

Earthquake Environmental Effects, intensity and seismic hazard assessment: the ESI intensity scale and the EEE Catalogue

CHART OF THE INQUA ENVIRONMENTAL SEISMIC INTENSITY SCALE 2007 - ESI 07 (Modified from Silva et al., 2008 and Reicherter et al, 2009)

ES I-2007	PRIMARY EFFECTS		SECONDARY EFFECTS WITH GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL RECORD				OTHER SECONDARY EFFECTS		AFFECTED AREA AND TYPE OF RECORD	
	SURFACE RUPTURES	TECTONIC UPLIFT/SUBSID	GROUND CRACKS	SLOPE MOVEMENTS	LIQUEFACTION PROCESSES	ANOMALOUS WAVES AND TSUNAMIS	HYDROGEOLOGICAL ANOMALIES	TREE SHAKING	Affected AREA	Type of RECORD
I-III	Offset	Length	Width	Length	ENVIRONMENTAL EFFECTS ARE VERY RARE AND CANNOT BE USED AS DIAGNOSTIC					
A OBSERVED DAMAGING	IV ABSENT	ABSENT	Rare and local mm	Rare and local	ENVIRONMENTAL EFFECTS ARE VERY RARE AND CANNOT BE USED AS DIAGNOSTIC				Rare and local	Geological frequent and exceptionally geomorphological
B DESTRUCTIVE	VII Rare and local	Permanent ground dislocations (< 10 cm)	cm	10 ³ m ³	Only dewatered levels (seismites) 1 cm 3 cm 50 cm	cm Temporary sea-level changes dm Waves < 1 m	Temporary level changes H ₂ O Temp. turbidity changes H ₂ O Temporary F+Q changes H ₂ O		Local within epicentral zone ● 1 km ² ○ 10 km ²	
C VERY DESTRUCTIVE	VIII Rare and local	< 1 m	dm	10 ⁴ -10 ⁵ m ³	1 m	1-2 m	Temp. temperature changes Temp. spring drying H ₂ O		100 km ² 1,000 km ² 5,000 km ² 10,000 km ² 50,000 km ²	Geological and geomorphological characteristic and frequently geomorphological
C DESTRUCTIVE	X 10-100 km	< 10 m	m	10 ⁴ -10 ⁵ m ³	0.5 m	3-5 m	Permanent river changes			
C DESTRUCTIVE	XI > 100 km	> 10 m	> 1 m	> 10 ⁵ m ³	> 5 m	> 10 m	Base-level changes in springs, rivers, aquifers			
C DESTRUCTIVE	XII > 100 km	> 10 m	> 5 m	Far-field (200-300 km) significant landsliding	0.5 m	Tsunamis	Tree branches and tree-trunk falling, rupture, etc...			
DESCRIPTION & ICONS	Dip and strike-slip offset of coseismic ruptures	Permanent ground dislocation	Width and length of cracks and fractures in soils and rocks	Bulk volume of mobilised material	Dimension of liquefied levels and sand boils	Transitory sea-level changes, standing waves and Tsunamis	Base-level changes in springs, rivers, aquifers	Tree branches and tree-trunk falling, rupture, etc...		

Memorie Descrittive Carta Geologica d'Italia

Vol. xyz

DRAFT APRIL 2012

Index

1. Earthquake Environmental Effects, intensity and seismic hazard assessment: the lesson of some recent large earthquakes

2. The ESI 2007 intensity scale in seven languages

- 2.1. Environmental Seismic Intensity scale - ESI 2007 (English)
- 2.2. La scala di intensità sismica ESI 2007 (Italian)
- 2.3. Escala medio-ambiental de intensidad sismica ESI – 2007 (Spanish)
- 2.4. ESI 2007 Intensitätsskala (German)
- 2.5. ESIの2007年の震度 (Japanese)
- 2.6. Шкала сейсмической интенсивности на основании природных эффектов – ESI 2007 (Russian)
- 2.7. Η μακροσεισμική κλίμακα έντασης ESI 2007 (Greek)
- 2.8. Seismische intensiteitschaal op basis van omgevingseffecten - ESI 2007 (Nederland)
- 2.9. 환경진도단위-ESI 2007 (한국어) – ESI 2007 (Korean)

3. The EEE Catalogue: a global catalogue of earthquake environmental effects

4. EEE data collection and ESI intensity assessment: list of references

1. Earthquake Environmental Effects, intensity and seismic hazard assessment: the lesson of some recent large earthquakes

SERVA L. (1), BLUMETTI A.M. (1), ESPOSITO E. (2), GUERRIERI L. (1), MICHETTI A.M. (3), OKUMURA K. (4), PORFIDO S. (2), REICHERTER K. (5), SILVA P.G. (6), VITTORI E. (1)

(1) Geological Survey of Italy, ISPRA, Roma, Italy

(2) Istituto per l'ambiente marino costiero, CNR, Napoli, Italy.

(3) Dipartimento di Scienze Chimiche e Ambientali, Università dell'Insubria, Como, Italy.

(4) Hiroshima University, Japan

(5) Lehr- und Forschungsgebiet Neotektonik und Georisiken RWTH, Aachen University, Germany

(6) Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, Spain

The dreadful scenarios of effects caused by the recent catastrophic seismic events in very different parts of the world (from Eastern Asia to Chile and Haiti) are renewing the longlasting global debate among seismologists, geologists and engineers about the best practices and tools to achieve the most complete and reliable seismic hazard assessment. In this note we focus on three recent events that have clearly demonstrated once more that the vibratory ground motion, although a serious source of direct damage, it is by no means the only parameter that should be considered, being most damages caused by the coseismic geological effects, either directly linked to the earthquake source or provoked by the ground shaking ("Earthquake Environmental Effects", EEE). Surface faulting, regional uplift and subsidence, tsunamis, liquefaction, ground resonance, landslides, ground failure, are indeed controlled or induced by the local geological setting.

The 2011 March 11, Mw 8.9 Tohoku earthquake occurred in the Pacific Ocean near the coast of northeastern Japan, where the Pacific Plate plunges under the Asian Plate. The interface is marked by a deep trench and a megathrust. A displacement (reverse slip) of the sea bottom along a distance in excess of 500 km, reaching maximum values of ca. 20 m, produced a very large tsunami (with values of run up reaching 38 m, and 14 m at the Fukushima NPP's site) which affected a wide stretch of coast, penetrating 5 km inland in the Sendai coastal plain. Probably, the impact of this tsunami has been even larger than that caused by the Sumatra earthquake in 2004, due to the much higher degree of urbanization in NE Japan. Most of the damage in terms of dead toll (more than 20,000 people) and destruction was in fact caused by the subsequent tsunami. Conversely, limited damage was induced by the vibratory ground motion itself.

The size of the 2011 tsunami was fairly larger than that of the largest tsunamis recorded in the affected area (Myagi and Fukushima prefectures) in the last century (max wave height not more than 5 m). Nevertheless, looking just a little backwards in time, tsunamis comparable in size to the 2011 event did affect the same areas, the latest one in 869 A.D. (Jogan tsunami), as recently well documented by means of geological and paleoseismic studies (Sawai et al., 2007; Shishikura et al., 2007; HERP, 2009), while historical documentation about these events is quite scarce. Unfortunately, tsunami hazard assessment was based only on the most recent record. Consequently, mitigation measures for the protection of people, buildings and infrastructures (including NPPs) were undersized and therefore unable to prevent the inundation of such a large sector of NE Japan coastal area. Other effects, landslides, liquefaction and ground subsidence, have certainly given a contribution of damage, but information about them has been obscured so far by the overwhelming devastation of the tsunami.

The February 22, 2011, Mw 6.3 Christchurch, New Zealand earthquake was basically an aftershock of the September 4 2010, Mw 7.0 event, part of a seismic sequence which includes also the June 13 2011, Mw 6.3, event. Nevertheless, despite the main shock did not cause victims or relevant damages, the February 22, 2011, event caused the death of at least 75 people and destroyed

hundreds of houses in Christchurch. This scenario of damages was mainly linked to local effects of site amplification, which depend largely on the stratigraphic characteristics (geological history) of the ground over which the town is built; as well, the same recent sediments are particularly susceptible to liquefaction. As a consequence, also houses designed in agreement with the local seismic building codes have collapsed all the same, due to liquefaction within the foundation soils. The 2008 May 12, Mw 7.9 Wenchuan, China, earthquake (dead toll of more than 70,000 people) was caused by the reactivation of an already known thrust located in the northwestern Sichuan Province, which produced more than 200 km of surface faulting. The scenario of secondary effects was characterized by very large landslides and rock falls (volumes in the order of $10^5 - 10^6$ cubic meters), widespread liquefaction, ground failures, anomalous waves in lakes, among others. At the local scale, the distribution of damage has been strictly linked to the occurrence of the abovementioned environmental effects, that have become dominant especially in the epicentral area. Based only on environmental effects (ESI scale) intensities up to XII have been estimated, while the widespread poor quality of the buildings has not allowed *traditional* damage-based intensity assessments higher than X (Lekkas et al., 2010).

These events **confirm once again the relevance of earthquake environmental effects as a major source of hazard, in addition to vibratory ground motion**. Moreover, it has been clearly demonstrated that the implementation of geologically documented past earthquakes in the existing seismic catalogues is crucial for the improvement of the seismic and tsunami hazard knowledge, as well as for a more rational urban development and location of critical engineering facilities. Indeed, at present, developed countries have robust seismological surveys which provide finest information on instrumental seismicity, but differentially-documented information on historical events. In fact, seismic hazard analyses are still typically only based on recent and historical pre-instrumental records following deterministic or probabilistic approaches for relatively short time-windows. The geological analysis of hazardous areas or faults from a paleoseismological perspective, will help to refine the data on historical events, and in many zones to (a) enlarge the list of catalogued events, (b) identify hazardous active faults and (c) recognize the more realistic role of secondary environmental effects in high-rank potential damage levels.

Furthermore the lesson offered by these recent events makes evident the need of re-evaluating the significance of macroseismic intensity as an empirical measurement of earthquake size. As a matter of fact, intensity is a parameter able to describe a complete earthquake scenario, based on direct field observation. Unfortunately, since the '70s the research has focused mostly on instrumental seismological parameters and intensity, although still vital in historical seismology, has been gradually reduced to a representation of damage distribution, or to a mere proxy of acceleration. In the last decade instead, thanks to the recent development of paleoseismology and other innovative geological investigations, it has re-emerged the core significance of the intensity parameter as it was in the early developments of seismology, more than one century ago. At that time, the effects on the natural environment were correctly seen as the most direct manifestations of the earthquake, a geological phenomenon itself. Consequently, they were used as highly diagnostic elements in the intensity scales, especially crucial in assessing the highest degrees of intensity, when structural damage saturates, losing its informative capability.

Today, detailed documentation is available for a very large number of environmental effects induced by recent, historical and paleo-earthquakes. Such data, now being stored in a specific database (<http://www.eecatalog.sinanet.apat.it/terremoti/index.php>), have allowed to develop the ESI 2007 scale (Michetti et al., 2007), that integrates and completes the *traditional* macroseismic intensity scales, allowing to assess the intensity parameter also where buildings are absent or damage-based diagnostics saturates.

Developing on this background, this volume aims at promoting:

- the use of the ESI 2007 intensity scale, which has been translated in seven languages (English, Italian, Spanish, German, Japanese, Russian and Greek) for a more systematic application;
- the implementation of the EEE Catalogue, a standard data collection of the characteristics of Earthquake Environmental Effects at global level conducted in the frame of the INQUA TERPRO #0418 Project, with the aim to promote the use of EEE data for seismic hazard purposes.

Furthermore the lesson offered by these recent events makes evident the need of re-evaluating the significance of macroseismic intensity as an empirical measurement of earthquake size. As a matter of fact, intensity is a parameter able to describe a complete earthquake scenario, based on direct field observation. Unfortunately, since the '70s the earthquake research has focused mostly on instrumental seismological parameters and intensity, although still vital in historical seismology, has been gradually reduced to a representation of damage distribution, or to a mere proxy of acceleration. In the last decade instead, thanks to the recent development of paleoseismology and other innovative geological investigations, it has re-emerged the core significance of the intensity parameter as it was in the early developments of seismology, more than one century ago. At that time, the effects on the natural environment were correctly seen as the most direct manifestations of the earthquake, a geological phenomenon itself. Consequently, they were used as highly diagnostic elements in the intensity scales, especially crucial in the highest degrees of intensity, when structural damage saturates, losing its informative capability.

Today, detailed documentation is available for a very large number of environmental effects induced by recent, historical and paleo-earthquakes. Such data, now being stored in a specific database (<http://www.eecatalog.sinanet.apat.it/terremoti/index.php>), have allowed to develop the ESI 2007 scale (Michetti et al., 2007), that integrates and completes the *traditional* macroseismic intensity scales, allowing to assess the intensity parameter also where buildings are absent or damage-based diagnostics saturates.

Developing on this background, this volume aims at promoting:

- the use of the ESI 2007 intensity scale, which has been translated in seven languages (English, Italian, Spanish, German, Japanese, Russian and Greek) for a more systematic application;
- the implementation of the EEE Catalogue, a standard data collection of the characteristics of Earthquake Environmental Effects at global level conducted in the frame of the INQUA TERPRO #0418 Project, with the aim to promote the use of EEE data for seismic hazard purposes.



Fig. 1 – Above: the devastating tsunami occurred on March 11, 2011 along the Eastern coast of Japan. Below: tsunami deposits in the Sendai coastal plain related to the AD 869 Jogan tsunami event (Okumura, 2011).

2. The ESI 2007 intensity scale in seven languages

2.1 Environmental Seismic Intensity scale - ESI 2007 (English)

MICHETTI A.M. (1), ESPOSITO E. (2), GUERRIERI L. (3), PORFIDO S. (2), SERVA L. (3), TATEVOSSIAN R. (4), VITTORI E. (3), AUDEMARD F. (5), AZUMA T. (6), CLAGUE J. (7), COMERCI V. (3), GURPINAR A. (8), MC CALPIN J. (9), MOHAMMADIOUN B. (10), MORNER N.A. (11), OTA Y. (12) & ROGHOZIN E. (13)

- (1) Dipartimento di Scienze Chimiche e Ambientali, Università dell'Insubria, Como, Italy.
- (2) Istituto per l'ambiente marino costiero, CNR, Napoli, Italy.
- (3) Geological Survey of Italy, ISPRA, Roma, Italy.
- (4) Institute of Physics of the Earth, RAS, Moscow, Russia.
- (5) FUNVISIS, Caracas, Venezuela.
- (6) National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tokyo, Japan.
- (7) Department of Earth Sciences, Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, Canada.
- (8) IAEA, Vienna, Austria.
- (9) GEO-HAZ Consulting, Crestone, Colorado, USA.
- (10) Robinswood Consultant, Saint Martin de Nigelles, France.
- (11) Institute for Paleogeodynamics & Paleogeophysics, Stockholm, Sweden.
- (12) Emerituous of Yokohama National University, Japan.
- (13) Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Introduction

Earthquake intensity is based on a classification of effects caused by the seismic event on man, on man-made structures (buildings and infrastructures) and on natural environment (environmental or geological effects). This intensity provides a measure of earthquake severity taking into account the effects in the whole range of frequencies of vibratory motion as well as static deformations.

All the intensity scales (Rossi-Forel, Mercalli, MCS, MSK, Mercalli Modified) consider the effects on natural environment as diagnostic elements for the evaluation of the intensity degree. Instead, some modern scales (e.g., Espinosa et al., 1976a; 1976b; Grunthal, 1998) consider only the effects on man and man-made structures, and strongly reduce the diagnostic relevance of environmental effects, based on the assumption that these effects are too variable and aleatory. Nevertheless, recent studies (e.g. Dengler & McPherson, 1993; Serva, 1994, Dowrick, 1996; Esposito et alii, 1997; Hancox et al., 2002; Michetti et alii, 2004) have provided clear evidences that the characteristics of geological and environmental effects, that are nowadays widely retrievable from historical and paleoseismological sources, are an essential information for the assessment of earthquake size and in particular of intensity.

With this aim, it was built the ESI 2007 intensity scale (Michetti et al., 2007) based only on environmental effects. Its use, alone or integrated with the other traditional scales affords a better picture of the earthquake scenario, because only environmental effects allow suitable comparison of the earthquake intensity both:

- *in time*: effects on the natural environment are comparable for a time-window (recent, historic and palaeo seismic events) much larger than the period of instrumental record (last century), and
- *in different geographic areas*: environmental effects do not depend on peculiar socio-economic conditions or different building practices.

Thus, the new scale aims at integrating traditional seismic scales:

- for earthquake intensity degree larger or equal to X, when damage-based assessments are extremely difficult, while environmental effects are still diagnostic;
- in sparsely populated areas, where the effects on man-made structures are lacking and therefore intensity assessments have to be based on the environmental effects, which are the only available diagnostic elements.

The definition of intensity degrees is the result of a revision conducted by an International Working Group formed by geologists, seismologists and engineers focused on the effects caused by a large number of earthquakes at global level. The ESI 2007 has been ratified by INQUA (International Union for Quaternary Research) at the XVII INQUA Congress (Cairns, Australia) in 2007.

Description

The ESI 2007 intensity scale is structured in twelve degrees. The title of each degree reflects the corresponding force of the earthquake and the role of environmental effects. In the description, the characteristics and size of primary effects associated to each degree are reported firstly. Then, secondary effects are described in terms of total area of distribution for the assessment of epicentral Intensity grouped in several categories, ordered by the initial degree of occurrence. Text in *Italic* has been used to highlight descriptions regarded as diagnostic by itself for a given degree.

Primary effects are directly linked to the earthquake energy and in particular to the surface expression of the seismogenic source. The size of primary effects is typically expressed in terms of two parameters: i) Total Surface Rupture Length (SRL) and ii) Maximum Displacement (MD). Their occurrence is commonly associated to a minimum intensity value (VIII), except in case of very shallow earthquakes in volcanic areas. Amount of tectonic surface deformation (uplift, subsidence) is also taken into account.

Secondary effects are any phenomena induced by the ground shaking and are classified into eight main categories.

- Hydrological anomalies***: in this category are reported changes in water discharge of springs, and rivers as well as changes in the chemical-physical properties of surface and groundwater (e.g. temperature, turbidity). These effects are diagnostic from IV to X degree.
- Anomalous waves/tsunamis*** : In this category are included: seiches in closed basins, outpouring of water from pools and basins, and tsunami waves. In the case of tsunamis, more than the size of the tsunami wave itself, the effects on the shores (especially run-up, beach erosion, change of coastal morphology), without neglecting those on humans and manmade structures, are taken as diagnostic of the suffered intensity. Effects may already occur at intensity IV, but are more diagnostic from IX to XII.
- Ground cracks***: ground cracks are described in terms of length (from cm to some hundreds of meters), width (from mm to m), areal density. Ground cracks show up from intensity IV and saturate (i.e. their size does not increase) at intensity X .
- Slope movements***: this category comprehends all the typologies of landslides, including rockfalls, slides and earth flows. When the lithological and morphological context is similar, diagnostic parameters are volume and total area. They show up at intensity IV and saturate (i.e. their size does not increase) at intensity X.
- Trees shaking***: These effects are diagnostic from IV to X degree The definition of intensity degrees basically follows these provided by Dengler and McPherson (1993).

- f) **Liquefactions:** in this category are included sand volcanoes, water and sand fountains, some types of lateral spreading, ground compaction and subsidence. Their size is diagnostic for intensity degree from V to X.
- g) **Dust clouds:** may be observed in arid/dry areas, starting from VIII degree.
- h) **Jumping stones:** the maximum size of jumping stones is diagnostic for intensity assessment. These effects may be observed from minimum intensity IX up to XII. Such evidences show that ground acceleration larger than gravity may locally occur starting from intensity IX.

Environmental effects may be observed and characterized from intensity IV. Some types of environmental effects (hydrological anomalies) may be observed even in lower degrees, but cannot be characterized to be considered diagnostic elements. Accuracy of evaluation increases towards the highest degrees, in particular in the range of occurrence of primary effects (typically from intensity VIII), with resolution up to intensity XII. From intensity X, effects on man and man-made structures saturate (i.e. buildings are often completely destroyed) and therefore it is not possible to distinguish between different intensity degrees. In this range, environmental effects are dominant and therefore are the most powerful tool for intensity evaluation.

How to use the ESI 2007 intensity scale

The use of the ESI intensity scale as an independent tool for intensity assessment is recommended when only environmental effects are diagnostic because effects on man and man-made structures are too scarce or saturate. When these latter are also available, it is possible to estimate two independent intensity assessments. In general, the final intensity will be equal to the higher value between both the assessments. Obviously, in this case an expert judgment will be essential.

Epicentral intensity (I_0) indicates the intensity of the shaking in correspondence to the epicenter. Surface faulting parameters and the total areal distribution of secondary effects (landslides and/or liquefactions) are two independent tools for assessing I_0 on the basis of environmental effects, starting from intensity VII (Table 1).

Specific care has to be paid when surface faulting parameters are at the boundaries between two different degrees. In this case, it should be selected the intensity value more consistent with characteristics and areal distribution of secondary effects. Moreover, in the evaluation of the total area, it is recommended to not including isolated effects occurred in the far field. This evaluation also requires an expert judgment.

Local intensity is basically evaluated through the description of secondary effects occurred in different "Sites" included in a specific Locality. This type of intensity has to be comparable with the corresponding traditional local intensity based on damages. Please note that a "Locality" can be referred to an inhabited area (a village, a town) but also to natural areas without human settlements. When only primary effects are present, it is also possible to use the local expression of surface faulting, in terms of maximum displacement.

I₀	PRIMARY EFFECTS		SECONDARY EFFECTS
	SURFACE RUPTURE LENGTH	MAX SURFACE DISPLACEMENT / DEFORMATION	TOTAL AREA
IV	-	-	-
V	-	-	-
VI	-	-	-
VII	(*)	(*)	10 km ²
VIII	Several hundreds meters	Centimetric	100 km ²
IX	1- 10 km	5 - 40 cm	1000 km ²
X	10 - 60 km	40 - 300 cm	5000 km ²
XI	60 – 150 km	300 –700 cm	10000 km ²
XII	> 150 km	> 700 cm	> 50000 km ²

(*) Limited surface fault ruptures, tens to hundreds meters long with centimetric offset may occur essentially associated to very shallow earthquakes in volcanic areas.

Tab. 1 – Ranges of surface faulting parameters (primary effects) and typical extents of total area (secondary effects) for each intensity degree.

Definition of intensity degrees

From I to III: There are no environmental effects that can be used as diagnostic.

IV Largely observed / First unequivocal effects in the environment

Primary effects are absent.

Secondary effects

- a) Rare small variations of the water level in wells and/or of the flow-rate of springs are locally recorded, as well as extremely rare small variations of chemical-physical properties of water and turbidity in springs and wells, especially within large karstic spring systems, which appear to be most prone to this phenomenon.
- b) In closed basins (lakes, even seas) seiches with height not exceeding a few centimeters may develop, commonly observed only by tidal gauges, exceptionally even by naked eye, typically in the far field of strong earthquakes. Anomalous waves are perceived by all people on small boats, few people on larger boats, most people on the coast. Water in swimming pools swings and may sometimes overflow.
- c) Hair-thin cracks (millimeter-wide) might be occasionally seen where lithology (e.g., loose alluvial deposits, saturated soils) and/or morphology (slopes or ridge crests) are most prone to this phenomenon.
- d) Exceptionally, rocks may fall and small landslides may be (re)activated, along slopes where the equilibrium is already near the limit state, e.g. steep slopes and cuts, with loose and generally saturated soil.
- e) Tree limbs shake feebly.

V Strong / Marginal effects in the environment

Primary effects are absent.

Secondary effects

- a) Rare variations of the water level in wells and/or of the flow-rate of springs are locally recorded, as well as small variations of chemical-physical properties of water and turbidity in lakes, springs and wells.
- b) In closed basins (lakes, even seas) seiches with height of decimeters may develop, sometimes noted also by naked eye, typically in the far field of strong earthquakes. Anomalous waves up to several tens of cm high are perceived by all people on boats and on the coast. Water in swimming pools overflows.
- c) Thin cracks (millimeter-wide and several cms up to one meter long) are locally seen where lithology (e.g., loose alluvial deposits, saturated soils) and/or morphology (slopes or ridge crests) are most prone to this phenomenon.
- d) Rare small rockfalls, rotational landslides and slump earth flows may take place, along often but not necessarily steep slopes where equilibrium is near the limit state, mainly loose deposits and saturated soil. Underwater landslides may be triggered, which can induce small anomalous waves in coastal areas of sea and lakes.
- e) Tree limbs and bushes shake slightly, very rare cases of fallen dead limbs and ripe fruit.
- f) Extremely rare cases are reported of liquefaction (sand boil), small in size and in areas most prone to this phenomenon (highly susceptible, recent, alluvial and coastal deposits, near-surface water table).

VI Slightly damaging / Modest effects in the environment

Primary effects are absent.

Secondary effects:

- a) Significant variations of the water level in wells and/or of the flow-rate of springs are locally recorded, as well as small variations of chemical-physical properties of water and turbidity in lakes, springs and wells.
- b) Anomalous waves up to many tens of cm high flood very limited areas nearshore. Water in swimming pools and small ponds and basins overflows.

- c) *Occasionally, millimeter-centimeter wide and up to several meters long fractures are observed in loose alluvial deposits and/or saturated soils; along steep slopes or riverbanks they can be 1-2 cm wide. A few minor cracks develop in paved (either asphalt or stone) roads.*
- d) Rockfalls and landslides with volume reaching ca. 10^3 m^3 can take place, especially where equilibrium is near the limit state, e.g. steep slopes and cuts, with loose saturated soil, or highly weathered / fractured rocks. Underwater landslides can be triggered, occasionally provoking small anomalous waves in coastal areas of sea and lakes, commonly seen by instrumental records.
- e) *Trees and bushes shake moderately to strongly; a very few tree tops and unstable-dead limbs may break and fall, also depending on species, fruit load and state of health.*
- f) *Rare cases are reported of liquefaction (sand boil), small in size and in areas most prone to this phenomenon (highly susceptible, recent, alluvial and coastal deposits, near surface water table).*

VII Damaging / Appreciable effects in the environment

Primary effects observed very rarely, and almost exclusively in volcanic areas. Limited surface fault ruptures, tens to hundreds of meters long and with centimetric offset, may occur, essentially associated to very shallow earthquakes.

Secondary effects: The total affected area is in the order of 10 km^2 .

- a) Significant temporary variations of the water level in wells and/or of the flow-rate of springs are locally recorded. Seldom, small springs may temporarily run dry or appear. Weak variations of chemical-physical properties of water and turbidity in lakes, springs and wells are locally observed.
- b) Anomalous waves even higher than a meter may flood limited nearshore areas and damage or wash away objects of variable size. Water overflows from small basins and watercourses.
- c) *Fractures up to 5-10 cm wide and up to hundred metres long are observed, commonly in loose alluvial deposits and/or saturated soils; rarely in dry sand, sand-clay, and clay soil fractures, up to 1 cm wide. Centimeter-wide cracks are common in paved (asphalt or stone) roads.*
- d) Scattered landslides occur in prone areas, where equilibrium is unstable (steep slopes of loose / saturated soils), while modest rock falls are common on steep gorges, cliffs). Their size is sometimes significant ($10^3 - 10^5 \text{ m}^3$); in dry sand, sand-clay, and clay soil, the volumes are usually up to 100 m^3 . Ruptures, slides and falls may affect riverbanks and artificial embankments and excavations (e.g., road cuts, quarries) in loose sediment or weathered / fractured rock. Significant underwater landslides can be triggered, provoking anomalous waves in coastal areas of sea and lakes, directly felt by people on boats and ports.
- e) Trees and bushes shake vigorously; especially in densely forested areas, many limbs and tops break and fall.
- f) *Rare cases are reported of liquefaction, with sand boils up to 50 cm in diameter, in areas most prone to this phenomenon (highly susceptible, recent, alluvial and coastal deposits, near surface water table).*

VIII Heavily damaging / Extensive effects in the environment

Primary effects: observed rarely.

Ground ruptures (surface faulting) may develop, up to several hundred meters long, with offsets not exceeding a few cm, particularly for very shallow focus earthquakes such as those common in volcanic areas. Tectonic subsidence or uplift of the ground surface with maximum values on the order of a few centimeters may occur.

Secondary effects: The total affected area is in the order of 100 km^2 .

- a) Springs may change, generally temporarily, their flow-rate and/or elevation of outcrop. Some small springs may even run dry. Variations in water level are observed in wells. Weak variations of chemical-physical properties of water, most commonly temperature, may be observed in springs and/or wells. Water turbidity may appear in closed basins, rivers, wells and springs. Gas emissions, often sulphureous, are locally observed.
- b) Anomalous waves up to 1-2 meters high flood nearshore areas and may damage or wash away objects of variable size. Erosion and dumping of waste is observed along the beaches, where some bushes and even small weak-rooted trees can be eradicated and drifted away. Water violently overflows from small basins and watercourses.

- c) *Fractures up to 50 cm wide are and up to hundreds metres long commonly observed in loose alluvial deposits and/or saturated soils; in rare cases fractures up to 1 cm can be observed in competent dry rocks. Decimetric cracks common in paved (asphalt or stone) roads, as well as small pressure undulations.*
- d) *Small to moderate (10^3 - 10^5 m³) landslides widespread in prone areas; rarely they can occur also on gentle slopes; where equilibrium is unstable (steep slopes of loose / saturated soils; rock falls on steep gorges, coastal cliffs) their size is sometimes large (10^5 - 10^6 m³). Landslides can occasionally dam narrow valleys causing temporary or even permanent lakes. Ruptures, slides and falls affect riverbanks and artificial embankments and excavations (e.g., road cuts, quarries) in loose sediment or weathered / fractured rock. Frequent occurrence of landslides under the sea level in coastal areas.*
- e) *Trees shake vigorously; branches may break and fall, even uprooted trees, especially along steep slopes.*
- f) *Liquefaction may be frequent in the epicentral area, depending on local conditions; sand boils up to ca. 1 m in diameter; apparent water fountains in still waters; localised lateral spreading and settlements (subsidence up to ca. 30 cm), with fissuring parallel to waterfront areas (river banks, lakes, canals, seashores).*
- g) *In dry areas, dust clouds may rise from the ground in the epicentral area.*
- h) *Stones and even small boulders and tree trunks may be thrown in the air, leaving typical imprints in soft soil.*

IX Destructive / Effects in the environment are a widespread source of considerable hazard and become important for intensity assessment

Primary effects: observed commonly.

Ground ruptures (surface faulting) develop, up to a few km long, with offsets generally in the order of several cm. Tectonic subsidence or uplift of the ground surface with maximum values in the order of a few decimeters may occur.

Secondary effects: *The total affected area is in the order of 1000 km².*

- a) *Springs can change, generally temporarily, their flow-rate and/or location to a considerable extent. Some modest springs may even run dry. Temporary variations of water level are commonly observed in wells. Water temperature often changes in springs and/or wells. Variations of chemical-physical properties of water, most commonly temperature, are observed in springs and/or wells. Water turbidity is common in closed basins, rivers, wells and springs. Gas emissions, often sulphureous, are observed, and bushes and grass near emission zones may burn.*
- b) *Meters high waves develop in still and running waters. In flood plains water streams may even change their course, also because of land subsidence. Small basins may appear or be emptied. Depending on shape of sea bottom and coastline, dangerous tsunamis may reach the shores with runups of up to several meters flooding wide areas. Widespread erosion and dumping of waste is observed along the beaches, where bushes and trees can be eradicated and drifted away.*
- c) *Fractures up to 100 cm wide and up to hundreds metres long are commonly observed in loose alluvial deposits and/or saturated soils; in competent rocks they can reach up to 10 cm. Significant cracks common in paved (asphalt or stone) roads, as well as small pressure undulations.*
- d) *Landsliding widespread in prone areas, also on gentle slopes; where equilibrium is unstable (steep slopes of loose / saturated soils; rock falls on steep gorges, coastal cliffs) their size is frequently large (10^5 m³), sometimes very large (10^6 m³). Landslides can dam narrow valleys causing temporary or even permanent lakes. Riverbanks, artificial embankments and excavations (e.g., road cuts, quarries) frequently collapse. Frequent large landslides under the sea level in coastal areas.*
- e) *Trees shake vigorously; branches and thin tree trunks frequently break and fall. Some trees might be uprooted and fall, especially along steep slopes.*
- f) *Liquefaction and water upsurge are frequent; sand boils up to 3 m in diameter; apparent water fountains in still waters; frequent lateral spreading and settlements (subsidence of more than ca. 30 cm), with fissuring parallel to waterfront areas (river banks, lakes, canals, seashores).*
- g) *In dry areas, dust clouds commonly rise from the ground.*
- h) *Small boulders and tree trunks may be thrown in the air and move away from their site for meters, also depending on slope angle and roundness, leaving typical imprints in soft soil.*

X Very destructive / Effects on the environment become a leading source of hazard and are critical for intensity assessment

Primary effects become leading.

Surface faulting can extend for few tens of km, with offsets from tens of cm up to a few meters. Gravity grabens and elongated depressions develop; for very shallow focus earthquakes in volcanic areas rupture lengths might be much lower. Tectonic subsidence or uplift of the ground surface with maximum values in the order of few meters may occur.

Secondary effects. *The total affected area is in the order of 5000 km².*

- a) Many springs significantly change their flow-rate and/or elevation of outcrop. Some springs may run temporarily or even permanently dry. Temporary variations of water level are commonly observed in wells. Even strong variations of chemical-physical properties of water, most commonly temperature, are observed in springs and/or wells. Often water becomes very muddy in even large basins, rivers, wells and springs. Gas emissions, often sulphureous, are observed, and bushes and grass near emission zones may burn.
- b) *Meters high waves develop in even big lakes and rivers, which overflow from their beds. In flood plains rivers may change their course, temporary or even permanently, also because of widespread land subsidence. Basins may appear or be emptied. Depending on shape of sea bottom and coastline, tsunamis may reach the shores with runups exceeding 5 m flooding flat areas for thousands of meters inland. Small boulders can be dragged for many meters. Widespread deep erosion is observed along the shores, with noteworthy changes of the coastline profile. Trees nearshore are eradicated and drifted away.*
- c) *Open ground cracks up to more than 1 m wide and up to hundred metres long are frequent, mainly in loose alluvial deposits and/or saturated soils; in competent rocks opening reach several decimeters. Wide cracks develop in paved (asphalt or stone) roads, as well as pressure undulations.*
- d) *Large landslides and rock-falls ($> 10^5 - 10^6 \text{ m}^3$) are frequent, practically regardless to equilibrium state of the slopes, causing temporary or permanent barrier lakes. River banks, artificial embankments, and sides of excavations typically collapse. Levees and earth dams may even incur serious damage. Frequent large landslides under the sea level in coastal areas.*
- e) *Trees shake vigorously; many branches and tree trunks break and fall. Some trees might be uprooted and fall.*
- f) *Liquefaction, with water upsurge and soil compaction, may change the aspect of wide zones; sand volcanoes even more than 6 m in diameter; vertical subsidence even $> 1\text{m}$; large and long fissures due to lateral spreading are common.*
- g) In dry areas, dust clouds may rise from the ground.
- h) *Boulders (diameter in excess of 2-3 meters) can be thrown in the air and move away from their site for hundreds of meters down even gentle slopes, leaving typical imprints in soil.*

XI Devastating / Effects on the environment become decisive for intensity assessment, due to saturation of structural damage

Primary effects are dominant

Surface faulting extends from several tens of km up to more than one hundred km, accompanied by offsets reaching several meters. Gravity graben, elongated depressions and pressure ridges develop. Drainage lines can be seriously offset. Tectonic subsidence or uplift of the ground surface with maximum values in the order of numerous meters may occur.

Secondary effects. *The total affected area is in the order of 10.000 km².*

- a) Many springs significantly change their flow-rate and/or elevation of outcrop. Many springs may run temporarily or even permanently dry. Temporary or permanent variations of water level are generally observed in wells. Even strong variations of chemical-physical properties of water, most commonly temperature, are observed in springs

and/or wells. Often water becomes very muddy in even large basins, rivers, wells and springs. Gas emissions, often sulphureous, are observed, and bushes and grass near emission zones may burn.

- b) *Large waves develop in big lakes and rivers, which overflow from their beds. In flood plains rivers can change their course, temporary or even permanently, also because of widespread land subsidence and landsliding. Basins may appear or be emptied. Depending on shape of sea bottom and coastline, tsunamis may reach the shores with runups reaching 15 meters and more devastating flat areas for kilometers inland. Even meter-sized boulders can be dragged for long distances. Widespread deep erosion is observed along the shores, with noteworthy changes of the coastal morphology. Trees nearshore are eradicated and drifted away.*
- c) Open ground cracks up to several meters wide are very frequent, mainly in loose alluvial deposits and/or saturated soils. In competent rocks they can reach 1 m. Very wide cracks develop in paved (asphalt or stone) roads, as well as large pressure undulations.
- d) *Large landslides and rock-falls ($> 10^5 - 10^6 \text{ m}^3$) are frequent, practically regardless to equilibrium state of the slopes, causing many temporary or permanent barrier lakes. River banks, artificial embankments, and sides of excavations typically collapse. Levees and earth dams incur serious damage. Significant landslides can occur at 200 – 300 km distance from the epicenter. Frequent large landslides under the sea level in coastal areas.*
- e) *Trees shake vigorously; many branches and tree trunks break and fall. Many trees are uprooted and fall.*
- f) *Liquefaction changes the aspect of extensive zones of lowland, determining vertical subsidence possibly exceeding several meters, numerous large sand volcanoes, and severe lateral spreading features.*
- g) In dry areas dust clouds arise from the ground.
- h) *Big boulders (diameter of several meters) can be thrown in the air and move away from their site for long distances down even gentle slopes., leaving typical imprints in soil.*

XII Completely devastating / Effects in the environment are the only tool for intensity assessment

Primary effects are dominant.

Surface faulting is at least few hundreds of km long, accompanied by offsets reaching several tens of meters. Gravity graben, elongated depressions and pressure ridges develop. Drainage lines can be seriously offset. Landscape and geomorphological changes induced by primary effects can attain extraordinary extent and size (typical examples are the uplift or subsidence of coastlines by several meters, appearance or disappearance from sight of significant landscape elements, rivers changing course, origination of waterfalls, formation or disappearance of lakes).

Secondary effects *The total affected area is in the order of 50.000 km^2 and more.*

- a) Many springs significantly change their flow-rate and/or elevation of outcrop. Temporary or permanent variations of water level are generally observed in wells. Many springs and wells may run temporarily or even permanently dry. Strong variations of chemical-physical properties of water, most commonly temperature, are observed in springs and/or wells. Water becomes very muddy in even large basins, rivers, wells and springs. Gas emissions, often sulphureous, are observed, and bushes and grass near emission zones may burn.
- b) *Giant waves develop in lakes and rivers, which overflow from their beds. In flood plains rivers change their course and even their flow direction, temporary or even permanently, also because of widespread land subsidence and landsliding. Large basins may appear or be emptied. Depending on shape of sea bottom and coastline, tsunamis may reach the shores with runups of several tens of meters devastating flat areas for many kilometers inland. Big boulders can be dragged for long distances. Widespread deep erosion is observed along the shores, with outstanding changes of the coastal morphology. Many trees are eradicated and drifted away. All boats are tore from their moorings and swept away or carried onshore even for long distances. All people outdoor are swept away.*
- c) Ground open cracks are very frequent, up to one meter or more wide in the bedrock, up to more than 10 m wide in loose alluvial deposits and/or saturated soils. These may extend up to several kilometers in length.
- d) *Large landslides and rock-falls ($> 10^5 - 10^6 \text{ m}^3$) are frequent, practically regardless to equilibrium state of the slopes, causing many temporary or permanent barrier lakes. River banks, artificial embankments, and sides of excavations typically collapse. Levees and earth dams incur serious damage. Significant landslides can occur at more than 200 – 300 km distance from the epicenter. Frequent very large landslides under the sea level in coastal areas*

- e) Trees shake vigorously; many branches and tree trunks break and fall. Many trees are uprooted and fall.
- f) *Liquefaction occurs over large areas and changes the morphology of extensive flat zones, determining vertical subsidence exceeding several meters, widespread large sand volcanoes, and extensive severe lateral spreading features.*
- g) In dry areas dust clouds arise from the ground.
- h) Also very big boulders can be thrown in the air and move for long distances even down very gentle slopes, leaving typical imprints in soil.

2.2. La scala di intensità sismica ESI 2007 (Italian)

TRADUZIONE A CURA DI: GUERRIERI L. (1), ESPOSITO E. (2), PORFIDO S. (2), MICHETTI A.M. (3) & VITTORI E. (1)

(1) Geological Survey of Italy, ISPRA, Roma, Italy

(2) Istituto per l'ambiente marino costiero, CNR, Napoli, Italy.

(3) Dipartimento di Scienze Chimiche e Ambientali, Università dell'Insubria, Como, Italy.

Introduzione

L'intensità di un terremoto si definisce in base alla classificazione degli effetti prodotti dal sisma sull'uomo, sulle costruzioni (edifici e infrastrutture) e sull'ambiente naturale (effetti geologici e ambientali). L'intensità così determinata consente di misurare la severità dell'evento sismico tenendo conto sia degli effetti nell'intero intervallo di frequenze del moto vibratorio sia delle deformazioni statiche.

Tutte le scale d'intensità (Rossi-Forel, Mercalli, MCS, MSK, Mercalli Modificata) considerano gli effetti sull'ambiente naturale quali elementi diagnostici utili per la valutazione del grado di intensità. Alcune scale moderne (e.g., Espinosa et al., 1976a; 1976b; Grunthal, 1998) considerano invece fondamentalmente gli effetti sull'uomo e sul costruito, riducendo notevolmente il significato diagnostico degli effetti sull'ambiente, tutto ciò sulla base dell'assunzione che essi sono molto più variabili degli altri effetti e quindi potenzialmente aleatori. Studi recenti (es. Dengler & McPherson, 1993; Serva, 1994, Dowrick, 1996; Esposito et alii, 1997; Hancox et al., 2002; Michetti et alii, 2004) hanno invece fornito chiare evidenze che gli effetti geologici ed ambientali, dei quali oggi si dispone di un database storico e, soprattutto, paleosismologico, estremamente ricco, sono in grado di fornire informazioni fondamentali per la stima delle dimensioni del terremoto ed in particolare dell'intensità.

Con questo obiettivo è stata realizzata la scala di intensità ESI 2007 (Michetti et al., 2007) che si basa esclusivamente sugli effetti geologici e ambientali. Il suo utilizzo, da solo o insieme ad altre scale macrosismiche "tradizionali", fornisce il quadro più completo degli effetti del terremoto, in quanto solamente gli effetti ambientali sono confrontabili:

- *nel tempo*: infatti la finestra temporale dei terremoti recenti, storici e paleo sismici è assai più grande del periodo strumentale (ultimo secolo), e
- *in diverse aree geografiche*: gli effetti ambientali non dipendono da specifiche condizioni socio-economiche o da diverse pratiche costruttive.

Pertanto lo scopo è quello di integrare le scale d'intensità sismica tradizionali, ovvero:

- per i terremoti con intensità maggiori o uguali al X grado, in quanto spesso la stima del danneggiamento sul costruito risulta estremamente difficoltosa, mentre gli effetti geologici e ambientali continuano ad essere presenti e diagnostici;
- in aree scarsamente abitate o deserte, dove gli effetti sulle strutture antropiche sono assenti o comunque radi e la valutazione dell'intensità del terremoto deve necessariamente basarsi sugli effetti sull'ambiente, unici elementi disponibili.

La definizione dei gradi di intensità è frutto di una revisione critica dei dati di un elevato numero di terremoti avvenuti in tutto il mondo da parte di un gruppo di lavoro internazionale composto da geologi, sismologi ed ingegneri. La ESI 2007 è stata ratificata dall'INQUA (International Union for Quaternary Research) durante il XVII INQUA Congress tenutosi a Cairns (Australia) nel 2007.

Descrizione

La scala ESI 2007 è strutturata in dodici gradi. Il titolo di ciascun grado riflette la severità del terremoto ed il ruolo degli effetti sull'ambiente. Nella descrizione sono riportate in primo luogo le caratteristiche degli effetti primari ossia la fagliazione superficiale e le altre deformazioni di origine tettonica. Quindi gli effetti secondari sono descritti in termini di area totale di occorrenza (per la valutazione dell'intensità epicentrale), raggruppate nelle diverse categorie e ordinate in senso crescente a seconda del grado in cui essi iniziano a manifestarsi. Il testo in *corsivo* evidenzia le descrizioni ritenute maggiormente diagnostiche per il dato grado di intensità.

Gli **effetti primari** direttamente legati all'energia del terremoto e in particolare, alla manifestazione in superficie della faglia sismo genetica, sono espressi in termini di due parametri fondamentali: la lunghezza totale della rottura in superficie (*SRL total surface rupture length*), e la massima dislocazione ad essa associata (*MD maximum displacement*). Si osservano generalmente al di sopra di una certa soglia di magnitudo e si manifestano in genere a partire dall'VIII grado ESI, salvo in alcune zone vulcaniche dove eventi sismici molto superficiali possono dare luogo ad effetti primari già al VII grado. Rientrano negli effetti primari anche le deformazioni della superficie topografica di natura tettonica (*uplift*, subsidenza).

Gli **effetti secondari**, indotti dallo scuotimento sismico, sono classificati in otto categorie principali:

- 1) **Anomalie idrologiche**: in questa categoria sono comprese le variazioni di portata delle sorgenti e dei corsi d'acqua e le modificazioni delle proprietà chimico-fisiche delle acque superficiali e sotterranee (es. temperatura, torbidità). Sono diagnostici a partire dal IV fino al X grado.
- 2) **Onde anomale/tsunami**: questa categoria comprende tutte le onde anomale dalle piccole onde di sassa in specchi lacustri, fino alle onde anomale legate a maremoti. Le altezze variano da pochi centimetri ad alcune decine di metri. Si rilevano a partire dal IV fino al XII grado.
- 3) **Fratture al suolo**: le fratture nel terreno sono descritte in termini di lunghezza (da centimetrica fino a qualche centinaio di metri), di ampiezza (da millimetrica a metrica), di densità areale. Sono diagnostiche a partire dal IV fino al X grado.
- 4) **Movimenti di versante**: in questa classe sono comprese tutte le tipologie di fenomeni franosi, dai crolli agli scivolamenti, agli scoscendimenti, fino alle colate in terra. A parità di condizioni predisponenti (energia di rilievo, litologia), sono considerati elementi utili per la valutazione dell'intensità il volume e l'area totale in frana. Sono diagnostici a partire dal IV fino al X grado.
- 5) **Scuotimenti degli alberi (trees'shaking)**: sono diagnostici a partire dal IV fino al XI grado. La definizione del grado di intensità segue quella proposta da Dengler & McPherson (1993).
- 6) **Liquefazioni**: sono compresi tutti gli effetti imputabili al fenomeno della liquefazione, ovvero i vulcanelli di sabbia, le fontane di acqua e sabbia, alcune tipologie di espansione laterale, di compattazione e di subsidenza. Le dimensioni dei fenomeni concorrono a stabilire il grado di intensità. Sono diagnostici a partire dal V fino al X grado.
- 7) **Nuvole di polvere**, sono osservabili nelle zone generalmente aride/secche, a partire dall'VIII grado.
- 8) **Massi saltanti**, le dimensioni massime dei massi che dal terreno vengono scagliati verso l'alto e l'impronta lasciata sul suolo sono fattori diagnostici ai fini dell'attribuzione del grado di intensità. Sono osservabili a partire dal IX grado fino al XII. Queste evidenze mostrano che accelerazioni del suolo superiori a quella di gravità si possono produrre a partire dal IX grado.

Gli effetti ambientali sono pertanto osservabili e di facile identificazione a partire dal IV grado. Dal I al III grado, gli effetti ambientali, pur osservabili in alcune tipologie (soprattutto nel campo delle

variazioni idrologiche), non sono attualmente così ben caratterizzati da poter essere considerati diagnostici. L'accuratezza della valutazione aumenta verso i gradi più alti della scala, in particolare nell'intervallo di occorrenza degli effetti primari, che tipicamente iniziano a manifestarsi dall'VIII grado con risoluzione crescente fino al XII grado. A partire dal X grado gli effetti sull'uomo e sulle strutture giungono a saturazione, ossia gli edifici sono completamente distrutti e pertanto non consentono di distinguere i diversi gradi di intensità. Gli effetti sull'ambiente divengono allora dominanti in questo range di intensità, rappresentando di fatto lo strumento più efficace per la valutazione dell'intensità.

Come si utilizza la scala ESI 2007

L'utilizzo della ESI 2007 come uno strumento indipendente di valutazione viene raccomandato solamente quando solo gli effetti ambientali sono diagnostici perché gli effetti sull'uomo o sul costruito sono assenti o troppo scarsi (es. in aree scarsamente abitate o deserte) o perché giungono a saturazione. Ovviamente, quando gli effetti ambientali non sono disponibili l'intensità viene valutata solo con le scale macrosismiche tradizionali basate sugli effetti sull'uomo e sul costruito.

Quando sono disponibili sia effetti sull'uomo e sul costruito, che sull'ambiente è possibile stimare due valori di intensità in maniera indipendente. In generale, il valore finale di intensità è il maggiore tra le due stime. Naturalmente, anche in questo caso è essenziale l'esperienza del rilevatore (corretto giudizio professionale).

L'intensità epicentrale (I_0), ovvero l'intensità dello scuotimento all'epicentro, indica quale intensità si sarebbe registrata se ci fosse stato un centro abitato in corrispondenza dell'epicentro. I parametri di fagliazione superficiale e l'area totale di distribuzione degli effetti secondari (frane e/o liquefazioni) sono due strumenti indipendenti per valutare I_0 sulla base degli effetti ambientali, a partire dal grado di intensità VII in su (Tabella 1).

Particolare attenzione è richiesta quando i parametri di fagliazione superficiale sono al limite tra due gradi. In questo caso è raccomandabile scegliere il grado di intensità più consistente con le caratteristiche e la distribuzione degli effetti secondari.

Inoltre, nella valutazione dell'area totale, è raccomandato di non considerare gli effetti isolati che si verificano occasionalmente in zone a notevole distanza dall'epicentro. Tale valutazione richiede evidentemente un giudizio professionale *ad hoc*.

I_0	EFFETTI PRIMARI		EFFETTI SECONDARI
	LUNGHEZZA DELLA ROTTURA IN SUPERFICIE	MASSIMO RIGETTO SUPERFICIALE	AREA TOTALE
IV	-	-	-
V	-	-	-
VI	-	-	-
VII	(*)	(*)	10 km ²
VIII	Diverse centinaia di metri	Qualche cm	100 km ²
IX	1- 10 km	5 - 40 cm	1000 km ²
X	10 - 60 km	40 - 300 cm	5000 km ²
XI	60 - 150 km	300 - 700 cm	10000 km ²
XII	> 150 km	> 700 cm	> 50000 km ²

(*) Rotture superficiali dovute a fagliazione limitata, da dieci a centinaia di metri con rigetti centimetrici si possono verificare in aree vulcaniche, associate essenzialmente a terremoti assai superficiali.

Tab. 1 – Per ciascun grado di intensità sono riportati gli intervalli tipici dei parametri di fagliazione superficiale (effetti primari) e la tipica area di estensione totale degli effetti secondari.

L'intensità locale viene essenzialmente stimata attraverso la descrizione degli effetti secondari avvenuti in diversi "Siti" compresi tutti in una determinata Località. Questo tipo di intensità deve essere confrontabile con quella corrispondente ricavabile da un'analisi macrosismica tradizionale. Comunque una "Località" può riferirsi sia a località effettivamente abitate (un paese, una città), sia ad aree naturali prive di insediamenti antropici. Quando sono disponibili solo effetti primari, è anche possibile utilizzare l'espressione locale della fagliazione superficiale, in termini di massimo rigetto.

Definizione dei Gradi di Intensità

Da I a III: Non ci sono effetti sull'ambiente che possono essere usati come diagnostici per la valutazione del grado di intensità

IV AMPIAMENTE AVVERTITO / Primi inequivocabili effetti sull'ambiente

Gli effetti primari sono assenti.

Effetti secondari

- f) In rari casi si osservano modeste variazioni locali del livello idrico nei pozzi e/o della portata delle sorgenti, nonché assai rare e modeste variazioni delle proprietà chimico-fisiche delle acque e della torbidità nelle sorgenti e nei pozzi, con particolare riferimento alle sorgenti dei sistemi carsici, che risultano più soggette a questi fenomeni.
- g) In bacini chiusi (laghi, talvolta anche mari), si possono produrre sesse di altezza non superiore ad alcuni centimetri, registrabili unicamente dai mareografi e solo eccezionalmente ad occhio nudo. Tipicamente si verificano nell'area di *far field* di forti terremoti. Onde anomale sono avvertite da tutti coloro che si trovano su piccole imbarcazioni, solamente da alcuni che si trovano su battelli di maggiori dimensioni, e dalla maggior parte di chi si trova sulla riva. L'acqua nelle piscine oscilla e in alcuni casi fuoriesce.
- h) Fratture molto sottili (ampiezza millimetrica) possono occasionalmente prodursi laddove la litologia (cfr. depositi alluvionali sciolti, terreni saturi) e/o la morfologia (cfr. versanti o creste) sono particolarmente favorevoli a questo fenomeno.
- i) Eccezionalmente possono verificarsi crolli e (ri) attivarsi piccoli movimenti franosi, lungo versanti che si trovano in condizioni di equilibrio limite (cfr. versanti molto ripidi, tagli stradali in terreni sciolti e generalmente saturi).
- j) I rami degli alberi si scuotono debolmente.

V FORTE / Effetti ambientali marginali

Gli effetti primari sono assenti.

Effetti secondari

- g) Raramente si registrano variazioni locali del livello idrico nei pozzi e/o di portata delle sorgenti nonché modeste variazioni delle proprietà chimico-fisiche delle acque, della torbidità in laghi, sorgenti e pozzi.
- h) Nei bacini chiusi (laghi, talvolta anche mari), si possono produrre sesse di altezza decimetrica, talvolta visibili ad occhio nudo: tipicamente si verificano nell'area di *far field* di forti terremoti. Onde anomale di altezza anche pari a diverse decine di centimetri sono percepite da tutti coloro che si trovano in barca o sulla riva. L'acqua nelle piscine tracima.
- i) Fratture sottili (ampiezza millimetrica e lunghezza centimetrica fino ad un metro) si producono laddove la litologia (cfr. depositi alluvionali sciolti, terreni saturi) e/o la morfologia (versanti e creste) sono particolarmente favorevoli a questo fenomeno.
- j) Raramente si possono verificare piccoli crolli, scorrimenti rotazionali e colate di terra, su versanti in condizioni di equilibrio limite, spesso ma non necessariamente molto ripidi, su terreni generalmente sciolti e saturi. Possono attivarsi frane sottomarine in grado di indurre piccole onde anomale sulle coste di mari e laghi.
- k) I rami degli alberi e i cespugli si scuotono leggermente e, molto raramente, cadono rami secchi e frutti maturi.
- l) Si osservano assai rari casi di liquefazione (vulcanelli di sabbia – *sand boils*) di piccole dimensioni e nelle aree maggiormente favorevoli a questo fenomeno (depositi recenti, alluvionali e costieri, altamente suscettibili, con falda prossima al piano campagna).

VI LIEVEMENTE DANNOSO / Effetti ambientali modesti

Gli effetti primari sono assenti.

Effetti secondari

- g) Variazioni significative del livello idrico nei pozzi e/o della portata delle sorgenti si registrano localmente, nonché modifiche delle proprietà chimico-fisiche dell'acqua e della torbidità in laghi, sorgenti e pozzi.
- h) Onde anomale alte fino a diverse decine di centimetri possono allagare un'area molto limitata prossima alla linea di costa. L'acqua fuoriesce dalle piscine e da piccoli stagni e specchi d'acqua.
- i) *Occasionalmente, si osservano fratture di ampiezza millimetrico-centimetrica e di lunghezza anche di parecchi metri in depositi alluvionali sciolti e/o in terreni saturi; lungo versanti ripidi o argini di corsi d'acqua possono essere ampie 1-2 cm. Fratture minori si formano nella pavimentazione stradale (sia in asfalto che in pietra).*
- j) Possono verificarsi crolli e fenomeni franosi con volumi fino all'ordine di grandezza dei 1000 m³, specialmente in condizioni di equilibrio limite (cfr. versanti ripidi e tagli, terreni sciolti saturi o rocce profondamente alterate e/o fratturate). Frane sottomarine si possono occasionalmente attivare causando piccole onde anomale nelle zone costiere di mari e laghi, di solito registrate strumentalmente.
- k) *Alberi e cespugli oscillano da moderatamente a fortemente; a seconda della specie, del carico di frutti e dello stato di salute della pianta, poche cime di alberi e rami instabili o secchi possono rompersi e cadere.*
- l) *Rari casi di liquefazione (sand boil), di piccole dimensioni, sono riportati nelle aree maggiormente favorevoli a questo fenomeno (depositi recenti, alluvionali e costieri, altamente suscettibili, con falda prossima al piano campagna).*

VII DANNOSO / Significativi effetti sull'ambiente

Effetti primari: si osservano assai raramente, e quasi esclusivamente in aree vulcaniche. Limitata fagliazione superficiale, da decine a centinaia di metri di lunghezza e rigetti centimetrici, può prodursi, associata fondamentalmente a terremoti molto superficiali.

Effetti secondari: l'area totale interessata da effetti secondari è nell'ordine dei 10 km².

- g) Si registrano localmente significative variazioni temporanee del livello idrico nei pozzi e/o della portata delle sorgenti. Di rado, piccole sorgenti possono temporaneamente essicarsi o ne possono affiorare di nuove. Localmente si osservano modeste variazioni delle proprietà chimico-fisiche delle acque e della torbidità in laghi, sorgenti e pozzi.
- h) Onde anomale alte anche più di un metro possono allagare le zone prossime alla linea di riva e danneggiare o rimuovere oggetti di varie dimensioni. L'acqua fuoriesce da piccoli bacini e corsi d'acqua.
- i) *Fratture ampie fino a 5-10 cm e di lunghezza superiore al centinaio di metri si osservano comunemente nei depositi alluvionali sciolti e/o nei terreni saturi; raramente si producono fratture di ampiezza fino ad un cm in terreni sabbiosi asciutti, sabbioso-argillosi ed argillosi. Fratture di ampiezza centimetrica sono comuni nella pavimentazione stradale (asfalto o pietra).*
- j) Diffusi fenomeni franosi si verificano nelle zone in equilibrio instabile (versanti ripidi di terreni sciolti / saturi), mentre crolli di modesta entità sono comuni sulle pareti di gole e scogliere. La loro dimensione è talvolta significativa (10³ - 10⁵ m³); in terreni sabbiosi asciutti, sabbioso-argillosi ed argillosi i volumi sono generalmente inferiori a 100 m³. Rotture, scivolamenti e crolli possono interessare gli argini dei corsi d'acqua, e gli scavi artificiali (cfr. tagli stradali, cave) in sedimenti sciolti o in rocce alterate / fratturate. Si possono innescare frane sottomarine di una certa entità che determinano onde anomale nelle zone costiere di mari e laghi, percepite direttamente dalla gente sulle barche e nei porti.
- k) Alberi e cespugli oscillano vigorosamente; specialmente nelle zone a bosco fitto molti rami e cime degli alberi si spezzano e cadono.
f) Rari casi di liquefazione sono documentati, con vulcanelli di sabbia (sand boils) che possono raggiungere i 50 cm di diametro, nelle zone maggiormente favorevoli a questo fenomeno (depositi recenti, alluvionali e costieri, altamente suscettibili, con falda prossima al piano campagna).

VIII ASSAI DANNOSO / Estesi effetti sull'ambiente

Effetti primari: si osservano raramente.

Si possono produrre rotture del terreno (fagliazione superficiale) fino a diverse centinaia di metri, con rigetti fino a pochi centimetri, soprattutto per terremoti il cui ipocentro è molto superficiale quali quelli che comunemente interessano le aree vulcaniche. Si possono anche verificare abbassamenti o sollevamenti tettonici della superficie topografica, con valori massimi dell'ordine di pochi centimetri.

Effetti secondari: L'area totale interessata è dell'ordine di 100 km^2 .

- i) Variazioni generalmente temporanee della portata e/o della quota di emergenza possono interessare le sorgenti. Alcune di esse possono anche essiccarsi. Oscillazioni del livello idrico sono misurate nei pozzi. Modeste variazioni delle proprietà chimico-fisiche delle acque, soprattutto della temperatura, si possono osservare nelle sorgenti e/o nei pozzi. La torbidità dell'acqua può risultare evidente in specchi d'acqua chiusi, corsi d'acqua, pozzi e sorgenti. Emissioni di gas, spesso sulfuree, sono riscontrate localmente.
- j) Onde anomale di altezza superiore a 1-2 metri allagano le zone prossime alla linea di riva e sono in grado di danneggiare o rimuovere oggetti di varie dimensioni. Si osserva sulle spiagge la rimozione e rideposizione di rifiuti, alcuni cespugli e persino piccoli alberi debolmente radicati possono venire sradicati e rimossi. L'acqua tracima con forza da piccoli bacini e corsi d'acqua.
- k) *Fratture di ampiezza fino a 50 cm e lunghezza anche di centinaia di metri si producono in depositi alluvionali sciolti e/o in terreni saturi; in rari casi è possibile osservare fratture fino a 1 cm in rocce asciutte competenti. Fratture decimetriche sono comuni nella pavimentazione stradale (asfalto e pietra), come anche piccole onde di pressione (pressure undulations).*
 - d) Fenomeni franosi di dimensioni da piccole a modeste ($10^3 - 10^5 \text{ m}^3$) sono ampiamente diffusi nelle zone più favorevoli al loro innesco; raramente, possono verificarsi anche su versanti poco pendenti; in condizioni di equilibrio instabile (versanti ripidi di terreni sciolti / saturi; crolli su pareti di gole e scogliere) la loro dimensione è talvolta superiore ($10^5 - 10^6 \text{ m}^3$). Tali fenomeni franosi possono occasionalmente sbarrare le valli strette, determinando la formazione temporanea, o persino permanente, di un lago. Rotture, scivolamenti e crolli interessano gli argini dei corsi d'acqua e gli sbancamenti artificiali (cfr. tagli stradali, cave) in sedimenti sciolti o in rocce alterate / fratturate. Nelle zone costiere sono frequenti le frane sottomarine.
 - e) *Gli alberi oscillano vigorosamente; i rami si possono rompere e cadere e persino gli alberi sradicarsi, specialmente su versanti assai pendenti.*
 - f) Nell'area epicentrale, in funzione delle condizioni locali, i fenomeni di liquefazione possono risultare frequenti; i vulcanelli di sabbia possono arrivare anche ad 1 metro di diametro; fontane d'acqua appaiono in acque calme; si osservano localizzate espansioni laterali (*lateral spreading*) ed abbassamenti (subsidenza pari anche a 30 cm), con fenditure parallele alle rive di corsi e specchi d'acqua (es., argini fluviali, laghi, canali, linee di costa).
 - g) *In area epicentrale si può osservare il sollevamento di nuvole di polvere dal terreno in condizioni particolarmente secche.*
 - h) Pietre e anche piccoli blocchi e tronchi possono essere scagliati in aria, lasciando tipiche impronte nel terreno soffice.

IX DISTRUTTIVO / Gli effetti sull'ambiente costituiscono una diffusa causa di elevata pericolosità e divengono importanti per la valutazione dell'intensità

Effetti primari: comunemente osservati.

Si producono rotture nel terreno (fagliazione superficiale) di lunghezza fino a pochi km, con rigetti generalmente nell'ordine di diversi cm. Si possono verificare abbassamenti o sollevamenti della superficie topografica di natura tettonica fino al massimo a pochi decimetri.

Effetti secondari: L'area totale interessata è nell'ordine di 1000 km^2 .

- a) *La portata e/o l'ubicazione delle sorgenti possono variare, generalmente temporaneamente, anche in maniera considerevole. Alcune sorgenti possono anche essiccarsi. Si osservano comunemente anche oscillazioni temporanee del livello idrico nei pozzi, nonché frequenti variazioni delle proprietà chimico-fisiche dell'acqua, soprattutto la temperatura, nelle sorgenti e/o nei pozzi. L'acqua torbida è un fenomeno comune nei bacini chiusi, nei corsi d'acqua, nei pozzi e nelle sorgenti. Si registrano emissioni di gas, in genere sulfurei; i cespugli e l'erba vicino alle zone di emissione possono prendere fuoco.*
- b) *Onde di altezza di alcuni metri si sviluppano nelle acque di scorrimento superficiale (corsi d'acqua) nonché in acque tranquille. Nelle piane alluvionali i corsi d'acqua possono anche modificare il proprio tracciato, anche a causa della subsidenza del terreno. Piccoli specchi d'acqua possono formarsi o sparire. A seconda della morfologia del fondale e della linea di costa, pericolosi tsunami possono raggiungere le coste con runup fino a parecchi metri, inondando aree estese.*

Sulle spiagge si osserva la rimozione e rideposizione dei rifiuti; alberi e cespugli possono essere sradicati e spazzati via.

c) *Fratture ampie fino a 100 cm e lunghe diverse centinaia di metri si osservano comunemente nei depositi alluvionali sciolti e/o nei terreni saturi; in rocce competenti l'ampiezza delle fratture arriva fino a 10 cm. La pavimentazione stradale (asfalto o pietra) è frequentemente interessata da rilevanti fratture e da onde di pressione (pressure undulations).*

d) *Fenomeni franosi sono diffusi nelle zone più favorevoli, anche su versanti poco pendenti; in condizioni di equilibrio instabile (versanti ripidi di terreni sciolti /saturi; crolli su pareti di gole e scogliere) sono spesso di dimensioni grandi (10^5 m^3), talvolta molto grandi (10^6 m^3). Le frane possono sbarrare le valli strette favorendo la formazione di laghi temporanei (o talvolta permanenti). Gli argini fluviali e le pareti di scavi artificiali (cfr. tagli stradali, cave) spesso collassano. Nelle zone costiere sono frequenti le frane sottomarine.*

l) *Gli alberi oscillano molto forte; è frequente che i rami e i tronchi meno spessi si rompano e cadano. Alcuni alberi possono sradicarsi e cadere, specialmente sui versanti ripidi.*

f) *Sono frequenti le liquefazioni e le fuoriuscite di acqua in pressione (water upsurge); vulcanelli di sabbia possono raggiungere i 3 metri di diametro; fontane d'acqua possono manifestarsi in acque calme; sono frequenti anche le espansioni laterali (lateral spreading) e i fenomeni di subsidenza (anche oltre i 30 cm), con fenditure parallele alle rive di corsi e specchi d'acqua (es., argini fluviali, laghi, canali, linee di costa).*

g) *In condizioni particolarmente secche è comune osservare il sollevamento di nuvole di polvere dal terreno.*

h) *Piccoli blocchi e tronchi possono essere scagliati in aria e spostati anche di alcuni metri, a seconda dell'acclività e rugosità del versante, lasciando tipiche impronte su terreno soffice.*

X MOLTO DISTRUTTIVO / Gli effetti sull'ambiente rappresentano una causa sostanziale di pericolosità e divengono basilari per la valutazione dell'intensità.

Effetti primari diventano dominanti.

La fagliazione superficiale si sviluppa per alcune decine di km con rigetti da decine di cm fino a pochi metri. Si producono gravity graben e depressioni allungate; per terremoti molto superficiali in aree vulcaniche la lunghezza complessiva della rottura può essere assai minore. Possono verificarsi sollevamenti e abbassamenti della superficie topografica di natura tettonica dell'ordine di alcuni metri.

Effetti secondari. L'area totale interessata è dell'ordine di 5000 km².

- a) Si osservano variazioni di portata consistenti di molte sorgenti e/o della loro quota di affioramento. Alcune di esse possono sgorgare o essiccarsi in via temporanea o talvolta in maniera definitiva. Si osservano temporanee oscillazioni del livello idrico nei pozzi. Variazioni delle proprietà chimico-fisiche delle acque di sorgenti e/o pozzi, soprattutto della temperatura, possono essere consistenti. Spesso l'acqua diviene molto fangosa anche in bacini più grandi, nonché in fiumi, pozzi e sorgenti. Si registrano emissioni gassose, generalmente sulfuree, e nelle aree ad esse limitrofe i cespugli e l'erba prendono talvolta fuoco.
- b) *Onde di altezza metrica si formano in laghi e fiumi anche di ampie dimensioni, che esondano dagli alvei. Nelle piane alluvionali i fiumi possono modificare il loro tracciato temporaneamente o talvolta in via definitiva, anche a causa della diffusa subsidenza del terreno. Specchi d'acqua possono formarsi o scomparire. A seconda della morfologia del fondale e della linea di costa, gli tsunami possono raggiungere le coste con runup superiore a 5 metri, inondando estesamente aree pianeggianti fino ad alcune migliaia di metri nell'entroterra. Blocchi di piccole dimensioni possono essere trasportati per diversi metri. Lungo le coste si osservano diffusamente fenomeni di intensa erosione che modificano notevolmente il profilo della linea di costa. Gli alberi sulla riva sono sradicati e trascinati via.*
- c) *Sono frequenti le fratture beanti fino ad oltre un metro e lunghe alcune centinaia di metri, soprattutto nei terreni alluvionali sciolti e/o nei terreni saturi; in rocce competenti l'apertura delle fratture può raggiungere diversi decimetri. La pavimentazione stradale (asfalto o pietra) è interessata da ampie fratture, nonché da onde di pressione (pressure undulations).*
- d) *Sono frequenti fenomeni franosi e crolli di grandi dimensioni (> 10⁵ - 10⁶ m³), indipendentemente dallo stato di equilibrio dei versanti, che favoriscono la formazione di laghi di sbarramento temporanei o permanenti. Gli argini fluviali e le pareti di scavo tipicamente collassano. Argini e dighe in terra possono risultare gravemente danneggiati. Nelle aree costiere sono frequenti le frane sottomarine.*
- e) *Gli alberi oscillano vigorosamente; molti rami e tronchi d'albero si spezzano e cadono. Alcuni alberi possono sradicarsi e cadono.*
- f) *I fenomeni di liquefazione, unitamente ai fenomeni di compattazione del terreno e di fuoriuscite di acqua in pressione (water upsurge), possono modificare l'aspetto di vaste zone; i vulcani di sabbia possono superare i 6 metri di diametro; la subsidenza verticale può superare il metro; sono comuni grandi e lunghe fenditure dovute ai fenomeni di espansione laterale (lateral spreading).*
- g) In condizioni particolarmente secche è comune osservare il sollevamento di nuvole di polvere dal terreno.
- h) *Blocchi di diametro anche superiore a 2-3- metri possono venire scagliati in aria e trascinati per centinaia di metri anche su versanti poco pendenti, lasciando tipiche impronte sul terreno.*

XI DEVASTANTE / Gli effetti sull'ambiente divengono decisivi per la valutazione dell'intensità poiché i danni alle strutture giungono a saturazione

Gli effetti primari sono dominanti

La fagliazione superficiale si estende per molte decine fino ad oltre un centinaio di km, con rigetti che possono raggiungere parecchi metri. Si formano depressioni allungate, gravity graben e pressure ridges. Le linee di drenaggio possono venire significativamente dislocate. Si possono verificare abbassamenti o sollevamenti della superficie topografica di natura tettonica con valori massimi di diversi metri.

Effetti secondari: l'area totale interessata è nell'ordine di 10.000 km².

- a) Si osservano variazioni di portata consistenti di molte sorgenti e/o della loro quota di affioramento. Molte di esse possono sgorgare o essiccarsi in via temporanea o talvolta in maniera definitiva. Si osservano temporanee oscillazioni del livello idrico nei pozzi. Si

osservano consistenti variazioni delle proprietà chimico-fisiche delle acque di sorgenti e/o pozzi, soprattutto della temperatura. Spesso l'acqua diviene molto fangosa anche in bacini molto grandi, nonché in fiumi, pozzi e sorgenti. Si registrano emissioni gassose, generalmente sulfuree, e nelle aree ad esse limitrofe i cespugli e l'erba prendono talvolta fuoco.

b) *Notevoli onde si formano in grandi laghi e nei corsi d'acqua, i quali esondano dal loro alveo. Nelle piane alluvionali i fiumi possono modificare il loro tracciato, in via temporanea ma anche permanente, anche a causa dei diffusi fenomeni franosi e di subsidenza del terreno. Specchi d'acqua possono formarsi o scomparire. A seconda della morfologia del fondale e della linea di costa, gli tsunami possono raggiungere le coste con runup fino a 15 metri e più, inondando estesamente aree pianeggianti per km nell'entroterra. Blocchi di dimensioni anche metriche possono venire trasportati per lunghe distanze. Lungo le coste si osservano diffusamente fenomeni di intensa erosione che modificano notevolmente la morfologia costiera. Gli alberi sulla riva sono sradicati e trascinati via.*

c) Fratture di ampiezza anche di diversi metri sono assai comuni, soprattutto nei depositi alluvionali e/o nei terreni saturi. Nelle rocce competenti esse raggiungono il metro di larghezza. La pavimentazione stradale (asfalto o pietra) è interessata da fratture molto ampie e da onde di pressione (*pressure undulations*).

d) *Sono frequenti grandi fenomeni franosi e crolli ($> 10^5 - 10^6 m^3$), indipendentemente dallo stato di equilibrio dei versanti, che favoriscono la formazione di laghi di sbarramento temporanei o permanenti. Gli argini fluviali, gli sbancamenti artificiali e le pareti di scavo tipicamente collassano. Argini e dighe in terra possono risultare gravemente danneggiate. Frane significative possono verificarsi a distanza anche di 200 – 300 km dall'epicentro. Nelle zone costiere sono frequenti ampie frane sottomarine.*

e) *Gli alberi oscillano vigorosamente; molti rami e tronchi si spezzano e cadono. Molti alberi vengono sradicati e cadono.*

f) *I fenomeni di liquefazione modificano l'aspetto di estese aree di pianura, causando abbassamenti verticali anche superiori a diversi metri, parecchi vulcani di sabbia e considerevoli fenomeni di espansione laterale.*

g) In condizioni particolarmente secche è comune osservare il sollevamento di nuvole di polvere dal terreno.

h) *Grossi blocchi (diametro anche di parecchi metri) possono essere scagliati in aria e trascinati via per lunghe distanze anche su versanti poco pendenti, lasciando tipiche impronte nel terreno.*

XII TOTALMENTE DEVASTANTE / Gli effetti sull'ambiente sono l'unico strumento per valutare l'intensità

Effetti primari: sono dominanti.

La fagliazione superficiale si estende per centinaia di km, con rigetti che possono raggiungere decine di metri. Si formano depressioni allungate, gravity graben e pressure ridges. Le linee di drenaggio possono venire significativamente dislocate. Le trasformazioni geomorfologiche e del paesaggio indotte dagli effetti primari possono risultare eccezionalmente intense ed estese (tipici esempi sono il sollevamento o l'abbassamento di parecchi metri delle linee di costa, la formazione o la scomparsa dalla vista di elementi significativi del paesaggio, variazioni del tracciato di corsi d'acqua, sviluppo di cascate, formazione o scomparsa di laghi).

Effetti secondari: L'area totale interessata è nell'ordine di 50000 km² o superiore.

i) Si osservano variazioni di portata consistenti di molte sorgenti e/o della loro quota di affioramento. Temporanee oscillazioni del livello idrico nei pozzi. Molte sorgenti possono sgorgare o essiccare in via temporanea o talvolta in maniera definitiva. Si osservano consistenti variazioni delle proprietà chimico-fisiche delle acque di sorgenti e/o pozzi, soprattutto della temperatura. L'acqua diviene molto fangosa anche in bacini molto grandi, nonché in fiumi, pozzi e sorgenti. Si registrano emissioni gassose, generalmente sulfuree, e nelle aree ad esse limitrofe i cespugli e l'erba prendono talvolta fuoco.

j) *Onde gigantesche si formano in grandi laghi e fiumi, che esondano dal proprio alveo. Nelle piane alluvionali i fiumi possono modificare il loro tracciato e persino la direzione del deflusso in via temporanea o anche permanente, anche a causa dei diffusi fenomeni franosi e di subsidenza del terreno. Estesi specchi d'acqua possono formarsi o sparire. A seconda della morfologia del fondale e della linea di costa, gli tsunami possono raggiungere le coste con runups fino a diverse decine di metri, recando devastazione nelle aree pianeggianti per vari km nell'entroterra. Grossi blocchi possono venire trasportati per lunghe distanze. Lungo le coste si osservano diffusi fenomeni di intensa erosione con notevolissimi sconvolgimenti della morfologia costiera. Molti alberi sulla riva sono sradicati e trascinati via. Tutte le barche sono strappate ai loro ormeggi e spazzate via o trasportate sulla terraferma anche per lunghe distanze. Tutte le persone all'esterno vengono travolte.*

c) Fratture nel terreno sono molto frequenti, beanti anche più di un metro nel bedrock, fino anche a 10 metri in depositi alluvionali sciolti e/o in terreni saturi. Si estendono per diversi chilometri in lunghezza.

d) *Grandi fenomeni franosi e crolli ($> 10^5 - 10^6 m^3$) sono frequenti, indipendentemente dallo stato di equilibrio dei versanti, che favoriscono la formazione di laghi di sbarramento temporanei o permanenti. Gli argini fluviali, gli sbancamenti artificiali e le pareti di scavo tipicamente collassano. Argini e dighe in terra risultano gravemente*

danneggiate. Frane significative possono verificarsi ad oltre 200-300 km dall'epicentro. Nelle zone costiere sono frequenti notevoli frane sottomarine.

e) Gli alberi oscillano vigorosamente; molti rami e tronchi si spezzano e cadono. Molti alberi vengono sradicati e cadono.

f) Le liquefazioni si verificano in aree assai estese e vanno a modificare la morfologia di vaste zone pianeggianti, determinando abbassamenti verticali anche superiori a parecchi metri. Sono diffusi vulcani di sabbia di grandi dimensioni ed estesi e considerevoli fenomeni di espansione laterale (lateral spreading).

g) In condizioni particolarmente secche è comune osservare il sollevamento di nuvole di polvere dal terreno.

h) Blocchi anche molto grandi possono essere scagliati in aria e trascinati via per lunghe distanze anche su versanti poco pendenti, lasciando tipiche impronte nel terreno.

2.3 Escala medio-ambiental de intensidad sísmica ESI 2007 (Spanish)

TRADUCCIÓN: PABLO G. SILVA (1), RAÚL PÉREZ LÓPEZ (2), MIGUEL A. RODRÍGUEZ PASCUA (2).

(1) Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, Spain

(2) Area de Riesgos Geológicos. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, Spain

Introducción

La intensidad sísmica se basa en la clasificación de los efectos causados por los terremotos sobre las personas, construcciones humanas (edificaciones e infraestructuras) y en el medio natural (efectos ambientales o geológicos). Este parámetro de tamaño sísmico proporciona una estimación de la severidad de la sacudida sísmica teniendo en cuenta los efectos producidos por el rango completo de frecuencias del movimiento ondulatorio así como de las deformaciones estáticas que se produzcan.

Todas las escalas de intensidades (Rossi-Forel, Mercalli, MCS, MSK, Mercalli Modificada) consideran los efectos sobre la naturaleza como elementos diagnósticos a la hora de evaluar la intensidad sísmica. No obstante, algunas escalas modernas (e.g., Espinosa et al., 1976a; 1976b; Grunthal, 1998) tan solo consideran los efectos sobre las personas y sobre las construcciones en la evaluación de intensidades, reduciendo drásticamente la relevancia diagnóstica de los efectos sobre la naturaleza aduciendo que tales efectos presentan una gran variabilidad y aleatoriedad siendo difíciles de cuantificar. A pesar de ello, estudios recientes (e.g. Dengler & McPherson, 1993; Serva, 1994; Dowrick, 1996; Esposito et alii, 1997; Hancox et al., 2002; Michetti et alii, 2004) aportan claras evidencias de que las características de los efectos ambientales o geológicos de los terremotos, son en la actualidad ampliamente clasificables a partir de fuentes históricas y análisis paleosismológicos, los cuales aportan una información esencial para la evaluación del tamaño de los terremotos y en particular de su intensidad.

Con este propósito se ha desarrollado la Escala de Intensidad ESI 2007 (Michetti et al., 2007), la cual se encuentra basada exclusivamente en los efectos ambientales de los terremotos. Su uso, en solitario o integrada con otras escalas tradicionales, ofrece una mejor imagen de los escenarios sísmicos acontecidos ya que solo los efectos ambientales de los terremotos permiten la comparación aceptable de la severidad del movimiento del terreno en diferentes escalas temporales y zonas geográficas:

- *tiempo*: los efectos sobre la naturaleza pueden ser comparados para ventanas temporales (eventos sísmicos recientes, históricos y paleosismos) mucho más amplia que los periodos registrados por la sismicidad instrumental (último siglo).
- *diferentes áreas geográficas*: los efectos ambientales no dependen de las diferentes condiciones socio-económicas de una zona, ni de las diferentes prácticas de construcción, ni del grado de urbanización de las zonas afectadas.

Así, esta nueva escala puede integrarse con las escalas sísmicas tradicionales:

- para intensidades sísmicas de grado superior o igual a X, en las que la evaluación de la intensidad basada en los daños llega a saturarse siendo difícil de estimar, mientras que los efectos ambientales todavía son diagnósticos.
- En áreas escasamente pobladas, donde los efectos sobre las construcciones pueden no existir y por tanto la única manera viable de establecer la intensidad son los efectos ambientales, que son los únicos efectos diagnósticos disponibles.

La definición de los grados de intensidad es el resultado de una revisión de los efectos ambientales causada por un gran número de grandes terremotos a nivel mundial, llevada a cabo por un Grupo de Trabajo Internacional integrado por geólogos, sismólogos e ingenieros. La escala ESI 2007 fue ratificada por INQUA (International Union for Quaternary Research) durante el XVII INQUA Congress (Cairns, Australia) en el año 2007.

Descripción

La escala de intensidades ESI 2007 se encuentra estructurada en doce grados de intensidad. El título de cada grado de intensidad refleja la fuerza correspondiente del terremoto y el papel de los efectos sobre la naturaleza. En su descripción, se indica para cada grado en primer lugar las características y dimensiones de los efectos primarios. Seguidamente, los efectos secundarios son descritos en función del área total afectada y su distribución espacial para la determinación de la intensidad epicentral. Estos se encuentran agrupados en diferentes categorías ordenados por la secuencia de ocurrencia inicial. Los textos en *Cursiva* se han usado para resaltar aquellas descripciones que se consideran diagnósticas por si mismas para un grado de intensidad dado.

Los Efectos Primarios se encuentran directamente relacionados con la energía sísmica liberada y en particular con la expresión en superficie de la fuente sismogénica. Las dimensiones o escala de los efectos primarios se expresan en términos de dos diferentes parámetros: i) La longitud de ruptura total (SRL); y ii) Desplazamiento máximo (MD). Su presencia se encuentra normalmente asociada a un valor de intensidad mínima (VIII), excepto en el caso de terremotos muy superficiales en zonas volcánicas. La cantidad de deformación superficial (elevación o subsidencia tectónica) también es considerada en la escala.

Los Efectos Secundarios constituyen cualquier fenómeno natural inducido por la sacudida sísmica y se clasifican en ocho grandes categorías:

- i) ***Anomalías Hidrológicas.*** Esta categoría incluye cambios en el caudal de fuentes, manantiales y cursos de agua, así como cambios en las propiedades físico-químicas de aguas superficiales y subterráneas (e.g. temperatura, turbidez, etc.). Estos efectos son diagnósticos para intensidades comprendidas entre IV y X.
- j) ***Oleaje anómalo y tsunamis.*** En esta categoría se incluyen: seiches en cuencas cerradas, desbordamientos de agua de estanques, lagos y presas, así como tsunamis. En el caso de los tsunamis, más que el tamaño propiamente dicho de la ola, se consideran sus efectos sobre el litoral (especialmente el runup, erosión litoral y cambios en la morfología de la línea de costa), sin olvidarse de aquellos efectos sobre las personas, edificaciones y estructuras que son tomados como diagnósticos de la intensidad sufrida. Los efectos catalogados pueden ocurrir a partir de intensidad IV, pero son más diagnósticos para intensidades IX a XII.
- k) ***Agrietamientos y fisuración del terreno.*** Los agrietamientos del terreno se describen en términos de su longitud (desde cm hasta algunos cientos de metros), anchura (desde mm a m) y densidad espacial. Son observables a partir de intensidad IV, pero se saturan (su tamaño no se incrementa) a partir de intensidad X.
- l) ***Movimientos de ladera:*** Esta categoría incluye todas las tipologías de procesos gravitacionales, incluyendo, caídas de rocas, deslizamientos y flujos de tierra. En aquellos casos en que el contexto litológico y geomorfológico es similar, los parámetros diagnósticos lo constituyen el volumen movilizado y el área total afectada. Estos efectos

comienzan a ser patentes a partir de intensidad IV y se saturan (su tamaño no incrementa) a partir de intensidad X.

- m) **Agitamiento de Árboles y Vegetación:** Estos efectos son diagnósticos para intensidades de IV a X. These effects are diagnostic from IV to X degree La definición de los grados de intensidad básicamente se ajusta a la propuesta por Dengler & McPherson (1993).
- n) **Licuefacción del terreno:** Esta categoría incluye volcanes de arena, ejecciones de agua, barro y arena, algunos tipos de expansión lateral, compactación y subsidencia del terreno. Sus dimensiones son diagnósticas para intensidades comprendidas entre los grados V y X. In this category are included sand volcanoes, water and sand fountains, some types of lateral spreading, ground compaction and subsidence. Their size is diagnostic for intensity degree from V to X.
- o) **Nubes de Polvo:** pueden desarrollarse a partir de intensidad VIII, típicamente en zonas áridas/secas.
- p) **Desplazamiento de cantos y rocas:** Estos efectos se observan a partir de intensidad IX. Las dimensiones de las rocas y bloques movilizados son consideradas como elementos diagnósticos para la asignación de intensidades. Estas evidencias indican que la aceleración del terreno es mayor que la de la gravedad y puede localmente ocurrir a partir de intensidad IX hasta XII.

Los efectos ambientales de los terremotos pueden observarse y catalogarse a partir de intensidad IV. Algunos tipos de efectos (anomalías hidrológicas) pueden incluso observarse en grados inferiores, pero no pueden considerarse como elementos diagnósticos. La precisión en la evaluación de intensidades aumenta hacia los grados más fuertes y, en particular en el rango de intensidades a partir de las cuales los efectos primarios comienzan a ser patentes (típicamente a partir de intensidad VIII) hasta intensidad XII- A partir de intensidad X comúnmente los efectos sobre las personas y construcciones se saturan (i.e. los edificios se encuentran generalmente completamente destruidos) y es virtualmente imposible diferenciar entre grados de intensidad. Es en este rango de intensidades donde los efectos ambientales son los dominantes, constituyendo la herramienta más valiosa (a veces la única) para la evaluación de intensidades.

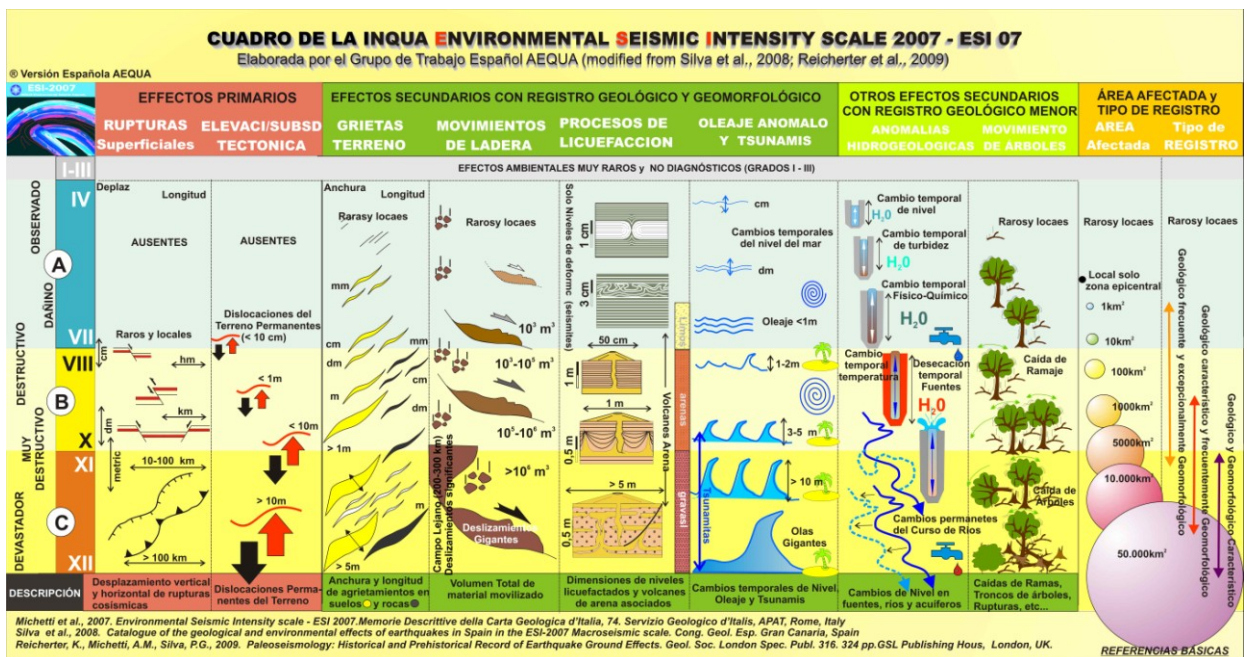


Fig. 1. Esquema gráfico de los diferentes efectos geológicos y ambientales cósmicos considerados en la Escala Macrosísmica ESI-2007. Se indica el tipo de registro geológico y/o geomorfológico más normal en cada uno de los grupos de categorías de intensidades. Figura Actualizada de la original según la versión en inglés publicada en Reichert et al., 2009.

Como usar la Escala de Intensidades ESI 2007

El uso de la escala ESI como una herramienta independiente para la evaluación de intensidades se recomienda únicamente cuando los efectos ambientales son diagnósticos debido a que los efectos sobre las personas o construcciones estén ausentes, sean muy escasos o se encuentren saturados. Cuando estos dos últimos tipos de efectos estén también disponibles será posible llevar a cabo dos estimaciones independientes de la intensidad. En general, la intensidad final que se obtenga tiene que ser igual al valor más alto obtenido mediante las dos evaluaciones. Obviamente, en este caso la participación de expertos es esencial.

La intensidad Epicentral (I_0) queda definida como la intensidad de la sacudida sísmica en el epicentro del terremoto. Los parámetros de las rupturas de falla así como el área total afectada por efectos secundarios (licuefacción y/o deslizamientos), son dos criterios independientes que pueden utilizarse para la evaluación de I_0 a partir de intensidad VII (Tabla 1).

Hay que prestar especial atención cuando las dimensiones de las rupturas superficiales se encuentran próximas a los límites establecidos para dos grados de intensidades consecutivos. En estos casos se recomienda utilizar las características y distribución espacial de los efectos secundarios como criterio diagnóstico principal con el fin de evitar evaluaciones subjetivas. En cualquier caso, en la evaluación del área total afectada se recomienda no incluir efectos aislados ocurridos en campo lejano.

I_0	EFECTOS PRIMARIOS		EFECTOS SECUNDARIOS
	LONGITUD DE LA RUPTURA DE FALLA S	MÁXIMO DESPLAZAMIENTO O DEFORMACIÓN	AREA TOTAL AFECTADA
IV	-	-	-
V	-	-	-
VI	-	-	-
VII	(*)	(*)	10 km ²
VIII	Cientos de metros	Centimétrico	100 km ²
IX	1- 10 km	5 - 40 cm	1000 km ²
X	10 - 60 km	40 - 300 cm	5000 km ²
XI	60 – 150 km	300 –700 cm	10000 km ²
XII	> 150 km	> 700 cm	> 50000 km ²

(*) Rupturas de falla de decenas a algunas centenas de metros de longitud y desplazamiento centimétrico, pueden desarrollarse asociadas a terremotos muy superficiales, generalmente ocurridos en zonas volcánicamente activas.

Tabla. 1 – Rango de los parámetros de rupturas de falla (efectos primarios) y extensión areal típica del registro de los efectos secundarios para cada uno de los grados de intensidad ESI-2007.

La intensidad Local puede evaluarse esencialmente a partir de la descripción de los efectos secundarios ocurridos en diferentes “sitios” una localidad determinada. Este tipo de intensidad tiene que ser comparable con la determinada a partir de las escalas tradicionales basadas en daños. Hay que tener en cuenta que el concepto de “Localidad” puede tanto referirse a una zona habitada (pueblo, ciudad) como a un paraje natural sin asentamientos humanos. Cuando únicamente se encuentren disponibles efectos primarios, puede utilizarse para esta evaluación la expresión local de la ruptura de falla, en términos de máximo desplazamiento.

Definiciones de los grados de intensidad

I a III. EFECTOS NO PERCEPTIBLES EN EL AMBIENTE que puedan ser usados como diagnósticos

IV – AMPLIAMENTE OBSERVADO: Primeros efectos inequívocos sobre el Ambiente

Efectos primarios ausentes.

Efectos secundarios:

- a) En raras ocasiones suceden pequeñas variaciones locales del nivel de agua en pozos y/o en el caudal de manantiales y fuentes. En muy raras ocasiones ocurren pequeñas variaciones de las propiedades físicas - químicas del agua y de la turbidez del agua en los lagos, manantiales, fuentes y pozos, especialmente dentro de grandes acuíferos kársticos que son los más propensos a este fenómeno.
- b) En cuencas cerradas (lagos e incluso mares) se pueden formar pequeños seiches centimétricos que comúnmente solo son detectados por los mareógrafos, aunque excepcionalmente pueden ser vistos. Característicos en el campo lejano de fuertes terremotos. Oleaje anómalo es percibido por todo el mundo en pequeñas embarcaciones, por algunas personas en barcos y por la mayoría en la costa. El agua de piscinas y estanques se agita y algunas veces puede desbordarse.
- c) Ocasionalmente, muy pocos casos de grietas muy finas (mm) en zonas donde la litología (ej. depósitos aluviales poco compactados, suelos saturados) y/o morfología (laderas escarpadas o cimas de colinas) son más propensos a este fenómeno.
- d) Excepcionalmente pueden ocurrir caídas de rocas, y pequeños deslizamientos existentes pueden reactivarse. Fundamentalmente en laderas donde el equilibrio es ya muy inestable (ej. laderas o cuevas, escarpadas y cortadas, desarrolladas sobre suelos saturados o material coluvial poco compactado, así como en cortes y taludes artificiales de caminos, carreteras, ferrocarriles y canteras o areneros a cielo abierto).
- e) Las ramas de los árboles pueden verse sacudidas.

V – FUERTE: Efectos marginales sobre el Ambiente

(Los efectos naturales afectan marginalmente al terreno y solo en ocasiones excepcionales dejan evidencia en el registro geológico -procesos de liquefacción-y en ningún caso afectan al registro geomorfológico permanente del paisaje afectado).

Efectos primarios ausentes.

Efectos secundarios:

- a) En raras ocasiones ocurren variaciones apreciables en el nivel de agua en pozos y/o caudal en manantiales y fuentes, así como pequeñas variaciones en las propiedades físico-químicas y turbidez del agua de lagos, manantiales, fuentes y pozos.
- b) En cuencas cerradas (lagos e incluso mares) se pueden formar pequeños seiches decimétricos que comúnmente pueden ser observados. Característicos en el campo lejano de fuertes terremotos. Oleaje anómalo de pocas decenas de centímetros es percibido por todo el mundo en todo tipo de embarcaciones y en la costa. Piscinas y estanques comúnmente se desbordan.
- c) Localmente se desarrollan finas grietas de anchura milimétrica, y longitud decimétrica a métrica, en zonas donde la litología (ej. depósitos aluviales poco compactados, suelos saturados) y/o morfología (laderas o escarpes de colinas) son más propensos a este fenómeno.
ESI-2007. Pág. 5
- d) En raras ocasiones ocurren caídas de rocas, deslizamientos rotacionales y flujos de tierras, a pequeña escala (muy locales), especialmente a lo largo de pendientes donde el equilibrio es inestable (ej. laderas o cuevas escarpadas sobre materiales sedimentarios poco compactados o suelos saturados, así como en cortes y taludes artificiales de caminos, carreteras, ferrocarriles y canteras o areneros a cielo abierto). Ocasionalmente se pueden generar pequeños deslizamientos submarinos que dan lugar a oleajes anómalos transitorios en zonas litorales.
- e) Las ramas de los árboles y arbustos se sacuden ligeramente y en muy raros casos pueden caer ramas muertas o frutos.
- f) Extremadamente raros casos de licuefacción (volcanes de arena) de pequeño tamaño (cm) en áreas propensas a este tipo de fenómeno

(llanuras costeras y fondos aluviales recientes arenosos con nivel freático muy somero).

VI – LIGERAMENTE DAÑINO: Efectos moderados sobre el Ambiente

(Los efectos naturales pueden dejar alguna traza significativa en el terreno, pero por lo general con un grado de supervivencia en el paisaje muy corto, de semanas o pocos meses. El registro geológico de procesos de liquefacción y deslizamientos comienza a ser significativo)

Efectos primarios ausentes.

Efectos secundarios:

a) Registro común de variaciones significativas en el nivel de agua en pozos y/o caudal en manantiales y fuentes, así como pequeñas

variaciones en las propiedades físico-químicas y turbidez del agua de lagos, manantiales, fuentes y pozos.

b) Oleaje anómalo de varias decenas de centímetros producen inundaciones limitadas en zonas de costa y ribera. Piscinas, estanques y

pequeñas lagunas comúnmente se desbordan.

c) Ocasionalmente se observan **fracturas** de anchura milí a centimétrica y longitud métrica en depósitos aluviales poco compactados y/o suelos saturados. Especialmente a lo largo de pendientes escarpadas y márgenes (orillas) de ríos, donde pueden alcanzar de 1 a 2 cm de anchura. Algunas agrietamientos milimétricos pueden desarrollarse en carreteras pavimentadas (asfaltos / empedrados).

d) Ocasionalmente pueden ocurrir caídas de rocas y deslizamientos de hasta ca. 10³ m³, especialmente donde el equilibrio es inestable y

existen fuertes pendientes. (ej. Laderas o cuestas escarpadas sobre materiales sedimentarios poco compactados, suelos saturados, o

rocas fracturadas / meteorizadas). Ocasionalmente pueden suceder eventos de deslizamientos submarinos o subacuáticos en zonas

costeras y lagos generando oleaje anómalo que por lo general solo es detectado por registros instrumentales.

e) Las ramas de árboles y arbustos son sacudidas visiblemente. Algunas pocas ramas inestables y copas de árboles pueden romperse y

caer, dependiendo de la especie y del estado de madurez de los frutos.

f) En raras ocasiones pueden ocurrir casos de licuefacción (volcanes de arena), pequeños en tamaño (cm), en áreas propensas a este tipo de fenómeno como llanuras costeras y fondos aluviales recientes con nivel freático muy somero.

VII – DAÑINO: Efectos apreciables sobre el Ambiente

(Los efectos naturales pueden dejar trazas significativas en el terreno, pero por lo general con un grado de supervivencia en el registro geomorfológico muy corto, de meses o pocos años, muy excepcionalmente permanentes. El registro geológico de procesos de liquefacción, deslizamientos comienza a ser bastante significativo en áreas propicias)

Efectos primarios: Muy raramente observados, casi exclusivamente en zonas volcánicas.

Pueden generarse **rupturas superficiales de falla limitadas**, con longitud de decenas a centenares de metros y desplazamiento (offset) centimétrico, esencialmente asociadas a **terremotos tectó-volcánicos** muy superficiales.

Efectos secundarios: El área afectada es generalmente inferior o del orden de 10 km².

a) Localmente se registran variaciones significativas en el nivel de agua en pozos y/o caudal de manantiales y fuentes. Raramente,

pequeños manantiales o fuentes pueden temporalmente secarse, y/o aparecer otros nuevos. Comúnmente se producen variaciones

apreciables en las propiedades físico-químicas y turbidez del agua de lagos, manantiales, fuentes y pozos.

b) Olas anómalas, incluso de más de un metro de altura producen inundaciones limitadas en zonas de costa y ribera, dañando y arrastrando objetos de distintas dimensiones. Se producen desbordamientos en lagunas, estanques e incluso ríos.

ESI-2007. Pág. 6

c) **Fracturas de hasta 5 - 10 centímetros de ancho y centenares de metros de longitud son comúnmente observadas en depósitos aluviales poco compactados y/o suelos saturados. Raramente también se observan fracturas de hasta 1 centímetro de ancho en materiales arenosos secos y suelos arcillosos. Son comunes las grietas centimétricas en caminos pavimentados (asfalto o empedrados).**

d) Comúnmente ocurren deslizamientos aislados y dispersos en áreas especialmente propensas donde el equilibrio es inestable (ej.

laderas o cuestas de alta pendiente sobre materiales sedimentarios poco compactados, suelos saturados o rocas fracturadas / meteorizadas). Caída de rocas apreciable en desfiladeros y gargantas escarpadas o acantilados costeros. Su tamaño es a veces considerable (10³ – 10⁵ m³). En materiales arenosos secos, areno-arcillosos y suelos arcillosos los volúmenes son normalmente

hasta 100 m³. Rupturas, derrumbes y caídas (rocas) pueden afectar las orillas de los ríos y terraplenes o taludes artificiales (ej. cortes de

caminos, canteras, etc.) desarrollados en materiales sedimentarios poco compactados o rocas fracturadas/meteorizadas. Se

pueden generar deslizamientos submarinos o subacuáticos significativos que provocan oleajes anómalos en zonas costeras de mares y lagos

observados por la mayoría de las personas en embarcaciones y puertos.

e) En zonas boscosas los árboles y arbustos son sacudidos vigorosamente. Muchas ramas y copas de árboles rompen y caen.

f) Raros casos de licuefacción (volcanes de arena) de hasta 50 cm de diámetro pueden desarrollarse en áreas propensas a este tipo de fenómeno como (llanuras costeras y fondos aluviales recientes con nivel freático muy somero.

g) En zonas secas o semiáridas, pueden levantarse nubes de polvo en el área epicentral.

h) Piedras e incluso pequeños cantos y troncos de árboles pueden ser arrojados al aire dejando huellas de caída en suelos blandos.

VIII – MUY DAÑINO: Efectos considerables sobre el Ambiente

(Los efectos naturales dejan trazas significativas y en algunas ocasiones permanentes en el terreno. El registro geomorfológico comienza a ser algo significativo y el registro geológico de rupturas de falla –excepcionalmente- procesos de licuefacción y deslizamientos ya toma un cuerpo notable).

Efectos primarios: Raramente observados.

Las rupturas de falla pueden alcanzar hasta varios centenares de metros de longitud, con desplazamientos (offset) de pocos centímetros (< 5 cm), particularmente durante terremotos muy superficiales, como ocurre en eventos tectó-volcánicos.

Subsidencia o elevación tectónica de la superficie del terreno puede presentar valores máximos de orden centimétrico.

Efectos secundarios: El área afectada es generalmente inferior o del orden de 100 km².

a) Los manantiales y fuentes pueden cambiar, generalmente de forma temporal, tanto su caudal y/o posición altimétrica (sobrepresión).

Algunas manantiales y fuentes pequeñas pueden incluso secarse. Las variaciones en el nivel del agua en los pozos son comunes y

significativas. Las propiedades físico-químicas y, más comúnmente la temperatura, cambia en manantiales y/o pozos. El agua de lagos,

ríos y manantiales frecuentemente puede volverse turbia, incluso ligeramente fangosa. Localmente se pueden producir emisiones de

gases normalmente sulfurosos.

b) Olas anómalas de entre 1-2 m de altura producen inundaciones en zonas de costa y ribera, dañando y arrastrando objetos de distintas

dimensiones. Se producen desbordamientos violentos en lagunas, estanques y ríos. Erosión y acumulación de restos flotantes en las

playas, donde los arbustos e incluso árboles débilmente enraizados pueden ser arrancados y arrastrados hacia el interior.

c) Fracturas de hasta 50 centímetros de anchura y centenares de metros de longitud son comúnmente observadas en depósitos aluviales poco compactados y/o suelos saturados. En raros casos pueden desarrollarse fracturas de hasta 1 cm de anchura en rocas competentes o firmes. Son comunes grietas decimétricas y pequeñas ondulaciones de presión en caminos y zonas pavimentadas (asfalto o empedrados).

d) Deslizamientos pequeños a moderados (10³ – 10⁵ m³) pueden ocurrir extensamente en áreas propensas. Raramente pueden también

ocurrir en laderas de poca pendiente donde el equilibrio es inestable (ej. pendientes o laderas sobre materiales sedimentarios poco

compactados, suelos saturados o rocas fracturadas / meteorizadas). Caída de rocas en desfiladeros escarpados y acantilados costeros.

Su tamaño es a veces grande (10⁵ - 10⁶ m³). Algunos deslizamientos pueden ocasionalmente obturar valles estrechos causando lagos

temporales e incluso permanentes. Rupturas, derrumbes y caídas (rocas) pueden afectar las márgenes (orillas) de los ríos, los terraplenes y taludes artificiales (p.ej. cortes de caminos, canteras, etc.) desarrollados en materiales sedimentarios poco compactados o

rocas fracturadas/meteorizadas. Es común la generación de deslizamientos submarinos en zonas costeras.

ESI-2007. Pág. 7

e) Los árboles se sacuden fuertemente. Muchas ramas se rompen y caen. Más raramente, troncos en equilibrio pueden desenraizarse y caer, especialmente en laderas con fuerte pendiente.

f) Los Procesos de Licuefacción pueden ser frecuentes en el área epicentral, dependiendo de las condiciones locales. Los efectos más característicos son volcanes de arenas de hasta ca. 1 m de diámetro; chorros de agua (Water fountains) pueden ser visibles en aguas tranquilas de lagos someros (lagoones, salinas, zonas pantanosas); extensiones laterales y asentamientos locales (subsistencia hasta aprox. 30 cm) con agrietamientos paralelos a los cuerpos de agua (márgenes de ríos, lagos, canales y líneas de costa).

g) En zonas secas o semiáridas, pueden levantarse nubes de polvo en el área epicentral.

h) Piedras e incluso pequeños cantos y troncos de árboles pueden ser arrojados al aire dejando huellas de caída en suelos blandos.

IX – DESTRUCTIVO: Los efectos en el ambiente son generalizados, constituyendo una fuente de peligrosidad considerable, y empiezan a ser importantes para la determinación de la intensidad.

(Los efectos naturales dejan trazas considerables y permanentes en el terreno. El registro geomorfológico de este tipo de eventos comienza a ser un dato muy significativo, mientras que en el registro geológico, rupturas de

falla, procesos de liquefacción, deslizamiento y excepcionalmente tsunamis es una pauta común).

Efectos primarios: Comúnmente observados.

Las rupturas de falla pueden alcanzar una longitud de unos pocos kilómetros, con desplazamientos (offset) de algunas decenas de centímetros (10 – 20 cm). Subsistencia o elevación tectónica de la superficie del terreno con valores máximos de orden decímetro.

Efectos secundarios: El área afectada es generalmente inferior o del orden de 1000 km².

a) *Los manantiales y fuentes pueden cambiar, generalmente de forma temporal, tanto su caudal y/o posición altimétrica (sobrepresión). Algunas manantiales y fuentes pueden incluso secarse. Las variaciones en el nivel del agua en los pozos son comunes y significativas. Las propiedades físico-químicas y, más comúnmente la temperatura, cambia en manantiales y/o pozos. El agua de lagos, ríos y manantiales frecuentemente puede volverse muy turbia, incluso ligeramente fangosa.*

Localmente se pueden producir emisiones de gases normalmente sulfurosos y, ocasionalmente tanto la hierba como los arbustos alrededor de estos puntos de emisión pueden arder.

b) *Se producen **Olas anómalas de varios metros** de altura en cuerpos de agua y cursos fluviales. En zonas de llanura de inundación los cauces de agua pueden incluso variar sus cursos, fundamentalmente ocasionado por procesos de subsidencia. Pueden aparecer y/o desaparecer pequeñas lagunas. Dependiendo de la topografía de la línea de costa y el fondo marino, pueden producirse **tsunamis peligrosos de algunos metros de runup** provocando la inundación de zonas extensas a lo largo del litoral. Erosión generalizada de las zonas de playa, donde los arbustos e incluso árboles pueden ser arrancados y arrastrados hacia el interior.*

c) *Fracturas de hasta 100 centímetros de anchura y centenares de metros de longitud son comúnmente observadas en depósitos aluviales poco compactados y/o suelos saturados. En rocas competentes o firmes pueden desarrollarse fracturas de hasta 10 cm de anchura. En caminos y zonas pavimentadas (asfalto o empedrados) es común el desarrollo de grietas decimétricas significativas, así como pequeñas ondulaciones de presión.*

d) *Deslizamientos extensos y frecuentes en áreas propensas, incluso en laderas de poca pendiente en condiciones de equilibrio inestable (ej. pendientes o laderas escarpadas sobre materiales sedimentarios poco compactados, suelos saturados o rocas fracturadas / meteorizadas). Caída de rocas en desfiladeros escarpados y acantilados costeros. Su tamaño es frecuentemente grande (**10s m³**) y a veces muy grande (**106m³**). Algunos deslizamientos pueden ocasionalmente obtener valles estrechos, causando lagos temporales e incluso permanentes. Las orillas de los ríos, así como terraplenes y taludes artificiales (ej. cortes de caminos, canteras, etc.) frecuentemente colapsan. Son frecuentes grandes deslizamientos submarinos o subacuáticos en zonas costeras y lagos.*

e) *Los árboles se sacuden vigorosamente. Las ramas y troncos de árboles de pequeño diámetro, frecuentemente se rompen y caen. Algunos árboles situados en laderas de fuerte pendiente pueden ser desenraizados y colapsar.*

f) *Los Procesos de Licuefacción y eyección de agua son frecuente. Los efectos más típicos son: Volcanes de arena de hasta 3 m de diámetro; chorros de agua (Water fountains) pueden ser visibles en aguas tranquilas de lagos someros (lagoones, salinas, zonas pantanosas); extensiones laterales y asentamientos locales (subsistencia hasta ca. 30 cm), con agrietamientos paralelos a los cuerpos de agua (márgenes de ríos, lagos, canales y líneas de costa).*

g) *En zonas secas o semiáridas, pueden levantarse nubes de polvo en el área epicentral.*

h) *Pequeños cantos y troncos de árboles pueden ser arrojados al aire desplazándose varios metros (dependiendo de la pendiente del terreno) dejando huellas de caída en suelos blandos.*

X – MUY DESTRUCTIVO. Los Efectos Ambientales se convierten en una de las fuentes de peligrosidad dominantes y son esenciales para la evaluación de la intensidad.

(Los efectos Ambientales son dominantessobre otro tipo de criterios en la evaluación de los daños, son relevantes en el registro geomorfológico y fundamentales en el geológico, incluyendo el registro de tsunamis).

Efectos primarios: Comienzan a ser importantes.

Las rupturas de falla se convierten en un fenómeno característico. Pueden alcanzar una longitud de decenas de kilómetros, con desplazamientos (offset) decimétricos hasta unos pocos metros (ca. 1 - 2 m). Desarrollo de micrograbens y depresiones tectónicas alargadas en terremotos con hipocentros muy superficiales. En el caso de eventos tectó-volcánicos la longitud de las rupturas puede ser muy inferior. Puede ocurrir subsidencia o elevación tectónica del terreno con valores máximos de unos pocos metros.

Efectos secundarios: El área afectada es generalmente inferior o del orden de 5000 km².

a) *Los manantiales y fuentes cambian significativamente tanto su caudal como su posición altimétrica (sobrepresión). Algunas manantiales*

y fuentes pueden secarse incluso permanentemente. Las variaciones en el nivel del agua en los pozos son comunes y significativas. Las

propiedades físico-químicas de manantiales y/o pozos y, más comúnmente la temperatura en fuentes termales, sufren fuertes variaciones. El agua de manantiales, ríos e incluso grandes lagos a menudo se vuelve muy fangosa. Las emisiones de gases, normalmente sulfurosos, son comúnmente observadas. La hierba y los arbustos en el entorno de estos puntos de emisión pueden arder.

b) *Se producen **Olas anómalas de varios metros** de altura incluso en grandes lagos y ríos. En zonas de llanura de inundación los cauces de agua pueden sufrir significativos cambios de curso temporales e incluso permanentes, debido a la generalización de procesos de subsidencia. Pueden aparecer y/o desaparecer lagunas de entidad. Dependiendo de la topografía de la línea de costa y el fondo marino, pueden producirse **tsunamis de hasta 5 m de runup** provocando la inundación generalizada de zonas costeras bajas de hasta miles de metros de penetración tierra adentro. Pequeños bloques pueden ser arrastrados hacia el interior. Erosión significativa generalizada de las zonas costeras bajas que producen*

significativos cambios la geometría de la línea de costa. La mayoría de la vegetación litoral (arbustos y árboles) es mayoritariamente arrasada y arrastrada hacia el interior.

c) Son frecuentes grandes grietas en el terreno con aberturas de hasta más de 1 m de anchura, principalmente en depósitos aluviales poco compactados y/o suelos saturados. En rocas competentes pueden alcanzar varios decímetros de anchura. Se desarrollan grietas anchas en caminos pavimentados (asfalto o empedrados), acompañadas por significativas ondulaciones de presión. En suelos enlosados y bordillos de aceras pueden desarrollarse estructuras de tipo pop-up de altura centimétrica y de extensión métrica a decamétrica.

d) Grandes deslizamientos y caídas de rocas ($> 10^5 - 10^6 \text{ m}^3$) son frecuentes, prácticamente con independencia del estado del equilibrio y pendiente de las laderas, causando lagos de obturación temporales o permanentes. Las márgenes de los ríos, terraplenes, taludes y excavaciones artificiales típicamente colapsan. Levees, terraplenes y represas de tierra pueden incluso sufrir serios daños

e) Los árboles se sacuden fuertemente. Muchas ramas y troncos de árboles se rompen y caen. Algunos árboles pueden ser desenraizados y colapsar incluso en laderas de poca pendiente.

f) Los Procesos de Licuefacción, eyección de agua y compactación del suelo pueden cambiar el aspecto de extensas zonas, aplanando la topografía de llanuras costeras y llanuras de inundación fluviales y aluviales; volcanes de arenas de hasta aproximadamente 6 m de diámetro. Los procesos de subsidencia $> 1\text{m}$ produciendo grandes y largas grietas debido a extensiones laterales son comunes a lo largo de márgenes de ríos, lagos, y canales. Grandes deslizamientos submarinos o subacuáticos son frecuentes en zonas costeras y lagos.

g) En zonas secas o semiáridas, pueden levantarse nubes de polvo en el área epicentral.

h) Cantos y bloques (de hasta 2-3 metros de diámetro) pueden ser arrojados al aire desplazándose centenares de metros incluso en zonas de suave pendiente, dejando trazas y huellas de caída en suelos blandos.

XI – DEVASTADOR. Los Efectos Ambientales se hacen totalmente esenciales para evaluar la intensidad debido a la saturación de los daños estructurales en edificaciones

(Los efectos Ambientales llegan a ser esenciales para evaluaciones de Intensidad dada la casi total saturación de otro tipo de criterios para estimar los niveles de daños)

Efectos primarios: Dominantes.

Las **rupturas de falla primarias** pueden extenderse desde varias decenas de kilómetros hasta unos 100 km, acompañadas por desplazamientos de varios metros ($> 2\text{m}$). Es patente el desarrollo de fosas tectónicas, depresiones alargadas y lomas de presión. Las líneas de drenaje pueden desplazarse ostensiblemente. Puede ocurrir subsidencia o elevación tectónica del terreno con valores de muchos metros.

Efectos secundarios: El área afectada es generalmente inferior o del orden de 10.000 km².

a) Los manantiales y fuentes cambian significativamente tanto su caudal como su posición altimétrica (sobrepresión). Algunas manantiales

y fuentes pueden secarse incluso permanentemente. Las variaciones en el nivel del agua en los pozos son comunes y significativas. Las

propiedades físico-químicas de manantiales y/o pozos y, más comúnmente la temperatura en fuentes termales, sufren fuertes variaciones. El agua de manantiales, ríos e incluso grandes lagos a menudo se vuelve muy fangosa. Las emisiones de gases, normalmente sulfurosos, son comúnmente observadas. La hierba y los arbustos en el entorno de estos puntos de emisión pueden arder.

b) Se producen **Olas anómalas de varios metros** de altura incluso en grandes lagos y ríos. En zonas de llanura de inundación los cauces de agua pueden sufrir significativos cambios de curso temporales e incluso permanentes, debido a la generalización de procesos de subsidencia y desplomes de los márgenes. Pueden aparecer y/o desaparecer lagunas de entidad. Dependiendo de la topografía de la línea de costa y el fondo marino, pueden producirse **tsunamis de hasta 15 m de runup** provocando la inundación y devastación de vastas zonas costeras bajas con penetraciones kilométricas tierra adentro. Incluso bloques de diámetro métrico pueden ser arrastrados hacia el interior a lo largo de grandes distancias. Erosión importante generalizada de las zonas costeras bajas que producen cambios muy notorios en la geometría de la línea de costa. La vegetación litoral (arbustos y árboles) es arrasada y arrastrada hacia el interior.

c) Son muy frecuentes grandes grietas en el terreno con aberturas de varios metros de anchura, principalmente en depósitos aluviales poco

compactados y/o suelos saturados. En rocas competentes pueden alcanzar hasta 1 m de anchura. Grietas muy anchas se desarrollan en

caminos pavimentados (asfalto o empedrados), acompañadas por grandes ondulaciones de presión. En suelos enlosados y bordillos de

aceras pueden desarrollarse estructuras de tipo pop-up de altura centimétrica y de extensión métrica a decamétrica.

d) Grandes deslizamientos y caídas de rocas ($> 10^5 - 10^6 \text{ m}^3$) son frecuentes, independientemente del estado de equilibrio y pendiente de

las laderas, causando lagos de obturación temporales o permanentes. Las márgenes (orillas) de los ríos, terraplenes, taludes y excavaciones artificiales típicamente colapsan. Terraplenes y represas de tierra pueden incluso incurrir en serios daños.

Deslizamientos

considerables pueden tener lugar hasta 200-300 kilómetros de distancia epicentral. Grandes deslizamientos submarinos o subacuáticos

son frecuentes en zonas costeras y lagos.

e) Los árboles se sacuden violentamente. Muchas ramas se rompen y caen. Incluso árboles enteros pueden desenraizarse del terreno y caer peligrosamente.

f) Los Procesos de Licuefacción cambian el aspecto de extensas zonas, aplanando la topografía de llanuras costeras y llanuras de inundación fluviales y aluviales, acompañadas por procesos de subsidencia generalizados que pueden exceder varios metros. Los volcanes de arena de gran tamaño son numerosos; grandes y largas grietas debido a extensiones laterales afectan severamente a las márgenes de ríos, lagos y canales.

g) En áreas secas, se levantan grandes nubes de polvo.

h) Grandes bloques, incluso de varios metros de diámetro pueden ser arrojados al aire desplazándose cientos de metros, incluso en laderas de poca pendiente, dejando impresiones o huellas características en suelos blandos o poco consolidados.

XII – COMPLETAMENTE DEVASTADOR. Efectos Ambientales son el único criterio para determinar la intensidad

(Los efectos Ambientales son ahora la única herramienta disponible para evaluar la intensidad, los demás criterios para estimar el nivel de daños se encuentran saturados por el colapso generalizado de todo tipo de construcciones)

Efectos primarios: Dominantes.

Las rupturas de falla se extienden como mínimo varios centenares de kilómetro, acompañadas por desplazamientos de hasta decenas de metros. Es patente el desarrollo de grandes fosas tectónicas, depresiones alargadas y lomas de presión. Las líneas de drenaje pueden desplazarse ostensiblemente. Los cambios en el paisaje y en la geomorfología inducidos por estas rupturas primarias pueden alcanzar tamaños y extensiones extraordinarios (ejemplos típicos son la elevación y/o subsidencia de líneas costa de hasta varios metros, la aparición o desaparición de la vista de elementos paisajísticos significativos, los ríos cambian de curso, formación de cascadas, y formación o desaparición de lagos).

Efectos secundarios: *El área afectada es generalmente inferior o del orden de 50.000 km².*

a) Los manantiales y fuentes cambian significativamente tanto su caudal como su posición altimétrica (sobrepresión). Algunas manantiales y fuentes pueden secarse incluso permanentemente. Las variaciones en el nivel del agua en los pozos son comunes y significativas. Las propiedades físico-químicas de manantiales y/o pozos y, más comúnmente la temperatura en fuentes termales, sufren fuertes variaciones. El agua de manantiales, ríos e incluso grandes lagos a menudo se vuelve muy fangosa. Las emisiones de gases, normalmente sulfurosos, son comúnmente observadas. La hierba y los arbustos en el entorno de estos puntos de emisión pueden arder.

*b) Desarrollo de **Olas gigantes en lagos y ríos que causan importantes inundaciones en las zonas de ribera. En zonas de llanura de inundación los cauces de agua pueden sufrir significativos cambios de curso permanentes, e incluso invertirse el sentido de la corriente, debido a la generalización de procesos de subsidencia y desplomes de los márgenes. Pueden aparecer y/o desaparecer lagos de extensión significativa. Dependiendo de la topografía de la línea de costa y el fondo marino, pueden producirse tsunamis de varias decenas de metros de runup provocando la inundación y devastación de vastas zonas costeras bajas con penetraciones de varios kilómetros tierra adentro. Grandes bloques pueden ser arrastrados hacia el interior a lo largo de grandes distancias. Erosión devastadora y generalizada de las zonas costeras bajas que producen cambios muy notorios en la geometría de la línea de costa. La vegetación litoral (arbustos y árboles) es arrasada y arrastrada hacia el interior.***

c) Grandes grietas en el terreno con aberturas de varios metros de anchura son muy frecuentes, de hasta más de 1 metro en el sustrato rocoso competente, y de hasta más de 10 metros en depósitos aluviales poco compactados y/o suelos saturados, donde pueden extenderse a lo largo de varios kilómetros de longitud. En suelos enlosados y bordillos de aceras pueden desarrollarse estructuras de tipo pop-up de altura centimétrica y de extensión métrica a decamétrica.

d) Grandes deslizamientos y caídas de rocas (> 10⁵ - 10⁶ m³) son frecuentes, independientemente del estado de equilibrio y pendiente de las laderas, causando muchos lagos de obturación temporales o permanentes. Las márgenes (orillas) de los ríos, terraplenes, taludes y excavaciones artificiales típicamente

colapsan. Terraplenes y represas de tierra pueden incluso incurrir en serios daños. Deslizamientos considerables pueden tener lugar en hasta 200-300 kilómetros de distancia epicentral. Grandes deslizamientos submarinos o subacuáticos son frecuentes en zonas costeras y lagos.

e) Los árboles se sacuden violentamente. Muchas ramas se rompen y caen. Incluso árboles enteros pueden desenraizarse del terreno y caer peligrosamente.

f) Los Procesos de Licuefacción cambian el aspecto de extensas zonas, aplanando la topografía de llanuras costeras y llanuras de inundación fluviales y aluviales, acompañadas por procesos de subsidencia generalizados que pueden exceder varios metros. Los volcanes de arena de gran tamaño son muy numerosos; grandes y largas grietas debido a extensiones laterales afectan severamente a las márgenes de ríos, lagos y canales.

g) En áreas secas, se levantan grandes nubes de polvo.

h) Bloques de grandes dimensiones pueden ser arrojados al aire desplazándose cientos de metros, incluso en laderas de poca pendiente, dejando impresiones o huellas características en suelos blandos o poco consolidados.

2.4 ESI Intensitätsskala (German)

TRANSLATED BY: GRÜTZNER, C. (1), REICHERTER, K. (1)

(1) Lehr- und Forschungsgebiet Neotektonik und Georisiken RWTH, Aachen University, Germany

EINFÜHRUNG

Die Intensität von Erdbeben wird anhand der Auswirkungen bestimmt, die ein seismisches Ereignis auf den Menschen, auf Gebäude und Infrastruktur sowie auf die natürliche Umgebung hat. Diese Intensität ist ein Maß der Zerstörungskraft eines Bebens und berücksichtigt neben den durch die seismischen Erschütterungen hervorgerufenen Effekten in allen Frequenzbereichen auch solche Erscheinungen, die durch statische Deformationen hervorgerufen werden.

Alle Intensitätsskalen (Rossi-Forel, Mercalli, MCS, MSK, Mercalli Modified) nutzen die Analyse von Umwelteffekten als diagnostische Elemente zur Bestimmung des Intensitätsgrades. Für einige modernere Skalen werden jedoch nur die Effekte auf den Menschen und auf Gebäude und Infrastruktur berücksichtigt (z.B. Espinosa et al., 1976a; 1976b; Grunthal, 1998). Hierbei wird die diagnostische Relevanz der Umwelteffekte vernachlässigt, weil man davon ausgeht, dass diese zu variabel und unsicher sind, um eine verlässliche Intensitätsbestimmung zu erlauben. In neuen Studien (z.B. Dengler & McPherson, 1993; Serva, 1994; Dowrick, 1996; Esposito et al, 1997; Hancox et al., 2002; Michetti et al, 2004) konnte hingegen gezeigt werden, dass die Umwelteffekte von solchen Erdbeben, die in historischen Berichten vermerkt sind oder durch paläoseismologische Untersuchungen dokumentiert wurden, essentielle Informationen zur Abschätzung der Stärke eines Erdbebens beinhalten und insbesondere eine Intensitätsbestimmung erlauben.

Um diese Informationen zu nutzen, wurde 2007 die ESI Intensitätsskala entwickelt (Michetti et al., 2007). Die Intensitätsbestimmung erfolgt ausschließlich anhand von Umwelteffekten, die durch ein Erdbeben hervorgerufen wurden. Mit Hilfe dieser Skala (auch in Kombination mit den klassischen Intensitätsskalen) können die verschiedenen Auswirkungen in ihrer Gesamtheit besser erfasst werden. Die Konzentration auf Umwelteffekte erlaubt einen besseren Vergleich von Erdbebenintensitäten in zweierlei Hinsicht:

- zeitlich: Effekte auf die Umwelt sind für sehr lange Zeiträume vergleichbar (aktuelle Erdbeben, historische Ereignisse, Paläo-Erdbeben), während der instrumentellen Seismologie nur Aufzeichnungen über die letzten 100 - 120 Jahre zur Verfügung stehen;
- räumlich: Erdbeben können weltweit verglichen werden, unabhängig von den örtlichen Bauweisen oder sozio-ökonomischen Voraussetzungen.

Daher zielt die neue Intensitätsskala auch darauf ab, traditionelle Skalen zu ergänzen:

- ab Erdbebenintensitäten von X wird die Intensitätsbestimmung anhand von Gebäudeschäden nahezu unmöglich, während Umwelteffekte noch immer aussagekräftig sind;
- in dünn besiedelten Gegenden können oftmals nicht ausreichend viele Gebäudeschäden analysiert werden, um eine verlässliche Intensitätsbestimmung durchzuführen - hier können einzig Umwelteffekte Aufschluss über die Stärke eines Bebens geben.

Die Intensitätsgrade der ESI Skala wurden durch eine internationale Arbeitsgruppe von Geologen, Seismologen und Ingenieuren definiert, indem die Effekte einer Vielzahl unterschiedlicher Erdbeben weltweit klassifiziert wurden. Auf dem XVII INQUA Congress 2007 (Cairns, Australien) erfolgte die Ratifizierung der ESI Skala durch die INQUA (International Union for Quaternary Research).

BESCHREIBUNG

Die ESI Skala hat zwölf Grade. Der Name jeden Grades beschreibt kurz die dazugehörige Stärke eines Erdbebens und die Umwelteffekte. In der Beschreibung werden zunächst die charakteristischen Haupteffekte und deren Stärke dem jeweiligen Grad zugeordnet. Darauf folgen Angaben zur räumlichen Verbreitung der Nebeneffekte zur Bestimmung der Epizentralintensität. Diese werden in Kategorien unterteilt und nach der Häufigkeit ihres Auftretens gruppiert. *Kursiver Text* markiert solche Effekte, die als charakteristisch für ihren Grad angesehen werden.

Haupteffekte hängen direkt von der Energie eines Erdbebens ab und werden insbesondere durch die Oberflächenerscheinung der seismogenen Störung bestimmt. Die Größe der Haupteffekte wird typischerweise durch zwei Parameter angegeben: i) Länge der Oberflächenruptur und ii) maximaler Versatz an der Störung. Das Auftreten dieser beiden ist üblicherweise ab einer Intensität von VIII zu erwarten; nur in vulkanisch aktiven Gebieten können auch sehr oberflächennahe, schwächere Beben Oberflächenrupturen und sichtbaren Versatz erzeugen. Des Weiteren wird die Ausdehnung von tektonischer Oberflächendeformation (Hebung und Senkung) für die Intensitätsabschätzung berücksichtigt.

Nebeneffekte sind alle Erscheinungen, die durch die Bodenerschütterung verursacht werden. Es werden acht Kategorien unterschieden:

- a) ***Hydrologische Anomalien***: In diese Kategorie fallen Veränderungen der Schüttmenge von Quellen und Flüssen sowie Änderungen der chemisch-physikalischen Eigenschaften von Grund- und Oberflächenwasser (z.B. Temperatur, Trübung). Diese Effekte gelten als diagnostisch für Intensitäten von IV bis X.
- b) ***Anomale Wellen/Tsunamis***: Diese Kategorie umfasst: Seichen (stehende Wellen) in geschlossenen Becken, das Auslaufen von Wasser aus Teichen und Becken sowie Tsunamiwellen. Im Falle von Tsunamis werden die Effekte der Wellen an der Küste zur Intensitätsabschätzung herangezogen, weniger die Höhe der Tsunamiwellen selbst. Charakteristisch sind vor allem die maximale Auflaufhöhe, Stranderosion und Änderungen der Küstenmorphologie. Derartige Effekte können bereits ab Intensität IV auftreten, sind aber vor allem für Intensitäten von IX - XII diagnostisch.
- c) ***Bodenrisse***: Es werden die Längen der Risse (von Zentimetern bis zu einigen hundert Metern), die Breite (Millimeter bis Meter) und die Dichte des Auftretens bestimmt. Bodenrisse können ab Intensität IV auftreten; ab Intensität X ist keine Zunahme in Größe und Häufigkeit mehr zu erwarten.
- d) ***Massenbewegungen***: In dieser Kategorie werden alle Typen von Erdrutschen, Felsstürzen, Bodenfließen und Muren eingeordnet. Sofern Morphologie und Lithologie verschiedener Gebiete vergleichbar sind, werden Volumen und Fläche des Auftretens als charakteristische Größen angenommen. Massenbewegungen können ab Intensität IV auftreten; ab Intensität X ist keine Zunahme in Größe und Häufigkeit mehr zu erwarten.
- e) ***Wackelnde Bäume***: Diese Effekte sind für Intensitäten von IV - X diagnostisch. Die Definition der Intensitätsgrade orientiert sich an den Vorgaben von Dengler und McPherson (1993).
- f) ***Bodenverflüssigung***: Diese Kategorie umfasst Sandvulkane, Wasser- und Sandfontänen, einige Arten von seitlicher Ausbreitung von Bodenmaterial, Setzungen und Sackungen. Ihre Größe ist diagnostisch für Intensitäten von V bis X.
- g) ***Staubwolken***: Diese können in trockenen/ariden Gebieten ab Intensität VIII beobachtet werden.

- h) **Springende Steine:** Die maximale Größe der springenden Steine ist hierbei das diagnostische Kriterium. Springende Steine können bei Intensitäten IX - XII beobachtet werden. Dieser Effekt bezeugt, dass die Bodenbeschleunigung während des Bebens größer als die Erdbeschleunigung war. Dieses Phänomen kann lokal ab Intensität IX auftreten.

Umwelteffekte können ab Intensitäten von IV beobachtet und kategorisiert werden. Einige Effekte wie hydrologische Anomalien können unter Umständen auch schon bei geringeren Intensitäten auftreten, eignen sich dann jedoch nicht als diagnostische Kriterien. Die Genauigkeit der Abschätzung steigt grundsätzlich mit höheren Graden an, insbesondere dann, wenn Haupteffekte beobachtet werden können. Dies ist typischerweise ab Intensität VIII der Fall. Ab Intensitäten von X sind die Folgen eines Erdbebens auf Gebäude und Infrastruktur kaum oder gar nicht mehr zu unterscheiden und können verschiedenen Graden nicht oder nur selten zugeordnet werden, da die meisten Gebäude völlig zerstört werden. Insbesondere in diesem Bereich stellt die ESI Skala die einzige Möglichkeit dar, sinnvoll Intensitäten anzugeben.

Zur Benutzung der ESI 2007 Intensitätsskala

Die Verwendung der ESI 2007 Intensitätsskala als unabhängige Methode zur Intensitätsbestimmung ist immer dann ratsam, wenn nur Umwelteffekte zur Abschätzung der Erdbebenstärke geeignet sind. Dies kann der Fall sein, wenn die Auswirkungen auf Infrastruktur und Gebäude zu selten beobachtet werden können oder wenn diese so stark beschädigt sind, dass eine Unterscheidung der Grade nicht mehr möglich ist. Falls die Intensität auch traditionell anhand von Gebäudeschäden bestimmt werden kann, können zwei unabhängige Intensitätsabschätzungen vorgenommen werden. Generell wird dann der höhere der beiden ermittelten Grade als Intensität angegeben. Offensichtlich ist hierbei die Beurteilung durch Experten unabdingbar.

Die Epizentralintensität (I_0) bezeichnet die Intensität der Erschütterungen bezogen auf das Epizentrum. Die Parameter der Oberflächenrupturen und die räumliche Verteilung von Nebeneffekten (z.B. Erdrutsche oder Bodenverflüssigung) dienen als unabhängige Methoden zur Bestimmung von I_0 auf der Basis von Umwelteffekten, meist ab Intensität VII (Tabelle 1).

Besondere Vorsicht ist geboten, wenn Haupteffekte (z.B. Oberflächenrupturen) gerade auf einen Wert zwischen zwei Intensitätsgraden hindeuten. In diesem Fall sollte derjenige Grad angenommen werden, der durch die Nebeneffekte am besten bestätigt wird. Außerdem wird empfohlen, keine räumlich isoliert beobachteten, weit vom Epizentrum entfernten Nebeneffekte in die Berechnung der betroffenen Gesamtfläche einzubeziehen. Für die Auswertung solcher Beobachtungen sollte ein Experte zu Rate gezogen werden.

I_0	HAUPTEFFEKTE		NEBENEFFEKTE
	LÄNGE DER OBERFLÄCHENRUPTUR	MAXIMALER OBERFLÄCHENVERSATZ/ DEFORMATION	GESAMTFLÄCHE
IV	-	-	-
V	-	-	-
VI	-	-	-
VII	(*)	(*)	10 km ²
VIII	Einige hundert Meter	einige Zentimeter	100 km ²
IX	1 - 10 km	5 - 40 cm	1000 km ²
X	10 - 60 km	40 - 300 cm	5000 km ²
XI	60 - 150 km	300 - 700 cm	10000 km ²
XII	> 150 km	> 700 cm	> 50000 km ²

(*) Sehr kurze Oberflächenrupturen (einige Zehnermeter bis wenige hundert Meter) können in vulkanisch aktiven Gebieten bei oberflächennahen Beben auftreten.

Tab. 1 – Wertebereiche der oberflächlich sichtbaren Störungseffekte (Haupteffekte) und typische Gesamtflächen der Nebeneffekte für jeden Intensitätsgrad.

Lokale Intensitäten werden hauptsächlich anhand der Beschreibung von Nebeneffekten an bestimmten Lokalitäten abgeschätzt. Diese Intensitätsgrade sind vergleichbar mit denen, die durch die traditionellen Intensitätsskalen aufgrund von Gebäudeschäden ermittelt wurden. Es muss darauf hingewiesen werden, dass der Begriff „Lokalität“ sowohl eine bewohnte Ortschaft als auch einen Naturraum ohne menschliche Siedlungen bezeichnen kann. Sollten nur Haupteffekte dokumentiert worden sein, ist es auch möglich, die lokalen Auswirkungen der oberflächlich sichtbaren Störungseffekte zur Intensitätsbestimmung zu nutzen (maximaler Versatz).

Beschreibung der Intensität

I – III keine Auswirkungen auf die Umwelt

Stufe IV

Haupteffekte fehlen. Nebeneffekte sind:

- a) Kleine Veränderungen des Wasserstandes in Brunnen oder der Menge der Wasserschüttung von Quellen treten ganz vereinzelt und begrenzt auf. Sehr selten werden kleine physikalische und chemische Veränderungen oder Trübung des Wassers von Brunnen oder Quellen beobachtet, dies vor allem in Quellen aus größeren Karst-Aquiferen.
- b) Entwicklung von einige Zentimeter hohen Seiches in abgeschlossenen Becken (in Seen und im Meer) – typischerweise im Fernbereich von Erdbeben –, die im Allgemeinen nur von Pegeln erfasst werden, selten auch mit bloßem Auge. Anomale Wellen werden von allen Menschen in kleinen Booten wahrgenommen, von einigen in großen Booten, von den meisten an der Küste. Schwingung und manchmal Überschwappen des Wassers in Schwimmbecken werden beobachtet.
- c) Auftreten von millimeterdicken Haarrissen bei geeigneter Geländeform (Hänge, Bergkämme) oder bei bestimmter Bodenbeschaffenheit (wassergesättigter Boden, unverfestigter Schwemmboden).
- d) In steilen Hängen nahe dem kritischen Winkel und bei losem oder wassergesättigtem Boden kommt es vereinzelt zu Steinschlag und kleinen Erdbeben, manchmal infolge der Reaktivierung alter Rutschmassen.
- e) Schwaches Zittern von Ästen.

Stufe V

Haupteffekte fehlen. Nebeneffekte sind:

- a) Selten und begrenzt treten kleine Veränderungen des Wasserstandes in Brunnen oder der Menge der Wasserschüttung von Quellen auf. Ebenso werden vereinzelt kleine physikalische und chemische Veränderungen oder Trübung des Wassers von Seen, Brunnen oder Quellen beobachtet.
- b) Entwicklung von einige Dezimeter hohen Seiches in abgeschlossenen Becken (in Seen und im Meer) – typischerweise im Fernbereich von Erdbeben –, die manchmal auch mit bloßem Auge erfasst werden. Anomale Wellen von einigen Dezimetern Höhe werden von allen Menschen in Booten und an der Küste wahrgenommen. Überschwappen des Wassers aus Schwimmbecken tritt auf.
- c) Begrenztes Auftreten von millimeterdünnen Rissen mit einer Länge von einigen Zentimetern bis zu einem Meter bei geeigneter Geländeform (Hänge, Bergkämme) oder bei bestimmter Bodenbeschaffenheit (wassergesättigter Boden, unverfestigter Schwemmboden).
- d) Vereinzelt Steinschlag und Erdbeben nicht nur in steilen Hängen nahe dem kritischen Winkel, meist bei losen Ablagerungen oder wassergesättigtem Boden. Unterseeische Rutschungen können ausgelöst werden, die möglicherweise kleine anomale Wellen an den Küsten von See und Meer erzeugen.
- e) Äste und Büsche erbeben leicht, sehr selten fallen tote Äste und reife Früchte zu Boden.
- f) Äußerst seltene Beobachtungen von Bodenverflüssigung („aufkochender“ Treibsand) in sehr begrenzten Bereichen, die aufgrund von hohem Grundwasserstand und geeigneter Bodenbeschaffenheit (z. B. Schwemmsand) anfällig dafür sind.

Stufe VI

Haupteffekte fehlen. Nebeneffekte sind:

- a) Räumlich begrenzt treten deutliche Veränderungen des Wasserstandes in Brunnen oder der Menge der Wasserschüttung von Quellen auf. Ebenso werden kleine physikalische und chemische Veränderungen oder Trübung des Wassers von Seen, Brunnen oder Quellen beobachtet.
- b) Anomale Wellen von mehreren Dezimetern Höhe überfluten sehr begrenzte Bereiche des Ufers. Überschwappen des Wassers aus Schwimmbecken, kleinen Tümpeln und Teichen.
- c) Bei geeigneter Bodenbeschaffenheit (wassergesättigter Boden, unverteigter Schwemmboden) gelegentliches Auftreten von millimeter- bis zentimeterbreiten Rissen mit einer Länge von bis zu einigen Metern, die an steilen Hängen oder Flussufern 1–2 cm offen stehen können. Einige kleine Risse entstehen in asphaltierten oder gepflasterten Straßen.
- d) Steinschlag und Erdbeben mit einem Volumen von bis zu 1.000 m³ vor allem an steilen Hängen und Geländeeinschnitten nahe dem kritischen Winkel, meist bei losen wassergesättigten Ablagerungen oder stark verwittertem und brüchigem Fels. Unterseeische Rutschungen können ausgelöst werden, die hin und wieder kleine, vor allem von Messinstrumenten verzeichnete, anomale Wellen an den Küsten von See und Meer erzeugen.
- e) Äste und Büsche erbeben gemäßigt bis stark; in Abhängigkeit von der Baumart, dem Gesundheitszustand und der Fruchtlast brechen einige wenige Baumkronen und instabile tote Äste und fallen zu Boden.
- f) Seltene Beobachtungen von Bodenverflüssigung („aufkochender“ Treibsand) in sehr begrenzten Bereichen, die aufgrund von hohem Grundwasserstand und geeigneter Bodenbeschaffenheit (z. B. Schwemmsand) anfällig dafür sind.

Stufe VII

Haupteffekte werden sehr selten beobachtet, hauptsächlich in vulkanischen Gebieten. Vor allem sehr oberflächennahe Beben erzeugen begrenzte Oberflächenrupturen von einigen hundert Metern Länge und mit wenigen Zentimetern Versatz.

Nebeneffekte betreffen eine Fläche in der Größenordnung von 10 km².

- a) Räumlich begrenzt treten vorübergehend deutliche Veränderungen des Wasserstandes in Brunnen oder der Menge der Wasserschüttung von Quellen auf. Selten kommt es vorübergehend zum Versiegen oder Entstehen von kleinen Quellen. Ebenso werden örtlich kleine physikalische und chemische Veränderungen oder Trübung des Wassers von Seen, Brunnen oder Quellen beobachtet.
- b) Anomale Wellen von mehr als einem Meter Höhe überfluten begrenzte Bereiche des Ufers und beschädigen Objekte verschiedener Größe oder spülen sie fort. Überschwappen des Wassers aus kleinen Becken und Wasserläufen tritt auf.
- c) Bei geeigneter Bodenbeschaffenheit (wassergesättigter Boden, unverteigter Schwemmboden) können 5 bis 10 Zentimeter breite Rissen mit einer Länge von bis zu hundert Metern auftreten. In trockenem Sand, sandigem Schluff und in Ton werden seltene Risse bis zu einer Breite von 1 Zentimeter beobachtet. Zentimeterbreite Risse entstehen in asphaltierten oder gepflasterten Straßen.
- d) Verstreutes Auftreten von Erdbeben, in einigen Fällen mit einem Volumen von bis zu 10.000 m³ vor allem an steilen Hängen und Geländeeinschnitten nahe dem kritischen Winkel, meist bei losen oder wassergesättigten Ablagerungen. Steinschlag ereignet sich vor allem in steilen Schluchten und an Klippen. Bei trockenem Boden aus Sand, sandigem Schluff oder Ton erreichen die Massenbewegungen ein Volumen von bis zu 100 m³. Bedeutende unterseeische Rutschungen können ausgelöst werden, die anomale Wellen an den Küsten von See und Meer erzeugen, welche von Personen in Booten und Häfen bemerkt werden.
- e) Bäume und Büsche erbeben stark, vor allem in dicht bestandenen Wäldern brechen viele Baumkronen und instabile tote Äste und fallen zu Boden.

f) Seltene Beobachtungen von Bodenverflüssigung („aufkochender“ Treibsand bis zu 50 cm im Durchmesser) in sehr begrenzten Bereichen, die aufgrund von hohem Grundwasserstand und geeigneter Bodenbeschaffenheit (z. B. Schwemmsand) anfällig dafür sind.

Stufe VIII

Haupteffekte werden selten beobachtet. Vor allem sehr oberflächennahe Beben, wie sie häufig in vulkanischen Gebieten vorkommen, erzeugen begrenzte Oberflächenrupturen von einigen hundert Metern Länge und mit wenigen Zentimetern Versatz. Darüber hinaus kann tektonische Hebung oder Senkung der Erdoberfläche über einige Zentimeter vorkommen.

Nebeneffekte betreffen eine Fläche in der Größenordnung von 100 km².

a) Die Wasserschüttung oder die Austrittshöhe von Quellen ändert sich, meist vorübergehend. Manchmal kommt es vorübergehend zum Versiegen oder Entstehen von kleinen Quellen. Beobachtet werden Veränderungen des Wasserstandes in Brunnen. Kleine physikalische und chemische Veränderungen des Wassers sind nachweisbar, meist Änderungen der Temperatur. Eine Trübung des Wassers lässt sich in abgeschlossenen Seen, in Flüssen, Brunnen oder Quellen beobachten. An manchen Stellen tritt Gas aus, meist schwefelhaltig.

b) Anomale Wellen von ein bis zwei Meter Höhe überfluten ufernahe Bereiche und beschädigen Objekte verschiedener Größe oder spülen sie fort. Erosion und Ablagerung von Treibgut kommt entlang der Küsten vor. Unterspülung und Verdriften einiger Büsche und kleiner, schlecht verwurzelter Bäume wird beobachtet. Heftiges Überschwappen des Wassers aus kleinen Becken und Wasserläufen ist möglich.

c) Bei geeigneter Bodenbeschaffenheit (wassergesättigter Boden, unverfestigter Schwemmboden) häufiges Auftreten von bis zu 50 Zentimeter breiten Rissen mit einer Länge von bis zu hundert Metern. In seltenen Fällen werden Risse von bis zu 1 Zentimeter Breite in hartem Felsgestein beobachtet. Dezimeterbreite Risse und kleine Druckwellungen der Oberfläche entstehen in asphaltierten oder gepflasterten Straßen.

d) Auftreten von kleinen und mittleren Erdbeben mit einem Volumen von 1.000 bis 100.000 m³ in geeigneten Gebieten, selten auch an flachen Hängen. In Ablagerungen nahe dem kritischen Winkel, etwa an steilen Hängen bei losen oder wassergesättigten Ablagerungen sowie Steinschlagmassen in Schluchten und an Steilküsten können Erdbeben ein großes Ausmaß erreichen (100.000 bis 1.000.000 m³). Erdbeben können schmale Täler versperren und so zur Entstehung eines vorübergehenden oder bleibenden Stausees führen. Brüche, Rutschungen und Steinschläge betreffen Flussufer, künstliche Böschungen und Abgrabungen wie Straßeneinschnitte und Steinbrüche in Lockersedimenten und verwittertem Gestein. Häufig werden unterseeische Rutschungen ausgelöst.

e) Bäume werden stark geschüttelt, Äste brechen und fallen zu Boden, vor allem an steilen Hängen werden manche Bäume entwurzelt.

f) Bodenverflüssigung kann im Bereich des Epizentrums bei geeigneten Bodenverhältnissen häufig sein, hier treten vor allem „aufkochender“ Treibsand bis zu einem Meter Durchmesser auf sowie scheinbare Fontänen in stillem Wasser, seitliche Ausbreitung von Bodenmaterial und Setzungen bis zu 30 cm. Parallel zu den Ufern von Flüssen, Seen, Kanälen und zur Meeresküste bilden sich Spalten.

g) In trockenen Gebieten können im Bereich des Epizentrums Staubwolken aufsteigen.

h) Steine und sogar kleine Felsen sowie gefallene Baumstämme können in die Luft geworfen werden, ihr Wiederauftreffen hinterlässt typische Spuren in weichem Boden.

Stufe IX

Haupteffekte wie Oberflächenrupturen von einigen Kilometern Länge und mit einigen Zentimetern Versatz werden häufig beobachtet. Darüber hinaus kann tektonische Hebung oder Senkung der Erdoberfläche über einige Dezimeter vorkommen.

Nebeneffekte betreffen eine Fläche in der Größenordnung von 1.000 km².

a) Die Wasserschüttung oder der Ort von Quellen ändert sich deutlich, meist vorübergehend. Manchmal kommt es zum Versiegen mittelgroßer Quellen. Häufig sind vorübergehende Veränderungen des Wasserstandes in Brunnen. Kleine physikalische und chemische Veränderungen des Wassers von Brunnen oder Quellen sind nachweisbar, meist Änderungen der Temperatur. Eine Trübung des Wassers lässt sich in abgeschlossenen Seen, in Flüssen, Brunnen oder Quellen beobachten. An manchen Stellen tritt Gas aus, meist schwefelhaltig. Stellenweise kommt es zur Entzündung des Gases und die Vegetation nahe der Austrittsstelle kann verbrennen.

b) Entstehung von mehrere Meter hohen Wellen in Still- und Fließgewässern, Verlagerung von Wasserläufen in Überschwemmungsebenen durch Bodensenkungen, Erscheinen und Verschwinden kleiner Wasserbecken. Je nach unterseeischem oder untermeerischem Geländere relief können Tsunamis von mehreren Metern Höhe entstehen, die weite Gebiete überschwemmen und eine Gefahr für Mensch und Tier darstellen. Erosion und Ablagerung von Treibgut kommt entlang der gesamten Küste vor. Unterspülung und Verdriften von Büschen und Bäumen wird beobachtet.

c) Bei geeigneter Bodenbeschaffenheit (wassergesättigter Boden, unverfestigter Schwemmboden) treten bis zu 100 Zentimeter breite Rissen mit einer Länge von bis zu mehreren hundert Metern auf. Risse von bis zu 10 Zentimeter Breite werden in hartem Felsgestein beobachtet. Breite Risse und kleine Druckwellungen der Oberfläche entstehen in asphaltierten oder gepflasterten Straßen.

d) Erdbeben sind häufig, auch an flachen Hängen. In Ablagerungen nahe dem kritischen Winkel, etwa an steilen Hängen bei losen oder wassergesättigten Ablagerungen sowie Steinschlagmassen in Schluchten und an Steilküsten können Erdbeben ein großes bis sehr großes Ausmaß erreichen (100.000 bis 1.000.000 m³). Erdbeben können schmale Täler versperren und so zur Entstehung eines vorübergehenden oder bleibenden Stausees führen. Brüche, Rutschungen und Steinschläge betreffen Flussufer, künstliche Böschungen und Abgrabungen wie Straßeneinschnitte und Steinbrüche in Lockersedimenten und verwittertem Gestein. Häufig werden unterseeische Rutschungen in Küstennähe ausgelöst.

e) Bäume werden heftig geschüttelt, Äste und dünne Baumstämme brechen häufig und fallen zu Boden, vor allem an steilen Hängen werden manche Bäume entwurzelt.

f) Bodenverflüssigung und das Aufwallen von Wasser sind häufig, hier treten vor allem „aufkochender“ Treibsand bis zu drei Metern Durchmesser auf sowie scheinbare Fontänen in stillem Wasser, häufig seitliche Ausbreitung von Bodenmaterial und Setzungen von mehr als 30 cm. Parallel zu den Ufern von Flüssen, Seen, Kanälen und zur Meeresküste bilden sich Spalten.

g) In trockenen Gebieten können Staubwolken aufsteigen.

h) Kleine Felsen und gefallene Baumstämme können in die Luft geworfen werden und wandern je nach ihrer Form und der Geländeneigung mehrere Meter, ihr Wiederauftreffen hinterlässt typische Spuren in weichem Boden.

Stufe X

Haupteffekte übertreffen die Nebeneffekte. Oberflächenrupturen von einigen Zehnerkilometern Länge und mit einigen Zentimetern bis einigen Metern Versatz werden häufig beobachtet, in vulkanischen Gebieten kann die Länge der Brüche bei sehr flachgründigen Erdbeben wesentlich größer sein. Einbruchgräben und längliche Senken entwickeln sich. Darüber hinaus kann tektonische Hebung oder Senkung der Erdoberfläche über einige Meter vorkommen.

Nebeneffekte betreffen eine Fläche in der Größenordnung von 5.000 km².

a) Die Wasserschüttung oder die Austrittshöhe vieler Quellen ändert sich deutlich. Manchmal kommt es zum vorübergehenden oder vollständigen Versiegen mancher Quellen. Häufig sind vorübergehende Veränderungen des Wasserstandes in Brunnen. Teilweise starke physikalische und chemische Veränderungen des Wassers von Brunnen oder Quellen sind nachweisbar, meist Änderungen der Temperatur. Eine Verschlämzung des Wassers lässt sich sogar in großen Seen sowie in Flüssen, Brunnen oder Quellen beobachten. An manchen Stellen tritt Gas aus, meist schwefelhaltig. Stellenweise kommt es zur Entzündung des Gases und die Vegetation nahe der Austrittsstelle kann verbrennen.

b) Entstehung von mehrere Meter hohen Wellen sogar in großen Still- und Fließgewässern, die deren Bett verlassen können. Zeitweilige oder bleibende Verlagerung von Wasserläufen in Überschwemmungsebenen durch

Bodensenkungen sind möglich, auch das Erscheinen und Verschwinden von Wasserbecken. Je nach unterseeischem oder untermeerischem Geländereief und der Ausbildung der Küste entstehen Tsunamis von mehr als 5 Metern Höhe, die mehrere Kilometer ins Land eindringen und kleine Felsbrocken über viele Meter mitschleifen können. Tiefreichende Erosion kommt entlang der gesamten Küste vor. Die Küstenlinie kann deutlich verändert werden. Unterspülung und Verdriften von ufernahen Bäumen werden beobachtet.

c) Bei geeigneter Bodenbeschaffenheit (wassergesättigter Boden, unverfestigter Schwemmboden) treten mehr als 1 Meter offen stehende Risse mit einer Länge von bis zu mehreren hundert Metern häufig auf. Risse von mehreren Dezimetern Breite werden in hartem Felsgestein beobachtet. Breite Risse und Druckwellungen der Oberfläche entstehen in asphaltierten oder gepflasterten Straßen.

d) Große Erdbeben (größer als 100.000 bis $1.000.000 \text{ m}^3$) sind häufig, ungeachtet des Gleichgewichtszustandes von Berghängen. Die Erdbeben können schmale Täler versperren und so zur Entstehung eines vorübergehenden oder bleibenden Stausees führen. Flussufer, künstliche Böschungen und die Wände künstlicher Abgrabungen wie Straßeneinschnitte und Steinbrüche brechen zusammen. Straßen- und Erddämme können schwer beschädigt werden. Häufig werden unterseeische Rutschungen in Küstennähe ausgelöst.

e) Bäume werden heftig geschüttelt, viele Äste und Baumstämme brechen und fallen zu Boden, manche Bäume werden entwurzelt.

f) Bodenverflüssigung im Verbund mit Aufwallen von Wasser und Bodenverdichtung verändern das Aussehen weiter Zonen, hier treten vor allem Sandvulkane mit bis zu sechs Metern Durchmesser auf. Setzungen erreichen eine Höhe von mehr als einem Meter. Breite und lange Spalten aufgrund der seitlichen Ausbreitung von Bodenmaterial sind häufig.

g) In trockenen Gebieten steigen meistens Staubwolken auf.

h) Felsen mit mehr als 2 bis 3 m Durchmesser können in die Luft geworfen werden und auch bei geringer Geländeneigung hunderte Meter über den Boden wandern. Dabei entstehen typische Spuren in weichem Boden.

Stufe XI

Haupteffekte überwiegen. Oberflächenrupturen von einigen Zehnerkilometern bis über hundert Kilometer Länge und mit einigen Metern Versatz treten auf. Einbruchgräben, Pressungsrücken und längliche Senken entwickeln sich, Entwässerungsmuster können stark verändert werden. Darüber hinaus kann tektonische Hebung oder Senkung der Erdoberfläche über viele Meter vorkommen.

Nebeneffekte betreffen eine Fläche in der Größenordnung von 10.000 km^2 .

a) Die Wasserschüttung oder die Austrittshöhe vieler Quellen ändert sich deutlich. Häufig kommt es zum vorübergehenden oder vollständigen Versiegen von Quellen. Häufig sind vorübergehende Veränderungen des Wasserstandes in Brunnen. Teilweise sind starke physikalische und chemische Veränderungen des Wassers von Brunnen oder Quellen nachweisbar, meist Änderungen der Temperatur. Eine starke Verschlämzung des Wassers lässt sich sogar in großen Seen sowie in Flüssen, Brunnen oder Quellen beobachten. An manchen Stellen tritt Gas aus, oft schwefelhaltig. Stellenweise kommt es zur Entzündung des Gases und die Vegetation nahe der Austrittsstelle kann verbrennen.

b) Entstehung von mehreren Meter hohen Wellen in großen Still- und Fließgewässern, die deren Bett verlassen können. Zeitweilige oder bleibende Verlagerung von Wasserläufen in Überschwemmungsebenen durch Bodensenkungen; Erscheinen und Verschwinden von Wasserbecken. Je nach unterseeischem oder untermeerischem Geländereief und der Ausbildung der Küste entstehen Tsunamis von mehr als 15 Metern Höhe, die mehrere Kilometer ins Land eindringen und metergroße Felsbrocken über große Entfernung transportieren können. Tiefreichende Erosion kommt entlang der gesamten Küste vor, die Küstenlinie kann deutlich verändert werden. Unterspülung und Verdriften von ufernahen Bäumen sind häufig.

c) Bei geeigneter Bodenbeschaffenheit (wassergesättigter Boden, unverfestigter Schwemmboden) wird häufiges Auftreten von mehreren Meter offen stehenden Rissen beobachtet. Risse von bis zu einem Meter Breite werden in hartem Felsgestein beobachtet. Sehr breite Risse und starke Druckwellungen der Oberfläche entstehen in asphaltierten oder gepflasterten Straßen.

d) Große Erdbeben und Felsstürze (größer als 100.000 bis 1.000.000 m³) sind häufig, ungeachtet des Gleichgewichtszustandes von Berghängen, und ereignen sich in geringerem Maße noch in 200 bis 300 Kilometer vom Epizentrum. Die Erdbeben versperren häufig schmale Täler und tragen so zur Entstehung eines vorübergehenden oder bleibenden Stausees bei. Flussufer, künstliche Böschungen und die Wände künstlicher Abgrabungen wie Straßeneinschnitte und Steinbrüche brechen zusammen. Straßen- und Erddämme können schwer beschädigt werden. Häufig werden große unterseeische Rutschungen in Küstennähe ausgelöst.

e) Bäume werden heftig geschüttelt, viele Äste und Baumstämme brechen und fallen zu Boden, manche Bäume werden entwurzelt.

f) Bodenverflüssigung verändert das Aussehen ausgedehnter Zonen, hier treten vor allem viele große Sandvulkane auf. Setzungen erreichen eine Höhe von mehreren Metern. Starke seitliche Ausbreitung von Bodenmaterial ist häufig.

g) In trockenen Gebieten steigen Staubwolken auf.

h) Felsen mit mehreren Metern Durchmesser können in die Luft geworfen werden und auch bei geringer Geländeneigung hunderte Meter über den Boden wandern. Dabei entstehen typische Spuren in weichem Boden.

Stufe XII

Haupteffekte überwiegen. Oberflächenrupturen mit mindestens einigen hundert Kilometern Länge und mit einigen Zehnermetern Versatz treten auf. Einbruchgräben, Pressungsrücken und längliche Senken entwickeln sich, Entwässerungsmuster können stark verändert werden. Veränderungen der Landschaft und Oberflächenformen durch die Hauptwirkungen können außerordentlich ausgedehnt und groß sein. Beispiele solcher Veränderungen sind Veränderungen der Küstenhöhe von mehreren Metern, Erscheinung oder Verschwinden bedeutender Landschaftselemente oder von Seen, Änderung von Flussläufen, Entstehung von Wasserfällen.

Nebenwirkungen betreffen eine Fläche in der Größenordnung von 50.000 km² und mehr.

a) Die Wasserschüttung oder die Austrittshöhe vieler Quellen ändert sich deutlich. Häufig kommt es zum vorübergehenden oder vollständigen Versiegen von Quellen. Häufig sind vorübergehende Veränderungen des Wasserstandes in Brunnen. Starke physikalische und chemische Veränderungen des Wassers von Brunnen oder Quellen sind nachweisbar, meist Änderungen der Temperatur. Eine starke Verschlämzung des Wassers lässt sich sogar in großen Seen sowie in Flüssen, Brunnen oder Quellen beobachten. An manchen Stellen tritt Gas aus, oft schwefelhaltig. Stellenweise kommt es zur Entzündung des Gases und die Vegetation nahe der Austrittsstelle kann verbrennen.

b) Entstehung von gigantischen Wellen in großen Still- und Fließgewässern, die deren Bett verlassen. Zeitweilige oder bleibende Verlagerung von Wasserläufen oder sogar der Fließrichtung in Überschwemmungsebenen durch Bodensenkungen und Erdbeben; Erscheinen und Verschwinden von großen Wasserbecken. Je nach unterseeischem oder untermeerischem Geländere Relief und der Ausbildung der Küste entstehen Tsunamis von mehreren Zehnermetern Höhe, die mehrere Kilometer ins Land eindringen und große Felsbrocken über große Entfernung transportieren können. Tiefreichende Erosion kommt entlang der gesamten Küste vor, die Küstenlinie kann vollkommen verändert werden. Häufig Unterspülung und Verdriften von ufernahen Bäumen. Alle Boote werden aus ihrer Verankerung gerissen und weggeschwemmt oder über teilweise große Strecken landeinwärts getragen. Alle Personen, die sich in Reichweite befinden, werden weggespült.

c) Mehr als zehn Meter offen stehende und mehrere Kilometer lange Risse in wassergesättigtem Boden oder unverfestigtem Schwemmboden, Risse von mehr als einem Meter Breite werden in hartem Felsgestein beobachtet.

d) Große Erdbeben und Felsstürze (größer als 100.000 bis 1.000.000 m³) sind häufig, ungeachtet des Gleichgewichtszustandes von Berghängen, und ereignen sich auch in 200 bis 300 Kilometer vom Epizentrum in bedeutender Größe. Die Erdbeben versperren häufig schmale Täler und tragen so zur Entstehung eines vorübergehenden oder bleibenden Stausees bei. Flussufer, künstliche Böschungen und die Wände künstlicher Abgrabungen wie Straßeneinschnitte und Steinbrüche brechen zusammen. Straßen- und Erddämme können schwer beschädigt werden. Häufig werden sehr große unterseeische Rutschungen in Küstennähe ausgelöst.

e) Bäume werden heftig geschüttelt, viele Äste und Baumstämme brechen und fallen zu Boden, manche Bäume werden entwurzelt.

f) Bodenverflüssigung verändert das Aussehen ausgedehnter Zonen, hier treten vor allem viele große Sandvulkane auf. Setzungen erreichen eine Höhe von mehreren Metern. Sehr starke seitliche Ausbreitung von Bodenmaterial ist häufig.

g) In trockenen Gebieten steigen Staubwolken auf.

h) Auch sehr große Felsen können in die Luft geworfen werden und auch bei geringer Geländeneigung hunderte Meter über den Boden wandern. Dabei entstehen typische Spuren in weichem Boden

2.5 ESIの2007年の震度 (Japanese)

TRANSLATED BY: AZUMA T. (1) & OTA Y. (2)

(1) National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tokyo, Japan.

(2) Emeritous of Yokohama National University, Japan.

序

地震の震度階は、人や構造物（建物およびその内部構造）、または自然現象（環境ないしは地質）に及ぼす地震の影響を階級区分したものである。この震度階は、あらゆる静力学的な変形および振動周期帯を考へた地震の強度を知る手法を提供する。

あらゆる震度階（たとえば、Rossi—Forel, メルカリ, MCS, MSK, 改正メルカリ）は、自然現象の変化を震度を判断する特徴的な要素としている。一方、自然現象の多様性や偶発性を敬遠し、人や構造物に与える影響のみを考慮した震度階も提案されている（たとえばEspinosa et al., 1976a; 1076b ; Grunthal, 1998）。しかし、最近になって、歴史記録または古地震学的な資料に基づく自然環境の変化の特徴が震度の評価に重要であることが提案されている（たとえばDengler & McPherson, 1993; Serva, 1994, Dowrick, 1996; Esposito et al., 1997; Hancox et al., 2002; Michetti et al., 2004）。

この目的のために、自然現象のみに基づいたESI2007震度階が作成された（Michetti et al., 2007）。この震度階は、単独でも使えるし、従来からの震度階と併用することによって地震シナリオのよりよき理解をもたらすことができる。なぜならば自然現象のみが時間的にも空間的にも震度を適切に比較できるからである。時間的；自然現象は機器で記録されている時代（20世紀）よりはるかに長い異なる時間尺度（最近の地震、歴史および古地震から求められるもの）で比較できる、空間的；環境要素は特別な社会、経済的条件とか、建物の条件とは無関係である。

したがって、この新しい震度階は従来の地震震度階と併用されることを意図している：

震度Xまたはそれ以上の地震は、被害に基づく評価が著しく困難であるが、自然現象は明確である。

人口希薄な地域で人間の構造物はないところでも自然現象に基づいて震度を評価できる。このような場所では自然現象が唯一の特徴的な要素である。

震度階の定義は、地質学者、地震学者、工学者などからなる国際ワーキンググループにより、世界的規模で多数の地震による自然現象を考慮して討議された結果である。ESI

2007は、2007年の第17回国際第四紀学連合（オーストラリア、ケアンで開催）で改訂されたものである。

記載

ESI2007震度階では地震の強さを12階級に区分している。各階級につけられた見出しは、地震の強さと自然環境との関係を示している、まず、各階級に対応する本質的な現象の特徴と規模を示す。二次的な現象は、震央での震度を評価するために、いくつかの範疇に区分された自然現象の分布の広がりについて記載されたものである。文章のうちの斜体で書かれている部分は、その階級の特徴的な記載を強調するために用いられている。

本質的な現象は、地震エネルギー、とくに震源域の地表表現と直接に関連する。

本質的な現象の規模は以下の二つの数値、i)

地表地震断層の全長（SRL）およびii) 最大変位量（MD）により表現される：これらの出現は、火山地域のごく浅い地震の場合を除いて通常最少で震度はVII Iに対応する。地殻変動による地表変形量（隆起，沈降）もまた考慮に入れる。

二次的な現象は地地震によってもたらされる現象でおもに以下の8種類に分類される。

a)

水の変化；この範疇には泉や川への水の流出の変化、および地表または地下水の化学的物理的な性質の変化（たとえば温度やにごりの状態）がある。これらは階級IV~Xに特徴的である。

b)

異常な波/津波：この範疇には以下のものが含まれる：閉じられた水域でのセイシュ（静振），池や湖からの水の流出，および津波。津波の場合には、津波の大きさよりも、津波が海岸に与える影響（とくに俎上高，海岸侵食，海岸地形の変化）を、人や構造物への影響とともにみることが重要である。この現象は、震度IVからみられるが、IXからXIIでよりはっきりと表れる。

c)

地表の割れ目：地表の割れ目は長さ（数cm程度から数百m程度），幅（数mmから数m程度）および地表での密度などによって区分される。地表の割れ目は震度IVから現れ，Xで最大である（大きさは増えない）。

d) 斜面移動：この中には

落石，滑落，斜面移動などのあらゆるタイプの地すべりや崩壊が含まれる。地質や地形が同様ならば，土砂量や全体の面積によって区分される。震度IVから現れ，Xで最大となる（数は増えない）

e) 木の振動：震度IVからXで現れる。この震度階の定義はおもにDengler and McPherson (1993)による。

f)

液状化現象：泥火山，水や砂の噴出，側方流動，地盤の収縮や沈降が含まれる。これらは一般に震度VからXにみられる

g) 粉塵：乾燥地域で震度VIII以上でみられる。

h) 飛び石：移動した石の最大の大きさは震度の評価にとって重要である。これらは震度IXVで現れ，XIIで最大となる。このような現象は地面の加速度が重力より大きくなる際に局地的に発生する。

自然環境に対する地震の影響は震度IV以上の場合に観察される。ある種の現象（水文異常）はこれより小さい震度でも現れるが、特長的な要素としてとりあげられるものではない。震度が大きいものほど評価の精度は高くなる。とくに、本質的現象が出現する範囲（通常は震度VIII以上）において顕著である。震度X以上については、人や構造物への影響は飽和してしまい（たとえば建物はほとんどが全壊）、異なる震度階の間での比較が困難となる。一方、この範囲において地震による自然現象は顕著であり、震度評価に対して効果を発揮することができる。

ESI 2007震度階の活用法

ESI 2007

震度階は、人や人口構造物に対する地震の影響が過小であったり、過大であったりして、震度階の判断に自然現象しか用いることができないときに、独自に使うことを勧める。両方の震度階を利用できるときにはそれぞれを独立させて震度を評価することができる。一般に最終的な震度は、両方の評価結果のより高い方が用いられる。この場合には専門家の判断が必要であることは明らかである。

震央震度（ I_0 ）は、震央における地震動の強さを示す。自然現象に基づく震度VII以上での I_0 の推定方法としては、地表地震断層による評価値と、二次的現象（地すべりまたは液状化など）の発生範囲を利用する方法がある（表1）。地表地震断層の値が震度区分の境界に近い場合には特別な配慮が必要である。この場合には、二次的現象の特徴や分布面積と照らしあわせて震度階を決定する。さらに全域の評価にあたっては、遠地で孤立して発生した現象を含めないことを勧める。この評価についても専門家の判断が重要である。

I_0	本質的現象		二次的現象
	地表地震断層の長さ	最大地表変位	総面積
IV	-	-	-
V	-	-	-
VI	-	-	-
VII	(*)	(*)	10km ²
VIII	数百m	数cm	100km ²
IX	1-10km	5-40cm	1000km ²
X	10-60km	40-300cm	5000km ²
XI	60-150km	300-700cm	10000km ²
XII	>150	>700cm	>50000km ²

(*)

長さ10～100m程度、数cm程度の変位量の局地的な地表地震断層が火山地域のごく浅い地震で発生することがある。

表1. 震度階ごとの地表地震断層（本質的現象）と現象発生範囲（二次的現象）

震度階の定義

I～III 自然現象は明瞭には現れない。

IV: 主に観測のみ 最初の環境への明瞭な影響

<本質的現象>

なし

<二次的現象>

a)

井戸の水位や泉の湧水量にわずかな変化が稀にみられる。カルストの大規模な湧水系では、非常にわずかな水質の化学成分の変化や混濁が生じる。

b)

閉鎖系の水域で波高数cmに満たないセイシュが発生し、通常は潮位計で観測される程度で、非常に稀に肉眼でも認識できる。小さなボートに乗っていれば異常な波に気づくが、大きな船に乗っていたり、岸にいる場合には気づかない。

c)

軟弱な沖積堆積物や含水率が高い土壌といった地質条件あるいは斜面や尾根の頂部といった地形条件においては、幅数mmの亀裂が地表に生じることがある。

d)

均衡状態が限界に近い急斜面に沿って、落石や小規模なランドスライドが稀に発生する

e) 木々が少し揺れる。

V: 強い揺れ 環境へのわずかな影響

<本質的現象>

なし

<二次的現象>

a)

井戸の水位や泉の湧水量に変化が稀にみられる。湖、泉、井戸で、わずかな水質の化学成分の変化や混濁が生じる。

b)

閉鎖系の水域で波高数十cmのセイシュが発生し、肉眼でも認識できる。船に乗っていても、岸にいても異常な波に気づく。プールでは波で水があふれる。

c)

軟弱な沖積堆積物や含水率が高い土壌といった地質条件あるいは斜面や尾根の頂部といった地形条件においては、幅数mm～数cm、長さ1m以下の亀裂が地表に生じる。

- d) 小規模な落石や回転性のランドスライドや表層すべりが急傾斜地に限らず発生する。水面下のランドスライドによって、小規模ではあるが異常な波が海岸や湖岸で発生する。
- e) 木の枝や茂みがわずかに揺れ、稀に枯れた枝や熟した実が落ちる。
- f) 年代の新しい沖積層や海成層が堆積し、地下水位が高い地域で、ごく稀に小規模な液状化現象（噴砂）が生じる。

VI: わずかな被害 中程度の自然現象

<本質的現象>

なし

<二次的現象>

- a) 井戸の水位や泉の湧水量に顕著な変化がみられる。湖，泉，井戸で，わずかな水質の化学成分の変化や混濁が生じる。
- b) 波高数十cmの異常な波が発生し，岸近くに限られた地域に浸水する。池やプールでは波で水があふれる
- c) 軟弱な沖積堆積物や含水率が高い土壌といった地質条件においては，幅数mm〜数cm，長さ数mの亀裂が地表に生じる。急斜面や河畔では亀裂の幅が1〜2cmに達する。舗装道路にもわずかに亀裂が生じる。
- d) 急斜面や切り割りなど均衡状態が限界に近い場所で含水率が高い土壌や風化が進んだ岩盤地域を中心に， 10^3 m³規模に達する落石やランドスライドが発生する。水面下のランドスライドによって、小規模ではあるが異常な波が海岸や湖岸で発生する
- e) 木や茂みがかなり揺れ，ごく一部で木の梢や枯れた枝が落ち，種類によっては健全な実が落下する。
- f) 年代の新しい沖積層や海成層が堆積し，地下水位が高い地域で，稀に小規模な液状化現象（噴砂）が生じる。

VII: 被害発生 感知できる程度の自然現象

<本質的現象>

極めて稀であり，火山地域に限られる。長さが数十〜数百m，ずれ量が数cmの地表地震断層が，震源のごく浅い地震で生じる。

<二次的現象> 現象発生 の総面積は10 km²規模

a)

井戸の水位や泉の湧水量に一時的に顕著な変化がみられる。めったにはないが、小規模な泉が一時的に湧き出たり、消失したりする。湖、泉、井戸で、わずかな水質の化学成分の変化や混濁が生じる。

b)

沿岸では波高1m以上の異常な波が発生し、岸近くに限られた地域に浸水して様々な大きさのものが流される。水路や池などでは波で水があふれる。

c) 幅5-

10cm, 長さ数百m以下の地表亀裂が、軟弱な沖積層や含水率の高い土壌では共通して、乾燥した年度やや砂, 土壌では稀にみられる。舗装道路に幅数cmの亀裂が入る。

d)

不安定な場所（急斜面や含水率の高い土壌）でランドスライドが散在的に発生し、その規模は乾燥した砂や土壌では10³-10⁵m³である。堤防や採石場等で、亀裂や滑落、崩落が発生する。顕著な水面下のランドスライドによって異常な波が発生し、海岸や船上でも認識される。

e) 木々が激しく揺れ、森林では木の梢や枝が多く落ちる。

f)

年代の新しい沖積層や海成層が堆積し、地下水位が高い地域で、稀に直径50cm以下の噴砂等の液状化現象が生じる。

VIII: 著しい被害 広域的な自然現象

<本質的現象>

稀に観察される。

長さが数百m以下, ずれ量が数cm以下の地表地震断層が、震源が浅い地震で生じる。数cm規模の隆起・沈降が生じる。

<二次的現象> 現象発生 の総面積は100 km²規模

a)

泉の湧水量が変化するが、通常は一時的である。小規模な池が干上がる。井戸の地下水位変化が観察される。井戸や泉で水温異常などのわずかな変化が観察される。閉鎖系の池や河川、井戸や泉で水が混濁する。硫黄を含むガスが発生する。

b)

沿岸で波高1-2mの異常な波が発生し、様々な大きさのものが流される。海岸では浸食と漂着がみられ、根が弱い小さな木は根こそぎ運ばれる。水路や池では激しい波で水があふれる。

c)

軟弱な沖積堆積物や含水率の高い土壌などで幅50cm以下、長さ数百m以下の地表亀裂が発生する。乾燥した岩盤に幅1cm以下の亀裂が稀に観察される。舗装道路に幅数十cmの亀裂や圧縮による小規模な起伏が生ずる。

- d) 小～中規模 (10^3 – 10^5 m^3) の落石やランドスライドが広域に発生し、緩斜面で発生することもある。不安定な場所や峡谷や海食崖では 10^5 – 10^6 m^3 規模に達する。小河川がせき止められ、一時的に湖が形成される。堤防や採石場等で、亀裂や滑落、崩落が発生する。顕著な水面下のランドスライドが発生する。
- e) 木々が激しく揺れる。急な斜面では木の根が抜ける。
- f) 震央域では直径1m以下の噴砂等の液状化現象が生じる。水中でも水の噴出が起こる。河畔や湖、水路、海岸などの水域周辺に沿って、側方流動や30cm以下の地盤沈下が見られる。
- g) 乾燥地域では、震央周辺で粉塵雲が発生することがある。
- h) 砂や小礫、倒木等が宙に浮き上がり、柔らかい土壌の上に跡を残す。

IX: 破壊的

自然現象が被害の特徴的な原因として広域に認められ、震度の評価にとって重要になる。

<本質的現象>

広い地域で観察される。

長さ数km以下、ずれ量数cm程度の地表地震断層が発生する。地殻変動による数十cm規模の隆起・沈降が生じる。

<二次的現象> 現象発生 の 総面積は1,000 km²規模

- a) 泉の湧水量が変化するが、通常は一時的である。中規模な池が干上がる。井戸の地下水位変化が観察される。井戸や泉で水温異常などのわずかな変化が観察される。閉鎖系の池や河川、井戸や泉で水が混濁する。硫黄を含むガスが発生し、周辺の草木が燃えることがある。
- b) 波高数mの波が静水域や流水域で発生する。氾濫原では河川の流路変更が生じる。海底地形や海岸の形状によっては波高数mの津波が発生し、広範囲に浸水する。海岸では浸食と漂着がみられ、根が弱い小さな木は根こそぎ運ばれる。
- c) 軟弱な沖積堆積物や含水率の高い土壌などで幅100cm以下、長さ数百m以下の地表亀裂が発生する。乾燥した岩盤に幅10cmに達する亀裂が観察される。舗装道路に顕著な亀裂や圧縮による変形が生ずる。
- d) 落石やランドスライドが広域に発生し、緩斜面で発生することもある。不安定な場所や峡谷や海食崖では、その規模は多くが 10^6 m^3 であるが、 10^7 m^3 規模に達するものもある。小河川がせき止められ、一時的に湖が形成される。堤防や採石場等で、亀裂や滑落、崩落が発生する。顕著な水面下のランドスライドが頻繁に発生する。
- e) 木々が激しく揺れる。枝や細い幹が折れたり、倒れたりすることが頻繁にみられる。急な斜面では木の根が抜ける。

- f) 液状化現象や水の噴出が多く見られる。噴砂の直径は3 m以下に達する。沿岸域では側方流動や30 cmを超える地盤沈下が多くみられる。
- g) 乾燥地域では、震央周辺で粉塵雲が発生する。
- h) 小礫や倒木が宙に飛び上がり、斜面状態などによっては数m移動する。柔らかい土壌の上に跡を残す。

X: 非常に破壊的

自然現象が被害の主要な要因となり、震度の評価にとって決定的となる。

<本質的現象>

主要な現象となってくる。

長さ数十km以下、ずれ量数十cm～数m程度の地表地震断層が発生する。重力性の地溝や引長性の陥没が形成される。火山地域の震源がごく浅い地震では、地表破断がより長くなる。数m規模の隆起・沈降が生じることがある

<二次的現象> 現象発生 の総面積は5,000 km²規模

- a) 多くの泉の湧水量が変化する。複数の池が干上がる。井戸で一時的な水位変化が広く観察される。井戸や泉で水温異常などの顕著な変化が観察される。閉鎖系の池や河川、井戸や泉で水が混濁する。硫黄を含むガスが発生し、周辺の草木が燃えることがある。
- b) 波高数mの波が大きな湖や河川で発生し、水があふれる。氾濫原では、広域に生じた地盤の沈降によって河川の流路が一時的あるいは恒久的に変更する。海底地形や海岸の形状によっては波高5 mを超える津波が発生し、平地では海岸線から数千mまで浸水する。小さめの巨礫が数m運ばれる。海岸では広域で大きく浸食を受け、海岸線の様子が変化する。
- c) 軟弱な沖積堆積物や含水率の高い土壌などで幅100 cm以上、長さ数百m以上の地表亀裂が発生する。乾燥した岩盤に幅数十cmに達する亀裂が発生する。舗装道路に幅広い亀裂や圧縮による変形が生ずる。
- d) 大規模な (10⁵–10⁶ m³以上) 落石やランドスライドが、斜面の安定性とは関係なく頻繁に発生する。河川がせき止められ、一時的あるいは恒久的な湖が形成される。堤防や採石場等で、亀裂や滑落、崩落が発生する。自然堤防や天然ダムが深刻な損傷を受ける。大規模な水面下のランドスライドが頻繁に発生する。
- e) 木々が激しく揺れる。枝や細い幹が折れたり、倒れたりすることが頻繁にみられる。木の根が抜けて倒れることもある。
- f) 噴砂や圧密沈下などの液状化現象が多く見られる。直径6 m以上の噴砂丘が形成される。1 mを超える地盤沈下が発生する。大規模で広い範囲にわたる側方流動が発生する。
- g) 乾燥地域では、震央周辺で粉塵雲が発生する。

h) 直径2-

3mの礫が宙に飛び上がる。緩斜面上でも数百m下方へ移動し、土壌の上に跡を残すことがある。

XI: 壊滅的

構造物被害が飽和状態になるため、自然現象が震度評価にとってより決定的となる

<本質的現象>

現象が卓越する。

長さ数十～100

km以上、ずれ量数mの地表地震断層が発生する。重力性の地溝や引長性の陥没が形成される。水系が著しくずれる。数m規模の隆起・沈降が生じる

<二次的現象>

現象発生 の 総面積は10,000 km²規模

a)

多くの泉の湧水量が変化する。多くの泉が一時的あるいは恒久的に干上がる。井戸で一時的あるいは恒久的な水位変化が広く観察される。井戸や泉で水温異常などの顕著な変化が観察される。池や河川、井戸や泉で水が泥質になる。硫黄を含むガスが発生し、周辺の草木が燃えることがある。

b)

大きな波が大きな湖や河川で発生し、水があふれる。氾濫原では、広域に生じた地盤の沈降やランドスライドによって河川の流路が一時的あるいは恒久的に変更される。海底地形や海岸の形状によっては波高15mに達する津波が発生し、平地では海岸線から数kmまで浸水する。1m以上の巨礫が長い距離を引きずられる。海岸では広域で大きく浸食を受け、海岸線の様子が変化する。海岸付近の木は引き抜かれて、流失する。

c) 主に軟弱な沖積堆積物や含水率の高い土壌などで、幅1

m以上の地表亀裂が非常に頻繁に発生する。堅固な岩盤に幅数1mに達する亀裂が発生する。舗装道路に幅広い亀裂や圧縮による大規模な変形が生ずる。

d) 大規模な (10⁵-10⁶

m³以上) 落石やランドスライドが、斜面の安定性とは関係なく頻繁に発生する。河川がせき止められ、一時的あるいは恒久的な湖が形成される。堤防や採石場等で、亀裂や滑落、崩落が発生する。自然堤防や天然ダムが深刻な損傷を受ける。顕著なランドスライドが震央から200～300km離れた場所でも発生する。水面下で大規模なランドスライドが頻繁に発生する。

e)

木々が激しく揺れる。枝や細い幹が折れたり、倒れたりすることが頻繁にみられる。多くの木の根が抜けて倒れる。

f)

液状化現象により低地の大部分は大きく変化し、数mを超える地盤沈下が広域でみられる。大規模な噴砂丘や著しい側方流動が多数みられる。

g) 乾燥地域では、粉塵雲が地表から舞い上がる。

h)

直径数mの礫が宙に飛び上がり、緩斜面上でもはるか下方へ移動し、土壌の上に跡を残すことがある。

XII: 完全な壊滅状態

自然現象が震度評価の唯一の指標となる

<本質的現象>

卓越する。

長さ100 km以上、ずれ量10

m以上の地表地震断層が発生する。重力性の地溝や引長性の陥没が形成される。

水系が著しくずれる。本質的な影響によって、隆起や沈降で河川が消失したり、滝ができたり、湖が形成・消失するなど、地形が様変わりする。

<二次的現象>

現象発生 of 総面積は50,000 km²規模

a)

多くの泉の湧水量が変化する。多くの泉が一時的あるいは恒久的に干上がる。井戸で一時的あるいは恒久的な水位変化が広く観察される。井戸や泉で水温異常などの顕著な変化が観察される。池や河川、井戸や泉で水が泥質になる。硫黄を含むガスが発生し、周辺の草木が燃えることがある。

b)

巨大な波が大きな湖や河川で発生し、水があふれる。氾濫原では、広域に生じた地盤の沈降やランドスライドによって河川の流路が一時的あるいは恒久的に変更する。海底地形や海岸の形状によっては波高数十mに達する津波が発生し、平地では海岸線から数kmまで浸水する。大きな巨礫が長い距離を引きずられる。海岸では広域で大きく浸食を受け、海岸線の様子が変わる。海岸付近の木は引き抜かれて、流失する。船はすべて繋がれたところから離され、流失したり、はるか内陸へ打ち上げられる。屋外にいる人は皆流される。

c) 幅1 m以上の地表亀裂が非常に頻繁に発生する。堅固な岩盤に幅数1

mに達する亀裂が基盤上に発生する。軟弱な沖積堆積物や含水率の高い土壌などでは10 m以上に及ぶ。これらの長さは数kmになることもある。

d) 大規模な (10⁵-10⁶

m³以上) 落石やランドスライドが、斜面の安定性とは関係なく頻繁に発生する。河川がせき止められ、一時的あるいは恒久的な湖が形成される。堤防や採石場等で、亀裂や滑落、崩落が発生する。自然堤防や天然ダムが深刻な損傷を受ける。顕著なランドスライドが震央から200-300 km以上離れた場所でも発生する。水面下で非常に大規模なランドスライドが頻繁に発生する。

e)

木々が激しく揺れる。枝や細い幹が折れたり、倒れたりすることが頻繁にみられる。多くの木の根が抜けて倒れる。

f)

液状化現象が広い範囲で発生し、低地の大部分で地形を大きく変化させる。数mを超える地盤沈下が広域でみられる。大規模な噴砂丘や著しい側方流動が多数みられる。

g) 乾燥地域では、粉塵雲が地表から舞い上がる。

h)

直径数mの礫が宙に飛び上がる。非常に緩い勾配の緩斜面上でも礫がはるか下方へ移動し、土壌の上に跡を残すことがある。

2.5. Шкала сейсмической интенсивности на основании природных эффектов – ESI2007 (Russian)

ПЕРЕВОД: RUBEN TATEVOSSIAN (1)

(1) Institute of Physics of the Earth, RAS, Moscow, Russia.

Введение

Интенсивность землетрясений основана на классификации эффектов сейсмического события по ощущениям людей, реакции искусственных сооружений (здания и инфраструктура) и в природной среде (природные или геологические эффекты). Определенная таким образом интенсивность дает представление о силе землетрясения в широком диапазоне частот от вибраций до статических деформаций.

Все шкалы интенсивности (Росси-Фореля, Меркалли, MCS, MSK, модифицированная Меркалли) рассматривали эффекты в природной среде в качестве диагностического признака для оценки балльности. В отличие от этого некоторые современные шкалы (например, Espinosa et al., 1976a; 1976b; Grunthal, 1998) учитывают только реакцию людей и зданий и сооружений., существенно снижая диагностическое значение природных эффектов, исходя из того, что они слишком неустойчивы и случайны. Между тем недавние исследования (например, Dengler & McPherson, 1993; Serva, 1994, Dowrick, 1996; Esposito et al., 1997; Hancox et al., 2002; Michetti et al., 2004) продемонстрировали убедительные свидетельства того, что характерные признаки природных эффектов, которые могут быть сегодня получены из исторических источников и палеосейсмологических исследований, несут существенную информацию для оценки величины землетрясения и в частности интенсивности.

С этой целью была создана шкала интенсивности ESI2007 (Michetti et al., 2007) основанная исключительно на эффектах в природной среде. Ее использование, отдельно либо совместно с другими традиционными шкалами, нацелено на более полное описание сценария землетрясения, поскольку только природные эффекты позволяют сравнение интенсивности:

- во времени: эффекты в природной среде сравнимы для гораздо более длительного временного окна (современные, исторические и палео землетрясения), чем период инструментальной регистрации (последнее столетие) и
- в различных географических областях: природные эффекты не зависят от социальных и экономических условий либо от различия в строительных технологиях.
- Новая шкала нацелена на дополнение традиционных сейсмических шкал:
- для интенсивности равной или превышающей X баллов, когда оценки основанные на повреждении зданий и сооружений практически невозможны, тогда как природные эффекты все еще могут использоваться для диагностики;
- в малонаселенных областях, где эффекты на зданиях и сооружениях отсутствуют и потому оценка интенсивности может основываться только на природных эффектах, которые в этом случае являются единственным диагностическим элементом.

Шкала является результатом работы международной рабочей группы, сформированной из геологов, сейсмологов и инженеров, нацеленных на анализ природных эффектов большого числа землетрясений по всему миру. Шкала ESI2007 была принята INQUA

(Международный союз по четвертичной геологии) на своем XVII конгрессе в Каире, Австралия в 2007 г.

Описание

Шкала интенсивности ESI2007 двенадцатибалльная. Название балла соответствует силе землетрясения и роли природных эффектов. В описании балла вначале указываются параметры первичных природных эффектов. Затем описываются вторичные эффекты, начиная с общей площади их распространения, что используется для оценки эпицентральной интенсивности. Эффекты сгруппированы по категориям в порядке их распространенности. Текст, выделенный курсивом, указывает на основные диагностические признаки для данного балла.

Первичные эффекты прямо связаны с энергией землетрясения и с выходом на поверхность очага землетрясения. Величина первичных эффектов обычно выражается двумя параметрами: 1) общая длина разрывов (SRL) и 2) максимальное смещение (MD). Как правило их появление связано с интенсивностью как минимум VIII баллов, за исключением приповерхностных землетрясений в вулканических областях. Учитывается также величина тектонических деформаций (поднятия и опускания).

Вторичные эффекты – это любые явления, вызванные сотрясениями грунта. Они сгруппированы в восемь основных категорий.

- a) **Гидрологические аномалии:** в эту категорию включены сообщения об изменении дебита источников и рек, а также изменения химических и физических свойств поверхностных и грунтовых вод (например, температура, мутность). Эти эффекты являются диагностическими от IV до X баллов.
- b) **Аномальные волны/цунами:** в эту категорию включены сейши в закрытых бассейнах, выплескивание воды из бассейнов и волны цунами. В случае цунами, диагностическое значение даже больше, чем сама высота волны, имеют эффекты на берегах (особенно высота заплеска, эрозия берега, изменение морфологии берега). Нельзя также игнорировать воздействие цунами на здания и сооружения. Эффект может наблюдаться уже при IV баллах, но является диагностическим от IX до XII баллов.
- c) **Трещины в грунте:** описываются в терминах длины (от см до нескольких сотен метров), ширины (от мм до м), площадной плотности. Трещины в грунте появляются при IV баллах и насыщаются (т.е. их размеры перестают расти) при интенсивности X баллов.
- d) **Склоновые движения:** включает все типологии оползней, включая камнепады и грязевые потоки. В одинаковых литологических и морфологических условиях диагностическим параметром является объем т общая площадь. Они возникают при IV баллах и насыщаются (т.е. их размеры перестают расти) при интенсивности X баллов.
- e) **Качание деревьев:** является диагностическим от IV до X баллов. Определения балла по этому признаку основываются на предложениях Dengler, McPherson (1993).
- f) **Разжижения:** в эту категорию включены песчаные вулканы, фонтанирование песка и воды, некоторые типы оседания и обрушение грунта. Их величина является диагностической в интервале от V до X баллов.
- g) **Пыльные облака:** могут наблюдаться в засушливых/пустынных областях начиная с VIII баллов.
- h) **Подбрасывание камней:** максимальная величина подброшенных камней является диагностической для оценки интенсивности. Это явление наблюдается как минимум при IX баллах и вплоть до XII баллов. Свидетельствует в пользу того, что локально сила тяжести может быть превышена начиная с IX баллов.

Природные эффекты могут наблюдаться начиная с интенсивности IV балла. Некоторые категории природных эффектов (гидрологические аномалии) могут наблюдаться и при меньшей интенсивности, но они не могут служить диагностическими элементами. Точность оценок возрастает для высших баллов, в частности, когда начинают появляться первичные эффекты (обычно от VIII баллов) – они остаются диагностическими вплоть до XII баллов. Начиная с X баллов эффекты на зданиях и сооружениях насыщаются (т.е. здания часто полностью разрушены) и потому нет возможности на их основании различать балльность. В этом диапазоне природные

эффекты доминируют и потому являются наиболее действенным средством оценки интенсивности.

Как пользоваться шкалой ESI2007

Использование шкалы интенсивности ESI2007 как самостоятельного средства оценки интенсивности рекомендуется лишь в случае, когда, из-за насыщения реакции людей и эффектов на зданиях и сооружениях либо их отсутствия, природные эффекты являются единственными диагностическими признаками. Если же эффекты на зданиях и сооружениях также доступны, тогда становится возможным оценить интенсивность двумя независимыми способами. Обычно, заключительная оценка равна большей из этих двух. Но, разумеется, в такой ситуации окончательное решение является экспертным.

Эпицентральная интенсивность (I_0) обозначает интенсивность, относящуюся к эпицентру. Размеры выхода очага на поверхность и общая площадь распространения вторичных эффектов (оползни и/или разжижения) являются двумя независимыми параметрами для оценки I_0 начиная с интенсивности VII баллов (таблица 1).

Особую осторожность следует соблюдать, когда параметры выхода очага на поверхность находятся вблизи пограничного значения между двумя соседними баллами. В таком случае следует выбрать то значение балла, которое наилучшим образом согласуется с общей площадью проявления вторичных эффектов. Определяя общую площадь вторичных эффектов не следует включать в оценку отдельно отстоящие изолированные эффекты в дальней зоне. Эта оценка основывается на экспертном заключении.

I_0	ПЕРВИЧНЫЕ ЭФФЕКТЫ		ВТОРИЧНЫЕ ЭФФЕКТЫ
	Длина ПОВЕРХНОСТНЫХ РАЗРЫВОВ	МАХ СМЕЩЕНИЕ / ДЕФОРМАЦИЯ	ОБЩАЯ ПЛОЩАДЬ
IV	-	-	-
V	-	-	-
VI	-	-	-
VII	(*)	(*)	10 км ²
VIII	сотни метров	сантиметровые	100 км ²
IX	1 - 10 км	5 - 40 см	1000 км ²
X	10 - 60 км	40 - 300 см	5000 км ²
XI	60 – 150 км	300 – 700 см	10000 км ²
XII	> 150 км	> 700 см	> 50000 км ²

(*) Ограниченные поверхностные разрывы в десятки и сотни метров длиной с сантиметровыми смещениями по ним могут возникать в случае приповерхностных очагов землетрясений в вулканических областях.

Табл. 1 – Интервалы параметров поверхностных разрывов (первичные эффекты) и типичные величины площади (вторичные эффекты) для соответствующих баллов интенсивности.

Локальная интенсивность в основном определяется по описаниям вторичных эффектов на «площадках», которые принадлежат данному «пункту». Оцененная таким образом интенсивность должна соответствовать оценкам локальной интенсивности с использованием традиционных шкал, использующих для диагностики повреждения. Следует обратить внимание на то, что «пункт» может относиться как к населенному пункту (деревня или город), так и к природному объекту, на котором отсутствуют жилища. Когда единственная доступная информация представлена первичными эффектами, локальная интенсивность может быть определена на основании максимального смещения.

Определения градаций шкалы

От I до III баллов: природных эффектов, пригодных для оценки интенсивности, нет.

IV – ШИРОКО НАБЛЮДАЕМОЕ – появляются первые явные природные эффекты

Первичные эффекты отсутствуют

Вторичные эффекты:

- a) Редко локально отмечаются небольшие вариации уровня воды в колодцах и/или дебита источников, а также крайне редко – небольшие вариации физико-химических свойств воды и помутнение источников, особенно в крупных карстовых провинциях, которые, видимо, наиболее подвержены этому явлению.
- b) В закрытых водоемах (озерах и даже морях) могут развиваться сейши высотой не более нескольких сантиметров, обычно регистрируются только мореграфами, в исключительных случаях могут быть замечены визуально, обычно в дальней зоне сильных землетрясений. Аномальные волны ощущают все люди в небольших лодках, некоторые – и на больших судах, большинство – на берегу. Вода в плавательных бассейнах плещется и иногда может выплескиваться.
- c) Иногда могут наблюдаться волосяные трещины (миллиметровой ширины) в местах, где литология (например, рыхлые аллювиальные отложения, влагонасыщенная почва) и/или морфология (крутые склоны или седловины) наиболее благоприятны для возникновения таких явлений.
- d) В исключительных случаях могут срываться камни и (ре)активизироваться небольшие оползни вдоль склонов, которые находятся на пределе устойчивости, например, крутые склоны и разрезы с рыхлой и часто влагонасыщенной почвой.
- e) Ветки деревьев слабо раскачиваются.

V - СИЛЬНОЕ – пограничные эффекты в природе

Первичные эффекты отсутствуют

Вторичные эффекты:

- a) Редко локально наблюдаются вариации уровня воды в колодцах и/или дебита источников, а также небольшие вариации физико-химических свойств воды и помутнение воды в озерах, колодцах и источниках.
- b) В закрытых водоемах (озерах и даже морях) могут развиваться сейши высотой в дециметры, иногда видимые невооруженным глазом обычно в дальней зоне сильных землетрясений. Аномальные волны высотой до нескольких десятков сантиметров ощущают все люди в лодках и на берегу. Из плавательных бассейнов выплескивается вода.
- c) Тонкие трещины (миллиметровой ширины и длиной от нескольких сантиметров до одного метра) наблюдаются локально в местах, где литология (например, рыхлые аллювиальные отложения, влагонасыщенные почвы) и/или морфология (склоны или седловины) наиболее благоприятны для возникновения таких явлений.
- d) Редко могут возникать небольшие камнепады, оползни и грязевые потоки часто, но не обязательно, вдоль крутых склонов, равновесие которых близко к предельному, главным образом, в рыхлых отложениях и влагонасыщенной почве. Могут возникать подводные оползни, которые образуют небольшие аномальные волны в прибрежных областях морей и озер.
- e) Ветви деревьев и кустарники слабо качаются, в редких случаях падают отмершие ветки и спелые фрукты.
- f) В исключительно редких случаях сообщается о разжижении (песчаные воронки) небольшого размера и в областях наиболее подверженных этому явлению (рыхлые аллювиальные или прибрежные отложения, высокий уровень грунтовых вод).

VI – С ЛЕГКИМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ – умеренные природные эффекты

Первичные эффекты отсутствуют

Вторичные эффекты:

- a) Локально отмечаются значительные вариации уровня воды в колодцах и/или дебита источников, а также небольшие вариации химико-физических свойств воды и помутнение ее в озерах, источниках и колодцах.
- b) Аномальные волны высотой в десятки сантиметров заливают ограниченные участки близ берега. Из плавательных бассейнов, небольших прудов и бассейнов выплескивается вода.
- c) *В редких случаях разрывы шириной в миллиметры – сантиметры и длиной до нескольких метров наблюдаются в рыхлых аллювиальных отложениях и/или во влагонасыщенных грунтах; вдоль крутых склонов или вдоль речного берега они достигают 1 – 2 см в ширину. Небольшое количество мелких трещинок развивается на дорогах с покрытием (асфальт или булыжник).*
- d) Возникают камнепады и оползни объемом около 10^3 м^3 особенно в местах, где состояние равновесия близко к предельному, например, на крутых склонах и разрезах с рыхлой водонасыщенной почвой или с сильно выветрелыми/трещиноватыми скальными породами. Возникают подводные оползни, иногда

образуя небольшие аномальные волны в прибрежных районах морей и озер, обычно хорошо видны на инструментальных записях.

е) Деревья и кусты раскачиваются от умеренного до сильного. В редких случаях верхушки деревьев и отмершие ветки могут ломаться и падать, что зависит также от породы дерева, его состояния и нагруженности плодами.

ф) В редких случаях сообщается о разжижениях (песчаные воронки) небольшого размера в местах наиболее подверженных этому явлению (рыхлые аллювиальные или прибрежные отложения, высокий уровень грунтовых вод)

VII – С ПОВРЕЖДЕНИЯМИ – заметные природные эффекты

Первичные эффекты наблюдаются крайне редко и почти исключительно в вулканических областях. Могут возникать небольшие поверхностные разрывы длиной в десятки и сотни метров с сантиметровыми смещениями, которые связаны с очень неглубокими землетрясениями.

Вторичные эффекты: Общая площадь порядка 10 км².

а) Локально отмечаются существенные временные вариации уровня воды в колодцах и/или дебита источников. Редко небольшие источники могут временно высыхать или возникать. Локально отмечаются слабые вариации химико-физических свойств воды и помутнение ее в озерах, источниках и колодцах.

б) Аномальные волны высотой свыше метра могут заливать небольшие прибрежные участки и повреждать или смывать объекты различного размера. Вода может выплескиваться из небольших бассейнов и каналов.

с) Наблюдаются трещины шириной 5 – 10 см и длиной до сотни метров обычно в рыхлых аллювиальных отложениях и/или влагонасыщенных грунтах, реже в сухих песках, песчано-глинистых и глинистых грунтах также возникают разрывы шириной до 1. Сантиметровые трещины обычны на дорогах с покрытием (асфальт или булыжник).

д) Возникают отдельные оползни в местах с неустойчивым равновесием (крутые склоны из рыхлых/ влагонасыщенных почв) между тем как небольшие камнепады часто возникают на крутых утесах, скалах. Их размер иногда может быть значительным (10³ – 10⁵ м³); в сухих песках, в песчано-глинистых и глинистых грунтах объем обычно достигает 100 м³. Разрывы, оползни и камнепады повреждают берега рек, причалы и выемки (например, карьеры и дорожные разрезы) в рыхлых осадках или выветрелых/трещиноватых скальных породах. Могут возникать значительные подводные оползни, образующие аномальные волны в прибрежных районах морей и озер, непосредственно ощущаемые людьми в лодках и в гаванях.

е) Деревья и кусты энергично качаются; в лесных массивах многие ветви и верхушки деревьев ломаются и падают.

ф) Редко сообщается о разжижениях с образованием песчаных воронок диаметром 50 см в областях, наиболее подверженных этому явлению (свежие аллювиальные отложения, высокий уровень грунтовых вод).

VIII – С СИЛЬНЫМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ - Обширные природные эффекты

Первичные эффекты: наблюдаются редко.

Поверхностные разрывы (выход очага) могут достигать несколько сотен метров со смещениями по нему не превышающими несколько см, особенно для очень неглубоких очагов, как в вулканических областях. Тектоническое поднятие или опускание достигает максимум несколько см.

Вторичные эффекты: Общая площадь порядка 100 км².

а) Меняется (обычно временно) дебит источников и/или место выхода. Некоторые небольшие источники могут даже высохнуть. Наблюдается изменение уровня воды в колодцах. Наблюдаются небольшие вариации физико-химических свойств воды (чаще всего температуры) в источниках и/или колодцах. Может наблюдаться помутнение воды в закрытых бассейнах, реках, колодцах и источниках. Локально наблюдаются эманаии газа, часто с содержанием серы.

б) Аномальные волны до 1-2 м высотой заливают прибрежные районы и могут повреждать или смывать объекты различных размеров. Наблюдается подмыв берега и откладывание мусора вдоль пляжей, где кусты и даже небольшие деревья могут быть сорваны с мест и перемещены. Вода с силой выплескивается из небольших бассейнов и каналов.

с) Обычно в рыхлых аллювиальных отложениях и/или влагонасыщенных почвах возникают трещины до 50 см шириной и сотни метров в длину; в редких случаях трещины до 1 см наблюдаются в сухом скальном грунте. Обычно возникают дециметровые трещины на дорогах с покрытием (асфальт или булыжник), а также небольшие складки сдавливания.

д) Широко распространены многочисленные оползни от небольших до умеренных (10³ – 10⁵ м³); в том числе (редко) на пологих склонах; в местах неустойчивых склонов (крутые склоны рыхлые/водонасыщенные почвы; крутые утесы и береговые скалы) их размер может достигать (10⁵ – 10⁶ м³). Оползни иногда могут запруживать узкие долины, создавая временные или даже постоянные озера. Наблюдаются

трещины, оползания и отрывы на берегах рек и искусственных выемках (например, дорожные разрезы и карьеры) в рыхлых осадках или выветрелых/трещиноватых скальных породах. Часто возникают подводные оползни в прибрежных районах.

e) Деревья энергично качаются, ломаются и падают ветви, дерево может вырываться с корнем, особенно на крутых склонах.

f) В зависимости от локальных условий в эпицентральной области часто могут наблюдаться разжижения; наиболее типичные эффекты: песчаные воронки до 1 м в диаметре, фонтанирование воды, локализованные участки бокового сдавливания и опускания (опускание до 30 см) с образованием трещин параллельных фронту воды (речные берега, каналы, морской берег).

g) В сухих районах эпицентральной области могут подниматься клубы пыли.

h) Камни и даже небольшие валуны, а также стволы деревьев могут быть подброшены вверх, оставляя типичные отпечатки в мягком грунте.

IX - РАЗРУШИТЕЛЬНОЕ – Природные эффекты являются источником значительной опасности и становятся важными для оценки интенсивности

Первичные эффекты: наблюдаются повсеместно.

Поверхностные разрывы (выход очага) могут достигать несколько километров обычно со смещениями по ним порядка нескольких см. Тектоническое поднятие или опускание достигает максимум нескольких дм.

Вторичные эффекты: Общая площадь порядка 1000 км².

a) Значительно меняется (обычно временно) дебит источников и/или место выхода. Источники среднего размера могут высыхать. Обычно наблюдаются временные вариации уровня воды в колодцах. Наблюдаются вариации физико-химических свойств воды, чаще всего – температуры, в источниках и/или колодцах. Наблюдаются эманации газа обычно с содержанием серы, кусты и трава в зоне эманации могут сгорать.

b) Образуются метровые волны в стоячей и текущей воде. В пойменных долинах речные потоки могут менять русло, в том числе из-за тектонического опускания. Небольшие бассейны могут высыхать. В зависимости от рельефа дна и береговой линии цунами может достигать прибрежной полосы с высотой заплеска в несколько метров, заливая обширные участки. Широко распространены подмыв и откладывание мусора вдоль пляжей, где кусты и деревья могут быть сорваны с мест и перемещены.

c) Обычно в рыхлых аллювиальных отложениях и/или влагонасыщенных почвах возникают трещины до 100 см шириной и сотни метров в длину; в твердом грунте - до 10 см. Значительные трещины на дорогах с покрытием (асфальт или булыжник), а также небольшие складки сдавливания.

d) Оползневые явления широко распространены, даже на пологих склонах; в неустойчивых местах (крутые склоны с рыхлыми / влагонасыщенными почвами, крутые скалы и береговые утесы) часто они могут достигать объема 10⁵ м³ иногда даже 10⁶ м³. Оползни могут запруживать узкие долины, образуя временные и даже постоянные озера. Часто обрушаются речные берега, искусственные набережные и выемки (дорожные разрезы и карьеры).

e) Деревья энергично раскачиваются, ветви и тонкие стволы часто ломаются и падают. Некоторые деревья могут вырываться с корнем и опрокидываться, в особенности на крутых склонах.

f) Часто возникают разжижения и выброс воды. Наиболее типичные эффекты: песчаные кратеры до 3 м в диаметре, фонтанирование стоячей воды, часты явления бокового сдавливания и опускания (опускание до 30 см), с образованием трещин параллельных фронту воды (речные берега, каналы, морской берег).

g) В сухих районах могут подниматься клубы пыли.

h) Небольшие валуны и стволы деревьев могут быть подброшены в воздух и сдвинуты на метры от начального положения, оставляя типичные отпечатки в мягком грунте, что также зависит от угла склона и окатанности

X - ОЧЕНЬ РАЗРУШИТЕЛЬНОЕ – Природные эффекты становятся ведущим источником значительной опасности и становятся важными для оценки интенсивности

Первичные эффекты становятся ведущими.

Выход очага на поверхность простирается на несколько десятков км со смещениями от десятков см до нескольких метров. Возникают гравитационные грабены и протяженные депрессии; для очень неглубоких землетрясений в вулканических областях длина разрыва может быть намного меньше. Тектоническое поднятие или опускание достигает максимум несколько метров.

Вторичные эффекты: Общая площадь порядка 5000 км².

a) У многих источников существенно меняется дебит и/или место выхода. Некоторые источники временно или постоянно исчезают. Обычно наблюдаются временные вариации уровня воды в колодцах. Значительные вариации химико-физических свойств воды, чаще всего температуры, в источниках и колодцах. Часто наблюдаются помутнение воды даже в больших бассейнах, реках, колодцах и источниках. Наблюдаются эманации газа обычно с содержанием серы, кусты и трава в зоне эманации могут сгорать.

b) Возникают метровые волны даже в больших озерах и реках, которые выплескиваются из русел. В пойменных долинах реки могут менять свое течение, временно или постоянно, в том числе и из-за тектонического опускания. Могут появляться или высыхать бассейны. В зависимости от рельефа дна и береговой линии высота заплеска цунами превышает 5м, затопляя плоские участки на тысячи метров в сторону суши. Небольшие валуны могут быть сдвинуты на многие метры. Широко распространены явления глубинной эрозии вдоль берегов, что ведет к заметному изменению берегового профиля. Деревья вблизи берега вырываются с корнем и уносятся.

с) Часто появляются зияющие трещины шириной более 1м и длиной сотни метров главным образом в рыхлых аллювиальных отложениях и/или во влагонасыщенных почвах; в твердых породах раскрытие достигает нескольких дм. Возникают широкие трещины на дорогах с покрытием (асфальт или булыжник), а также складки сдавливания.

d) Почти независимо от состояния равновесия склонов часто возникают обширные оползни и камнепады ($> 10^5 - 10^6 \text{ м}^3$), образуя временные или постоянные запрудные озера. Речные берега, набережные и места выемок обычно обрушаются. Дамбы и земляные плотины могут серьезно пострадать. В береговой зоне часты крупные подводные оползни.

e) Деревья энергично раскачиваются, ветви и тонкие стволы часто ломаются и падают. Некоторые деревья могут вырываться с корнем и опрокидываться.

f) Разжижение с фонтанированием воды и обрушение грунта могут изменить вид местности; песчаные вулканы диаметром более 6м, вертикальное опускание больше 1м; обычны широкие длинные трещины, возникшие из-за бокового растяжения.

g) В сухих районах могут подниматься клубы пыли.

h) Даже на пологих склонах валуны (диаметром более 2-3м) могут быть подброшены в воздух и сдвинуты на сотни метров от начального положения, оставляя типичные отпечатки в грунте.

XI – ОПУСТОШИТЕЛЬНОЕ – Природные эффекты становятся решающими для оценки интенсивности из-за насыщения структурных повреждений

Первичные эффекты доминируют.

Поверхностные разрывы простираются от десятков до более чем 100 км, сопровождаясь подвижками в несколько метров. Возникают гравитационные грабени, протяженные депрессии и валы сдавливания. Дренажные линии могут быть значительно смещены. Порядок максимальных значений тектонических опусканий или поднятий поверхности земли может достигать многих метров.

Вторичные эффекты: Общая площадь порядка 10000 км².

a) Многие источники существенно меняют дебит и/или место выхода. Многие источники могут временно или постоянно высыхать. Повсеместно наблюдаются временные или постоянные вариации уровня воды в колодцах. Наблюдаются сильные изменения физико-химических свойств воды, чаще всего, температуры в источниках и/или колодцах. Вода становится очень грязной даже в больших бассейнах, реках, колодцах и источниках. Наблюдаются эманации газа обычно с содержанием серы, кусты и трава в зоне эманации могут сгорать.

b) В крупных озерах и реках образуются большие волны, которые выплескиваются из русла. В пойменных долинах реки могут изменить русло временно или постоянно, в том числе по причине тектонического опускания или оползней. Могут образовываться или исчезать водоемы. В зависимости от рельефа дна и береговой линии волна цунами высотой может достигать 15 м, опустошая прилегающую сушу на многие километры. Даже метровые валуны могут смещаться на большие расстояния. Происходит глубинная эрозия вдоль берега со значительными изменениями морфологии берега. Деревья в прибрежной полосе вырваны с корнем и уносятся на большие расстояния.

с) Часто возникают зияющие трещины шириной несколько метров, главным образом в рыхлых аллювиальных отложениях и/или влагонасыщенных почвах. В твердых породах они могут достигать 1м. Очень широкие трещины развиваются на дорогах с покрытием (асфальт или булыжник), а также крупные складки сдавливания.

d) Почти независимо от состояния равновесия склонов часты обширные оползни и камнепады ($> 10^5 - 10^6 \text{ м}^3$), которые образуют временные или постоянные запрудные озера. Речные берега, набережные и места выемок обычно обрушаются. Дамбы и земляные плотины могут серьезно пострадать. Существенные оползни возникают на расстояниях в 200-300 км от эпицентра. Частыми являются крупные подводные оползни в береговой зоне.

e) Деревья энергично раскачиваются, ветви и тонкие стволы часто ломаются и падают. Многие деревья могут вырываться с корнем и опрокидываться.

f) Разжижение меняет облик обширных низменных территорий, приводя к вертикальному опусканию, возможно превышающему несколько метров; могут наблюдаться многочисленные крупные песчаные вулканы, сильное боковое растяжение.

g) В сухих районах могут подниматься клубы пыли.

h) Даже на пологих склонах валуны (диаметром несколько метров) могут быть подброшены в воздух и сдвинуты на большие расстояния от начального положения, оставляя типичные отпечатки в грунте.

ХП – ПОЛНОСТЬЮ ОПУСТОШИТЕЛЬНОЕ – Природные эффекты являются единственным средством для оценки интенсивности

Первичные эффекты доминируют.

Поверхностные разрывы простираются как минимум на несколько сотен километров, сопровождаясь подвижками в несколько десятков метров. Возникают гравитационные грабены, протяженные депрессии и валы сдавливания. Дренажные линии могут быть значительно смещены. Изменения в пейзаже и геоморфологии, вызванные первичными эффектами, могут достигать исключительных размеров (типичны примеры поднятия или опускания береговых линий на несколько метров, появление или исчезновение из виду существенных элементов пейзажа, изменения русла рек, образование водопадов, образование и исчезновение озер).

Вторичные эффекты: Общая площадь порядка 50000 км² и более.

a) Многие источники существенно меняют дебит и/или место выхода. Многие источники могут временно или постоянно высохнуть. Повсеместно наблюдаются временные или постоянные вариации уровня воды в колодцах. Наблюдаются сильные изменения физико-химических свойств воды, чаще всего, температуры в источниках и/или колодцах. Вода становится очень грязной даже в больших бассейнах, реках, колодцах и источниках. Наблюдаются эманаии газа обычно с содержанием серы, кусты и трава в зоне эманаии могут сгореть

b) *Образуются гигантские волны в крупных озерах и реках, которые выплескиваются из русла. В пойменных долинах реки могут изменить русло временно или постоянно, в том числе по причине тектонического опускания или оползней. Могут образовываться или исчезать крупные водоемы. В зависимости от рельефа дна и береговой линии волна цунами высотой несколько десятков метров может достигать берега, опустошая прилегающую сушу на многие километры. Крупные валуны могут смещаться на большие расстояния. Происходит глубинная эрозия вдоль берега с чрезвычайными изменениями морфологии берега. Деревья в прибрежной полосе вырваны с корнем и уносятся на большие расстояния. Все катера срываются с якоря и выносятся на сушу на большом удалении. Всех людей вне помещения смывает.*

c) Возникают зияющие трещины, достигающие в ширину 1м и более в коренных породах и до 10 м в рыхлых аллювиальных отложениях и/или во влагонасыщенных почвах. Они могут простираются на несколько километров..

d) Почти независимо от состояния равновесия склонов часты обширные оползни и камнепады (> 10⁵ - 10⁶ м³), которые образуют временные или постоянные запрудные озера. Речные берега, набережные и места выемок обрушаются. Дамбы и земляные плотины могут серьезно пострадать. Существенные оползни возникают на расстояниях более чем 200-300 км от эпицентра. Часты крупные подводные оползни в береговой зоне.

e) Деревья энергично раскачиваются, ветви и тонкие деревья часто ломаются и падают. Многие деревья могут вырываться с корнем и опрокидываться.

f) Разжижение меняет облик обширных низменных территорий, приводя к вертикальному опусканию, превышающему несколько метров; могут наблюдаться многочисленные крупные песчаные вулканы, сильное боковое растяжение.

g) В сухих районах могут подниматься клубы пыли.

h) *Даже на очень пологих склонах очень большие валуны могут быть подброшены в воздух и сдвинуты на большие расстояния от начального положения, оставляя типичные отпечатки в грунте.*

2.7. Η μακροσεισμική κλίμακα έντασης ESI 2007 (Greek)

TRANSLATED BY: PAPATHANASSIOU G. (1) & PAVLIDES S. (1)

(1) Department of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, Greece

Εισαγωγή

Η εκτίμηση της μακροσεισμικής έντασης βασίζεται στην ταξινόμηση και βαθμονόμηση της επίδρασης των συνεπειών μιας σεισμικής δόνησης στον άνθρωπο, στο ανθρωπογενές περιβάλλον (κτίρια και υποδομές) και στο φυσικό περιβάλλον (περιβαλλοντικές ή γεωλογικές επιπτώσεις). Αυτή η ένταση αποτελεί μια παράμετρο περιγραφής της δριμύτητας/σφοδρότητας του σεισμού και εκτιμάται λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις τόσο των δυναμικών όσο και των στατικών παραμορφώσεων.

Οι μακροσεισμικές κλίμακες έντασης (Rossi-Forel, Mercalli, MCS, MSK, Mercalli Modified) λαμβάνουν υπόψη τους τις συνέπειες ενός σεισμού στο φυσικό περιβάλλον ως διαγνωστικά στοιχεία για την αξιολόγηση του βαθμού της έντασης. Αντιθέτως, ορισμένες σύγχρονες κλίμακες (e.g., Espinosa et al., 1976a; 1976b; Grunthal, 1998), λαμβάνουν υπόψη τους μονάχα τις επιπτώσεις στον άνθρωπο και στο ανθρωπογενές δομημένο περιβάλλον και ελαχιστοποιούν την διαγνωστική αξία των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, βασιζόμενες στην υπόθεση ότι αυτές οι επιπτώσεις είναι ευμετάβλητες, τυχαίες και ασταθείς. Ωστόσο, πρόσφατες μελέτες (e.g. Dengler & McPherson, 1993; Serva, 1994, Dowrick, 1996; Esposito et al, 1997; Hancox et al., 2002; Michetti et al, 2004) έδειξαν ότι τα χαρακτηριστικά των γεωλογικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τα οποία σήμερα μπορούν να ανακτηθούν από ιστορικές και παλαιοσεισμολογικές πηγές, αποτελούν μια βασική και ουσιώδη πληροφορία για την εκτίμηση του μεγέθους της σεισμικής δόνησης και προπάντων της έντασης.

Με αυτόν τον σκοπό, δημιουργήθηκε η μακροσεισμική κλίμακα ESI 2007 (Michetti et al., 2007) η οποία βασίζεται μόνο στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η χρήση της, μόνη ή σε συνδυασμό με κάποια άλλη κλίμακα δίνει μια πιο σφαιρική εικόνα του σεναρίου της σεισμικής δόνησης, διότι μονάχα οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις επιτρέπουν την κατάλληλη σύγκριση της μακροσεισμικής έντασης τόσο:

- *στο χρόνο*: οι επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον είναι συγκρίσιμες για μια χρονική περίοδο (πρόσφατη, ιστορική και παλαιοσεισμικά γεγονότα) πολύ μεγαλύτερη από την περίοδο με ενόργανες καταγραφές (τελευταίος αιώνας)
- *σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές*: οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις δεν επηρεάζονται από ειδικές κοινωνικο-οικονομικές συνθήκες ή διαφορετικές κατασκευαστικές πρακτικές

Γι'αυτό το λόγο, η νέα κλίμακα στοχεύει στην σταδιακή ανάμειξη των υπαρχόντων μακροσεισμικών κλιμάκων έντασης:

- Για σεισμική ένταση μεγαλύτερη ή ίση με X, όταν η εκτίμηση με βάση τις ζημιές στις κατασκευές είναι εξαιρετικά δύσκολη ενώ οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορούν να εκτιμηθούν
- Σε αραιοκατοικημένες περιοχές, όπου οι επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον απουσιάζουν και έτσι η εκτίμηση της έντασης πρέπει να πραγματοποιηθεί βασιζόμενη στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες είναι οι μοναδικοί διαθέσιμοι διαγνωστικοί παράγοντες

Η περιγραφή των βαθμών της έντασης προκύπτει από την αναθεώρηση που πραγματοποιήθηκε από μια διεθνή ομάδα αποτελούμενη από γεωλόγους, σεισμολόγους και μηχανικούς που επικεντρώθηκαν στις επιπτώσεις που προκλήθηκαν από σεισμικές δονήσεις σε παγκόσμιο επίπεδο. Η ESI 2007 επικυρώθηκε από την INQUA (International Union for Quaternary

Research) στο XVII συνέδριο της ένωσης που πραγματοποιήθηκε στην πόλη Cairns της Αυστραλίας το 2007.

Περιγραφή

Η κλίμακα ESI 2007 είναι δομημένη σε δώδεκα βαθμούς. Στον τίτλο κάθε βαθμού έντασης εκφράζεται η δριμύτητα του σεισμού και το μέγεθος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Κατά την περιγραφή, τα χαρακτηριστικά και το μέγεθος των πρωτογενών επιπτώσεων αναφέρονται στην αρχή κάθε βαθμού. Έπειτα, οι δευτερογενείς επιπτώσεις περιγράφονται σε σχέση με τη συνολική περιοχή εμφάνισης τους για την εκτίμηση της επικεντρικής έντασης, η οποία ομαδοποιείται σε διάφορες κατηγορίες, όπως ορίζεται από τον αρχικό βαθμό του γεγονότος. Το μορφοποιημένο με πλάγια γραφή κείμενο χρησιμοποιείται για να δώσει έμφαση σε περιγραφές οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αποκλειστικοί διαγνωστικοί παράγοντες για ένα συγκεκριμένο βαθμό έντασης.

Οι πρωτογενείς επιπτώσεις είναι σε άμεση συνάρτηση με την ενέργεια του σεισμού και προπάντων με την επιφανειακή εκδήλωση της σειсмоγόνου πηγής. Το μέγεθος των πρωτογενών επιπτώσεων τυπικά εκφράζεται με δύο παραμέτρους: i) το συνολικό μήκος του επιφανειακού ίχνους του ρήγματος (SRL, Total Surface Rupture Length) και ii) τη μέγιστη μετατόπιση (MD, Maximum Displacement). Η εμφάνισή τους συνήθως συνδέεται με μια ελάχιστη τιμή της έντασης (VIII), εκτός των περιπτώσεων επιφανειακών σεισμών σε ηφαιστειακές περιοχές. Τα ποσοτικά χαρακτηριστικά της τεκτονικής επιφανειακής παραμόρφωσης (ανύψωση, ταπείνωση; uplift, subsidence) λαμβάνονται επίσης υπόψη.

Ως δευτερογενείς επιπτώσεις χαρακτηρίζονται εκείνα τα φαινόμενα που προκαλούνται από την εδαφική κίνηση και ταξινομούνται σε οκτώ κύριες κατηγορίες

α) **Υδρογεωλογικές ανωμαλίες**: στην κατηγορία αυτή περιγράφονται μεταβολές στην παροχή των πηγών και ποταμών καθώς επίσης και μεταβολές στις φυσικο-χημικές ιδιότητες των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων (π.χ. θερμοκρασία, θολότητα). Αυτές οι επιπτώσεις παρατηρούνται σε εντάσεις από IV έως X.

β) **Ανωμαλίες στον κυματισμό/ Tsunamis**: στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται φαινόμενα όπως κυματισμός σε κλειστές λεκάνες, υπερχειλίση νερού σε πισίνες και λεκάνες καθώς επίσης και tsunamis. Στην τελευταία περίπτωση, τα tsunamis, ως διαγνωστικοί παράγοντες θεωρούνται κυρίως οι επιπτώσεις του κύματος στις ακτές (βάθος εισχώρησης στην ενδοχώρα, διάβρωση παραλίας, αλλαγές στην παράκτια μορφολογία) χωρίς βεβαίως να αγνοούνται η επίδραση στον άνθρωπο και στις κατασκευές.

γ) **Εδαφικές διαρρήξεις**: οι εδαφικές διαρρήξεις περιγράφονται με βάση το μήκος τους (από cm μέχρι εκατοντάδες μέτρα), πλάτος (από mm έως m) και πυκνότητα στο χώρο. Οι εδαφικές διαρρήξεις παρατηρούνται σε εντάσεις από IV και διατηρούνται σταθερές σε μέγεθος (κορεσμός) σε ένταση βαθμού X.

δ) **Αστοχίες πρυνών**: στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται όλοι οι τύποι των κατολισθήσεων συμπεριλαμβανομένων των καταπτώσεων, ολισθήσεων και εδαφικών ροών. Όταν το λιθολογικό και μορφολογικό πλαίσιο είναι παρόμοιο τότε ο όγκος και το εμβαδό της περιοχής αποτελούν τις διαγνωστικές παραμέτρους. Αυτές οι επιπτώσεις παρατηρούνται σε ένταση από IV και διατηρούν το μέγεθος τους σταθερό σε ένταση βαθμού X.

ε) **ταλάντωση δέντρων**: αυτές οι επιπτώσεις παρατηρούνται σε εντάσεις από IV έως X. Η περιγραφή των βαθμών της έντασης ουσιαστικά ακολουθεί τους δημοσιευμένους βαθμούς έντασης των Dengler και McPherson (1993).

ζ) **φαινόμενα ρευστοποίησης**: σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται φαινόμενα κόνων και ηφαιστειών άμμου, ανάδυση νερού και αμμώδους υλικού και ορισμένοι τύποι πλευρικής εξάπλωσης, συνίζησης και καθίζησης. Χαρακτηρίζουν εντάσεις βαθμού V έως X

η) **σύννεφα σκόνης**: παρατηρούνται σε περιοχές με ξηρό κλίμα σε βαθμό έντασης μεγαλύτερο από VIII

θ) **αναπήδηση βράχων**: το μέγιστο μέγεθος των βράχων αποτελεί διαγνωστικό παράγοντα για την εκτίμηση της έντασης και παρατηρούνται σε εντάσεις από IX μέχρι XII. Τέτοια φαινόμενα παρατηρούνται σε θέσεις όπου οι εδαφικές επιταχύνσεις είναι μεγαλύτερες της βαρύτητας.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις παρατηρούνται και χαρακτηρίζουν εντάσεις βαθμού μεγαλύτερου του IV. Μερικοί κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων (υδρολογικές ανωμαλίες) είναι δυνατό να παρατηρηθούν ακόμα και σε χαμηλότερους βαθμούς έντασης αλλά δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως διαγνωστικά στοιχεία. Η ακρίβεια στην αξιολόγηση της έντασης αυξάνει στους μεγαλύτερους βαθμούς, και συγκεκριμένα σε θέσεις παρατήρησης πρωτογενών επιπτώσεων (συνήθως σε εντάσεις μεγαλύτερες του VIII), έως και ένταση XII. Σε ένταση μεγαλύτερη του X, οι επιπτώσεις στο ανθρωπογενές δομημένο περιβάλλον και στους ανθρώπους δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθώς οι κατασκευές έχουν συνήθως ολοκληρωτικά καταστραφεί (κορεσμός) και για αυτό το λόγο δεν είναι δυνατή η διάκριση μεταξύ διαφορετικών βαθμών έντασης. Σε αυτήν την περίπτωση, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις κυριαρχούν και για αυτό αποτελούν το πιο αποτελεσματικό εργαλείο για την αξιολόγηση της έντασης.

Πώς να χρησιμοποιήσετε την κλίμακα ESI 2007

Η χρησιμοποίηση της μακροσεισμικής κλίμακας ESI ως ένα ανεξάρτητο εργαλείο για την εκτίμηση της έντασης προτείνεται στις περιπτώσεις εκείνες όπου μονάχα οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαγνωστικά καθώς οι επιπτώσεις στον άνθρωπο και στο ανθρωπογενές δομημένο περιβάλλον είναι είτε ανεπαρκείς είτε κορεσμένες. Στην περίπτωση που οι τελευταίες επιπτώσεις μπορούν να ληφθούν υπόψη και να αξιολογηθούν, τότε είναι δυνατή η εκτίμηση δύο ανεξάρτητων τιμών μακροσεισμικής έντασης. Η τελική τιμή έντασης θα ισούται με την υψηλότερη τιμή μεταξύ των δύο εκτιμήσεων. Προφανώς, σε αυτές τις περιπτώσεις, η γνώμη και η εμπειρία ενός ειδικού είναι απαραίτητη

Η επικεντρική ένταση (I_0) δηλώνει την ένταση της δόνησης σε αντιστοιχία με το επίκεντρο. Οι παράμετροι που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά της επιφανειακής εκδήλωσης του σεισμογόνου ρήγματος καθώς επίσης και η συνολική έκταση της κατανομής των δευτερογενών φαινομένων (κατολισθήσεις, ρευστοποιήσεις) είναι επίσης ανεξάρτητα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της I_0 με βάση τα περιβαλλοντικά φαινόμενα, με αφετηρία τον βαθμό έντασης VII (Πίνακας 1).

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στις περιπτώσεις εκείνες όπου τα χαρακτηριστικά της επιφανειακής εκδήλωσης του σεισμογόνου ρήγματος τοποθετούνται στο όριο μεταξύ δύο βαθμών έντασης. Σε αυτήν την περίπτωση, θα πρέπει να επιλεγεί εκείνη η τιμή της έντασης που βρίσκεται σε συμφωνία με τα χαρακτηριστικά και την έκταση εμφάνισης δευτερογενών επιπτώσεων. Επίσης, κατά την αξιολόγηση της έντασης της συνολικής περιοχής, συνιστάται να μην συμπεριλαμβάνονται απομονωμένες παρατηρήσεις φαινομένων στο μακρινό πεδίο. Σε αυτήν την διαδικασία αξιολόγησης επίσης θεωρείται ουσιώδης η γνώμη ενός ειδικού.

I ₀	ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ		ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ
	ΜΗΚΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ (SRL)	ΜΕΓ. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ (MD)	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ
			ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ
IV	-	-	-
V	-	-	-
VI	-	-	-
VII	(*)	(*)	10 km ²
VIII	Αρκετές εκατοντάδες μέτρα	εκατοστόμετρα	100 km ²
IX	1- 10 km	5 - 40 cm	1000 km ²
X	10 - 60 km	40 - 300 cm	5000 km ²
XI	60 – 150 km	300 –700 cm	10000 km ²
XII	> 150 km	> 700 cm	> 50000 km ²

(*) περιορισμένες επιφανειακές διαρρήξεις, δεκάδων έως εκατοντάδων μέτρων μήκους και εκατοστών μετατόπισης (offset) μπορούν να παρατηρηθούν και ουσιαστικά να συνδεθούν με επιφανειακούς σεισμούς σε ηφαιστειακές περιοχές

Πίν. 1 – Διακύμανση παραμέτρων επιφανειακής εκδήλωσης του σειсмоγόνου ρήγματος (πρωτογενείς επιπτώσεις) κα μέγεθος συνολικής έκτασης (δευτερογενών επιπτώσεων) για κάθε βαθμό έντασης

Η τοπική ένταση αξιολογείται κυρίως δια μέσου της περιγραφής των δευτερογενών επιπτώσεων που λαμβάνουν χώρα σε διαφορετικές «θέσεις» που βρίσκονται μέσα σε μια «τοποθεσία». Αυτή η τιμή της έντασης πρέπει να συγκριθεί με την αντίστοιχη τοπική ένταση η οποία εκτιμήθηκε με βάση τις ζημιές. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στον όρο «τοποθεσία» ο οποίος αναφέρεται τόσο για κατοικημένες περιοχές (πόλη, χωριό) όσο και για γεωγραφικές περιοχές χωρίς την ύπαρξη κατοικημένων εκτάσεων. Όταν σε μια θέση παρατηρούνται μονάχα πρωτογενείς επιπτώσεις τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μέγεθος της μέγιστης μετατόπισης της τοπικής επιφανειακής διάρρηξης.

Ορισμός της έντασης

Από I έως III: Δεν προκαλούνται περιβαλλοντικές επιπτώσεις οι οποίες να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως διαγνωστικοί στοιχεία

IV Αρκετά αισθητός σεισμός / Πρώτες σαφείς επιπτώσεις στο περιβάλλον

Πρωτογενείς επιπτώσεις απουσιάζουν

Δευτερογενείς επιπτώσεις

α) Καταγράφονται μικρές μεταβολές στη στάθμη του νερού σε πηγάδια και/ή στην παροχή πηγών, καθώς επίσης και εξαιρετικά σπάνια μικρές μεταβολές των φυσικο-χημικών ιδιοτήτων του νερού και θολότητα του νερού στις πηγές και στα πηγάδια, ειδικά σε πηγές που βρίσκονται σε μεγάλα καρστικά συστήματα, τα οποία θεωρούνται ως τα πιο επιρρεπή σε τέτοια φαινόμενα.

β) Κυματισμός σε κλειστές λεκάνες (λίμνες) με ύψος μερικών εκατοστών, συνήθως παρατηρείται ως παλιρροιακό κύμα, ίσως ορατός με γυμνό μάτι, συνήθως στο μακρινό πεδίο από ισχυρούς σεισμούς. Οι ανωμαλίες στον κυματισμό γίνονται αντιληπτές από όλους τους ανθρώπους που επιβαίνουν σε μικρά πλοία, ελάχιστους σε μεγαλύτερα πλοία, σχεδόν από όλους στην ακτή. Ταλάντωση νερού σε πισίνες και ίσως παρατηρηθεί υπερχειλίση.

γ) Ρωγμές με άνοιγμα χιλιοστού ίσως περιστασιακά παρατηρηθούν σε θέσεις επιρρεπείς λόγω λιθολογίας (χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις, κορεσμένα εδάφη) και/ή λόγω μορφολογίας (πρανή)

δ) Κατ'εξαιρέση, καταπτώσεις βράχων και μικρές κατολισθήσεις ίσως ενεργοποιηθούν σε πρανή τα οποία βρίσκονται σε οριακή ισορροπία (ευστάθεια), π.χ. απότομα πρανή με χαλαρά και γενικά κορεσμένα εδάφη

ε) Ασθενής ταλάντωση των κλαδιών των δέντρων

V Ισχυρός σεισμός/ βασικές επιπτώσεις στο περιβάλλον

Πρωτογενείς επιπτώσεις απουσιάζουν

Δευτερογενείς επιπτώσεις

α) Καταγράφονται μεταβολές στη στάθμη του νερού σε πηγάδια και/ή στην παροχή πηγών, καθώς επίσης και μικρές μεταβολές των φυσικο-χημικών ιδιοτήτων του νερού και θολότητα του νερού στις λίμνες, στις πηγές και στα πηγάδια.

β) Κυματισμός στις λίμνες με ύψος εκατοστών, μερικές φορές ορατός με γυμνό μάτι, στο μακρινό πεδίο από ισχυρούς σεισμούς. Οι ανωμαλίες στον κυματισμό, με ύψος μέχρι μερικές δεκάδες εκατοστά, γίνονται αντιληπτές από όλους τους ανθρώπους που είτε επιβαίνουν σε πλοία είτε βρίσκονται στην ακτή. Υπερχειλίση νερού σε πισίνες

γ) Ρωγμές (με άνοιγμα μεγέθους χιλιοστού και αρκετών εκατοστών έως ένα μέτρο μήκος) τοπικά παρατηρούνται σε θέσεις επιρρεπείς λόγω λιθολογίας (χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις, κορεσμένα εδάφη) και/ή λόγω μορφολογίας (πρανή)

δ) Μικρές καταπτώσεις βράχων, κυκλικές κατολισθήσεις και εδαφικές ροές ίσως συμβούν, συχνά αλλά όχι απαραίτητα κατά μήκος απότομων πρανών τα οποία βρίσκονται σε οριακή ισορροπία, κυρίως χαλαρές αποθέσεις και κορεσμένα εδάφη. Υποθαλάσσιες κατολισθήσεις ίσως προκληθούν, οι οποίες μπορεί να επιφέρουν μικρές ανωμαλίες στον κυματισμό σε παράκτιες θέσεις θαλασσών και λιμνών.

ε) Κλαδιά δέντρων και θάμνοι ταλαντώνονται ελαφρώς ενώ σπανίως ίσως πέσουν ξερά κλαδιά και ώριμα φρούτα

ζ) Σε εξαιρετικά σπάνιες περιπτώσεις καταγράφονται εμφανίσεις ρευστοποίησης (κόνι άμμου), μικρού μεγέθους και σε θέσεις επιρρεπείς σε ρευστοποίηση (περιοχές υψηλής επιδεκτικότητας, πρόσφατες, αλλουβιακές και παράκτιες αποθέσεις, επιφανειακός υδροφόρος ορίζοντας)

VI Ελαφρός βλαπτικός / μέτριες επιπτώσεις στο περιβάλλον

Πρωτογενείς επιπτώσεις απουσιάζουν

Δευτερογενείς επιπτώσεις

α) Καταγράφονται τοπικά σημαντικές μεταβολές στη στάθμη του νερού σε πηγάδια και/ή στην παροχή πηγών, καθώς επίσης και μικρές μεταβολές των φυσικο-χημικών ιδιοτήτων του νερού και θολότητα του νερού στις λίμνες, στις πηγές και στα πηγάδια

β) Κυματισμός στις λίμνες με ύψος δεκάδων εκατοστών προκαλεί πλημμυρικά φαινόμενα σε περιορισμένες περιοχές κοντά στις ακτές. Οι ανωμαλίες στον κυματισμό, με ύψος μέχρι μερικές δεκάδες εκατοστά, γίνονται αντιληπτές από όλους τους ανθρώπους που είτε επιβαίνουν σε πλοία είτε βρίσκονται στην ακτή. Υπερχείλιση νερού σε πισίνες και μικρές λίμνες

γ) Ρωγμές, με άνοιγμα μεγέθους χιλιοστού έως εκατοστών και μήκους αρκετών μέτρων παρατηρούνται σε χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις και/ή σε κορεσμένα εδάφη, κατά μήκος απότομων πρανών ή όχθες ποταμών μπορούν να φτάσουν έως 1-2 εκατοστά εύρος. Μικρά ανοίγματα σχηματίζονται σε δρόμους είτε ασφαλτοστρωμένους είτε λιθόστρωτους.

δ) Καταπτώσεις βράχων και κατολισθήσεις με όγκο έως 10^3m^3 ίσως προκληθούν, κυρίως σε θέσεις με οριακή ισορροπία όπως απότομα πρανή με χαλαρά κορεσμένα εδάφη ή σε πολύ αποσθρωμένους / ρωγματομένους (κατακερματισμένους) βραχώδεις σχηματισμούς. Υποθαλάσσιες κατολισθήσεις ίσως προκληθούν, οι οποίες μπορεί να επιφέρουν μικρές ανωμαλίες στον κυματισμό σε παράκτιες θέσεις οι οποίες συνήθως καταγράφονται ενόργανα

ε) Μέτριες έως ισχυρές ταλαντώσεις κλαδιών δέντρων και θάμνων; ίσως σπάσουν και πέσουν κορυφές δέντρων και άκρα κλαδιών, ανάλογα με τα είδη, το φορτίο των φρούτων και την ωριμότητά τους

ζ) Αραιές εμφανίσεις ρευστοποίησης (κόνιοι άμμοι), μικρού μεγέθους και σε θέσεις επιρρεπείς στη ρευστοποίηση (περιοχές υψηλής επιδεκτικότητας, πρόσφατες, αλλουβιακές και παράκτιες αποθέσεις, επιφανειακός υδροφόρος ορίζοντας)

VII Βλαπτικός / αξιόλογες επιπτώσεις στο περιβάλλον

Πρωτογενείς επιπτώσεις σπανίως παρατηρούνται, σχεδόν αποκλειστικά σε ηφαιστειακές περιοχές. Περιορισμένες επιφανειακές διαρρήξεις, μήκους δεκάδων έως εκατοντάδων μέτρων με μετατοπίσεις (offset) μεγέθους εκατοστόμετρου ίσως παρατηρηθούν, ειδικά σε περιπτώσεις αρκετά επιφανειακών σεισμών

Δευτερογενείς επιπτώσεις: η συνολική έκταση της πληγείσας περιοχής είναι της τάξης των 10km^2

α) Καταγράφονται τοπικά σημαντικές προσωρινές μεταβολές στη στάθμη του νερού σε πηγάδια και/ή στην παροχή πηγών. Σπανίως, ίσως εμφανιστούν ή ξηραθούν μικρές πηγές. Μεταβολές των φυσικο-χημικών ιδιοτήτων του νερού και θολότητα του νερού στις λίμνες, στις πηγές και στα πηγάδια

β) Κυματισμός με ύψος μεγαλύτερο του ενός μέτρου προκαλεί πλημμυρικά φαινόμενα σε περιορισμένες παράκτιες περιοχές και προκαλεί ζημιές σε αντικείμενα ποικίλου μεγέθους. Υπερχείλιση νερού σε μικρές λεκάνες και τάφρους

γ) Ρωγμές, με άνοιγμα έως 5-10 εκατοστών και μήκους εκατοντάδων μέτρων παρατηρούνται κυρίως σε χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις και/ή σε κορεσμένα εδάφη, σπανίως σε ξηρή άμμο, αργιλοαμμώδη και αργιλικά εδάφη διαρρήξεις έως 1 εκατοστό εύρος. Μικρές ρωγμές μεγέθους εκατοστόμετρου είναι συνήθεις σε δρόμους είτε ασφαλτοστρωμένους είτε λιθόστρωτους.

δ) Διεσπαρμένες κατολισθήσεις παρατηρούνται σε επιρρεπείς περιοχές όπου επικρατούν συνθήκες μη ισορροπίας (απότομα πρανή με χαλαρά/κορεσμένα εδάφη) ενώ καταπτώσεις βράχων λαμβάνουν χώρα σε απότομα φαράγγια και πρανή. Το μέγεθός τους είναι σημαντικό (10^3 - 10^5m^3). Σε θέσεις με ξηρή άμμο, αργιλοαμμώδη και αργιλικά εδάφη ο όγκος είναι συνήθως μεγαλύτερος από 100m^3 . Οι διαρρήξεις, οι ολισθήσεις και οι καταπτώσεις ίσως επηρεάσουν φυσικά πρανή ποταμών, τεχνητά αναχώματα και εκσκαφές σε χαλαρά ιζήματα ή αποσθρωμένους / ρωγματομένους (κατακερματισμένους) βραχώδεις σχηματισμούς. Υποθαλάσσιες κατολισθήσεις ίσως προκληθούν, επιφέροντας κύματα σε παράκτιες θέσεις θαλασσών και λιμνών, τα οποία γίνονται άμεσα αισθητά από ανθρώπους σε πλοία και στα λιμάνια

ε) Δέντρα και θάμνοι ταλαντεύονται έντονα; κυρίως σε πυκνές δασικές περιοχές, κορυφές δέντρων και άκρα κλαδιών σπάνε και πέφτουν

ζ) Παρατηρούνται αραιές εμφανίσεις ρευστοποίησης (κόνιοι άμμοι), με διάμετρο έως 50 εκατοστά, σε θέσεις επιρρεπείς στη ρευστοποίηση (περιοχές υψηλής επιδεκτικότητας, πρόσφατες, αλλουβιακές και παράκτιες αποθέσεις, επιφανειακός υδροφόρος ορίζοντας)

VIII Αρκετά βλαπτικός / εκτεταμένες επιπτώσεις στο περιβάλλον

Πρωτογενείς επιπτώσεις σπανίως παρατηρούνται.

Επιφανειακές διαρρήξεις του σεισμογόνου ρήγματος (surface faulting), μήκους αρκετών εκατοντάδων μέτρων με μετατοπίσεις (offset) μεγέθους εκατοστόμετρου ίσως παρατηρηθούν, ειδικά σε περιπτώσεις αρκετά επιφανειακών

σεισμών. Τεκτονική ταπεινώση ή ανύψωση της επιφάνειας με μέγιστες τιμές της τάξης μερικών εκατοστών ίσως παρατηρηθούν

Δευτερογενείς επιπτώσεις: η συνολική έκταση της πληγείσας περιοχής είναι της τάξης των 100 km²

α) προσωρινές συνήθως μεταβολές στο σημείο εξόδου νερού και/ή στην παροχή πηγών. Ίσως ξηραθούν μικρές πηγές. Διακυμάνσεις στη στάθμη του νερού σε πηγάδια. Μεταβολές των φυσικο-χημικών ιδιοτήτων του νερού, κυρίως της θερμοκρασίας ίσως παρατηρηθούν σε πηγές και/ή πηγάδια. θολότητα του νερού στις λίμνες, στις πηγές και στα πηγάδια. Εκπομπή αερίου, συνήθως θειούχου, παρατηρείται τοπικά

β) Κυματισμός με ύψος 1-2 μέτρα προκαλεί πλημμυρικά φαινόμενα σε παράκτιες περιοχές και προκαλεί ζημιές σε ποικίλου μεγέθους αντικείμενα. Διάβρωση εκτάσεων παρατηρείται κατά μήκος των ακτών όπου θάμνοι και μικρά δέντρα με αδύναμο σύστημα ριζών ξεριζώνονται και μεταφέρονται μακριά. Υπερχείλιση με ορμή του νερού σε μικρές λεκάνες και τάφρους

γ) Ρωγμές, με άνοιγμα έως 50 εκατοστά και μήκους εκατοντάδων μέτρων παρατηρούνται κυρίως σε χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις και/ή σε κορεσμένα εδάφη. Παρατηρούνται διαρρήξεις μεγέθους δεκατόμετρου είναι συνήθεις σε δρόμους είτε ασφαλτοστρωμένους είτε λιθόστρωτους καθώς επίσης και μικρές πτυχώσεις λόγω συμπίεσης.

δ) Εκτεταμένες μικρού έως μέσου μεγέθους (10³-10⁵ m³) κατολισθήσεις παρατηρούνται σε επιρρεπείς περιοχές; σπανίως ίσως παρατηρηθούν και σε πρηνή με ομαλή κλίση; όπου επικρατούν συνθήκες μη ισορροπίας (απότομα πρηνή με χαλαρά/κορεσμένα εδάφη) λαμβάνουν χώρα καταπτώσεις βράχων (σε απότομα φαράγγια και παράκτια πρηνή) και το μέγεθος τους κάποιες φορές είναι μεγάλο (10⁵ - 10⁶ m³). Κατολισθήσεις φράζουν στενές κοιλάδες και ίσως δημιουργήσουν προσωρινές ή μόνιμες λίμνες. Οι διαρρήξεις, οι ολισθήσεις και οι καταπτώσεις ίσως επηρεάσουν τις όχθες ποταμών, τα τεχνητά αναχώματα και τις εκσκαφές σε χαλαρά ιζήματα ή αποσπασθένους / ρωγματομένους (κατακερατισμένους) βραχώδεις σχηματισμούς. Συχνές υποθαλάσσιες κατολισθήσεις σε παράκτιες θέσεις

ε) Δέντρα ταλαντώνονται έντονα; κλαδιά ίσως σπάσουν και πέσουν, ακόμα και ξεριζωμένα δέντρα σε απότομα πρηνή ίσως πέσουν

ς) Παρατηρούνται πυκνές εμφανίσεις ρευστοποίησης στην επικεντρική περιοχή, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες; κώννοι άμμου με διάμετρο έως 1 μέτρο; τοπικές πλευρικές εξαπλώσεις και καθιζήσεις (έως 30cm), με εμφάνιση ρηγματώσεων παράλληλων προς το παραλιακό μέτωπο (όχθη ποταμού, λίμνες, κανάλια, ακτή)

η) Σε ξηρές περιοχές, σύννεφα σκόνης ίσως σηκωθούν από το έδαφος στην επικεντρική περιοχή

θ) Ίσως παρατηρηθεί αναπήδηση μικρών ογκόλιθων και πετρών και κορμών δέντρων, από την οποία δημιουργούνται ίχνη σε μαλακό έδαφος

IX Καταστροφικός / Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις συνιστούν μια εκτεταμένη πηγή κινδύνου και αποτελούν σημαντική παράμετρο για την εκτίμηση της έντασης

Πρωτογενείς επιπτώσεις παρατηρούνται.

Δημιουργούνται εδαφικές διαρρήξεις (surface faulting), μήκους μερικών χιλιομέτρων με μετατοπίσεις (offsets) συνήθως μεγέθους αρκετών εκατοστών. Τεκτονική ταπεινώση ή ανύψωση της εδαφικής επιφάνειας με μέγιστες τιμές της τάξης μερικών δεκάμετρων ίσως παρατηρηθούν.

Δευτερογενείς επιπτώσεις: η συνολική έκταση της πληγείσας περιοχής είναι της τάξης των 1000 km²

α) Προσωρινές συνήθως μεταβολές στην παροχή των πηγών και/ή στη θέση τους σε σημαντικό βαθμό. Ίσως ξηραθούν μέσου μεγέθους πηγές. Προσωρινές διακυμάνσεις στη στάθμη του νερού σε πηγάδια είναι κοινό γνώρισμα. Μεταβολές των φυσικο-χημικών ιδιοτήτων του νερού, κυρίως της θερμοκρασίας ίσως παρατηρηθούν σε πηγές και/ή πηγάδια, θολότητα του νερού στις λίμνες, στις πηγές και στα πηγάδια. Εκπομπή αερίου, συνήθως θειούχου, παρατηρείται τοπικά και ίσως καούν θάμνοι και χόρτα σε αυτές τις θέσεις.

β) Κυματισμός με ύψος μερικών μέτρων τόσο σε ακίνητο όσο και σε τρεχούμενο νερό. Σε πλημμυρικές πεδιάδες ίσως τα ρέματα να αλλάξουν την ροή τους λόγω εδαφικής καθίζησης. Μικρές κοιλάτρες ίσως εμφανιστούν ή αδειάσουν. Τσουνamis ίσως εισχωρήσουν σε βάθος δεκάδων μέτρων στην ακτή πλημμυρίζοντας τις περιοχές αυτές. Εκτεταμένη διάβρωση περιοχών κατά μήκος της παραλίας, όπου θάμνοι και δέντρα μπορεί να ξεριζωθούν και να μεταφερθούν μακριά

γ) Ρωγμές, με άνοιγμα έως 100 εκατοστά και μήκους εκατοντάδων μέτρων παρατηρούνται κυρίως σε χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις και/ή σε κορεσμένα εδάφη. Σε βραχώδεις σχηματισμούς μέχρι 10 cm. Παρατηρούνται διαρρήξεις σημαντικού μεγέθους σε δρόμους είτε ασφαλτοστρωμένους είτε λιθόστρωτους καθώς επίσης και μικρές πτυχώσεις λόγω συμπίεσης.

δ) Εκτεταμένες κατολισθήσεις παρατηρούνται σε επιρρεπείς περιοχές και σε πρηνή με ομαλή κλίση; όπου επικρατούν συνθήκες μη ισορροπίας (απότομα πρηνή με χαλαρά/κορεσμένα εδάφη; καταπτώσεις βράχων λαμβάνουν χώρα σε απότομα φαράγγια και παράκτια πρηνή) το μέγεθός τους συνήθως είναι μεγάλο ($10^5 m^3$) και μερικές φορές αρκετά μεγάλο ($10^6 m^3$). Κατολισθήσεις φράζουν στενές κοιλάδες και ίσως δημιουργήσουν προσωρινές ή μόνιμες λίμνες. Τα πρηνή στις όχθες ποταμών, τα τεχνητά αναχώματα και οι εκσκαφές συχνά αστοχούν. Συχνές μεγάλες υποθαλάσσιες κατολισθήσεις σε παράκτιες περιοχές.

ε) Δέντρα ταλαντώνονται έντονα; Κλαδιά και κορμοί δέντρων συχνά σπάνε και πέφτουν. Μερικά δέντρα ίσως ξεριζωθούν και πέσουν κυρίως σε απότομα πρηνή

ζ) Παρατηρούνται συχνές εμφανίσεις ρευστοποίησης και ανάδυση νερού; κώνοι άμμου με διάμετρο έως 3 μέτρα; συχνές πλευρικές εξαπλώσεις και καθιζήσεις (περισσότερο από 30cm), με εμφάνιση ρηγματώσεων παράλληλων προς το παραλιακό μέτωπο (όχθη ποταμού, λίμνες, κανάλια, ακτή)

η) Σε ξηρές περιοχές, σύννεφα σκόνης σηκώνονται από το έδαφος

θ) Ίσως παρατηρηθεί αναπήδηση μικρών ογκόλιθων και σπάσιμο κορμών δέντρων και μετακίνηση μερικών μέτρων από την αρχική τους θέση, και ανάλογα με την κλίση του εδάφους ίσως αφήσουν αποτυπώματα σε μαλακό έδαφος

X Πολύ καταστροφικός / Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις συνιστούν την κύρια πηγή κινδύνου και αποτελούν κρίσιμη παράμετρο για την εκτίμηση της έντασης

Πρωτογενείς επιπτώσεις κυριαρχούν.

Η επιφανειακή εκδήλωση του ρήγματος εκτείνεται μερικές δεκάδες χιλιομέτρων με μετατόπιση από δεκάδες εκατοστών έως μερικά μέτρα. Δημιουργούνται βυθίσματα βαρύτητας και επιμήκεις δομές συμπίεσης; σε σεισμούς μικρού εστιακού βάθους σε ηφαιστειακές περιοχές το μήκος της διάρρηξης ίσως είναι αρκετά μικρότερο. Τεκτονική καθίζηση ή ανύψωση της εδαφικής επιφάνειας με μέγιστες τιμές της τάξης μερικών μέτρων ίσως παρατηρηθούν

Δευτερογενείς επιπτώσεις: η συνολική έκταση της πληγείσας περιοχής είναι της τάξης των $5000 km^2$

α) Σημαντικές μεταβολές στην παροχή πολλών πηγών και/ή στο σημείο εξόδου του νερού. Ίσως πηγές ξηραθούν προσωρινά ή μόνιμα. Προσωρινές διακυμάνσεις στη στάθμη του νερού σε πηγάδια. Μεταβολές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του νερού, κυρίως της θερμοκρασίας παρατηρούνται σε πηγές και/ή πηγάδια. Λασπωμένο νερό σε μεγάλες λεκάνες, λίμνες, πηγές και σε πηγάδια. Εκπομπή αερίου, συνήθως θείου, παρατηρείται και ίσως καούν θάμνοι και χόρτα σε αυτές τις θέσεις

β) Κυματισμός με ύψος μερικών μέτρων και φαινόμενα υπερχειλίσης σε μεγάλες λίμνες και ποτάμια. Σε πλημμυρικές πεδιάδες τα ρέματα ίσως να αλλάξουν την διαδρομή τους, προσωρινά ή μόνιμα, λόγω εκτεταμένης εδαφικής καθίζησης. Λεκάνες ίσως εμφανιστούν ή αδειάσουν. Tsunamis ίσως πλησιάσουν στην ακτή με ύψος έως 5 μέτρα και εισχωρήσουν σε επίπεδες περιοχές σε βάθος χιλιομέτρων, πλυμμυρίζοντας τις περιοχές αυτές. Μικροί ογκόλιθοι ίσως παρασυρθούν για πολλά μέτρα. Εκτεταμένη διάβρωση περιοχών κατά μήκος της παραλίας, προκαλώντας αξιοσημείωτες μεταβολές στην ακτογραμμή. δέντρα κοντά στην ακτή ξεριζώνονται και μεταφέρονται μακριά

γ) Εδαφικές ρωγμές, με άνοιγμα μεγαλύτερο από 1 μέτρο και μήκους εκατοντάδων μέτρων παρατηρούνται συχνά σε χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις και/ή σε κορεσμένα εδάφη. Σε βραχώδεις σχηματισμούς το άνοιγμα των ρωγμών φθάνει αρκετά δεκάμετρα. Παρατηρούνται διαρρήξεις σημαντικού μεγέθους σε δρόμους είτε ασφαλτοστρωμένους είτε λιθόστρωτους καθώς επίσης και μικρές πτυχώσεις λόγω συμπίεσης.

δ) μεγάλες κατολισθήσεις και καταπτώσεις βράχων ($>10^5-10^6 m^3$) παρατηρούνται συχνά ανεξάρτητα από τις συνθήκες ισορροπίας, δημιουργώντας προσωρινές ή μόνιμες φραγματογενείς λίμνες (barrier lakes). Τα πρηνή στις όχθες ποταμών, τα τεχνητά αναχώματα και οι εκσκαφές αστοχούν. Συχνές μεγάλες υποθαλάσσιες κατολισθήσεις σε παράκτιες περιοχές (offset).

ε) Δέντρα ταλαντώνονται έντονα; Κλαδιά και κορμοί δέντρων συχνά σπάνε και πέφτουν. Μερικά δέντρα ίσως ξεριζωθούν και πέσουν

ζ) οι εμφανίσεις ρευστοποίησης με ανάδυση νερού και η προκαλούμενη συμπύκνωση των εδαφών ίσως αλλάξουν την μορφή περιοχών; κώνοι άμμου με διάμετρο μεγαλύτερη από 6 μέτρα; Κατακόρυφη μετατόπιση > 1 μέτρο; μεγάλες και επιμήκεις ρηγματώσεις λόγω πλευρικής εξάπλωσης είναι σύνηθες φαινόμενο.

η) Σε ξηρές περιοχές, σύννεφα σκόνης σηκώνονται από το έδαφος

θ) Αναπήδηση ογκόλιθων (διάμετρος 2-3 μέτρων) και μετακίνηση εκατοντάδων μέτρων από την αρχική τους θέση, ακόμα και σε πρηνή με ήπια κλίση, αφήνοντας αποτυπώματα σε μαλακό έδαφος

XI Ισοπεδωτικός / Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για την εκτίμηση της έντασης εξαιτίας του κορεσμού των κατασκευαστικών αστοχιών

Πρωτογενείς επιπτώσεις κυριαρχούν.

Το μήκος του επιφανειακού ίχνους του σεισμογόνου ρήγματος εκτείνεται από αρκετές δεκάδες χιλιομέτρων έως και περισσότερο από εκατό km με μετατόπιση (offset) έως αρκετά μέτρα. Δημιουργούνται βυθίσματα βαρύτητας και επιμήκεις δομές συμπίεσης. Δίκτυα ύδρευσης και αποστράγγισης μπορεί να υποστούν ζημιές λόγω σημαντικών μετατοπίσεων. Τεκτονική ταπείνωση ή ανύψωση της επιφάνειας με μέγιστες τιμές της τάξης πολλών μέτρων ίσως παρατηρηθούν

Δευτερογενείς επιπτώσεις: η συνολική έκταση της πληγείσας περιοχής είναι της τάξης των 10.000 km²

α) Σημαντικές μεταβολές στην παροχή πολλών πηγών και/ή στο σημείο εξόδου του νερού. Ίσως αρκετές πηγές ξηραθούν προσωρινά ή μόνιμα. Προσωρινές ή μόνιμες διακυμάνσεις στη στάθμη του νερού σε πηγάδια. Μεταβολές των φυσικο-χημικών ιδιοτήτων του νερού, κυρίως της θερμοκρασίας παρατηρούνται σε πηγές και/ή πηγάδια. Παρατηρείται συχνά λασπωμένο νερό σε μεγάλες λεκάνες, λίμνες, πηγές και σε πηγάδια. Εκπομπή αερίου, συνήθως θείου, παρατηρείται και ίσως καούν θάμνοι και χόρτα σε αυτές τις θέσεις

β) Μεγάλα κύματα δημιουργούνται σε μεγάλες λίμνες και ποτάμια και παρατηρούνται φαινόμενα υπερχειλίσης. Σε πλημμυρικές πεδιάδες τα ρέματα ίσως να αλλάξουν την πορεία τους, προσωρινά ή μόνιμα, λόγω εκτεταμένης εδαφικής καθίζησης και φαινομένων κατολισθήσεων. Λεκάνες ίσως εμφανιστούν ή αδειάσουν. Tsunamis ίσως πλησιάσουν στην ακτή με ύψος ίσως και περισσότερο από 15 μέτρα, και ισοπεδώνουν επίπεδες περιοχές σε βάθος χιλιομέτρων. Ακόμα και ογκόλιθοι ίσως παρασυρθούν για πολλά μέτρα. Εκτεταμένη διάβρωση παράκτιων περιοχών, προκαλώντας αξιοσημείωτες μεταβολές στην ακτογραμμή. Δέντρα κοντά στην ακτή ξεριζώνονται και μεταφέρονται μακριά

γ) Εδαφικές ρωγμές, με άνοιγμα αρκετών μέτρων παρατηρούνται συχνά σε χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις και/ή σε κορεσμένα εδάφη. Σε βραχώδεις σχηματισμούς τα άνοιγμα των ρωγμών φθάνει το ένα μέτρο (1m). Παρατηρούνται διαρρήξεις σημαντικού ανοίγματος σε δρόμους είτε ασφαλτοστρωμένους είτε λιθόστρωτους καθώς επίσης και μικρές πτυχώσεις λόγω συμπίεσης.

δ) Μεγάλες κατολισθήσεις και καταπτώσεις βράχων (>10⁵-10⁶ m³) παρατηρούνται συχνά ανεξάρτητα από τις συνθήκες ισορροπίας, δημιουργώντας προσωρινές ή μόνιμες φραγματογενείς λίμνες (barrier lakes). Τα πρανή στις όχθες ποταμών, τα τεχνητά αναχώματα και οι εκσκαφές αστοχούν. Αναχώματα και χωμάτινα φράγματα υφίστανται σημαντικές ζημιές. Σημαντικές κατολισθήσεις μπορεί να παρατηρηθούν σε επικεντρικές αποστάσεις 200-300 km. Συχνές μεγάλες υποθαλάσσιες κατολισθήσεις σε παράκτιες περιοχές.

ε) Δέντρα ταλαντώνονται έντονα; Κλαδιά και κορμοί δέντρων σπάνε και πέφτουν. Ξεριζώνονται και πέφτουν

ζ) Φαινόμενα ρευστοποίησης αλλάζουν την μορφή εκτεταμένων πεδινών εκτάσεων, όπου παρατηρείται καθίζηση αρκετών μέτρων, πολλές εμφανίσεις ηφαιστειών άμμου και σφοδρές πλευρικές εξαπλώσεις.

η) Σε ξηρές περιοχές, σύννεφα σκόνης σηκώνονται από το έδαφος

θ) Αναπήδηση μεγάλων ογκόλιθων (διάμετρος αρκετών μέτρων) και μετακίνηση τους από την αρχική θέση, ακόμα και σε πρανή με ήπια κλίση, αφήνοντας αποτυπώματα σε μαλακό έδαφος

XII Απόλυτα Ισοπεδωτικός / Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι το μοναδικό εργαλείο για την εκτίμηση της έντασης

Πρωτογενείς επιπτώσεις κυριαρχούν.

Το μήκος του επιφανειακού ίχνους του σεισμογόνου ρήγματος είναι τουλάχιστον μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα και το άλμα (offset) δεκάδες μέτρα. Δημιουργούνται βυθίσματα βαρύτητας και επιμήκεις δομές συμπίεσης Τοπογραφικές και η γεωμορφολογικές μεταβολές, οι οποίες προκλήθηκαν από τις πρωτογενείς επιπτώσεις, παίρνουν μεγάλες διαστάσεις τόσο σε έκταση όσο και σε μέγεθος (χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ανύψωση ακτογραμμών, εμφάνιση ή εξαφάνιση από το απτικό πεδίο χαρακτηριστικών τοπογραφικών στοιχείων, αλλαγή πορείας ποταμών, δημιουργία καταρρακτών, δημιουργία ή εξαφάνιση λιμνών).

Δευτερογενείς επιπτώσεις: η συνολική έκταση της πληγείσας περιοχής είναι της τάξης των 50.000 km² και περισσότερο

α) Σημαντικές μεταβολές στην παροχή πολλών πηγών και/ή στο σημείο εξόδου του νερού. Ίσως πολλές πηγές ξηραθούν προσωρινά ή μόνιμα. Προσωρινές ή μόνιμες διακυμάνσεις στη στάθμη του νερού σε πηγάδια. Σημαντικές μεταβολές των φυσικο-χημικών ιδιοτήτων του νερού, κυρίως της θερμοκρασίας παρατηρούνται σε πηγές και/ή

πηγάδια. Παρατηρείται συχνά λασπωμένο νερό σε μεγάλες λεκάνες, λίμνες, πηγές και σε πηγάδια. Εκπομπή αερίου, συνήθως θειούχου, παρατηρείται και ίσως καούν θάμνοι και χόρτα σε αυτές τις θέσεις

β) Γιγάντια κύματα δημιουργούνται σε λίμνες και ποτάμια και παρατηρούνται φαινόμενα υπερχείλισης. Σε πλημμυρικές πεδιάδες τα ρέματα αλλάζουν την πορεία τους ακόμα και την κατεύθυνση ροής τους, προσωρινά ή μόνιμα, λόγω εκτεταμένης εδαφικής καθίζησης και φαινομένων κατολίσθησης. Λεκάνες ίσως εμφανιστούν ή αδειάσουν. Tsunamis ίσως πλησιάσουν στην ακτή με ύψος αρκετών δεκάδων μέτρων, και ισοπεδώνουν επίπεδες περιοχές σε βάθος χιλιομέτρων. Μεγάλοι ογκόλιθοι μετακινούνται σε μεγάλες αποστάσεις. Εκτεταμένη διάβρωση των ακτών, και αξιοσημείωτες μεταβολές στην παράκτια μορφολογία. Πολλά δέντρα ξεριζώνονται και μεταφέρονται μακριά. Όλα τα αγκυροβολημένα πλοία παρασύρονται και μετακινούνται προς την ενδοχώρα σε μεγάλες αποστάσεις. Οι άνθρωποι στην ύπαιθρο δεν μπορούν να σταθούν όρθιοι

γ) Πολλές εδαφικές ρωγμές, με άνοιγμα μεγαλύτερο του ενός μέτρου ή και περισσότερο στο υπόβαθρο, και περισσότερο από 10 m σε χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις και/ή σε κορεσμένα εδάφη. Το μήκος τους εκτείνεται αρκετά χιλιόμετρα

δ) Μεγάλες κατολισθήσεις και καταπτώσεις βράχων ($>10^5-10^6 \text{ m}^3$) παρατηρούνται συχνά ανεξάρτητα από τις συνθήκες ισορροπίας, δημιουργώντας προσωρινές ή μόνιμες φραγματογενείς λίμνες (barrier lakes). Τα πρανή στις όχθες ποταμών, τα τεχνητά αναχώματα και οι εκσκαφές αστοχούν. Αναχώματα και χωμάτινα φράγματα υφίστανται σημαντικές ζημιές. Σημαντικές κατολισθήσεις παρατηρούνται σε επικεντρικές αποστάσεις μεγαλύτερες των 200-300 km. Συχνές μεγάλες υποθαλάσσιες κατολισθήσεις σε παράκτιες περιοχές.

ε) Δέντρα ταλαντώνονται έντονα; Κλαδιά και κορμοί δέντρων σπάνε και πέφτουν. Πολλά δέντρα ξεριζώνονται και πέφτουν

ζ) Φαινόμενα ρευστοποίησης παρατηρούνται σε μεγάλες σε έκταση περιοχές και αλλάζουν την μορφολογία εκτεταμένων επίπεδων εκτάσεων, όπου παρατηρείται καθίζηση αρκετών μέτρων, εκτεταμένες εμφανίσεις μεγάλων ηφαιστειών άμμου και εκτεταμένες σφοδρές πλευρικές εξαπλώσεις.

η) Σε ξηρές περιοχές, σύννεφα σκόνης σηκώνονται από το έδαφος

θ) Αναπήδηση πολύ μεγάλων ογκόλιθων και μετακίνηση τους από την αρχική θέση σε μεγάλες αποστάσεις, ακόμα και σε πρανή με ήπια κλίση, αφήνοντας αποτυπώματα σε μαλακό έδαφος

2.8 Seismische intensiteitschaal op basis van omgevingseffecten - ESI 2007 (Nederlands)

TRANSLATED BY: SINTUBIN M. (1)

(1) Departement Aard- & Omgevingswetenschappen, Katholieke Universiteit Leuven, België

Inleiding

De intensiteit van een aardbeving is gebaseerd op de classificatie van effecten veroorzaakt door de aardbeving op de mens, op constructies aangelegd door de mens (gebouwen en andere infrastructuur) en op de natuurlijke omgeving (omgevingseffecten en geologische effecten). Deze intensiteit is een maat voor de zwaarte van de aardbeving waarbij rekening wordt gehouden met de effecten veroorzaakt door een breed spectrum aan trillingsfrequenties, alsook met statische vervorming.

Alle intensiteitschalen (Rossi-Forel, Mercalli, MCS, MSK, aangepaste Mercalli) beschouwen de effecten op de natuurlijke omgeving als diagnostische elementen voor de evaluatie van de intensiteit. Daarentegen, bepaalde recente schalen (bv. Espinosa et al., 1976a; 1976b; Grunthal, 1998) beschouwen enkel de effecten op de mens en door de mens aangelegde constructies, en beperken in belangrijke mate de diagnostische relevantie van omgevingseffecten omwille van de aanname dat deze effecten willekeurig en sterk variabel zijn. Niettemin, recente studies (bv. Dengler & McPherson, 1993; Serva, 1994; Dowrick, 1996; Esposito et al., 1997; Hancox et al., 2002; Michetti et al., 2004) hebben duidelijk aangetoond dat de eigenschappen van geologische en omgevingseffecten, die terug te vinden zijn in historische, archeoseismologische en paleoseismologische bronnen, essentiële informatie opleveren voor het inschatten van de omvang van een aardbeving en in het bijzonder de lokale aardbevingsintensiteit.

Om dit doel te bereiken, is de ESI 2007 intensiteitschaal (Michetti et al., 2007) ontworpen, enkel op basis van omgevingseffecten. Het gebruik van deze schaal, al of niet geïntegreerd met de andere, traditionele schalen, laat toe een beter beeld van het aardbevingsscenario te bekomen, omdat enkel omgevingseffecten een coherente vergelijking toelaten van de aardbevingintensiteit zowel

- *in tijd*: effecten op de natuurlijke omgeving zijn vergelijkbaar in een tijdsvenster (recente, historische en paleo-aardbevingen) dat veel ruimer is dan de periode van het instrumentele gegevensbestand (laatste eeuw),

als

- *in verschillende geografische gebieden*: omgevingseffecten hangen niet af van specifieke socio-economische omstandigheden of van verschillende bouwpraktijken.

Dus, de nieuwe schaal heeft tot doel de traditionele aardbevingschalen te integreren

- voor een aardbevingsintensiteit groter of gelijk aan een intensiteitsgraad X, wanneer inschattingen op basis van structurele schade op door de mens aangelegde constructies heel moeilijk worden, terwijl omgevingseffecten nog steeds diagnostisch zijn;
- in dunbevolkte gebieden, wanneer effecten op door de mens aangelegde constructies ontbreken, en daardoor een inschatting van de aardbevingsintensiteit moet gebaseerd worden op omgevingseffecten, omdat deze dan de enige diagnostische elementen zijn waarover men kan beschikken.

De definitie van de intensiteitgraad is het resultaat van een revisie door een internationale werkgroep van geologen, seismologen en ingenieurs van de omgevingseffecten, die veroorzaakt zijn door een groot aantal aardbevingen die zich wereldwijd voordeden. Deze ESI 2007 intensiteitschaal is goedgekeurd door INQUA (International Union for Quaternary Research) tijdens de XVII INQUA bijeenkomst in Cairns (Australië) in 2007.

Beschrijving

De ESI 2007 intensiteitschaal bestaat uit 12 intensiteitgraden. De hoofding van elke intensiteitgraad geeft enerzijds de overeenkomende kracht van de aardbeving weer, en anderzijds de betekenis van de omgevingseffecten. In de daaropvolgende beschrijving worden volgens elke graad eerst de eigenschappen en de omvang van de primaire effecten weergegeven. Vervolgens worden de secundaire effecten gegroepeerd in verschillende categorieën, geordend door de initiële graad van voorkomen. De totale oppervlakte van hun voorkomen wordt aangewend als instrument om een inschatting te kunnen maken van de intensiteit in het epicentrum (I_0). *Cursief* gedrukte tekst benadrukt beschrijvingen die op zichzelf als diagnostisch voor een bepaalde intensiteitgraad worden aanzien.

Primaire effecten zijn rechtstreeks gekoppeld aan de aardbevingsenergie en in het bijzonder aan de oppervlakkige fenomenen gerelateerd aan de seismogene bron. De omvang van de primaire effecten wordt typisch uitgedrukt aan de hand van twee parameters: i) totale lengte van de oppervlaktetescheur (*Surface Rupture Length – SRL*) en ii) de maximale verplaatsing (*Maximum Displacement – MD*). Het voorkomen van primaire effecten komt doorgaans voor vanaf de intensiteitgraad VIII, met uitzondering van zeer ondiepe aardbevingen in vulkanische gebieden. Tektonische vervorming van het aardoppervlak (opheffing, subsidentie) wordt ook in rekenschap gebracht.

Secundaire effecten zijn alle mogelijke fenomenen die veroorzaakt zijn door grondtrillingen en worden ondergebracht in acht hoofdcategorieën:

- q) ***Hydrologische afwijkingen***: in deze categorie worden veranderingen beschreven in het debiet van bronnen en rivieren, alsook in de fysisch-chemische eigenschappen van oppervlakte- en grondwater (bv. temperatuur, watertroebelheid). Deze effecten zijn diagnostisch voor een intensiteitgraad tussen IV en X.
- r) ***Afwijkende golven / tsunamis***: deze categorie omvat: ‘seiches’ in afgesloten bekkens, overspoelen van water uit plassen (, zwembaden) en bekkens, en tsunamis. In het geval van tsunamis is het niet zozeer de omvang van de tsunami zelf, maar zijn het vooral de effecten langsheen de kusten (in het bijzonder de oploophoogte (*run-up*), kusterosie, veranderingen in kustmorfologie), zonder de effecten op de mens en door de mens aangelegde structuren te verwaarlozen, die als diagnostisch voor de intensiteit worden beschouwd. Dergelijke effecten kunnen zich al voordoen bij een intensiteitgraad IV, maar zijn meer diagnostisch voor een intensiteitgraad IX tot en met XII.
- s) ***Grondscheuren***: grondscheuren worden beschreven op basis van hun lengte (van cm tot meerdere honderden meter), breedte (van mm tot m), en ruimtelijke dichtheid. Grondscheuren doen zich voor vanaf een intensiteitgraad IV. Er treedt een verzadiging – hun omvang neemt niet meer toe – op bij een intensiteitgraad X.
- t) ***Hellingsprocessen***: deze categorie bevatten alle types van grondverschuivingen, waaronder ook bergstortingen, afglijdingen en puinstromen (*earth flows*). Als de lithologische en morfologische context gelijkaardig is, dan zijn volume en totale oppervlakte de diagnostische parameters. Dergelijke hellingsprocessen doen zich voor vanaf een intensiteitgraad IV en verzadigen – hun omvang neemt niet meer toe – bij een intensiteitgraad X.

- u) **Trillen van bomen**: dit effect is diagnostisch voor een intensiteitgraad tussen IV en X. De bepaling van de intensiteitgraden volgt deze van Dengler & McPherson (1993).
- v) **Liquefactie / vloeibaar wording**: in deze categorie vinden we zandvulkanen (*sand boils*), water- en zandfonteinen, sommige types van laterale spreiding, grondsamendrukking en wegzakking. Hun omvang is diagnostisch voor de intensiteitgraad tussen V en X.
- w) **Stofwolken**: deze kunnen worden geobserveerd in woestijngebieden, of in gebieden onderhevig aan droogte, beginnende van een intensiteitgraad VIII.
- x) **Springende stenen**: de maximum grootte van springende stenen is diagnostisch voor de inschatting van de intensiteit. Deze effecten worden waargenomen bij een intensiteitgraad IX tot en met XII. Dit fenomeen wijst erop dat grondversnellingen die groter zijn dan de zwaartekracht, zich lokaal kunnen voordoen vanaf een intensiteitgraad IX.

Omgevingseffecten kunnen worden waargenomen vanaf een intensiteitgraad IV. Sommige types van omgevingseffecten (hydrologische afwijkingen) kunnen zich al voordoen bij een lagere intensiteitgraad, maar kunnen dan niet echt als diagnostisch worden beschouwd. Nauwkeurigheid van beoordeling neemt toe naar hogere intensiteitgraden, in het bijzonder met betrekking tot het voorkomen van primaire effecten (typisch vanaf een intensiteitgraad VIII), met een scheidend vermogen tot en met een intensiteitgraad XII. Vanaf een intensiteitgraad X verzadigen de effecten op de mens en door de mens aangelegde constructies (gebouwen zijn doorgaans volledig verwoest), waardoor het onmogelijk wordt een onderscheid te maken tussen de verschillende intensiteitgraden. In dit bereik zijn omgevingseffecten dominant en leveren zo het meest krachtige instrument om een inschatting te maken van de aardbevingsintensiteit.

Hoe de ESI 2007 intensiteitschaal gebruiken?

Het gebruik van de ESI 2007 intensiteitschaal als een onafhankelijk instrument voor de inschatting van de aardbevingsintensiteit is aangeraden wanneer enkel omgevingseffecten diagnostisch zijn en de effecten op mens en door de mens aangelegde constructies te schaars zijn of verzadigd zijn (bij hogere intensiteitgraden). Indien ook effecten op mens en door de mens aangelegde constructies beschikbaar zijn, dan is het mogelijk twee onafhankelijke inschattingen van de aardbevingsintensiteit te maken. Algemeen wordt dan de hoogste van de twee intensiteitgraden genomen als uiteindelijke intensiteitgraad voor het waarnemingspunt. Natuurlijk blijft het finale oordeel van de expert steeds essentieel bij de inschatting van de intensiteitgraad.

De intensiteit in het epicentrum (I_0) geeft de intensiteit van de aardbeving in de omgeving van het epicentrum. Parameters die verband houden met oppervlaktebreukwerking en de totale oppervlakte waarover secundaire effecten (bv. massabewegingen en/of liquefactie) voorkomen, zijn onafhankelijke instrumenten om de I_0 in te schatten op basis van de omgevingseffecten vanaf een aardbevingsgraad VII (Tabel 1).

Bijzondere aandacht moet besteed worden als de parameters die verband houden met oppervlaktebreukwerking zich situeren op de grens tussen twee intensiteitgraden. In dat geval dient de intensiteitgraad te worden gekozen die het meest consistent is met de eigenschappen en de ruimtelijke verbreiding van de secundaire effecten. Bovendien is het aangeraden om bij het vastleggen van de totale oppervlakte waarover secundaire effecten voorkomen, geen rekening te houden met geïsoleerde effecten die zich ver weg (*far field*) voordoen. Ook hier is de evaluatie van de expert noodzakelijk.

I₀	PRIMAIRE EFFECTEN		SECUNDAIRE EFFECTEN
	LENGTE VAN OPPERVLAKTESCHEUR	MAXIMALE OPPERVLAKTEVERPLAATSING / VERVORMING	TOTALE OPPERVLAKTE
IV	-	-	-
V	-	-	-
VI	-	-	-
VII	(*)	(*)	10 km ²
VIII	meerdere honderden meter	centimeters	100 km ²
IX	1- 10 km	5 - 40 cm	1.000 km ²
X	10 - 60 km	40 - 300 cm	5.000 km ²
XI	60 – 150 km	300 –700 cm	10.000 km ²
XII	> 150 km	> 700 cm	> 50.000 km ²

(*) Beperkte oppervlaktebreukwerking, tientallen tot honderden meter lengte met een centimeter verplaatsing, kunnen zich voordoen bij zeer ondiepe aardbevingen in vulkanische gebieden.

Tabel. 1 – Bereik van parameters die verband houden met oppervlaktebreukwerking (primaire effecten) en de totale oppervlakte (secundaire effecten) voor elke intensiteitgraad.

Lokale intensiteiten worden voornamelijk ingeschat op basis van de beschrijving van de secundaire effecten die zich voordoen op verschillende ‘sites’ (*sites*) die deel uitmaken van een specifieke ‘lokaliteit’ (*locality*). Deze intensiteitgraad moet vergelijkbaar zijn met de traditionele lokale intensiteitgraad bekomen op basis van schade. Gelieve er rekening mee te houden dat een ‘lokaliteit’ kan verwijzen naar een bewoond gebied (bv. dorp, stad), maar ook naar een onbewoond gebied. Als enkel primaire effecten aanwezig zijn, is het ook mogelijk om de lokale uitdrukking van de oppervlaktebreukwerking – onder de vorm van de maximale verplaatsing – te gebruiken bij de inschatting van de lokale intensiteit.

Omschrijving van de intensiteitgraden

Van I tot III: Er zijn geen omgevingseffecten dat als diagnostisch kunnen worden gebruikt.

IV Algemeen waargenomen – Eerste eenduidige omgevingseffecten

Primaire effecten zijn afwezig.

Secundaire effecten

- k) Zeldzame, kleine veranderingen in het waterniveau in waterputten en/of in het debiet van bronnen worden lokaal waargenomen, alsook uiterst zeldzame, kleine veranderingen in de fysisch-chemische eigenschappen van het water alsook de watertroebelheid in bronnen en waterputten, in het bijzonder in bronnen in grote karstsystemen, die gevoeliger zijn voor dit fenomeen.
- l) In gesloten bekkens (meren, zelfs zeeën) kunnen ‘seiches’ met een hoogte van maximum enkele centimeter tot ontwikkeling komen, doorgaans enkel waargenomen door getijdenmeters, uitzonderlijk zelfs met het blote oog, typisch ver weg van zware aardbevingen (*far field*). Afwijkende golven worden waargenomen door vele mensen op kleine boten, door enkelingen op grote boten, en door het merendeel van de mensen langs de kust. Water in zwembaden beweegt en loopt soms over.
- m) Uiterst dunne (mm-breed) scheurtjes kunnen uitzonderlijk waargenomen worden op plaatsen waar de lithologie (bv. losse alluviale afzettingen, verzadigde bodems) en/of de morfologie (bv. hellingen of heuvelruggen) het gevoeliger zijn voor dit fenomeen.
- n) Uitzonderlijk kunnen rotsblokken vallen en kleine aardverschuivingen ge(re)activeerd worden op hellingen waar het evenwicht kritisch is (bv. steile hellingen en afgravingen met losse en doorgaans verzadigde bodems).
- o) Taken aan bomen kunnen zwakjes bewegen.

V Zwaar – Beperkte omgevingseffecten

Primaire effecten zijn afwezig.

Secundaire effecten

- m) Zeldzame veranderingen in het waterniveau in waterputten en/of in het debiet van bronnen worden lokaal waargenomen, alsook uiterst kleine veranderingen in de fysisch-chemische eigenschappen van het water alsook de watertroebelheid in meren, bronnen en waterputten.
- n) In gesloten bekkens (meren, zelfs zeeën) kunnen ‘seiches’ met een hoogte van enkele decimeter tot ontwikkeling komen, soms ook waargenomen met het blote oog, typisch ver weg van zware aardbevingen (*far field*). Afwijkende golven, tot verschillende tientallen centimeter hoog, worden opgemerkt door iedereen op boten en langs de kust. Het water in zwembaden loopt over.
- o) Dunne (mm-breed; met een lengte van enkele cm, tot zelfs een meter) scheuren kunnen lokaal waargenomen worden op plaatsen waar de lithologie (bv. losse alluviale afzettingen, verzadigde bodems) en/of de morfologie (bv. hellingen of heuvelruggen) het gevoeliger zijn voor dit fenomeen.
- p) Uitzonderlijk kunnen rotsblokken vallen, rotationele aardverschuivingen en puinstromen plaatsvinden op doorgaans – maar niet noodzakelijk – steile hellingen waar het evenwicht kritisch is, voornamelijk in losse afzettingen en verzadigde bodems. Aardverschuivingen onder water kunnen worden geactiveerd, welke op zich kleine afwijkende golven in kustgebieden of langs meeroevers kunnen veroorzaken.
- q) Taken aan bomen en struiken bewegen zwakjes; uitzonderlijk valt dood hout of rijp fruit uit een boom.
- r) Uiterst zeldzame gevallen van liquefactie, zoals zandvulkaantjes, zijn gerapporteerd. Deze zijn klein in omvang en komen enkel voor in gebieden die uiterst gevoelig zijn voor dit fenomeen (bv. uiterst gevoelige, recente alluviale of kustnabije afzettingen, ondiepe watertafel).

VI Lichte schade – Bescheiden omgevingseffecten

Primaire effecten zijn afwezig.

Secundaire effecten

- m) Belangrijke veranderingen in het waterniveau in waterputten en/of in het debiet van bronnen worden lokaal waargenomen, alsook kleine veranderingen in de fysisch-chemische eigenschappen van het water alsook de watertroebelheid in meren, bronnen en waterputten.
- n) Afwijkende golven met een hoogte van verschillende tientallen centimeter zorgen voor beperkte overstromingen in kustgebieden of langsheen de meeroevers. Het water in zwembaden, kleine vijvers en meertjes loopt over.
- o) *Occasioneel worden mm- tot cm-brede en tot enkele meter lange barsten waargenomen in losse alluviale afzettingen en/of verzadigde bodems; langsheen steile hellingen en rivieroevers kunnen deze barsten 1 à 2 cm breed zijn. Enkele kleine scheuren ontwikkelen zich in verharde (asfalt of steen) wegen.*
- p) Bergstortingen en aardverschuivingen met een volume tot ongeveer $\sim 10^3$ kunnen voorkomen, vooral waar het evenwicht kritisch is, zoals bijvoorbeeld op steile hellingen en uitgravingen, met losse, verzadigde bodems, of sterk verweerde / opgebroken gesteente. Aardverschuivingen onder water kunnen worden geactiveerd, welke op zich occasioneel kleine afwijkende golven in kustgebieden of langs meeroevers kunnen veroorzaken, die instrumenteel worden opgemeten.
- q) *Taken aan bomen en struiken bewegen matig tot sterk; uitzonderlijk kunnen de toppen van bomen uitscheuren; ook dood hout valt uit de bomen, natuurlijk afhankelijk van de soort, of dat ze vruchten dragen en van de gezondheidstoestand van de bomen.*
- r) *Zeldzame gevallen van liquefactie, zoals zandvulkaantjes, zijn gerapporteerd. Deze zijn klein in omvang en komen enkel voor in gebieden die uiterst gevoelig zijn voor dit fenomeen (bv. uiterst gevoelige, recente alluviale of kustnabije afzettingen, ondiepe watertafel).*

VII Schade – Aanzienlijke omgevingseffecten

Primaire effecten worden zelden waargenomen, en zo goed als enkel in vulkanische gebieden. Beperkte oppervlaktebreuken, met een lengte van enkele tientallen tot honderden meter en met een verplaatsing van enkele centimeter, kunnen zich voordoen, vooral geassocieerd met zeer ondiepe aardbevingen.

Secundaire effecten: de totale oppervlakte van het getroffen gebied is in de grootteorde van 10 km^2 .

- a) Belangrijke tijdelijke veranderingen in het waterniveau in waterputten en/of in het debiet van bronnen worden lokaal waargenomen. Het komt occasioneel voor dat kleine bronnen tijdelijk droogvallen of ontstaan. Beperkte veranderingen in de fysisch-chemische eigenschappen van het water alsook de watertroebelheid in meren, bronnen en waterputten worden lokaal waargenomen.
- b) Afwijkende golven met een hoogte tot meer dan een meter zorgen voor beperkte overstromingen in kustgebieden of langsheen de meeroevers, en kunnen schade veroorzaken of objecten van verschillende omvang wegspoelen. Het water in kleine bekkens en waterlopen loopt over de oevers / randen.
- c) *Barsten met een opening die kan oplopen tot 5 à 10 cm en een lengte van meerdere honderden meter, worden waargenomen, meestal in losse alluviale afzettingen en/of verzadigde bodems; langsheen steile hellingen en rivieroevers kunnen deze barsten 1 à 2 cm breed zijn. Soms komen er barsten, tot 1 cm breed, voor in droge zand-, zand-klei- en kleibodems. Cm-brede scheuren zijn veel voorkomend in verharde (asfalt of steen) wegen.*
- d) Verspreid komen er aardverschuivingen voor in gevoelige gebieden, waar het evenwicht kritisch is (bv. steile hellingen in losse, verzadigde bodems), terwijl bescheiden bergstortingen veel voorkomen in diepe ravijnen en rotswanden. Hun omvang is soms belangrijk (10^3 tot 10^5 m^3); in droge zand-, zand-klei- en kleibodems is het volume doorgaans tot 100 m^3 . Barsten, aardverschuivingen en afstortingen kunnen zich voordoen aan rivieroevers, kunstmatige dijken en uitgravingen (bv. wegensnijdingen, groeves), met losse, verzadigde bodems, of sterk verweerde / opgebroken gesteente. Belangrijke aardverschuivingen onder water kunnen worden geactiveerd, welke op zich afwijkende golven in kustgebieden of langs meeroevers kan veroorzaken, die ervaren worden door de mens op boten en in havens.
- e) Taken aan bomen en struiken bewegen krachtig, vooral in dicht beboste gebieden; takken en boomtoppen breken af en vallen.

- f) *Zeldzame gevallen van liquefactie, zoals zandvulkanen tot 50 cm in diameter, zijn gerapporteerd in gevoelige gebieden voor dit fenomeen (bv. uiterst gevoelige, recente alluviale of kustnabije afzettingen, ondiepe watertafel).*

VIII Zware schade – Uitgebreide omgevingseffecten

Primaire effecten worden uitzonderlijk waargenomen.

Oppervlaktescheuren (oppervlaktebreukwerking) kunnen ontstaan, tot een lengte van meerdere honderden meter en met een verplaatsing niet groter dan enkele centimeter. Dit doet zich in het bijzonder voor bij zeer ondiepe aardbevingen, zoals deze die zich voordoen in vulkanische gebieden. Tektonische verzakking of opheffing van het aardoppervlak in de grootteorde van enkele centimeter, kan zich voordoen.

Secundaire effecten: de totale oppervlakte van het getroffen gebied is in de grootteorde van 100 km².

- a) Bronnen kunnen – doorgaans tijdelijk – veranderen in plaats en/of in debiet. Sommige kleine bronnen kunnen droogvallen. Veranderingen in het waterniveau zijn waargenomen in waterputten. Beperkte veranderingen in de fysisch-chemische eigenschappen van het water, meestal de temperatuur, kunnen worden waargenomen in bronnen en/of waterputten. Watertroubelheid kan zich voordoen in gesloten bekkens, rivieren, bronnen en waterputten. De uitstoot van gassen, vaak zwavelhoudend, wordt lokaal geobserveerd.
- b) Afwijkende golven met een hoogte tot 1 à 2 meter zorgen voor beperkte overstromingen in kustgebieden of langsheen de meeroevers, en kunnen schade veroorzaken of objecten van verschillende omvang wegspoelen. Erosie en het afzetten van puin is waargenomen langsheen stranden; struiken en ondiep gewortelde bomen kunnen worden ontworteld en worden weggespoeld. Het water in kleine bekkens en waterlopen loopt krachtig over de oevers / randen.
- c) *Barsten met een opening die kan oplopen tot 50 cm en een lengte van meerdere honderden meter, komen veelvuldig voor in losse alluviale afzettingen en/of verzadigde bodems; in zeldzame gevallen komen barsten tot 1 cm breed voor in competente, droge gesteenten. Scheuren van tientallen centimeter breed zijn veel voorkomend in verharde (asfalt of steen) wegen; ook drukgolven (pressure undulations) komen voor.*
- d) Kleine tot gemiddelde (10^3 tot 10^5 m³) aardverschuivingen zijn wijdverbreid in gevoelige gebieden, waar het evenwicht kritisch is (bv. steile hellingen in losse, verzadigde bodems); uitzonderlijk komen ze ook voor op zachte hellingen; bergstortingen komen voor in diepe ravijnen en langs klifkusten. Hun omvang is soms groter (10^5 tot 10^6 m³). Aardverschuivingen kunnen occasioneel nauwe valleien afdammen, en zo tijdelijk of zelfs permanent meren doen ontstaan. Barsten, aardverschuivingen en afstortingen kunnen zich voordoen aan rivieroevers, kunstmatige dijken en uitgravingen (bv. weginsnijdingen, groeves), met losse, verzadigde bodems, of sterk verweerde / opgebroken gesteente. Frequent voorkomen van aardverschuivingen onder water in kustgebieden.
- e) *Bomen bewegen krachtig; takken breken af en vallen; bomen kunnen ontworteld worden, in het bijzonder op steile hellingen.*
- f) *Liquefactie kan frequent voorkomen in het gebied rond het epicentrum, afhankelijk van de lokale omstandigheden; zandvulkanen tot 1 meter in diameter; schijnbare waterfonteinen in stilstaande waterpartijen; gelokaliseerde laterale spreiding en zetting (verzakking tot ongeveer 30 cm), met barstontwikkeling evenwijdig aan de waterkant (rivieroever, meeroever, kanaal, kust).*
- g) *In droge gebieden kunnen in het gebied rond het epicentrum stofwolken ontstaan.*
- h) Stenen en zelfs kleine rotsen, alsook boomstammen kunnen de lucht worden ingeworpen, wat resulteert in typische afdrukken in zachte bodems.

IX Verwoestend – Omgevingseffecten zijn een wijdverbreide bron van belangrijk risico en worden belangrijke voor het inschatten van de intensiteit

Primaire effecten worden algemeen waargenomen.

Oppervlaktescheuren (oppervlaktebreukwerking) kunnen ontstaan, tot een lengte van enkele kilometer en met een verplaatsing in de grootteorde van enkele centimeter. Tektonische verzakking of opheffing van het aardoppervlak in de grootteorde van enkele decimeter, kan zich voordoen.

Secundaire effecten: de totale oppervlakte van het getroffen gebied is in de grootteorde van 1.000 km².

- a) Bronnen kunnen – doorgaans tijdelijk – veranderen in plaats en/of in debiet, en dit in belangrijke mate. Sommige bronnen kunnen droogvallen. Tijdelijke veranderingen in het waterniveau zijn geregeld waargenomen in waterputten. De temperatuur van het water in bronnen en/of waterputten veranderen dikwijls. Veranderingen in de fysisch-chemische eigenschappen van het water, meestal de temperatuur, kunnen worden waargenomen in bronnen en/of waterputten. Watertroebelheid is veel voorkomend in gesloten bekkens, rivieren, bronnen en waterputten. De uitstoot van gassen, vaak zwavelhoudend, wordt geobserveerd. Struiken en grassen dicht bij de uitstootbron kunnen vuur vatten.
- b) Metershoge afwijkende golven komen tot stand in stilstaand en stromend water. In de riviervlakte (flood plain) kunnen de waterlopen zelfs van loop veranderen, ook omwille van verzakkingen. Kleine bekkentjes kunnen ontstaan en vollopen of leeglopen en verdwijnen. Afhankelijk van de zeebodem- en kustmorfologie, kunnen gevaarlijke tsunamis de kust bereiken met oploophoogtes (run-up) tot enkele meter hoog die weide gebieden kunnen overstromen. Wijdverbreide erosie en het afzetten van puin is waargenomen langsheen stranden; struiken en bomen kunnen worden ontworteld en worden weggespoeld.
- c) Barsten met een opening die kan oplopen tot 100 cm en een lengte van meerdere honderden meter, komen veelvuldig voor in losse alluviale afzettingen en/of verzadigde bodems; in competente gesteenten komen barsten tot 10 cm breed voor. Scheuren zijn veel voorkomend in verharde (asfalt of steen) wegen; ook drukgolven (pressure undulations) komen voor.
- d) Aardverschuivingen zijn wijdverbreid in gevoelige gebieden, waar het evenwicht kritisch is (bv. steile hellingen in losse, verzadigde bodems); ook komen ze voor op zachte hellingen; bergstortingen komen voor in diepe ravijnen en langs klijkusten. Hun omvang is doorgaans groot (10⁵ m³), soms zeer groot (10⁶ m³). Aardverschuivingen kunnen nauwe valleien afdammen, en zo tijdelijk of zelfs permanent meren doen ontstaan. Rivieroever, kunstmatige dijken en uitgravingen (bv. weginsnijdingen, groeves) storten in. Frequent voorkomen van aardverschuivingen onder water in kustgebieden.
- e) Bomen bewegen krachtig; takken breken af en vallen; dunne boomstammen breken af en vallen. Bomen kunnen ontworteld worden, in het bijzonder op steile hellingen.
- f) Liquefactie en wateropwellingen (water upsurge) komen frequent voor; zandvulkanen tot 3 meter in diameter; schijnbare waterfontein in stilstaande waterpartijen; laterale spreiding en zetting (verzakking van meer dan ongeveer 30 cm), met barstontwikkeling evenwijdig aan de waterkant (rivieroever, meeroever, kanaal, kust), komen geregeld voor.
- g) In droge gebieden komen stofwolven geregeld voor.
- h) Stenen en zelfs kleine rotsen, alsook boomstammen kunnen de lucht worden ingeworpen en verplaatst worden voor meerdere meters, afhankelijk van de helling en afgerondheid van de rotsen, wat resulteert in typische afdrukken in zachte bodems.

X Heel verwoestend – Omgevingseffecten worden de eerste bron van risico en zijn cruciaal voor de inschatting van de intensiteit

Primaire effecten worden dominant.

Oppervlaktescheuren (oppervlaktebreukwerking) kunnen ontstaan, tot een lengte van enkele tientallen kilometer en met een verplaatsing in de grootteorde van enkele tientallen centimeter tot enkele meter. Gravitaire inzakkingbekkens en langwerpige depressies kunnen ontstaan; voor zeer ondiepe aardbevingen in vulkanische gebieden zijn de lengtes van oppervlaktescheuren kleiner. Tektonische verzakking of opheffing van het aardoppervlak in de grootteorde van enkele meter, kan zich voordoen.

Secundaire effecten: de totale oppervlakte van het getroffen gebied is in de grootteorde van 5.000 km².

- a) Vele bronnen veranderen in belangrijke mate in plaats en/of in debiet. Sommige bronnen kunnen tijdelijk of permanent droogvallen. Tijdelijke veranderingen in het waterniveau zijn veel voorkomend in waterputten. Zelfs belangrijke veranderingen in de fysisch-chemische eigenschappen van het water, meestal de temperatuur, kunnen worden waargenomen in bronnen en/of waterputten. Dikwijls wordt het water zeer modderig, zelfs in grote bekkens, rivieren, bronnen en waterputten. De uitstoot van gassen, vaak zwavelhoudend, wordt geobserveerd. Struiken en grassen dicht bij de uitstootbron kunnen vuur vatten.
- b) Metershoge afwijkende golven komen tot stand in grote meren en rivieren, gepaard gaand met de overstroming van de oevers. In de riviervlakte (flood plain) kunnen de waterlopen zelfs van loop – tijdelijk of

permanent – veranderen, ook omwille van verzakkingen. Bekkens kunnen ontstaan en vollopen of leeglopen en verdwijnen. Afhankelijk van de zeebodem morfologie en kustmorfologie, kunnen gevaarlijke tsunamis de kust bereiken met oploophoogtes (run-up) groter dan 5 meter hoog die weide gebieden tot kilometers landinwaarts kunnen overstromen. Kleine rotsen kunnen voor meerdere meters worden meegesleurd. Wijdverbreide, diepe erosie is waargenomen langsheen de kusten, met waarneembare veranderingen in het kustlijnprofiel. Bomen langsheen de kust worden ontworteld en weggespoeld.

- c) Barsten met een opening die kan oplopen tot meer dan 1 meter en een lengte van meerdere honderden meter, komen veelvuldig voor in losse alluviale afzettingen en/of verzadigde bodems; in competente gesteenten komen barsten van meerdere decimeter breed voor. Brede scheuren zijn veel voorkomend in verharde (asfalt of steen) wegen; ook drukgolven (pressure undulations) komen voor.*
- d) Aardverschuivingen en bergstortingen (groter dan 10^5 m^3 - 10^6 m^3) zijn wijdverbreid onafhankelijk van de evenwichtstoestand van de hellingen. Ze kunnen valleien afdammen, en zo tijdelijk of zelfs permanent meren doen ontstaan. Rivieroevers, kunstmatige dijken en uitgravingen (bv. weginsnijdingen, groeves) storten doorgaans in. Aanlegsteigers en aarden dammen kunnen belangrijke schade oplopen. Frequent voorkomen van aardverschuivingen onder water in kustgebieden.*
- e) Bomen bewegen krachtig; takken en boomstammen breken af en vallen. Bomen kunnen ontworteld worden en omvallen.*
- f) Liquefactie en wateropwellingen (water upsurge) en bodemsamendrukking kunnen het landschap sterk veranderen; zandvulkanen tot 6 meter in diameter; verticale verzakking tot meer dan 1 meter; laterale spreiding geeft aanleiding tot grote en lange barsten.*
- g) In droge gebieden komen stofwolken geregeld voor.*
- h) Stenen en zelfs kleine rotsen (met een diameter groter dan 2 à 3 meter), alsook boomstammen kunnen de lucht worden ingeworpen en verplaatst worden voor honderden meter, zelfs op zachte hellingen, wat resulteert in typische afdrukken in zachte bodems.*

XI Vernietigend – Omgevingseffecten worden beslissend bij de inschatting van de intensiteit, omwille van de verzadiging van structurele schade

Primaire effecten zijn dominant.

Oppervlaktescheuren (oppervlaktebreukwerking) kunnen ontstaan, tot een lengte van enkele tientallen kilometer tot meer dan honderd kilometer en met een verplaatsing in de grootteorde van enkele meter. Gravitaire inzakkingbekkens, langwerpige depressies en drukruggen kunnen ontstaan. Waterscheidingen kunnen in belangrijke mate worden verplaatst. Tektonische verzakking of opheffing van het aardoppervlak in de grootteorde van enkele meter, kan zich voordoen.

Secundaire effecten: de totale oppervlakte van het getroffen gebied is in de grootteorde van 10.000 km^2 .

- i) Vele bronnen veranderen in belangrijke mate in plaats en/of in debiet. Vele bronnen kunnen tijdelijk of permanent droogvallen. Tijdelijke of permanente veranderingen in het waterniveau zijn algemeen in waterputten. Zelfs belangrijke veranderingen in de fysisch-chemische eigenschappen van het water, meestal de temperatuur, kunnen worden waargenomen in bronnen en/of waterputten. Dikwijls wordt het water zeer modderig, zelfs in grote bekkens, rivieren, bronnen en waterputten. De uitstoot van gassen, vaak zwavelhoudend, wordt geobserveerd. Struiken en grassen dicht bij de uitstootbron kunnen vuur vatten.*
- j) Metershoge afwijkende golven komen tot stand in grote meren en rivieren, gepaard gaand met de overstroming van de oevers. In de riviervlakte (flood plain) kunnen de waterlopen zelfs van loop – tijdelijk of permanent – veranderen, ook omwille van wijdverbreide verzakkingen en massabewegingen. Bekkens kunnen ontstaan en vollopen of leeglopen en verdwijnen. Afhankelijk van de zeebodem morfologie en kustmorfologie, kunnen gevaarlijke tsunamis de kust bereiken met oploophoogtes (run-up) tot meer dan 15 meter hoog die in vlakke kustgebieden tot kilometers landinwaarts zeer verwoestend zijn. Zelfs metersgrote rotsen kunnen voor lange afstanden worden meegesleurd. Wijdverbreide, diepe erosie is waargenomen langsheen de kusten, met waarneembare veranderingen in het kustlijnprofiel. Bomen langsheen de kust worden ontworteld en weggespoeld.*
- k) Open barsten met een opening die kan oplopen tot meerdere meters komen veelvuldig voor in losse alluviale afzettingen en/of verzadigde bodems; in competente gesteenten komen barsten tot een meter breed voor. Zeer brede scheuren zijn veel voorkomend in verharde (asfalt of steen) wegen; ook drukgolven (pressure undulations) komen voor.*

- l) *Grote aardverschuivingen en bergstortingen (groter dan $10^5 \text{ m}^3 - 10^6 \text{ m}^3$) zijn wijdverbreid onafhankelijk van de evenwichtstoestand van de hellingen. Ze kunnen valleien afdammen, en zo tijdelijk of zelfs permanent meren doen ontstaan. Rivieroever, kunstmatige dijken en uitgravingen (bv. weginsnijdingen, groeves) storten doorgaans in. Aanlegsteigers en aarden dammen kunnen belangrijke schade oplopen. Belangrijke aardverschuivingen kunnen zich voordoen op een afstand van 200 à 300 km van het epicentrum. Frequent voorkomen van aardverschuivingen onder water in kustgebieden.*
- m) *Bomen bewegen krachtig; vele takken en boomstammen breken af en vallen. Vele bomen kunnen ontworteld worden en omvallen.*
- n) *Liquefactie kan het landschap van laaglanden sterk veranderen, bepalend voor de verticale verzakkingen van meerdere meters; veelvuldig voorkomen van grote zandvulkanen; veelvuldig voorkomen van laterale spreiding.*
- o) *In droge gebieden komen stofwolken geregeld voor.*
- p) *Stenen en zelfs rotsen (met een diameter van meerdere meters), alsook boomstammen kunnen de lucht worden ingeworpen en verplaatst worden voor grote afstanden, zelfs op zachte hellingen, wat resulteert in typische afdrukken in zachte bodems.*

XII Totale vernietiging – Omgevingseffecten zijn het enige instrument voor het inschatten van de intensiteit

Primaire effecten zijn dominant.

Oppervlakescheuren (oppervlaktebreukwerking) zijn minstens enkele honderden kilometer lang en gaan gepaard met verplaatsingen van meerdere tientallen meter. Gravitaire inzakkingbekkens, langwerpige depressies en drukruggen kunnen ontstaan. Waterscheidingen kunnen in belangrijke mate worden verplaatst. Landschappelijke en geomorfologische veranderingen, veroorzaakt door de primaire effecten, kunnen buitengewone omvang aannemen (typische voorbeelden zijn de opheffing of verzakking van kustlijnen voor meerdere meters, verschijnen of verdwijnen van belangrijke landschapselementen, verandering van de loop van rivieren, ontstaan van watervallen, vorming of verdwijnen van meren).

Secundaire effecten: *de totale oppervlakte van het getroffen gebied is in de grootteorde van 50.000 km² en meer.*

- a) *Vele bronnen veranderen in belangrijke mate in plaats en/of in debiet. Vele bronnen kunnen tijdelijk of permanent droogvallen. Tijdelijke of permanente veranderingen in het waterniveau zijn algemeen in waterputten. Belangrijke veranderingen in de fysisch-chemische eigenschappen van het water, meestal de temperatuur, kunnen worden waargenomen in bronnen en/of waterputten. Dikwijls wordt het water zeer modderig, zelfs in grote bekkens, rivieren, bronnen en waterputten. De uitstoot van gassen, vaak zwavelhoudend, wordt geobserveerd. Struiken en grassen dicht bij de uitstootbron kunnen vuur vatten.*
- b) *Enorme afwijkende golven komen tot stand in grote meren en rivieren, gepaard gaand met de overstroming van de oevers. In de riviervlakte (flood plain) kunnen de waterlopen zelfs van loop en van richting – tijdelijk of permanent – veranderen, ook omwille van wijdverbreide verzakkingen en massabewegingen. Grote bekkens kunnen ontstaan en vollopen of leeglopen en verdwijnen. Afhankelijk van de zeebodem- en kustmorfologie, kunnen gevaarlijke tsunamis de kust bereiken met oploophoogtes (run-up) van meerdere tientallen meter hoog die in vlakke kustgebieden tot kilometers landinwaarts zeer verwoestend zijn. Grote rotsen kunnen voor lange afstanden worden meegesleurd. Wijdverbreide, diepe erosie is waargenomen langsheen de kusten, met belangrijke veranderingen in het kustlijnprofiel. Bomen langsheen de kust worden ontworteld en weggespoeld. Alle boten zijn losgerukt van hun ligplaats aan de kade en zijn weggeslagen of over grote afstand landinwaarts meegesleurd. Alle mensen buiten worden meegesleurd.*
- c) *Open barsten komen veelvuldig voor, tot een meter breed of meer in het vast gesteente, tot meer dan 10 m breed in losse, alluviale sedimenten en/of verzadigde bodems. Zij hebben een lengte van meerdere kilometers.*
- d) *Grote aardverschuivingen en bergstortingen (groter dan $10^5 \text{ m}^3 - 10^6 \text{ m}^3$) zijn wijdverbreid onafhankelijk van de evenwichtstoestand van de hellingen. Ze kunnen valleien afdammen, en zo tijdelijk of zelfs permanent meren doen ontstaan. Rivieroever, kunstmatige dijken en uitgravingen (bv. weginsnijdingen, groeves) storten doorgaans in. Aanlegsteigers en aarden dammen kunnen belangrijke schade oplopen. Belangrijke aardverschuivingen kunnen zich voordoen op een afstand van 200 à 300 km van het epicentrum. Frequent voorkomen van aardverschuivingen onder water in kustgebieden.*
- e) *Bomen bewegen krachtig; vele takken en boomstammen breken af en vallen. Vele bomen kunnen ontworteld worden en omvallen.*

- f) Liquefactie komt voor over grote oppervlakte en verandert sterk het landschap van laaglanden, bepalend voor de verticale verzakkingen van meerdere meters; veelvuldig voorkomen van grote zandvulkanen; veelvuldig voorkomen van laterale spreiding.*
- g) In droge gebieden komen stofwolken geregeld voor.
- h) Ook grote rotsen kunnen de lucht worden ingeworpen en verplaatst worden voor grote afstanden, zelfs op zachte hellingen, wat resulteert in typische afdrukken in zachte bodems.

2.9. 환경진도단위-ESI 2007 (한국어) (Korean)

TRANSLATED BY: KIM, Y.-S. (1) & JIN, K. (1, 2)

(1) Pukyong National University, Busan, Republic of Korea

(2) Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), Daejeon, Republic of Korea

서론

진도는 지진사건에 의해 인간, 인공구조물 (건물과 사회기반시설)과 자연환경 (환경적 또는 지질학적 영향)에 끼치는 영향의 분류에 기초한다.

이 진도는 정적 변형뿐만 아니라 전 진동주파수 범위 내의 영향들을 고려하여 지진강도의 척도를 제시한다.

모든 진도단위들(Rossi-Forel, Mercalli, MCS, MSK, Mercalli Modified)은 진도분류의 산정을 위한 진단요소로서 자연환경에 미치는 영향을 고려한다.

대신 일부 현대적 단위들(e.g., Espinosa et al., 1976a; 1976b; Grunthal, 1998)은 환경의 영향은 너무 다양하고 우연적이라는 가정하에, 사람과 인공구조물에 미치는 영향만을 고려하고 환경적 영향의 진단 관련성을 크게 줄였다.

그럼에도 불구하고, 최근의 연구들(e.g., Dengler & McPherson, 1993; Serva, 1994; Dowrick, 1996; Esposito et al, 1997; Hancox et al., 2002; Michetti et al., 2004)은, 최근 역사 및 고지진학적 자료로부터 폭 넓게 찾을 수 있는 지질학적, 환경적 영향의 특성이 지진의 크기, 특히 진도를 산정하기 위한 필수적인 정보라는 명백한 증거들을 제시해왔다.

이러한 목적에서 ESI 2007 진도단위(Michetti et al., 2007)가 환경적 영향만을 고려하여 만들어졌다.

그것만 사용하든 다른 전통적인 단위들과 결합하든 그것의 사용은, 환경적 영향은 두 가지 측면에서 진도의 적절한 비교를 허락하기 때문에 더 나은 지진 시나리오를 제공한다.

- *시간적으로*: 자연환경에의 영향은 계기지진기록(지난 세기)의 기간보다 훨씬 더 긴 시간(현재, 역사, 고지진)에 대해 비교가 가능하다. 그리고
- *다른 지역에서*: 환경영향은 특이한 사회경제적인 조건 또는 다른 건축양식 등에 좌우되지 않는다.

그러므로 이 새로운 단위는 기존 지진단위들을 통합하는데 목적이 있다:

- 진도가 10 이상일 경우, 피해에 근거한 산정은 매우 어려운 반면, 환경영향은 여전히 진단적이다;
- 인구가 적은 지역에서는, 인공구조물에 대한 영향이 빈약해서 진도산정은 환경적 영향에 기초할 수 밖에 없고, 이것이 유일한 진단요소가 된다.

진도등급의 정의는, 전 세계적인 많은 지진에 의해 발생한 효과들에 기초하여, 지질학자, 지진학자 및 공학자들로 구성된 국제작업팀(International Working Group)에 의해 검토된 결과이다.

ESI 2007은 2007년 17회 INQUA 학회(Cairns, Australia)에서 INQUA (제4기 연구 국제연합)에 의해 비준되었다.

기재

ESI 2007 진도단위는 12 등급으로 구성된다.

각 등급명은 상응하는 지진력과 환경영향의 역할을 반영한다.

기재에서는, 각 등급과 관련된 일차영향들의 특성과 크기가 우선적으로 보고되었다.

그 다음에 이차영향들이, 초기 산출등급의 순서로 여러 범주로 분류되어, 진앙 진도의 평가를 위해 전체 분포면적에 의해 기술되었다.

*이탈릭체*는 주어진 등급에 대한 그 자체의 특징으로 간주되는 강조된 표현에 사용되었다.

일차영향들은 지진에너지 그리고 특히 지진원의 지표현상에 직접 연관된다.

일차영향들의 크기는 전형적으로 두 변수에 의하여 표현된다: i) 총 지표파열 길이(SRL: Total Surface Rupture), 그리고 ii) 최대 변위(MD: Maximum Displacement).

그들의 산출은, 화산지대에서의 극한 천발지진 경우를 제외하면, 일반적으로 최소 진도값(VIII)과 관련된다.

지체구조적 지표변형(용기, 침강)의 양도 또한 고려된다.

이차영향들은 지진동에 의해 유발된 모든 현상들이며 8개의 주요 범주로 구분된다.

a) **수문학적 이상(hydrological anomalies)**: 이 범주는 지표수와 지하수의 물리화학적 변화(e.g. 온도, 혼탁도)뿐만 아니라 샘과 강의 유량에서의 보고된 변화이다. 이 영향들은 진도 IV에서 X등급까지의 특징이다.

b) **이례적인 파도/쓰나미(Anomalous waves/tsunamis)**: 이 범주는 달힌 분지 내의 정진동, 연못과 분지로부터의 물의 넘침, 그리고 쓰나미파 등을 포함한다. 쓰나미의 경우, 인간과 인공구조물에 대한 영향을 무시하지 않지만, 그 자체의 크기 이외에 해변에 미치는 영향(특히 해수상승, 해변침식, 해안지형의 변화)이 심한 진도의 특성으로 고려된다. 이런 영향은 진도 IV에서 발생할 수 있지만 진도 IX부터 XII에서 더욱 특징적이다.

c) **지표 균열(Ground cracks)**: 지표균열은 길이(cm에서 수백 m까지), 폭(mm에서 m까지), 면밀도에 의해 기술된다. 지표균열은 진도 IV에서부터 나타나고, 진도 X에서 포화된다(i.e. 그들의 크기는 증가하지 않는다).

d) **사면 이동(Slope movements)**: 이 범주는 낙석, 사태 및 토류 등을 포함하는 산사태의 모든 유형들을 포괄한다. 암석학적 및 지형적 특성이 비슷할 때, 진단 변수는 체적과 총 면적이다. 그들은 진도 IV에서 나타나고 진도 X에서 포화된다(i.e. 그들의 크기는 증가하지 않는다).

e) **나무 진동(Tree shaking)**: 이 영향은 진도 IV에서 X까지의 특징이다. 진도등급의 정의는 기본적으로 Dengler and McPherson (1993)에 의한 분류를 따른다.

f) **액상화(Liquefactions)**: 이 범주는 모래분출, 물과 모래 분수, 측면 확산, 지반 압밀 및 침강 등이 포함된다. 그들의 크기는 진도 V부터 X에서 진단된다.

g) **먼지 구름(Dust clouds)**: 먼지 구름은 건조한 지역에서 관찰되며, 진도 VIII 이상부터 시작된다.

h) **튀는 돌(Jumping stones)**: 튀는 돌의 최대 크기는 진도 산정에 진단적이다. 이러한 영향은 진도 IX부터 XII에서 관찰된다. 그런 증거들은 진도 IX부터 지반가속도가 중력을 능가할 때 지역적으로 나타난다.

환경적 영향은 진도 IV에서부터 관찰되고 특성화된다.

일부 환경적 영향(수문학적 이상)은 더 낮은 등급에서도 관찰되지만, 진단적인 요소로 고려될 만큼 특징적이지 않다.

평가의 정확도는, 특히 일차영향이 발생하는(전형적으로 진도 VIII부터) 범위에서 진도 XII까지 해상도가 증가하면서, 높은 진도로 갈수록 증가한다.

진도 X부터는 사람과 인공구조물에 미치는 영향이 포화되므로(즉 건물이 종종 완전히 파괴된다) 다른 진도등급들 사이의 구분이 불가능하다.

이 범위에서는 환경적 영향이 우세하므로 진도평가를 위한 가장 강력한 도구가 된다.

ESI 2007 진도단위를 어떻게 사용하는가?

진도산정을 위한 유일한 방법으로 ESI 진도단위를 사용하는 것은 인간과 인공구조물들에 대한 영향이 너무 적거나 포화되었기 때문에 환경적인 영향만이 진단적일 때 권장된다.

이러한 후자의 방법이 또한 가능할 때는, 두 가지의 독립적인 진도산정 추정이 가능하다.

일반적으로 최종적인 진도는 두 가지 산정값 중 더 높은 값과 일치할 것이다.

이런 경우 분명히 전문가의 판단이 필수적일 것이다.

진앙진도(I_0)는 진앙에 해당하는 지진동 강도를 지시한다.

지표단층 변수와 이차영향들(산사태 그리고/또는 액상화)의 총 면적분포는, 진도 VII에서부터(표1) 시작하는 환경적 영향에 기초한, 진앙진도(I_0)를 산정하기 위한 두 개의 독립적인 도구이다.

지표단층 변수가 두 개의 서로 다른 진도등급 사이의 경계에 존재할 때는 특별한 주의를 기울여야 한다.

이런 경우 이차영향의 특징 그리고 면적분포와 더 잘 일치하는 진도 값이 선택되어야 한다.

이에 더하여, 총 면적의 평가에서는 멀리 떨어진 고립된 영향을 포함하지 않는 것이 권장된다.

이 평가 또한 전문가의 판단이 요구된다.

지역적 진도는 기본적으로 특정한 위치에 포함되는 다른 “지역들”에서 발생한 이차영향들의 기술을 통해 평가된다.

이런 종류의 진도는 피해에 근거한 해당되는 전통적인 지역적 진도와 비교되어야 한다.

“위치”는 사람들이 거주하는 지역(마을, 시가지)뿐만 아니라 사람들이 거주하지 않은 자연지역에 대해서도 언급될 수 있다는 것에 유념하라.

단지 일차영향들만이 나타날 때도, 이 또한 최대 변위로 지표단층작용의 지역적 현상을 사용하는 것이 가능합니다.

PRIMARY EFFECTS		SECONDARY EFFECTS	
I ₀	SURFACE RUPTURE LENGTH	MAX SURFACE DISPLACEMENT/ DEFORMATION	TOTAL AREA
IV	-	-	-
V	-	-	-
VI	-	-	-
VII	(*)	(*)	10 km ²
VIII	Several hundreds meters	Centimetric	100 km ²
IX	1 - 10 km	5 - 4 cm	1000 km ²
X	10 - 60 km	40 - 300 cm	5000 km ²
XI	60 - 150 km	300 - 700 cm	10000 km ²
XII	>150 km	>700 cm	>50000 km ²

(*) 수습에서 수백 미터 길이와 센티미터의 변위를 갖는, 매우 제한된 지표단층 파열이, 화산지역들에서 근본적으로 매우 천부의 지진과 관련하여 발생할 수 있다.

표1 - 각 진도등급에 대한 지표단층 변수의 범위(일차영향)와 전체 면적의 전형적인 분포(이차영향).

진도등급의 정의

I - III: 특징적으로 사용될 수 있는 환경영향은 없음.

IV 폭 넓게 관찰됨/환경에서 첫 번째 명백한 영향

일차영향들은 없음

이차영향들

- 드물게 관정 수위와 샘 유속의 작은 변화가 지역적으로 기록되며, 또한 특히 이러한 현상에 가장 민감한 것으로 보이는 큰 카르스트 샘 시스템 내에서 샘과 관정의 물과 혼탁도의 물리화학적 특성에서의 극도로 작은 변화가 기록된다.
- 달린 분지(호수나 바다)에서 몇 cm를 넘지 않는 높이의 정진동이 발생하고, 전형적으로 발생한 강진의 먼 곳에서 조력 측정기에서만 측정될 수 있고, 예외적으로 맨눈으로 확인이 가능하다. 이상한 파도가 큰 배에 있는 일부 사람들, 작은 배에 있는 모든 사람들과 해안가에 있는 대부분의 사람들에게 의해 감지된다. 수영장에 있는 물은 흔들리거나 때때로 넘치기도 한다.
- 암석학적으로(e.g., 느슨한 층적층, 포화된 토양) 그리고 지형학적으로(사면과 산마루) 이러한 현상이 일어나기 가장 쉬운 곳에서 머리카락 두께의 균열(mm 폭)이 가끔 보여진다.
- 특히, 느슨하거나 포화된 토양이 있는 가파른 사면이나 절취면 등에서 평형상태가 한계치에 도달한 사면을 따라서 암석붕락과 작은 규모의 산사태가 발생하거나 재발할 수 있다.
- 나뭇가지들이 약하게 흔들린다.

V 강함/자연환경에서의 최저 영향

일차영향들은 없음

이차영향들

- a) 물의 물리화학적 특성의 작은 변화와 호수, 샘 그리고 관정의 혼탁도 뿐만 아니라, 관정 수위 그리고/또는 샘의 유속에서의 미미한 변화들이 지역적으로 기록된다.
- b) 달힌 분지들(호수나 바다조차)에서는 전형적으로 먼 곳에서 발생한 강진에 의해 10 cm 높이의 정진동이 발생하고 때때로 눈으로도 확인된다. 수십 cm의 높이까지의 비정상적인 파도가 해안가와 배 위에 있는 모든 사람들에 의해 감지된다. 수영장에 있는 물이 넘친다.
- c) 암상(e.g., 느슨한 충적층, 포화된 토양) 그리고/또는 지형(사면과 산마루)이 이러한 현상에 가장 취약한 곳에서 얇은 두께의 균열들(mm 두께와 수십 cm에서 1 m까지의 길이)이 지역적으로 보여진다.
- d) 드물게 작은 규모의 낙석, 회전성 산사태, 토석류 등이, 주로 느슨한 퇴적물과 포화된 토양에서, 평형이 한계상황 근처에 있는 일반 사면이나 가파른 사면을 따라 발생할 수 있다. 수중사태가 촉발될 수 있으며, 이는 해안지역이나 호수에서 작은 규모의 비정상적인 파도를 발생시킬 수 있다.
- e) 나뭇가지와 관목들이 가볍게 흔들리거나, 아주 드물게 죽은 가지나 익은 과일들이 떨어지기도 한다.
- f) 극히 드문 경우로 액상화(모래)가 작은 규모로 이러한 현상에 취약한 지역(매우 민감한, 최근의 충적 그리고 해안 퇴적물, 지표근처의 수위)에서 보고된다.

VI 약한 피해/환경에의 보통의 영향

일차영향들은 없음

이차영향들

- a) 극히 드문 경우로 액상화(모래)가 작은 규모로 이러한 현상에 취약한 지역(매우 민감한, 최근의 충적 그리고 해안 퇴적물, 지표근처의 수위)에서 보고된다.
- b) 수십 cm까지의 비정상적인 높은 파도가 연안근처의 매우 제한된 지역들에 발생한다. 수영장, 작은 연못, 분지들에서는 물이 넘친다.
- c) *가끔 mm에서 cm 넓이와 수 m 길이의 단열이 느슨한 충적층 그리고/또는 포화된 토양에서 발생한다; 가파른 사면이나 강둑을 따라서는 1-2 cm의 넓이로 발달할 수 있다. 일부 작은 균열이 포장된 도로(아스팔트나 석조)에 발달한다.*
- d) 특히, 예를 들어 느슨하고 포화된 토양 또는 풍화가 심하거나 균열이 발달한 암석이 있는 가파른 사면이나 절취면과 같이 평형이 한계상황인 곳에서, 약 10^3 m^3 의 부피에 해당하는 낙석과 산사태가 발생한다. 수중 산사태가 발생할 수 있으며, 가끔은 해안가와 호수 주변에서 작은 비정상적인 파도가 발생하며, 보통은 계기기록들에서 보여진다.
- e) *나무와 관목들이 보통에서 강하게까지 흔들린다; 종류, 과실하중, 건강상태에 따라 다르지만 일부 나무의 꼭대기 부분이나 불안정한 죽은 나뭇가지가 갈라지거나 떨어진다.*

f) 드물게 액상화(모래분출)가 작은 규모로 이러한 현상에 취약한 지역에서(높은 취약성의 최근 총적층과 해안퇴적층, 지표근처의 수위) 보고된 경우도 있다.

VII 피해/환경에서의 뚜렷한 영향

일차영향들은 극히 드물게 관찰되고, 대부분 화산지역이다. 극천부 지진들에 수반되어 수십에서 수백 m 길이와 cm단위의 변위를 갖는 제한적인 지표단층 파열들이 발달한다.

이차영향들: 총 영향면적은 10 km² 정도이다.

a) 관정 수위와 샘 유속의 현저한 일시적인 변화가 지역적으로 기록된다. 가끔은 작은 샘이 일시적으로 사라지거나 생성된다. 물의 물리화학적 특성 그리고 호수, 샘 및 관정 탁도의 작은 변화가 지역적으로 관찰된다.

b) 일부 해안지역에서는 수 m 이상의 비정상적인 파도가 넘쳐 흐를 수 있고 다양한 크기의 물체들에 피해를 주거나 휩쓸어 간다. 작은 분지나 수로에서 물이 넘친다.

c) 느슨한 총적층 그리고/또는 포화된 토양에서 폭 5-10 cm와 수백 m 길이에 달하는 단열들이 관찰되며; 마른 모래, 모래-점토, 그리고 점토에서 드물게 1 cm 폭까지의 토양단열들이 발달한다. cm 두께의 균열들이 포장된 도로(아스팔트나 석조)에서 일반적으로 발달한다.

d) 분산된 산사태가, 평형이 불안정한 곳인(느슨하고 포화된 토양의 가파른 사면들) 취약한 곳에서 발생하며, 어느 정도의 낙석들이 가파른 협곡이나 절벽에서 발생한다. 때때로 산사태의 규모는 10³-10⁵ m³이며, 마른 모래, 모래-점토와 점토 토양지역에서는 보통 부피가 100 m³에 이른다. 지표파열, 사태, 낙석 등이 느슨한 총적층 또는 풍화되거나 균열이 발달한 암석이 분포하는 강둑, 제방과 절취사면(e.g. 도로사면, 채석장)에 영향을 줄 수 있다. 뚜렷한 수중 산사태가 발생하며, 부두나 배에 있는 사람들이 직접 느낄 수 있는 비정상적인 파도가 해안지역이나 호수에서 발생한다.

e) 나무와 관목들이 격렬하게 흔들리며; 특히 울창한 숲에서, 많은 가지와 나무 끝이 찢어지거나 떨어진다.

f) 이러한 현상에 가장 취약한 지역들에서(지표수면 근처의 매우 민감한, 최근의 총적층과 해안 퇴적층)에서 지름 50 cm에 달하는 모래분출을 갖는 액상화가 드물게 보고된다.

VIII 심한 피해/ 환경에서의 광역적인 영향

일차영향들은 드물게 관찰된다.

특히 화산지역에 일반적인 극천부 지진에서 수백 m의 길이와 수 cm를 넘지 않는 지표파열(지표단층)이 발생할 수 있다. 지표에서 최대 수 cm의 지체구조적 침하 또는 융기가 발생한다.

이차영향들: 총 영향면적은 100 km² 정도 이다

a) 일반적으로 일시적으로 샘은 유속과 수위가 변한다. 일부 작은 샘들은 마른다. 관정들에서 수위의 변화가 관찰된다. 가장 일반적으로 온도와 같은 물리화학적 특성의 약한 변화가 샘과 관정들에서 관찰된다. 폐쇄된 분지, 강, 관정, 샘 등에서 혼탁성이 나타난다. 지역적으로 가스 분출, 때때로 유황가스의 분출이 관찰된다.

b) 해안지역에서 1-2 m까지의 비정상적인 파도가 넘쳐 흐를 수 있고 다양한 크기의 물체들에 피해를 주거나 휩쓸어 간다. 일부 관목과 뿌리가 얇은 작은 나무들이 뿌리가 뽑히고 떨어져 나가는 곳에서 침식과 쓰레기들의 쏟아짐이 해안을 따라 관찰된다. 물이 격렬하게 작은 분지나 수로에서부터 넘쳐난다.

c) 느슨한 충적층 그리고/또는 포화된 토양에서 50 cm까지의 넓이와 수백 m까지의 길이를 갖는 단열들이 흔히 관찰되며; 드물게 신선한 암석에서 1 cm까지의 단열들이 발견될 수 있다. 포장된 도로(아스팔트 또는 석재)에서 작은 압력 굴곡뿐만 아니라 10 cm 규모의 균열들이 일반적이다.

d) 소규모에서 중규모(10^3 - 10^5 m³)의 산사태가 취약지역에 넓게 나타나며; 드물게 완만한 경사 사면에서도 발생할 수 있고; 평형이 불안정 상태인(느슨하고 포화된 토양의 가파른 사면, 가파른 협곡이나 해안절벽에서의 낙석) 곳에서 그 규모가 크다(10^5 - 10^6 m³). 때때로 일시적인 또는 심지어는 영구적인 호수들을 만들면서 산사태가 좁은 협곡들을 막는다. 파열, 사태와 낙석 등이 충적층 또는 풍화되거나 파쇄된 암석의 강둑, 제방 그리고 절취사면(e.g., 도로사면, 채석장)에 영향을 준다. 연안지역의 해수면 아래에서 산사태가 빈번하게 발생한다.

e) 나무들이 심하게 흔들리고; 가지들은 찢어지거나 떨어지고, 심지어는 가파른 경사에 있는 나무들은 뿌리째 뽑힌다.

f) 국지적인 조건에 따라 진앙지 부근에서는 액상화가 빈번할 수 있고; 직경이 약 1 m에 달하는 모래가 분출하고; 잔잔한 물에서 명백한 물의 분출이 나타나고; 물가(강둑, 호수, 운하, 해안)에 평행하게 열극을 수반하는 국지적인 측면 확산과 침강(약 30 cm에 달하는 침하) 등이 발달한다.

g) 건조한 지역에서는 진앙지의 땅으로부터 먼지 구름이 발생한다.

h) 돌, 작은 바위 덩어리와 통나무 등이 부드러운 토양에 자국을 남기며 공중으로 날아올 수 있다.

IX Destructive /Effects in the environment area a widespread source of considerable hazard and become important for intensity assessment

일차영향들은 흔히 관찰된다.

수 km 길이와 일반적으로 수 cm의 변위규모를 갖는 지반파열(지표단층)이 발생한다. 최대 수십 cm 규모를 갖는 지표의 지체구조적 침하 또는 용기가 발생할 것이다.

이차영향들: 총 영향면적은 1000 km² 규모이다

a) 일반적으로 일시적으로 샘의 유속 그리고/또는 위치가 상당히 변한다. 일부 중규모의 샘이 마를 수도 있다. 관정에서 일시적인 수위의 변화가 일반적으로 관찰된다. 샘과 관정들에서 가장 일반적으로 수온의 변화와 같은 물리화학적 특성의 변화가 관찰된다. 폐쇄된 분지, 강, 관정 그리고 샘에서 탁류가 흔하다. 가스 분출, 때때로 유황가스의 분출이 관찰되며, 가스 분출지 근처의 관목과 잔디가 그을릴 수 있다.

b) 수 m 높이의 파가 고인 물과 흐르는 물에서 발생한다. 또한, 범람원의 하천은 흐름 방향이 지반침하 때문에 변할 수 있다. 작은 분지가 생기거나 없어질 수 있다. 해저면과 해안선의 모양에 따라 위협한 쓰나미가 해안가에 수 m 높이까지 넓은 지역에 도달할 수 있다. 넓은 지역의 침식과 쓰레기 더미들이, 관목과 나무들의 뿌리가 뽑히고 떨어져 나가는 곳에서, 해안을 따라 관찰된다.

c) 느슨한 충적층과 포화된 토양에서 100 cm의 폭과 수백 m 길이까지의 단열들이 흔히 관찰되며; 단단한 암석에서는 이들이 10 cm에 이를 수 있다. 포장된 도로(아스팔트나 석조)에서는 압력 굴곡뿐만 아니라 뚜렷한 균열들이 흔하다.

d) 산사태가 취약지역에서 넓게 나타나고, 또한 완만한 사면에서도 나타나며; 평형이 불안정한 곳(느슨하고 포화된 토양의 가파른 사면; 가파른 협곡과 해안 절벽에서의 낙석)에서 종종 그들의 크기가 크고($10^5 m^3$) 때때로 대규모로($10^6 m^3$) 발생한다. 산사태는 일시적이거나 영구적 호수를 발달시키는 좁은 협곡을 막을 수 있다. 강둑, 제방과 인공절취면(e.g. 도로사면과 채석장) 등이 종종 붕괴된다. 해안지역의 해수면 아래에서 대규모 산사태가 종종 발생한다.

e) 나무들이 심하게 흔들리고; 나뭇가지나 가는 나무줄기들은 흔하게 찢어지거나 떨어진다. 특히 가파른 사면들을 따라 일부 나무들이 뽑히거나 떨어진다.

f) 액상화와 물의 급증이 빈번하게 발생; 직경 3 m 에 이르는 모래분출이 발생; 잔잔한 물에서 명백한 물의 분출; 빈번하게 해안가 지역(강둑, 호수, 운하, 해변)에 평행하게 열극을 수반하는 측면 확산과 침전(약 30 cm 이상의 침하)이 발생한다.

g) 건조한 지역에서는 땅으로부터 먼지 구름이 흔하게 발생한다.

h) 작은 바위 덩어리와 통나무들이, 사면의 경사와 거칠기에 따라, 부드러운 토양에 흔적을 남기면서 수 m 씩 공중으로 날아갈 것이다.

X 매우 파괴적임/환경에서의 효과가 재해의 주요한 기원이 되고 진도 산정에 대단히 중요하다.

일차영향들이 두드러지게 나타난다.

지표단층 작용이 수십 cm 에서 수 m 에 이르는 변위를 갖고 수십 km 길이로 확대될 수 있다. 중력 지구들과 신장된 압력 함몰대가 발달하며; 화산암 지역에서는 극천부 지진에 의한 파열 길이가 더 낮아진다. 지표면에서는 최대 수 m 크기를 갖는 지체구조적인 침하 또는 융기가 발생할 것이다.

이차영향들: 총 영향면적은 5,000 km^2 규모이다.

a) 많은 샘들이 그들의 유속 그리고/또는 수위를 현저히 바꾼다. 어떤 샘들은 일시적으로 또는 영구적으로 마르기도 한다. 수위의 일시적인 변화가 관정들에서 흔하게 관찰된다. 샘과 관정들에서 더욱 강한 물의 물리화학적 변화가, 가장 일반적으로 온도변화가 관찰된다. 때때로 큰 분지, 강, 관정 그리고 샘의 물 조차도 진한 흑탕물이 된다. 때때로 유황가스 등의 가스분출이 관찰되며, 가스 분출지 근처의 관목과 잔디가 그을린다.

b) 기저로부터 넘친 수 m 높이의 파가 상당히 큰 호수나 강에서 조차도 발생한다. 넓은 지반침하 때문에 범람원 강에서는 하천의 유로가 일시적으로 또는 영구적으로 변한다. 분지들이 생기거나 없어질 수 있다. 해저면과 해안선의 모양에 따라 $5 m$ 가 넘는 쓰나미가 해안에 도달하여 수천 m 의 평탄한 지역에 범람할 수 있다. 작은 바위들이 수 m 씩 끌려갈 수 있다. 해안선의 모양을 주목할 만큼 바꿀 수 있는 넓고 깊은 침식이 해안을 따라 관찰된다. 해안 주변의 관목들이 뽑히거나 떨어져 나간다.

c) $1 m$ 이상의 폭과 수백 m 에 달하는 길이의 개방된 지반 균열이 주로 느슨한 층적층과 포화된 토양에서 주로 자주 발생하며; 단단한 암석에서는 수십 cm 에 달하는 개방이 발생한다. 포장된 도로(아스팔트나 석조)에서는 압력 굴곡뿐만 아니라 넓은 균열들도 발달한다.

d) 사면의 평행상태에 관계없이, 일시적이거나 영구적인 장벽 호수들을 만들면서, 대규모 산사태와 낙석($> 10^5 - 10^6 m^3$)이 자주 발생한다. 강둑, 제방과 인공절취면들이 전형적으로 붕괴된다. 제방과 흙댐 조차도 심한 피해를 초래한다. 해안지역의 해수면 아래에서 자주 대규모 사태가 발생한다.

e) 나무들이 심하게 흔들리고; 많은 나뭇가지와 나무 줄기들이 찢어지고 떨어진다. 일부 나무들은 뽑히거나 떨어진다.

f) 액상화, 물의 급증과 토양압밀이 넓은 지역에 걸쳐 변하며; 직경 $6 m$ 이상의 모래화산이 형성된다; $1 m$ 이상의 수직 침하; 측면 확산에 의해 크고 긴 열극들이 일반적이다.

g) 건조한 지역에서는 땅으로부터 먼지 구름이 상승하기도 한다.

h) 바위 덩어리(직경이 $2-3 m$ 가 넘는)가, 토양에 흔적을 남기면서, 완만한 사면에서 조차도 그들의 원래 위치로부터 수백 m 까지 공기 중으로 날아가고 이동된다.

XI 대단히 파괴적입/구조물 피해의 포화로 환경에의 영향이 진도 산정에 결정적이다.

일차영향들이 우세하다.

수 m 까지의 변위를 갖고 수십 km 에서 수백 km 길이에 달하는 지표단층이 발달한다. 중력 지구들과 긴 함몰과 압력 능선들이 발달한다. 배수로가 심하게 변위될 수 있다. 지표에서의 지체구조적인 침하와 용기가 수 m 규모로 발달할 것이다.

이차영향들: 총 영향면적은 $10,000 km^2$ 규모이다.

a) 많은 샘들의 유속과 수위가 현저히 변한다. 많은 샘들이 일시적으로 또는 영구적으로 마르기도 한다. 수위의 일시적이거나 영구적인 변화가 관정들에서 일반적으로 관찰된다. 샘 그리고/또는 관정들에서 훨씬 강한 물리화학적 변화, 주로 온도변화가 관찰된다. 종종 큰 분지, 강, 관정과 샘들에서 조차도 물이 매우 혼탁해진다. 때때로 유황가스 등의 가스분출이 관찰되며, 가스 분출지 근처의 관목과 잔디가 그을릴 것이다.

b) 기저로부터 넘친 큰 파가 큰 호수나 강에서 발생한다. 땅의 침하와 산사태 때문에 범람원의 강에서는 하천의 흐름 방향이 일시적으로 또는 영구적으로까지 변한다. 분지들이 생기거나 없어질 수 있다. 해저면과 해안선의 모양에 따라, 15 m에 달하는 쓰나미가 해안에 도달하여 수 km의 평탄한 내륙지역을 파괴할 수 있다. 수 m 크기의 바위 덩어리들이 먼 거리를 끌려갈 수 있다. 해안 지형이 주목할 만큼 바꿀 수 있는 넓고 깊은 침식이 해안을 따라 관찰된다. 해안 주변의 관목들이 뽑히거나 떨어져 나간다.

c) 수 m 폭에 달하는 개방 지반 균열들이 주로 느슨한 층적층 그리고/또는 포화된 토양들에서 매우 자주 발달한다. 단단한 암석들에서는 1 m 에 이를 수 있다. 포장된 도로(아스팔트나 석조)에서는 큰 압력 굴곡뿐만 아니라 매우 넓은 균열들이 발달한다.

d) 사면의 평형상태에 관계없이 많은 일시적이거나 영구적인 장벽호수들 만들면서 대규모 산사태와 낙석($> 10^5 - 10^6 m^3$)이 자주 발생한다. 강둑, 제방과 인공절취면이 전형적으로 붕괴된다. 제방과 댐의 심한 피해가 초래된다. 심각한 산사태가 진앙지로부터 200 - 300 km 떨어진 지점에서 발생할 수 있다. 해안지역의 해수면 아래에서 자주 대규모 산사태가 발생한다.

e) 나무들이 심하게 흔들리고; 나뭇가지와 나무기둥들이 찢어지고 떨어진다. 많은 나무들이 뽑히거나 떨어진다.

f) 액상화가 아마 수 m가 넘는 수직 침하, 많은 큰 모래화산, 그리고 심각한 측방 확산 현상을 결정하면서 저지대 넓은 지역의 양상을 바꾼다.

g) 건조한 지역에서는 땅으로부터 먼지 구름이 상승한다.

h) 큰 바위(직경이 수 m)가, 토양에 흔적을 남기면서, 완만한 사면에서 조차도 공기 중으로 날아오르고 원래 위치에서 먼 거리를 이동한다.

XII 완전히 파괴적임/환경의 영향은 진도 산정을 위한 유일한 수단이다.

일차영향들이 우세하다.

지표단층이 수십 m 변위를 갖고 최소 수백 km 길이로 발달한다. 중력 지구들과 긴 함몰대 그리고 압력 능선들이 발달한다. 배수로가 심하게 변위될 수 있다. 일차적인 영향에 의한 지세와 지형의 변화는 놀랄만한 영역과 크기로 발달할 수 있다(전형적인 예는 수 m의 해안선 융기와 침강, 뚜렷한 지세들이 나타나거나 사라짐, 강수로의 변화, 폭포의 발달, 호수의 형성과 사라짐).

이차영향들: 총 영향면적은 50,000 km² 규모 이상이다.

- a) 많은 샘들의 유속과 수위가 현저히 변한다. 관정들에서 일시적이거나 영구적인 수위의 변화가 일반적으로 관찰된다. 많은 샘과 관정들이 일시적으로 또는 영구적으로 마른다. 샘과 관정들에서의 물리화학적 변화, 주로 온도변화가, 강하게 변화하는 것이 관찰된다. 큰 분지, 강, 관정과 샘 등의 물이 매우 혼탁해진다. 종종 유황가스 등의 가스분출이 관찰되며, 가스 분출지 근처의 관목과 잔디가 그을릴 것이다.
- b) 기저로부터 넘친 거대 파가 호수나 강에서 발생한다. 광범위한 지면의 침하와 산사태 때문에 범람원 강에서는 하천의 유로뿐만 아니라 유동방향이 일시적으로 또는 영구적으로 바뀐다. 큰 분지들이 생기거나 없어질 수 있다. 해저면과 해안선의 모양에 따라 수십 m 높이의 쓰나미가 해안에 도달하여 수 km의 평탄한 지역을 파괴할 수 있다. 큰 바위들이 먼 거리를 끌려갈 수 있다. 해안 지형을 뚜렷이 바꿀 수 있는 광범위하고 깊은 침식이 해안을 따라 관찰된다. 많은 관목들이 뽑히거나 떨어져 나간다. 모든 보트들이 계류장으로부터 뜰어져 나와 쓸려가거나 육지로 먼 거리까지 이동된다. 밖에 있는 모든 사람들이 쓸려간다.
- c) 1 m 또는 그 이상의 지반 개방 균열이 기반암에서 발생하고, 느슨한 충적층 그리고/또는 포화된 토양에서는 10 m 이상의 폭에 이른다. 이들은 수 km의 길이까지 연장된다.
- d) 사면의 평형상태와 상관없이, 일시적이거나 영구적인 장벽 호수들을 만들면서, 대규모 산사태와 낙석($> 10^5 - 10^6 \text{ m}^3$)이 자주 발생한다. 강둑, 제방과 인공절취면이 전형적으로 붕괴된다. 제방과 댐의 심한 피해가 초래된다. 심각한 산사태가 진앙지로부터 200 - 300 km 이상 떨어진 지점에서도 발생할 수 있다. 해안지역의 해수면 아래에서 매우 큰 규모의 산사태가 자주 발생한다.
- e) 나무들이 심하게 흔들리고; 많은 나뭇가지와 나무기둥들이 찢어지고 떨어진다. 많은 나무들이 뽑히거나 떨어진다.
- f) 액상화가 넓은 지역에 걸쳐 발생하고 수 m가 넘는 수직 침하, 광범위한 큰 모래화산, 그리고 광범위한 심각한 측방 확산 현상을 결정하면서 넓은 평탄한 지역들의 지형을 바꾼다.
- g) 건조한 지역에서는 땅으로부터 먼지 구름이 상승한다.
- h) 또한 매우 큰 바위가, 토양에 전형적인 흔적을 남기면서, 매우 완만한 사면에서조차도 공중으로 날아 오르고 먼 거리를 이동할 수 있다.

3. The EEE Catalogue: a global catalogue of earthquake environmental effects

GUERRIERI L. (1), BAIOTTO F. (1), BLUMETTI A.M. (1), BRUSTIA E. (1), COMERCI V. (1), ESPOSITO E. (2), LUCARINI M. (1), MICHETTI A.M. (3), PORFIDO S. (2), SCARAMELLA A. (1), SERVA L. (1), VITTORI E. (1),

- (1) Geological Survey of Italy, ISPRA, Roma, Italy.
- (2) Istituto per l'ambiente marino costiero, CNR, Napoli, Italy.
- (3) Dipartimento di Scienze Chimiche e Ambientali, Università dell'Insubria, Como, Italy.

Introduction

Nowadays, a significant amount of data about Earthquake Environmental Effects is available for a very large number of recent, historical and paleo-earthquakes. However available information is located in several different sources (scientific papers, historical documents, professional reports), and often difficult to access.

The EEE Catalogue has been promoted with the aim to properly retrieve the available information about EEE at global level and archive it into a unique database, in order to facilitate their use for seismic hazard purposes. Its implementation has been endorsed at global level by the INQUA TERPRO Project #0811, through a Working Group coordinated by ISPRA - Geological Survey of Italy.

The EEE catalogue collects the characteristics, size and spatial distribution of coseismic effects on nature in a standard way from modern, historical and paleoearthquakes. For each event, we have assessed epicentral and local intensities based on EEE data through the ESI 2007 scale (Michetti et al., 2007), that integrates and completes the traditional macroseismic intensity scales, allowing to assess the intensity parameter also where buildings are absent or damage-based diagnostics saturates. This procedure has allowed an objective comparison in terms of earthquake intensity, for events occurred in different areas and/or in different periods.

The information is collected at three levels of increasing detail (Earthquake, Locality, Site). Also available imagery documentation (photographs, video, sketch maps, stratigraphic logs) can be uploaded into the database.

The quality of the database in terms of completeness, reliability, and resolution of locations is strongly influenced by the age of the earthquake so that it is expected to be very variable. Nevertheless, even where the information is less accurate (historical earthquakes), the documented effects are typically the most relevant i.e. most diagnostic for intensity assessment. Similarly, the information from paleoseismic investigations, although poorly representative of the entire scenario, still includes significant data (i.e. local coseismic fault displacements) very helpful of a minimum size of the earthquake.

A first official release of the EEE Catalogue has been done in the frame of the XVIII INQUA Congress, held in Bern in July 2011. However, the implementation of the EEE catalogue is always in progress at <http://www.eeecatalog.sinanet.apat.it/login>.

Data can be explored on a public interface (Fig. 1) based on Google Earth at <http://www.eeecatalog.sinanet.apat.it/terremoti/index.php> Earthquake records validated by the Scientific Committee of the Project can be also downloaded from the site.

The added value

The major added value of the EEE Catalogue in terms of seismic risk is the possibility to explore the scenarios of environmental effects induced by past earthquakes and therefore identify the areas where the anthropic settlements and infrastructures are more exposed to this

source of potential hazard. To this end, a good accuracy of EEEs location becomes crucial. Typically, EEEs from recent earthquakes are mapped with good accuracy immediately after the event. Nevertheless, even for some historical earthquakes it is possible to retrieve with very good detail this information. It is the case of the December 28, 1908 Messina Straits earthquake and consequent tsunami (Fig. 2), where the EEE Catalogue allows to locate the earthquake/tsunami effects over the present urban texture with a spatial resolution of a few meters, pointing out the areas characterized by the highest risk.

Furthermore, the EEE Catalogue allow to reveal possible trends in the spatial distribution of primary and secondary effects. For example, Fig. 4 shows the spatial distribution of EEEs induced by the October 8 2005, Muzaffarabad, Pakistan, earthquake (Ali et al., 2009): it is quite evident that the location and amount of surface faulting is consistent with the spatial distribution of coseismic slope movements, in terms of both areal density and size.

A similar result is shown by the spatial distribution of EEEs induced by the 1811-1812 New Madrid, Missouri, earthquakes, mapped in Fig. 5. Indeed, the most relevant primary and secondary effects are located along the Mississippi valley near New Madrid, consistently with the surface projection of the causative faults, and unquestionably provide diagnostic elements for assessing an epicentral intensity equal to XI.

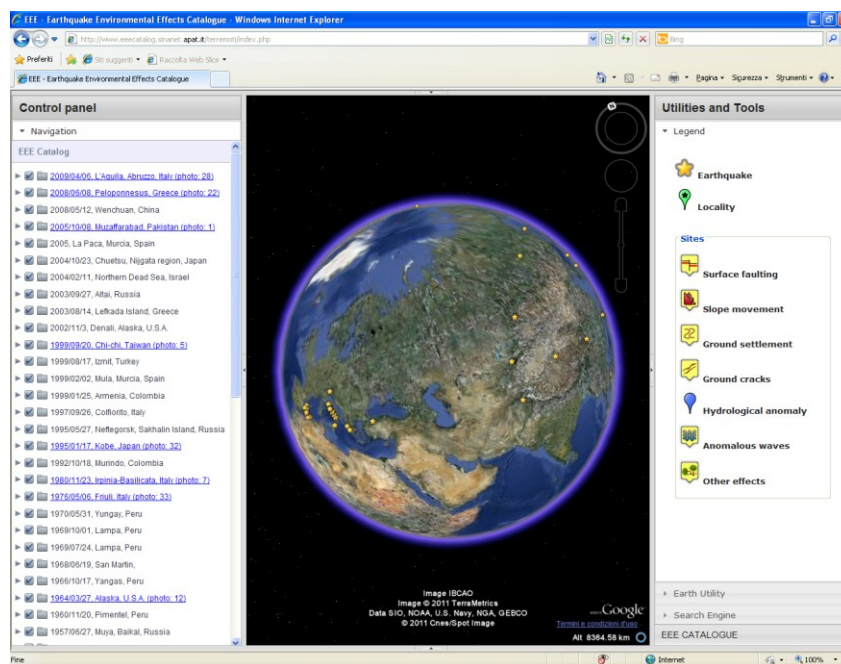


Fig. 1: The public interface of the EEE Catalogue, developed on Google Earth <http://www.eeecatalog.sinanet.apat.it/terremoti/index.php>.



Fig. 2: EEEs induced by the December 28, 1908 Messina Straits, Italy, earthquake in the area of the Messina harbour. If information from contemporary sources is very precise, it is possible to use the EEE Catalogue also for local seismic microzonation.

Final remarks

The recent catastrophic earthquakes occurred in Japan and New Zealand have clearly pointed out that traditional seismic hazard assessment based only on vibratory ground motion data need to be integrated with information about the local vulnerability of the territory to earthquake occurrence.

The collection of Earthquake Environmental Effects provided by the EEE Catalogue aims at identifying the areas most vulnerable to earthquake occurrence. This information must complement traditional SHA based on PGA maps.

Moreover, based on EEE characteristics, size and spatial distribution it is possible i) to assess the earthquake intensity through the ESI scale, and ii) to objectively compare the earthquake intensity of events occurred in different areas and/or in different periods.

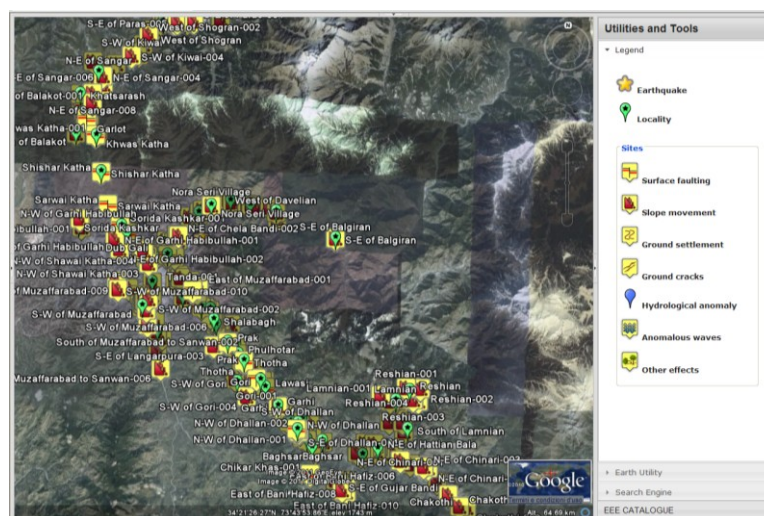


Fig. 3: Surface faulting and slope movements induced by the October 8, 2005 Muzaffarabad earthquake.

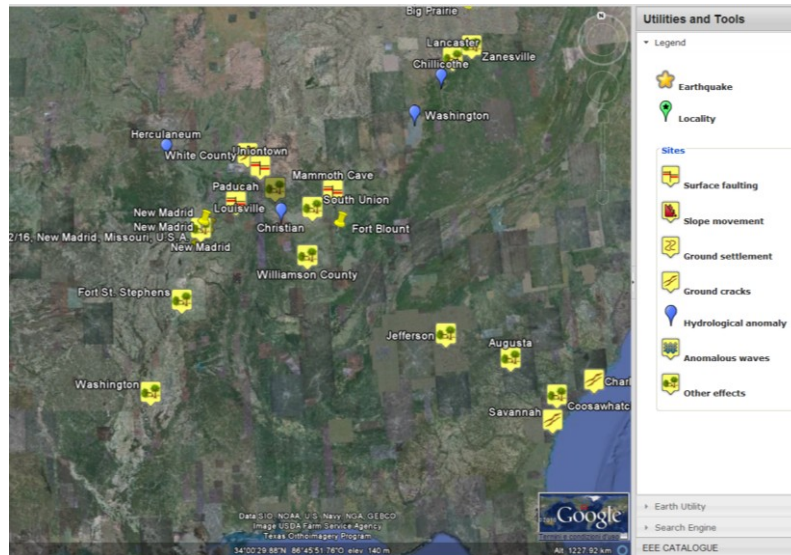


Fig. 4: EEE induced by the December 16 1811 New Madrid, Missouri, earthquake. Primary and secondary effects indicative of intensity XI in the ESI 2007 scale are located in the epicentral area along the Mississippi Valley.

4. EEE data collection and ESI intensity assessment: list of references

ESPOSITO E. (1), PORFIDO S. (1), GUERRIERI L. (2), MICHETTI (3) & THE INQUA #0418 WORKING GROUP

(1) Istituto per l'ambiente marino costiero, CNR, Napoli, Italy.

(2) Geological Survey of Italy, ISPRA, Roma, Italy.

(3) Dipartimento di Scienze Chimiche e Ambientali, Università dell'Insubria, Como, Italy.

In the last decade numerous scientific papers and reports have been focused on Earthquake Environmental Effects data collection from recent, historical and paleo earthquakes, and seismic intensity evaluations based on EEE data through the ESI 2007 scale. These works have been mostly but not exclusively conducted in the frame of the INQUA TERPRO SubCommission on Paleoseismicity activities and projects.

Below is reported a list of references of papers published on peer reviewed journals or in the proceedings of scientific conferences, and reports focused on the field collection of EEEs induced by recent earthquakes. A not exhaustive record of abstract submitted in the period 2008 - 2011 to scientific conferences, including sessions sponsored by INQUA TERPRO SubCommission on Paleoseismicity, will complete the list of references.

Scientific papers published on peer reviewed journals or in the proceedings of conferences

- Ali Z., M. Qaisar, T. Mahmood, M. A. Shah, T. Iqbal, L. Serva, A. M. Michetti, and P. W. Burton (2009). The Muzaffarabad, Pakistan, earthquake of 8 October 2005: Surface faulting, environmental effects and macroseismic intensity, *Spec. Publ. Geol. Soc. Lond.* 316, 155–172.
- Altez R., F. Audemard (2008). El sismo de 1629 en cumaná: aportes para una nueva historia sísmica del oriente venezolano. *Boletín técnico immevolumen* 46 n° 2.
- Amit R., Agnon A., Matmon A., Eds. (2009). The Dead Sea Rift as a Natural Laboratory for Earthquake Behaviour: Prehistorical, Historical and Recent Seismicity. *Field Trip Guidebook, Dead Sea Workshop 16th–23rd February 2009*, Geological Survey of Israel, 212 pp.
- Berzhinskii Yu. A., A. P. Ordynskaya, A. S. Gladkov, O. V. Lunina, L. P. Berzhinskaya, N. A. Radziminovich, Ya. B. Radziminovich, V. S. Imayev, A. V. Chipizubov, and O. P. Smekalin (2010). Application of the ESI_2007 Scale for Estimating the Intensity of the Kultuk Earthquake, August 27, 2008 (South Baikal) ISSN 0747_9239, *Seismic Instruments*, 2010, Vol. 46, No. 4, pp. 307–324. © Allerton Press, Inc., 2010.
- Caciagli, M. (2008). Le tracce del terremoto del 1908 nell'ambiente naturale. In "il Terremoto e il Maremoto del 28 dicembre 1908, analisi sismologica, impatto". (2008). Editors: Bertolaso, G.; Boschi, E.; Guidoboni, E.; Valensise, G.
- Chunga K., Michetti A.M. (2009). "Estructuras sismogénicas y sus efectos cosísmicos en el terreno: Aplicación de la Escala de Intensidad Macrosísmica ESI-2007", *Encuentro Internacional sobre gestión del Riesgo Natural con énfasis en el Sector Eléctrico. Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador*.
- Dong S., Zhang Y., Wu Z., Yang N., Ma Y., Shi W., Chen Z., Long C. and An M. (2008) – Surface rupture and co-seismic displacement produced by the Ms 8.0 Wenchuan Earthquake of May 12th 2008, Sichuan, China: Eastwards Growth of the Qinghai-Tibet Plateau. *Acta Geologica Sinica (English Edition), Journal of the Geological Society of China*, vol. 82, n. 5 (2008), 938-948.
- Esposito E., Pece R., Porfido S., Tranfaglia G. (2009) - Ground effects and hydrological changes in the Southern Apennines (Italy) in response to the 23 July 1930 earthquake (MS=6.7). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 539-550.

- Esposito E. & Porfido S. (2010). Gli effetti cosismici sull'ambiente fisico per la valutazione della vulnerabilità del territorio. In: Gizzi F.T. & Masini N. (a cura di), *Dalle Fonti all'Evento. Percorsi strumenti e metodi per l'analisi del terremoto del 23 luglio 1930 nell'area del Vulture*, 129-142. Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane. ISBN 978-88-495-2050-7.
- Falconí R. A. (2010) Peligrosidad sísmica del Ecuador y descripción de los puentes construidos sobre el estuario del Río Esmeraldas, con aisladores de base FPS. *Revista internacional de* Vol. 15, 1, 85-119 (2010) *Ingeniería de Estructuras* ©2010 ESPE, Quito, Ecuador ISSN:1390-0315
- Fokaefs, A. and Papadopoulos, G., (2007) Testing the New INQUA Intensity Scale in Greek Earthquakes, *Quaternary International*, 2007, vol. 173/174, pp. 15–22.
- Giner-Robles, J.L., M.A. Rodríguez Pascua, R. Pérez-López, P.G. Silva, T. Bardají, Ch. Grützner, K. Reicherter. 2009. Structural Analysis of Earthquake Archaeological effects (EAE): Baelo Claudia examples (Cádiz, South Spain). *Field Training Notebook 1st International Workshop on Earthquake Archaeology and Palaeoseismology*. Colección IGME, 2. IGME, Madrid, 96 pp. ISBN: M-27206-2009
- Guerrieri L., Tatevossian R., Vittori E., Comerci V., Esposito E., Michetti A.M., Porfido S. and Serva L. (2007). Earthquake environmental effects (EEE) and intensity assessment: the INQUA scale project. *Boll. Soc. Geol. It. (Ital. J. Geosci.)*, Vol. 126, No. 2, Roma.
- Guerrieri L., Vittori E., Comerci V., Esposito E., Porfido S., Michetti A.M., Serva L. & Silva P.G. (2009) - Mapping and Cataloguing Earthquake Environmental Effects: a Tool for Seismic Hazard Assessment. *Proceedings of the 33rd ISRSE Symposium, Theme 4 - Disaster Reduction and Response Management, PS-A3-8 (ref. 376)*, Stresa 4-7 May 2009.
- Guerrieri L., Blumetti A.M., Esposito E., Michetti A.M., Porfido S., Serva L., Tondi E., Vittori E. (2008) - Capable faulting, environmental effects and seismic landscape in the area affected by the 1997 Umbria-Marche (Central Italy) seismic sequence *Tectonophysics*, vol. 463 doi: 10.1016/j.tecto.2008.10.034
- Guerrieri L., Blumetti A.M., Di Manna P., Serva L. & Vittori E. (2008) - The exposure of urban areas to surface faulting hazard in Italy: a quantitative analysis. *Proceedings of Conference "Rischio sismico nella Lombardia orientale"*, *Boll. Soc. Geol. It. (Ital. J. Geosci.)*, Brescia, 4-5 Dicembre 2006.
- Guerrieri, L., G. Baer, Y. Hamiel, R. Amit, A.M. Blumetti, V. Comerci, P. di Manna, A. M. Michetti, A. Salamon, A. Mushkin, G. Sileo, and E. Vittori (2010), InSAR data as a field guide for mapping minor earthquake surface ruptures: ground displacements along the Paganica Fault during the April 6th, 2009, L'Aquila earthquake. *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2010JB007579.
- Guzzetti F., Esposito E., Balducci V., Porfido S., Cardinali M., Violante C., Fiorucci F., Sacchi M., Ardizzone F., Mondini A., Reichenbach P., Rossi M. (2009) - Central Italy seismic sequence induced landsliding: 1997-1998 Umbria-Marche and 2008-2009 L'Aquila Cases. *Proc. of The Next Generation of Research on Earthquake-induced Landslides: An International Conference in Commemoration of 10th Anniversary of the Chi-Chi Earthquake*, 52-61
- Hinzen, K.G., Weiner, J. (2009). Testing a seismic scenario for the damage of the Neolithic wooden well of Erkelenz-Kückhoven, Germany. *Geological Society, London, Special Publications* 2009, 316:189-205; doi:10.1144/SP316.12
- Lalinde C. P. and Sanchez J.A. (2007). Earthquake and environmental effects in Colombia in the last 35 years. *INQUA Scale Project. Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 97, (2), pp. 646–654.
- Lario, J., Silva, P.G., Reicherter, K., Grützner, C., Rodríguez-Pascua, M.A. 2009. Palaeoseismicity and Active Tectonics during the Quaternary in the Gibraltar Strait (Betic Cordillera, South of Spain). *Field Trip Guide Book 1st International Workshop on Earthquake Archaeology and Palaeoseismology*. Colección IGME, 1. IGME, Madrid, 65 pp. ISBN: M-27206-2009.
- Lekkas E.L. (2010). The 12 May 2008 Mw 7.9 Wenchuan, China, Earthquake: Macroscopic Intensity Assessment Using the EMS-98 and ESI 2007 Scales and Their Correlation with the Geological Structure. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 100, No. 5B, pp. 2791–2804, November 2010, doi: 10.1785/0120090244.
- Lekkas, E. (2008). Wenchuan earthquake (Mw 7.9, 12 May 2008) Sichuan, China. *Geotectonic regime and damage macro-distribution*. Paper no. S31-015, 14th World Conf. on Earthquake Engineering, Beijing, China, 12–17 October 2008.
- Lekkas E.L., I. D. Papanikolaou, D.I. Papanikolaou and Danamos G. (2008) Correlating the damage pattern and the geological structure. Local site effects from the 2006 MW=6.7 KYTHIRA island intermediate depth event, SW Greece. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering* October 12-17, 2008, Beijing, China

- Leroy S.A.G., Marco S., Bookman R. and Miller Ch. S., 2010. Impact of earthquakes on agriculture during the Roman-Byzantine period in the Dead Sea laminated sediment. *Quat Res* 73, 191-200. IF 2.7.
- Leroy S.A.G., Boyraz S. and Gürbüz A., 2009. High-resolution palynological analysis in Lake Sapanca as a tool to detect earthquakes on the North Anatolian Fault. *Quat Sc Rev* 28: 2616-2632.
- Lin, A., Guo, J.: Pre-historic seismicity-induced liquefaction along the western segment of the strike-slip Kunlun fault, northern Tibet. Geological Society, London, Special Publications 2009, 316:145-154; doi:10.1144/SP316.8
- Livio F., A. Berlusconi, A.M. Michetti, G. Sileo, A. Zerboni, M. Cremaschi, L. Trombino, C. Carcano, S. Rogledi, E. Vittori & K. Mueller (2008). *Fagliazione superficiale olocenica e paleoliquefazione nel sito di Monte Netto, Brescia: implicazioni sismotettoniche*. *Rend. online SGI*, 1 (2008), Note Brevi, www.socgeol.it, 101-103, 3 figg.
- Michetti, A.M. and Vittori, E. and Berlusconi, A. and Blumetti, A.M. and Commerci, V. and Di Manna, P. and Esposito, E. and Guerrieri, L. and Porfido, Sabina and Livio, F. and Sileo, G. (2009)- *Earthquake ground effects during moderate events: the l'aquila 2009 event case history*. *Archeoseismology and palaeoseismology min the Alpine-himalayan collision zone*, 1 ed. (1st I). pp. 87-90. ISSN ISBN 978-84-7484-217-3.
- Mörner, N.: *Late Holocene Earthquake Geology in Sweden* Geological Society, London, Special Publications 2009, 316:179-188; doi:10.1144/SP316.11
- Mosquera-Machado, S., Lalinde-Pulido, C., Salcedo-Hurtado, E., Michetti, A.M.: *Ground effects of the October 18, 1992, Murindo Earthquake (NW Colombia), using the Environmental Seismic Intensity Scale (ESI 2007) for the assessment of the intensity*. Geological Society, London, Special Publications 2009, 316:123-144; doi:10.1144/SP316.7
- Mouslopoulou, V., Nicol, A., Little, T.A., Begg, J., (2009). *Paleoearthquake surface rupture in a transition zone from strike-slip to oblique-normal slip and its implication to seismic hazard, North Island Fault System, New Zealand*. In: Reicherter, K., Michetti, A.M. & Silva Barroso, P.G. (eds) *Palaeoseismology: Historical and Prehistorical Records of Earthquake Ground Effects for Seismic Hazard Assessment*. Geological Society, London, Special Publication, 316, 269-292.
- Ota Y., Azuma T., and Y.N. Lin (2009), *Application of INQUA Environmental Seismic Intensity Scale to recent earthquakes in Japan and Taiwan* Geological Society, London, Special Publications 2009, 316:55-71; doi:10.1144/SP316.4
- Papanikolaou I.D., Papanikolaou D.I., Lekkas E.L. (2009) - *Advances and limitations of the Environmental Seismic Intensity scale (ESI 2007) regarding near-field and farfield effects from recent earthquakes in Greece: implications for the seismic hazard assessment*. In: Reicherter, K., Michetti, A.M., Silva Barroso, P.G. (Eds) *Palaeoseismology: Historical and Prehistorical Records of Earthquake Ground Effects for Seismic Hazard Assessment*. The Geological Society, London, Special Publ., 316, 11-30.
- Papanikolaou I. D., Fomelis M., Parcharidis I., Lekkas E. L., & Fountoulis I. G. (2009) - *Deformation pattern of the 6 and 7 April 2009, MW=6.3 and MW=5.6 earthquakes in L'Aquila (Central Italy) revealed by ground and space based observations*. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 73-87, 2010.
- Papanikolaou I.D., Efthimios L. Lekkas and Ioannis G. Fountoulis (2009). *Preliminary report on the L'Aquila mw=6.2 (ml=5.8) earthquake (6th of April 2009), Abruzzo, Central Apennines, ITALY*. dtag.geol.uoa.gr
- Papathanassiou, G. and Pavlides, S., *Using the INQUA Scale for the Assessment of Intensity: Case Study of the 2003 Lefkada (Ionian Islands), Greece Earthquake*, *Quaternary International*, 2007, vols. 173-174, pp. 4-14.
- Papathanassiou, G., Pavlides, S. (2009). *GIS-based Database of historical Liquefaction Occurrences in broader Aegean region, DALO v1.0*, *Earthquake Geotechnical Engineering Satellite Conference XVIIth International Conference on Soil Mechanics & Geotechnical Engineering 2-3. 10. 2009*, Alexandria, Egypt
- Pérez-López, R., Grützner, C., Lario, J., Reicherter K., Silva P.G. (2009). *Archeoseismology and Palaeoseismology in the Alpine-Himalayan Collisional Zone*. Abstract Vol. 1st International Workshop on Earthquake Archaeology and Palaeoseismology. Serv. Pub. ETSI Industriales, UPM (UNED-AEQUA), Madrid, 189 pp. ISBN: 978-84-7484-217-3
- Pérez-López, R., Rodríguez-Pascua, M.A., Giner-Robles, J.L., Martínez-Díaz, J.J., Marcos-Nuez, A., Silva, P.G., and Calvo, J.P.: *Speleoseismology and paleoseismicity of the "Benis Cave" (Murcia, SE of Spain): coseismic effects of the 1999 Mula earthquake (mb 4.8)*. Geological Society, London, Special Publications 2009, 316:207-216; doi:10.1144/SP316.13
- Porfido S., Esposito E., Vittori E., Tranfaglia G., Guerrieri L., Pece R. (2007). *Seismically induced*

- ground effects of the 1805, 1930 and 1980 earthquakes in the Southern Apennines (Italy). *Boll.Soc.Geol.It. (Ital. J. Geosci.)*, Vol. 126, No. 2, Roma.
- Porfido S., E. Esposito, C. Violante, M. Sacchi, L. Guerrieri, L. Serva, and S. Sciarrotta (2009) Seismically induced environmental effects in coastal areas: the 1783, 1905 and 1908 earthquakes in Calabria and Sicily, (Southern Italy). *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 11, EGU2009-7337-3, 2009
- Reicherter, K., Michetti, A., P.G. Silva (eds.). 2009. *Palaeoseismology: Historical and Prehistorical Records of Earthquake Ground Effects for Seismic Hazard Assessment*. Geological Society of London, Special Publications, 316. London, U.K. Publ., 316, 55-71.
- Reicherter K., Michetti A.M., Silva P.: Introduction to the Special Publication, Publ., 316,, 1 – 10.
- Reicherter, K., Becker-Heidmann, P.: Tsunami Deposits in the Western Mediterranean: Remains of the 1522 Almería Earthquake? *Geological Society, London, Special Publications 2009*, 316:217-235; doi:10.1144/SP316.14
- Roberts G.P., Raithatha B., Sileo G., Pizzi A., Pucci S., Faure Walker J., Wilkinson M., McCaffrey K., Phillips R.J. Michetti A.M., Guerrieri L., Blumetti A.M., Vittori E., Cowie P. (2010). Shallow subsurface structure of the 2009 April 6Mw 6.3 L'Aquila earthquake surface rupture at Paganica, investigated with ground-penetrating radar. *Geophys. J. Int.* (2010) doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04713.x
- Rockwell, T., Fonseca, J., Madden, C., Dawson, T., Owen, L.A., Vilanova, S., Figueiredo, P.: *Paleoseismology of the Vilarica Segment of the Manteigas-Bragança Fault in Northeastern Portugal*. Geological Society, London, Special Publications 2009, 316:237-258; doi:10.1144/SP316.15
- Rockwell T., Ragona D., Seitz G., Langridge R., Aksoy M. E., Ucarus G., Ferry M., Meltzner A., Klinger Y., Meghraoui M., Satir D., Barka A., Akbalik B., *Paleoseismology of the North Anatolian fault near the Marmara Sea: Implications for fault segmentation and seismic hazard*. Geological Society, London, Special Publication, 316, 31 - 54, doi :10.1144/SP316.3, 2009.
- Schwab, M. J., Werner, P., Dulski, P., McGee, E., Nowaczyk, N., Bertrand, S., Leroy, S.A.G., 2009. *Palaeolimnology of Lake Sapanca and identification of historic earthquake signals, Northern Anatolian Fault Zone (Turkey)*. *J. Clague and O. Korup Quat Sc Rev* 28: 991-1005. IF 4.2.
- Serva L., Esposito E., Guerrieri L., Porfido S., Vittori E., Comerci V. (2007) – Environmental effects from five historical earthquakes in Southern Apennines (Italy) and macroseismic intensity assessment: Contribution to INQUA EEE Scale Project. *Quaternary Int.*, 173-174, 30-44.
- Silva, P. G., Rodríguez Pascua, M. A., Pérez-López, R., Bardaji, T., Lario, J., Alfaro, P., Martínez-Díaz, J.J., Reicherter, K., Giménez García, J., Giner, J., Azañón, J.M., Goy, J.L., Zazo C. (2008). *Catalogacion de los efectos geologicos y ambientales de los terremotos en Espana en la Escala ESI 2007 y su aplicacion a los estudios paleosismologicos*. *Geotemas*, 6, 1063-1066.
- Silva, P. G., Rodríguez Pascua, M. A., Pérez-López, R., Bardaji, T., Lario, J., Alfaro, P., Martínez-Díaz, J.J., Reicherter, K., Giménez García, J., Giner, J., Azañón, J.M., Goy, J.L., Zazo C. 2008. *Catalogacion de los efectos geologicos y ambientales de los terremotos en Espana en la Escala ESI 2007 y su aplicacion a los estudios paleosismologicos*. *Geotemas*, 6, 1063-1066.
- Silva P.G., Lalinde C. P. & Guerrieri L. (2009): Analisis neotectonico y paleosismologico de zonas costeras. In: Silva P.G. (Ed.) *Manual on Neotectonics and Paleoseismicity on coastal Settings*, Red iberoamericana en teledetección aplicada a la prevención de riesgos geológicos litorales, 247-282.
- Silva P.G., Reicherter K., Grützner C., Bardaji T., Lario J., Goy J.L., Zazo C., & Becker-Heidmann P., 2009. Surface and subsurface paleoseismic records at the ancient Roman city of Baelo Claudia and the Bolonia Bay area, Cádiz (South Spain). In: Reicherter, K., Michetti, A.M. & Silva, P. G. (eds) *Palaeoseismology: Historical and Prehistorical Records of Earthquake Ground Effects for Seismic Hazard Assessment*. The Geological Society, London, Special Publications, 316, 93–121. doi: 10.1144/SP316.6
- Sintubin M. (2008) *A Logical Methodology for Archaeoseismology: A Proof of Concept at the Archaeological Site of Sagalassos, Southwest Turkey*. *Bulletin of the Seismological Society of America*; October 2008; v. 98; no. 5; p. 2209-2230; DOI: 10.1785/0120070178
- Tatevossian R.E. (2007). The Verny, 1887, earthquake in central Asia: Application of the INQUA scale based on coseismic environmental effects. *Quaternary International*, Volumes 173-174, pp. 23-29.
- Tatevossian, R.E., Rogozhin, E.A., Arefiev, S.S., Ovsyuchenko, A.N.: *Earthquake intensity calibration based on environmental effects: Principles and case studies*. Geological Society, London, Special Publications 2009, 316:73-91; doi:10.1144/SP316.5

- Tatevossian, R.E., Rogozhin, E.A., and Aref'ev, S.S., Assessment of Earthquakes' Entensity on the Basis of Seismic Effects in Natural Environment: General Principles and Application Examples, *Vopr. Inzh. Seismol.*, 2008, vol. 35, no. 1, pp. 7–27
- Vittori, E., Di Manna, P., Blumetti, A. M., Comerci, V., Guerrieri, L., Esposito, E., Michetti, A. M., Porfido, S., Piccardi, L., Roberts, G. P., Berlusconi, A., Livio, F., Sileo, G., Wilkinson, M., McCaffrey, K., Phillips, R., Cowie, P. A. (2011) Surface faulting of the April 6th 2009 Mw 6.3 L'Aquila earthquake in central Italy. *Bulletin of the Seismological Society of America*, in press..
- White, S., Stollhofen, H., Stanistreet, I.G., Lorenz, V.: Pleistocene to Recent rejuvenation of the Hebron Fault, southwestern Namibia. *Geological Society, London, Special Publications 2009*, 316:293-317; doi:10.1144/SP316.18
- Wilkinson, M., K.J.W. McCaffrey, G.P. Roberts, P. A. Cowie, R.J. Phillips, A. Michetti, E. Vittori, L. Guerrieri, A.M. Blumetti, A. Bubeck, A. Yates, & G. Sileo (2010), Partitioned postseismic deformation associated with the 2009 Mw 6.3 L'Aquila earthquake surface rupture measured using a terrestrial laser scanner, *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1029/2010GL043099.
- Zahid, A., Qaisar, M., Mahmood, T., Hakim, A., Iqbal, T., Serva, L., Michetti, A.M., Burton, P.: The Muzaffarabad, Pakistan, Earthquake of October 8, 2005: surface faulting, environmental effects and macroseismic intensity. *Geological Society, London, Special Publications 2009*, 316:155-172; doi:10.1144/SP316.9

Reports related to the collection of EEEs induced by recent earthquakes (2008 – 2011)

- Blumetti A.M., Comerci V., Di Manna P., Guerrieri L. & Vittori E. (2009) - Geological effects induced by the L'Aquila earthquake (6 April 2009, MI = 5.8) on the natural environment: Preliminary report. ISPRA, Geological Survey of Italy, 38 pp, 3 maps. Available at http://www.apat.gov.it/site/en-GB/Projects/INQUA_Scale/Documents/
- Chazipetros A., Valkaniotis S., Papathanassiou G., Sboras S., Neofotistos P., Mavrodis P., Pavlides S. (2008) – Quick report on the surface effects of the June 8, 2008, NW Peloponnese earthquake. Aristotle University of Thessaloniky, 8 pp.
- INGEOMINAS (2008) - El sismo de Quetame del 24 de Mayo de 2008. Aspectors sismologicos y evaluaciòn preliminar de danos. Bogotá, Junio de 2008, 90 pp.
- Martínez Díaz J.J., Rodríguez-Pascua M.A. Pérez López R., García Mayordomo J., Giner Robles J.L., Martín-González F., Rodríguez Peces M., Álvarez Gómez J.A., Insua Arévalo J.M., (2011). Informe geologico preliminar del terremoto de Lorca del 11 de Mayo del ano 2011, 5.1 Mw, 47 pp.
- Okumura K. (2011) - Interplate megathrust earthquakes and tsunamis along Japan Trench offshore Northeast Japan, 5 pp., www.homeofgeography.org/uk/news_2011/jogan_e.pdf
- Salamon A., Amit R., Baer G., Hamiel Y., Mushkin, A. (2009) - The Mw6.3, 2009, L'Aquila Earthquake, Central Italy. Preliminary report of the GSI team that visited the affected area, Geological Survey of Israel, 23 pp, 6 figs.

Selection of abstracts (2008 – 2011)

33rd IGC Session STP-02 (co-sponsored by INQUA) "Deducing nature and magnitude of paleoearthquakes: Finding paleoevents and quantifying them", Oslo, July 2008

- Godoy A., Michetti A.M. Paleoseismological investigations for Nuclear Power Plant siting: Lessons learned from the Kashiwazaki-Kariwa accident
- Mörner, N.A. Paleoseismicity in Sweden: Characteristics, means of magnitude estimates and implications for hazard assessments
- Minaya E., Ramirez V. I., Hermanns R. L., Clague J., Gonzalez M., Valencia J., Cerritos . Paleoseismologic investigations of the El Alto fault system on the Altiplano plateau in the outskirts of La Paz, Bolivia
- Guerrieri L., Blumetti A.M., Di Manna P.; Serva L.; Vittori E. Surface faulting hazard in Italy: Input for land management
- Reicherter K., Silva Barroso P., Gruetzner C. Archeoseismological, paleoseismological and geophysical investigations in the Roman Ruins of Baelo Claudia (southern Spain)
- Okumura K. Active tectonics of the 16 July 2007 earthquake near Kashiwazaki, central Japan: A key for seismic risk assessment of nuclear power plants
- Michetti A.M., Berlusconi A., Livio F., Sileo G., Zerboni A., Cremaschi M., Trombino L., Mueller K., Vittori E., Carcano C., Rogledi S. - Paleoeearthquakes at Monte Netto, Brescia, Italy: Assessing the seismic potential of the Po Plain from the analysis of coseismic environmental effects.
- Sintubin, M., Stewart . I. Can a logic-tree approach make sense of archaeological evidence for Palaeoseismic events? Testing the logic tree approach at Sagalassos (SW Turkey)
- Comerci V., Blumetti A.M., Brustia E., Di Manna P., Fiorenza D., Guerrieri L., Lucarini M., Serva L., Vittori E. The geological effects of the 1908 Southern Calabria - Messina earthquake (Southern Italy)
- Reicherter K., Schaub A., Gruetzner C., Fernandez-Steeger T. Aquisgrani terrae motus factus est: Evidence for historical earthquake damage in the Aachen Cathedral (Germany)
- Diederix H., Osorio J. A., Montes N. Cyclicity in the sedimentary record of a small pull-apart basin as paleoseismic evidence of surface faulting during the holocene along the Ibagu fault, Colombia
- Pérez-López R., Rodríguez-Pascua M. A., Bejar M., Martínez-Díaz J.J., Giner-Robles J.L., Silva, P., Gabriel V., Pilar González-Casado, José Manuel - Paleoseismic evidence for reverse fault activity in relationship with a phreatomagmatic eruption in 1970 at Deception Island (West-Antarctica).
- Michetti A.M., Comerci V., Esposito E., Guerrieri L., Porfido S., Silva P., Vittori E. - Towards a catalogue of earthquake environmental effects.
- Lafuente P., Arlegui L. E., Liesa C. L., Simón J.L. -Paleoseismological analysis at a railway trench across an intraplate extensional structure: the Conclud fault
- Marco S., Eyal Y., Weinberger R., Levi T., Aifa T. - Characterization of earthquake-induced clastic dikes by their magnetic fabric
- Bouhadad Y. Deducing the source and magnitude of paleoearthquakes from paleoliquefaction features: Example of the Boumerdes (Algeria) region
- Jin K., Kim Y.-S. - Paleoseismologic indicators in the Ganjeolgot area, SE Korea
- Zamudio Y. New scale of macroseismic intensity-ESI 2007 applied to peruvian earthquakes
- Franco L. E., Osorio J. Velandia F., Montes N., Diederix, H. - Morphotectonic modeling of the Ibagu strike-slip fault, Colombia.
- Canora-C.C., Martinez-Diaz J. J., Villamor P., Berryman K., Alvarez-Gomez J., Capote R., Bejar M., Tsige M. - First paleoseismic studies on the El Salvador Fault Zone.
- CHOI SUNG-J., HONG DUKG., CHWAE UEE C., Shim T., SONG YU. - Redetrodefomation of a Quaternary fault; Suryum fault at the southeastern coast of Korean peninsula.
- Rodríguez-Pascua, M. A., Pérez-López R., Giner-Robles J.L., Bischoff J., Garduño-Monroy V. H., Israde-Alcántara I., Silva P.G., Calvo-Sorando J.P. - Sedimentary, paleoseismic and archaeological record of earthquakes in moderate seismic zones. An example in the SE of Spain.
- Stewart I., Sintubin M. - A standardised procedure for earthquake archaeology: The archaeoseismological logic tree.
- Al-Shukri H.r, Mahdi H.; Alkadi O.; Tuttle M. - Geophysical investigation of earthquake induced paleoseismological features.

Field Trip Workshop "The Dead Sea Rift as natural laboratory for earthquake behaviour: prehistorical, historical and recent seismicity" (15th-23rd February, 2009)

- Z. Garfunkel - The Dead Sea Transform: a geological perspective
- Z. Ben Avraham - The Dead Sea Transform: a geophysical perspective
- A. Shapira - On the rate of seismic activity along the Dead Sea Transform
- G. Baer - Recent crustal movements along the Dead Sea fault

A.M. Michetti - The ESI 2007 scale and new catalogue of earthquake environmental effects
 Y. Hatzor - Constraining paleoseismic PGA using numerical analysis of structural failures in old masonry structures
 G. King - Slip Partitioning by Elastoplastic Propagation of Oblique Slip at Depth
 K. Okumura - Segmentation model of a long fault zone based on the size and temporal stability of the segment boundaries
 S. Wesnousky - Neotectonics, geodesy, and seismic hazard in the northern Walker Lane
 Y. Ota - Active Touhuangping Fault and its tectonic significance in the northwestern Taiwan
 S.E. Hough - Earthquakes in the Dead Sea rift zone: past, present, future
 S. Leroy - Impact of earthquakes on agriculture in the Dead Sea region during the Roman-Byzantine period
 A. Salamon - Patterns of Seismic Sequences in the Levant - Interpretation of Historical Seismicity
 Y. Klinger - Earthquake history of the Lebanese fault bend and the Levant fault behaviour.

1st INQUA - IGCP 567 - International Workshop on Earthquake Archaeology and Paleoseismology, Baelo Claudia, Spain, 9th September 2009

Michetti A.M. & Vittori E. - Earthquake Ground Effects during Moderate Events: L'Aquila 2009 Event Case history and the application of the ESI 2007 scale.
 Sintubin M. - Key note on Archaeoseismology
 Guerrieri, L. and Porfido, S. - Cataloguing earthquake environmental effects: a tool for the comparison of recent, historical and paleo-earthquakes.
 Papanikolaou, I.D. - The ESI 2007, the intensity attenuation relationships and possible gains for seismic hazard maps
 Tatevossian, R.E. - Geological and macroseismic effects of Muya, 1957, earthquake and paleoearthquakes in Baikal region
 Vött, A. - Palaeotsunami signatures in Holocene coastal geoarchives of the eastern Ionian Sea region, Greece
 Mörner, N.A. - Liquefaction as evidence of paleoseismics
 Rockwell, T.K. - Trenching paleoseismology
 Papanthassiou, G. and Pavlides, S. Gis-Based database of earthquake-induced liquefaction manifestations in Broader Aegean Region.
 Moreno, X., Gràcia, E., Masana, E., Rodés, Á., Bartolomé, R. and Pallàs, R. - Paleoseismology along the Carboneras Fault: integrated onshore-offshore evidence of seismogenic activity.
 Gath, E.M. and Rockwell, T.K. - Coseismic offset of the Camino de Cruces confirms the Pedro Miguel fault as the cause of the ad 1621 Panamá Viejo Earthquake.
 Besana-Ostman, G.M., Ando, M and Fonseca, J.F. - The 2003 Masbate Ground Rupture, Masbate, Philippines
 Kostov, K., Shanov, S. and Surányi, G. Palaeoseismological investigations using speleothems: Case Study of two caves in Rhodopes Mountains, Southern Bulgaria
 Yerli, B., Schreiber, S., Hinzen, K.G. and ten Veen, J.H. - Testing the hypothesis of earthquake-related damage in structures in the lycian ancient city of Pinara, SW Turkey.
 Sánchez-Gómez, M., Martínez-Sánchez, C., García-García, F., Peláez, J.A., Pérez-Valera, F. and Martínez-Andreu, M.
 Evidence for a holocene earthquake recorded in a fluvialarchaeological sequence of the Segura river, SE Spain.
 Chatzipetros A. and Pavlides S. A rare case of preserved earthquake ruptures in an archaeological site: Mikri Doxipara – Zoni, NE Greece.
 Kamai, T. and Sangawa, A. Landslides on ancient fill structures induced by the 16th century earthquake in the Kinki district, Japan.
 Silva, P.G., Rodríguez Pascua, M.A., Pérez López, R., Giner, J.L., Lario, j.; Bardají, T., Goy, J.L. and Zazo, C. Geological and archaeological record of the 1504 AD Carmona earthquake (Guadalquivir Basin, South Spain): a review after Bonsor, 1918.
 Bjerrum, L.W., Sørensen, M.B. and Atakan, K. - Simulated ground motions of the May 12 2008, Wenchuan (China) earthquake – comparison with damage distribution.
 Kanari, M., Katz, O., Porat, N., Weinberger, R. and Marco, S. - Evaluation of rockfall hazard to the town of Qiryat Shemona, N. Israel. Possible correlation to Earthquakes.
 Koster, A., Vonberg, D. and Reicherter, K. - Tsunamiogenic deposits along the southern Gulf of Cádiz (southwestern Spain) caused by tsunami in 1755?
 Lee, M., Han, S.R., Shim, T. and Kim, Y.S. - Characteristics and seismic hazard assessment of the Quaternary Eupcheon fault in Southeast Korea.
 Maestro, A., Jané, G., García-Mayordomo, J., Fernández-Revuelta, B., Rodríguez-Pascua, M.A. and Martínez-Díaz, J.J. Paleoseismic evidence from broken submarine carbonate chimneys in the Gulf of Cádiz (Southern Spain).
 Rodríguez-Peces, M.J., García-Mayordomo, J., Azañón, J.M., Insua-Arévalo, J.M. and Jiménez Pintor, J. - Preliminary results of static and dynamic reconstruction of Güevéjar landslide (Granada, Spain) during 1775 Lisbon and 1884 Andalusian earthquakes.
 Rodríguez-Vidal, J., Cáceres, L.M., Ruiz, F., Abad, M., Fa, D., Finlayson, G., Finlayson, J.C. and Bailey, G. - Geomarkers of AD 1755 Tsunami on Gibraltar.

- Da-Quan, Y., Zhi, S., Xiao-Gi, S., Jie-Ping, T. and An-Guo, C. - Discovery of natural deformation relics in Anhui Archaeological Scene and its significance.
- Schaub, A., Reicherter, K., Grützner, C. and Fernández-Steeger, T. - Evidence for a medieval earthquake in the Aachen area (Germany), revealed by structural damage in the cathedral.
- Stančikaitė, M., Kisieliene, D., Mažeika, J., Guobytė, R. and Blaževičius, P. - Geological-geomorphological setting and human interference during the 13th-15th centuries AD at Vilnius Lower Castle, East Lithuania.
- Štěpančíková, P., Hók, J. and Nývlt, D. - Trenching survey on the south-eastern section of the Sudetic Marginal Fault (NE Bohemian massif, intraplate region of Central Europe).
- Tahir Mian, M. Geomorphology, paleoseismology and geological analysis for seismic hazard estimations.
- Höbig, N., Brau, A., Grützner, C., Fernández-Steeger, T. and Reicherter, K. - Rock fall hazard mapping and run out simulation: a case study from Bolonia Bay, southern Spain.
- García-Mayordomo, J., Rodríguez Peces, M.J., Azañón, J.M and Insua-Arévalo, J.M. - Advances and trends on earthquake-triggered landslide research in Spain
- Gutiérrez, F. Lucha, P. and Jordá, L. - The Río Grío Depression (Iberian Range, NE Spain). Neotectonic graben vs. fluvial valley.
- Insua-Arévalo, J.M. and García-Mayordomo, J. - Upper Pleistocene tectonic activity in The Central Pyrenees Range (Navarra, N Spain).
- Ortuño, M. - Criteria to distinguish neotectonic from other active faults: examples from the Central Pyrenees
- Rodríguez-Pascua, M.A., Pérez-López, R., Giner-Robles, J.L., Silva P.G., Garduño-Monroy, V.H. and Reicherter, K. - A comprehensive classification of Earthquake Archaeological Effects (EAE) for structural strain analysis in archaeoseismology.
- Villa Valdés, A. - Geoarchaeological context of the destruction and abandonment of a fortified village in Asturias in the 2nd century AD: Chao Samartín (Grandas de Salime).
- Vollmert, A., Reicherter, K. and Grützner, C. - The origin of rockfalls and the formation of hanging valleys along the La Laja range front (Tarifa, S.Spain).
- Wiatr, T., Reicherter, K. and Papanikolaou, I. - Terrestrial laser scanning of active fault in Greece: Kaparelli Fault

Other abstracts

- Comerci V., Blumetti A.M., Brustia E., Di Manna P., Fiorenza D., Guerrieri L., Lucarini M., Serva L., Vittori E. (2008) – Gli effetti del terremoto del 1908 sull’ambiente. Convegno “Cento anni dopo il terremoto del 1908. Gli effetti allora ed il rischio ambientale oggi nell’area dello Stretto”, Messina, 12 November 2008.
- Comerci V., A.M. Blumetti, E. Brustia, P. Di Manna, E. Esposito, D.Fiorenza, L. Guerrieri, S. Porfido, L. Serva, E. Vittori (2008). One century after the 1908 Southern Calabria -Messina earthquake (southern Italy): a review of the geological effects. Vol. 10, EGU2008-A-09190, 2008SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2008-A-09190.
- Comerci V., Blumetti A., Brustia E., Di Manna P., Esposito E., Fiorenza D., Guerrieri L., Porfido S., Serva L., Vittori E. (2008) - A century after the 1908 Southern Calabria - Messina earthquake (southern Italy): review of the geological effects EGU 2008 Congress, April 2008.
- Di Manna P., Comerci V., Blumetti A.M., Guerrieri L., Serva L., Vittori E. (2008) – Caratteristiche ed effetti del maremoto. Convegno “Cento anni dopo il terremoto del 1908. Gli effetti allora ed il rischio ambientale oggi nell’area dello Stretto”, Messina, 12 November 2008.
- Guerrieri L., A. M. Blumetti, E. Brustia, M. Lucarini, A. Michetti, S. Porfido, G. Sileo, E. Vittori, V. Comerci, and E. Esposito (2010). The Italian Catalogue of Earthquake Environmental Effects Geophysical Research Abstracts, Vol. 12, EGU2010-2689-1, 2010, EGU General Assembly 2010.
- Guerrieri L., A.M. Michetti, E. Vittori, A. Berlusconi, A.M. Blumetti, V. Comerci, P. Di Manna, E. Esposito, F. Livio, L. Piccardi, S. Porfido, G. Sileo, C. Violante (2009). Geological effects induced by moderate earthquakes: The L’Aquila 2009 event case history. Proceedings of the GNGTS 2009 Conference, 42 – 46.
- Porfido S., Esposito E., Guerrieri L., Serva L. (2008) – Terremoti storici ed effetti ambientali nell’area dello Stretto. Convegno “Cento anni dopo il terremoto del 1908. Gli effetti allora ed il rischio ambientale oggi nell’area dello Stretto”, Messina, 12 November 2008.
- Vittori E., Blumetti A.M., Comerci V., Di Manna P., Guerrieri L. (ISPRA): I rilievi ISPRA – Servizio Geologico d’Italia degli effetti geologici indotti dal terremoto. Contributo per la valutazione dell’intensità., Workshop “The 6th April 2009 L’Aquila earthquake”, 25 June 2009, Chieti.