

SUBSIDENZA, IL MONITORAGGIO IN EMILIA-ROMAGNA

LE NUOVE TECNICHE SATELLITARI PER IL MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA PERMETTONO DI VALUTARE IL FENOMENO CON UN MAGGIORE DETTAGLIO TERRITORIALE E TEMPORALE RISPETTO ALLE TECNICHE DI LIVELLAZIONE DI PRECISIONE, A VANTAGGIO DELLA CONOSCENZA DEL TERRITORIO REGIONALE E DELLA SICUREZZA DELLE PERSONE E DELLE ATTIVITÀ.

L'abbassamento nel tempo della superficie topografica, dovuto ad esempio al naturale costipamento nel tempo dei sedimenti di pianure alluvionali o delle zone costiere, rappresenta il fenomeno della subsidenza. Tale fenomeno risulta in generale più accentuato in presenza di materiali fini (siltoso-argillosi) e sostanza organica (torbe) che per la loro struttura mineralogica e il comportamento reologico permettono variazioni di volume maggiori – costipazione – rispetto ai sedimenti granulari e più grossolani, come sabbie e ghiaie, che in genere sono grano-sostenuti, ovvero il contatto tra i granuli della matrice solida sostiene il peso dei sedimenti sovrastanti. Le cause che provocano la subsidenza possono essere sia di origine naturale (compattazione dei sedimenti, tettonica, isostasia), sia di origine antropica per effetto dell'urbanizzazione, delle bonifiche idrauliche o dell'estrazione di fluidi dal sottosuolo. Il fenomeno della subsidenza si inquadra più in generale nelle variazioni verticali del suolo, considerando che i movimenti tettonici possono comportare anche innalzamenti della superficie topografica. La legge 845 del 10 dicembre 1980 "Protezione del territorio del Comune di Ravenna dal fenomeno di subsidenza" è uno dei primi riferimenti normativi che interviene sul fenomeno della subsidenza, con il quale "la protezione del territorio del comune di Ravenna dal fenomeno della subsidenza ed i relativi interventi sono dichiarati di preminente interesse nazionale". Con questa legge sono state assoggettate alla tutela della pubblica amministrazione, la ricerca, l'estrazione e l'utilizzazione di tutte le acque sotterranee nel territorio di diversi comuni delle province di Ravenna, Forlì-Cesena e Bologna, con l'obiettivo di controllare gli emungimenti dal sottosuolo attraverso progressive limitazioni e modalità con le quali gli utenti si dovevano adeguare nell'effettuare prelievi sia per usi produttivi, sia per usi domestici.

FIG. 1
RETE MONITORAGGIO SUBSIDENZA

Reti di monitoraggio della subsidenza in Emilia-Romagna. Linee verde chiaro: linee di livellazione all'interno delle quali sono ubicati i 2300 capisaldi. Punti in blu: le 60 stazioni Gps.



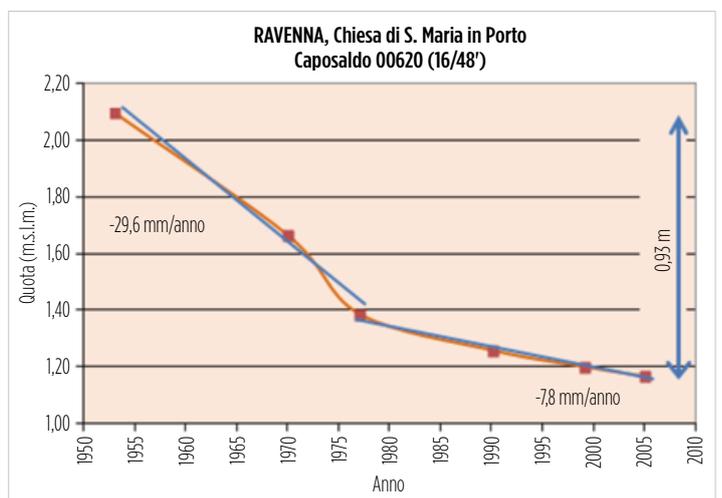
FIG. 2
CAPOSALDO S. MARIA IN PORTO RAVENNA

Scheda anagrafica del caposaldo in prossimità della Chiesa di S. Maria in Porto (RA - 000620).



FIG. 3
CAPOSALDO S. MARIA IN PORTO RAVENNA

Dati di livellazione di precisione del caposaldo in prossimità della Chiesa di S. Maria in Porto (RA - 000620) disponibili fino all'anno 2005.



Il monitoraggio della subsidenza è stato effettuato nel tempo da diversi enti, sia locali che di ricerca, in porzioni di territorio più o meno limitate e con diverse finalità, utilizzando reti di livellazione. Basti pensare a quanto fatto nei comuni di Ravenna, Bologna, Modena, ai Consorzi di bonifica, fino alla Rete di livellazione di alta precisione dell'Istituto geografico militare, alla quale rete sono comunque agganciate le diverse reti locali.

In Emilia-Romagna, nel 1997-98 è stata istituita la rete regionale di monitoraggio della subsidenza, facendo una revisione e un'ottimizzazione delle numerose reti di monitoraggio presenti nel territorio. La rete è costituita da oltre 2.300 capisaldi, distribuiti su 142 linee di livellazione, pari a oltre 2.200 km di lunghezza, coprendo un territorio di circa 13.000 km². La rete comprende inoltre 60 stazioni Gps stazionabili (figura 1). Ogni caposaldo ha una scheda anagrafica e una serie storica di dati rilevati che è

pubblica e disponibile (figura 2 e 3; www.arpae.it/cartografia/).

Nel monitoraggio della subsidenza tramite la classica tecnica della livellazione di alta precisione, si effettuano misure periodiche della quota assoluta dei diversi capisaldi, ottenuta attraverso livellazione di precisione rispetto a capisaldi della rete nazionale – nel caso dell'Emilia-Romagna le misure sono riferite al caposaldo di Sasso Marconi (BO). Il valore di subsidenza, espressa in mm/anno, è pertanto dato dal rapporto tra la differenza di quota misurata nel caposaldo e il tempo intercorso tra le misure. In figura 2 e 3 sono rappresentate le misure di quota assoluta del caposaldo in prossimità della chiesa di S. Maria in Porto (RA), che dal 1953 al 2005 evidenzia un abbassamento complessivo di 93 cm, che corrisponde a un valore medio di subsidenza di -17,9 mm/anno. Considerando però che il fenomeno può essere distinto in almeno due periodi con velocità medie

differenti di abbassamento, si può calcolare una subsidenza di -29,6 mm/anno dal 1953 al 1957 e -7,8 mm/anno dal 1977 al 2005. Questo esempio è significativo per evidenziare l'importanza che riveste la frequenza di monitoraggio nell'individuare cambi di tendenza per il singolo caposaldo.

Disponendo di misure di livellazione di precisione sinottiche su tutta la rete di 2.300 capisaldi, è stato possibile ottenere cartografie di subsidenza in grado di evidenziare la variabilità areale del fenomeno, come effettuato nel 1999 e nel 2005. I limiti della tecnica sono comunque legati al numero di misure necessarie su tutti i capisaldi della rete con frequenza adeguata a valutare le tendenze di medio periodo. Non è pertanto possibile con questa tecnica, per l'estrema onerosità dei rilievi, valutare tendenze di breve e brevissimo periodo per l'intera rete. Ciò è possibile effettuarlo al bisogno solo in zone limitate del territorio.

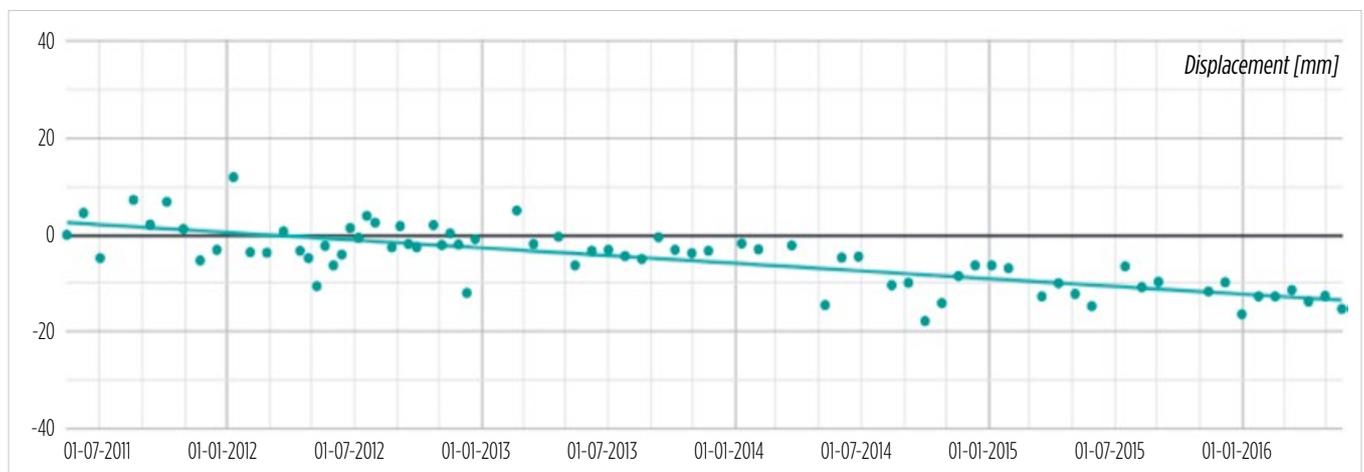
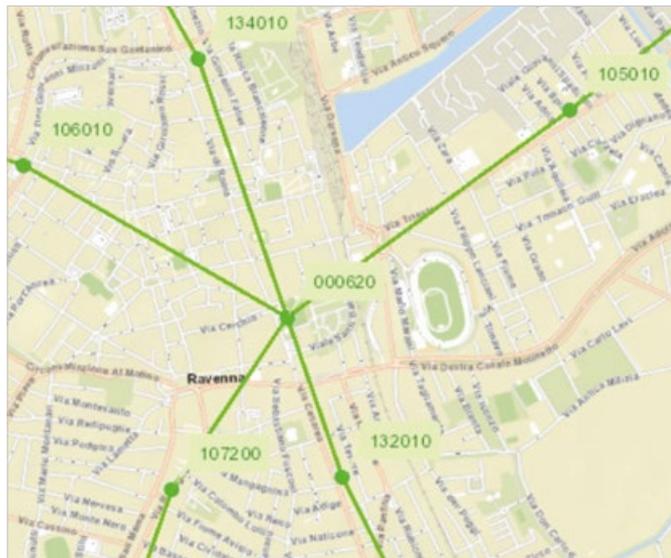


FIG. 4 ANALISI INTERFEROMETRICA SATELLITARE

Confronto tra il numero di capisaldi nel centro urbano di Ravenna utilizzati fino al 2005 per le misure di livellazione di alta precisione e il numero di punti di misura (Ps) nella stessa zona utilizzati nell'analisi interferometrica satellitare nel periodo 2011-2016. Nel grafico sono riportate le misure di variazione verticale di un Ps ubicato in corrispondenza del caposaldo 000620, con linea di regressione che permette di calcolare il valore medio di subsidenza nel periodo 2011-2016, pari a -3,2 mm/anno.

Considerando che le misure di subsidenza registrano l'abbassamento totale della superficie topografica, nell'ambito della rete regionale sono state attrezzate alcune stazioni automatiche con assestimetri che effettuano 2 misure al giorno per verificare come varia il fenomeno con la profondità. Nel 2005 sono stati posizionati a Castel Maggiore (BO) due assestimetri alle profondità di 100 m e 200 m che dimostrano come il fenomeno dell'abbassamento non sia lineare nel tempo, ma presenti significative variazioni stagionali con tendenza di medio e lungo periodo all'abbassamento e anche brevi periodi con tendenza all'innalzamento (Arpa Emilia-Romagna, 2005). Questa tipologia di monitoraggio era stata già sperimentata a Bologna in località Stalingrado negli anni 80 e attualmente viene spesso prescritta come monitoraggio nei siti dove vengono svolte attività Oil&Gas.

L'evoluzione tecnologica e la disponibilità di dati radar satellitari ha permesso in Emilia-Romagna, a partire dal 2005, di effettuare elaborazioni di dati interferometrici Sar a scala regionale per ottenere il movimento verticale del suolo, permettendo di valutare il fenomeno con un maggiore dettaglio sia territoriale sia temporale, rispetto alle tecniche di livellazione di alta precisione. A ogni passaggio dei satelliti su una determinata porzione di territorio, si ottiene, grazie alla tecnologia radar, la posizione e la distanza lungo la linea di osservazione del satellite dei punti riflettenti permanenti a terra (Ps, *Permanent scatterers*). Nel periodo di osservazione, che nell'ambito del monitoraggio regionale è pari a 5 anni, si dispone per ciascun Ps, di una serie temporale di dati che permettono, con opportune correzioni e calibrazioni, di ottenere la velocità media di movimento verticale del Ps stesso in mm/anno, utilizzando le distanze misurate nei diversi passaggi del satellite. Questa tecnica permette di passare dalle misure effettuate fino al 2005 nei 2.300 capisaldi a scala regionale a 1.974.150 punti nel periodo 2011-2016 e per ciascun punto la valutazione della subsidenza viene effettuata mediamente su un dataset di circa 70 misure nel periodo quinquennale. In *figura 4* si mette a confronto il numero dei capisaldi presenti nella zona urbana di Ravenna, utilizzati per le elaborazioni con livellazione di alta precisione, rispetto ai punti Ps utilizzati per le elaborazioni interferometriche satellitari nel periodo 2011-2016, con un esempio del dataset di un generico Ps ubicato in prossimità



FOTO: SAILINO - WIKIMEDIA - CC-BY-SA 3.0

della chiesa S. Maria in Porto (RA), dove la subsidenza dell'ultimo periodo risulta diminuita a -3,2 mm/anno rispetto a quella misurata nel 2005 nel caposaldo 000620.

Il monitoraggio della subsidenza in Emilia-Romagna nel periodo 2011-2016 ha utilizzato l'analisi interferometrica, tramite la tecnica SqueeSar™, con calibrazione dei risultati tramite i dati di movimento verticale di 16 stazioni permanenti Gps. Ulteriori 6 stazioni Gps permanenti sono state utilizzate per la validazione delle elaborazioni che permettono di quantificare in circa ± 2 mm/anno l'incertezza complessiva dell'intera analisi di velocità verticale. Dal confronto delle velocità di movimento degli ultimi 2 periodi (2006-2011 e 2011-2016) emerge che il 79% del territorio regionale non presenta variazioni di tendenza, il 18% della superficie evidenzia una riduzione della subsidenza e solo il 3% una accentuazione in zone localizzate. La provincia di Bologna, caratterizzata in passato dal più alto tasso di subsidenza a livello regionale, presenta un forte ridimensionamento del fenomeno, le cui ragioni sono legate

principalmente alla riduzione degli emungimenti di acque sotterranee. Sul litorale, continua la tendenza, già manifestatasi con il precedente rilievo, a una diminuzione della subsidenza. Il litorale ravennate presenta abbassamenti fino a circa 5 mm/anno, fatta eccezione per un'area di depressione che interessa la zona da Lido Adriano fino alla bocca del torrente Bevano, con un massimo di oltre 15 mm/anno in corrispondenza della foce dei Fiumi Uniti (Ecoscienza, 2018; Arpa Emilia-Romagna, 2018). L'uso di tecniche di telerilevamento permette pertanto di ottenere, rispetto alla livellazione di alta precisione, un maggiore dettaglio spaziale e temporale del fenomeno della subsidenza, seppure occorra definire e consolidare una rete geodetica di riferimento (stazioni permanenti Gns), anche utilizzando e strumentando alcune delle stazioni Gps della rete regionale, i cui dati sono necessari per la calibrazione e validazione dei risultati dell'interferometria Sar.

Marco Marcaccio, Giacomo Zaccanti

Arpa Emilia-Romagna, Direzione tecnica

DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, Autorità di Bacino del Reno, 2005, *Studio della conoide alluvionale del fiume Reno per la realizzazione di un modello idrogeologico per la gestione sostenibile delle risorse idriche*, Rapporto tecnico, Arpa Emilia-Romagna, Bologna, 126 pp.

Ecoscienza, 2018, "Rallenta la subsidenza in Emilia-Romagna", *Ecoscienza*, 3, 2018, p. 58.

Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, 2018, *Rilievo della subsidenza nella pianura emiliano-romagnola - Seconda fase*, Rapporto tecnico, Arpa Emilia-Romagna, Bologna, 105 pp.

www.arpae.it/dettaglio_generale.asp?id=2050&idlivello=1422