

Beni culturali e nuove tecnologie di monitoraggio satellitare e *in situ*

Carla Iadanza, Daniele Spizzichino

ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale



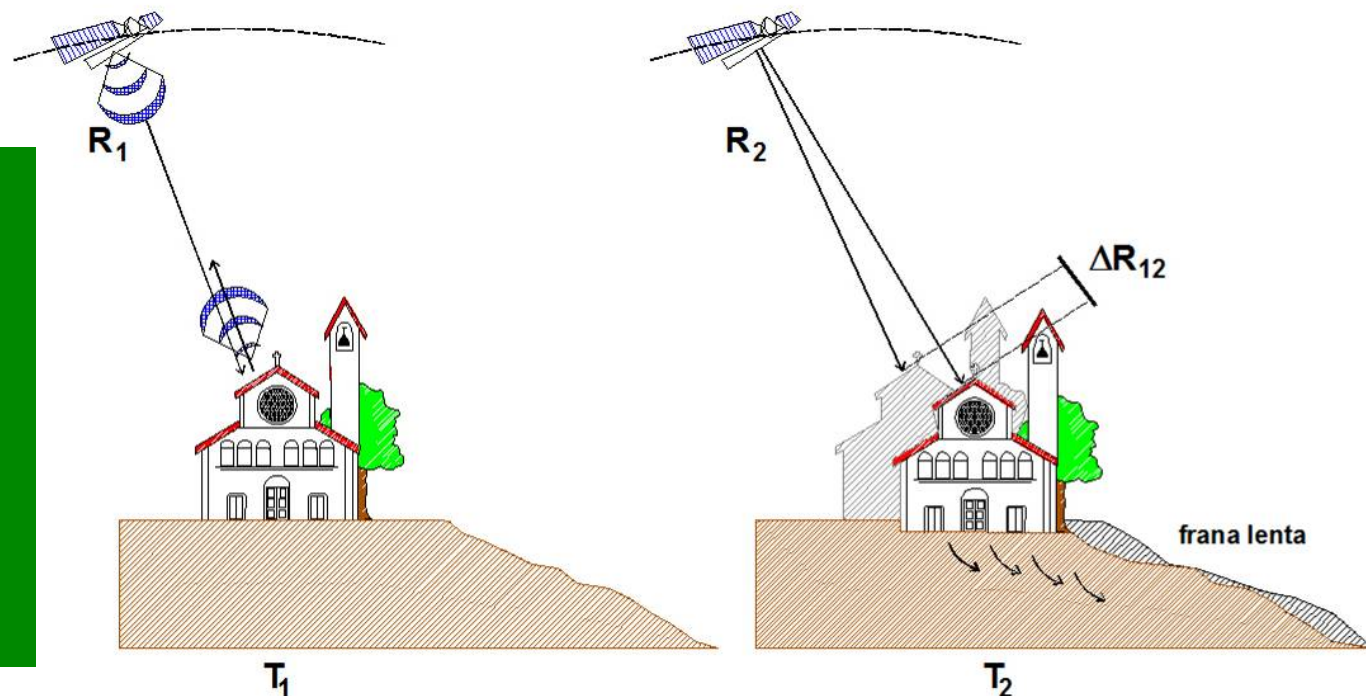
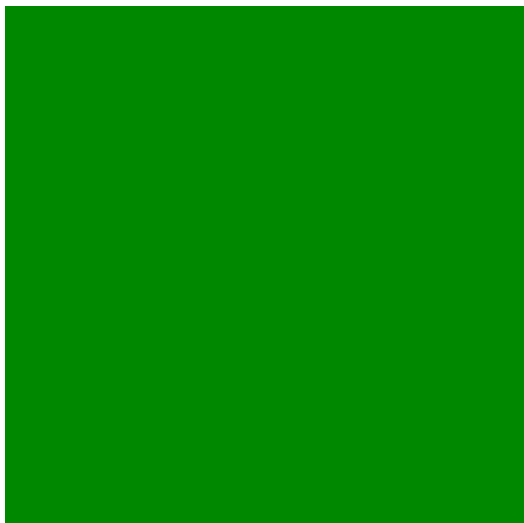
Ministero
dei beni e delle
attività culturali
e del turismo



AMBIENTE E BENI CULTURALI

la collaborazione ISPRA-ISCR per una politica di manutenzione, tutela e valorizzazione

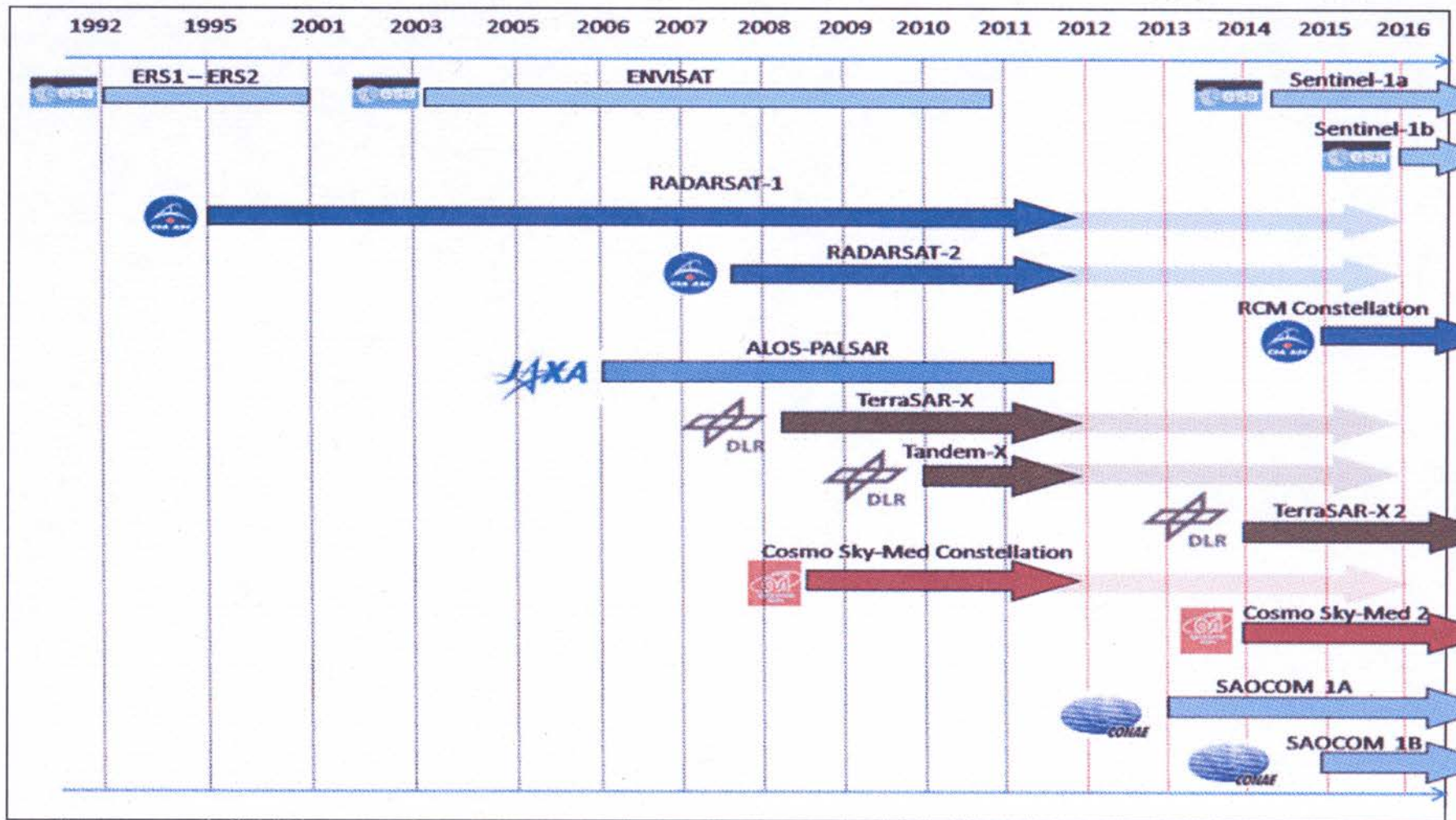
Roma 3|03|2015



Interferometria differenziale SAR

- Misure di spostamento in corrispondenza di bersagli a terra
- **Velocità medie annue di deformazione lungo la LOS (*Line Of Sight*)**
- **Serie storiche di spostamento.**

SATELLITI - SAR

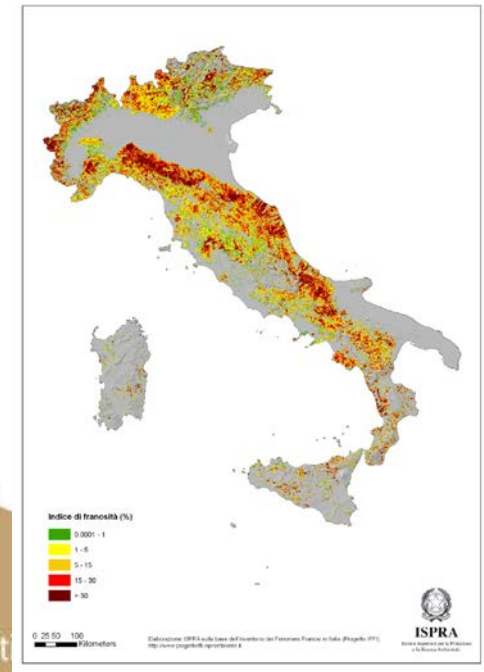
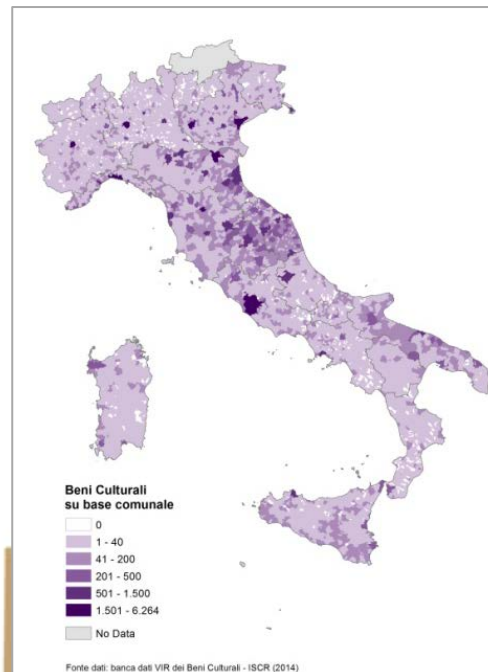
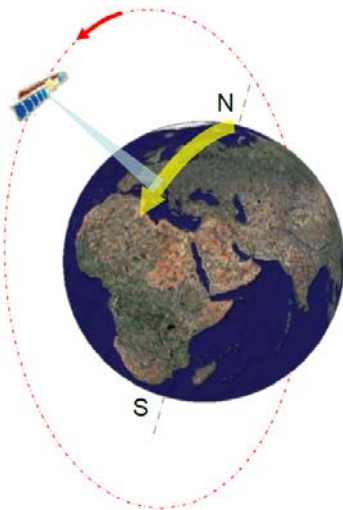


OBIETTIVI

- Definire una metodologia per la valutazione dei beni culturali esposti a fenomeni franosi

DATI DI INPUT

- Dati interferometrici satellitari: ERS (ESA) 1992-2001 e RADARSAT (CSA) 2003-2010
- Banca dati dei Beni Culturali (ISCR)
- Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia - *Progetto IFFI* (ISPRA)

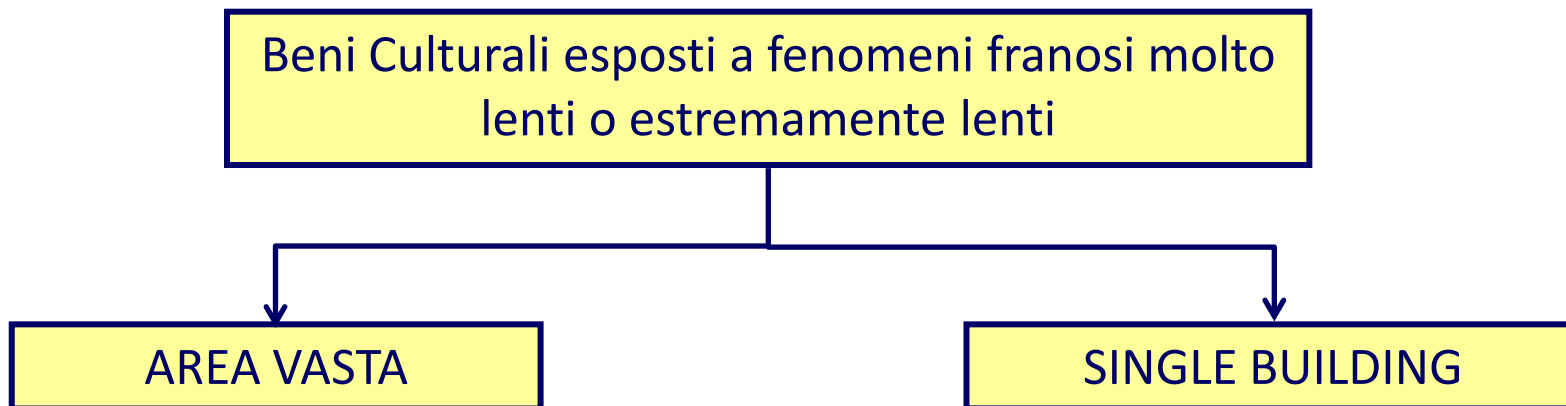


TECNICA INTERFEROMETRICA SATELLITARE

- consente di misurare spostamenti con precisione millimetrica su aree estese e su lunghi intervalli temporali;
- è idonea all'analisi di fenomeni deformativi molto lenti o estremamente lenti: lunghezza d'onda (banda C: 5,66 cm) e tempo di rivisitazione del satellite (ERS 35 gg. e RADARSAT 24 gg.).

Satellite	Band	Revisiting time (days)
ERS 1-2	C	35
Envisat	C	35
Radarsat	C	24
TerraSAR-X	X	11
Cosmo SkyMed	X	16
Sentinel 1	C	12

Velocity Class	Description	Velocity (mm/sec)	Typical Velocity	Probable Destructive Significance
7	Extremely Rapid	5×10^3	5 m/sec	Catastrophe of major violence; buildings destroyed by impact of displaced material; many deaths; escape unlikely
6	Very Rapid	5×10^1	3 m/min	Some lives lost; velocity too great to permit all persons to escape
5	Rapid	5×10^{-1}	1.8 m/hr	Escape evacuation possible; structures, possessions, and equipment destroyed
4	Moderate	5×10^{-3}	13 m/month	Some temporary and insensitive structures can be temporarily maintained
3	Slow	5×10^{-5}	1.6 m/year	Remedial construction can be undertaken during movement; insensitive structures can be maintained with frequent maintenance work if total movement is not large during a particular acceleration phase
2	Very Slow	5×10^{-7}	15 mm/year	Some permanent structures undamaged by movement
1	Extremely SLOW			Imperceptible without instruments; construction POSSIBLE WITH PRECAUTIONS



- L'analisi **su area vasta** consente di esaminare un elevato numero di beni culturali e selezionare quelli interessati da fenomeni franosi lenti attivi - **Test sulla provincia di Macerata**;
- L'analisi **sul singolo bene culturale** consiste in uno studio di dettaglio delle serie storiche degli spostamenti e l'integrazione di informazioni - **Test su 6 Beni Culturali**.

Beni Culturali

BBCC in pianura

BBCC in territorio
montano-collinare



Bene Culturale all'interno o
entro una distanza di 20 m da
una frana lenta (IFFI)

Bene Culturale ad una
distanza maggiore di 20 m
da una frana lenta

A) MP in
movimento
nel buffer del
bene

B) MP non in
movimento
nel buffer

C) No MP
nel buffer
del bene

D) MP in
movimento
nel buffer

E) MP non in
movimento
nel buffer

F) No MP
nel buffer
del bene

La frana è attiva e il bene ha subito uno spostamento

Beni Culturali

BBCC in pianura

BBCC in territorio
montano-collinare



Bene Culturale all'interno o
entro una distanza di 20 m da
una frana lenta (IFFI)

Bene Culturale ad una
distanza maggiore di 20 m
da una frana lenta

A) MP in
movimento
nel buffer del
bene

B) MP non in
movimento
nel buffer

C) No MP
nel buffer
del bene

D) MP in
movimento
nel buffer

E) MP non in
movimento
nel buffer

F) No MP
nel buffer
del bene

La frana è inattiva durante il periodo di osservazione

Beni Culturali

BBCC in pianura

BBCC in territorio
montano-collinare



Bene Culturale all'interno o
entro una distanza di 20 m da
una frana lenta (IFFI)

Bene Culturale ad una
distanza maggiore di 20 m
da una frana lenta

A) MP in
movimento
nel buffer del
bene

B) MP non in
movimento
nel buffer

C) No MP
nel buffer
del bene

D) MP in
movimento
nel buffer

E) MP non in
movimento
nel buffer

F) No MP
nel buffer
del bene

Gli spostamenti non possono essere misurati con la tecnica satellitare (movimento troppo veloce o deformazione lungo l'asse N-S)

Beni Culturali

BBCC in pianura

BBCC in territorio
montano-collinare



Bene Culturale all'interno o
entro una distanza di 20 m da
una frana lenta (IFFI)

Bene Culturale ad una
distanza maggiore di 20 m
da una frana lenta

A) MP in
movimento
nel buffer del
bene

B) MP non in
movimento
nel buffer

C) No MP
nel buffer
del bene

D) MP in
movimento
nel buffer

E) MP non in
movimento
nel buffer

F) No MP
nel buffer
del bene

Il movimento potrebbe essere dovuto a problemi strutturali indipendenti dalla frana (es. cedimenti differenziali delle fondazioni) oppure ad un inventario delle frane incompleto

Beni Culturali

BBCC in pianura

BBCC in territorio
montano-collinare



Bene Culturale all'interno o
entro una distanza di 20 m da
una frana lenta (IFFI)

Bene Culturale ad una
distanza maggiore di 20 m
da una frana lenta

A) MP in
movimento
nel buffer del
bene

B) MP non in
movimento
nel buffer

C) No MP
nel buffer
del bene

D) MP in
movimento
nel buffer

E) MP non in
movimento
nel buffer

F) No MP
nel buffer
del bene

Congruenza tra assenza di movimento misurato da satellite e assenza di frana

Beni Culturali

BBCC in pianura

BBCC in territorio
montano-collinare



Bene Culturale all'interno o
entro una distanza di 20 m da
una frana lenta (IFFI)

Bene Culturale ad una
distanza maggiore di 20 m
da una frana lenta

A) MP in
movimento
nel buffer del
bene

B) MP non in
movimento
nel buffer

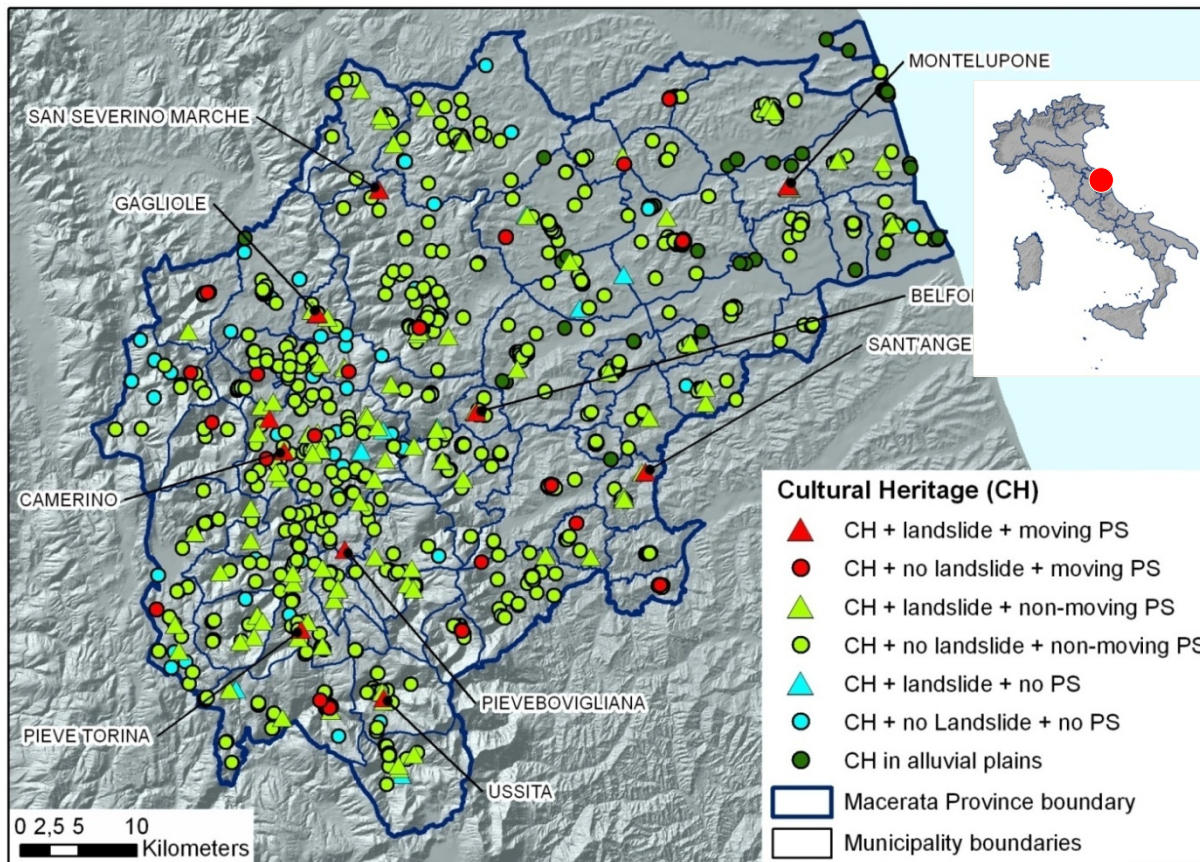
C) No MP
nel buffer
del bene

D) MP in
movimento
nel buffer

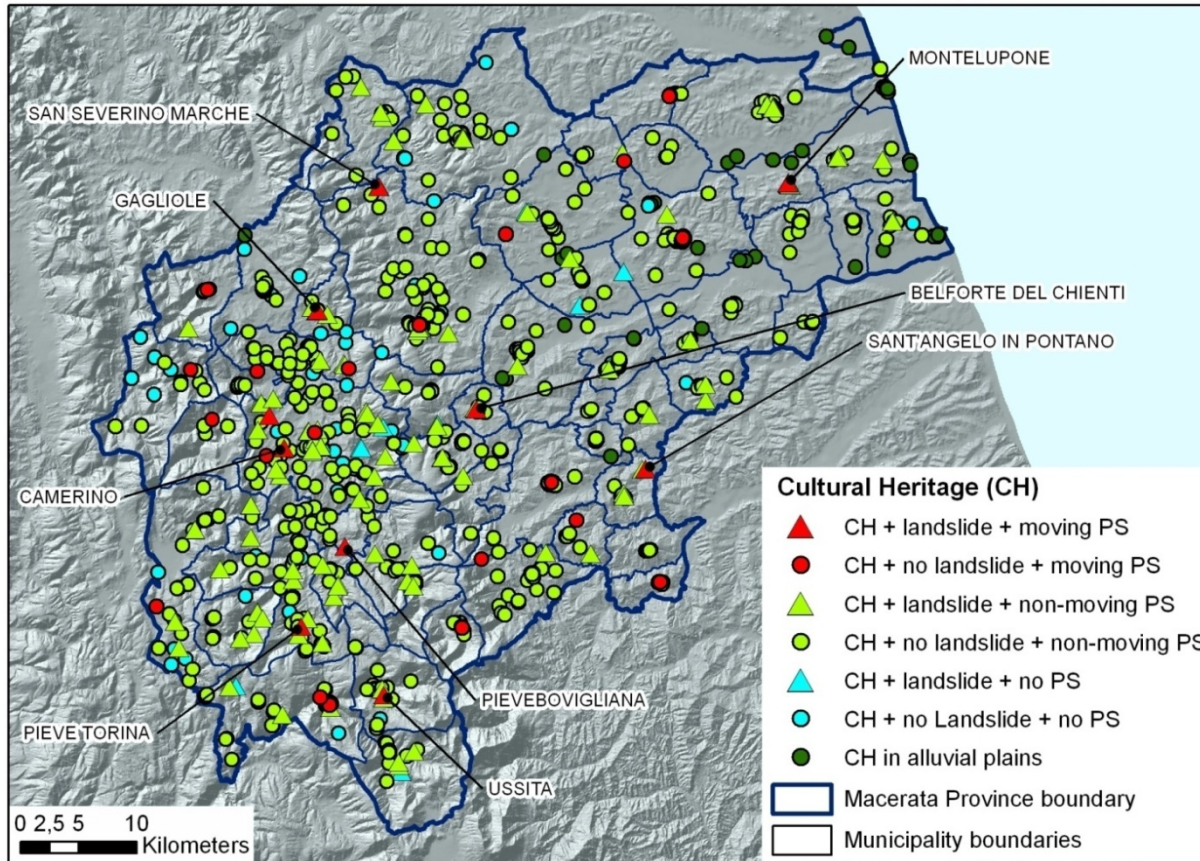
E) MP non in
movimento
nel buffer

F) No MP
nel buffer
del bene

Possibile errata georeferenziazione del bene culturale



- Provincia di Macerata: area di 2774 km²
- 1.331 BBCC, di cui **95%** ricadono in territorio montano-collinare;
- le frane lente costituiscono l'**86%** delle frane totali;
- immagini SAR: RADARSAT 2003-2010 geometria ascendente e discendente.



- **10 BBCC** all'interno o in prossimità di una frana lenta con almeno un PS in movimento nel buffer del bene.
- **26 BBCC** (distanza > 20m da una frana lenta), con almeno un PS in movimento.

36 beni culturali su cui pianificare, in via prioritaria, studi di maggior dettaglio, sopralluoghi o sistemi di monitoraggio strumentale

Iadanza C., Cacace C., Del Conte S., Spizzichino D., Cespa S., Trigila A. (2013)
Cultural Heritage, Landslide Risk and Remote Sensing in Italy
 In: C. Margottini et al. (eds.), *Landslide Science and Practice, Vol. 6, Springer*

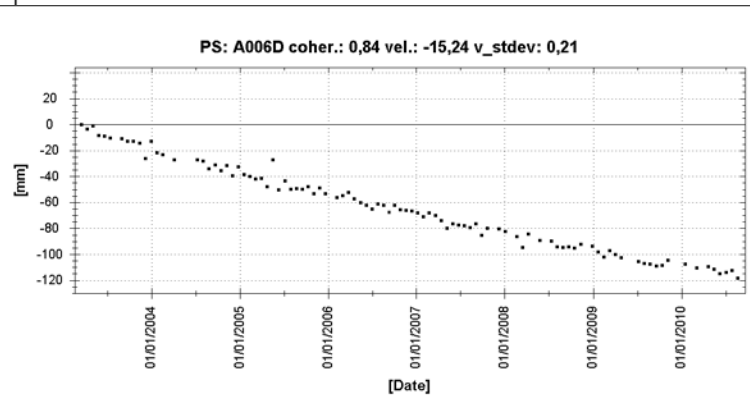
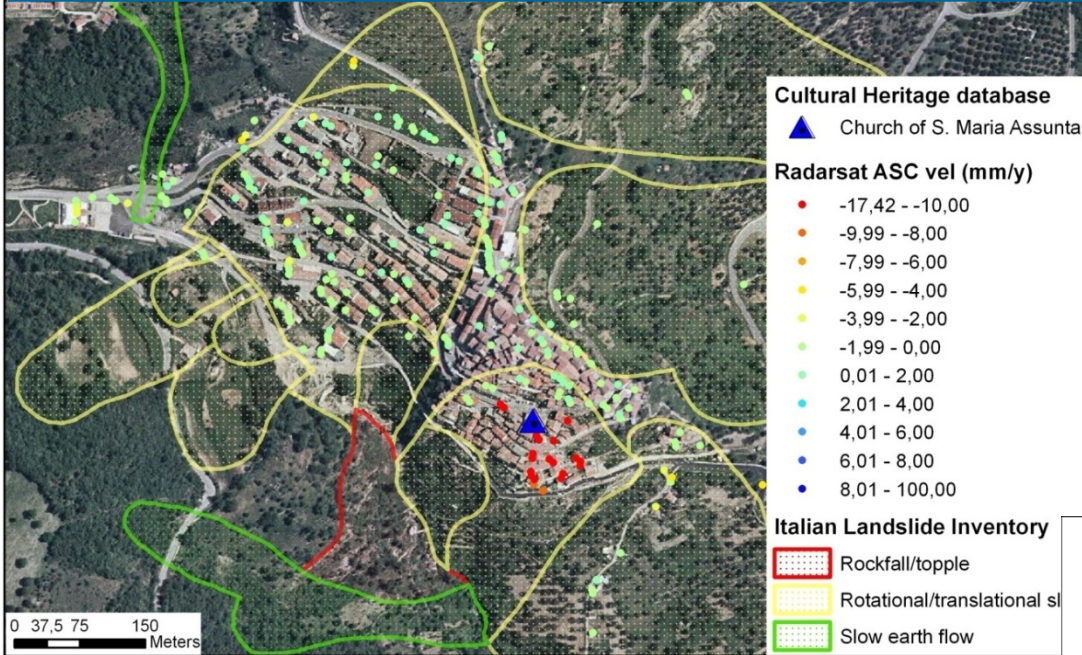
APPROCCIO SU SINGOLO BENE

- Il bene è rappresentato nelle sue **dimensioni reali**;
- analisi di dettaglio di: numero e posizione dei bersagli al suolo in prossimità del bene, **serie storiche degli spostamenti**;
- integrazione delle informazioni su: **riattivazioni** della frana, sistemi di **monitoraggio in situ** e **interventi di consolidamento** contenute in pubblicazioni scientifiche, in rapporti tecnici, nel Catalogo AVI (Aree Vulnerate Italiane, CNR-GNDICI) e nel Repertorio Nazionale degli interventi per la Difesa del Suolo - ReNDiS (ISPRA).



Chiesa di S. Maria Assunta (Gorgoglione, MT)

Cultural Heritage	Municipality Province Region	Type of movement (IFFI DB)	Date of landslide triggering	Landslide restoration works	In situ monitoring systems	References and archive data	Satellite and geometry	Satellite monitored period
Church of S. Maria Assunta (2ICR0034980AAA A)	Gorgoglione (MT), Basilicata Region	Rotational/ translational slide	1973	Bulkheads	2004-2005 topographic levelling 2008: crack gauge	AVI Project; Guerricchio & Melidoro, 1990; Pancioli et al., 2009. ReNDiS Project MT027B/10	ERS 1/2 Ascending	23/05/1992
			1980				ERS 1/2 Descending	17/05/1992
			2003				RADARSAT 1 Ascending	20/12/2000
								18/03/2003
								20/08/2010



RADARSAT 2003-2010 : v = 15 mm/anno; S = 12 cm

MT027B/10 - Decreto: AP Basilicata 14/12/2010

Intervento di messa in sicurezza area interessata da dissesto idrogeologico; Protezione e consolidamento del centro abitato con opere di sostegno profonde (palificate - muri su pali), opere di regimentazione idraulica (190,000.00 €)

TECNOLOGIE DI MONITORAGGIO IN *SITU*

La scelta del sistema di monitoraggio in *situ* per il controllo di fenomeni deformativi che agiscono sul patrimonio storico e archeologico deve rispondere ai **seguenti quesiti**:

- Cosa e come monitorare?
- A quale risoluzione?
- Con quale frequenza?
- Per quanto tempo?
- Con quali costi e benefici?
- Quali i risultati e i vantaggi di un metodo rispetto ad un altro?

Per i SITI del PATRIMONIO vanno scelte soluzioni:

- A basso impatto (installazione, trasportabilità, logistica)
- Che offrano ridondanza di sistemi e di misure
- Che siano sostenibili nel tempo dalle comunità locali

SCHEMA METODOLOGICO

STEP 1
Analisi e classificazione del fenomeno



STEP 2
Progettazione di dettaglio del sistema



STEP 3
Realizzazione della rete o del sistema

Cantierabilità della rete:
Problemi logistici di installazione
Reperibilità e trasportabilità
strumentazione
Vincoli, autorizzazioni e permessi

Contesto in cui il bene è inserito: tipo di dissesto (lento, rapido, superficiale, profondo), fenomeni di subsidenza, forzanti esterne (sismiche, idrauliche, climatiche e meteorologiche)

In atto sul bene: quadro fessurativo, lesioni, cedimenti, infiltrazioni, ammaloramenti, ecc.

Dati da rilevare: spostamenti (orizzontali, verticali, angolari), aperture di fratture, pressioni neutre, emissioni acustiche, vibrazioni, ecc.

Strumenti

Ubicazione e numero

Durata della campagna di misura

Sistema di acquisizione e frequenza

Modalità di analisi dei dati

SISTEMI WIRELESS DI SENSORI GEOTECNICI TRADIZIONALI

Estensimetri, tiltmetri, deformometri, crack gauges, che misurano in continuo le deformazioni sul bene o nell'area in cui è presente il bene a rischio. Sono collegati ad un sistema di trasmissione dati che invia in tempo reale le misure ad un centro di controllo ed elaborazione.

Campi di applicazione:

- Misure puntuali ma molto precise (mm e sub/mm) per monitorare i quadri fessurativi, i cedimenti, ecc.
- Particolarmente adatti a zone poco accessibili



GROUND BASED RADAR

Sistemi radar da terra, basati sulla tecnica di interferometria SAR per il monitoraggio 2D e 3D in tempo reale di spostamenti sia su strutture che su versanti.

Campi di applicazione:

- Misurano ad elevata distanza (fino a 1 km) decine di migliaia di punti ogni 5 minuti
- Forniscono mappe di velocità e spostamenti
- I costi sono elevati ma sono molto adatti per aree vaste e per fenomeni con tipologia, magnitudo e cinematica differenti



MONITORAGGIO TOPOGRAFICO: MICROPRISMI O REFLECTORLESS

Si utilizzano **microprismi** di riferimento per materializzare la rete di monitoraggio e si possono eseguire misure anche in modalità *reflectorless*. Sono sistemi che possono operare sia in continuo che in discontinuo. Le stazioni totali robotizzate di ultima generazione possono realizzare acquisizioni laser 3D su cui visualizzare i punti monitorati.

Campi di applicazione:

- Misure su area vasta con precisioni millimetriche e sub millimetriche (deformazioni su strutture e su versanti)
- Installazioni e costi onerosi



Ministero
dei beni e delle
attività culturali
e del turismo



ISTITUTO SUPERIORE
PER LA CONSERVAZIONE
ED IL RESTAURO

AMBIENTE E BENI CULTURALI

la collaborazione ISPRA-ISCR per una politica di manutenzione, tutela e valorizzazione

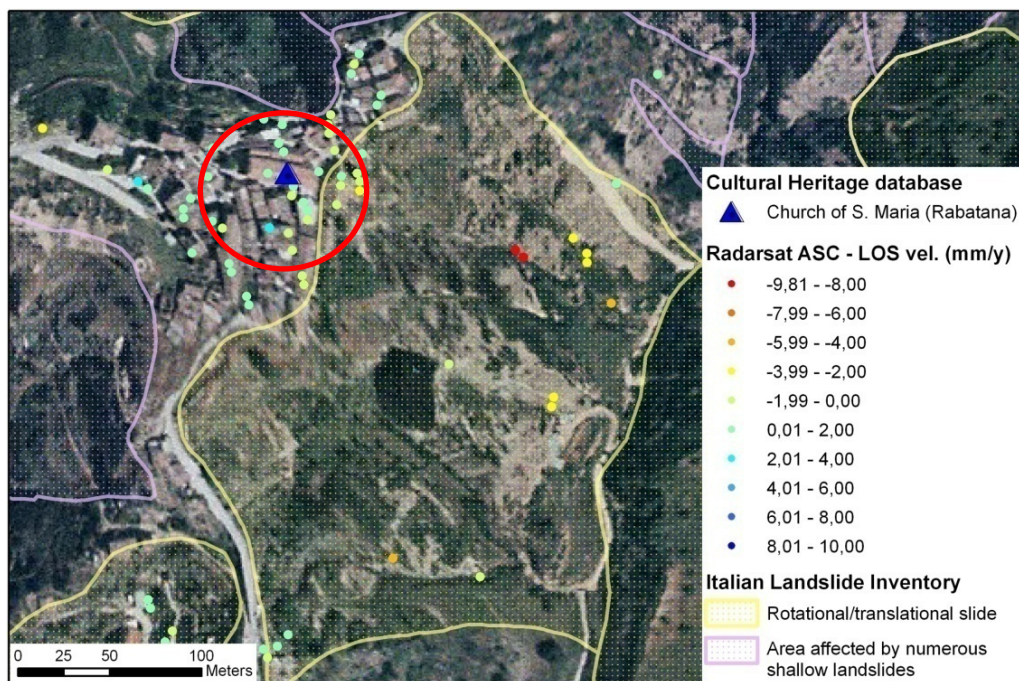
Roma 3|03|2015

CONCLUSIONI

- Potenzialità delle tecniche di monitoraggio interferometrico satellitare per l'individuazione di spostamenti superficiali dovuti a frane a cinematisimo lento che coinvolgono il patrimonio culturale
- L'approccio su area vasta consente di identificare le priorità su cui pianificare studi di maggior dettaglio, sopralluoghi o sistemi di monitoraggio strumentale
- E' importante la verifica in *situ* dei dati di monitoraggio satellitare
- I sistemi e le tecniche di monitoraggio a basso impatto sono molto adatte ai siti culturali
- E' fondamentale che i sistemi siano flessibili, integrati e ridondanti per ridurre al minimo le incertezze
- La progettazione deve coinvolgere gruppi interdisciplinari con competenze in pericolosità naturale e in conservazione dei beni

Chiesa di S. Maria - Rabatana (Tursi, MT)

Cultural Heritage	Municipality Province Region	Type of movement (IFFI DB)	Date of landslide triggering	Landslide restoration works	In situ monitoring systems	References and archive data	Satellite and geometry	Satellite monitored period
Church of S. Maria (Rabatana) (ID code: 2ICR00351 950000)	Tursi (MT), Basilicata Region	Rotational/ translational slide	1930 1931 23/01/1972			AVI Project; ReNDiS Project (ID: 031/07); Lazzari et al. 2006, 2010.	ERS 1/2 Ascending	23/05/1992 02/11/1999
							ERS 1/2 Descending	17/05/1992 20/12/2000
							RADARSAT 1 Ascending	18/03/2003 20/08/2010



RADARSAT 2003-2010