

#### A1 Titolo dell'attività di ricerca

**Earthquake Early Warning (EEW)**

#### A2 Responsabile

*(aggiungere eventuale referente del Dipartimento se il Responsabile non è un afferente ad esso)*

Responsabile

Referente per il Dip. Aldo Zollo

#### A3 Personale Dipartimento di Fisica (Professori e Ricercatori)

Prof. Ordinari: Aldo Zollo

Prof. Associati: Gaetano Festa

Ricercatori universitari: Antonio Emolo

RTDA: Matteo Picozzi

RTDB:

#### A4 Collaborazioni con altri enti

INGV(Italia), Berkeley University (USA), GFZ(Germania), KIGAM (Korea), UCM (Spagna), CNR-IRPI (Italia)

#### A5 Personale strutturato ricercatore o tecnologo altri enti convenzionati

Luca Elia (AMRA)

#### A6 Altro personale di ricerca (Assegnisti, Borsisti)

Assegnisti: Simona Colombelli

Borsisti Post-doc:

Borsisti:

#### A7 Dottorandi di Ricerca

Alessandro Caruso, Sahar Nazeri

#### B1 Breve descrizione della linea di ricerca

*(max 1000 caratteri)*

Le linee principali di ricerca in questo campo sono:

- 1) Studio dei processi fisici di generazione dei terremoti ed implicazioni per l'early warning (EW)
- 2) Sviluppo di nuove metodologie per il miglioramento dell'affidabilità e della prestazione dei sistemi di allerta EW.
- 3) Sviluppi di software EW, per l'analisi automatica ed in tempo reale dei segnali.
- 4) Studi di fattibilità e valutazione di performance e testing delle implementazioni metodologiche nel campo dell'EW sismico.
- 5) Applicazioni in varie parti del mondo della piattaforma PRESTo e in particolare test di un sistema di allerta sismica in un Istituto scolastico.
- 6) Studio di fattibilità e sviluppo di software per l'identificazione, localizzazione e caratterizzazione in tempo reale di fenomeni franosi attraverso l'analisi di dati acquisiti da reti sismiche regionali e nazionali.

## **B2 Descrizione attività svolta nel triennio 2014-2016**

*(max 2000 caratteri)*

L'attività di ricerca in questo campo ha riguardato l'analisi delle fasi iniziali delle registrazioni sismiche per piccoli e grandi terremoti allo scopo di comprendere e riconoscere in tempo reale i meccanismi d'innescio dei grandi terremoti e la propagazione delle fratture sismiche.

Sono state sviluppate nuove metodologie d'analisi finalizzate: al miglioramento della performance dei sistemi di allerta attraverso una più accurata discriminazione delle fasi sismiche, la stima in tempo reale del momento sismico, della dimensione della rottura, del rilascio di sforzo, dell'intensità macrosismica attesa a partire dalla misura del picco di spostamento, del periodo caratteristico e dell'energia sismica irradiata delle onde P

E' stato realizzato uno studio di fattibilità per l'implementazione in Italia di un sistema EEW a scala nazionale. Il sistema di EEW sviluppato dal gruppo di ricerca (software PRESTo) è in corso di sperimentazione in Italia Nord-Occidentale (collaborazione OGS) ed Meridionale (collaborazione AMRA) ed in diversi paesi del mondo, tra cui, Romania, Turchia, Spagna, Corea del Sud ed Iran. Infine, è stato realizzato uno studio applicativo di automazione dell'allerta tramite l'utilizzo di PRESTo e di un attuatore (Sentinel) presso l'istituto ITIS E. Majorana di Somma Vesuviana.

E' stata sviluppata una metodologia d'analisi delle tracce sismiche in tempo reale per la stima dell'energia radiata e, da quest'ultima, della magnitudo energia dell'evento. La procedura per la stima della magnitudo energia in tempo reale è stata applicata per 38 eventi della sequenza sismica che ha colpito nel 2016 il Centro Italia, tra cui i terremoti di Amatrice (Mw 6.1), Ussita (Mw 5.9) e Norcia (Mw 6.5).

E' stato realizzato uno studio per il riconoscimento e caratterizzazione in tempo reale di eventi franosi tramite l'analisi di segnali sismici ad essi associati.

## **B3 Descrizione attività programmata nel triennio 2017-2019**

*(max 2000 caratteri)*

Le attività di ricerca programmate per il prossimo triennio relative al tema 'earthquake early warning' saranno svolte principalmente nell'ambito del progetto SERA (Seismology and Earthquake Engineering Research Infrastructure Alliance for Europe). In particolare, le attività saranno prevalentemente indirizzate a:

- Riguardo i sistemi EEW regionali, saranno sviluppate metodologie innovative per la predizione dell'area di potenziale danneggiamento a partire dall'analisi delle onde P ed i quelle S in prossimità della sorgente. Il conseguimento di tale obiettivo sarà raggiunto anche tramite lo sviluppo di metodi innovativi per la stima in tempo reale della magnitudo energia, un parametro maggiormente legato all'entità del moto del suolo rispetto alla classica magnitudo momento.

- Le metodologie d'analisi di dati esistenti e quelle sviluppate nel prossimo triennio saranno implementate in software per l'EEW e quindi sperimentate e validate sia su set di dati di sismicità locale registrati dal *near fault observatory* in Irpinia gestito dal gruppo di ricerca, sia attraverso l'analisi di dati di grandi terremoti registrati nel mondo.

Il laboratorio collaborerà alla progettazione ed ingegnerizzazione di prodotti software per l'early warning che saranno commercializzati dall'azienda spin-off universitario RISS srl gemmata dal gruppo di ricerca.

### **C1 Pubblicazioni scientifiche nel triennio 2014-2016/7**

*(indicare il numero complessivo nel triennio e elencare le più significative (max 10))*

N. complessivo: 16

Pubblicazioni più significative:

Nazeri S., Shomali, Z.H., Colombelli, S., Elia, L. and Zollo A., 2017, Magnitude Estimation Based on Integrated Amplitude and Frequency Content of the Initial P Wave in Earthquake Early Warning Applied to Tehran, Iran. Article in Bulletin of the Seismological Society of America · April 2017, DOI: 10.1785/0120160380

Picozzi, M., D. Bindi, P. Brondi, D. Di Giacomo, S. Parolai, and A. Zollo (2017), Rapid determination of P-wave-based Energy Magnitude: Insights on source parameter scaling of the 2016 Central Italy earthquake sequence, Geophys. Res. Lett., 44, doi:10.1002/2017GL073228.

Pesaresi D., Picozzi M., Živčić M., Lenhardt W., Mucciarelli M., Elia L., Zollo A., and Gosar A. (2017), A cross-border regional earthquake early warning system: PRESTo@CE3RN, Nat. Hazards. DOI 10.1007/s11069-016-2695-0.

Caruso, A., S. Colombelli, L. Elia, M. Picozzi, and A. Zollo (2017), An on-site alert level early warning system for Italy, J. Geophys. Res. Solid Earth, 122, doi:10.1002/2016JB013403.

Manconi A., M. Picozzi, V. Coviello, F. De Santis, and L. Elia (2016). Real-time detection, location, and characterization of rockslides using broadband regional seismic networks, Geophysical Research Letters, 43, 13, 6960-6967, doi:10.1002/2016GL069572.

Emolo A., M. Picozzi, G. Festa, C. Martino, S. Colombelli, A. Caruso, L. Elia, A. Zollo, P. Brondi, N. Mirand. (2016). Earthquake early warning feasibility in the Campania Region (Southern Italy) and demonstration system for public school buildings. Bull Earthquake Eng (2016) 14:2513–2529 DOI 10.1007/s10518-016-9865-z.

Kuyuk, H. S. ; Colombelli, S. ; Zollo, A.; Allen, R.; Erdik, M., 2015, Automatic earthquake confirmation for early warning system GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, Is. 42, Vol. 13, pp. 5266-5273.

Colombelli, S. ; Caruso A.; Zollo, A.; Festa, G.; Kanamori, H., 2015, A P wave-based, on-site method for earthquake early warning, *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, Vol. 42, Is. 5, pp. 1390-1398.

Pazos, A.; Romeu, N.; Lozano, L.; Colom, Y.; Lopez-Mesa, M ;Goula, X; Jara, J.A. ; Cantavella,J.V. ; Zollo, A.; Hanka, W.; Carrilho, F., 2015, A Regional Approach for Earthquake Early Warning in South West Iberia: A Feasibility Study, *BULLETIN OF THE SEISMOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA*, Vol. 105, Is. 2A, pp. 560-567.

Carranza, Marta; Buforn, Elisa; Zollo, Aldo, 2015, Testing the Earthquake Early-Warning Parameter Correlations in the Southern Iberian Peninsula, *PURE AND APPLIED GEOPHYSICS*, Vol. 172, Is. 9, pp. 2435-2448.

Brondi, P., M. Picozzi, A. Emolo, A. Zollo, and M. Mucciarelli (2015), Predicting the macroseismic intensity from early radiated P wave energy for on-site earthquake early warning in Italy, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, doi:10.1002/2015JB012367.

M. Picozzi, L. Elia, D. Pesaresi, A. Zollo, M. Mucciarelli, A. Gosar, W. Lenhardt, and M. Živčić, (2015). Trans-national earthquake early warning (EEW) in north-eastern Italy, Slovenia and Austria: first experience with PRESTo at the CE3RN network *Adv. Geosci.*, 1, 1–11, 2015 [www.adv-geosci.net/1/1/2015/](http://www.adv-geosci.net/1/1/2015/) doi:10.5194/adgeo-1-1-2015.

Picozzi M., A. Zollo, P. Brondi, S. Colombelli, L. Elia and C. Martino (2015). Exploring the Feasibility of a Nation-Wide Earthquake Early Warning System in Italy, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: SOLID EARTH*. Accepted manuscript online: 10 FEB 2015, DOI: 10.1002/2014JB011669.

Picozzi M., Emolo A., Martino C., Zollo A., Miranda N., Verderame G., Boxberger T., and the REAKT Working Group (2015). Earthquake Early Warning System for Schools: A Feasibility Study in Southern Italy. *Seismological Research Letters*, Volume 86, Number 2 March/April 2015. doi: 10.1785/0220140194

Picozzi M., S. Colombelli, A. Zollo, M. Carranza, E. Buforn (2014), A Threshold-Based Earthquake Early-Warning System for Offshore Events in Southern Iberia, *Pure and Applied Geophysics*, December 2014, DOI: 10.1007/s00024-014-1009-2.

S. Colombelli, A. Zollo, G. Festa & M. Picozzi (2014). Evidence for a difference in rupture initiation between small and large earthquakes. *NATURE COMMUNICATIONS* | 5:3958 | DOI: 10.1038/ncomms4958. [www.nature.com/naturecommunications](http://www.nature.com/naturecommunications)

## **C2 Presentazioni a Conferenze internazionali e nazionali**

*(solo se lo speaker è tra il personale elencato nel punto A3)*

Caruso A., S. Colombelli, A. Zollo, G. Festa and H. Kanamori, A P wave-based, on-site method for earthquake early warning, 26<sup>th</sup>IUGG Praga, 2015

Caruso, A., S. Colombelli, A. Zollo, G. Festa and H. Kanamori, A P-wave based, On-site Method for Earthquake Early Warning. ECGS & ESC/EAEJ Joint Workshop Luxemburg (november 2015)

Carranza M., E. Buforn, A. Pazos, A. Zollo, S. Colombelli, C. Pro, L. Lozano and F. Carrilho, EEWS parameters in southern Iberia, Workshop on Earthquake Early Warning System: Applications to the Ibero-Maghrebian Region – Madrid, Spain 4-5 February, 2014.

Carranza M., Elisa Buforn, Antonio Pazos, Aldo Zollo, Simona Colombelli, Carmen Pro, Lucía Lozano, and Fernando Carrilho, Earthquake Early Warning System for Southern Iberia: Time window stability for parameter estimation, EGU General Assembly 2014 - Vienna | Austria | 27 April – 02 May 2014.

Carranza Marta, Elisa Buforn, Simona Colombelli, and Aldo Zollo, Study of the Initial Peak Displacement Evolution of Ibero-Maghrebian Earthquakes: Application for Earthquake Early Warning. EGU - European Geosciences Union General Assembly 2016, Vienna | Austria | 17–22 Aprile.

Colombelli S. and Aldo Zollo, A P-WAVE BASED METHODOLOGY FOR RAPID, REAL TIME DETERMINATION OF SEISMIC MOMENT, FAULT EXTENT AND STRESS DROP, 26<sup>th</sup> IUGG International Conference, Prague 2015.

Colombelli S., Aldo Zollo, Gaetano Festa and Matteo Picozzi, A P-wave based methodology for the rapid source characterization, ECGS & ESC/EAEJ Joint Workshop, Luxembourg, NOVEMBER 18-20, 2015

Colombelli S., Aldo Zollo, Gaetano Festa and Matteo Picozzi, Small and large earthquakes: evidence for a different rupture beginning, April 27- May 2 2014, EGU meeting, Vienna 2014.

Colombelli S., Aldo Zollo, Gaetano Festa and Matteo Picozzi, Small and large earthquakes: Evidence for a difference in rupture initiation, 3<sup>rd</sup> International Conference on Earthquake Early Warning: Implementing Earthquake Alerts, Berkeley | California | 3<sup>rd</sup> – 5<sup>th</sup> September 2014.

Colombelli S. and Aldo Zollo, A P-WAVE BASED METHODOLOGY FOR RAPID, REAL TIME DETERMINATION OF SEISMIC MOMENT, FAULT EXTENT AND STRESS DROP, 26<sup>th</sup> IUGG International Conference, Prague 2015.

Colombelli S., Aldo Zollo, Gaetano Festa and Matteo Picozzi, A P-wave based methodology for the rapid source characterization, ECGS & ESC/EAEJ Joint Workshop, Luxembourg, NOVEMBER 18-20, 2015.

Colombelli S., Aldo Zollo, Gaetano Festa and Matteo Picozzi, Small and large

earthquakes: evidence for a different rupture beginning, April 27- May 2 2014, EGU meeting, Vienna 2014.

Colombelli S., Aldo Zollo, Gaetano Festa and Matteo Picozzi, Small and large earthquakes: Evidence for a difference in rupture initiation, 3rd International Conference on Earthquake Early Warning: Implementing Earthquake Alerts, Berkeley | California | 3rd – 5th September 2014.

Colombelli S., Aldo Zollo, Gaetano Festa and Matteo Picozzi, Small and large earthquakes: evidence for a different rupture beginning, Workshop on Earthquake Early Warning System: Applications to the Ibero-Maghrebian Region – Madrid, Spain 4-5 February, 2014.

Colombelli S., Aldo Zollo, Gaetano Festa, and Matteo Picozzi, Small and large earthquakes: evidence for a different rupture beginning, EGU General Assembly 2014 - Vienna | Austria | 27 April – 02 May 2014.

Emolo, M. Picozzi, A. Zollo, G. Verderame, C. Martino, L. Elia, S. Colombelli, O. Amoroso, T. M. De Risi, D. Bindi, S. Parolai, T. Boxberg, N. Miranda, L. Buonaiuto, A. Amelia (2014). Feasibility study on earthquake early warning for schools in southern Italy, Conference: 2ECEES, At Istanbul, Turkey, doi: 10.13140/2.1.4247.4880

Emolo A., Martino C., Picozzi M., Zollo A., Elia L., Festa G., Colombelli S., Caruso A., Brondi P., Miranda N., “A Feasibility Study for Earthquake Early Warning in a School in Southern Italy”, American Geophysical Union Fall Meeting 2015, S33B-2783

Emolo, Antonio, Zollo, Aldo, Picozzi, Matteo, Martino, Claudio Elia, Luca, Verderame, Gerardo, De Risi, Maria Teresa, Ricci, Paolo Lombardi, Anna, Bindi, Dino, Feasibility study on earthquake early warning application to schools: the example of the ITIS ‘E. Majorana’, Somma Vesuviana, Naples (Italy), EGU General Assembly Conference.

Emolo, A., Picozzi, M., Festa, G., Zollo, Martino, C., Elia, EARTHQUAKE EARLY WARNING SYSTEM FOR SCHOOLS IN THE CAMPANIA REGION, SOUTHERN ITALY, 2017 Annual Meeting SEISMOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA 18-20 APRIL, DENVER, COLORADO.

Picozzi M., L. Elia, D. Pesaresi, A. Zollo, M. Mucciarelli, A. Gosar, W. Lenhardt, and M. Živčić, (2015). Trans-national earthquake early warning (EEW) in north-eastern Italy, Slovenia and Austria: first experience with PRESTo at the CE3RN network Adv. Geosci., 1, 1-11, 2015 www.adv-geosci.net/1/1/2015/doi:10.5194/adgeo-1-1-2015.

Picozzi M., A. Emolo, C. Martino, A. Zollo, S. Colombelli, G. Festa, L. Elia. PRESToPlus and Sentinel and Earthquake Early Warning System for Schools: feasibility study in Southern Italy. ECGS & ESC/EAEE Joint Workshop: Earthquake and Induced Multi-Risk Early Warning and Rapid Response,

Luxemburg, Nov. 2015

Picozzi M., Aldo Zollo, Piero Brondi, Simona Colombelli, Luca Elia, Claudio Martino and Sandro Marcucci, Feasibility study of a nation-wide early warning system: the application of the eew software presto on the italian strong motion network (RAN), ESC GENERAL ASSEMBLY, ISTANBUL, 24-29 August 2014

Picozzi M., Aldo Zollo, Stefano Parolai, Dino Bindi, Massimiliano Pittore, Simona Colombelli, Antonio Emolo, Gaetano Festa, Luca Elia, Ortensia Amoroso and Claudio Martino, New directions in real-time earthquake characterization and early warning damage prediction at different scales, ESC GENERAL ASSEMBLY, ISTANBUL, 24-29 August 2014

Picozzi M., Brondi P., Colombelli S., Elia L., Martino C., Marcucci S., and Zollo A. PRESToPlus: An integrated on-site and regional early warning system for Italy. 3rd International Conference on Earthquake Early Warning, Berkeley California, 3-5 Sept. 2014

Picozzi Matteo, Dino Bindi, Piero Brondi, Domenico Di Giacomo, Stefano Parolai, and Aldo Zollo, Rapid determination of P-wave-based Energy Magnitude: Insights on source parameter scaling of the 2016 Central Italy earthquake sequence, EGU - European Geosciences Union General Assembly 2017, Vienna | Austria | 23-28 Aprile.

Picozzi. M., Bindi, D., Brondi, P., Di Giacomo, D., Parolai, S. and Zollo A., Rapid determination of P-wave-based Energy Magnitude: Insights on source parameter scaling of the 2016 Central Italy earthquake sequence, 2017 Annual Meeting SEISMOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA 18-20 APRIL, DENVER, COLORADO.

Picozzi M., Oth A., Parolai S., D. Bindi, G. De Landro, O. Amoroso, and A. Emolo, Seismic source parameters of the induced seismicity at The Geysers geothermal area, California, by a generalized inversion approach, 2017 Annual Meeting SEISMOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA 18-20 APRIL, DENVER, COLORADO.

Zollo A., Colombelli S., Elia L., Emolo A., Festa G., Iannaccone G., Martino C., Gasparini P., "An integrated regional and on-site Earthquake Early Warning System for Southern Italy: concepts, methodologies and performances", book: "Early Warning for Geological Disasters - Scientific Methods and Current Practice", pp 117-137, Springer, 2014, DOI: 10.1007/978-3-642-12233-0\_7, ISBN 978-3-642-12232-3.

Zollo A., M. Picozzi, S. Colombelli, L. Elia, A. Caruso, P. Brondi. SAVE - on-Site Alert leVEl: concepts and preliminary analyses. ECGS & ESC/EAAE Joint Workshop: Earthquake and Induced Multi-Risk Early Warning and Rapid Response, Luxemburg, Nov. 2015.

Zollo A., A. Caruso, S. Colombelli, G. Festa and H. Kanamori, A P-wave, threshold-based method for Earthquake Early Warning, 3° International Conference on Earthquake Early Warning Berkley (2014).

Zollo A., M. Picozzi, S. Colombelli, L. Elia, C. Martino, P. Brondi, S. Colombelli, A. Emolo, G. Festa, S. Marcucci (2014). Feasibility study of a nation-wide Early Warning System: the application of the EEW software PRESTo on the Italian Strong Motion Network (RAN). Geophysical Research Abstracts, EGU2014-9454, ISSN: 1029-12866, Vienna (Austria), 27 April- 2 May 2014.

Zollo A., Piero Brondi, Alessandro Caruso, Simona Colombelli, Matteo Picozzi, Gaetano Festa, Claudio Martino, Luca Elia, Antonio Emolo, Concept, Implementation and test of the Earthquake Early Warning System in South Italy, 4° WCRP CORDEX Science and Training Workshop in East Asia (Beijing,2015).

Zollo A., Piero Brondi, Alessandro Caruso, Simona Colombelli, Matteo Picozzi, Gaetano Festa, Claudio Martino, Luca Elia, Antonio Emolo, P-wave, threshold based, onsite early warning methods, 4° WCRP CORDEX Science and Training Workshop in East Asia (Beijing,2015).

Zollo A., M. Picozzi, S. Colombelli, L. Elia, A. Caruso, and P. Brondi, PRESTo On-Site 1.0: concepts and preliminary analyses ECGS & ESC/EAAE Joint Workshop, Luxembourg, NOVEMBER 18-20, 2015.

Zollo A., A. Emolo, P. Brondi, M. Picozzi and M. Mucciarelli (2015). Rapid estimation of macroseismic intensity for on-site earthquake early warning in Italy from early radiated energy. American Geophysical Union, Fall Meeting 2015, San Francisco (USA) 14-18 December 2015, paper #S33B-2774.

A. Zollo, M. Picozzi, A. Emolo, S. Colombelli, L. Elia, G. Festa, and C. Martino, Worldwide Applications Of Presto - Probabilistic And Evolutionary Early Warning System, ECGS & ESC/EAAE Joint Workshop, Luxembourg, NOVEMBER 18-20, 2015.

Zollo A., Matteo Picozzi, Luca Elia, Claudio Martino, Piero Brondi, Simona Colombelli, Antonio Emolo, Gaetano Festa, and Sandro Marcucci, Feasibility study of a nation-wide Early Warning System: the application of the EEW software PRESTo on the Italian Strong Motion Network (RAN), EGU General Assembly 2014 - Vienna | Austria | 27 April – 02 May 2014.

Zollo A., Antonio Emolo, Simona Colombelli, Luca Elia, Gaetano Festa, Claudio Martino, and Matteo Picozzi, PRESTo - probabilistic and evolutionary early warning system: concepts, performances, and case studies, ESC GENERAL ASSEMBLY, ISTANBUL, 24-29 August 2014.

Zollo Aldo and the RISSC-Lab Early Warning Development Team. A P-wave based, on-site method for Earthquake Early Warning. EGU - European Geosciences Union General Assembly 2016, Vienna | Austria | 17–22 Aprile.



Zollo Aldo, Antonio Emolo, Gaetano Festa, Matteo Picozzi, Luca Elia, Claudio Martino, Simona Colombelli, Piero Brondi, and Alessandro Caruso. Concept, Implementation and Testing of PRESTo: Real-time experimentation in Southern Italy and worldwide applications. EGU - European Geosciences Union General Assembly 2016, Vienna | Austria | 17-22 Aprile.

Zollo Aldo and the RISSC-Lab Early Warning Development Team. A new tool for rapid and automatic estimation of earthquake source parameters and generation of seismic bulletins. EGU - European Geosciences Union General Assembly 2016, Vienna | Austria | 17-22 Aprile.

### **C3 Presentazioni di brevetti internazionali e nazionali**

--

### **D1 Progetti di ricerca attivi**

*(Progetti di Enti di ricerca, Progetti Europei, Progetti MIUR, PON, POR, ...)*

SERA (36 mesi – kick-off del progetto il 01-05 2017)
--