



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DST
DIPARTIMENTO DI
SCIENZE DELLA TERRA
CENTRO DI COMPETENZA DEL
SERVIZIO NAZIONALE DELLA
PROTEZIONE CIVILE



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Studio e monitoraggio della Rupe di San Leo (Provincia di Rimini)



Firenze, 5 maggio 2014

Gruppo proponente

- Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra (DST-UNIFI), Centro di Competenza del DPC
- Ellegi srl - LiSALab, Milano (ELLEGI)
- Tele-Rilevamento Europa – T.R.E. srl, Milano (TRE)

Responsabile del progetto

Prof. Nicola CASAGLI

Gruppo di lavoro

DST-UNIFI

Dott. Giovanni Gigli

Dott. Luca Lombardi

Dott. Massimiliano Nocentini

ELLEGI

Ing. Davide Leva

Ing. Carlo Rivolta

TRE

Ing. Alessandro Ferretti

Ing. Fabrizio Novali

Ing. Marco Bianchi

Dott. Sara Del Conte

TAVOLA DEI CONTENUTI

1	INTRODUZIONE.....	5
2	TECNOLOGIA DI MONITORAGGIO IMPIEGATA.....	6
2.1	MONITORAGGIO CON RADAR INTERFEROMETRICO DA TERRA	6
2.2	MONITORAGGIO CON DATI RADAR INTERFEROMETRICI SATELLITARI	6
3	ATTIVITÀ PROPOSTA	8
4	FORMA CONTRATTUALE.....	10
4.1	DURATA DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA	10
4.2	GRUPPO PROPONENTE	10
5	CONTRIBUTO FINANZIARIO ALLE SPESE DI RICERCA	12
6	PRODOTTI DEL MONITORAGGIO.....	12

1 Introduzione

Il presente documento fa riferimento alla proposta di accordo tra l'Agenzia di Protezione Civile della Regione Emilia Romagna e il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze (UNIFI-DST), Prot. N. 35 Pos. CDC del 30 aprile 2014, per il prosieguo delle attività di studio e monitoraggio della Rupe di San Leo (RN) già intraprese mediante l'integrazione del monitoraggio radar da terra con quello da satellite e relativa analisi ed interpretazione dei dati.

A seguito dei fenomeni franosi occorsi in data 27 febbraio 2014 sulla Rupe di San Leo, il Centro di Competenza DST-UNIFI è stato incaricato dal Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri, di concerto con l'Agenzia Regionale di Protezione Civile, di installare un dispositivo di monitoraggio in continuo e remoto della porzione di rupe interessata dai fenomeni di dissesto per la durata di 1 mese, successivamente prorogata a 2 mesi.

Successivamente al sopralluogo effettuato in data 3 marzo 2014 con lo scopo di individuare le modalità più consone al monitoraggio, in data 7 marzo 2014 è stato installato, di fronte al tratto di rupe interessato dai fenomeni di instabilità, un interferometro radar ad apertura sintetica (GB-InSAR) basato sulla tecnologia LiSA.

Tale sistema consente il controllo pressoché totale del tratto di rupe con aggiornamento dei dati ogni 2 minuti. I dati del monitoraggio sono disponibili on line e vengono riassunti quotidianamente in un bollettino emesso da questo Centro di Competenza.

Su richiesta del Centro di Competenza, il Capo del Dipartimento della Protezione Civile ha richiesto all'Agenzia Spaziale Italiana la disponibilità dell'intero archivio di immagini della costellazione di satelliti radar COSMO-SkyMed. L'elaborazione interferometrica di tali immagini consente di ottenere misurazioni ad alta precisione dei movimenti del suolo e dei manufatti sull'intera rupe di San Leo a partire dal 2010. Tali dati possono altresì essere combinati con quelli ottenuti dai satelliti dell'Agenzia Spaziale Europea, che sono pubblicamente disponibili e che coprono il periodo 1992-2010.

L'attività di monitoraggio relativa al periodo che va dal 7 marzo 2014 al 7 maggio 2014 è stata effettuata dal Centro di Competenza DST-UNIFI per conto del Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri.

2 Tecnologia di monitoraggio impiegata

2.1 Monitoraggio con radar interferometrico da terra

Il radar è un sensore attivo che invia impulsi a microonde verso la scena osservata, registra coerentemente il segnale retrodiffuso e deriva l'informazione sulla distanza dei diversi retrodiffusori nella scena dal calcolo del ritardo temporale tra segnale inviato ed eco ricevuto.

Il sensore può essere utilizzato con tecniche ad apertura sintetica (SAR) al fine di ottenere immagini a microonde ad elevata risoluzione spaziale.

Nella presente applicazione la tecnica SAR viene implementata con sensori montati su una piattaforma basata a terra. Il trattamento dei dati viene effettuato in modo tale da ottenere come risultato un'immagine complessa. Ogni pixel dell'immagine sarà pertanto caratterizzato non solo da un'ampiezza radiometrica, che esprime la riflessività dell'oggetto alla frequenza di osservazione, ma anche da una fase che dipende dalla distanza sensore-oggetto e dalle caratteristiche dielettriche di quest'ultimo.

Basandosi sul confronto quantitativo tra due immagini SAR della stessa scena, ottenute con identici parametri di misura, è possibile misurare con un'elevata accuratezza lo spostamento del terreno nell'intervallo di tempo intercorso fra le due acquisizioni (interferometria SAR).

A differenza dell'interferometria SAR satellitare, l'implementazione della tecnica con sensori a terra permette il controllo di movimenti ad evoluzione rapida anche su aree particolarmente acclivi e ad evoluzione rapida. Infatti i parametri operativi di ripresa, quali l'angolo di incidenza, la lunghezza d'onda della radiazione, l'intervallo di tempo tra acquisizioni successive, etc. possono essere adattati alle specifiche condizioni del sito in esame.

L'elevata frequenza con cui è possibile effettuare le osservazioni giornaliere, accoppiata all'alta risoluzione delle immagini ottenute, rende il sistema notevolmente potente anche per il monitoraggio di processi geologici a cinematica rapida, grazie anche all'elaborazione immediata dei dati e dunque alla loro lettura e interpretazione in tempo quasi-reale.

Nell'ambito del presente accordo si prevede la continuazione delle attività di monitoraggio del dispositivo radar a terra già installato di fronte al tratto di rupe interessato dai fenomeni di instabilità.

Tale dispositivo è un interferometro radar da terra (GBInSAR: Ground-based Interferometric Synthetic aperture radar) basato su tecnologia LiSA sviluppata presso i laboratori del Joint Research Centre della Commissione Europea.

2.2 Monitoraggio con dati radar interferometrici satellitari

L'interferometria radar satellitare si basa sul confronto di serie di immagini SAR acquisite sulla stessa area da satellite, ma in momenti differenti, in modo da mettere in luce eventuali differenze riconducibili a fenomeni di deformazione avvenuti tra le acquisizioni disponibili.

Un elemento di grande rilievo relativo all'impiego delle tecniche interferometriche per il monitoraggio delle deformazioni del terreno basate su dati satellitari è dato dal fatto che le prime acquisizioni radar risalgono al 1992, quando il satellite ERS-1 dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) iniziò ad acquisire regolarmente su vaste aree del pianeta.

Il monitoraggio con dati radar satellitari consente di integrare la rete di monitoraggio basata a terra, mediante misure ad alta precisione, compiute tramite interferometria da satellite, di eventuali spostamenti avvenuti nel recente passato. La possibilità di indagare eventuali deformazioni pregresse nel periodo 1992-2010 e ancor più nei mesi che hanno preceduto l'evento, potrà infatti consentire di identificare ed interpretare eventuali spostamenti o deformazioni con ordine di grandezza millimetrico che hanno

preceduto l'evento principale. Queste informazioni potranno contribuire ad identificare eventuali moti precursori.

La disponibilità di dati SAR negli ultimi venti anni proviene dalle immagini acquisite dai sensori ERS1/ERS2, ENVISAT e RADARSAT, operanti in banda-C (lunghezza d'onda di circa 5.6 cm), con tempi di rivisitazione a terra sulla stessa scena di circa un mese (35 giorni per ERS/ENVISAT) e risoluzione spaziale a terra dei dati acquisiti tra 5 e 20 m.

Recentemente sono stati messi in orbita sensori SAR di nuova generazione ad alta risoluzione spaziale, quale ad esempio il satellite COSMO-SkyMed gestito dall'Agenzia Spaziale italiana (ASI). Tale sistema acquisisce in banda-X (lunghezza d'onda pari a 3.1 cm) e, grazie alla sua elevata risoluzione spaziale (circa 3 m e fino a 1 m nella modalità denominata Spotlight) e ai suoi tempi di rivisitazione estremamente ridotti (da 16 fino a 4 giorni), permette di rilevare fenomeni deformativi più rapidi e più localizzati spazialmente rispetto ai precedenti sensori di media risoluzione.

Nello specifico per il monitoraggio sarà impiegata la tecnica PSInSARTM che è stata sviluppata e brevettata nel 1999 dal Politecnico di Milano e concessa in licenza esclusiva nel 2000 a Tele-Rilevamento Europa (TRE) S.r.l., spin-off del Politecnico. La tecnica PSInSARTM si basa sull'osservazione di un piccolo sottoinsieme di bersagli radar, denominati diffusori permanenti (Permanent Scatterers, PS), che sono praticamente immuni da effetti di decorrelazione temporale e spaziale. Ciò significa che essi mantengono la stessa “firma elettromagnetica” in tutte le immagini radar utilizzate, al variare della geometria di acquisizione e delle condizioni climatiche, preservando l'informazione di fase nel tempo. I PS corrispondono generalmente ad elementi già presenti al suolo quali strutture di origine antropica (edifici, monumenti, strade, linee ferroviarie, antenne, tralicci, elementi metallici, etc.), oppure elementi naturali (affioramenti rocciosi, accumuli di detrito), ovvero a tutti quegli elementi già presenti al suolo, le cui caratteristiche elettromagnetiche non variano sensibilmente al variare della geometria di acquisizione e delle condizioni climatiche e atmosferiche.

La densità spaziale dei PS risulta quindi variabile a seconda del sensore utilizzato per l'analisi, dell'uso del suolo e della morfologia del terreno. In generale, i PS raggiungono una densità molto elevata in corrispondenza dei centri urbani e delle aree antropizzate (fino a centinaia di PS/km²), mentre sono assenti nelle zone vegetate o innevate.

Generalmente, affinché la tecnica risulti applicabile con successo, è necessario disporre di un dataset di almeno 25-30 immagini radar.

Per ogni singolo PS si ricavano la posizione (le sue coordinate geografiche: latitudine, longitudine, quota), il trend medio di deformazione (calcolato come l'interpolazione lineare dello spostamento misurato nell'intero periodo di monitoraggio) e l'intera serie temporale degli spostamenti. Tutte le misure sono sempre calcolate lungo la congiungente sensore - bersaglio (linea di vista del sensore, LOS), che è inclinata rispetto alla verticale di un angolo che varia secondo il satellite utilizzato. Inoltre, tutte le misure sono di tipo differenziale, ottenute dopo avere determinato uno o più punti di riferimento a terra (reference points), di coordinate note e supposti fermi (su basi geologiche oppure indicati come tali ad esempio da misure GPS o di livellazione ottica). Inoltre, tutte le informazioni di movimento fornite dai PS sono relative e non assolute, cioè sono riferite temporalmente alla data di acquisizione della immagine master, usata come misura “zero” (es.: prima acquisizione disponibile nell'arco temporale analizzato).

La precisione ottenibile con le analisi tramite tecniche PSInSAR è dell'ordine di 1-3 mm per le singole misure di spostamento e fino a 1 mm/anno per le velocità medie di deformazione.

3 Attività proposta

Per lo studio e il monitoraggio dei fenomeni di instabilità della Rupe di San Leo, si propone il prosieguo del monitoraggio interferometrico radar da terra e da satellite, con le modalità già in corso.

Relativamente al monitoraggio interferometrico da terra si provvederà alla gestione, alla produzione, alla restituzione e all'interpretazione dei risultati e dei dati acquisiti dal sistema GB-InSAR. In dettaglio saranno svolte le seguenti attività:

- acquisizione e analisi delle immagini radar;
- pubblicazione dei dati di monitoraggio in continuo su pagine web dedicate;
- realizzazione di serie temporali di deformazione consultabili online, con riferimento ad alcuni punti significativi dell'area in oggetto;
- osservazione giornaliera dei dati di monitoraggio;
- emissione di bollettini di monitoraggio giornalieri;
- segnalazione di eventuali accelerazioni improvvise degli spostamenti sulla scena investigata e trasmissione di comunicati nel caso in cui un incremento delle velocità di spostamento comporti la variazione del livello di criticità;
- segnalazione di eventuali blocchi del sistema o delle comunicazioni che impediscano temporaneamente le attività di monitoraggio;
- gestione e controllo del corretto funzionamento del sistema GB-InSAR per tutta la durata delle attività di monitoraggio;
- integrazione, senza oneri aggiuntivi, di eventuali miglioramenti e/o evoluzioni del sistema GB-InSAR e dei software che ne regolano le funzionalità qualora questi si rendano disponibili durante l'esecuzione delle attività.

Per quanto riguarda l'attività di monitoraggio con dati interferometrici satellitari, l'analisi dei dati permetterà la definizione del quadro deformativo pregresso e attuale della Rupe e dell'abitato di San Leo.

I dati satellitari saranno interpretati con il supporto di cartografia tematica e altro materiale, ritenuto utile al fine dell'interpretazione, per fornire una visione complessiva dei dissesti presenti sull'area in esame e per meglio delimitare le loro eventuali estensioni areali.

Per tutte le situazioni a più alta criticità saranno analizzate in dettaglio le serie temporali di deformazioni al fine di caratterizzare i fenomeni di movimento pregressi e recenti, ed individuare eventuali tendenze deformative specifiche che forniscano elementi utili di supporto al sistema di monitoraggio e sorveglianza.

L'analisi dello scenario deformativo pregresso consiste nell'esame degli spostamenti ex-post (back monitoring), mediante l'elaborazione e l'interpretazione dei seguenti dati radar interferometrici acquisiti dal satellite italiano COSMO-SkyMed dell'ASI (Agenzia Spaziale Italiana), per il periodo marzo 2010 – febbraio 2014; le immagini SAR full resolution del satellite COSMO-SkyMed acquisite sull'area in oggetto e riferite al periodo immediatamente precedente alla frana opportunamente elaborate (dalla società Telerilevamento-Europa, TRE) consentono di ottenere i dati interferometrici PS per il periodo marzo 2010 – febbraio 2014.

L'analisi dello scenario deformativo in corso consiste nel monitoraggio periodico degli spostamenti in atto nella Rupe e nell'abitato di San Leo, mediante l'elaborazione e l'interpretazione periodica dei dati interferometrici radar del satellite COSMO-SkyMed. Le immagini SAR del satellite COSMO-SkyMed acquisite sull'area in oggetto (progetto MapItaly, che garantisce acquisizione sul territorio italiano ogni 16 giorni) e

riferite al periodo successivo alla frana, verranno elaborate al fine di ottenere i dati interferometrici PS. L'elaborazione delle immagini SAR sarà affidata alla società Telerilevamento-Europa.

Alla luce dell'integrazione delle due tecniche di monitoraggio interferometrico (da terra e da satellite) verranno altresì forniti i seguenti servizi:

- l'interpretazione, sulla base dell'analisi di tutti i dati disponibili, del quadro deformativo della rupe;
- la valutazione precoce dei movimenti precursori di futuri dissesti;
- supporto, tramite l'acquisizione di informazioni utili, alla programmazione e alla rimodulazione in corso d'opera degli interventi emergenziali di messa in sicurezza;
- supporto alla formulazione di un piano generale di stabilizzazione e mitigazione del rischio per il superamento dell'emergenza;
- emissione di un rapporto finale di sintesi.

4 Forma contrattuale

4.1 Durata delle attività di ricerca

Accordo per attività di ricerca e sviluppo da stipulare con il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze (DST-UNIFI). Responsabile Prof. Nicola Casagli. I rapporti con gli altri partner di progetto saranno regolati mediante atti interni del DST-UNIFI.

Le attività di ricerca previste dal presente accordo avranno una durata di **tre (3) mesi** e potranno essere prorogate fino a cessate esigenze.

4.2 Gruppo proponente

Il progetto di studio e monitoraggio verrà condotto da DST-UNIFI in stretto coordinamento con l'Agenzia Regionale di Protezione Civile e i Servizi Tecnici di Bacino della Regione Emilia Romagna.

In particolare il DST-UNIFI svolgerà le seguenti attività:

- coordinamento del progetto;
- gestione operativa del sistema di monitoraggio;
- analisi dei dati di monitoraggio e integrazione con i dati geologici;
- ricostruzione degli eventi di instabilità in termini di estensione areale del fenomeno, ricorrenza temporale ed aree coinvolte;
- elaborazione di procedure rapide di valutazione del rischio;
- individuazione di scenari di rischio.

Per lo svolgimento di attività tecniche specialistiche il DST-UNIFI intende avvalersi dei seguenti soggetti, indicati come partner di progetto.

Telerilevamento Europa - TRE

TRE srl è una società di spin-off del Politecnico di Milano, compartecipata dallo stesso Ateneo. Ad essa è stata licenziata in via esclusiva la tecnologia dei Diffusori Permanenti (Permanent Scatterers PSInSAR™ technology) brevettata dal Politecnico di Milano - Brevetto Italiano No. 01312826 del 24 maggio 2002 riconosciuto in:

- US: No. 6,583,751 - 24 June 2003
- EU: No. 1183551 - 17 December 2003
- AU: No. 781580 - 15 September 2005
- CA: No. 2,374,762 - 9 December 2008
- JP: No. 4861555 - 11 November 2011

TRE ha sviluppato successivamente un algoritmo di seconda generazione SqueeSAR™ (Brevetto Italiano No. 0001394733 del 13 luglio 2012), una tecnica InSAR avanzata, che serve a elaborare dataset di immagini satellitari, disponibili su una certa area di interesse, per estrarre il contenuto di informazione relativo all'evoluzione dei movimenti superficiali. Utilizzando dataset di immagini radar satellitari, SqueeSAR™ fornisce l'evoluzione dello spostamento, sia passata (analisi storiche) che corrente (monitoraggio), di un elevato numero di punti di misura al suolo. Rispetto alla tecnica PSInSAR™, SqueeSAR™ è in grado di

identificare una nuova famiglia di bersagli radar, i bersagli distribuiti o Distributed Scatterers (DS). Dunque SqueeSAR™ sfrutta tutte le acquisizioni disponibili su una area di interesse per individuare due differenti famiglie di bersagli a terra, PS e DS, i cui spostamenti sono misurabili da satellite con precisione millimetrica.

TRE è pertanto licenziataria esclusiva per il territorio italiano dei brevetti e delle licenze relative alla tecnologia sopraindicata e, quindi, unico fornitore di tale tipologia di servizio e tecnologia.

Ellegi Lisalab

Ellegi LiSALab srl è una società di spin-off del Centro Comune di Ricerca (JRC) della Commissione Europea, non compartecipata dal JRC in base ai regolamenti in materia della EC.

Ellegi LiSALab ha sviluppato tecniche avanzate di monitoraggio con radar interferometrico con piattaforma posizionata a terra (GBInSAR) e brevettato la strumentazione LiSALab e la modalità operativa di utilizzo come di seguito:

- brevetto italiano n. 0001392799 del 19 Aprile 2012 ("Metodo e sistema per il posizionamento in campo di strumentazione") Inventori: Leva, Rivolta;
- brevetto europeo n. 10 164 891.3 del 7 dicembre 2011("Synthetic-aperture radar system and operating method for monitoring ground and structure displacements suitable for emergency conditions") Inventori: Leva, Rivolta;
- brevetto americano n. US 2011/0298655 dell'8 dicembre 2011 ("Synthetic-aperture radar system and operating method for monitoring ground and structure displacements suitable for emergency conditions") Inventori: Leva, Rivolta;

In virtù del contratto n. 20771-2003-05-T3RR-BRU-IT stipulato con il JRC, Ellegi LiSALab è licenziataria esclusiva per il territorio italiano dei brevetti e delle licenze per i servizi commerciali associati alla tecnologia GB-InSAR LiSA e, quindi, unico fornitore di tale tipologia di servizio e tecnologia.

La selezione dei partner di progetto è guidata dalle seguenti motivazioni:

- le attività di monitoraggio della frana di San Leo richiedono dati e informazioni affidabili, robusti, acquisiti e trasmessi in tempo reale in qualsiasi condizione meteorologica e di visibilità, per cui il loro espletamento richiede strumentazione scientifica estremamente complessa e in continua evoluzione tecnologica; tali peculiarità richiedono competenze altamente qualificate tipiche di centri di ricerca, fondazioni o spin-off collegate a Centri di Ricerca di riconosciuta eccellenza ed affidabilità, anche internazionale;
- le procedure operative sopra definite prevedono la valutazione continua dei dati di monitoraggio, anche in funzione dell'emissione di allarmi e allerta per la pubblica e privata incolumità e richiedono pertanto strumenti, mezzi, dati e informazioni di sicura affidabilità e chiara interpretazione, garantite solo da un rapporto fiduciario e di condivisione scientifica e metodologica fra il CdC ed i soggetti affidatari;
- criteri di economicità, efficienza, efficacia nonché di contenimento della spesa pubblica.

5 Contributo finanziario alle spese di ricerca

Attività	Contributo per attività dei primi 3 mesi (dal 7 maggio 2014 al 7 agosto 2014)	Contributo per ulteriori 6 mesi (dal 7 agosto 2014 al 7 febbraio 2015)
Monitoraggio radar da terra GB-INSAR versante Nord	€ 24.000	€ 45.000
Monitoraggio radar satellitare Cosmo - SkyMed	€ 45.000	€ 42.000
Importo in Euro	€ 69.000	€ 87.000

6 Prodotti del monitoraggio

I tempi previsti per gli elaborati sono i seguenti:

Prodotto	Tempi
Bollettini di monitoraggio	Cadenza giornaliera
Rapporto scientifico finale di sintesi	Alla fine delle attività di monitoraggio