

# Sintesi e Condivisione Interoperabile di serie temporali di deformazione del terreno ottenute tramite tecniche DInSAR

Luca Frigerio <sup>(a)</sup>, Candan Eylül Kilsedar <sup>(b)</sup>, Manuela Bonano <sup>(a)(c)</sup>,  
 Gloria Bordogna <sup>(a)</sup>, Paola Carrara <sup>(a)</sup>, Pasquale Imperatore <sup>(a)</sup>,  
 Riccardo Lanari <sup>(a)</sup>, Mariarosaria Manzo <sup>(a)</sup>, Antonio Pepe <sup>(a)</sup>,  
 e Maria Antonia Brovelli <sup>(a)(b)</sup>

- (a) CNR IREA, via A. Corti 12, 20133 Milano, e via Diocleziano 328, 80124 Napoli, Tel: +39 081 7620611, fax: +39 081 5705734, email: [mbox@irea.cnr.it](mailto:mbox@irea.cnr.it)
- (b) Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, email: (candaneyul.kilsedar, maria.brovelli)@polimi.it
- (c) CNR IMAA, C.da S. Loja - Zona Industriale, 85050 Tito Scalo (PZ), Tel. 0971427111, email: [manuela.bonano@imaa.cnr.it](mailto:manuela.bonano@imaa.cnr.it)

## Abstract

Il contributo descrive un esperimento di sintesi e condivisione di serie spaziotemporali di misurazioni della deformazione del suolo a supporto della pianificazione urbana condotto nell'ambito del progetto PRIN "URBAN GEOmatics for Bulk Data Generation, Data Assessment e Technology Awareness (**URBAN GEO BIG DATA**)". Le serie temporali sono derivate attraverso le misurazioni di interferometria radar differenziale (DInSAR) nelle aree urbane di cinque città Italiane: Milano, Padova, Napoli, Roma e Torino. Il fuoco del contributo è la sperimentazione di un metodo di sintesi, visualizzazione e condivisione interoperabile di tali informazioni, adatto sia agli scienziati sia ai non esperti.

## 1. Introduzione

Uno dei problemi da affrontare a monte della condivisione di **Big Geo Data** (BGD) è la trasformazione dei dati grezzi, spesso costituiti da **serie temporali di misurazioni puntuali georiferite**, come quelle acquisite da sensori, in **informazione compatta e sintetica**, interpretabile e utilizzabile dai non addetti ai lavori, come gli amministratori pubblici, i quali li analizzano per controllare lo stato del territorio e per decidere interventi di manutenzione e di pianificazione urbana.

Nell'ambito del progetto **URBAN GEO BIG DATA** (Brovelli et al., 2018) abbiamo sperimentato la definizione e l'applicazione di nuove soluzioni tecnologiche per incoraggiare l'uso di BGD da parte degli amministratori pubblici e dei cittadini delle aree urbane. Nello specifico, il progetto mira a **migliorare la conoscenza delle aree urbane** sfruttando la grande quantità di fonti di **dati di Osservazione della Terra** (EO) per mappare la **deformazione del suolo**, il consumo e l'uso del suolo disponibili per il monitoraggio a lungo termine, e dati acquisiti da sensori connessi a Internet sulla mobilità, fornendo una loro visualizzazione tridimensionale, che attualmente è stata prevalentemente applicata in ambito urbano solo per la visualizzazione di edifici. Questo approccio olistico alla rappresentazione dell'urbano è un aspetto chiave che può essere efficacemente implementato

definendo e adottando nuovi metodi per la diffusione dei dati geografici attraverso l'applicazione di protocolli di condivisione interoperabili standard.

In questo contributo, sono descritti alcuni aspetti relativi alle sperimentazioni finalizzate alla generazione di serie temporali di deformazione del terreno derivate attraverso le misure di interferometria radar differenziale (**DInSAR**) in cinque aree urbane: Milano, Padova, Roma, Napoli, e Torino. In particolare, è stata applicata la tecnica Small BAseline Subset (SBAS) per generare serie temporali di deformazione BGD DInSAR (Bonano et al., 2012; Pepe et al., 2018).

L'oggetto di questo lavoro riguarda la definizione e l'implementazione di modalità di sintesi, di visualizzazione e condivisione di tali dati, utilizzando strumenti che adottano gli **standard di interoperabilità** definiti dall'Open Geospatial Consortium (OGC) per utenti esperti e inesperti. E' stata implementata una modalità di **visualizzazione e animazione 3D di serie temporali** di immagini derivate dalla sintesi delle misurazioni DInSAR (Kilsedar et al., 2019). Infatti, oltre alla mappa della velocità di deformazione media delle aree analizzate, è stata generata una sintesi delle serie temporali di deformazione, funzionale a produrre un'animazione visuale temporale qualitativa, efficiente ed efficace, composta da mappe generate con una risoluzione spaziale e temporale ridotta. E' un metodo qualitativo che aiuta nell'identificazione di aree con grandi deformazioni: le animazioni possono essere utili ai non addetti ai lavori per identificare visivamente le aree maggiormente soggette a deformazioni, senza dover effettuare analisi quantitative delle serie temporali di deformazione riferite a singoli punti del territorio. Il contributo, dopo aver discusso gli aspetti relativi alla visualizzazione e condivisione di dati geospaziali descrive la tecnica di generazione delle serie temporali di deformazione del suolo e infine i metodi di sintesi per la visualizzazione e condivisione interoperabile su Web.

## 2. Condivisione e di visualizzazione di dati georiferiti temporali

Progettare modalità di condivisione e visualizzazione dei dati che tengano conto sia della percezione che della conoscenza umana è di fondamentale importanza per permettere la comprensione del significato dei dati e dell'informazione che portano. In particolare con il termine geo-visualizzazione si intende una forma di visualizzazione dei dati in cui i principi della cartografia, dei sistemi di informazione geografica, dell'analisi dei dati esplorativi sono integrati nello sviluppo di metodi visivi che facilitano l'esplorazione, l'analisi, la sintesi e la presentazione delle informazioni georeferenziate (MacEachren et al., 2001). I Sistemi Informativi Territoriali (GIS) e i servizi di mappatura Web implementano principalmente metodi di geo-visualizzazione che adottando convenzioni di mappatura basati su regole cartografiche.

Nel caso di dati prodotti da ricerche scientifiche i metodi di visualizzazione scientifica sono stati definiti principalmente a beneficio degli scienziati, in modo da aiutarli nell'estrazione di nuove conoscenze dai dati stessi. Pertanto, in questo contesto, le modalità di visualizzazione più adottate sono quelle che favoriscono l'esplorazione, l'analisi e la sintesi di dati multidimensionali, implementate da tecnologie di *computer graphics* e di analisi statistica.

Quando la visualizzazione scientifica si rivolge a non esperti, i fenomeni spazio-temporali descritti dai dati possono essere percepiti in modo più efficace mediante la geo-mappatura temporale animata. Secondo (Andrienko et al., 2001) "la mente ha bisogno di percepire i dati": in tal senso, "un'immagine vale molto più di una raccolta di numeri". Inoltre, Shneiderman (1996) afferma che qualsiasi attività di esplorazione visiva dovrebbe iniziare con una visione d'insieme o una rappresentazione generale dei dati e Ogao e Kraak (2002) aggiungono che le mappe animate temporali offrono "l'opportunità di rappresentare i processi del mondo reale nel loro insieme". La mappatura animata è un metodo efficace per la condivisione della conoscenza (Andrienko et al., 2001). Peuquet (1994) ha sviluppato una struttura concettuale basata sulle tre componenti - dove - quando - cosa - per l'integrazione della dimensione tempo nei metodi di geo-visualizzazione. Nella sua visione un fenomeno geografico può essere descritto da tre diverse prospettive:

- quando + dove → cosa: descrive il fenomeno (cosa) osservato in un dato luogo / i (dove) in un dato tempo / i (quando).
- quando + cosa → dove: descrive la / le posizione / i (dove) interessata da un dato fenomeno (cosa) in un dato tempo / i (quando).
- dove + cosa → quando: descrive il tempo / i (quando) in cui un dato fenomeno (cosa) si è verificato in un dato luogo / i (dove).

Ogni prospettiva è adatta per un diverso compito esplorativo. Ad esempio, per esplorare la dinamica di un fenomeno (quando), la prospettiva (dove + cosa) è la più adatta. A tal fine, lo stato e i cambiamenti nel tempo di un fenomeno possono essere rappresentati in modo diverso:

- come cambiamenti esistenziali, vale a dire comparsa, e scomparsa del fenomeno;
- come cambiamenti delle proprietà spaziali: di posizione, cioè movimento; di forma, cioè modifica; di dimensione, cioè espansione o riduzione; di orientamento, vale a dire rotazione; di altitudine, vale a dire innalzamento o sprofondamento; di gradiente, cioè aumento o diminuzione di intensità del fenomeno;
- come cambiamenti temporali delle proprietà tematiche rappresentate dai valori degli attributi del fenomeno.

In questa prospettiva, la geo-mappatura animata temporale è la rappresentazione più comune in cui l'animazione viene eseguita temporizzando la visualizzazione di una sequenza di *frame* statici, il cui contenuto visivo, quando mostrato in rapida successione, inizia a muoversi in un movimento fluido (Harrower e Fabrikant, 2008). La geo-mappatura animata temporale consente di rilevare *pattern* spazio-temporali. Ad esempio, può facilitare l'identificazione di caratteristiche crescenti / decrescenti / periodiche di deformazione del suolo, consumo di suolo, traffico, ecc.

Tuttavia (Harrower M., 2007) ha identificato un aspetto potenzialmente negativo dell'uso delle mappe animate, dovuto al cosiddetto carico cognitivo richiesto all'utente: se da un lato gli utenti sperimentano un'ottima percezione dei cambiamenti temporali nelle mappe dall'altro lato si trovano in difficoltà a memorizzare a lungo termine i cambiamenti osservati nell'animazione. Per ovviare a questo inconveniente è necessario fornire strumenti interattivi per

controllare il tempo di visualizzazione e modalità di visualizzazione alternative e complementari. Un approccio per facilitare la formazione di un modello mentale della dinamica di un fenomeno è quello di fornire una serie sintetica di mappe statiche che mostri rappresentazioni scelte del fenomeno.

Nel seguito di questo documento, sarà descritto un esperimento di geo-visualizzazione temporale basato su mappe animate e statiche delle misurazioni DInSAR nelle aree urbane implemento tramite l'impiego di servizi di mappatura Web interoperabili standard OGC.

### 3. Generazione delle serie temporali di deformazione SBAS-DInSAR

L'interferometria radar ad apertura sintetica differenziale è una tecnica consolidata per la mappatura e il monitoraggio delle aree della Terra soggette a deformazioni del suolo (Massonnet et al., 1998). In particolare, la tecnica DInSAR permette di misurare le deformazioni del terreno tra due passaggi di uno stesso sensore radar su un'area di interesse estraendo la differenza di fase tra coppie di immagini radar ad apertura sintetica (SAR) acquisite da posizioni orbitali leggermente diverse. Sviluppato originariamente per analizzare singoli episodi di deformazione, la tecnica DInSAR è stata più recentemente estesa allo studio dell'evoluzione temporale della deformazione superficiale mediante la generazione di serie temporali di deformazione. Sono stati sviluppati diversi approcci che possono essere raggruppati nelle due classi principali dei *Permanent Scatterers* (PS) (Ferretti et al., 2001) e delle *Small Baseline* (SB) (Berardino et al., 2002). I primi lavorano su target puntiformi che sono particolarmente coerenti nel tempo. Al contrario, il secondo gruppo è costituito da metodi basati sulla selezione di un insieme adeguato di interferogrammi con piccola baseline (per baseline si intende la distanza tra le posizioni orbitali da cui le immagini SAR sono acquisite) che sono utilizzati per lo studio delle deformazioni associate a bersagli distribuiti. In questo lavoro è stata utilizzata la tecnica Small BAseline Subset (SBAS) (Berardino et al., 2002; Lanari et al., 2004) per recuperare le deformazioni (dovute a cause naturali o antropiche) in alcune aree urbane in Italia, a diverse scale di risoluzione. Inizialmente la tecnica SBAS è stata sviluppata per analizzare sequenze di interferogrammi mediati spazialmente (Berardino et al., 2002); successivamente, un adattamento dell'algoritmo SBAS (Lanari et al., 2004) è stato proposto per il monitoraggio di edifici e infrastrutture, in particolare nelle aree urbane. In questo lavoro, entrambi gli approcci sono stati utilizzati per generare le mappe della velocità di spostamento media e le serie temporali di deformazione del terreno. Il punto di partenza dell'algoritmo SBAS è la generazione di una sequenza di interferogrammi tra immagini SAR acquisite a poca distanza nel tempo e da posizioni orbitali vicine (cosiddetti a piccola baseline). La misura di deformazione è inclusa in termini di fase, che sono misurabili nell'intervallo  $[-\pi, \pi[$ . Quindi, una operazione fondamentale è quella dello srotolamento della fase, che permette di ottenere misure di fase assoluta (Costantini et al., 1998). Le fasi interferometriche assolute sono successivamente invertite usando un approccio ai minimi quadrati per calcolare le deformazioni del suolo in corrispondenza delle date di acquisizione delle immagini radar. Infine, i risultati sono filtrati per rimuovere gli effetti atmosferici (Ferretti et al., 2001). Nel contesto del progetto URBAN GEO BIG DATA l'algoritmo SBAS è stato applicato

alle sequenze di immagini SAR archiviate, raccolte dal 1992 al 2010 dai satelliti ERS e ENVISAT dell'Agenzia Spaziale Europea. I dati di deformazione SBAS-DInSAR sono stati prodotti su scala spaziale media e, per le aree centrali e residenziali di Napoli e Milano anche alla scala di ogni singolo edificio. La visualizzazione e la discussione delle serie temporali di deformazione DInSAR sono descritte nella Sezione 4.

#### **4. Visualizzazione e condivisione di serie temporali DInSAR**

Le misurazioni DInSAR relative a ogni singola area di interesse sono memorizzate in un metafile testuale con un'intestazione che codifica metadati descrittivi delle caratteristiche globali delle misurazioni, come la risoluzione e l'intervallo temporale e spaziale, l'unità di deformazione e il sistema di riferimento geografico. Seguono le misure puntuali, coerenza interferometrica temporale, velocità di deformazione e coordinate geografiche, ovvero latitudine e longitudine, insieme all'elenco delle misure topografiche residue.

Tale organizzazione dei dati rispecchia il concetto di insieme di serie temporali come concepite nell'ambito di Timeseries ML: ogni serie temporale è relativa a un singolo punto di misurazione (latitudine e longitudine). Nel contesto del progetto intendiamo realizzare la condivisione di una serie spaziale di serie temporali in una forma adatta a due tipi di utenti: esperti e non esperti.

Per permettere agli esperti di effettuare analisi quantitative è stato implementato il servizio WFS per abilitare l'interrogazione di ogni serie temporale puntuale, dalla scala regionale sino a quella dei singoli edifici (per le aree residenziali di Napoli e Milano). Tale interrogazione può essere effettuata selezionando un singolo punto di una mappa (visualizzata tramite il servizio WMS, vedi Figura 1) che riporta i valori medi della velocità di deformazione di ciascun punto per l'intero arco di tempo della serie. La scala dei colori usata è quantizzata con un passo di 1mm/anno e le zone con deformazioni più significative sono evidenziate da toni di colore più alti. L'informazione utile riguarda le variazioni spaziali delle deformazioni superficiali, quindi zone con colore omogeneo caratterizzate da valori di deformazione media minori di 2-3 mm/anno si possono considerare pressoché stabili.

Per quanto riguarda gli utenti inesperti, tenendo conto di quanto discusso nel paragrafo 2, è stata realizzata una visualizzazione animata dell'insieme di serie temporali relative a ogni area di interesse adatta a una percezione qualitativa dei cambiamenti più significativi delle deformazioni del suolo.



Figura 1. Velocità di deformazione media in mm/anno per cinque aree urbane servite come WMS: Padova, Torino, Roma, Milano, Napoli.

Per evitare di enfatizzare i cambiamenti dovuti alle inaccuratezze, i dati sono stati quantizzati rispetto alla dimensione tematica, temporale, e infine spaziale. In primo luogo, per ogni punto di acquisizione, i valori di deformazione sono stati "quantizzati" in granuli di 5mm di ampiezza. Successivamente, per ogni punto di acquisizione sono stati calcolati i valori medi della deformazione accumulata in intervalli temporali di un anno, a partire dalla prima data di acquisizione. Infine, tali valori annuali medi calcolati nei punti di acquisizione compresi in ogni cella della griglia di circa  $80 \times 80 \text{m}^2$  sono stati mediati spazialmente per produrre un singolo valore per pixel. Per ogni area di interesse si è ottenuto così una serie temporale di N immagini, in cui  $N=18$  corrisponde all'ultimo anno dall'inizio delle acquisizioni (1992), e il valore del pixel nell'immagine i-esima, per  $i=1, \dots, N$ , è la deformazione media cumulata in i anni dall'inizio delle acquisizioni. Tali operazioni sono eseguite trasformando i dati grezzi in formato GeoJSON e poi elaborandoli usando funzioni della libreria "Geospatial Data Abstraction Library" (GDAL). La visualizzazione delle mappe e della serie temporali di immagini, benché possa avvenire tramite l'utilizzo di un qualunque GIS compatibile con gli standard OGC, è ottenuta utilizzando CesiumJS, una libreria multiplatforma gratuita, open source e ad alte prestazioni che offre visualizzazione ed esplorazione di dati geografici tridimensionali sul Web. Abbiamo utilizzato VR-TheWorld Server per generare il modello digitale del terreno con una risoluzione di 90 metri per l'intero globo, inclusa la batimetria, costruito utilizzando CesiumJS. Sono disponibili diverse mappe di sfondo (Bing Maps Aerial, Mapbox Satellite Streets, OpenStreetMap, CARTO Dark, Stamen Terrain e Stamen Watercolor) per poter scegliere la più adatta a visualizzare i colori in sovrapposizione. Per ogni città è possibile visualizzare la mappa della velocità media di deformazione o l'animazione della deformazione cumulativa. I livelli di velocità di deformazione media sono recuperati da GeoServer tramite WMS e sovrapposti al globo virtuale. Viene utilizzato uno stile unico per tutte le serie per consentirne il confronto, definito usando il descrittore di livello (OGD) standard OGC in GeoServer.

Le mappe annuali di deformazione cumulativa, generate per ogni anno dal 1992 al 2010, sono servite tramite WMS-T, utilizzando il plug-in ImageMosaic di GeoServer. Ogni mappa è suddivisa in tasselli utilizzando GeoWebCache integrato in GeoServer e servita tramite WMTS. Quindi, l'animazione delle mappe temporizzate avviene usando le funzionalità di animazione e sequenziazione temporale di CesiumJS per mostrare l'andamento temporale della deformazione del suolo per 18 anni consecutivi. La tassellazione delle mappe ottimizza l'efficienza del processo migliorando l'esperienza dell'utente durante l'animazione. Gli intervalli di valori associati ai colori non superano la deviazione standard delle distribuzioni che è circa 1mm/anno per la velocità media di deformazione e 5mm per la deformazione (Casu et al., 2006). Inoltre, poiché i valori possono essere sia negativi che positivi, essendo definiti in relazione a un punto di riferimento considerato stazionario, è stata utilizzata una combinazione di colori basata su uno schema divergente con undici classi usando ColorBrewer 2.0 (Harrower et al., 2003), in cui viene posta uguale enfasi su valori critici di fascia media ed estremi, (negativi e positivi), enfatizzati con colori scuri che hanno tonalità contrastanti ad entrambe le estremità del dominio dei dati, mentre i valori prossimi a zero, vale a dire stazionari, sono resi con colori chiari (Brewer, 1994). In questo caso, per entrambi gli estremi dell'intervallo di dati il numero di intervalli non supera il numero suggerito di classi per le mappe coropletiche, che è compreso tra cinque e sette. Anche per la deformazione cumulativa, lo stesso stile (combinazione di colori) viene utilizzato per tutte le città per consentirne il confronto. Poiché i valori sia della velocità di deformazione media che della deformazione cumulativa si concentrano intorno allo zero, gli intervalli diventano più ampi verso gli estremi. La velocità dell'animazione può essere fermata e regolata utilizzando gli strumenti dell'interfaccia utente. E' anche possibile scorrere il tempo manualmente. Tutti i codici sorgente implementati si possono trovare su GitHub.

## 5. Risultati e Conclusioni

La sintesi e la visualizzazione di dati sono essenziali per una condivisione efficace degli stessi. Hanno lo scopo di evidenziare le caratteristiche più significative, evitando di sovraccaricare gli utenti con una grande quantità di informazioni consentendo loro di concentrarsi solo sugli aspetti importanti. In questo contributo è stata proposta una metodologia per la sintesi, condivisione e visualizzazione di serie temporali di deformazione DInSAR sperimentata in cinque aree urbane nell'ambito del progetto URBAN GEO BIG DATA. L'approccio è scalabile poiché la granulazione delle misurazioni può essere regolata tenendo conto di vari aspetti quali l'accuratezza delle misurazioni e le risorse hardware della piattaforma di implementazione. L'uso di un globo virtuale, incorporando i dati del terreno, arricchisce la visualizzazione con la prospettiva tridimensionale. L'uso di standard aperti e FOSS per il Web massimizza l'interoperabilità, la replicabilità e la riusabilità.

## Riferimenti bibliografici

- Andrienko, N., Andrienko, G. (2006) *Exploratory Analysis of Spatial and Temporal Data: a Systematic Approach*. Springer Science & Business Media.
- Berardino, P., Fornaro, G., Lanari R., Sansosti E. (2002). "A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms". *IEEE Trans. Geoscience & Remote Sensing* 40(11):2375–2383.
- Bonano, M., Manunta, M., Marsella, M., Lanari, R. (2012), "Long term ERS/ENVISAT deformation time-series generation at full spatial resolution via the extended SBAS technique", *Int. J. Remote Sens.* 33, 4756-4783.
- Brewer, C. A. (1994) "Color Use Guidelines for Mapping and Visualization". *Visualization in Modern Cartography*: 123–148.
- Brovelli A.M., Boccardo P., Bordogna G., Pepe A., Crespi M., Munafò M., Pirotti M. (2019) "Urban Geo Big Data", in *Proc. of FOSS4G*.
- Costantini, M. (1998). "A Novel phase unwrapping method based on network programming" *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 36(3):813–821.
- Casu, F., Manzo, M., Lanari, R. (2006) "A quantitative assessment of the SBAS algorithm performance for surface deformation retrieval from DInSAR data" *Remote Sensing of Environment* 102(3-4): 195–210.
- Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F.(2001) "Permanent scatterers in SAR interferometry". *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing* 39(1): 8–20.
- Harrower, M., Brewer, C. A, (2003) "ColorBrewer.org: An Online Tool for Selecting Colour Schemes for Maps" *The Cartographic Journal* 40(1): 27–37.
- Harrower, M. (2007) "The cognitive limit of animated maps". *Cartographica: the Int. J. of Geographic Information and Geovisualization*, 42(4): 269-277.
- Harrower, M., Fabrikant, S. (2008) "The role of map animation for geographic visualization" *Geographic Visualization: Concepts, Tools and Applications*:44–66.
- Kilsedar C.E., Frigerio L., Bonano M., Bordogna G., Carrara P., Imperatore P., Lanari R., Manzo M., Pepe A., and Brovelli M.A. (2019) "Visualization of Big Geodata: An Experiment with DInSAR Deformation Time Series", in *FOSS4G*.
- Lanari, R., Casu, F., Manzo, M., Zeni, G., Berardino, P., Manunta, M., Pepe, A., (2007) An Overview of the Small BAseline Subset Algorithm: a DInSAR Technique for Surface Deformation Analysis. *Pure and Applied Geophysics* 164(4): 637–661.
- Lanari, R., Mora, O., Manunta, M., Mallorqui, J. J., Berardino, P., Sansosti, E., (2004) "A Small baseline approach for investigating deformation on full resolution differential SAR interferograms" *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing* 42(7):1377–1386.
- MacEachren, A. M., Kraak, M. J. (2001) "Research Challenges in Geovisualization." *Cartography and GIS* 28(1): 3–12.
- Massonet, D., Feigl, K. L.(1998) "Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface" *Reviews of Geophysics* 36(4): 441–500.
- Mora, O., Mallorqui, J. J., Broquetas, A. (2003) "Linear and nonlinear terrain deformation maps from a reduced set of interferometric SAR images" *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing* 41(10): 2243–2253.

- Ogao, P. J., Kraak, M. J. (2002) "Defining visualization operations for temporal cartographic animation design" . *Int. Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 4(1): 23–31.
- Peltzer, G., Rosen, P. A. (1995) "Surface Displacement of the 17 May 1993 Eureka Valley, California, Earthquake Observed by SAR Interferometry" *Science* 268(5215): 1333–1336.
- Pepe, A., Bonano, M., Bordogna, G., Brovelli, M., Calò, F., Carrara, P., Congedo, L., Frigerio, L., Imperatore, P., Lanari, R., Lanucara, S., Manzo, M., Munafò, M. (2018) "The Urban Geomatics for Bulk Information Generation, Data Assessment and Technology Awareness Project: Detection, Representation and Analysis of the Urban Scenario Changes!. In Proc. of *IGARSS*: 2902–2905.
- Peuquet, D. J. (1994) "It's About Time: A Conceptual Framework for the Representation of Temporal Dynamics in Geographic Information Systems" *Annals of the Association of American Geographers* 84(3): 441–461.
- Shneiderman, B. (1996) "The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations" in: *Proc. of the IEEE Symposium on Visual Languages*: 336–343.

### **Ringraziamenti**

Questa ricerca è finanziata dal progetto URBAN GEO BIG DATA, un progetto di interesse nazionale (PRIN), finanziato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR) — id 20159CNLW8.

