

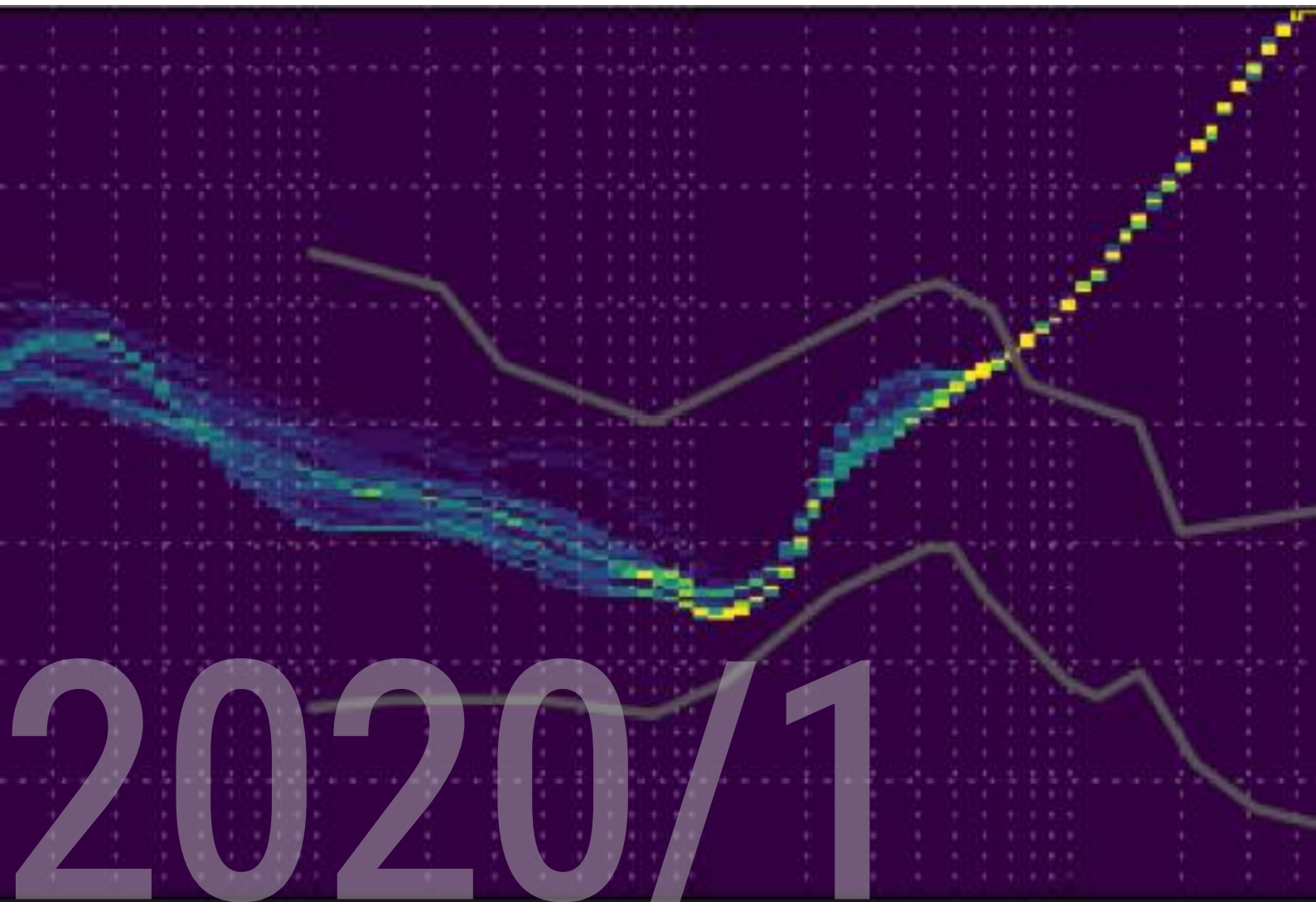
Accordo Quadro 2017-2022
MiSE, Regione Basilicata, INGV, ENI

PROGETTO DI MONITORAGGIO CONCESSIONE VAL D'AGRI

Responsabili di Progetto: Thomas Braun e Stefania Danesi

Autori: T. Braun, S. Danesi, L. Anderlini, M. Errico, D. Famiani, M. Polcari e P. Zerbinato

Redazione: M. Errico



| | |
|---|-----------|
| EXECUTIVE SUMMARY OTTOBRE 2019 - APRILE 2020 | 5 |
| MANAGEMENT | 5 |
| TRASFERIMENTO DATI PREGRESSI DA ENI | 5 |
| ACQUISIZIONE E ARCHIVIAZIONE DATI | 5 |
| MONITORAGGIO SISMICO | 6 |
| MONITORAGGIO DEFORMAZIONI DEL SUOLO - DATI CGPS | 7 |
| MONITORAGGIO DEFORMAZIONI DEL SUOLO - DATI INSAR | 10 |
| BIBLIOGRAFIA | 12 |
| ELENCO DELLE FIGURE | 14 |
| ELENCO DELLE TABELLE | 14 |

Accordo Quadro 2017-2022
MiSE, Regione Basilicata, INGV, ENI

**PROGETTO DI MONITORAGGIO
CONCESSIONE VAL D'AGRI
Executive Summary**

Thomas Braun ^{1,3}, **Stefania Danesi** ², **Letizia Anderlini** ², **Maddalena Errico** ², **Daniela Famiani** ³, **Marco Polcari** ⁴, **Paolo Zerbinato** ²

¹ INGV, Osservatorio Sismologico Arezzo, Italia; ² INGV, Sezione di Bologna, Italia;

³ INGV, Sezione di Roma 1, Italia; ⁴ INGV Osservatorio Nazionale Terremoti, Italia.

11/05/2020

EXECUTIVE SUMMARY OTTOBRE 2019 - APRILE 2020

Report delle attività di avanzamento del Progetto di Monitoraggio in conformità agli Indirizzi e Linee Guida per il Monitoraggio della sismicità delle deformazioni del Suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche (ILG) nell'area di concessione della Val d'Agri.

Management

I Responsabili della Sperimentazione hanno coordinato le attività del Progetto sia internamente all'INGV che esternamente nei rapporti nazionali e internazionali:

- supporto alla Dirigenza dell'Ente per l'organizzazione del Centro di Monitoraggio del Sottosuolo;
- stesura dei protocolli operativi e dei mansionari;
- stesura del piano assunzionale (definizione di profili professionali, bandi di concorso);
- definizione, pianificazione, gestione piano finanziario;
- partecipazione attiva alle riunioni del Comitato organizzate presso il MiSE;
- Partecipazione a Workshops e Convegni e pubblicazioni su riviste internazionali *peer-review*.

Trasferimento Dati Progressi da ENI

Come stabilito nel Protocollo di Trasmissione Dati, il volume completo di informazioni viene regolarmente trasmesso da ENI a INGV e i gruppi di analisi lavorano in modo collaborativo. A causa dello stato di emergenza COVID-19, il trasferimento del volume completo di dati come è stato concordato non è stato finora possibile, benché siano state pianificate modalità e dettagli; analogamente, il *survey* a tutte le stazioni Eni, sismiche e cGPS, programmato per la primavera del 2020 in Val d'Agri è stata spostata a data da destinarsi.

Acquisizione e archiviazione dati

Il Centro di Acquisizione Dati (CAD-BO) presso l'INGV di Bologna acquisisce attualmente in tempo reale i segnali di tutte le stazioni della rete microsismi ENI, delle stazioni della Rete Sismica Nazionale e di alcune stazioni di reti pubbliche in un raggio di circa 50 km dal dominio di monitoraggio. I dati cGPS vengono trasmessi e acquisiti periodicamente in modo regolare.

Monitoraggio sismico

La rete sismica ENI installata in Val d'Agri è attualmente composta da 16 stazioni a 6 canali (3 velocimetri e 3 accelerometri) e una stazione in pozzo (PADH). L'acquisizione in tempo reale e l'archiviazione dei dati viene realizzata dalla ditta SolGeo (Bergamo). I *datastream* vengono poi inoltrati alle sale di controllo dell'ENI (San Donato Milanese) e del CMS-INGV (Bologna).

Come software sismologico è stato installato SeisComP3 (SC3), che gestisce:

- acquisizione dei *datastream* in tempo reale;
- analisi in automatico di dati (parametri ipocentrali, Magnitudo) in tempo quasi reale;
- rielaborazione manuale (revisione parametri, calcolo meccanismo focale, PGV, PGA);
- reportistica e la disseminazione dei bollettini su WEB.

A seguito dei corsi di formazione per SC3, le condizioni di acquisizione dati del CAD possono essere definite sufficientemente stabili, tanto che a partire dal 1 Marzo 2020 la SPM ha avviato una fase di monitoraggio sismico pre-operativo. Il sistema è strutturato affinché gli operatori in turno di monitoraggio possano connettersi da postazioni remote, distribuite sul territorio nazionale. Questa configurazione si è rivelata particolarmente efficace durante l'emergenza COVID-19 perché ha reso possibile il monitoraggio pre-operativo via VPN da diverse sedi INGV (Roma, Arezzo, Milano, L'Aquila) in collegamento verso CAD-BO.

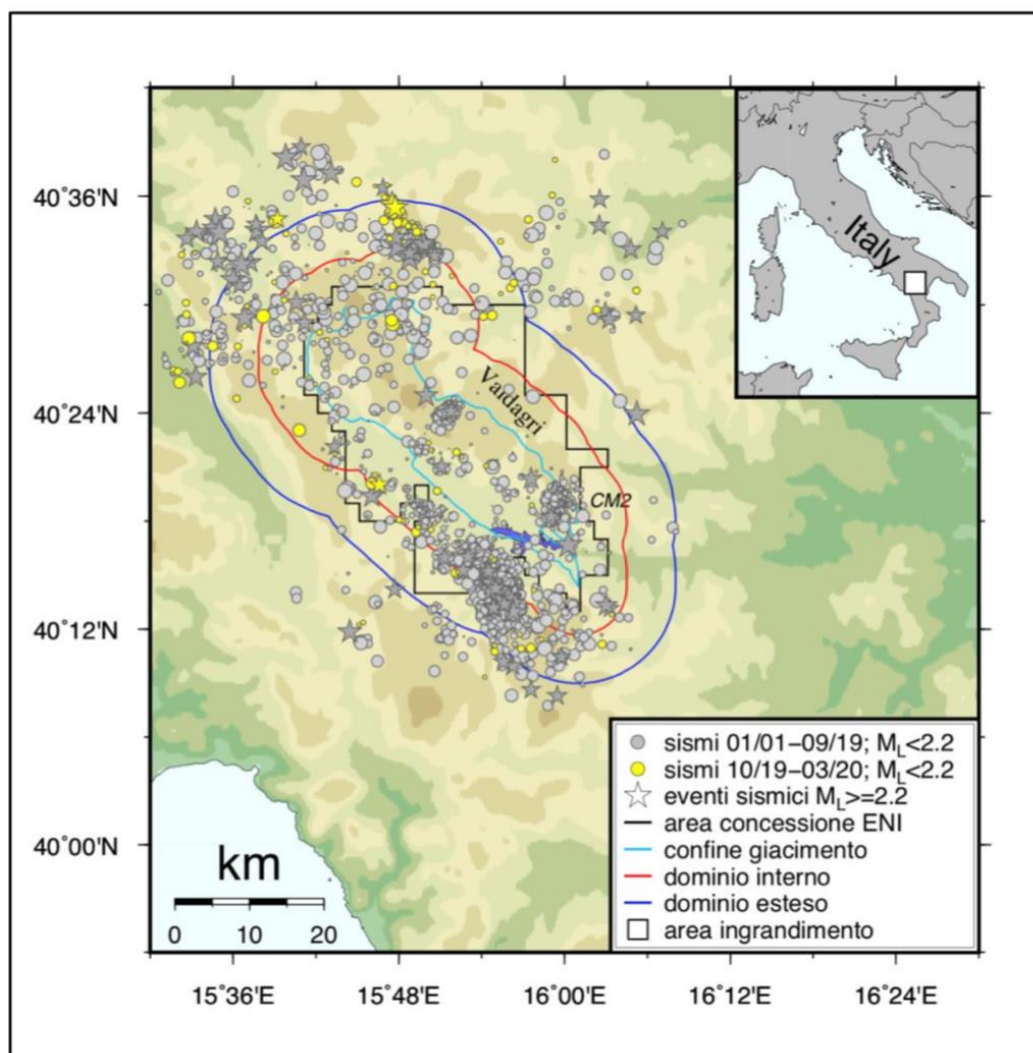
Sono state effettuate alcune analisi di dettaglio relative ad eventuali criticità degli ILG (Braun et al, 2020; Garcia-Aristizabal et al., 2020). In questo contesto è importante ribadire che sia le coordinate ipocentrali che la Magnitudo non rappresentano parametri misurati, ma sono valori calcolati con procedure affette da errori epistemici, quindi non forniscono una soluzione univoca. Nell'applicazione del sistema a semaforo, gli ILG richiedono il calcolo di tali parametri ai fini di classificare il livello di allerta. Considerando che tale classificazione influisce sulla gestione della concessione e le azioni da intraprendere, il risultato del nostro studio dimostra quanto sia indispensabile considerare le incertezze delle soluzioni ottenute.

Per quanto riguarda la sismicità registrata in Val d'Agri, nell'ultimo semestre sono stati localizzati 4 ipocentri di magnitudo $ML \geq 1.5$ all'interno del DI. Il terremoto più significativo del 4 Gennaio 2020 ha raggiunto $ML=2.5$ localizzato al bordo occidentale del DI nel comune di Marsico Vetere. Considerando che gli epicentri dei quattro eventi di livello "giallo" e "arancione" distano più di 25 km dal pozzo di reiniezione CM2, tali eventi non sono stati oggetto di segnalazione al Comitato.

| Data | Ora UTC | Lat. N (°) | Lon. E (°) | Prof. (km) | Err. Prof. (km) | RMS (s) | PGV | PGA | Epicentro |
|----------|----------|------------|------------|------------|-----------------|---------|----------|----------|----------------|
| 15/10/19 | 05:52:14 | 40°29.15 | 15°47.48 | 6.2 | 0.23 | 1.7 | 1.03e-04 | 4.2e-03 | Marsico Nuovo |
| 20/10/19 | 17:07:47 | 40°23.05 | 15°40.80 | 2.2 | 0.18 | 1.8 | 2.6e-05 | 1.01e-03 | Sala Consilina |
| 04/01/20 | 14:52:50 | 40°20.02 | 15°46.61 | 3.0 | 0.14 | 2.5 | 5.33e-04 | 2.45e-02 | Marsico Vetere |
| 24/04/20 | 19:12:24 | 40°20.10 | 15°46.02 | 1.6 | 0.27 | 1.6 | 5.02e-05 | 1.65e-03 | Marsico Vetere |

Tabella 1. Eventi sismici localizzati in Val d'Agri nel periodo dal 01/10/2019 al 31/03/2020 (secondo bollettino ENI) con $M \geq 1.5$ e ipocentro all'interno del DI.

Figura 1. Epicentri localizzati in VA dal concessionario dalla rete sismica ENI: i cerchi $M_L < 2.2$ e gli asterischi ($M_L \geq 2.2$) indicano gli epicentri nel periodo 2001-09/2019 (grigio) e 10/2019-03/2020 (giallo).



Monitoraggio deformazioni del suolo - dati cGPS

Dopo una fase di pre-processamento e di valutazione della qualità, i dati RINEX GPS delle 5 stazioni in Val d'Agri fornite da ENI sono stati elaborati all'interno di

una soluzione geodetica più ampia a scala euro-Mediterranea, utilizzando i dati provenienti da più di 3000 stazioni GPS/GNSS attive, presenti sul territorio italiano ed europeo e gestite da enti di ricerca pubblici (es. INGV, Università), enti locali (es. regioni) e privati (es. Leica-Geosystem, GeoTop).

Le stazioni installate da ENI presentano una buona continuità del dato e valori dei parametri MP1 e MP2, rappresentativi di disturbi da *multipath*, entro gli intervalli che indicano stazioni di buona qualità (Figura 27 del Report 2020/1). Solo per una stazione, TLMA, i valori di MP1 e MP2 sono leggermente superiori ai valori di riferimento facendo supporre la presenza di elementi riflettenti o di disturbo troppo prossimi allo strumento. Inoltre risulta necessario far presente che, nonostante i valori di MP1 e MP2 per VIG3 siano entro i limiti, il loro progressivo aumento negli anni fa sospettare la presenza di un fattore di disturbo in costante aumento come la presenza di vegetazione, oppure un deterioramento della strumentazione. A questo scopo sono necessarie ulteriori informazioni sulla configurazione dei siti di installazione per tutte le stazioni analizzate fornendo strumenti utili nella valutazione di qualità del dato.

Le serie temporali di spostamento ottenute per le stazioni analizzate non mostrano particolari anomalie rispetto a un modello standard che comprende un trend lineare e delle componenti stagionali. Le stime di velocità orizzontali e verticali, per le stazioni MAE1 e VIG3 che hanno un intervallo temporale sufficiente di dati, mostrano delle differenze significative nonostante la relativa vicinanza (6 km). Si può comunque affermare che MAE1, trovandosi in linea con le velocità ottenute dalle stazioni circostanti e avendo valori di MP1 e MP2 simili a quelli delle migliori stazioni GPS permanenti analizzate all'INGV, sia una stazione di ottima qualità dal punto di vista della ripetibilità e della continuità del dato. VIG3 invece mostra una velocità che si discosta molto dalle velocità delle stazioni GPS circostanti e valori di MP1 e MP2 in progressivo aumento nel tempo, per cui l'affidabilità di questo sito deve essere approfondita.

| | VE (mm/anno) | VN (mm/anno) | S_VE (mm/anno) | S_VN (mm/anno) | Vup (mm/anno) | S_Vup (mm/anno) |
|------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------|
| MAE1 | 22.294 | 18.850 | 0.238 | 0.231 | 0.643 | 1.804 |
| VIG3 | 23.556 | 16.315 | 0.245 | 0.305 | -4.215 | 1.355 |

Tabella 2. Velocità di spostamento, e relative incertezze, delle stazioni MAE1 e VIG3 (in mm/anno). In particolare VE, VN e Vup indicano le velocità nelle componenti est, nord e verticale, rispettivamente, nel sistema di riferimento IGS14 e S_VE, S_VN e S_Vup le relative incertezze.

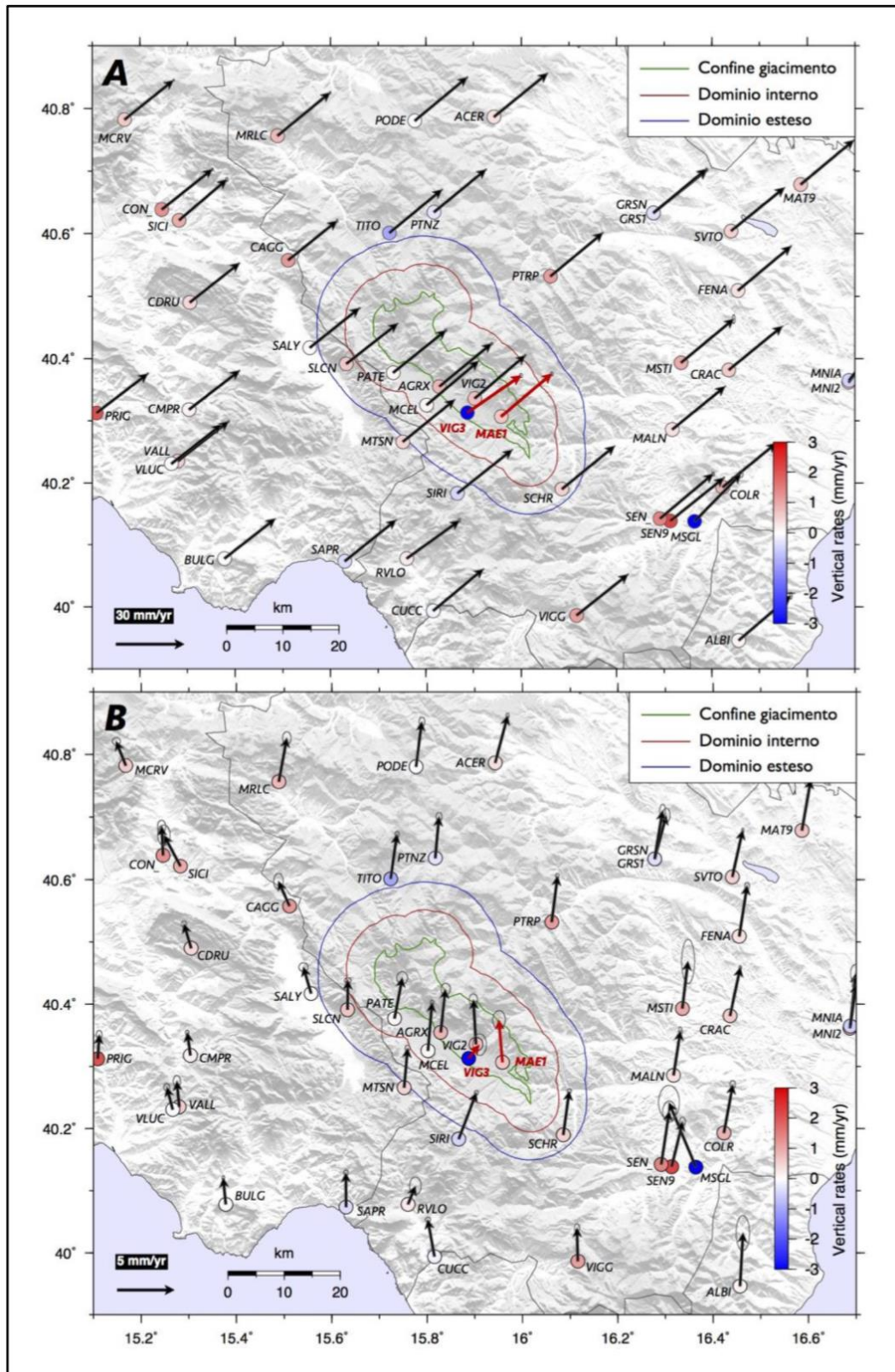


Figura 2. Campo di velocità orizzontale (freccie), nel sistema di riferimento globale IGS14 (pannello A) e rispetto alla placca Eurasiatrica (pannello B), e verticale (cerchi colorati). Le stazioni ENI con più di 2.5 anni di dati (MAE1 e VIG3) sono evidenziate con la sigla in rosso. Le ellissi d'errore per le VIG componenti orizzontali sono al livello di confidenza del 95%. Si faccia attenzione alla diversa scala per le velocità orizzontali nei due pannelli.

Monitoraggio deformazioni del suolo - dati InSar

L'INGV si è avvalso dell'utilizzo dei prodotti forniti dalle missioni Sentinel-1 per l'analisi InSAR delle deformazioni del suolo in Val d'Agri nell'intervallo temporale Ottobre 2014 - Dicembre 2019. I risultati del processamento sono stati confrontati quelli mostrati nella relazione tecnica di E-Geos/CNIT (fornita dal Concessionario).

L'analisi InSAR ad una scala tale da coprire l'intera zona di concessione non ha mostrato significativi trend deformativi benché la copertura del segnale in corrispondenza di alcuni pozzi non sia ottimale a causa di fenomeni di decorrelazione temporale.

Riducendo la scala di indagine, è possibile rilevare alcuni segnali deformativi molto localizzati, prevalentemente dovuti a fenomeni franosi già noti. In questo report sono mostrati i risultati in 3 aree individuate nei pressi dei comuni di Montemurro, Corleto Perticara e Stigliano.

Il comune di Montemurro è interessato da un fenomeno franoso approssimativamente in direzione SE-NW, individuato e mostrato anche nella relazione tecnica di E-geos/CNIT.

Coerentemente con la geometria di acquisizione ascendente e la direzione del movimento del corpo di frana, in avvicinamento al sensore, il segnale SAR risulta positivo in LoS con velocità di picco di circa 5 mm/anno.

Per ciò che concerne i comuni di Corleto Perticara e Stigliano, essi sono entrambi situati in corrispondenza di cime montuose ed interessati da significativi fenomeni franosi in direzione quasi puramente W-E per Corleto Perticara e approssimativamente SW-NE, che si traduce per entrambi in un segnale negativo nell'analisi InSAR.

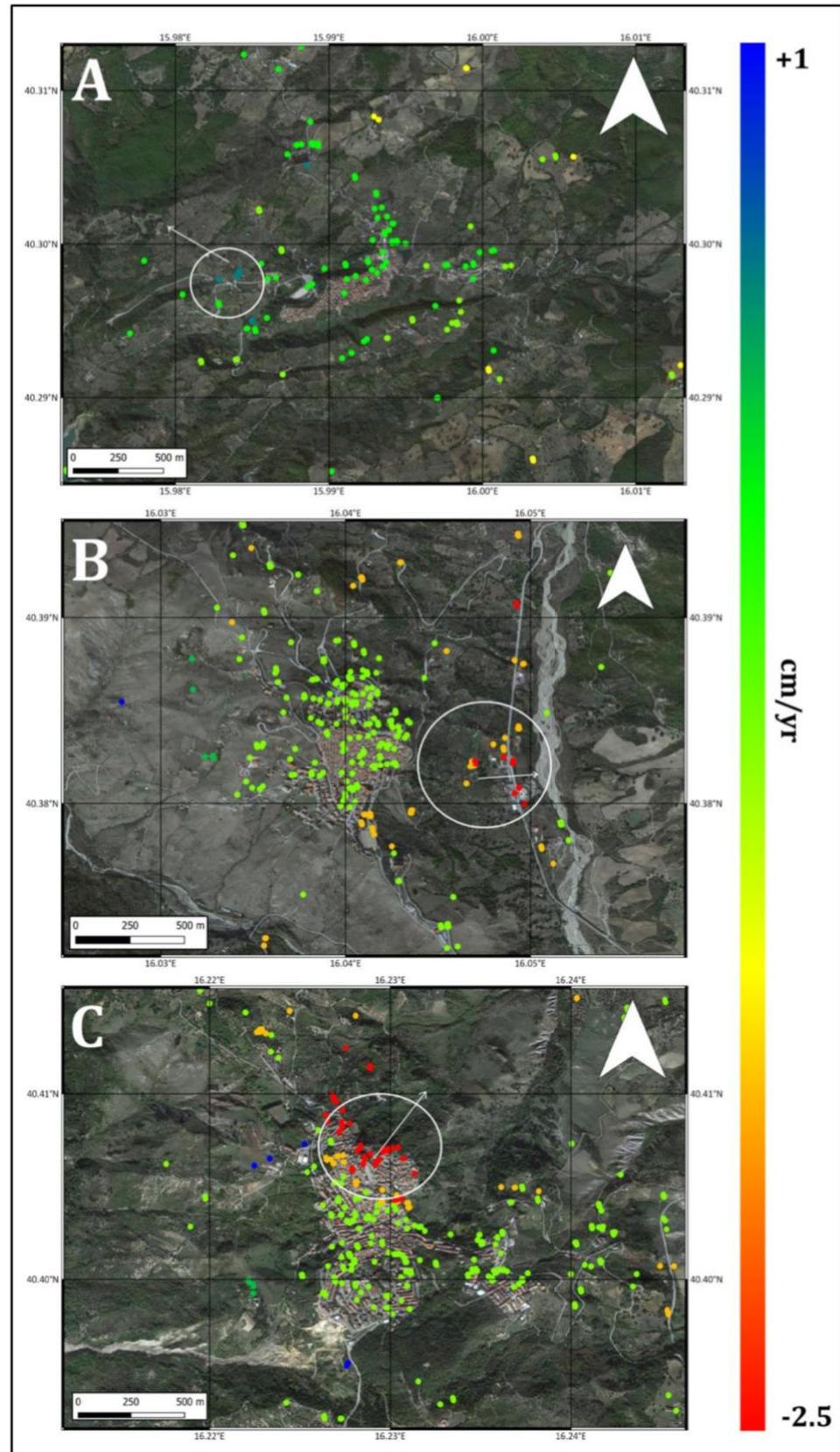
Come emerge dalle mappe di velocità, le velocità di scivolamento dei corpi di frana raggiungono picchi di circa 1 cm/anno per Corleto Perticara e 2.5 cm/anno per Stigliano, interessando, in quest'ultimo caso, anche una parte del territorio comunale.

Nonostante l'utilizzo di tecniche differenti e analisi completamente indipendenti, il confronto tra i risultati INGV e ENI in termini di trend e serie storiche di deformazione del terreno hanno mostrato risultati consistenti tra loro sia nell'analisi su larga scala che su piccola scala.

L'analisi InSAR effettuata da INGV ha di fatto confermato la sostanziale mancanza di deformazioni del suolo indotte dalle attività di coltivazione di idrocarburi nella concessione di Val d'Agri, documentata nella relazione del concessionario. L'analisi su piccola scala ha permesso di rilevare alcuni fenomeni di natura franosa nelle aree di Montemurro, Corleto Perticara e Stigliano, già note e comunque chiaramente indipendenti dalle attività estrattive.

Il trend deformativo rilevato nei pressi del comune di Montemurro è sostanzialmente in accordo con quanto mostrato nel report del concessionario nelle cui serie temporali appare maggiormente filtrata la componente stagionale.

Figura 3. Mappe di velocità di deformazione InSAR stimate lungo la LoS. Il cerchio bianco evidenzia le aree in deformazione individuate nei pressi dei comuni di Montemurro (A), Corleto Perticara (B) e Stigliano (C), mentre le frecce indicano approssimativamente la direzione di scivolamento.



Bibliografia

- Altamimi, Z., Rebischung, P., Métivier, L., Collilieux, X. (2016): ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions. *J Geophys Res-Sol Ea* 121, 6109–6131. doi:10.1002/2016JB013098.
- Bakun W.H. and Joyner W.B. (1984): The ML scale in Central California Bulletin of the Seismological Society of America (1984) 74 (5): 1827–1843.
- 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. Geosci. Remote Sens.*, 40:11, 2375-2383.
- Blewitt, G., and D. Lavalée (2002): Effect of annual signals on geodetic velocity, *J. Geophys. Res.*, 107(B7), 2145, doi:10.1029/2001JB000570.
- Bollettino ENI (2019): Bollettino microsismico Val d'Agri: Analisi dei segnali, gennaio - dicembre 2019. ENI, Servizio Geologia e Geofisica, Unità GEOM - Geodinamica e Monitoraggio geofisico. Doc. N° GEOM-2019001-MS-SAL-12 , 86 pp.
- Bollettino ENI (2020): Bollettino microsismico Val d'Agri: Analisi dei segnali, gennaio - marzo 2020. ENI, Servizio Geologia e Geofisica, Unità GEOM - Geodinamica e Monitoraggio geofisico. Doc. N° GEOM-2020025-MS-SAL-03 , 38 pp.
- Bormann, P. (2012): Magnitude calibration formulas and tables, comments on their use and complementary data. - In: Bormann, P. (Ed.), *New Manual of Seismological Observatory Practice 2 (NMSOP-2)*, Potsdam: GFZ, pp. 1–19. DOI: http://doi.org/10.2312/GFZ.NMSOP-2_DS_3.1.
- Bratt S.R. and Nagy W. (1991): The LocSAT Program, Science Applications International Corporation, San Diego.
- Braun T., S. Danesi, D. Famiani (2019): Relazione semestrale 2019/I, Progetto di Monitoraggio concessione Val d'Agri. 47 pp.
- Braun T., S. Danesi, and A. Morelli (2019): Application of monitoring guidelines to induced seismicity in Italy. *J. Seismology*. 10.1007/s10950-019-09901-7.
- Costantini M., S. Falco, F. Malvarosa, F. Minati (2008) "A new method for identification and analysis of persistent scatterers in series of SAR images," in *Proc. Int. Geosci. Remote Sensing Symp.* (IGARSS), Boston MA, USA, 7-11 July 2008, pp. 449-452.
- Devoti R., Esposito A., Pietrantonio G., Pisani A.R., Riguzzi F. (2011): Evidence of large scale deformation patterns from GPS data in the Italian subduction boundary, *Earth and Planetary Science Letters*, 311 (3-4), 230-241.
- Devoti, R., N. D'Agostino, E. Serpelloni et al. (2017): A Combined Velocity Field of the Mediterranean Region, *Annals of Geophys.*, 60(2), doi:10.4401/ag-7059.
- Garcia-Aristizabal A., S. Danesi, T. Braun, M. Anselmi, L. Zaccarelli, D. Famiani and A. Morelli (2020): Epistemic uncertainties in local earthquake locations and implications for managing induced seismicity. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, submitted.
- ILG (2014): Dialuce, G., Chiarabba, C., Di Bucci, D., Doglioni, C., Gasparini, P., Lanari, R., Priolo, E., Zollo, A., (2014). Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche. GdL MISE, Roma. unmig.mise.gov.it/unmig/agenda/upload/85_238.pdf. (ultimo accesso Ottobre 2019).
- Improta L., Bagh S., De Gori P., Valoroso L., Pastori M., Piccinini D., ... Buttinelli, M. (2017): Reservoir Structure and Wastewater-Induced Seismicity at the Val d'Agri Oilfield (Italy) Shown by

- Three-Dimensional Vp and Vp/Vs Local Earthquake Tomography. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122(11), 9050-9082.
- Lee W.H.K., Lahr J.C. (1972): HYP071: A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes, U.S. Geol. Survey Open File Rep. 72-224, doi:10.3133/ofr72224.
- Lee, W.H.K., Lahr J.C. (1975). HYP071: A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes, U.S. Geol. Survey Open File Rep. 75-311, doi:10.3133/ofr75311.
- Seed Manual (2012): Standard for the Exchange of Earthquake Data, SEED Format Version 2.4, August, 2012. Ahern and Dost (eds.). http://www.fdsn.org/pdf/SEEDManual_V2.4.pdf
- Serpelloni, E., Casula, G., Galvani, A., Anzidei, M., Baldi, P., (2006): Data analysis of permanent GPS networks in Italy and surrounding regions: application of a distributed processing approach. *Ann Geophys-Italy* 49, 897–928.
- Serpelloni, E., C. Faccenna, G. Spada, D. Dong, and S. D. P. Williams (2013): Vertical GPS ground motion rates in the Euro-Mediterranean region: New evidence of velocity gradients at different spatial scales along the Nubia-Eurasia plate boundary, *J. Geophys. Res.*, 118(11), 6003–6024, doi:10.1002/2013JB010102.
- Serpelloni, E., Vannucci, G., Anderlini, L., and Bennett, R.A. (2016): Kinematics, seismotectonics and seismic potential of the eastern sector of the European Alps from GPS and seismic deformation data, *Tectonophysics*, 688, 157–181, doi:10.1016/j.tecto.2016.09.026.
- Valoroso, L., Improta, L., De Gori, P., Chiarabba, C. (2011): Upper crustal structure, seismicity and pore pressure variations in an extensional seismic belt through 3D and 4D Vp and Vp/Vs models: The example of the Val d'Agri area (Southern Italy). *Journal of Geophysical Research*, 116, B07303. <https://doi.org/10.1029/2010JB007661>
- Werner, C.; Wegmuller, U.; Strozzi, T.; Wiesmann, A. (2003) Interferometric point target analysis for deformation mapping. In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2003; Volume 7, pp. 4362–4364.
- Williams, S. D. P., Y. Bock, P. Fang, P. Jamason, R. Nikolaidis, L. Prawirodirdjo, M. Miller, and D. Johnson (2004): Error analysis of continuous GPS position time series, *J. Geophys. Res.*, 109, B03412, doi:10.1029/2003JB002741.

Elenco delle figure

- FIGURA 1. EPICENTRI LOCALIZZATI IN VA DAL CONCESSIONARIO DALLA RETE SISMICA ENI: I CERCHI $ML < 2.2$ E GLI ASTERISCHI ($ML \geq 2.2$) INDICANO GLI EPICENTRI NEL PERIODO 2001-09/2019 (GRIGIO) E 10/2019-03/2020 (GIALLO). 7
- FIGURA 2. CAMPO DI VELOCITÀ ORIZZONTALE (FRECCHE), NEL SISTEMA DI RIFERIMENTO GLOBALE IGS14 (PANNELLO A) E RISPETTO ALLA PLACCA EURASIATICA (PANNELLO B), E VERTICALE (CERCHI COLORATI). LE STAZIONI ENI CON PIÙ DI 2.5 ANNI DI DATI (MAE1 E VIG3) SONO EVIDENZIATE CON LA SIGLA IN ROSSO. LE ELLISSI D'ERRORE PER LE COMPONENTI ORIZZONTALI SONO AL LIVELLO DI CONFIDENZA DEL 95%. SI FACCIA ATTENZIONE ALLA DIVERSA SCALA PER LE VELOCITÀ ORIZZONTALI NEI DUE PANNELLI. 9
- FIGURA 3. MAPPE DI VELOCITÀ DI DEFORMAZIONE INSAR STIMATE LUNGO LA LOS. IL CERCHIO BIANCO EVIDENZIA LE AREE IN DEFORMAZIONE INDIVIDUATE NEI PRESSI DEI COMUNI DI MONTEMURRO (A), CORLETO PERTICARA (B) E STIGLIANO (C), MENTRE LE FRECCHE INDICANO APPROSSIMATIVAMENTE LA DIREZIONE DI SCIVOLAMENTO. 11

Elenco delle tabelle

- TABELLA 1. EVENTI SISMICI LOCALIZZATI IN VAL D'AGRI NEL PERIODO DAL 01/10/2019 AL 31/03/2020 (SECONDO BOLLETTINO ENI) CON $M \geq 1.5$ E IPOCENTRO ALL'INTERNO DEL DI. 7
- TABELLA 2. VELOCITÀ DI SPOSTAMENTO, E RELATIVE INCERTEZZE, DELLE STAZIONI MAE1 E VIG3 (IN MM/ANNO). IN PARTICOLARE V_E , V_N E V_{UP} INDICANO LE VELOCITÀ NELLE COMPONENTI EST, NORD E VERTICALE, RISPETTIVAMENTE, NEL SISTEMA DI RIFERIMENTO IGS14 E S_{VE} , S_{VN} E S_{VUP} LE RELATIVE INCERTEZZE. 8