

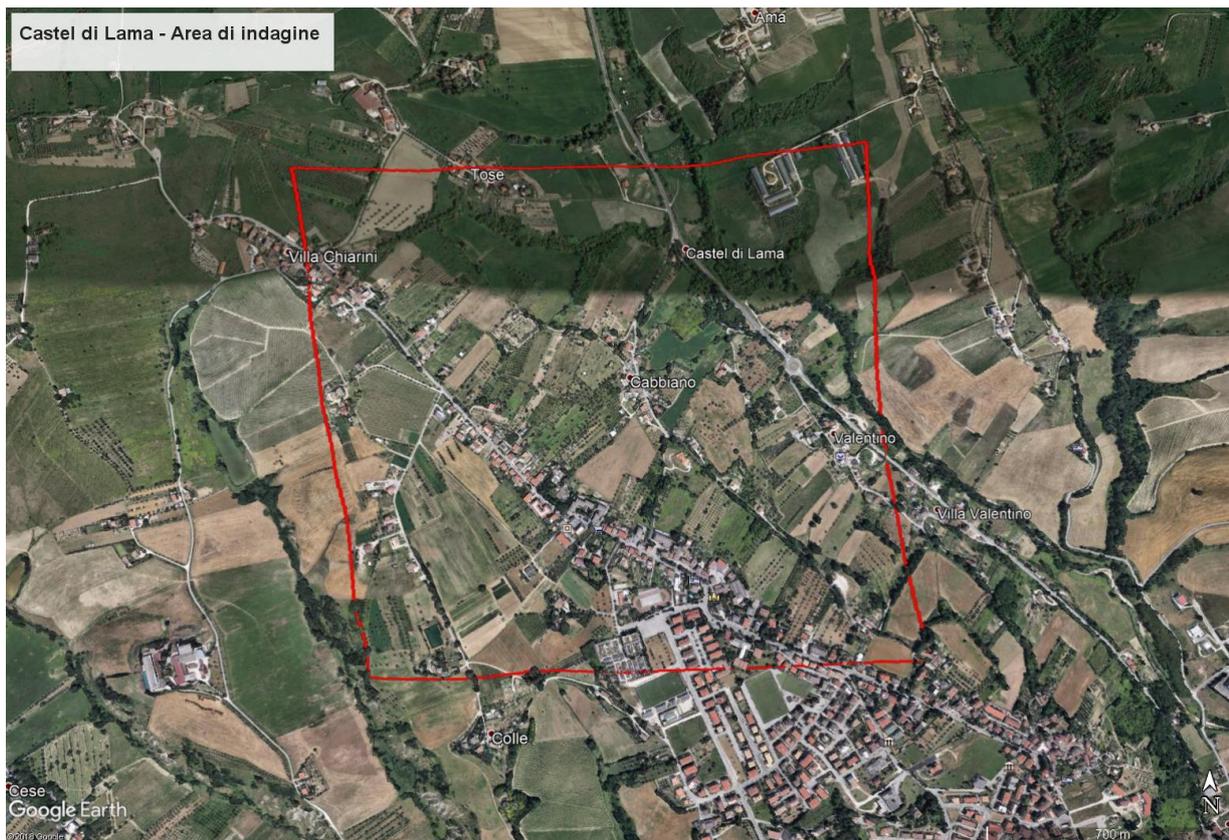
# Studio ed analisi di serie storiche di immagini satellitari SAR sul territorio di Castel di Lama (AP)

## Sommario

Area di analisi InSAR.....	3
Introduzione alle Tecniche InSAR di Stacking .....	3
Persistent Scatterers (PS) .....	4
Small Baseline Subset (SBAS) .....	5
Comparazione tra tecnica PS e SBAS .....	6
Progetto Tecnico.....	8
Offerta economica.....	8
Sentinel-1 .....	9
Algoritmi InSAR stacking utilizzati .....	10
Approccio PS .....	11
Prodotti e tempi di esecuzione .....	12
Costi e termini di pagamento.....	13
Modalità di pagamento.....	13
Bibliografia.....	14

## Area di analisi InSAR

L'area di interesse per il Committente si estende per ~3x5 Km nel territorio Castel di Lama in provincia di Ascoli Piceno. Si propone comunque di allargare l'area di analisi InSAR per motivi intrinseci alle tecniche di processamento che saranno utilizzate. La figura seguente riporta l'estensione minima dell'area di studio:



*Area oggetto di indagine*

## Introduzione alle Tecniche InSAR di Stacking

L'elaborazione sarà eseguita con tecniche di analisi multi-temporali interferometriche SAR (InSAR). Tali tecniche, ormai consolidate nel corso dell'ultima decade, consentono di ottenere mappe di velocità media e serie storiche di spostamento del suolo in corrispondenza di pixel a terra ottenuti al termine del processamento stesso.

Le tecniche più diffuse sono quelle degli scatteratori puntuali (Persistent Scatterers) e quella degli scatteratori estesi (Small Baseline Subset, SBAS). Entrambe sono in grado di fornire misure di spostamento di scatteratori (target) naturali con accuratze di 1-2 mm (nelle condizioni migliori).

In entrambi i casi le misure sono riferite alla linea di vista (Line of Sight-LOS), cioè la direzione che congiunge il satellite con la superficie terrestre e possono essere ottenute solo laddove gli scatteratori superficiali mantengono una relativa stabilità di fase nel tempo (alta coerenza interferometrica), cioè non deve cambiare troppo la risposta all'impulso del radar che colpisce il bersaglio a terra nell'intervallo temporale che intercorre tra le varie acquisizioni SAR utilizzate nel processamento.

Qui di seguito sono riportati i principi generali delle due tecniche proposte.

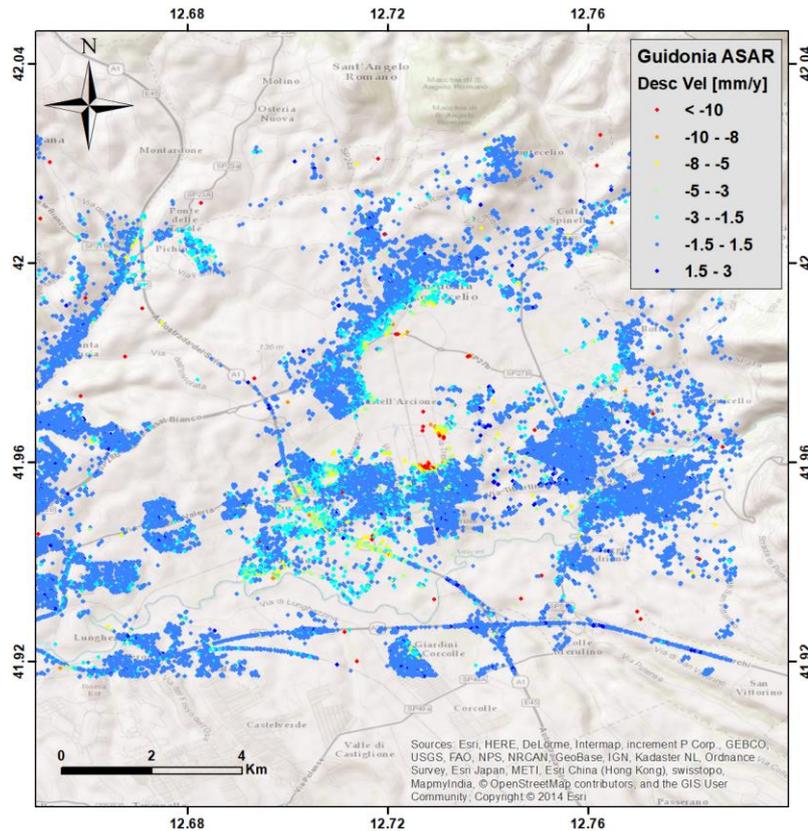
## Persistent Scatterers (PS)

La tecnica dei Persistent Scatterers (PS, Ferretti et al., 2001), è basata sull'osservazione che un piccolo sottoinsieme di bersagli radar, costituito da scatteratori persistenti, è poco sensibile ad effetti di decorrelazione temporale e mantiene invariata nel tempo l'informazione di fase contenuta nell'impulso radar.

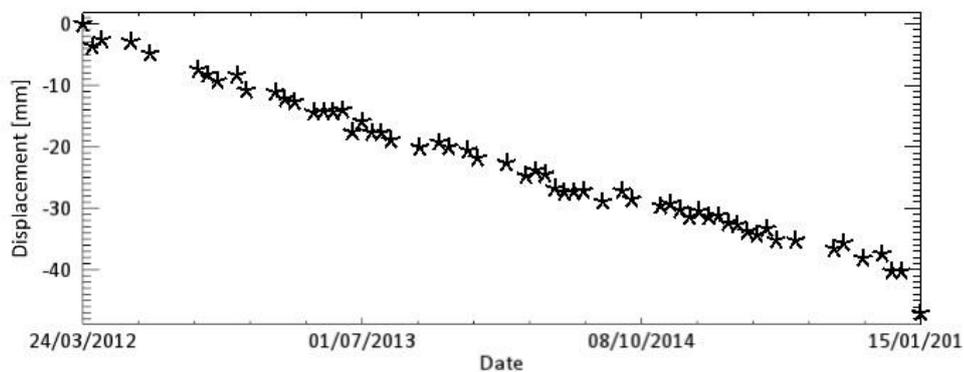
I PS sono tipicamente parti di edifici, strutture metalliche, rocce esposte, o più in generale tutti quegli elementi presenti sul suolo le cui caratteristiche elettromagnetiche non variano nel tempo. Al contrario, non sono PS tutti quegli elementi che variano nel tempo, come la vegetazione, i campi arati, ecc..

L'elaborazione parte da uno studio statistico delle immagini, che porta ad una prima selezione di PS, per i quali viene calcolata la storia di fase interferometrica stimando nello stesso tempo gli effetti dovuti alle variazioni delle proprietà atmosferiche tra le varie immagini e la quota topografica nel punto.

Dalla storia di fase si ricava lo spostamento del PS nel tempo e quindi la serie temporale di deformazione e la velocità media nel periodo considerato (esempi per altre aree e periodi sono riportati nelle figure seguenti).



Esempio di mappa di velocità media dei PS lungo la LOS



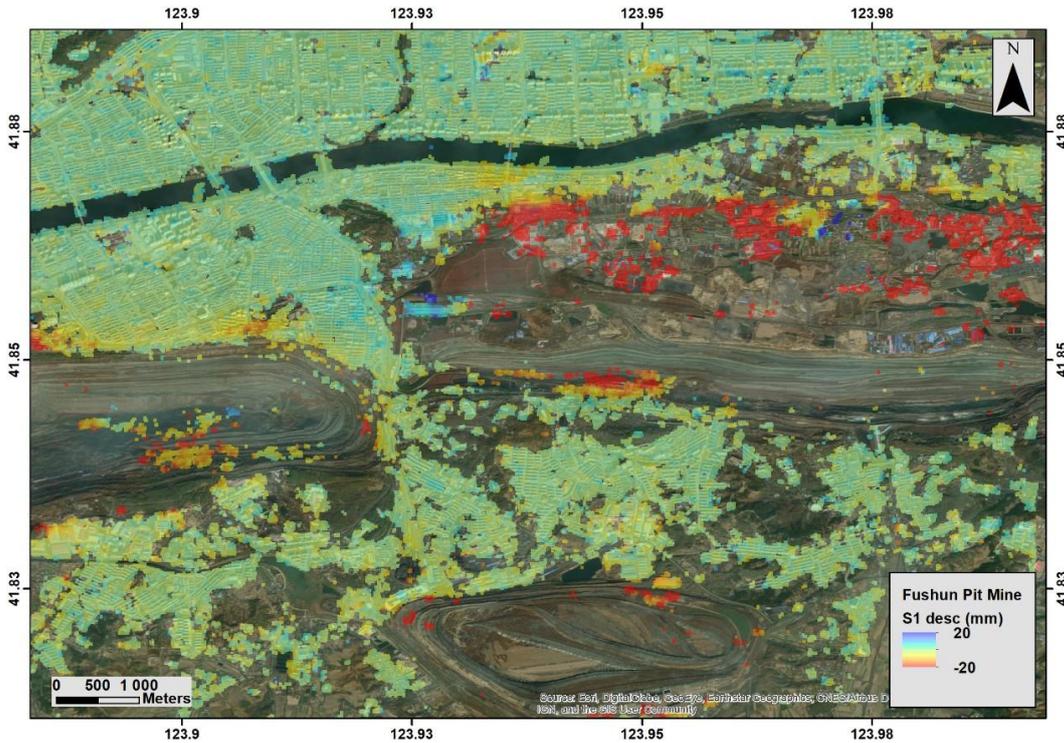
Esempio di serie storica di spostamento lungo la LoS

## Small Baseline Subset (SBAS)

La tecnica SBAS (Small Baseline Subset, Berardino et al., 2002) parte dalla generazione di una serie di interferogrammi differenziali ottenuti su coppie di immagini SAR estratte dal dataset a disposizione. Le coppie sono scelte secondo criteri che minimizzano la differenza tra le successive posizioni del satellite per le due immagini (*normal baseline*) e che selezionano un intervallo temporale (*temporal baseline*) tra le date di acquisizione in modo da limitare la perdita di coerenza. Dalla serie di interferogrammi così ottenuti, tramite un'inversione che utilizza l'algoritmo Single Value Decomposition (SVD), è possibile ottenere la mappa della velocità media di spostamento del suolo e le relative serie storiche, ovvero gli spostamenti del

suolo nel tempo calcolati per ogni singolo pixel coerente della mappa alle date di acquisizione delle immagini usate.

Durante l'inversione vengono anche stimati e rimossi eventuali errori orbitali, residui topografici ed atmosferici (nella figura seguente è mostrato un esempio di mappa per altra area e periodo).



*Esempio mappa di velocità media di spostamento del suolo*

## Comparazione tra tecnica PS e SBAS

PS e SBAS sono ideali per utilizzare serie di immagini SAR al fine di identificare aree (pixel) che mostrano segnale coerente e costante (spostamento) nel tempo. PS e SBAS hanno proprietà e caratteristiche che li rendono più o meno adatti a seconda della tipologia di area di interesse presa in considerazione e dei risultati attesi.

PS è ideale per l'analisi dei bersagli puntiformi. Il prodotto risultante è rilevante per le misurazioni di spostamenti lineari e la derivazione delle altezze precise di scatteratori locali, che sono tipicamente caratterizzati da alta coerenza. Il numero di acquisizioni è cruciale per la stima di coerenza, che, a sua volta, consente l'identificazione di idonei PS. L'uso di un numero insufficiente di acquisizioni produrrà una stima alta di coerenza su tutta la scena, causando una sovrastima di PS, e, di conseguenza falsi spostamenti. L'identificazione di PS è generalmente considerata affidabile quando vengono utilizzate 20 o più acquisizioni. La

tecnica PS deve essere utilizzata esclusivamente in zone edificate, o, in generale, dove gli scatteratori rimangono stabili in termini di fase radiometrica ed interferometrica.

A seconda della stabilità del diffusore (tempo di coerenza), la precisione di spostamento ottenibile può raggiungere la precisione di millimetri, mentre la velocità massima è limitata dalla distanza minima di tempo tra l'acquisizione e la lunghezza d'onda del sensore. Per quanto riguarda l'elevazione, la tecnica PS identifica gli scatteratori con maggiore precisione rispetto allo Small Baseline Subset.

Small Baseline Subset (SBAS) è idoneo per l'analisi di bersagli distribuiti e permette l'analisi di grandi serie temporali. In generale, è opportuno ricordare che maggiore è il numero delle acquisizioni, migliore è la qualità del prodotto risultante, questo anche perché la componente atmosferica può essere meglio stimata e ridotta. Per quanto riguarda lo spostamento, rispetto alla tecnica PS, quello SBAS non è limitato esclusivamente a quello lineare: infatti, accanto a quest'ultimo, sono supportati modelli quadratici e cubici. Circa lo spostamento massimo, mentre non vi è alcun vincolo in termini temporali, esso è limitato rispetto alla variabilità spaziale, a causa della fase di srotolamento.

Mediante questi approcci cosiddetti di *'Stacking Interferometry'* possono essere ottenute valide ed accurate misure di ratei di spostamento (mm/anno).

- L' approccio SBAS è adatto a fornire una densa copertura e una maggiore precisione per i fenomeni a bassa frequenza spaziale, PS per i fenomeni ad alta frequenza spaziale.
- Frequenze più basse (ad esempio, L-band) consentono di aumentare la copertura spaziale; frequenze più alte (ad esempio C-Band) forniscono precisioni migliori.
- La contemporanea disponibilità dei diversi approcci e sensori permettono di coprire la più ampia varietà di casi applicativi.

Indipendentemente dalla tecnica selezionata, i pre-requisiti sono per ogni diversa elaborazione sono:

- i dati devono essere acquisiti dallo stesso sensore;
- i dati devono essere acquisiti con la stessa geometria di osservazione;
- in caso di acquisizioni in multi-polarizzazione, deve essere utilizzata la stessa polarizzazione.

Per ottenere risultati affidabili, è consigliabile combinare entrambe le due tecniche e poi confrontare i risultati.

Inoltre elaborando i dataset di immagini SAR sia lungo l'orbita ascendente che discendente, sarà possibile decomporre lo spostamento nelle due componenti est-ovest e verticale (solo su aree coperte da entrambe le orbite).

# Progetto Tecnico

## Offerta economica

## Dati SAR utilizzati

Il monitoraggio InSAR richiede la disponibilità di ampi dataset di immagini satellitari SAR, acquisite sulla stessa geometria (ascending, ovvero passaggio del sensore da Nord a Sud o descending, con passaggio del sensore da Sud a Nord) al fine di incrementare l'individuazione di punti di misura a terra, di poter separare con maggior efficacia rispetto ad un solo punto di vista i movimenti verticali del terreno da quelli orizzontali e di avere a disposizione un numero maggiore di dati così da poter individuare con maggiore facilità punti 'anomali', (outliers).

A tale scopo, si propone l'utilizzo di dati Envisat e/o Sentinel-1A/B, entrambi acquisiti dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ed operanti nella banda di frequenza C.

La separazione temporale (baseline temporale) tra singole immagini di ogni singolo dataset sarà mantenuta il più piccola possibile, al fine di minimizzare cambiamenti nella copertura del suolo e di conseguenza massimizzare la coerenza nelle immagini.

## Sentinel-1

Sentinel-1 è una missione spaziale dell'Agenzia Spaziale Europea inserita all'interno del programma Copernicus. E' costituito da due satelliti che acquisiscono immagini SAR in banda C. Sentinel 1-A è stato lanciato nel 2014, Sentinel 1-B nel 2016. Si utilizzeranno immagini acquisite in modalità IW TOPSAR Single Look Complex (SLC) che presentano uno swath a terra di circa 250x250km. Ciascuna immagine verrà quindi ritagliata sull'area di interesse in modo da limitare il carico computazionale. Di seguito le specifiche tecniche del sensore S1:

Lifetime	7 years (consumables for 12 years)
Orbit	Near-polar Sun-synchronous orbit at 693 km altitude; 12-day repeat cycle; 175 orbits per cycle
Mean local solar time	18:00 at ascending node
Orbital period	98.6 min
Maximum eclipse duration	19 min
Attitude stabilisation	3-axis stabilised
Attitude accuracy	0.01° (each axis)
Instrument	Right looking with respect to the flight direction
Steering	Zero Doppler yaw steering and roll steering (-0.8° to +0.8°)
Attitude profile	Geocentric and geodetic
Orbit knowledge	10 m (each axis, 3σ) using GPS
Operative autonomy	96 h
Launch mass	2300 kg (including 130 kg mono-propellant fuel)
Dimensions (stowed)	3900 × 2600 × 2500 mm
Solar array average power	5900 W (end-of-life)
Battery capacity	324 Ah
Satellite availability	0.998
S-band TT&C data rates	64 kbit/s telecommand; 128 kbit/s - 2 Mbit/s telemetry (programmable)
X-band downlink data rate	2 × 260 Mbit/s
Launcher	Soyuz from Kourou

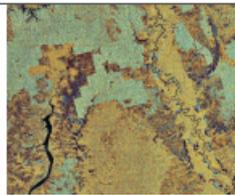
Specifiche tecniche del sensore Sentinel-1

Il campionamento temporale fornito dai sensori montati sui satelliti Sentinel-1 è di 12 giorni a partire da fine 2014 per arrivare a 6 giorni dopo la messa in orbita del secondo satellite (Sentinel-1B) nel 2016. Tale bassa frequenza temporale di acquisizione consente, in teoria, una minor perdita di coerenza interferometrica, anche in aree 'sfavorevoli' (vegetazione, copertura nevosa, pioggia e presenza di rilievi montuosi con forti pendenze).

## ENVISAT

ENVISAT è un satellite per l'osservazione della Terra operato dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) lanciato nel 2002 e rimasto operativo fino ad inizio 2011.

Tra gli strumenti presenti a bordo è compreso il sensore radar SAR denominato ASAR, le cui caratteristiche sono descritte qui di seguito:

ASAR (Envisat) AMI (ERS-1 and ERS-2)			
Type	Imaging Multi-spectral Radiometers (VIS/IR)		
Measurements and Applications	All-weather images of ocean, land and ice for monitoring of land surface processes, sea and polar ice, sea state, and geological and hydrological applications.		
Technical Characteristics		<b>ASAR</b>	<b>AMI</b>
	Waveband	Microwave: 5.331 GHz C-band, with choice of 5 polarisation modes (VV, HH, VV/HH, HV/HH, or VH/VV), bandwidth 16 MHz	Microwave: 5.3 GHz, C band, VV polarisation, bandwidth 15.5 MHz
	Spatial Resolution	Image, wave and alternating polarisation modes: approx 30 x 30 m, Wide swath mode: 100 x 100 m, Global monitoring mode: 950 x 950 m	30 m
	Swath Width	Image and alternating polarisation modes: up to 100 km Wave mode: 10 km Wide swath and global monitoring modes: 400 km or more	Image mode: 100 km Wave mode: 5 km
	Accuracy	Radiometric resolution in range: 1.5 - 3.5 dB, Radiometric accuracy: 0.65 dB	Landscape topography: 3 m, Bathymetry: 0.3 m, Sea ice type: 3 classes

### Caratteristiche tecniche del sensore ASAR

Il tempo di rivisita di tale sensore è di 35 giorni, quindi molto maggiore di Sentinel-1, ciò può comportare difficoltà nell'ottenimento di una mappa di spostamento in aree con pochi manufatti (edifici, strade, costruzioni fatte dall'uomo, ecc.).

## Algoritmi InSAR stacking utilizzati

Come detto, per la generazione dei prodotti interferometrici multi-temporali si propone l'adozione di entrambi gli approcci SBAS e PS (v. bibliografia) ormai di uso comune nel campo del monitoraggio di fenomeni quali subsidenza e franosi; tali metodologie sono descritte graficamente qui di seguito.

## Approccio PS

Nella figura seguente il workflow relativo alla catena di processamento PS:

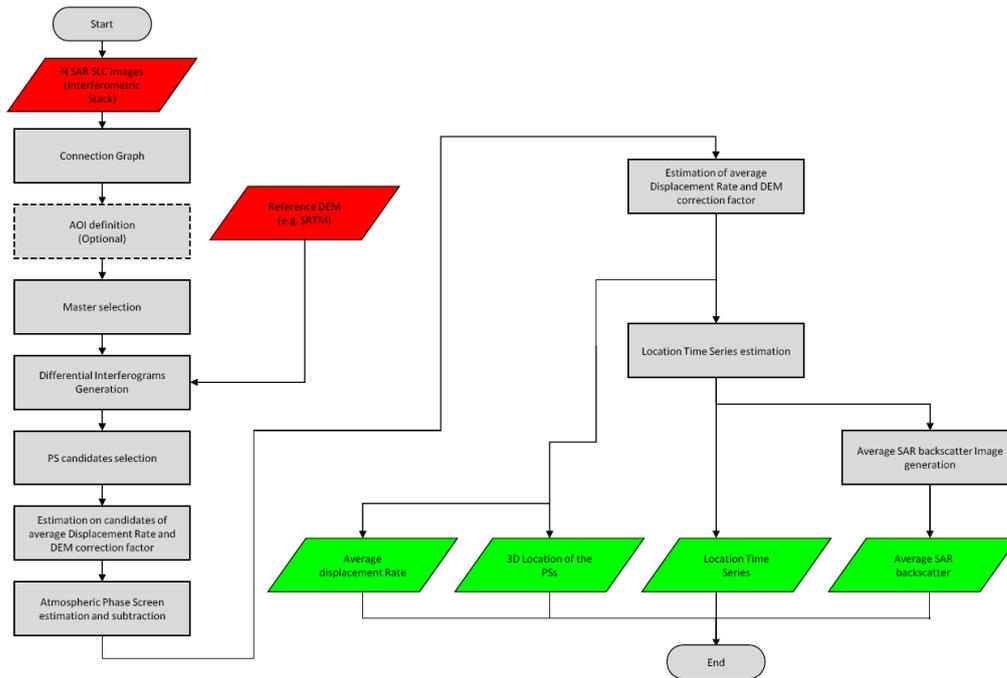


Diagramma a blocchi del modulo di processamento PS

## Approccio SBAS

Per quanto riguarda la tecnica SBAS, essa è stata testata con successo dai proponenti in diverse occasioni.

Nella figura seguente il diagramma a blocchi relativo alla catena di processamento SBAS:

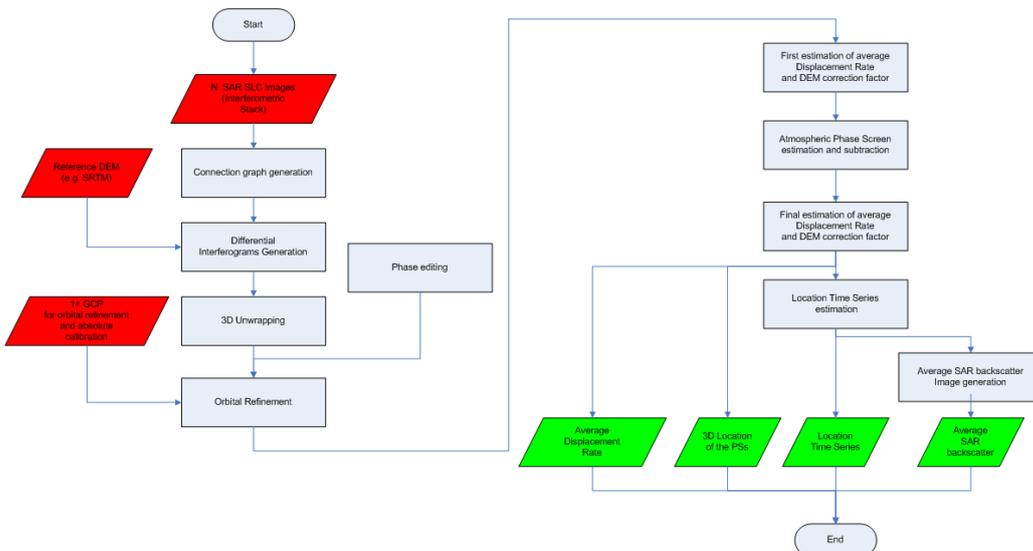


Diagramma a blocchi del modulo di processamento SBAS

## Prodotti e tempi di esecuzione

Si propone di elaborare le seguenti tipologie di dati SAR da sensori diversi:

- Sentinel-1 orbita ascendente (01/2015-10/2018)
- Sentinel-1 orbita discendente (01/2015-10/2018)
- ENVISAT orbita ascendente (01/2003-12/2010)
- ENVISAT orbita discendente (01/2003-12/2010)

Le immagini Sentinel-1 e ENVISAT sono disponibili gratuitamente.

Si processeranno i dati Envisat nel periodo 2003-2010 lungo le due orbite ascendente e discendente. In tale modo sarà possibile disporre di una informazione sul movimento del terreno nei due periodi temporali coperti dalle immagini acquisite dai due diversi sensori proposti. I risultati ottenuti mediante l'approccio PS e quello SBAS verranno incrociati e/o mediati in modo da conseguire maggiore robustezza ed accuratezza alla soluzione nonché al fine di individuare ed eliminare eventuali punti statisticamente anomali.

Per ciascun dataset di immagini elaborato verrà consegnata una tabella (formato vettoriale shapefile .shp o lista .txt) riportante, per ogni punto individuato:

- codice identificativo;
- coordinate geografiche WGS84;
- velocità medie annue di spostamento (lungo la Line Of Sight - LOS per la singola geometria e componenti Est e Verticale in caso di doppia geometria);
- valore di coerenza;
- serie storiche degli spostamenti.

Le tabelle verranno corredata da un report riassuntivo delle analisi svolte e dei risultati ottenuti.

Si precisa che i risultati ottenuti rappresentano una elaborazione tecnico-scientifica delle immagini satellitari disponibili effettuate con le tecniche descritte che rappresentano lo stato dell'arte. La validazione dei dati ottenuti necessita di una integrazione con altre tipologie di dati geologici e strutturali.

I tempi di svolgimento dell'attività sono di 16 settimane. L'avvio delle attività verrà concordato con il Committente.

## Costi e termini di pagamento

Il costo per lo svolgimento dell'attività con le due metodologie precedentemente descritte è fissato a corpo in Euro 19.000,00 (più IVA).

## Modalità di pagamento

Il pagamento prevede un anticipo pari al 40% ad inizio attività ed il saldo alla consegna dei risultati mediante bonifico bancario a 30 giorni data fattura.

## Ragione sociale

SpacEarth Technology Srl  
Via di Vigna Murata, 605  
00143 Roma (Italia)  
PIVA/CF 12975411005

## Riferimenti amministrativi

La comunicazione relativa alla presente offerta dovrà essere indirizzata a:

SpacEarth Technology Srl  
Via di Vigna Murata, 605  
00143 Roma (Italia)  
Tel. 06/51860396  
Email: [amministrazione@spaceearth.net](mailto:amministrazione@spaceearth.net)

## Riferimenti tecnici

Dott. Cristiano Tolomei  
Email: [SAR@spaceearth.net](mailto:SAR@spaceearth.net)

Roma, 22 gennaio 2019

*Il presidente*



*Vittorio Cannas*

## Bibliografia

- Berardino, G. Fornaro, R. Lanari, and E. Sansosti, “A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential interferograms,” IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing Vol. 40, No. 11, pp. 2375–2383, 2002.
- Bürgmann R., Rosen P.A. and Fielding E.J.; 2000: Synthetic aperture radar interferometry to measure Earth’s surface topography and its deformation. Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 28, 169-209.
- Ferretti, C. Prati, and F. Rocca, “Permanentscatterers in SARinterferometry”.
- Canova F., Tolomei C., Salvi S., Toscani G. and Seno S. (2011) Land subsidence along the Ionian coast of SE Sicily (Italy), detection and analysis via Small Baseline Subset (SBAS) multitemporal differential SAR interferometry, Earth Surface Processes and Landforms DOI: 10.1002/esp.2238. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 39, No. 1, pp. 8–20, 2001.
- Casu F., Manzo M. and Lanari R.; 2006: A quantitative assessment of the SBAS algorithm performance for surface deformation retrieval from DInSAR data. Remote Sens. Environ., 102, 195-210.
- Goldstein R.M., Zebker H.A. and Werner C.L.; 1988: Satellite radar interferometry: two-dimensional phase unwrapping. Radio Sci., 23, 713-720.
- Lanari R., Casu F., Manzo M., Zeni G., Berardino P., Manunta M. and Pepe A.; 2007: An overview of the small baseline subset algorithm: a DInSAR technique for surface deformation analysis. Pure Appl. Geophys., 164, 637-661.
- Polcari M., Albano M., Saroli M., Tolomei C., Lancia M., Moro M. and Stramondo S., Subsidence Detected by Multi-Pass Differential SAR Interferometry in the Cassino Plain (Central Italy): Joint Effect of Geological and Anthropogenic Factors? , Remote Sens. 2014, 6, 9676-9690; doi:10.3390/rs6109676.
- Salvi S., Stramondo S., Funning G.J., Ferretti A., Sarti F. and Mouratidis A.; 2012b: The Sentinel-1 mission for the improvement of the scientific understanding and the operational monitoring of the seismic cycle. Remote Sens. Environ., 120, 164-174.

- Stramondo S., Saroli M., Tolomei C., Moro M., doumaz F., Pesci A., Loddo F., Baldi P., Boschi E., Surface movements in Bologna (Po Plain - Italy) detected from multitemporal DinSar, Under Review, 2006.
- Tolomei, C., Salvi, S., Lugari, A., Beckers, J., Huber, M., Pezzo, G. "MultitemporalInSAR data to develop natural hazard scenarios for the Bandung area (Western Java, Indonesia)".