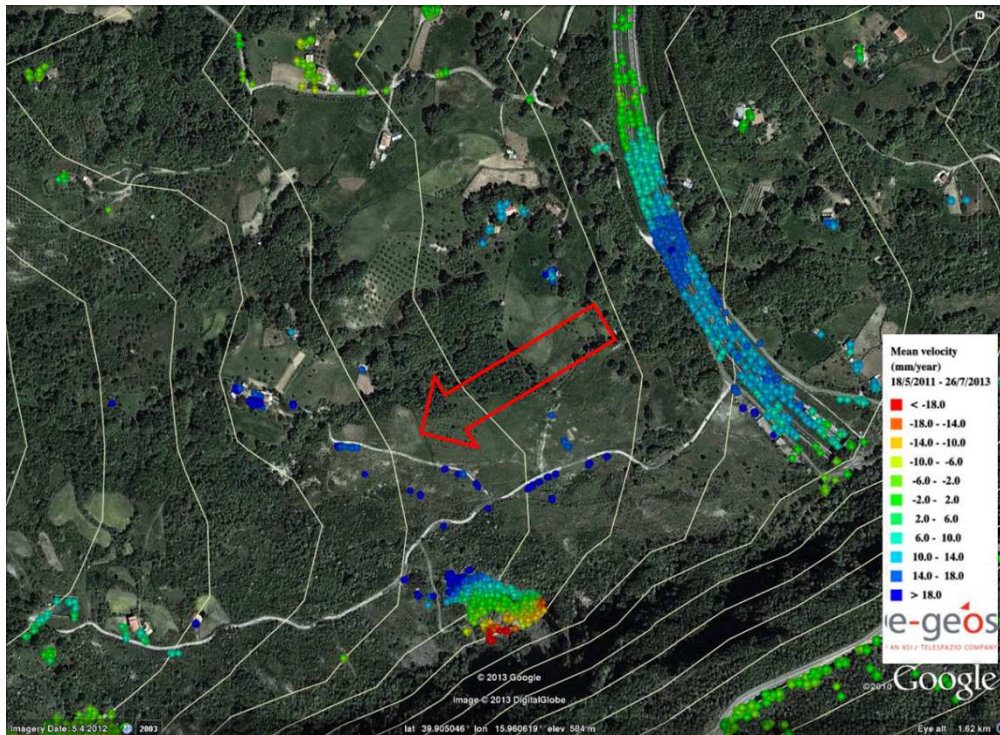



Figura 18: Mappa di velocità media di spostamento (in alto) ottenuta dall'elaborazione PSP-IFSAR dei dati COSMO-SkyMed, acquisiti con geometria ascending nel periodo Maggio 2011 – Agosto 2013 nell'area a Nord della galleria in prossimità dello svincolo autostradale di Mormanno. La freccia in rosso indica la direzione di massima pendenza dell'area. In basso, è riportato il grafico dell'evoluzione temporale dello spostamento di un punto nell'area.

	<p>Macro-lotto 3 Autostrada SA-RC: Analisi PSP-IFSAR</p>	<p>Documento: GSP-TN-265.335-01 Versione: 02 Data: 20/01/2014</p>
---	--	---

5.2.2. Area del parcheggio a Nord dello svincolo autostradale di Mormanno

L'esempio in questione mostra i risultati ottenuti in prossimità dell'area di parcheggio a Nord dello svincolo di autostradale di Mormanno.

L'elaborazione con dati ERS, la cui mappa di velocità media e l'evoluzione di un punto PS è visibile in Figura 19, mostra un fenomeno di deformazione con componente significativa lungo la direzione di vista del satellite.

Sulla stessa area le mappe della velocità media di spostamento ottenute con i sensori ENVISAT e COSMO-SkyMed (vedi Figura 20 e Figura 21) non presentano significativi valori di velocità media. Questo effetto può essere dovuto ad (1) una variazione del comportamento del fenomeno di deformazione in atto, (2) al fatto che per le caratteristiche topografiche del sito la geometria usata con questi due datasets (ascending) non è quella ottimale o (3) ad una combinazione di entrambe le cause descritte.

L'analisi delle evoluzioni temporali di alcuni punti sull'autostrada, infatti, evidenzia la presenza di un trend di deformazione anche nel caso delle misure ENVISAT e COSMO-SkyMed (vedi grafici nella Figura 20 e Figura 21).

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

Page 45 of 54

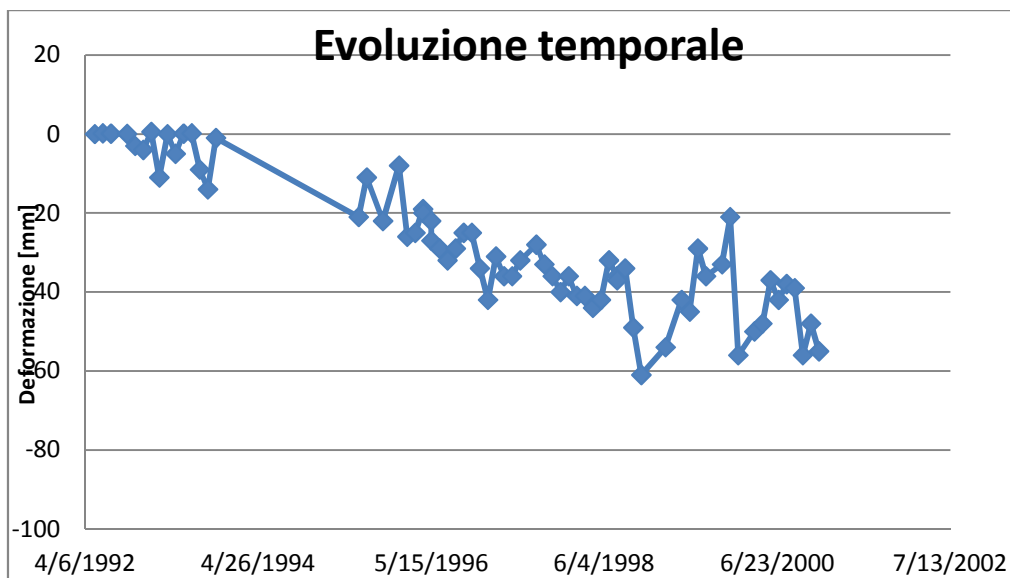


Figura 19: Mappa di velocità media di spostamento (in alto) ottenuta dall'elaborazione PSP-IFSAR dei dati ERS, acquisiti con geometria descending nel periodo Maggio 1992 – Dicembre 2000 nell'area del parcheggio a Nord dello svincolo autostradale di Mormanno. La freccia in rosso indica la direzione di massima pendenza dell'area. In basso, è riportato il grafico dell'evoluzione temporale dello spostamento di un punto nell'area.

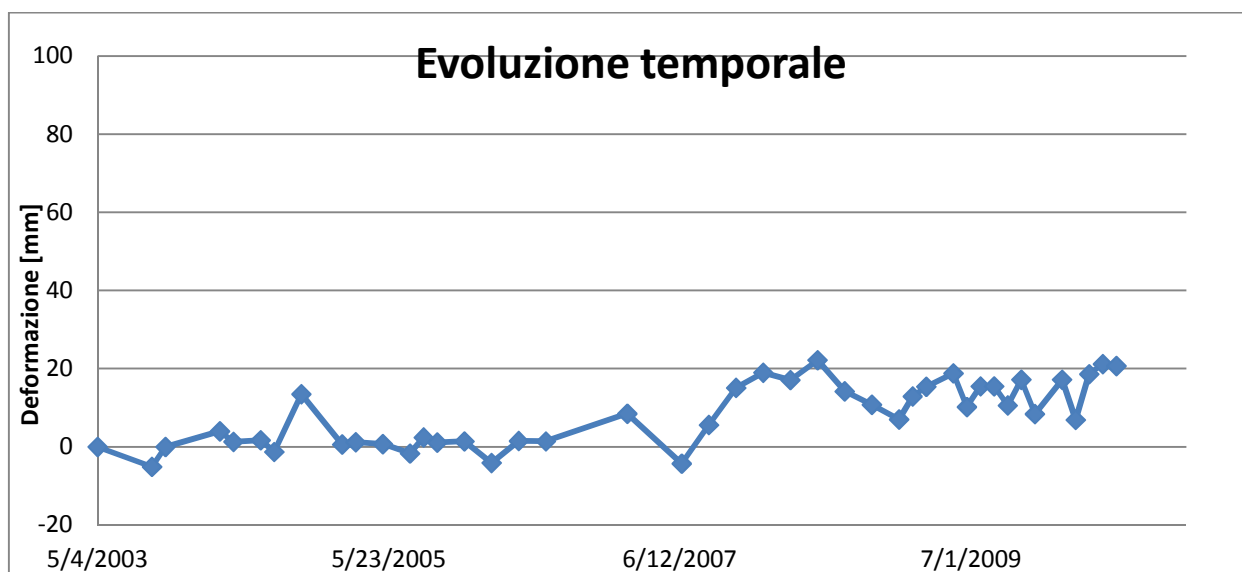


Figura 20: Mappa di velocità media di spostamento (in alto) ottenuta dall'elaborazione PSP-IFSAR dei dati ENVISAT, acquisiti con geometria ascending nel periodo Maggio 2003 – Luglio 2010 nell'area del parcheggio a Nord dello svincolo autostradale di Mormanno. La freccia in rosso indica la direzione di massima pendenza dell'area. In basso, è riportato il grafico dell'evoluzione temporale dello spostamento di un punto in corrispondenza dell'autostrada.

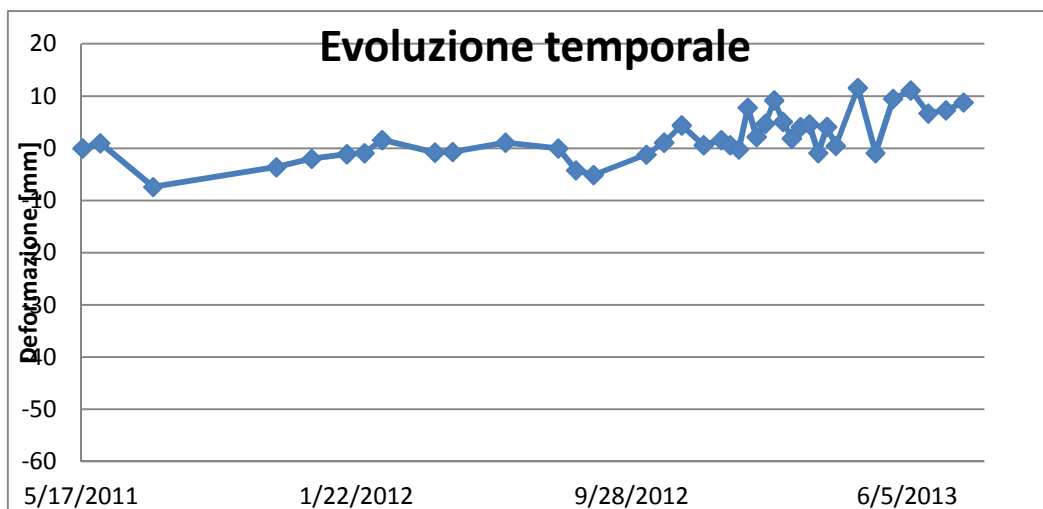



Figura 21: Mappa di velocità media di spostamento (in alto) ottenuta dall'elaborazione PSP-IFSAR dei dati COSMO-SkyMed, acquisiti con geometria ascending nel periodo Maggio 2011 – Agosto 2013 nell'area del parcheggio a Nord dello svincolo autostradale di Mormanno. La freccia in rosso indica la direzione di massima pendenza dell'area. In basso, è riportato il grafico dell'evoluzione temporale dello spostamento di un punto in corrispondenza dell'autostrada.

	<p>Macro-lotto 3 Autostrada SA-RC: Analisi PSP-IFSAR</p>	<p>Documento: GSP-TN-265.335-01 Versione: 02 Data: 20/01/2014</p>
---	--	---

5.2.3. Svincolo autostradale di Mormanno

L'esempio in questione mostra i risultati ottenuti in prossimità dello svincolo autostradale di Mormanno.

L'elaborazione con dati ERS, la cui mappa di velocità media e l'evoluzione di un punto PS è visibile in Figura 22, non evidenzia fenomeni di deformazione con componente significativa lungo la direzione di vista del satellite. Questo effetto, come nel caso precedente, può essere dovuto (1) ad una effettiva assenza di deformazioni nel periodo considerato o (2) alla presenza di un fenomeno di deformazione la cui componente lungo la linea di vista del sensore è poco significativa (la geometria descending usata con questo non è quella ottimale).

Sulla stessa area le mappe della velocità media di spostamento ottenute con i sensori ENVISAT e COSMO-SkyMed (vedi Figura 23 e Figura 24) presentano punti significativi valori di velocità media, anche in corrispondenza del tratto autostradale.

In particolare, l'elaborazione con dati ENVISAT, ha identificato alcuni punti affetti da un significativo trend di deformazione (punti in giallo/arancione della Figura 23) con un trend simile a quello mostrato nella Figura 23 stessa.

L'analisi fatta con i dati COSMO-SkyMed conferma il trend di deformazione già identificato con i dati ENVISAT, anche nel periodo 2011-2013 (Figura 24). In questo caso, però, si può notare dal grafico dell'evoluzione temporale di un punto in corrispondenza dell'autostrada, mostrato in Figura 24, come l'andamento della deformazione subisca un'accelerazione in corrispondenza delle acquisizioni tra la fine del 2012 e i primi mesi del 2013. Tale caratteristica è presente su molti altri punti della zona considerata.

NOT CLASSIFIED

This document discloses subject matter in which e-GEOS has proprietary rights. Recipient of the document shall not duplicate, use or disclose in whole or in part, information contained herein except for or on behalf of e-GEOS to fulfil the purpose for which the document was delivered to him.

Page 49 of 54

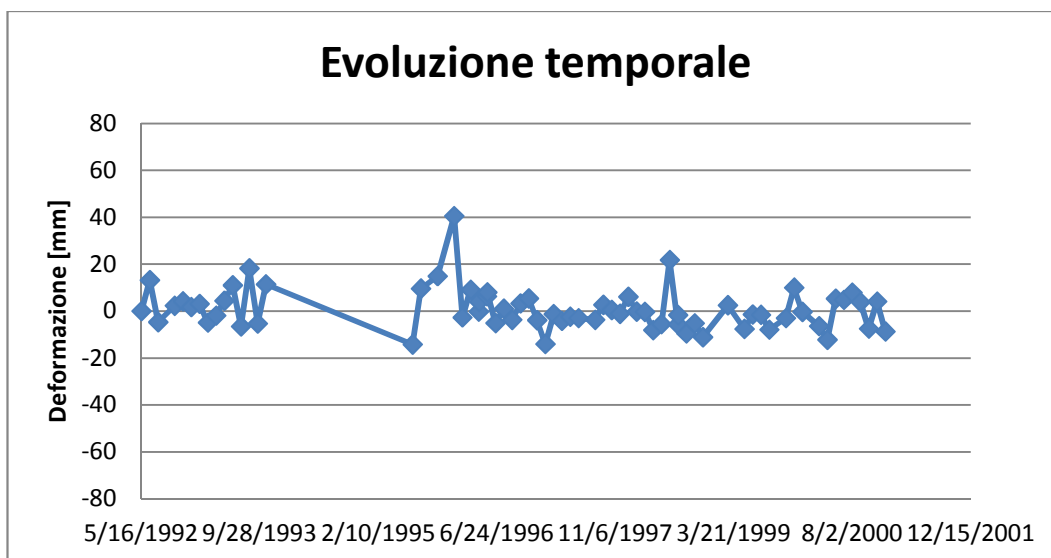
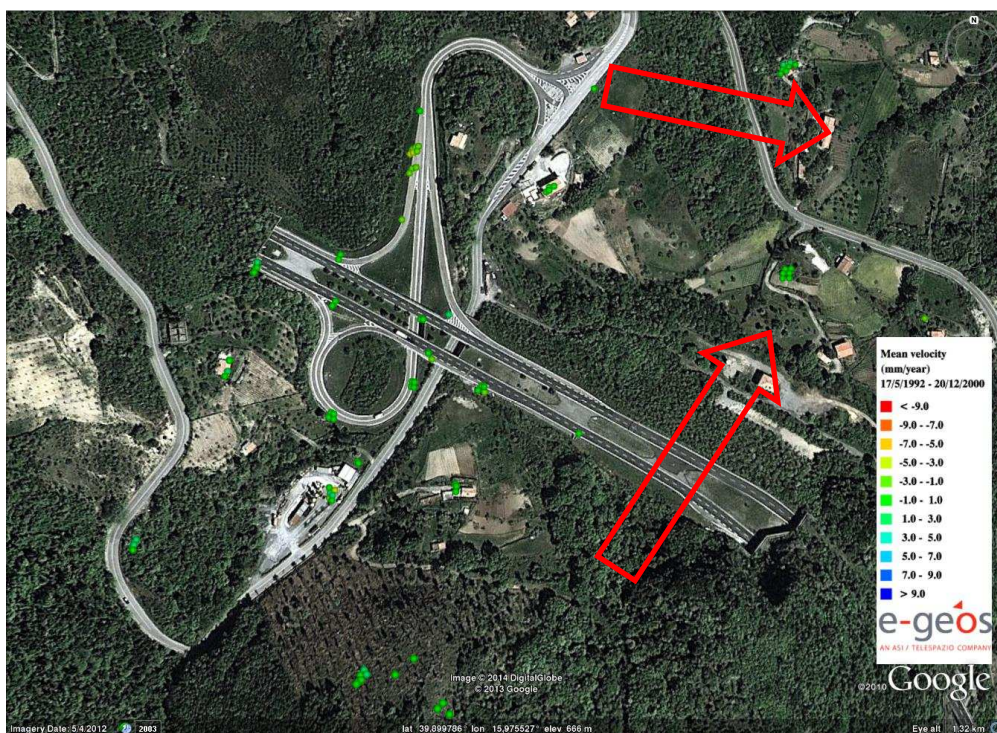


Figura 22: Mappa di velocità media di spostamento (in alto) ottenuta dall'elaborazione PSP-IFSAR dei dati ERS, acquisiti con geometria descending nel periodo Maggio 1992 – Dicembre 2000 nell'area dello svincolo di Mormanno. Le frecce in rosso indicano la direzione di massima pendenza dell'area. In basso, è riportato il grafico dell'evoluzione temporale dello spostamento di un punto in corrispondenza dell'autostrada.

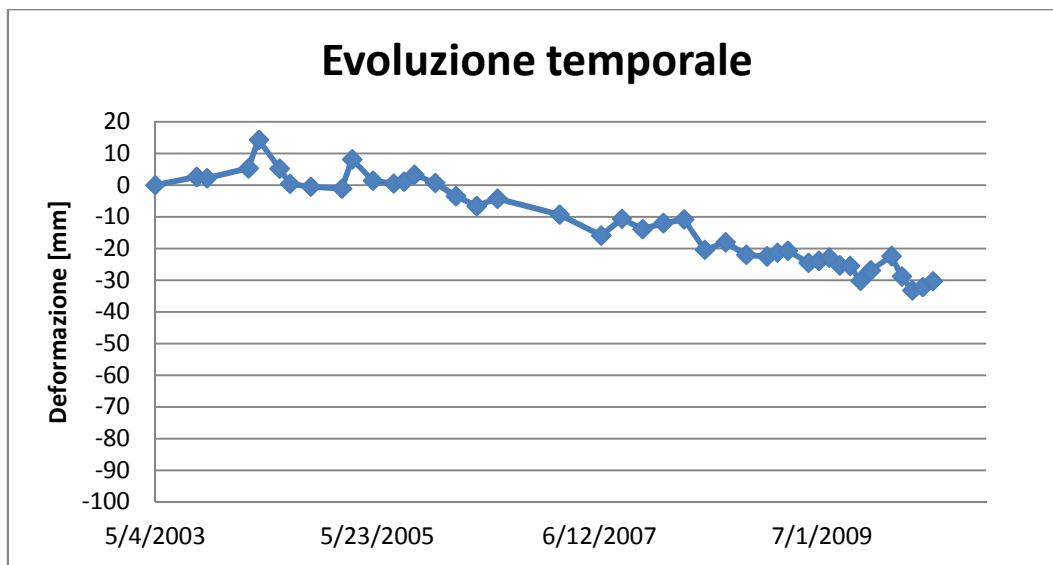
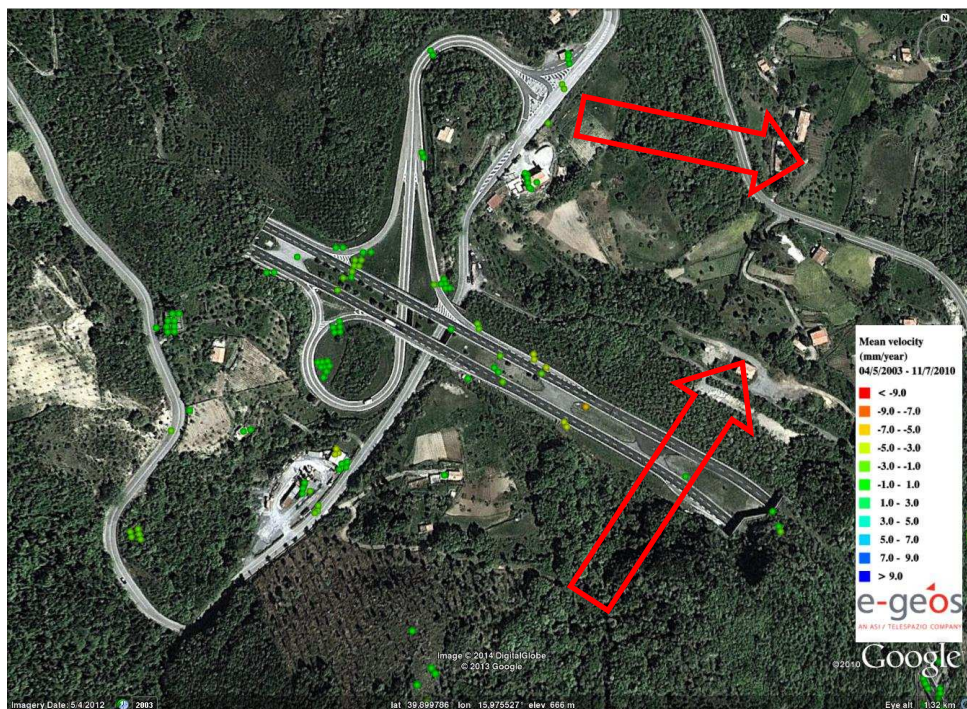


Figura 23: Mappa di velocità media di spostamento (in alto) ottenuta dall'elaborazione PSP-IFSAR dei dati ENVISAT, acquisiti con geometria ascending nel periodo Maggio 2003 – Luglio 2010 nell'area dello svincolo autostradale di Mormanno. Le frecce in rosso indicano la direzione di massima pendenza dell'area. In basso, è riportato il grafico dell'evoluzione temporale dello spostamento di un punto in corrispondenza dell'autostrada.

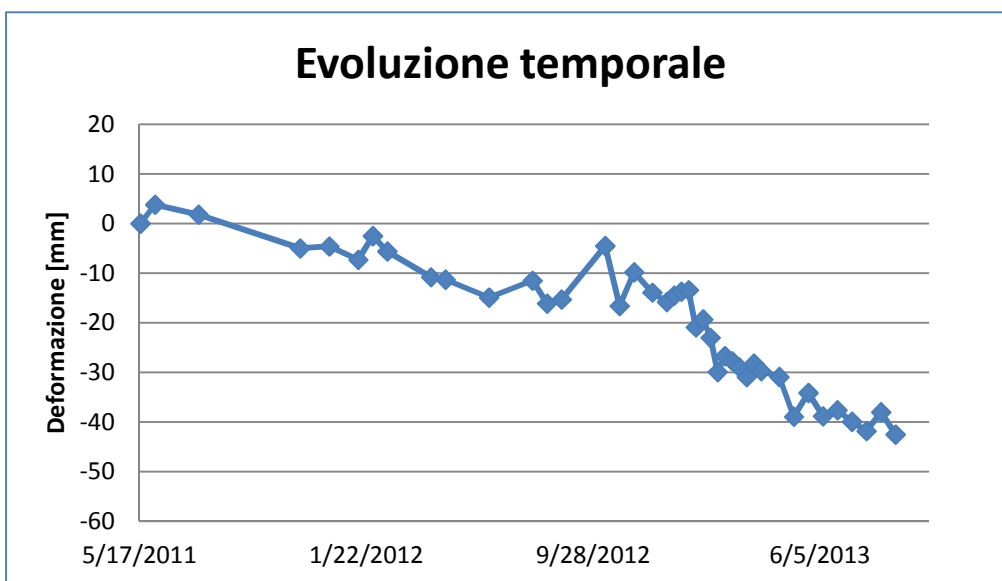
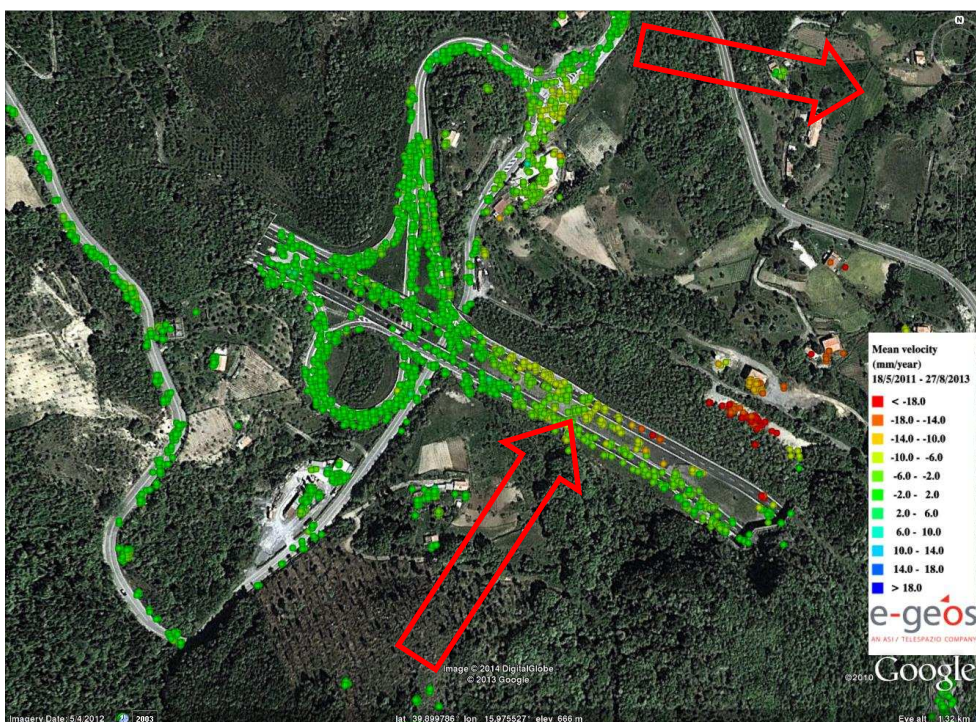



Figura 24: Mappa di velocità media di spostamento (in alto) ottenuta dall'elaborazione PSP-IFSAR dei dati COSMO-SkyMed, acquisiti con geometria ascending nel periodo Maggio 2011 – Agosto 2013 nell'area dello svincolo autostradale di Mormanno. Le frecce in rosso indicano la direzione di massima pendenza dell'area. In basso, è riportato il grafico dell'evoluzione temporale dello spostamento di un punto in corrispondenza dell'autostrada.

 AN ASI/TELESPAZIO COMPANY	Macro-lotto 3 Autostrada SA-RC: Analisi PSP-IFSAR	Documento: GSP-TN-265.335-01 Versione: 02 Data: 20/01/2014
--	--	--

5.2.4. Svincolo autostradale di Mormanno: area centrata nel punto di Latitudine 39,902587° e Longitudine 15,960461°

L'esempio in questione, infine, mostra i risultati ottenuti in prossimità di un' area sul versante nord della montagna attraversata dalla galleria che precede lo svincolo autostradale di Mormanno in direzione Reggio Calabria. L'area può essere identificata dal punto di coordinate Lat. 39,902587° e Long. 15,960461°.

L'elaborazione con dati ERS non ha identificato sull'area nessun punto PS, mentre i risultati ottenuti con i dati ENVISAT e COSMO-SkyMed, mostrano un fenomeno di deformazione presente sia nel periodo 2003-2010 (ENVISAT) che nel periodo 2011-2013 (COSMO-SkyMed) (vedi Figura 25 e Figura 26).

Considerando la geometria d'acquisizione (ascending sia per ENVISAT che per COSMO-SkyMed) e la direzione di massima pendenza (identificata dalla freccia in rosso), le misure ottenute evidenziano un fenomeno di deformazione del terreno caratterizzato da un allontanamento dal sensore per i punti nella parte più in quota dell'area (punti di colore rosso/giallo/arancione) ed un avvicinamento al sensore per i punti nella parte meno in quota dell'area (punti di colore azzurro/blu). Questo risultato può essere dovuto:

- ad una frana in scivolamento, caratterizzata da un contributo di movimento rotazionale (la parte in alto della frana scende lungo il versante della montagna, mentre la parte in basso presenta un rigonfiamento)
- alla composizione di due fenomeni: una frana localizzata presente il versante della montagna e un fenomeno di deformazione più ampio che coinvolge anche il ponte dell'autostrada (vedi Figura 17 e Figura 18).

Tale considerazioni dovranno essere verificata da ulteriori indagini geologiche.

Per capire meglio le caratteristiche topologiche dell'area è riportata nella Figura 27 una vista 3D da GoogleEarth dell'area in questione. La figura sottolinea che la direzione di massima pendenza dell'area (indicata dalla freccia in rosso) è in direzione nord-nord-ovest.



Figura 25: Mappa di velocità media di spostamento ottenuta dall'elaborazione PSP-IFSAR dei dati ENVISAT, acquisiti con geometria ascending nel periodo Maggio 2003 – Luglio 2010 nell'area centrata nel punto di Latitudine 39,902587° e Longitudine 15,960461°. La freccia in rosso indica la direzione di massima pendenza dell'area.

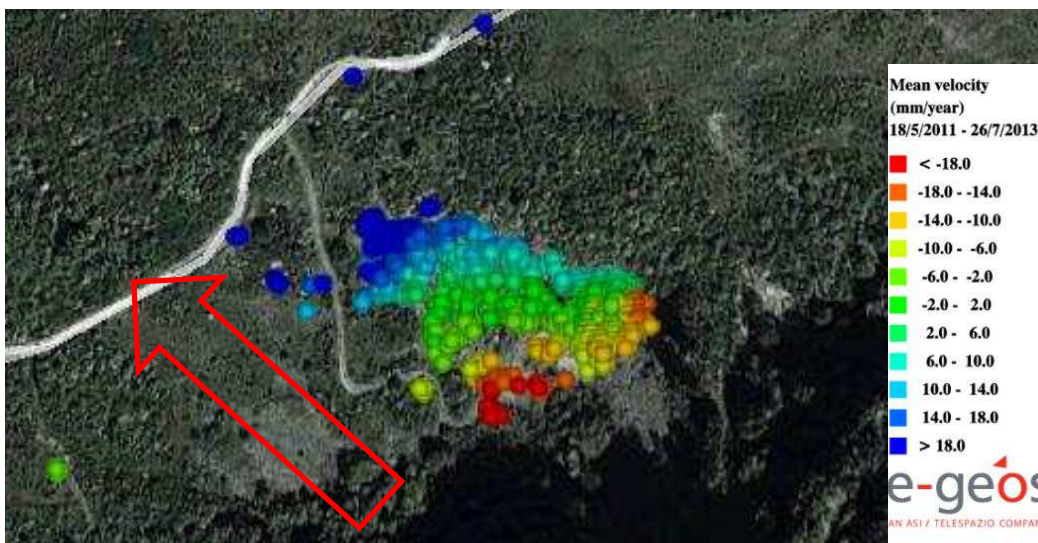


Figura 26: Mappa di velocità media di spostamento ottenuta dall'elaborazione PSP-IFSAR dei dati COSMO-SkyMed, acquisiti con geometria ascending nel periodo Maggio 2011 – Agosto 2013 nell'area centrata nel punto di Latitudine 39,902587° e Longitudine 15,960461°. La freccia in rosso indica la direzione di massima pendenza dell'area.

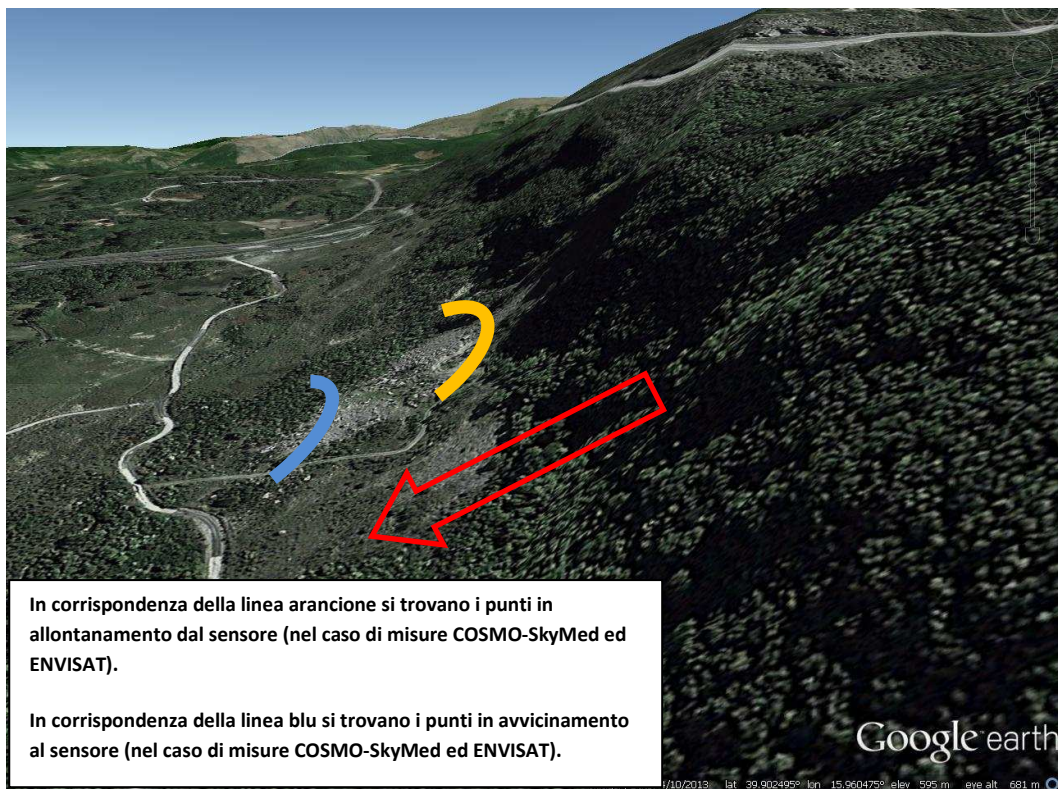


Figura 27: Vista 3D della pendenza dell'area centrata nel punto di Latitudine 39,902587° e Longitudine 15,960461°. La freccia in rosso indica la direzione di massima pendenza.