

Analisi dei fenomeni di subsidenza nel bacino del fiume Arno

Giovanni Montini (*), Laura Benvenuti (*), Giovanni Menduni (*)

(*) *Autorità di Bacino del fiume Arno*

Abstract

Al fine di esaminare l'andamento spaziale e temporale dei fenomeni di subsidenza, sono stati considerati i dati puntuali di deformazione del terreno derivati da interferometria radar differenziale da satellite nel periodo 1992-2005. Sono state spazializzate le velocità medie di subsidenza su tutte le aree di pianura e, per un'area campione, ricostruiti i modelli digitali del terreno relativi ad ogni anno della serie. Per ripetere automaticamente il processo sui dati relativi ai 14 anni di analisi è stato creato un modello tramite il "Model Builder" di ArcGIS. Infine si è proceduto ad elaborare una rappresentazione tridimensionale animata dei 14 modelli ottenuti.

Il dato riguardante la spazializzazione delle velocità medie è stato trasformato in un dato vettoriale e pubblicato con web-gis. Il progetto è localizzato sulla base topografica ed è attivo un "hyperlink" sui punti ove sono stati effettuati i sopralluoghi che permette di accedere alla documentazione fotografica.

Introduzione

Da qualche anno l'Autorità di Bacino del fiume Arno, in collaborazione con il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze, ha avviato alcune attività finalizzate allo studio dei fenomeni di deformazione del terreno a scala regionale individuati tramite interferometria differenziale su serie storiche di immagini radar acquisite da satellite.

Una recente tecnica di elaborazione dell'informazione interferometrica, sviluppata e brevettata dal Politecnico di Milano, per i cui dettagli si rimanda a Colesanti et al. (2003) e Ferretti et al. (1999, 2001), permette di ottenere dati puntuali di deformazione del terreno con precisione millimetrica selezionando, sull'intera serie storica delle immagini considerate, l'insieme dei bersagli radar caratterizzati da una firma elettromagnetica particolarmente stabile durante tutto il periodo di analisi. Gli oggetti puntuali selezionati sono denominati Permanent Scatters (PS) e rappresentano tipicamente parti di edifici, rocce esposte o strutture metalliche esistenti. La tecnica PS prevede la possibilità di effettuare due tipologie di elaborazione; la prima, denominata Standard Permanent Scatters Analysis (SPSA), permette di ottenere il valore della velocità di deformazione media di ogni PS nell'intervallo di tempo considerato, mentre la seconda, denominata Advanced Permanent Scatters Analysis (APSA), consente di rilevare, per ogni data di acquisizione dell'immagine, anche gli spostamenti avvenuti rispetto ad una data (immagine) di riferimento.

Obiettivo principale del presente progetto è rappresentare, sull'intero bacino idrografico, la distribuzione spaziale delle deformazioni del terreno riferibili a fenomeni di subsidenza, in modo da creare una cartografia di riferimento, consultabile su web, su cui poter verificare l'interazione del fenomeno studiato con le principali attività antropiche presenti sul territorio. Un secondo obiettivo è quello di ricostruire, su un'area campione, i modelli digitali delle variazioni di quota del terreno nel tempo, in modo da creare, a solo scopo divulgativo, un'animazione tridimensionale dell'evoluzione della subsidenza.

Distribuzione spaziale dei fenomeni di subsidenza a scala di bacino

Per effettuare l'analisi dei fenomeni di subsidenza nel bacino idrografico del fiume Arno sono stati acquisiti, per l'intero territorio di pianura, gli shape files dei PS elaborati secondo la tecnica SPSA effettuata sulle immagini SAR (Synthetic Aperture Radar) registrate dai satelliti ERS nel periodo 1992-2002, in modo da valutare la velocità media di deformazione del terreno e definire spazialmente le aree maggiormente interessate da fenomeni di subsidenza su cui svolgere successivi approfondimenti d'indagine. La densità spaziale dei PS è risultata più che soddisfacente, con una media di circa 225 PS/kmq, raggiungendo ovviamente la massima concentrazione nelle aree maggiormente antropizzate.

Utilizzando l'estensione "Geostatistical Analyst" di ArcGIS, è stata effettuata un'interpolazione spaziale del dato puntuale PS, in modo da ottenere una mappa della distribuzione della velocità media di deformazione in formato grid con celle quadrate di 50 metri di lato. In particolare, considerando la rilevanza del dataset (circa 50000 PS), la distribuzione spaziale delle velocità e la necessità di creare una superficie di interpolazione il più possibile smussata per una

rappresentazione a scala di bacino, si è scelto di effettuare la spazializzazione tramite l'algoritmo "Radial Basis Function" (RBF), interpolatore deterministico esatto finalizzato a minimizzare il raggio di curvatura della superficie di interpolazione finale senza vincoli aggiuntivi sull'attribuzione dei valori incogniti.

Per la visualizzazione con web-gis si è utilizzato il software ESRI ArcIMS perché permette di pubblicare progetti che possono essere visualizzati da diversi utenti contemporaneamente, accedendo alle funzionalità "gis" con il solo browser. Si possono infatti rendere disponibili dati e metadata a vari client (mobile, desktop, browser).

In generale i dati dell'Autorità di Bacino, sia vettoriali che raster, sono organizzati in "geodatabase enterprise", differenziati per tematismi, e residenti sul server centrale. ArcIMS permette sia l'accesso diretto alle "feature class" nei geodatabase enterprise, sia alle immagini raster, generalmente mosaicate sull'intero territorio del bacino del fiume Arno, sfruttando la tecnologia ArcSDE+SQLserver. Prima di rendere l'accesso ai dati disponibile agli utenti esterni è stata analizzata la politica di sicurezza informatica con lo scopo di individuare i fattori di sicurezza propri dell'installazione di ArcIMS, specialmente nei rapporti fra ArcIMS e firewalls.

Per la realizzazione del progetto, personalizzato secondo gli standard dell'Autorità (colore, titolo, logo, etichette, etc), si è trasformato il dato originario sulla subsidenza, in formato grid, in una feature class poligonale, inserita nell'apposito geodatabase.

Prima di convertire il grid in feature class è stata effettuata, tramite il "raster calculator" di ArcGIS, una riclassificazione dei valori di cella in specifiche categorie. Il file vettoriale di uscita, vista la cella del grid di 50 m di lato, presentava peraltro molti micropoligoni poco significativi al fine della rappresentazione a scala di bacino. Per tale motivo, sono state selezionate tutte le aree con superficie inferiore ad un ettaro e, tramite l'algoritmo "eliminate" di ArcGIS (versione ArcINFO), sono state accorpate ai poligoni adiacenti in funzione della loro area. Inoltre, in considerazione della morfologia molto irregolare dei poligoni, derivata dalla forma quadrata delle celle del grid di partenza, si è deciso di effettuare una operazione di addolcimento di tali irregolarità. In particolare, tramite il "Model Builder" di ArcGIS, è stata creata una procedura automatica che prevede la conversione dei poligoni di partenza in linee, l'applicazione dell'algoritmo "smooth line" sul file lineare ottenuto, ed infine la sua riconversione in poligoni recuperando gli attributi originari dai centroidi dei poligoni stessi (fig.1).

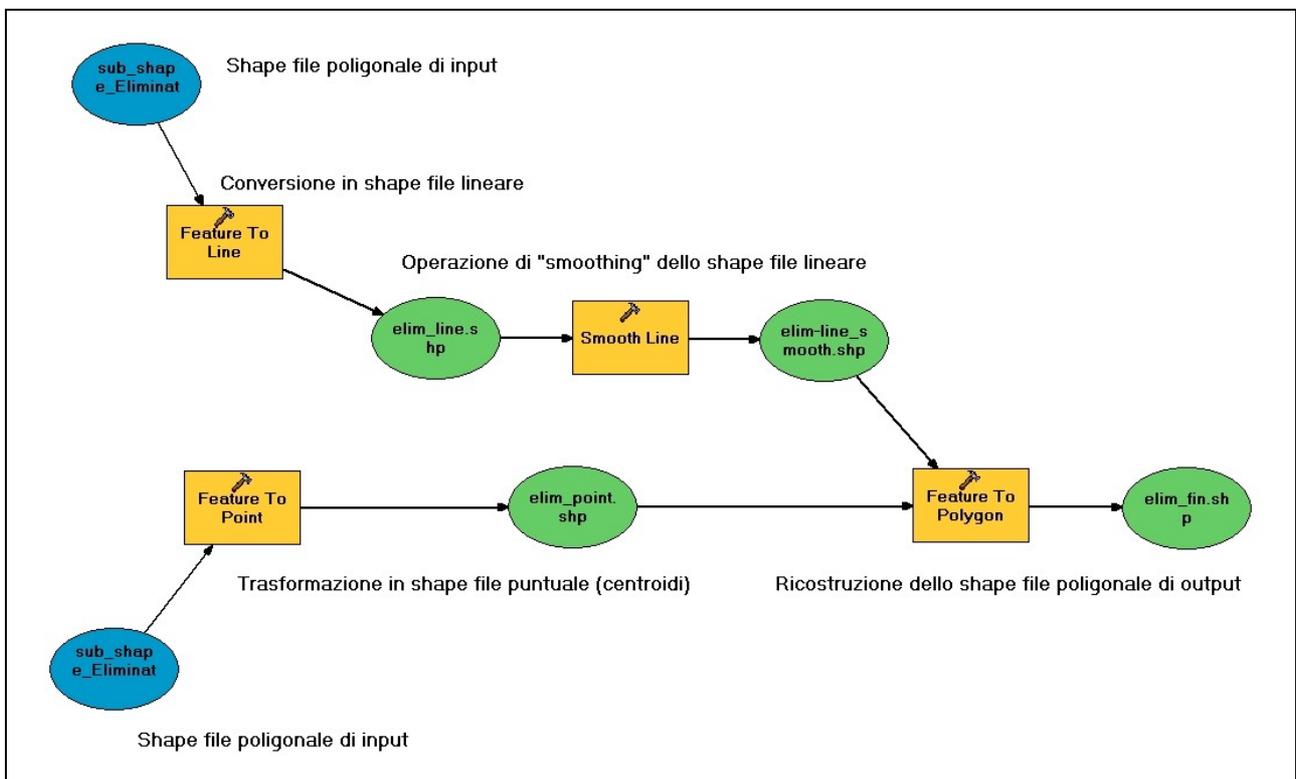


figura 1

Il progetto creato con ArcIMS permette di visualizzare la subsidenza, suddivisa in quattro classi di velocità, localizzata sulla base topografica CTR 1:10000. Tramite il tool "info" è possibile interrogare i poligoni ed ottenere le relative informazioni dalla tabella degli attributi. E' stata inoltre realizzata una feature class puntuale, in cui ad ogni punto corrisponde la localizzazione del sopralluogo effettuato dai tecnici dell'Autorità di Bacino. Relativamente a questo strato informativo si è reso disponibile un "hyperlink" che permette, cliccando sul punto, di accedere alla documentazione fotografica nell'apposita pagina HTML.

Evoluzione spazio-temporale della subsidenza nel Padule di Bientina

Nell'area del Padule di Bientina (LU), storicamente interessata da importanti fenomeni di subsidenza del terreno chiaramente evidenziati dal suddetto processo di spazializzazione, sono stati acquisiti anche gli shape files dei PS elaborati secondo la tecnica APSA effettuata sulle immagini SAR registrate dai satelliti ERS nel periodo 1992-2002 e dal satellite RADARSAT nel periodo 2003-2005, in modo da ottenere, per ogni PS, la differenza di quota tra successive acquisizioni per tutto l'intervallo di tempo considerato (1992-2005).

Visto il rilevante numero di acquisizioni delle immagini radar (circa 100) e il breve intervallo temporale tra di esse (circa mensile), si è deciso di stimare la quota media annua di ogni PS per ognuno dei 14 anni di analisi ed elaborare i corrispondenti modelli digitali dell'abbassamento del terreno rispetto all'inizio della serie (1992). Si è scelto di utilizzare l'algoritmo "Inverse Distance Weighted" (IDW), in modo da interpolare i valori incogniti pesando i valori registrati in funzione dell'inverso del quadrato della distanza.

Al fine di creare una rappresentazione a carattere divulgativo dell'evoluzione temporale della subsidenza nell'area di Bientina, si è scelto di utilizzare l'applicazione ArcScene dell'estensione "3D Analyst" di ArcGIS per costruire una serie di immagini tridimensionali del livello medio del terreno per i 14 anni considerati da fare scorrere in sequenza temporale. Le superfici di interpolazione ottenute hanno però evidenziato un elevato rumore di fondo, dovuto alla lieve oscillazione dei valori di quota di ogni PS rispetto alla media locale, che rendeva meno evidente l'andamento medio delle deformazioni nel tempo. Per eliminare tale inconveniente, i 14 modelli digitali sono stati ricampionati tramite l'algoritmo "Focal Statistics" riportato nello "Spatial Analyst Tools" di ArcGIS, in modo da assegnare, ad ogni cella del grid di partenza, il valore medio di tutte le celle ricadenti nel suo intorno circolare con raggio di 500 metri. Tale operazione ha determinato un notevole miglioramento nella continuità della superficie di analisi finale, senza peraltro alterare significativamente l'andamento medio dei valori di deformazione registrati.

Ogni modello digitale delle differenze di quota del terreno rispetto al 1992 è stato quindi sottratto dal modello delle quote assolute sul livello del mare in possesso dell'Autorità di Bacino del fiume Arno, preso come riferimento, ai fini della sola rappresentazione divulgativa, dei valori delle quote assolute all'inizio della serie temporale. Poiché il taglio dell'area di visualizzazione sul modello delle quote assolute è risultato più esteso rispetto alla sola area di pianura su cui è stato effettuato il processo di interpolazione della subsidenza, prima di sottrarre i due modelli è stato necessario renderli spazialmente coincidenti. Ovviamente, affinché gli abbassamenti millimetrici registrati potessero essere sottratti in modo visibilmente apprezzabile dal modello delle quote assolute, essi sono stati precedentemente amplificati di 5.000 volte rispetto ai valori reali. Visto infine che tutto il processo di spazializzazione, ricampionamento, amplificazione e sottrazione di valori di cella, doveva essere ripetuto per ogni anno della serie storica considerata, è stata messa a punto, tramite il "Model Builder" di ArcGIS, una procedura automatica di elaborazione dei dati che richiede, come unici parametri del modello, la definizione dello shape file puntuale su cui effettuare l'interpolazione spaziale e del grid di output finale (fig. 2).

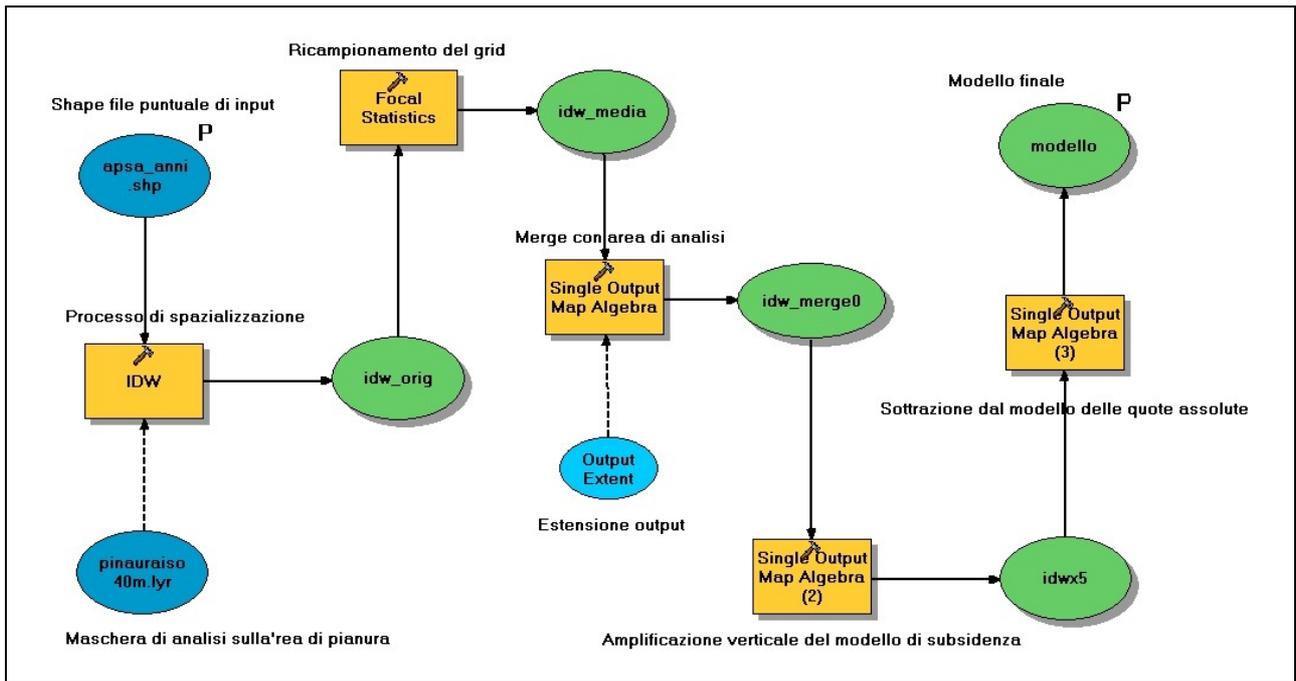


figura 2

Una volta realizzata la rappresentazione tridimensionale delle quote del terreno, sulle stesse superfici sono stati riportati anche i dati vettoriali dei principali centri abitati e vie di comunicazione presenti sul territorio, in modo da meglio evidenziare lo stato di rischio determinato dall'evoluzione della subsidenza nel tempo (fig. 3).

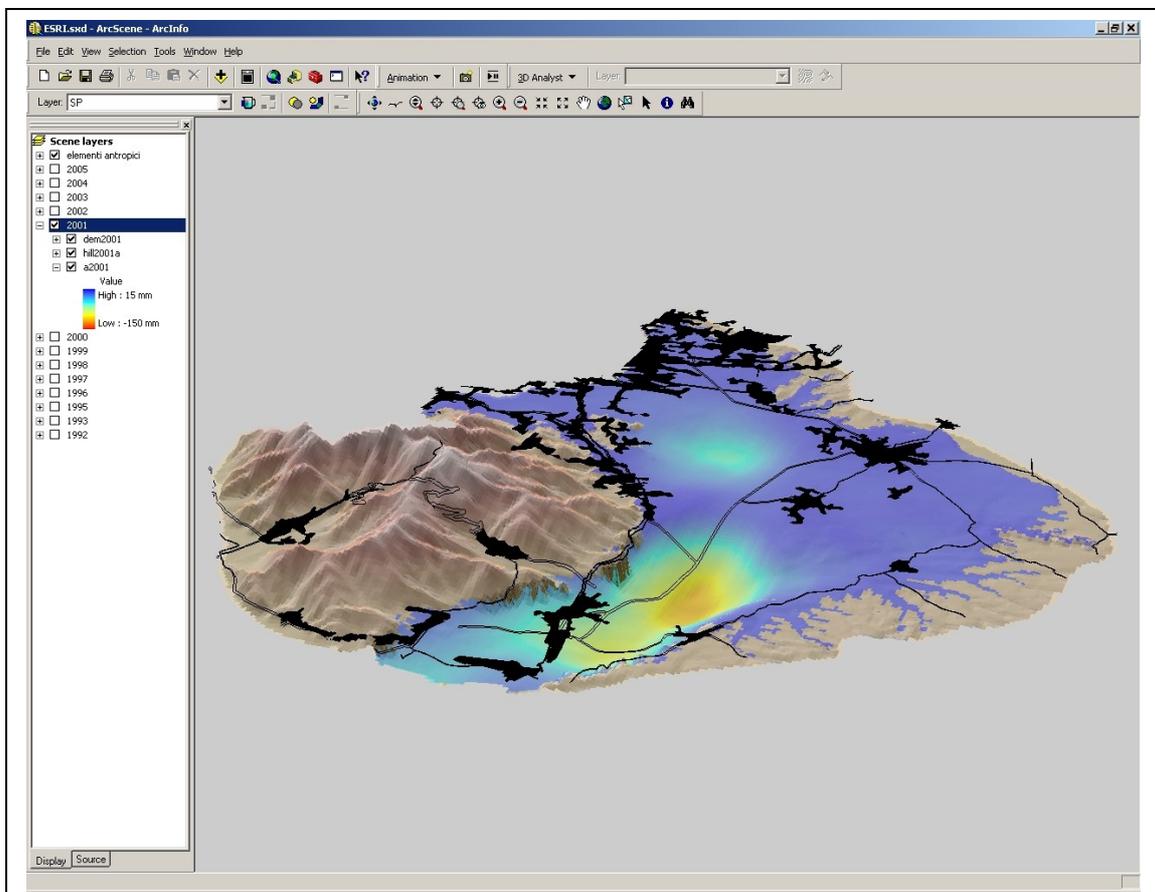


figura 3

Conclusioni

In considerazione della natura puntuale dei dati di deformazione del terreno trattati nel presente lavoro, l'utilizzo di software GIS si è rilevato particolarmente adatto per effettuare le necessarie elaborazioni geografiche e per soddisfare le esigenze di pubblicazione dei risultati su web. In particolare, le estensioni "Geostatistical Analyst", "Spatial Analyst" e "3D Analyst" del software ArcGIS della ESRI si sono dimostrati dei potenti strumenti per l'interpolazione spaziale dei dati puntuali e per le successive operazioni da svolgere sulle superfici di analisi ottenute.

La possibilità della distribuzione dei dati via web, ed in particolare l'uso di ArcIMS, rientra nelle scelte fatte dall'Amministrazione che questa avvenga da una parte rispettando precisi criteri di qualità, dall'altra raggiungendo il maggior numero possibile di utenti, senza imporre al fruitore di dotarsi di particolari applicativi o programmi. L'uso di ArcIMS va proprio in questa direzione, assicurando una visibilità dell'informazione territoriale tramite gli usuali browser; la possibilità poi, come evidenziato da questo progetto, di collegare alla rappresentazione cartografica un insieme di pagine dinamiche contenenti informazioni testuali, numeriche e grafiche per una visualizzazione più completa dello studio realizzato.

Riferimenti Autori

Giovanni Montini – Autorità di Bacino del fiume Arno – Via dei Servi 15, Firenze –
Tel 055.26743226 Fax 055.26743250 e-mail g.montini@adbarno.it

Laura Benvenuti – Autorità di Bacino del fiume Arno – Via dei Servi 15, Firenze –
Tel 055.26743245 Fax 055.26743250 e-mail l.benvenuti@adbarno.it

Giovanni Menduni – Segretario Generale Autorità di Bacino del fiume Arno – Via dei Servi 15,
Firenze – Tel 055.267431 Fax 055.26743250 e-mail segretario@adbarno.it

Bibliografia

Colesanti C., Ferretti A., Prati C., Rocca F., (2003), Monitoring landslides and tectonic motions with the Permanent Scatterers Technique, Engineering Geology, 68, 3-14

Ferretti A., Prati C., Rocca F., (2001), Permanent Scatterers in SAR interferometry, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 39 (1), 8-20

Ferretti A., Prati C., Rocca F., (1999), Multibaseline InSAR DEM reconstruction: the wavelet approach, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 37 (2), 705-715

ESRI (2005), Getting started with ArcIMS 9.1

ESRI (2005), Customizing the HTML Viewer (ArcIMS 9.1)

ESRI (2005), ArcSDE Administration Guide

Molly E. Holzschlag (2002), HTML, Mondadori Informatica

ALTRE INFORMAZIONI

Software Utilizzati

Tipo	Software	Produttore
Client GIS	ArcGIS 9(Arcview)	ESRI
Estensioni GIS	Geostatistical Analyst, Spatial Analyst, 3D Analyst	ESRI
Web GIS	ArcIMS	ESRI
Gestione Database GIS	ArcSDE	ESRI
Database	SQL Server	Microsoft