

APPLICAZIONE DI TECNICHE SATELLITARI AL MONITORAGGIO DELLE DEFORMAZIONI DEL SUOLO

Serena Tessitore, Massimo Ramondini, Domenico Calcaterra

*Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica ed Ambientale
Università degli Studi di Napoli Federico II
tessitoreserena@libero.it, ramondin@unina.it, domenico.calcaterra@unina.it*

Sommario

Il presente lavoro illustra un progetto di ricerca, nella sua fase iniziale, finalizzato all'implementazione di un sistema di monitoraggio integrato su aree di piana alluvionale, interessate da fenomeni di *sinkhole* di tipo *piping*. Tale sistema si basa su tecniche in sito "tradizionali" (rilievi geologico-geomorfologici, monitoraggio topografico e geofisico) e sulle più recenti tecniche di interferometria satellitare *A-DInSAR* (*Advanced DInSAR Interferometry Techniques*).

Introduzione

L'Italia è un paese geologicamente "giovane" e, pertanto, soggetto a processi morfogenetici di varia natura che ne modificano il paesaggio. Tra i molteplici fenomeni di dissesto che possono manifestarsi, subsidenza e *sinkholes* possono creare situazioni di rischio per centri abitati ed infrastrutture, pur se caratterizzati da basse velocità, variabili in funzione dei terreni interessati.

Se la subsidenza può essere definita come "ogni movimento di abbassamento verticale della superficie terrestre, derivato, direttamente od indirettamente, dall'azione dell'uomo" (Alexander e Fairbridge, 1999), i *sinkholes* sono definiti come "una qualunque cavità nel terreno di forma non necessariamente sub-circolare, apertasi per cause antropiche o per motivi diversi" (Fairbridge, 1968).

I *sinkholes* possono originarsi su piane alluvionali, pianure costiere, conche intermontane, su strette valli fluviali, generalmente di origine tettonica, in corrispondenza di successioni carbonatiche massicce carsificate o di altre litologie comunque solubili, sedi di falde acquifere di grande potenza, a cui si sovrappongono depositi fluvio-lacustri, lagunari, vulcanici o marini di potenza variabile (Nisio et al., 2004). Vista la grande varietà di fenomeni che la definizione comprende, questi sono, in generale, classificati in base ai processi genetici che li hanno originati, e cioè l'attività umana, le acque di infiltrazione, o i fluidi di risalita in: sprofondamenti antropici (coincidenti con il termine di *anthropogenic sinkhole*), fenomeni carsici, fenomeni di evorsione superficiali e fenomeni di *piping* profondo (suffosione).

Lo scopo del presente studio è l'integrazione di misure a terra (rilievi geofisici, topografici, GPS) e di osservazioni in remoto (elaborazione di immagini SAR con Interferometria Differenziale) per lo studio dei *sinkhole*. In particolare, l'attenzione è focalizzata sugli sprofondamenti che si verificano in materiali limoso-sabbioso-ghiaiosi delle aree di piana alluvionale, i *piping sinkhole* (Nisio, 2003) che, a differenza dei

fenomeni carsici, improvvisi e difficilmente monitorabili con tecniche satellitari, presentano deformazioni superficiali antecedenti il collasso che ben si prestano agli obiettivi del presente progetto.

I *sinkholes* di tipo *piping*, infatti, si generano per un meccanismo profondo di erosione dal basso, definiti da Castiglioni (1986) come “*effetti meccanici dello scorrimento sub-superficiale dell’acqua nel terreno che si realizza quando quest’ultimo è crepacciato o poroso e quando l’acqua abbondante e con pressione elevata, riesce a trovare vie di scorrimento in cui passare con velocità abbastanza sostenuta*”. Il passaggio dell’acqua provoca l’erosione di materiale e la formazione di canalicoli e di condotti tubolari lungo le linee idrauliche di flusso. A seguito dell’erosione, quindi, si determinano prima deformazioni superficiali diffuse e poi successivi *sinkholes* localizzati. Un eventuale monitoraggio deve, pertanto, essere continuo e prolungato nel tempo, al fine di valutare l’evoluzione temporale degli spostamenti del suolo che permettano di prevenire e prevedere un collasso circoscritto.

Dati disponibili e procedure utilizzate

Per operare un monitoraggio continuo e prolungato nel tempo di aree estese, ben si prestano le tecniche innovative di monitoraggio satellitare che, attraverso sensori SAR (*Synthetic Aperture Radar*), sono in grado di misurare le deformazioni della superficie terrestre, proiettate lungo la congiungente sensore-bersaglio (*Line of Sight - LOS*). Tali tecniche, denominate *Advanced DInSAR Interferometry*, consentono di valutare in maniera efficace le deformazioni del suolo caratterizzate da componente prevalentemente verticale, caratteristiche di fenomeni quali *sinkholes* e subsidenze.

Sono, infatti, molti gli studi che hanno permesso di validare l’applicabilità di queste tecniche al monitoraggio dei *sinkholes*, tra i quali si possono citare: Buchignani et al. (2004), Ferretti et al. (2004), Cascini et al. (2006, 2007 a, b, c).

Di seguito (Fig.1) si riporta un esempio di perimetrazione di un’area abbastanza vasta interessata da tali fenomeni mediante dati satellitari; l’applicazione di tecniche tradizionali avrebbe richiesto numerosi rilievi puntuali, che, nel complesso, sarebbero risultati certamente più onerosi.

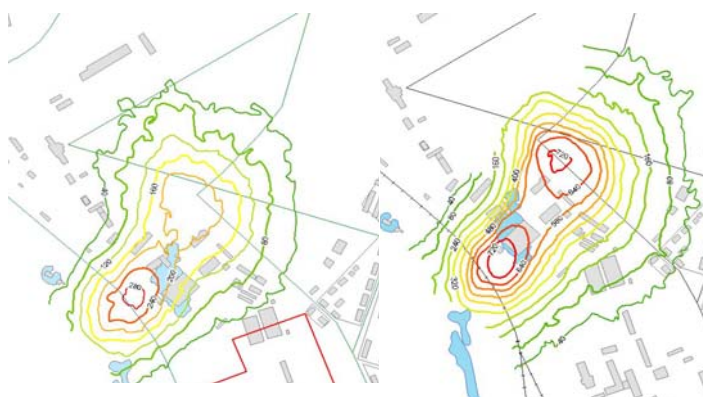


Figura 1: Variazione della superficie topografica ottenute mediante elaborazioni interferometriche con immagini a 11 giorni (Ashrafiyanfar et al., 2011)

Nel presente lavoro sono stati utilizzati i dati interferometrici ottenuti mediante la consultazione del sito del progetto TELLUS, elaborati dal PODIS Campania (Unità di Supporto Locale n.6 del Progetto Operativo Difesa del Suolo e del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Mis. 1.2 PON ATAS 2000-2006-<http://webgis.difesa.suolo.regione.campania.it:8080/psinsar/map.phtml>).

Nel prosieguo del lavoro, per mezzo di un protocollo d’intesa, già in atto, tra il Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ed il Dipartimento di Ingegneria

Ibraica, Geotecnica ed Ambientale, saranno utilizzate le elaborazioni interferometriche e le relative immagini ERS (1992-2000) ed ENVISAT (2002-2008).

Tra le varie tecniche *A-DInSAR*, in questa sede, sono state utilizzate le elaborazioni derivanti dalla tecnica *PSInSAR*, basata sull'ipotesi che esista una categoria di riflettori, detti riflettori persistenti (*PS*), la cui riflettività è pressoché invariante; detti riflettori, costituiti da parti di edifici, da strutture metalliche e da porzioni di rocce esposte, consentono di ricavare il *trend* medio di deformazione e l'intera serie temporale di deformazione.

A supporto dei risultati ottenibili con le tecniche interferometriche, certamente un valido contributo possono offrire nel problema in esame le tecniche di monitoraggio geofisiche, in particolare la microgravimetria, che, da molti anni, viene efficacemente utilizzata per la localizzazione delle cavità sotterranee (Castiello et al., 2009) ed, in particolare, per lo studio dei *sinkholes*; ad. es. eventi del Bottegone (GR), (Del Greco et al., 2004) e della Piana di S.Vittorino (RI), (Di Filippo et al., 2004).

Un ulteriore importante contributo sarà quello proveniente dagli studi geologici e geomorfologici, per la completa caratterizzazione delle aree oggetto di studio.

Aree di studio

Nello studio, si è scelto di mettere a confronto alcuni casi ubicati in Campania con altri, in parte già noti in letteratura, ricadenti in altre regioni italiane. A tal proposito, sono state individuate l'area toscana di Grosseto e quelle campane di Telese, Solopaca e Contursi (Fig. 2).

La scelta delle aree campione è stata effettuata sulla base delle informazioni contenute nel *database* del progetto *sinkhole* (<http://sgi2.isprambiente.it/sinkhole/database.asp>) a cura del Servizio Geologico d'Italia (attuale ISPRA) che ha evidenziato un'elevata concentrazione, nelle suddette aree, di fenomeni "attivi" e di dimensioni tali da poter essere rilevati dai satelliti ERS ed ENVISAT.

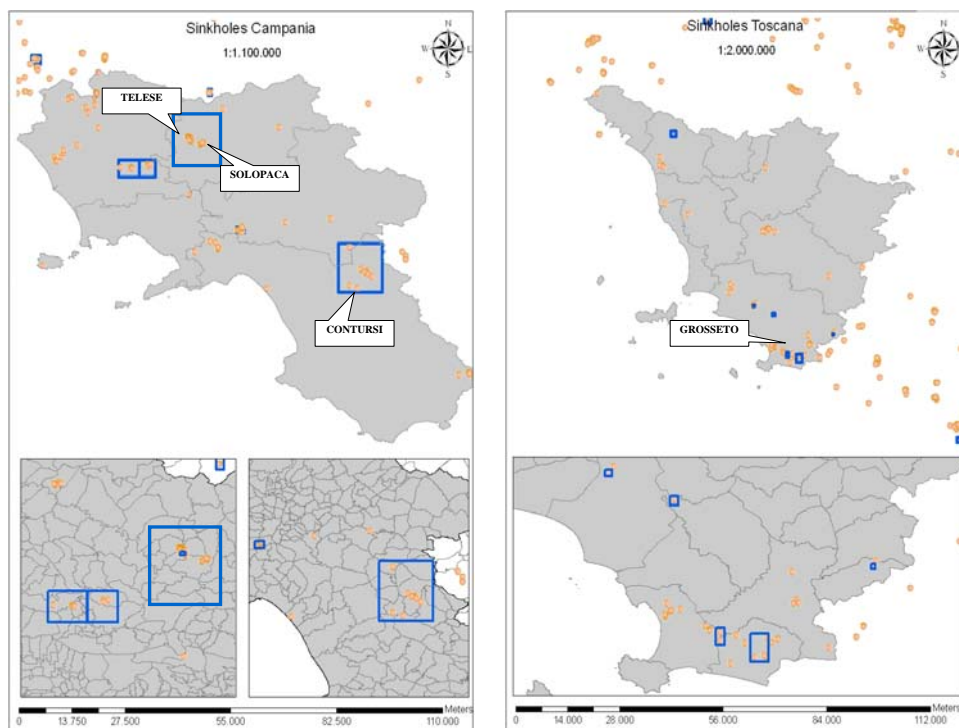


Figura 2. Ubicazione dei sinkholes attivi in Toscana e Campania

(da: <http://sgi1.isprambiente.it/arcgis/services/servizi/sinkhole/MapServer/WMServer?>)

Contursi (SA)

Nell'alta valle del fiume Sele, al limite tra i massicci calcarei dei M.ti Picentini e di M.te Marzano, è presente l'area termale di Contursi, dove sono stati osservati diversi fenomeni di sprofondamento (Polselli, 2005). Il sottosuolo è caratterizzato da terreni argillosi e calcareo-marnosi affioranti nel fondovalle, a sud dell'allineamento Bagni di Contursi-Oliveto Citra e nei pressi di Materdomini. La restante parte della valle è quasi interamente occupata da un'alternanza irregolare di argille nere e policrome, calcareniti e calcilutiti ed arenarie micacee. Nella parte bassa della stessa emergono, isolati, due alti morfologici costituiti da calcari cretacici e giurassici: rispettivamente Oliveto Citra e Bagni di Contursi. Nel territorio di Contursi sono inoltre presenti due gruppi sorgivi di portata complessiva di circa 0.5 m³/s, ubicati ai piedi dei piccoli rilievi carbonatici siti nel fondovalle (Celico, 1983).

Nei dintorni di Contursi sono presenti numerosi fenomeni di sprofondamento che hanno dato origine a cavità subcircolari, alcune delle quali oggi asciutte, altre allagate; nelle aree della piana, a causa delle acque in pressione dal basso, il meccanismo di genesi prevalente è quello dei *piping sinkholes*.

Telese (CE)

Il centro abitato di Telese Terme poggia su uno strato di potenza variabile – da qualche decina di centimetri ad alcuni metri – di travertino litoide, vacuolare, fitotermale, a luoghi poco coerente o cavernoso a causa di fenomeni di dissoluzione. I travertini si intercalano a depositi alluvionali recenti o terrazzati e sono ricoperti dall'Ignimbrite Campana, (Calcaterra, et al., 2009). A valle delle sorgenti e sotto l'abitato di Telese, l'articolata stratigrafia della piana (alternanze di livelli di travertino, depositi fluvio – palustri e piroclastici) favorisce l'instaurarsi di una circolazione idrica sotterranea per falde sovrapposte e localmente in pressione, alimentata per travaso dai calcari retrostanti (Celico, 1978, 1983, Corniello e de Riso 1986; Esposito et al., 2003). Le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche possono attivare processi di corrosione accelerata nei livelli travertinosi, con conseguente formazione di vuoti, o innescare processi di erosione lungo vie di deflusso preferenziale della falda, con fenomeni di *piping*. I fenomeni di *piping sinkholes* più recenti, avvenuti nell'area di Telese, si sono registrati nel febbraio 2002 e nell'agosto 2006.

Bottegone (GR)

La località di Bottegone è situata nella parte settentrionale della piana di Grosseto; si tratta di un'area ad andamento sub-orizzontale, le cui quote variano dai 3 ai 5 m s.l.m., interessata da una fitta rete di canali. Nella località Bottegone, il 29 gennaio 1999, nel volgere di poche ore, si generò una voragine di forma pseudo circolare, con diametro pari a 140 m e approfondimento massimo di 15 m. Le varie indagini geofisiche effettuate (Del Greco et al., 2004), hanno dimostrato che la voragine del "Bottegone" è collocabile al centro di un'area fortemente disarticolata da sistemi di faglie; il substrato è posizionabile ad una profondità di 200 – 250 m. Per il *sinkhole* del Bottegone, è stata ipotizzata un'origine naturale e profonda, causata dal collasso del tetto di una cavità carsica presente nel substrato calcareo, dovuto ai fenomeni di dissoluzione dei minerali carbonatici, e alla migrazione verso il basso di tutta la copertura terrigena sovrastante.

Primi risultati

Dopo aver individuato le aree di studio in ambito campano, si è cercata conferma del sussistere dei fenomeni di interesse analizzando i risultati del Progetto TELLUS della Regione Campania. Dalla distribuzione dei PS si sono ricostruiti, per la zona di Telese, gli involuppi degli areali contenenti bersagli a velocità media negativa ed a velocità

media positiva. Nelle aree in cui, simultaneamente, i segni degli spostamenti risultano concordi in orbita ascendente e discendente, potrebbe essere presente una componente di deformazione verticale, corrispondente ad una subsidenza, se questi sono negativi, ed ad un'absidenza, se positivi. Dalle elaborazioni effettuate, è risultata la presenza di un possibile fenomeno di subsidenza rilevato da entrambi i satelliti e, pertanto, presente già negli anni 1992-2000 (Fig. 3) e persistente nei successivi anni 2002-2008 in cui ha interessato una superficie più estesa (Fig. 4).

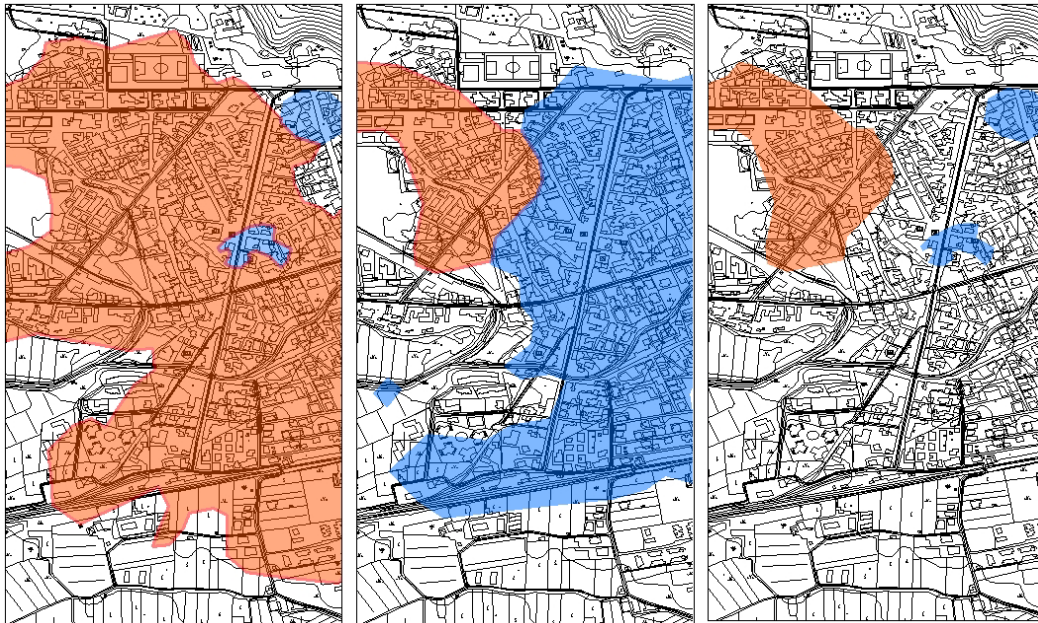


Figura 3. Inviluppo dei PS a velocità negativa (rosso) ed a velocità positiva (blu) dell'immagine ERS descending (a sinistra); Inviluppo dei PS a velocità negativa (rosso) ed a velocità positiva (blu) dell'immagine ERS ascending (al centro); probabili aree subsidenti (rosso) e probabili aree absidenti (blu) (a destra).

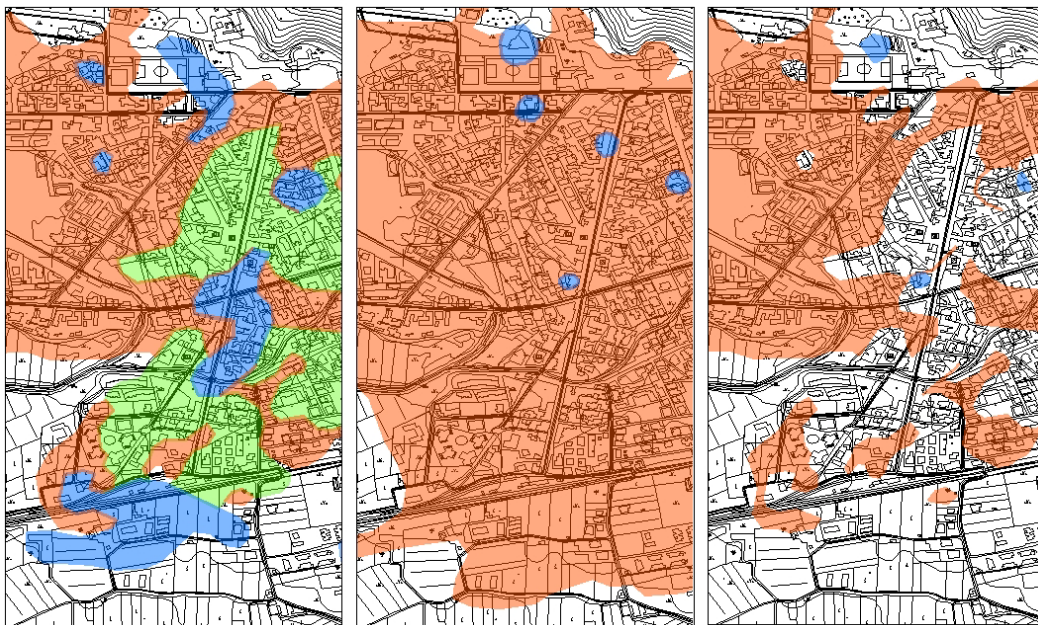


Figura 4. Inviluppo dei PS a velocità negativa (rosso), a velocità positiva (blu) e aree con spostamenti trascurabili (verde) dell'immagine ENVISAT descending (a sinistra); inviluppo dei PS a velocità negativa (rosso) ed a velocità positiva (blu) dell'immagine ENVISAT ascending (al centro); probabili aree subsidenti (rosso) e probabili aree absidenti (blu) (a destra).

Bibliografia

- Alexander D.E., Fairbridge R.W. (1999) - *Encyclopedia of environmental science*. Springer Ed.
- Ashrafiyanfar N., Hebel H.P. Busch W. (2011) - *Monitoring of mining induced land subsidence – differential SAR Interferometry and persistent scatterer Interferometry using TERRASAR-X data in comparison with ENVISAT data*. Proc. 4th TerraSAR-X Science Team Meeting, 14-16 February 2011 DLR, Oberpfaffenhofen, Germany.
- Buchignani V., Leva D., Nico G., Rivolta C. (2004) - *Interferometria Sar da terra per il monitoraggio di un fenomeno di sprofondamento (sinkhole) in Toscana*. 1° Seminario sullo stato dell' arte sullo studio dei fenomeni di sinkhole e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio. APAT, Roma, 20 – 21 Maggio
- Calcaterra D., Esposito A., Fuschini V., Galluccio F., Giulivo I., Nardò S., Russo F., Terranova C. (2009) - *L' utilizzo della tecnica Psinsar™ per l' individuazione ed il monitoraggio di sinkholes in aree urbanizzate della Campania: i casi di Teleso Terme (Bn) e Sarno (Sa)*, Atti Conv: "I Sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato". Roma 3-4 Dicembre 2009, 931-948
- Cascini L., Ferlisi S., Fornaro G., Lanari R., Peduto D., Zeni G., (2006) *Subsidence monitoring in Sarno urban area via multitemporal DInSAR technique*, International Journal of Remote Sensing, 27(8), 1709-1716.
- Cascini L., Ferlisi S., Peduto D., Di Nocera S., Fornaro G., Serafino F., (2007a) *A land subsidence study via DInSAR technique over large urbanised areas* - Proceeding of Urban Remote Sensing Joint Event, 2007 April 2007 ISBN: 1-4244-0712-5
- Cascini L., Ferlisi S., Fornaro G., Peduto D., Manunta M., Zeni G., (2007b) - *Low and high resolution differential interferometry monitoring of the Sarno urbanised areas*. Proc. of Urban Remote Sensing Joint Event, 2007 April 2007, ISBN: 1-4244-0712-5.
- Cascini L., Ferlisi S., Peduto D., Fornaro G., Manunta M., (2007c) - *Analysis of a subsidence phenomenon via DInSAR data and geotechnical criteria*. Rivista Italiana di Geotecnica, 41(4), 50-67.
- Castiello G. Fedi M., Florio G., Grimaldi M., 2009 - *Indagini microgravimetriche per l'individuazione di cavità sotterranee in ambienti urbani: i casi di Cardito (Na) e di Lesina Marina (Fg)*. Atti Conv: "I Sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato". Roma 3-4 Dicembre 2009, 949-966.
- Castiglioni G.B. (1986) - *Geomorfologia*. UTET, 436 pp.
- Celico P. (1983) – *Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale (Marche e Lazio meridionali, Abruzzo, Molise e Campania)*. Quadreni Casmez, 4 (2): 225 pp., Roma
- Celico P. (1978) - *Schema idrogeologico dell' Appennino Carbonatico Centro- Meridionale, Memorie e Note dell' Istituto di Geologia Applicata dell' Università di Napoli*
- Corniello A., De Riso R. (1986) - *Idrogeologia e idrochimica delle sorgenti dell' agro Telesino (Benevento)*. Geol. Appl. e Idrog., 21, 52-84.
- Del Greco O., Garbardino E., Oggeri C. (2004) - *A multidisciplinary approach for the evaluation of the "Bottegone" subsidence (Grosseto, Italy)*, In: Hack R., Azzam R., Charlier R., (eds) *Engineering geology for infrastructure planning in Europe, an European perspective*, vol. 1, 685-693.
- Di Filippo M., Nolasco F., Rizzo S. & Toro B. (2004) - *Indagini geofisiche per l'individuazione di aree a rischio sinkhole nella Piana di S. Vittorino (RI)*. Atti Conv: "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio di Roma". 20-21 maggio 2004, 389-398.
- Esposito L., Celico P., Guadagno F.M., Aquino S. (2003) - *Aspetti idrogeologici del territorio sannita. Con saggio cartografico alla scala 1:100.000*. Techne Edt. Napoli, pp.58.
- Ferretti A., Novali F., Burgmann R., Hilley G., Prati C. (2004) - *InSAR Permanent Scatterer analysis reveals ups and downs in San Francisco Bay Area*. EOS, 85(34), 1–3.
- Nisio S., Graciotti R. & Vita L. (2004) *I fenomeni di sinkhole in Italia: terminologia, meccanismi genetici e problematiche aperte*. Atti Conv. "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio Roma 20-21 maggio 2004", 557-572.
- Polselli P. (2005) - *Relazione tra fenomeni di sprofondamento, risalite di fluidi mineralizzati e sismicità in alcune aree di studio dell' Italia centro-meridionale*. ISPRA – Tesi di Stage