

Early warning: l'unica via per ridurre il rischio sismico delle grandi aree urbane?

Iunio Iervolino, Gaetano Manfredi

Perché il rischio sismico mondiale sta costantemente aumentando

Com'è noto, la propensione di un sito a essere colpito da terremoti forti è indicata come pericolosità sismica; come tale la pericolosità è un fattore naturale e non modificabile. La propensione delle strutture o di qualunque altro sistema umano a subire danni dai terremoti si misura con la vulnerabilità. Ridurre la vulnerabilità di un qualunque sistema (edificio, rete di trasporto, etc.) che si trova in un sito di data pericolosità riduce i danni attesi in caso di sisma. Infine, le conseguenze di tali danni dipendono dalle attività e dai beni che sono ospitati dalle strutture e dalla popolazione. Essa è detta esposizione ed è misurata con le vite umane che si possono perdere nei terremoti o dal valore economico dei danni e delle loro conseguenze. Com'è facilmente intuibile, il rischio sismico è una combinazione dei tre fattori per cui in nazioni moderatamente sismiche, come l'Italia, il rischio è alto perché le strutture sono vulnerabili. In Giappone e California la pericolosità è molto più alta ma anche le strutture sono più recenti e, in generale, meno vulnerabili, ma il rischio è comunque alto perché, essendo economie avanzate, l'esposizione è molto rilevante.

Negli ultimi anni, si ha l'impressione che i terremoti siano particolarmente frequenti. In realtà, i terremoti occor-

rono mediamente con la stessa cadenza, mentre sono le conseguenze dei terremoti che stanno aumentando provocando effetti mediatici maggiori che in passato. Per capire questo fenomeno bisogna notare che la popolazione del nostro pianeta sta sempre più concentrandosi in aree urbane: nel 2007 la popolazione residente nelle città ha superato per la prima volta quella residente nelle aree rurali. Questa è probabilmente una tendenza globale e irreversibile che ha come conseguenza il rapido aumento del numero di mega-città (insediamenti con più di cinque milioni di abitanti) che nel 1950 erano una decina e diverse agenzie internazionali stimano in numero di circa cinquanta nel 2050; principalmente concentrate in Asia, Africa e America Latina. Molte di esse sono, in aree a elevata pericolosità sismica. La crescente urbanizzazione aumenta i rischi connessi ai fenomeni naturali come i terremoti, non solo per l'aumento della densità abitativa in aree sismicamente attive, ma anche, come anche in Europa, per l'alta concentrazione di articolate reti di servizio essenziali (elettricità, gas, acqua, reti di telecomunicazioni e informatiche) in zone geograficamente limitate.

Il continuo aumento delle superfici ricoperte dai tessuti urbani nelle aree a pericolosità sismica medio alta aumenta anche la probabilità che un evento sismico possa accadere nelle immediate

vicinanze di una città. In questo caso, anche terremoti di magnitudo moderata possono avere conseguenze molto rilevanti. Recente esempio italiano di questo problema è il terremoto di Magnitudo 6,3 che ha colpito L'Aquila il 6 aprile 2009. Esso è avvenuto a pochi chilometri di profondità, proprio sotto la città, producendo accelerazioni del suolo molto forti e quindi danni elevatissimi. Come mostrato in Figura 1, in Italia esistono molte città con più di centomila abitanti a distanza di chilometri o decine di km dalle principali strutture sismogenetiche (formate da insiemi di faglie) e che quindi sono potenzialmente soggette a questo tipo di evento. Ancora più importante è l'osservazione che il mondo contemporaneo è un sistema complesso e fortemente interconnesso per cui gli effetti di un evento catastrofico naturale in una città sono tali da influenzare parti del mondo molto più grandi dell'area fisicamente colpita e possono, al limite, estendersi a tutto il pianeta, a causa delle interdipendenze tra le attività produttive e commerciali. Ciò è avvenuto, ad esempio, per il terremoto di

Izmit (Turchia orientale) del 1999, dove le perdite economiche dirette sono state valutate intorno ai 6,5 miliardi di dollari, ma quelle globali hanno avuto, secondo le Nazioni Unite, un valore 3-4 volte più grande. Si stima che se un terremoto forte colpisse una sola megacittà in modo distruttivo l'economia mondiale ne risentirebbe in modo molto grave. Si pensi a cosa sarebbe successo se il recente (moderato, M 5.8) terremoto in Virginia dell'agosto 2011 avesse provocato danni seri tali da bloccare i centri del potere USA, o agli effetti di un terremoto di magnitudo medio-bassa a Londra, uno dei punti critici della finanza mondiale. Non essendo possibile ridurre il rischio sismico tentando di ridurre la pericolosità, perché essa è una caratteristica intrinseca del territorio, l'unica via possibile è di agire sull'esposizione e/o sulla vulnerabilità. Ridurre l'esposizione vuol dire, ad esempio, non localizzare le attività umane nelle zone più pericolose e ciò è possibile attraverso la pianificazione urbanistica di insediamenti futuri. Guardando alle vie di sviluppo dell'urbanizzazione,



Figura 1. Città italiane con popolazione superiore ai 100,000 abitanti e strutture genetiche catalogate dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (<http://diss.rm.ingv.it/diss/>).

non sembra che la bassa pericolosità sia un parametro guida e quindi attualmente la tendenza è piuttosto quella di aumentare l'esposizione, piuttosto che diminuirla. Per questo, in zone in via di urbanizzazione, per ridurre il rischio sismico sembrerebbe opportuno operare sulla vulnerabilità, per rendere le strutture e le infrastrutture più *resistenti* ai terremoti. Tuttavia, tali interventi sono molto costosi ed è difficilmente pensabile che le amministrazioni locali o i privati cittadini abbiano le risorse necessarie per metterli in pratica con la dovuta capillarità. Inoltre, va notato che anche quando le strutture sono ben progettate in modo antisismico, i terremoti possono comunque produrre gravi perdite economiche, soprattutto a causa dei danni a elementi non strutturali. Infatti, se l'edificio ha destinazione industriale o commerciale, il suo contenuto è sia molto costoso sia molto vulnerabile perché non è progettato per resistere alle oscillazioni che magari la struttura sopporta con pochi danni. Il caso limite è un museo in cui il contenuto è molto sensibile alle vibrazioni e può causare perdite enormi, anche se l'edificio è perfettamente antisismico. In Figura 2 sono schematicamente riportate le proporzioni delle perdite economiche dovute alla struttura (l'edificio vero e proprio), alle componenti non strutturali (impianti e accessori), e al contenuto (macchinari, computer, ar-

redi, riserve di magazzino). È evidente, quindi, come indispensabile sviluppare metodologie economicamente efficaci per la mitigazione del rischio sismico che tendano a ridurre (magari in tempo reale) l'esposizione.

L'early warning per ridurre le conseguenze dei terremoti

Il termine di early warning fu applicato durante gli anni della guerra fredda per indicare i sistemi di avvistamento di missili inter-continentali lanciati da basi sovietiche per colpire bersagli USA e viceversa. I sistemi di EW lanciavano un'allerta ai terminali di protezione dei bersagli appena il missile in arrivo era avvistato. L'early warning sismico (EWS) funziona allo stesso modo, ma prima di discuterne le caratteristiche e le possibilità offerte, è necessario richiamare alcuni fenomeni di base che avvengono durante un sisma.

I terremoti sono fratture della crosta terrestre dalle quali è rilasciata l'energia accumulata in forma di vibrazioni che provocano lo scuotimento al suolo (le ondesismiche). L'energia rilasciata, misurata dalla magnitudo, si propaga intorno al punto di frattura principalmente attraverso due tipi di onde: le onde primarie o longitudinali (P) che sono molto veloci e nella crosta terrestre si propagano con velocità dell'ordine di circa 5-7 km/s e quelle secondarie o trasversali (S), che viaggiano con velocità più bassa di circa il 60% (3-5



Figura 2. Proporzioni delle perdite in edifici a varia destinazione in California.

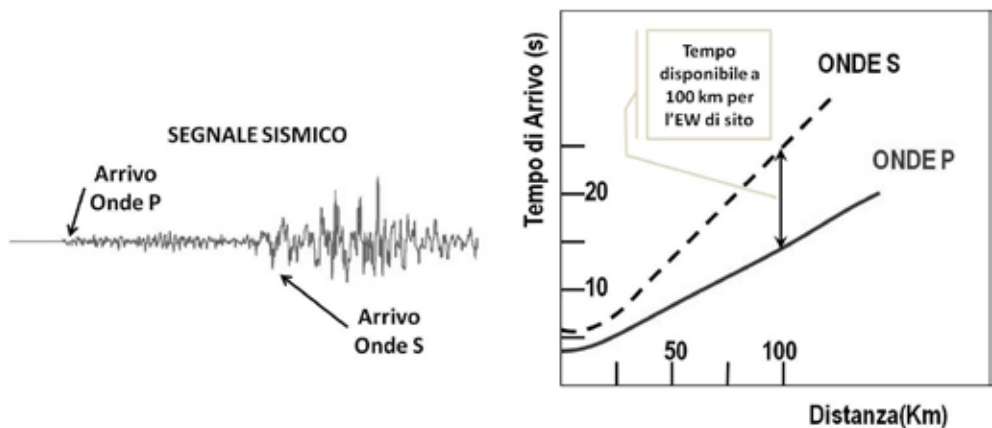
km/s). La differenza sostanziale tra onde P e S è che le prime (P) possono essere “lette” per avere informazioni importanti sulla sorgente sismica che ha prodotto il terremoto in atto (posizione, energia rilasciata, ecc.), mentre le seconde (S) sono più lente ma più distruttive portando con sé gran parte dell’energia rilasciata. Un sistema in grado di “capire” automaticamente l’intensità del terremoto può lanciare un allarme prima che arrivi la parte cattiva del sisma; è questo il principio su cui si basa l’EWS. Il tempo disponibile aumenta quanto più è distante il sito dalla sorgente del terremoto, poiché il ritardo delle onde S rispetto alle P aumenta (Figura 3).

Attraverso i sistemi di EWS è possibile, in linea di principio, fermare le operazioni chirurgiche negli ospedali, rallentare treni per evitare che incontrino tratti di rotaia danneggiati dal sisma col rischio di deragliamento, avvisare gli aerei in modo da posticiparne le fasi di decollo o atterraggio, interrompere la distribuzione di sostanze infiammabili (come il gas urbano) che possono innescare incendi a seguito di danni alle tubazioni, o ancora, avvisare operai in officine perché interrompano attività produttive pericolose e gli scolari perché si proteggano sotto ai banchi.

Tutte queste *azioni di sicurezza* sono relativamente semplici eppure molto efficaci e, sebbene non intervengano direttamente sulla vulnerabilità delle strutture, possono significativamente limitare le conseguenze di un evento sismico.

Oltre che sfruttare la differenza di velocità tra onde P ed S, in realtà, nell’EWS questo stesso principio può anche applicare in modo ancora più efficace. Infatti, se un sensore di onde sismiche è in prossimità della sorgente del terremoto, una volta riconosciuto un sisma pericoloso, può lanciare l’allarme a un sito lontano sfruttando le onde radio, che viaggiando alla velocità della luce, sono centomila volte più veloci delle onde sismiche garantendo quindi un tempo di allerta ancora maggiore. In questo caso il sistema di EWS deve essere formato da una rete di sensori disposta come una barriera tra le possibili sorgenti dei terremoti e la struttura da proteggere. Il problema di questi sistemi è che ogni struttura da proteggere richiede una rete sismica dedicata il che è molto antieconomico. Un’alternativa possibile è avere sensori nella zona dove ci si aspetta che il terremoto avvenga e non intorno alla struttura. Tale rete può essere

Figura 3. Onde P e S nel segnale di accelerazione al suolo prodotto da un terremoto (sinistra) e tempo disponibile in funzione della distanza per l’early warning di locale (destra).



associata a un sistema per trasmettere l'allarme a terminali ubicati in più strutture lontane; ciò consente di intraprendere azioni di sicurezza prima dell'arrivo del sisma in ciascun edificio (Figura 4). In tal caso si parla di *early warning regionale o ibrido*.

Il sistema di EWS ibrido sviluppato da AMRA in Campania

In Campania la rete di sensori per EWS di AMRA (denominata ISNet, *Irpinia Seismic Network*) è costituita da circa trenta stazioni posizionate nella zona dell'Appennino meridionale periodicamente sorgente di terremoti significativi come quello del 23 novembre 1980. Essa copre una vasta area ed è composta da sensori che misurano continuamente le vibrazioni del suolo in termini di velocità e accelerazione. Come accennato, posizionando i sensori in corrispondenza della zona dove "nascono" i terremoti è possibile, in principio, realizzare un sistema di EW ibrido proteggere molte strutture lontane contemporaneamente con i costi

di installazione e manutenzione di una sola infrastruttura.

Il sistema di EWS connesso alla rete ISNet è in grado di distinguere immediatamente un terremoto dalle normali vibrazioni del suolo (rumore ambientale) ed è in grado di stimare in pochissimi secondi dove è avvenuto e qual è la sua magnitudo. Il grande vantaggio di questo sistema è che ragiona in termini completamente probabilistici associando una distribuzione di probabilità alla localizzazione del terremoto e alla sua magnitudo. Con questo sistema, in ciascun punto della regione è possibile avere alcuni secondi o decine di secondi (a seconda del sito) tra l'istante in cui giunge l'allarme e l'arrivo effettivo del terremoto che si origina all'interno dell'area coperta dalla rete. Tale tempo sebbene sembri poco, ed è insufficiente per operazioni di evacuazione, può essere molto utile. Per avere un'idea delle potenzialità del sistema, in Figura 5 si riporta una mappa dei tempi di azione in Campania resi disponibili dal sistema di EW basato su

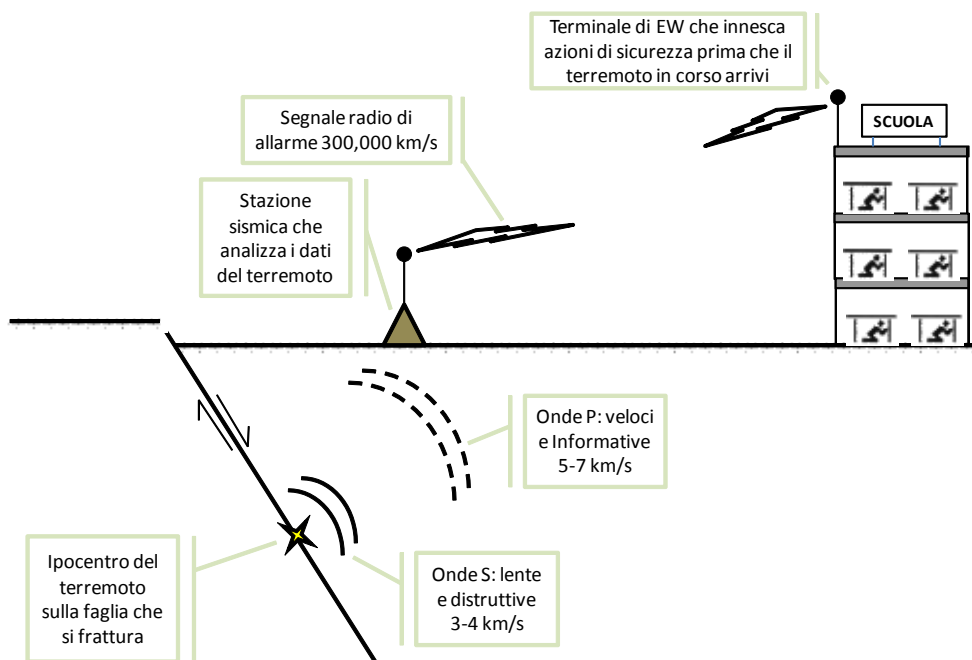
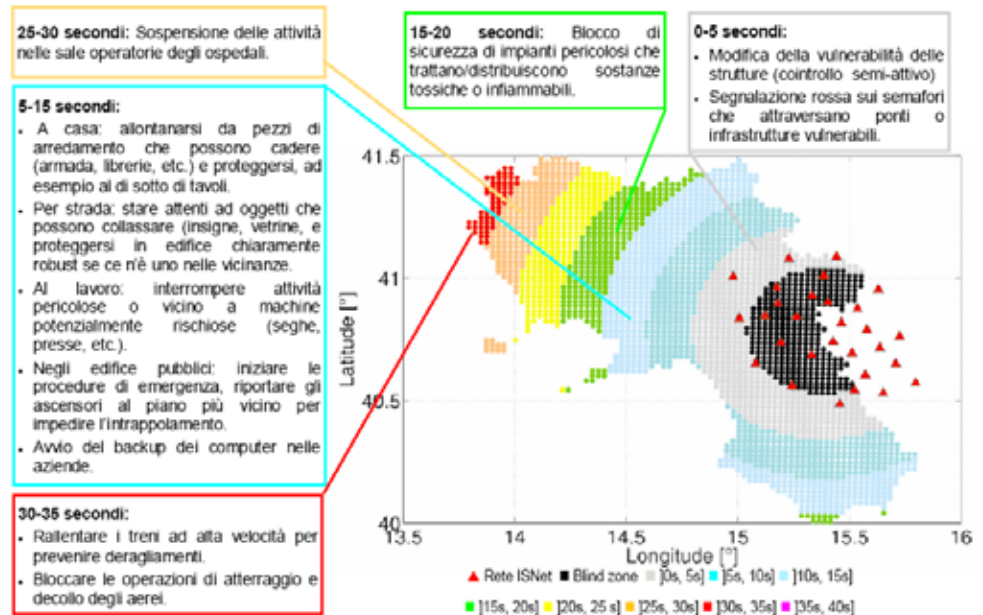


Figura 4. Sistema di early warning che sfrutta la velocità delle onde elettromagnetiche per lanciare l'allarme e aumentare il tempo disponibile.

Figura 5. Mappa dei tempi medi di allerta disponibili per un terremoto che occorra dentro la rete ISNet e corrispondenti al fatto che 18 stazioni su 30 della rete abbiano rilevato il terremoto, questo perché studi hanno dimostrato che aspettare altre informazioni sul terremoto di fatto non migliora la conoscenza del terremoto per cui si stabilisce se allarmare. Nei riquadri possibili azioni di sicurezza compatibili con i tempi resi disponibili dal sistema di EW.



ISNet e a cui sono state sovrapposte a possibili azioni di sicurezza compatibili con essi. Per rendere davvero efficaci i sistemi di EWS e poco soggetti a problemi di falso allarme è però necessario stabilire le conseguenze del terremoto per ciascuna struttura da allertare sulla base delle sue effettive caratteristiche. Non è pensabile, infatti, bloccare attività industriali e commerciali importanti per tutti i tipi di terremoto poiché le ricadute sociali ed economiche sarebbero eccessive. In altre parole, è necessario avere a disposizione algoritmi che consentano di stabilire, in modo specifico per la struttura da proteggere, se è opportuno lanciare l'allarme sulla base del suo comportamento atteso durante il terremoto che sta per arrivare. Questo costituisce il vero e proprio problema di ricerca cui si sta lavorando nel settore dell'ingegneria sismica in collaborazione con la geofisica ed è la prerogativa del sistema di EWS sviluppato da AMRA e concretizzatosi nel terminale di EWS denominato ERGO.

ERGO (EarlyWarning Demo) è un terminale di EWS installato nell'edificio principale che ospita la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II. Esso si compone di quattro pannelli di cui il primo mostra, in tempo reale, i segnali continuamente registrati da alcune stazioni della rete ISNet (quando non c'è terremoto si tratta di semplice "rumore" ambientale). Quando un segnale è identificato come un terremoto avvenuto entro la rete, su un secondo pannello compare la localizzazione dell'epicentro e la magnitudo, con il relativo margine d'incertezza, valutati automaticamente. Nel terzo pannello si mostrano i tempi attesi di arrivo delle onde S previsti per il terremoto su scala regionale. Infine, il quarto pannello, il più importante (in basso a destra), mostra la valutazione degli effetti attesi al sito dove ERGO è installato. In particolare, le stime di localizzazione e magnitudo realizzate a partire dalla dichiarazione di un nuovo evento sismico sono usate per stimare la probabilità che la massima accelerazione del suolo superi al

Figura 6. Sistema ERGO e un terremoto effettivamente rilevato nel febbraio 2010, la piccola magnitudo e l'elevata distanza dal sito in cui si trova il terminale hanno fatto sì che il sistema non lancia alcun allarme.



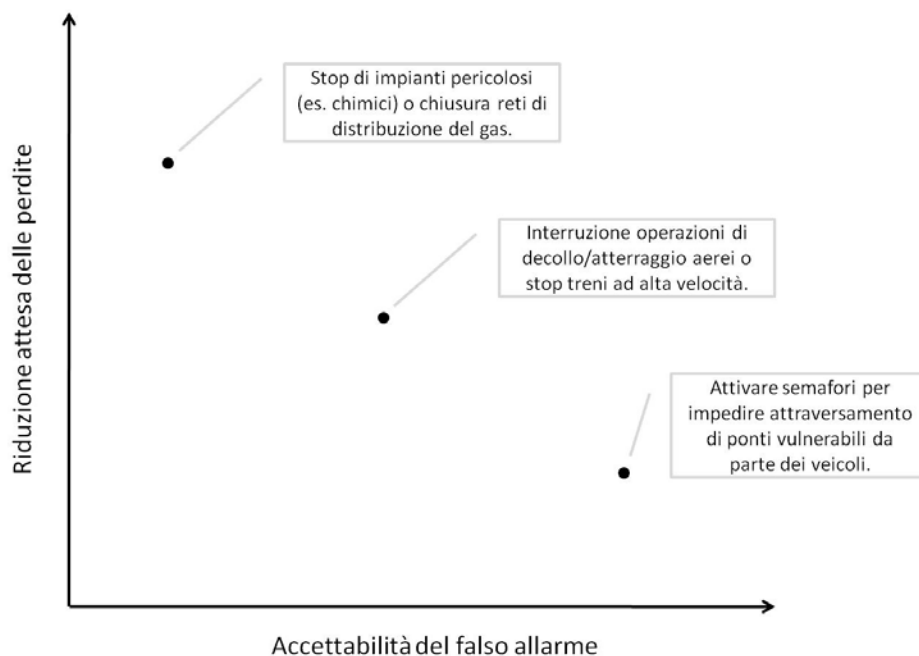
sito un valore critico per la struttura in esame, stabilito sulla base del valore di accelerazione del suolo che la struttura può “sopportare”. Se tale livello critico è superato, “scatta” l’allarme e ERGO fornisce anche il tempo ancora disponibile prima che il terremoto arrivi e la probabilità di falso allarme.

Questioni aperte e prospettive dell’early warning sismico

In conclusione si può certamente dire che l’early warning rappresenti una possibilità per la riduzione delle perdite da terremoti; forse l’unico praticabile per la riduzione del rischio sismico in aree fortemente urbanizzate. I punti di forza stanno soprattutto nella relativa economicità, rispetto al costoso rinforzo strutturale. Inoltre, l’EWS consente di ridurre l’esposizione e cioè le perdite conseguenti al sisma, cosa che non sempre consente il tradizionale rinforzo sismico atto a ridurre la vulnerabilità. Tuttavia, esistono alcuni problemi aperti che richiedono ancora ricerca e sperimentazione.

Infatti, la necessità di ridurre il tasso di falsi allarme è tanto più importante quanto più sono alti i costi che l’allarme comporta. A tal proposito si veda la Figura 7 in cui per alcune possibili azioni di sicurezza si riporta sia l’efficacia sia l’acceptabilità del falso allarme. Si riconosce che all’aumentare dell’efficacia è meno accettabile un falso allarme. Inoltre, bisogna ricordare che per diminuire il falso allarme basta ridurre la soglia oltre la quale si stabilisce l’allerta, ma ciò comporta sempre un corrispondente aumento della probabilità di mancato allarme. Tale ragionamento impone che i sistemi di EWS di prossima generazione, cioè successivi rispetto a quelli operativi in paesi come Giappone e Messico, debbano raggiungere maggiori livelli di affidabilità; ciò è possibile solo includendo negli algoritmi di allarme non solo valutazioni sul terremoto, ma anche sul probabile comportamento della particolare struttura da proteggere e delle perdite eventuali connesse.

Figura 7. Efficacia di alcune possibili azioni di sicurezza conseguenti l'allarme e corrispondente accettabilità del falso allarme.



In tale direzione vanno la ricerca di AMRA e i recenti programmi di ricerca finanziati a livello internazionale. Infatti, un grande progetto di ricerca sull'EWS è stato lanciato dalla Comunità Europea nel 2005: il progetto SAFER (SeismicArlywarning For EuRope; <http://www.saferproject.net/>) che ha visto la partecipazione di tutti gruppi Europei attivi su queste ricerche più gruppi giapponesi, americani e di Taiwan. Il progetto si è concluso nel 2009 e ha portato allo sviluppo di molte delle metodologie e procedure sopra descritte (tra cui ERGO) e soprattutto alla formazione di una

comunità europea competitiva in ambito internazionale. È attualmente in fase partenza un nuovo progetto, RE-AKT (Real Time EarthquakeRiskMitigation), nel quale sarà studiata la fattibilità dell'applicazione a una decina di casi europei, tra i quali una serie di industrie chimiche vicino Lisbona, una centrale nucleare in Svizzera, il ponte sul Bosforo in Turchia, un ospedale e il porto di Salonicco e, in Campania, il tratto della linea ferroviaria circumvesuviana più vicino alla zona sismogenetica irpina.