

# A pochi secondi dal sisma

I sistemi di rilevamento precoce dei terremoti permettono di far scattare un allarme in grado di mitigarne i danni e salvare vite umane

di *Iunio Iervolino, Paolo Gasparini, Gaetano Manfredi e Aldo Zollo*

**Iunio Iervolino** è ricercatore al Dipartimento di ingegneria strutturale dell'Università «Federico II» di Napoli e svolge attività di ricerca presso il John A. Blume Earthquake Engineering Center della Stanford University.

**Paolo Gasparini** è professore ordinario a riposo di geofisica dell'Università «Federico II» di Napoli e presidente della società consortile AMRA. È stato promotore e co-coordinatore del progetto europeo SAFER ed è coordinatore del nuovo progetto REAKT.

**Gaetano Manfredi** è professore ordinario di tecnica delle costruzioni all'Università «Federico II» di Napoli, presidente del Consorzio RELUIS (Rete di laboratori universitari di ingegneria sismica) e componente del comitato direttivo di AMRA.

**Aldo Zollo** è professore ordinario di sismologia all'Università di Napoli «Federico II» e responsabile per il consorzio AMRA del progetto *early warning* sismico in Italia meridionale.

## IN BREVE

**Le reti di allerta precoce** rilevano i primissimi segnali di un sisma mettendo in moto meccanismi di allarme che possono anticipare di decine di secondi l'arrivo delle scosse più violente e distruttive.

**La maggior parte di questi sistemi** si basa sul fatto che i terremoti sono composti da due tipi di onda: uno veloce e improvviso e uno più lento ma che è responsabile della maggior parte dei danni.

**Una rete di sensori** distribuiti sul territorio può identificare rapidamente l'epicentro del terremoto, migliorando le valutazioni della sua magnitudo e riducendo il numero dei falsi allarmi.

**Reti simili sono già operative** in alcune parti del mondo, per esempio in Giappone. Altri sistemi, uno dei quali in Campania, sono in fase di sperimentazione ma potrebbero diventare presto operativi.

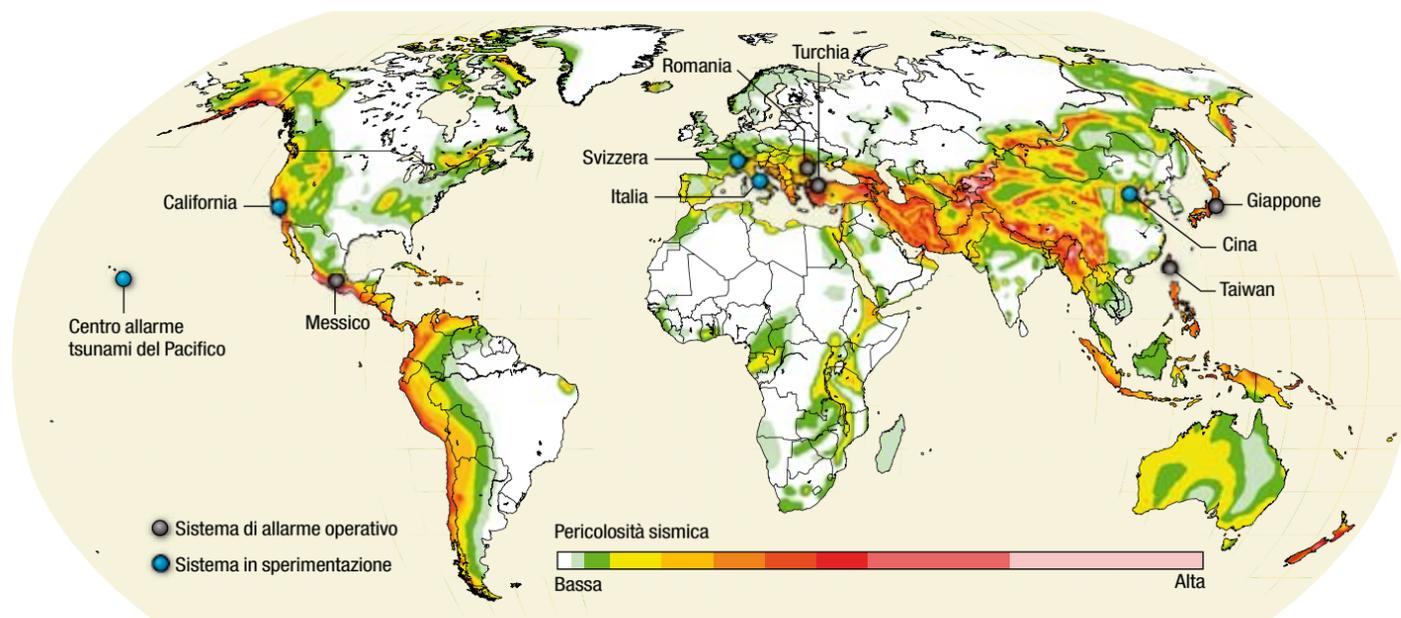
Tom Whalen

**L**a popolazione del pianeta va sempre più concentrando nelle aree urbane: nel 2007 la popolazione residente nelle città ha superato per la prima volta quella delle aree rurali. È probabilmente una tendenza irreversibile, che ha come conseguenza il rapido aumento delle megacittà (con più di 5 milioni di abitanti) che nel 1950 erano una decina e si prevede saranno circa 50 nel 2050. Principalmente concentrate in Asia, Africa e America Latina, molte di esse sono in aree a elevata pericolosità sismica.

L'urbanizzazione aumenta i rischi connessi a fenomeni naturali come i terremoti, non solo per l'aumento delle popolazioni esposte, ma anche, come in Europa, per l'alta concentrazione di articolate

reti di servizio essenziali (elettricità, gas, acqua, reti di telecomunicazioni e informatiche) in zone geograficamente limitate. Inoltre, il mondo contemporaneo è un sistema complesso e fortemente interconnesso, per cui gli effetti di una catastrofe naturale in una città sono tali da influenzare aree molto più vaste di quella fisicamente colpita e possono, al limite, estendersi a tutto il pianeta a causa delle interdipendenze tra le attività produttive e commerciali.

È avvenuto, per esempio, per il terremoto di Izmit, in Turchia, del 1999, dove le perdite economiche dirette sono state valutate intorno ai 6,5 miliardi di dollari, ma quelle globali sono state, secondo le Nazioni Unite, 3-4 volte maggiori. Si stima che se un terremoto forte colpisse una sola megacittà in modo distruttivo l'economia mondiale ne risentirebbe in modo estremamente significativo.



Il continuo aumento delle superfici coperte da tessuti urbani nelle aree a pericolosità sismica medio-alta (si veda il box a fianco) 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. È quanto avvenuto nei due terremoti di magnitudo 6,3 che hanno colpito L'Aquila il 6 aprile 2009 e Christchurch, in Nuova Zelanda, il 22 febbraio scorso. In entrambi i casi il sisma si è originato a pochi chilometri di profondità, proprio al di sotto della città, producendo in superficie accelerazioni del suolo molto forti e quindi danni elevatissimi. In Italia esistono molte città con più di 100.000 abitanti a distanza di chilometri o decine di chilometri dalle principali aree sismogenetiche, e che quindi sono potenzialmente soggette a questo tipo di eventi.

### Tra pianificazione e resistenza

Tra gli eventi naturali, i terremoti sono quelli che causano la maggior parte delle perdite in termini di vite umane a livello mondiale. La mitigazione del rischio sismico dovrebbe quindi essere una priorità delle amministrazioni dei paesi che si trovano nelle zone del mondo più colpite dai terremoti.

Il rischio sismico non può essere ridotto tentando di diminuire la pericolosità, perché essa è una caratteristica intrinseca del territorio. L'unica via possibile è agire sull'esposizione e/o la vulnerabilità. Ridurre l'esposizione vuol dire, per esempio, non localizzare le attività umane nelle zone più pericolose, e ciò è possibile attraverso la pianificazione urbanistica di insediamenti futuri. Osservando le vie di sviluppo dell'urbanizzazione nel pianeta non sembra che la bassa pericolosità sismica sia un parametro guida, e quindi attualmente la tendenza è quella di aumentare l'esposizione, piuttosto che diminuirla.

Per questo, in zone in via di urbanizzazione, per ridurre il rischio sismico non rimane che operare sulla vulnerabilità, rendendo le strutture e le infrastrutture più resistenti ai terremoti. Difatti, il continuo progresso delle conoscenze di ingegneria strutturale consente di progettare nuovi edifici antisismici di notevole resistenza, come è accaduto per esempio in Giappone e in California. In Europa, e particolarmente in Italia, una percentuale

La mappa dei sistemi di allerta precoce già operativi (in grigio) e in fase di sperimentazione (in azzurro) sovrapposta alla mappa dell'accelerazione orizzontale al suolo con probabilità del 10 per cento di essere superata in cinquant'anni, che rappresenta una misura della pericolosità usata a livello mondiale. A fronte, in una foto del febbraio 2010, panni stesi fuori da un'abitazione di Onna, uno dei centri più colpiti dal sisma che ha devastato l'aquilano il 6 aprile 2009.

## VULNERABILITÀ NATURALI E NON

### Fattori di rischio sismico

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 una struttura che si trova in un sito di data pericolosità riduce i danni probabili. Infine, le conseguenze dei danni dipendono dalle attività e dai beni che sono ospitati dalle strutture e dalla popolazione. Questa è detta esposizione, ed è misurata con le vite umane che si possono perdere o con il 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 significativa.

significativa delle strutture è costituita da edifici costruiti decenni o addirittura secoli fa, spesso non del tutto adeguati a resistere alle forze laterali che impone il terremoto. Inoltre, anche quando le strutture sono progettate in modo antisismico i terremoti possono comunque produrre significative perdite economiche, soprattutto a causa dei danni agli elementi non strutturali degli edifici (tramezzi, controsoffitti, tubazioni, scaffalature e così



via) e al loro contenuto. Infatti, se l'edificio ha destinazione industriale o commerciale il suo contenuto è generalmente molto costoso e spesso molto vulnerabile perché non è progettato per resistere alle oscillazioni che magari la struttura sopporterebbe con pochi danni. Il caso limite è un museo, in cui il contenuto è molto sensibile alle vibrazioni e può subire enormi perdite anche se l'edificio è perfettamente antisismico.

Gli interventi estesi per ridurre la vulnerabilità strutturale di aree edificate sono molto costosi ed è difficilmente pensabile che le amministrazioni locali o i privati cittadini abbiano le risorse necessarie per attuarli con la dovuta capillarità. Inoltre, non consentono necessariamente di proteggere le attività ad alto valore aggiunto che l'edificio ospita. Occorre quindi sviluppare metodi innovativi ed economicamente efficaci per la mitigazione del rischio sismico che tendano a ridurre in tempo reale l'esposizione.

### L'early warning per ridurre le conseguenze dei terremoti

Le metodologie di early warning sismico (EW) sono le più indicate a operare in modo efficace per la riduzione dei rischi naturali in tempo reale, agendo principalmente sulla diminuzione dell'esposizione e, in alcuni casi pionieristici, della vulnerabilità. Esistono nel mondo da alcune decine di anni i primi esempi di tali applicazioni in Giappone, Messico, Turchia, Romania. In altri paesi, come la California e, appunto, l'Italia, queste metodologie sono in fase di sperimentazione (si veda la mappa a fronte).

Il termine early warning fu applicato per la prima volta durante gli anni della Guerra Fredda per indicare i sistemi di avvistamento di missili intercontinentali lanciati da basi sovietiche

che verso bersagli statunitensi e viceversa. I sistemi lanciavano un'allerta ai sistemi di protezione dei bersagli appena il missile in arrivo era avvistato. L'early warning sismico funziona allo stesso modo, per cui non è un metodo di previsione dei terremoti: l'allarme, come illustrato in dettaglio più avanti, viene lanciato quando il terremoto è già iniziato.

L'EW consente di interrompere attività pericolose poco prima (tipicamente alcune decine di secondi) dell'arrivo delle onde distruttive del terremoto. Per esempio è possibile, in linea di principio, interrompere gli interventi chirurgici negli ospedali, rallentare i treni per evitare che deragino su tratti di rotaia danneggiati, allertare 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 mettere in sicurezza il personale impegnato in fabbrica in attività pericolose o gli scolari perché si proteggano sotto i banchi dalla caduta di calcinacci o vetri. Tutte queste azioni di sicurezza sono relativamente semplici eppure molto efficaci e, sebbene non intervengano direttamente sulla vulnerabilità delle strutture, possono limitare significativamente le conseguenze di un evento sismico.

I terremoti sono prodotti da processi di frattura della crosta terrestre che rilasciano l'energia accumulata in forma di onde elastiche, le onde sismiche. La grandezza di un terremoto si misura attraverso la magnitudo, che è legata all'energia irradiata durante la frattura. Le onde emesse alla sorgente sono principalmente di due tipi: le onde primarie o longitudinali (P) che si propagano nella crosta terrestre con velocità di 6-7 chilometri al secondo e quelle secondarie o trasversali (S), che viaggiano con velocità minori

## La prova del sisma dell'11 marzo

Lo scorso 11 marzo il sistema di early warning giapponese ha affrontato un impegnativo banco di prova quando l'isola di Honshu è stata colpita da uno dei più violenti sismi dell'ultimo secolo. Benché al momento in cui in stampa questo articolo sia presto per un bilancio definitivo su come ha funzionato e sulla sua efficacia in termini di risparmio di vite umane e danni economici, sono disponibili informazioni preliminari sulla sua attivazione. Il terremoto, di magnitudo 8,9 ha avuto origine da una frattura, enucleatasi a circa 24 km di profondità sotto l'oceano, a circa 130 km di distanza dalla costa orientale dell'isola. La Japan Meteorological Agency ha emesso un'allerta automatica circa 28 secondi dopo l'origine del terremoto (circa 9 secondi dopo l'inizio della registrazione alla stazione più vicina). L'allerta, diffusa per radio, TV, telefoni cellulari, ha raggiunto la popolazione 10-60 secondi prima dell'arrivo delle onde distruttive. L'allerta sembra essere stata efficace nel consentire alla popolazione di mettersi al riparo in aree sicure. La normativa giapponese prevede che l'allerta per la popolazione non sia diffusa in località per cui il tempo di preavviso supera i 60 secondi, poiché si ritiene che a tale distanza l'energia sia sufficientemente attenuata da non produrre danni. Pertanto non è stata diffusa a Tokyo dove, data l'eccezionalità del fenomeno, l'intensità è stata comunque rilevante. Nella capitale è stato però emesso un allarme riservato agli uffici amministrativi e dalle industrie. Il sistema di early warning della linea ferroviaria Shinkansen sembra abbia funzionato efficacemente, gran parte dei treni è stata rallentata e fermata, benché siano stati segnalati alcuni deragliamenti. Le centrali nucleari colpite non sono dotate di sistemi di early warning.



di circa il 60 per cento (3-4 chilometri al secondo). Entrambe le onde portano in sé informazioni importanti sulla sorgente sismica che le ha prodotte (posizione, estensione, orientazione, energia rilasciata e così via). Le onde S sono più lente ma più distruttive, perché hanno un contenuto di energia maggiore. Ciò suggerisce la possibilità di usare le informazioni su posizione e magnitudo del terremoto contenute nelle onde P in un sito distante dalla sorgente per lanciare un'allerta immediata prima che arrivino le onde S. Il tempo che intercorre tra l'invio dell'allerta e l'arrivo delle onde S aumenta quanto più è distante il sito dalla sorgente del terremoto, poiché il ritardo delle onde S rispetto alle onde P aumenta con la distanza (si veda il box nella pagina a fronte).

In realtà questa è solo una modalità possibile di un sistema di early warning sismico (detto *in situ*), ma lo stesso principio si può applicare in un'altra modalità. Se una rete di sensori sismici viene posta in prossimità della sorgente del terremoto è in grado di rilevare rapidamente magnitudo e localizzazione del terremoto e, nel caso, inviare l'allarme a un sito distante mediante sistemi di telecomunicazione. In questo caso, l'informazione che viaggia alla velocità della luce arriva istantaneamente al sito da proteggere garantendo quindi un tempo di allerta ancora maggiore, circa doppio rispetto ai sistemi *in situ*. Infine, un sistema di early warning può essere formato da una rete di sensori disposta come una barriera tra le possibili sorgenti dei terremoti e la struttura da proteggere, per esempio una linea ferroviaria. Quando accade il terremoto, è rilevato dai sensori che, nello stesso tempo, ne stabiliscono la pericolosità. La distanza dalla rete di sensori alla ferrovia è calibrata in modo che il tempo a disposizione sia sufficiente per intraprendere azioni di sicurezza come fare rallentare o arrestare il treno in modo che non deragli nei tratti possibilmente danneggiati.

Il problema di questi sistemi *in situ* o a barriera è che ogni struttura da proteggere richiede una rete sismica dedicata. Un'alternativa è installare la rete sismica nella zona in cui ci si aspetta avvenga il terremoto piuttosto che in prossimità della struttura. La rete, opportunamente collegata per la trasmissione dei dati a strutture più lontane, consentirebbe di intraprendere azioni di sicurezza prima dell'arrivo delle onde di massima am-

piezza in ciascun edificio. Il punto critico è che un solo sistema deve essere riuscito a prevedere le conseguenze del terremoto per ogni struttura, ciascuna delle quali si trova a distanza diversa dall'epicentro. Infatti, poiché l'ampiezza delle onde sismiche si attenua durante il percorso, per decidere se è il caso di lanciare l'allarme bisogna determinare rapidamente la magnitudo e la localizzazione del terremoto per stabilire, per ciascuna struttura, l'effettivo pericolo connesso all'evento in atto. Bisogna, in effetti, «predire» l'accelerazione del suolo nel sito da proteggere, che dipende appunto, dalla magnitudo e dalla distanza sito-sorgente. In realtà, come si discuterà nel seguito, per avere un sistema efficace che minimizzi il falso allarme è necessario che il sistema sia anche in grado di stabilire gli effetti dell'accelerazione predetta sulla base della vulnerabilità specifica di ogni struttura sede di un terminale del sistema di early warning.

I componenti fondamentali di un sistema di EWS regionale/ibrido sono una rete di sensori sismici sul territorio, un sistema informatico che funga da «cervello» per l'analisi automatica dei dati prodotti dal terremoto e uno di trasmissione dell'allarme che attivi, nei luoghi allertati (o terminali) misure di sicurezza. Queste sono le caratteristiche del sistema in fase di sviluppo in Italia (si veda l'illustrazione a p. 53).

### Il sistema giapponese

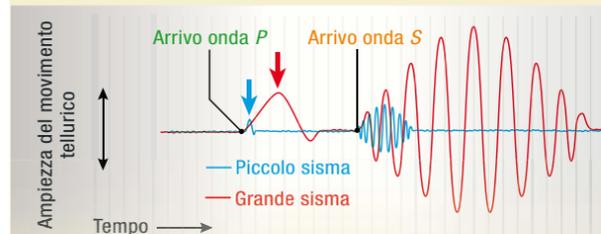
Il Giappone è sicuramente il paese che da decenni sta investendo di più in questi sistemi. Recentemente, grazie a una densa rete di strumenti che copre l'intero territorio nazionale, la Japan Meteorological Agency (JMA) ha sviluppato un sistema di early warning operativo dal 2009. Il sistema è in grado di stabilire molto rapidamente l'intensità di un terremoto ovunque si generi e avvisare l'intera nazione con vari mezzi tra cui radio e televisione. Attraverso un'intensa campagna di educazione i cittadini sono stati informati sulle conseguenze corrispondenti ai vari valori di intensità del terremoto diramati con l'allarme e sulle azioni da intraprendere. L'allarme non è basato sulle conseguenze valutate a partire dalle caratteristiche di strutture specifiche, ma stimando l'intensità dei danni attesi a grande scala (in modo simile agli effetti descritti dalla scala Mercalli).

Koji Sasahara / AP Photo

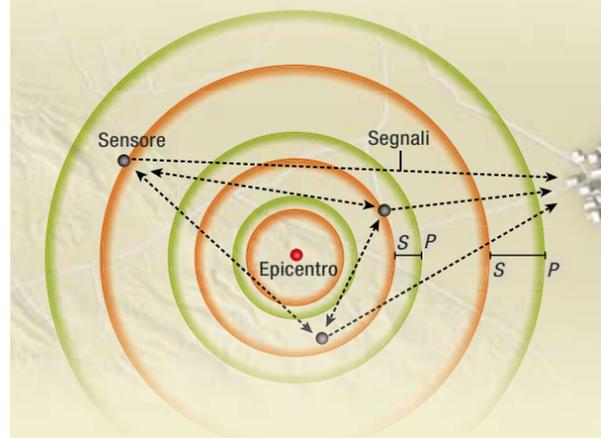
## Come funziona l'allerta precoce



I terremoti emettono due tipi di onde. Le onde P comprimono il suolo mentre si propagano, come un'onda sonora. Viaggiano velocemente ma non provocano gravi danni. Le successive onde S deformano la roccia verso l'alto e verso il basso, come le onde dell'oceano, e trasportano la maggior parte della violenza dell'energia sismica.



Ogni giorno si verificano centinaia di piccoli sismi, per cui i sistemi di allerta identificano quelli di grave portata controllando la forma delle onde P. I sismi minori emettono impulsi brevi e netti (freccia azzurra), mentre i grandi terremoti si annunciano con una scossa di grande ampiezza e bassa frequenza (freccia rossa).



I sistemi di allerta combinano i segnali provenienti da una rete di stazioni sismiche per correlare le grandi scosse e individuare l'epicentro. Il sistema invia quindi un allarme elettronico che precede le onde S. Via via che un maggior numero di stazioni rileva le scosse, le informazioni su magnitudo ed epicentro diventano più precise.

Emily Cooper

Il sistema giapponese è costoso, ma soprattutto richiede una grande efficienza da parte della JMA e del sistema di aziende deputate sia alla gestione che all'uso del sistema, un'educazione della popolazione e una rete di informazione efficace. È infine basato su un semplice articolato legislativo che stabilisce le responsabilità e l'obbligo di emettere l'allerta per il pubblico secondo una procedura stabilita, che esonera l'ente dalla responsabilità di eventuali falsi allarmi strumentali (questi ultimi sono i casi di malfunzionamento della rete sismica). Tuttavia, nell'applicazione dell'early warning alla protezione di linee ferroviarie, metropolitane, industrie, assumono un ruolo altrettanto rilevante i falsi allarme dovuti a errori di predizione dei danni attesi in un sito. Essi sono spesso legati a una sovrastima degli effetti predetti rispetto a quelli effettivi. Questo è il motivo per cui in Giappone, nella maggior parte delle applicazioni (dalle industrie chimiche ai cantieri edili, ai trasporti) al sistema «regionale» JMA vengono affiancati sistemi «sito-specifici» sviluppati dagli utenti, che integrano con le osservazioni al sito delle prime onde P l'informazione che deriva dal sistema JMA.

### Una rete per la Campania

Benché l'early warning non sia un sistema di previsione del verificarsi di un sisma, perché i segnali sono inviati a terremoto iniziato, esiste una componente predittiva che è la valutazione dell'accelerazione di picco e dei danni attesi al sito da proteggere. Questi ultimi dipendono dall'effettiva vulnerabilità del sistema di cui si vuole ridurre il rischio. Infatti, per rendere davvero efficace il sistema è necessario stabilire le conseguenze del terremoto per ciascun sistema da allertare sulla base delle sue effettive caratteristiche: non è pensabile bloccare attività industriali e commerciali importanti per tutti i tipi di terremoto, perché le ricadute sociali ed economiche sarebbero eccessive. Questo è il vero e proprio problema di ricerca cui si sta lavorando nel settore dell'ingegneria sismica in collaborazione con la sismologia, ed è la prerogativa del sistema di early warning italiano.

In Campania, la rete di sensori EW (denominata ISNet, Irpinia Seismic Network) è stata installata dal consorzio AMRA, da anni impegnato nella ricerca in campo ambientale. Essa è costituita da circa 30 stazioni di rilevamento collocate nella zona dell'Appennino meridionale, periodicamente interessata da terremoti significativi come quello irpino del 23 novembre 1980. La rete copre una vasta area, ed è composta da sensori che misurano continuamente le vibrazioni del suolo in termini di velocità e accelerazione. ISNet è gestita e utilizzata, per sperimentare l'early warning, da un gruppo di ricercatori geofisici del Dipartimento di fisica dell'Università «Federico II» di Napoli e dell'Osservatorio Vesuviano dell'Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia, ed è connessa al centro di controllo (RISSC), presso l'Università «Federico II». Il sistema di EW che si basa su ISNet è stato sviluppato con un approccio diverso rispetto a quello dei sistemi a barriera. Infatti, collocando i sensori in corrispondenza della zona dove «nascono» i terremoti è possibile, in linea di principio, proteggere molte strutture lontane contemporaneamente.

Il sistema di early warning connesso alla rete ISNet è in grado di distinguere immediatamente un terremoto dalle normali vibrazioni del suolo (rumore ambientale). Quando avviene un terremoto, per stabilirne l'effettivo rischio associato, è necessario in primo luogo localizzarlo, determinando l'epicentro e la profondità. Il sistema effettua questa operazione in pochissimi secondi con una buona precisione: quando cinque stazioni della



**Gran parte del patrimonio artistico italiano** non è in grado di sopportare gli effetti di un sisma, come è accaduto con il terremoto del 6 aprile 2009 alla chiesa di Santa Maria a Paganica, in provincia dell'Aquila, e a molti altri edifici antichi.

rete ISNet hanno rilevato un terremoto entro la zona sismogenetica irpina, il suo epicentro è molto ben localizzato. In genere bastano circa due secondi da quando la prima stazione ha rilevato il sisma. Allo stesso modo sono stati elaborati algoritmi in grado di misurare la magnitudo, studiando la fase iniziale del segnale registrato da ciascuna stazione (le onde *P*: in pratica l'intensità del terremoto è proporzionale all'ampiezza delle onde *P* che esso genera normalizzata per la distanza dalla sorgente).

Quindi ISNet rileva automaticamente il terremoto ed è in grado di stimare entro 5 o 6 secondi dove è avvenuto, qual è la magnitudo e quali sono le incertezze associate a questi parametri. Il grande vantaggio di questo sistema è che si basa su un approccio probabilistico, associando una distribuzione di probabilità alla localizzazione del terremoto e alla sua magnitudo che evolvono man mano che più stazioni di ISNet sono investite dal sisma. Via via che l'informazione sul terremoto aumenta, ciò consente di migliorare la stima su cui si basa la decisione di allertare, riducendo la probabilità di falso allarme, a discapito però del tempo disponibile. Le stime di questi parametri si stabilizzano dopo 10-12 secondi dal tempo origine, trascorsi i quali attendere oltre non servirebbe a migliorare la conoscenza sul terremoto in atto. In questo modo 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 di un terremoto che si origini all'interno dell'area coperta dalla rete. Benché sembri scarso, e certamente insufficiente per evacuare intere popolazioni, questo tempo può essere molto utile. Per avere un'idea delle potenzialità del sistema, nell'illustrazione a fronte si riporta una mappa dei tempi di azione in Campania resi disponibili dal siste-

ma di EW basato su ISNet, a cui sono stati sovrapposti possibili interventi di sicurezza compatibili con quei tempi.

Il punto cruciale è quindi avere a disposizione algoritmi efficienti per stabilire, struttura per struttura, se è opportuno lanciare l'allarme. Questo è possibile: conoscendo l'epicentro di un terremoto si potrà determinare la distanza tra questo e il sito da proteggere. Quindi, usando metodi automatici che tengono conto di ubicazione e magnitudo del terremoto e dell'attenuazione dell'ampiezza delle onde con la distanza, è possibile prevedere istantaneamente, per ogni struttura da proteggere, quale sarà l'accelerazione massima del suolo e quali effetti potrà avere il sisma su un edificio, su un viadotto o su qualunque altro sistema di interesse. Ciò richiede uno studio preventivo che permetta di conoscere in anticipo il comportamento della struttura durante il terremoto, e quindi di inviare l'allerta solo se si prevede che il sisma potrà effettivamente danneggiarla. In altre parole, la soglia oltre cui inviare l'allerta deve essere basata sulle caratteristiche costruttive di ogni struttura che la rendono più o meno vulnerabile a un particolare sisma; ciò riduce le probabilità che l'allarme sia inutile (falso allarme).

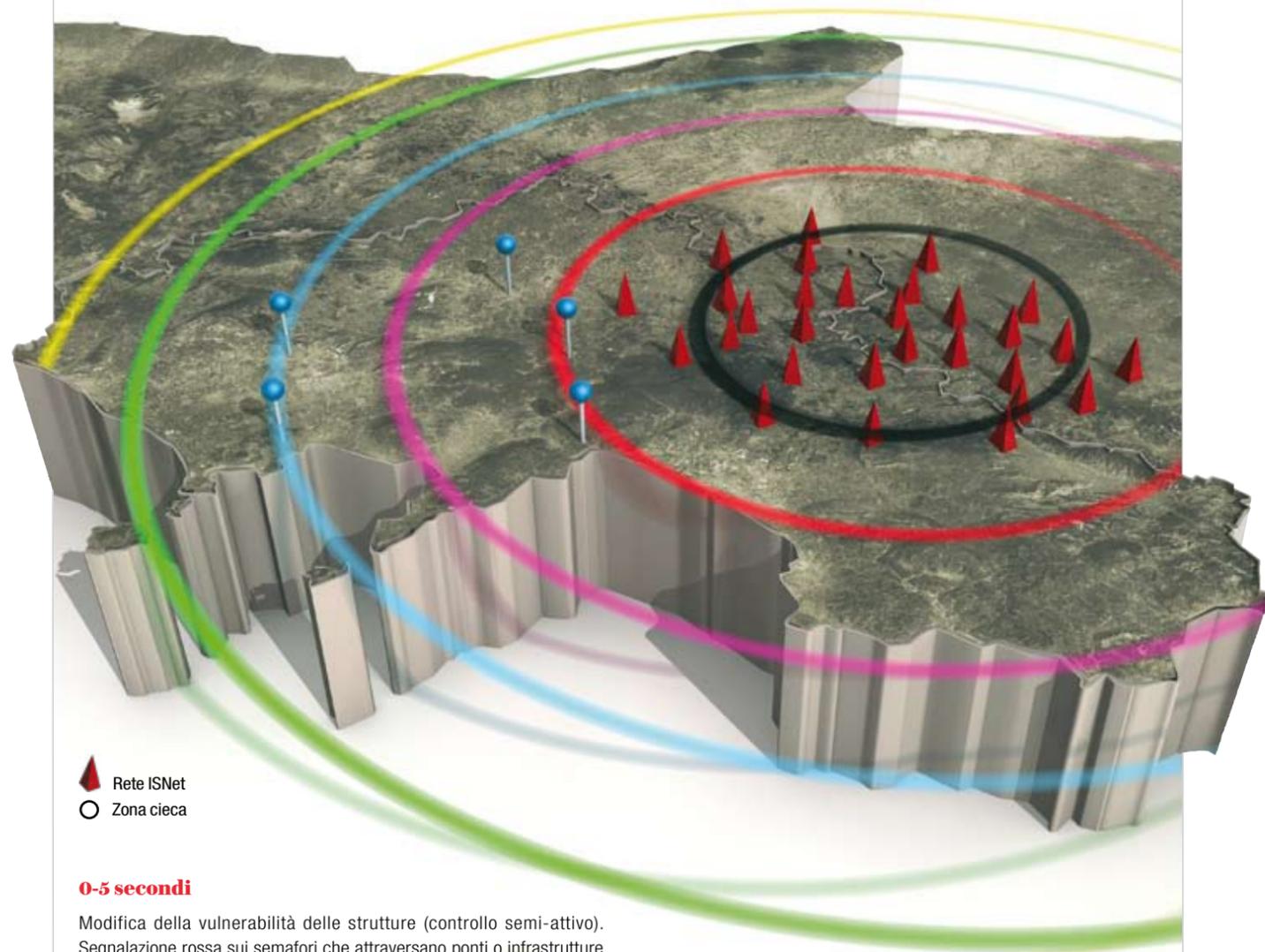
Su queste basi, a Napoli è stato sviluppato un terminale dimostrativo (ERGO, Early Warning Demo) connesso alla rete ISNet e installato nell'edificio principale della Facoltà di ingegneria dell'Università «Federico II». Basandosi sui dati provenienti dalla rete ISNet, ERGO consente di avere un'analisi visiva del processo di early warning per la struttura in cui è installato, e può essere usato per lanciare l'allarme alle persone presenti nell'edificio in cui si trova oppure essere connesso a dispositivi automatici di sicurezza (*si veda il box a p. 54*).

Martino Lombardi/Contrasto

## Che cosa consente di fare un'allerta precoce

La mappa mostra i tempi medi di allerta disponibili per un terremoto che si verifichi entro la rete ISNet e corrispondenti al rilevamento del sisma da parte di 18 stazioni su 30.

Gli studi hanno infatti dimostrato che aspettare ulteriori informazioni non migliora le conoscenze utili per stabilire se lanciare l'allarme. In basso, le possibili azioni di sicurezza compatibili con i tempi di allarme. Nella zona cieca non sono più possibili interventi perché il sisma è già arrivato.



### 0-5 secondi

Modifica della vulnerabilità delle strutture (controllo semi-attivo). Segnalazione rossa sui semafori che attraversano ponti o infrastrutture vulnerabili.

### 5-15 secondi

A casa: allontanarsi da elementi di arredamento che possono cadere (armadi, librerie e così via) e proteggersi, per esempio, sotto i tavoli. Per strada: fare attenzione a oggetti che possono crollare (insegne, vetrine) e proteggersi in edifici chiaramente robusti, se ce ne sono nelle vicinanze. Al lavoro: interrompere attività pericolose o vicino a macchinari potenzialmente rischiosi (seghe, presse e così via). Negli edifici pubblici: iniziare le procedure di emergenza, riportare gli ascensori al piano più vicino. Avvio del back-up dei computer nelle aziende.

### 15-20 secondi

Blocco di sicurezza di impianti pericolosi che trattano e/o distribuiscono sostanze tossiche o infiammabili.

### 20-30 secondi

Sospensione dell'attività nelle sale operatorie degli ospedali.

### 30-40 secondi

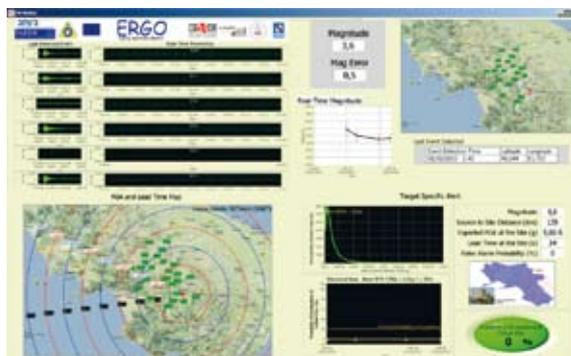
Rallentare i treni ad alta velocità per prevenire deragliamenti. Bloccare le operazioni di atterraggio e decollo degli aerei.

Stefano Carrara

## Il prototipo di terminale ERGO

Per ora il terminale ERGO del sistema di early warning campano lavora solo a scopo dimostrativo, monitorando la sede della facoltà di ingegneria dell'Università «Federico II» di Napoli, ma è già pronto per essere collegato a qualunque sistema automatico. Il sistema si compone di quattro pannelli, di cui il primo mostra in tempo reale i segnali continuamente registrati da alcune stazioni della rete ISNet (in genere semplice rumore ambientale).

Quando un segnale è identificato come un terremoto avvenuto entro la rete, su un secondo pannello compaiono la localizzazione dell'epicentro e la magnitudo, con il relativo margine di incertezza, valutati automaticamente dal sistema. Per avere un'idea delle potenzialità di ERGO è stata anche elaborata una mappa dei «tempi disponibili» per la regione (terzo pannello): si va da una *blind zone*, una zona cieca dove non è possibile nessun tipo di azione



### Un terremoto effettivamente rilevato

da ERGO a febbraio 2010; la piccola magnitudo e l'elevata distanza dal sito del terminale hanno fatto sì che il sistema non lanciasse alcun allarme.

perché il terremoto è già arrivato, fino alla definizione di diverse fasce temporali; ovviamente più ci allontaniamo dall'epicentro maggiore sarà il tempo disponibile, ma anche gli effetti del terremoto si mitigheranno.

Infine, il quarto pannello (*in basso a destra*) mostra la valutazione della pericolosità in tempo reale al sito di installazione del terminale. 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 sito un valore critico per la struttura in esame, stabilito sulla base del valore di accelerazione del suolo che la struttura può sopportare. Se questo livello critico è superato scatta l'allarme ed ERGO fornisce anche il tempo ancora disponibile prima che il terremoto arrivi e la probabilità di falso allarme.

## Questioni aperte e prospettive

Concludendo, si può affermare che l'early warning offra una possibilità di ridurre le perdite causate dai terremoti. I punti di forza sono soprattutto la relativa economicità rispetto al rinforzo strutturale, l'installazione di un'unica rete di monitoraggio regionale e di terminali nelle strutture da proteggere. L'early warning consente infatti di ridurre l'esposizione, e cioè le perdite conseguenti ai danni, cosa che non è sempre consentita dal tradizionale rinforzo sismico. Tuttavia, benché le applicazioni di EW siano già pienamente operative nel mondo, esistono alcuni problemi aperti che richiedono ancora ricerca e sperimentazione. Ridurre il tasso di falsi allarme è infatti tanto più importante quanto più sono alti i costi che comporta. Fermare un ascensore è un'azione con lievi conseguenze, e l'accettabilità di un falso allarme è alta; interrompere il traffico ferroviario o il rifornimento di gas a una città ha conseguenze ben più gravi e richiede lunghi tempi di ripristino, perciò l'accettabilità di un falso allarme è molto minore. In generale, quanto più aumenta l'efficacia dell'azione tanto meno è accettabile un falso allarme.

Questo fa sì che i sistemi di early warning di prossima generazione debbano raggiungere maggiori livelli di affidabilità, cosa possibile solo includendo negli algoritmi di allarme non solo valutazioni sul terremoto, ma anche sul probabile comportamento della struttura da proteggere e le eventuali perdite connesse. Questo elemento è fondamentale perché questo tipo di sistema sia davvero efficace, ed è in questa direzione che va la ricerca italiana, condotta da un gruppo integrato di sismologi e ingegneri.

Infine esistono rilevanti problemi legati alle responsabilità di allarme. Chi ha titolo per lanciarlo e chi è responsabile di eventuali falsi e/o mancati allarmi sono questioni rilevanti, e al momento l'unica normativa di riferimento è quella dal governo giapponese. Analogamente, per gestire l'allarme alla comunità non si può trascurare il tema della percezione del rischio da par-

te dei cittadini né i problemi di eventuale «al lupo al lupo» che possano minare la risposta corretta a eventuali allarmi. Questi problemi rendono l'early warning ancora più interdisciplinare, e mostrano che richiede ancora molto studio. Tuttavia, tra quelli innovativi, questo approccio appare tra i pochi praticabili per ridurre il rischio sismico in aree fortemente urbanizzate.

Ed è in questa direzione che vanno i recenti programmi di ricerca. Nel 2005 l'Unione Europea ha lanciato un grande progetto sull'early warning sismico, il progetto SAFER (Seismic eArly warning For EuRope), che ha visto la partecipazione di tutti i gruppi europei attivi nel settore, più gruppi giapponesi, statunitensi e di Taiwan. Il progetto si è concluso nel 2009, e ha portato allo sviluppo di molte delle metodologie e procedure sopra descritte e soprattutto alla formazione di una comunità europea competitiva in ambito internazionale. È in fase di negoziazione con l'UE il progetto REAKT (Real Time Earthquake Risk Mitigation), in cui sarà studiata la fattibilità dell'applicazione ad alcuni casi europei, tra cui alcune industrie chimiche vicino a 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 e due scuole, una in Irpinia e l'altra nel vesuviano. ■

### PER APPROFONDIRE

**Earthquake Early Warning.** Gasparini P., Manfredi G. e Szchaj J. (a cura), Springer-Verlag, 2007.

**Prospects and applications of EEW for real-time earthquake engineering, risk management and loss mitigation.** Iervolino I. e Zollo A. (a cura), Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Elsevier, 2011.

**New Methods and Applications of Earthquake Early Warning.** Allen R.M., Kamigaichi O. e Gasparini P., in «Geophysical Research Letters», Vol. 36, n. 5, 2009.

**Earthquake Early Warning.** Allen R.M., Gasparini P. e Kamigaichi O., in «Seismological Research Letters», Vol. 80, n. 5, settembre-ottobre 2009.