

# MAPPATURA REGIONALE DELLE AREE MONITORABILI MEDIANTE L'USO DELLA TECNICA PS

**Alessio COLOMBO (\*), Luca MALLÉN (\*), Rocco PISPICO (\*), Chiara GIANNICO (\*\*),  
Marco BIANCHI (\*\*), Giuliano SAVIO (\*\*)**

(\* ARPA Piemonte - Centro Regionale per le Ricerche Territoriali e Geologiche, C.so Unione Sovietica 216, 10134 Torino, tel. 011/3169267, fax 011/3169340, e-mail [a.colombo@arpa.piemonte.it](mailto:a.colombo@arpa.piemonte.it), [l.mallen@arpa.piemonte.it](mailto:l.mallen@arpa.piemonte.it)

(\*\*)Tele-Rilevamento Europa - T.R.E. s.r.l. Via Vittoria Colonna 7, 20149 Milano, tel. 02/4343121, fax 02/43431230, e-mail [chiara.giannico@treuropa.com](mailto:chiara.giannico@treuropa.com), [marco.bianchi@treuropa.com](mailto:marco.bianchi@treuropa.com), [giuliano.savio@treuropa.com](mailto:giuliano.savio@treuropa.com)

## Riassunto

L'attività intrapresa si pone come obiettivo la definizione di una metodologia per la mappatura a scala regionale delle aree che risultano essere monitorabili mediante la tecnica dei diffusori permanenti (Permanent Scatterers Technique - PSInSAR™), (Ferretti et al., 2001). La Tecnica PS è una tecnologia innovativa nel campo del monitoraggio ambientale in grado di fornire misure di spostamento a partire da dati radar satellitari.

Il lavoro è stato realizzato dall'ARPA Piemonte – Centro Regionale per le Ricerche Territoriali e Geologiche, in collaborazione con Tele-Rilevamento Europa.

## Abstract

This study aims to develop a methodology in order to map at regional scale areas that can be processed by Permanent Scatterers Technique. The project was realized by ARPA Piemonte – *Centro Regionale per le Ricerche Territoriali e Geologiche*, with the collaboration of Tele-Rilevamento Europa.

The model experimentation was done on a 4300 km<sup>2</sup> area located in the western middle part of *Piemonte* Region.

## Introduzione

La presente relazione si colloca nell'ambito di un progetto volto alla valutazione delle potenzialità dell'interferometria radar satellitare (PSInSAR™) in ambito geologico, per quanto concerne la localizzazione dei principali fenomeni franosi nonché di fenomeni di deformazione gravitativa profonda di versante (DGPV).

Nell'ambito del monitoraggio di deformazioni superficiali e aree a rischio la tecnica PS è uno strumento estremamente competitivo e multiscala: consente infatti di investigare da satellite, in tempi e a costi ridotti, aree molto estese (fino a migliaia di km<sup>2</sup>) garantendo velocemente un quadro sinottico di dinamiche a carattere regionale, nonché di realizzare analisi di dettaglio su singoli fenomeni e strutture. Ad oggi i risultati ottenuti evidenziano una copertura variabile in funzione dell'uso del suolo e strettamente correlati ai fenomeni di deformazione prospettica (fenomeni di *layover* e *shadowing*).

Obiettivo del lavoro è quindi la definizione di una metodologia per la mappatura regionale preventiva delle aree che meglio si prestano ad essere investigate con la tecnica dei diffusori permanenti (*Permanent Scatterers -PS-*). Una valutazione a priori delle aree monitorabili risulta un valido strumento di analisi costi /benefici per l'utente finale.

La sperimentazione è stata effettuata su un'area campione comprendente il settore centro – occidentale della regione Piemonte, un'area di circa 4300 km<sup>2</sup>. Tale area, acquisita regolarmente dai satelliti ERS dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) in orbita discendente (Track 22), risulta essere

statisticamente rappresentativa sia da un punto di vista geo-morfologico che di classi di utilizzo del suolo.

### **Cenni sulla Tecnica PS**

La **Tecnica PS** (*Permanent Scatterers Technique*) è un sofisticato algoritmo di elaborazione di dati satellitari di tipo SAR (Radar ad Apertura Sintetica) che consente la stima di moti della superficie terrestre quali subsidenze, frane o faglie sismiche.

La tecnica PS identifica un sottoinsieme di “bersagli” radar già presenti al suolo, i *Permanent Scatterers* (PS), in corrispondenza dei quali è possibile condurre misure di spostamento estremamente accurate. I PS sono tipicamente parti di edifici, strutture metalliche, pali, altri manufatti e rocce esposte che formano, di fatto, una “rete geodetica naturale” per lo studio dei fenomeni di deformazione superficiale.

Una volta localizzati, la tecnica consente, per ciascun PS, di:

- stimare la **velocità di spostamento** (con un’accuratezza compresa tra 0.1 e 2 mm/anno) lungo la congiungente sensore radar – bersaglio radar (Line Of Sight - LOS);
- ricostruire l’intera **serie temporale di deformazione**, a partire dal 1992 (l’accuratezza arriva a 2 mm su ogni singola misura, per i PS migliori, ed è tale da far apprezzare fenomeni di dilatazione termica stagionale di singole strutture), grazie alla presenza dell’archivio storico di immagini dell’Agenzia Spaziale Europea.

### **Metodologia**

Il progetto è stato strutturato nelle seguenti fasi principali:

1. Individuazione delle aree in *layover* e *shadowing* del territorio oggetto di studio mediante ri-proiezione del modello digitale del terreno a maglia 20 metri secondo l’orbita del radar e analisi di visibilità del satellite.
2. Mappatura degli elementi di origine naturale (porzioni di versante con roccia affiorante) e di origine antropica (viabilità, edificati, elettrodotti ecc.) che potrebbero risultare in fase di elaborazione bersagli visibili per il satellite e mappatura delle aree ad alta densità di vegetazione, sulle quali è invece difficile individuare bersagli radar.
3. Mosaicatura dei *dataset* ricavati dalle precedenti elaborazioni finalizzato alla classificazione del territorio regionale in aree monitorabili mediante l’uso della tecnica PS.
4. Validazione della procedura mediante confronto dei risultati ottenuti con la copertura PS standard attualmente disponibile sull’area oggetto di studio.

### **Deformazioni Prospettiche**

La modalità di acquisizione del satellite, non perpendicolare al suolo ma secondo un angolo di vista  $\theta$ , dà origine a delle deformazioni prospettiche che impediscono al radar la visibilità di alcune aree. Come illustrato in Figura 1, in base alla pendenza del terreno si distinguono i fenomeni di:

- *foreshortening*: si verifica quando la pendenza del terreno tende ad essere perpendicolare alla congiungente sensore-bersaglio (pendenza positiva pari all’angolo di off-nadir  $\theta$ ); in questi casi il contributo di più punti si concentra in poche celle producendo *pixel* molto luminosi nell’immagine di ampiezza.
- *layover*: si verifica quando la pendenza del terreno è maggiore dell’angolo  $\theta$ ; questo produce una forte distorsione dell’immagine che impedisce la corretta interpretazione del segnale e ogni analisi quantitativa.
- *shadowing*: si verifica quando alcune zone non possono essere illuminate dall’impulso radar perché schermate da altri oggetti; si producono quindi nell’immagine di ampiezza aree molto scure (in ombra).

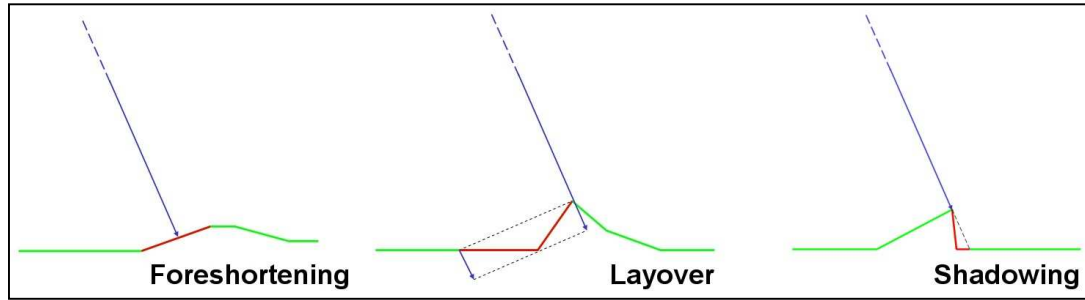


Figura 1: esempi di fenomeni di foreshortening, layover e shadowing. In rosso sono evidenziate le zone non monitorabili.

I fenomeni di *Layover* e *Shadowing* sono stati matematicamente modellati come di seguito descritto. Il fenomeno di *Foreshortening* al contrario è da valutare caso per caso in quanto non sempre comporta l'assenza di informazione da satellite, ed è stato quindi escluso dalla metodologia qui proposta.

Operativamente per l'individuazione delle zone di *layover* e *shadowing* si è proceduto a campionare il modello digitale del terreno dell'area campione a passo 20 metri lungo la direzione perpendicolare alla traiettoria del satellite ottenendo così una serie di sezioni  $x_i$  della topografia parallele e distanziate tra loro di 20 m (Figura 2). Ciascun profilo è stato quindi elaborato in ambiente Matlab al fine di individuare le zone non visibili al satellite. Il cuore dell'algoritmo (Kropatsch, Strobl, 1990) consiste nel misurare per ogni punto del profilo in analisi la distanza geometrica  $R$  dal satellite come funzione della posizione lungo  $x$  e della quota  $z$  (Figura 2). Studiando tale funzione e le sue derivate prima e seconda si possono individuare le porzioni di versante caratterizzate da *shadowing* e *layover*.

L'algoritmo attribuisce così ad ogni punto della griglia caratterizzato da *layover* o *shadowing* un indice binario

Il risultato è stato infine riconvertito in un raster con coordinate UTM ED50 (Figura 3) e utilizzato come **prima maschera** da applicare al modello.

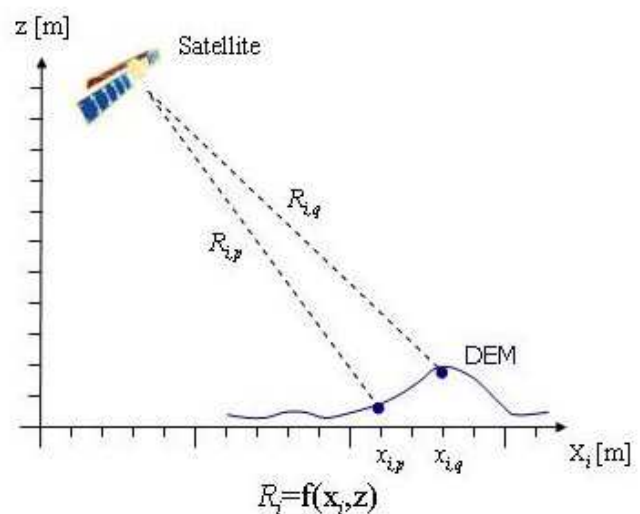


Figura 2. DTM orientato secondo coordinate SAR ed esempio di sezione elaborata in ambiente Matlab

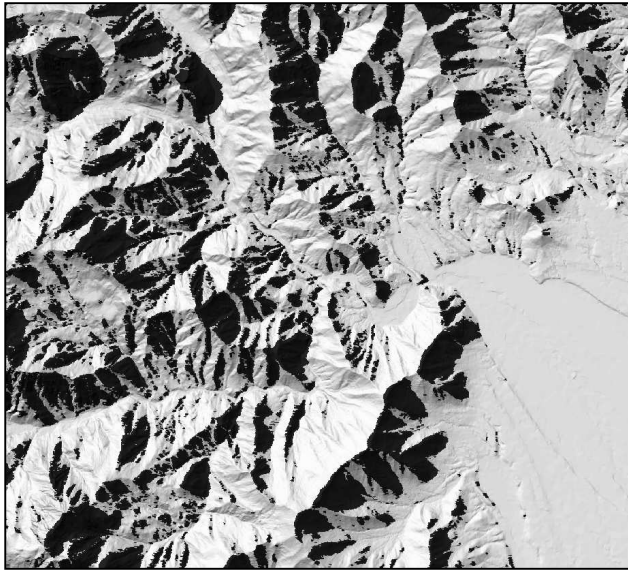


Figura 3 Zonizzazione in base alla visibilità del radar (in nero le aree in layover e shadowing)

### Elaborazione delle classi di uso del suolo

#### Elaborazione delle classi di uso del suolo

Come primo *step* di analisi sono stati utilizzati i *dataset* relativi ai piani territoriali forestali (PTF), relativi al 2001, che rappresentano le classi di utilizzo del suolo del settore alpino della Regione Piemonte.

In considerazione del fatto che il livello di dettaglio di tali dati risulta essere significativo per un utilizzo a scala 1:25.000, si è ritenuto opportuno integrare i livelli “zone rocciose”, “edificati”, “viabilità” “acque” e “ghiacciai”

con i relativi livelli della carta tecnica regionale numerica (CTRN) che, anche se non altrettanto recenti - il dato risale infatti al 1991 -, forniscono un livello di dettaglio decisamente maggiore (scala 1.10.000) rispetto ai PTF. Questo ha consentito di scorporare dalle aree di aggregazione precedentemente identificate zone che altrimenti avrebbero potuto falsare sensibilmente i risultati.

I livelli informativi così integrati, dopo una serie di elaborazioni, sono stati accorpati in un unico *dataset* comprendente delle macro-categorie di uso del suolo, identificate in funzione della possibilità o meno di contenere al loro interno dei potenziali bersagli radar.

Le categorie identificate sono strutturate nelle seguenti cinque classi:

1) **Classe I** - ottima probabilità di individuare bersagli radar;

*Edifici e infrastrutture / Rocce esposte* – da letteratura rappresentano i candidati più idonei a diventare bersagli in virtù delle loro proprietà di riflessione del segnale radar.

2) **Classe II** - buona probabilità di individuare bersagli radar;

*Praterie di montagna* – essendo caratterizzate da vegetazione bassa e rada, in mancanza di potenti coltri di suolo, permettono l’affioramento del substrato roccioso e possono quindi contenere al loro interno numerosi bersagli radar (di origine naturale).

3) **Classe III** - limitata probabilità di individuare bersagli radar;

*Prati e seminativi / Frutteti* – l’uso prevalentemente agricolo di queste categorie presuppone la presenza di manufatti di modeste dimensioni che, anche se non facilmente rilevabili dalla cartografia utilizzata, possono risultare degli ottimi bersagli radar ed essere identificati da satellite (es. depositi per attrezzi, elettrodotti ecc.).

4) **Classe IV** - scarsa probabilità di individuare bersagli radar;

*Boschi* – l’elevata copertura vegetale ad alto fusto che caratterizza tale categoria rende difficile l’individuazione di eventuali bersagli radar.

5) **Classe V** – probabilità nulla di identificare bersagli radar;

*Acque / Ghiacciai* – da letteratura, l’acqua e il ghiaccio non presentano le caratteristiche elettromagnetiche di bersagli radar.

Il *dataset* così costituito è stato trasformato in un *raster* a passo 20 metri e viene a costituire la **seconda maschera** da applicare al modello.

### Mosaicatura dei livelli informativi

I due livelli precedentemente creati sono stati mosaicati in un unico *raster* che è stato utilizzato per creare una carta di tipo semaforico (Figura 4) rappresentante la classificazione del territorio in base alla probabilità di trovare o meno dei potenziali bersagli radar. Operativamente si è proceduto a moltiplicare il *raster* classi di uso del suolo precedentemente elaborato con il *raster* contenente le aree in *layover* e *shadowing*.

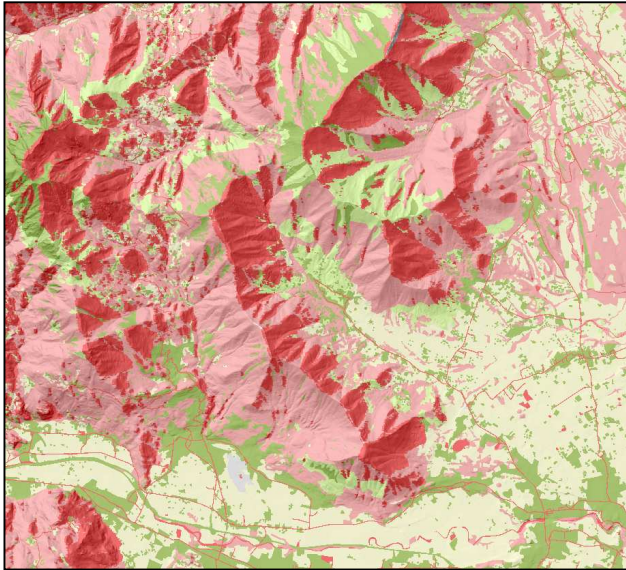


Figura 4 – zonizzazione del territorio in base alla probabilità di trovare dei bersagli radar. In rosso le aree a più bassa probabilità, in verde quelle a probabilità maggiore.



### Validazione procedura

Come ultima analisi, si è proceduto alla validazione della metodologia mediante confronto tra le maschere elaborate e la copertura dei PS, quest'ultima ottenuta nell'ambito della collaborazione in atto tra TRE e ARPA Piemonte che prevede l'analisi PSInSAR™ dell'intero territorio regionale.

Nello specifico nell'area campione di 4300 km<sup>2</sup> sono stati individuati oltre 730.000 punti per una densità media di 170 punti a km<sup>2</sup>. Il *dataset* di immagini utilizzato copre l'arco temporale 1992-2000.

Dall'incrocio dei *dataset* emerge un'ottima corrispondenza tra la distribuzione dei PS e la zonizzazione dell'area di studio in classi di probabilità, come riassunto nella tabella sottostante (tabella 5) e come graficamente visualizzato nella figura 6b. Si può infatti osservare come sia il numero di PS che i valori di densità (numero di PS per km<sup>2</sup>) siano molto elevati per le categorie “edificati ed infrastrutture” e “rocce affioranti” (classe I), per poi diminuire progressivamente fino ai valori quasi nulli della categoria “ghiacciai” (classe V).

Dai dati in tabella 5 risulterebbe un valore di densità apparentemente elevato per le acque (classe V) che in realtà non riflettono energia al radar. Tale anomalia è dovuta al fatto che una considerevole porzione della classe “acque” ricade nel territorio urbano della città di Torino (Fiume Po), dove numerose infrastrutture quali ponti, piloni, pali della luce, cartelloni pubblicitari ecc. risultano ubicate nelle immediate vicinanze dei corsi d'acqua; ad un'analisi a scala 1:20.000 non è stato possibile scorporare efficacemente dal livello “acque” tutti questi elementi, che in realtà avrebbero dovuto essere inseriti nel livello “edificati ed infrastrutture”.

Uso	Classe	N. PS	% Totale	Area (km <sup>2</sup> )	DENSITA' (punti/km <sup>2</sup> )
<b>Infrastrutture</b>	I	522.452	71,7	450,6	1159
<b>Rocce affioranti</b>	I	96.698	13,3	327,5	295
<b>Praterie</b>	II	44.812	6,2	389,5	115
<b>Prati</b>	III	29.020	3,9	847,4	34
<b>Frutteti</b>	III	2.953	0,4	90,1	32
<b>Boschi</b>	IV	31.519	4,3	1.092,6	28
<b>Acque</b>	V	905	0,1	26,4	34
<b>Ghiacciai</b>	V	46	0,1	10,5	4

<b>Layover/Shad.</b>	VI	7.100	0,6	1084,4	6
----------------------	----	-------	-----	--------	---

Tabella 5 – valori di distribuzione dei PS sull'area oggetto di studio

In quest'analisi è stata inoltre inserita un'ulteriore classe rappresentata dalle aree non visibili al radar. Quest'area, che copre circa il 25% dell'area oggetto di studio, presenta un valore non nullo di densità dei PS (trattandosi di zone in ombra per il radar, tale valore dovrebbe essere prossimo allo zero). Pur apparendo come anomalia questa è in realtà dovuta sia ai limiti di precisione del DTM utilizzato sia all'errore intrinseco generato dai parametri orbitali di massima utilizzati nella riproiezione del DTM lungo la direzione di vista del satellite.

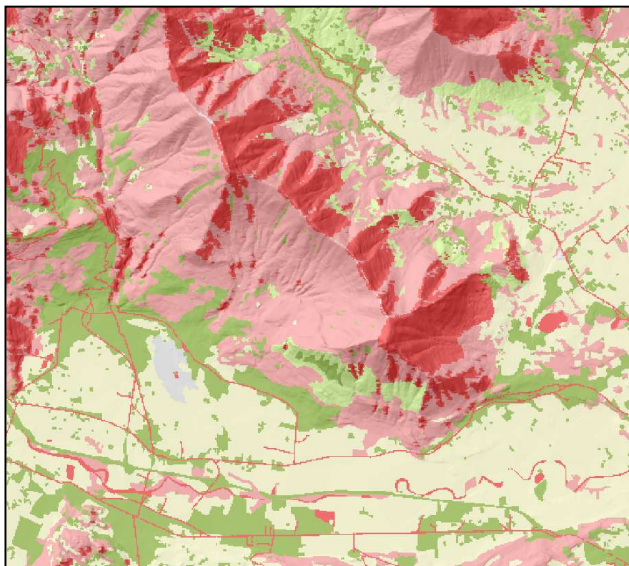


Figura 6a – dettaglio della carta semaforica (da nero a bianco aumenta la probabilità di Trovare PS)

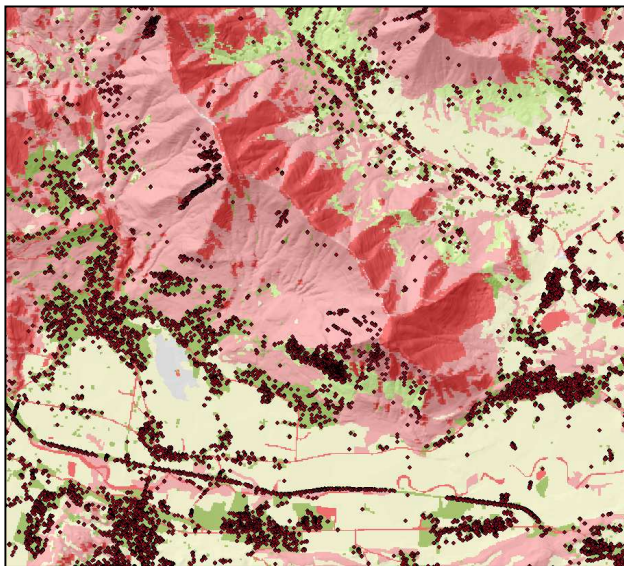


Figura 6b – medesimo dettaglio con l'ubicazione dei PS di controllo.

## Conclusioni

Il presente studio ha permesso di definire una metodologia applicabile a grande scala volta all'identificazione delle aree potenzialmente monitorabili mediante la tecnica dei diffusori permanenti, basandosi sull'analisi incrociata delle banche dati relative all'uso del suolo e dei modelli digitali di terreno.

Tale metodologia, sebbene presenti un grado di accuratezza vincolato alla scala di dettaglio dei dataset utilizzati per le elaborazioni, consente di valutare in maniera relativamente semplice la possibilità di ritrovare addensamenti di bersagli in funzione di zone omogenee del territorio.

I risultati ottenuti rappresentano un valido strumento in fase di pre-fattibilità di un'analisi PS: possono infatti guidare alla scelta dell'area da monitorare e alla tipologia di analisi da effettuare a vantaggio del rapporto costi/benefici.

La metodologia proposta inoltre apre diversi scenari di approfondimento che vanno da eventuali aggiornamenti di cartografia e piani territoriali a possibili studi statistici sulla qualità radiometrica dei PS in funzione della classe di uso del suolo in cui vengono identificati.

La sempre maggiore disponibilità di dati radar, ottici e telerilevati, infine, consentirà in futuro di raffinare ulteriormente la metodologia presentata.

## Riferimenti bibliografici

Ferretti A., Prati C., Rocca F., (2001) "Permanent Scatterers in SAR Interferometry", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 39, NO. 1, Pages 8–20.

Kropatsch W. G., Strobl D., (1990), "The generation of SAR Layover and shadow amps from digital elevation models", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, VOL 28, No 1, pp 98-107