

MINISTÈRE DE LA CULTURE, DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

## CONSEIL DE L'EUROPE

Cahiers  
du Centre Européen  
de Géodynamique  
et de Séismologie

Volume 32



### **Scala Macrosismica Europea 1998** European Macroseismic Scale 1998

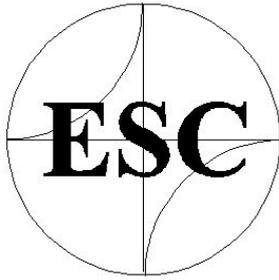
editor

G. GRÜNTAL

Edizione italiana

A. TERTULLIANI, R. AZZARO, G. BUFFARINI

Luxembourg 2019



European Seismological Commission

Subcommission on Engineering Seismology

Working Group Macroseismic Scales

# Scala Macrosismica Europea 1998

## EMS-98

**Editor**

**G. Grünthal**

Chairman of the ESC Working Group “Macroseismic Scales”  
Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam, Germania

**Edizione italiana**

**A. Tertulliani**, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma, Italia

**R. Azzaro**, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Catania, Italia

**G. Buffarini**, ENEA, Roma, Italia

Associate Editors:

**R.M.W. Musson**, British Geological Survey, Edinburgo, Gran Bretagna

**J. Schwarz**, Bauhaus-Universität Weimar, Germania

**M. Stucchi**, Istituto di Ricerca sul Rischio Sismico, C.N.R., Milano, Italia

LUSSEMBURGO 2019

# **ACCORD PARTIEL OUVERT**

en matière de prévention, de protection et  
d'organisation des secours contre les risques naturels et technologiques majeurs

**du CONSEIL DE L'EUROPE**

ISBN No 978-99959-0-463-0

© Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie

Musée National d'Histoire Naturelle  
Section Astrophysique et Géophysique, Luxembourg

## PREFAZIONE ALL'EDIZIONE ITALIANA

Non c'è dubbio che le scale macrosismiche abbiano rappresentato, e forse rappresentano ancora, un'importante ed efficace interfaccia tra la sismologia e l'ingegneria, e che, tra le diverse scale, la scala europea sia quella che più e meglio delle altre cerca di coniugare gli aspetti ingegneristici, ossia il comportamento delle costruzioni sotto sollecitazioni sismiche, con quelli sismologici, sintetizzabili nella misura dell'intensità locale del terremoto in mancanza di dati strumentali.

Assumere la costruzione come strumento di misura del terremoto, stabilendo una equivalenza tra la scala del danneggiamento e la scala dell'intensità della scossa per valori pari o superiori al grado 5, costituisce l'essenza della scala EMS-98.

In epoche storiche gli edifici ordinari, quelli per lo più ad uso abitativo, avevano caratteristiche molto simili tra loro, erano riconducibili a poche tipologie, tipicamente con struttura muraria, almeno in Italia, e potevano essere considerati strumenti di misura dei terremoti tarati all'incirca allo stesso modo. Le scale macrosismiche, come la MCS, che non facevano distinzione tra i vari edifici, erano adeguate a trattare tale situazione e sufficientemente affidabili. Basta stabilire un'equivalenza, o meglio una relazione funzionale, tra la metrica del danno  $D$  e quella dell'intensità  $I$ :  $I = f(D)$ .

Ma, come gli ingegneri ben sanno, la resistenza al sisma delle diverse costruzioni non è la stessa. Ecco, allora, che deve entrare in gioco quella caratteristica propria delle costruzioni che ne esprime tale capacità, ossia la vulnerabilità sismica. A partire dalla seconda metà del secolo scorso una serie di fattori hanno diversificato considerevolmente il patrimonio edilizio: l'uso nettamente prevalente del calcestruzzo armato per i nuovi edifici, l'effettuazione di interventi di modifica delle costruzioni storiche, che possono produrre sia riduzioni significative della vulnerabilità (interventi di rafforzamento, miglioramento o di adeguamento sismico così come previsti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni), sia incrementi di vulnerabilità (ad esempio per riduzione della superficie resistente muraria in pianta dovuta all'apertura di vani nelle pareti portanti o per l'appesantimento eccessivo degli orizzontamenti), i progressi della progettazione antisismica moderna per tutte le tipologie costruttive, il susseguirsi di nuove norme sismiche e di nuove classificazioni sismiche del territorio. Tutti questi fattori hanno determinato una tale varietà di tipologie costruttive e, all'interno di queste, una tale differenziazione del comportamento sotto sisma, che l'edificio come strumento di misura del terremoto oggi non è più unico, ovvero non ha più un'unica taratura. Da qui l'irruzione inevitabile della vulnerabilità  $V$  nella valutazione dell'intensità macrosismica: non può valere più semplicemente  $I = f(D)$ , ma deve necessariamente essere  $I = f(V,D)$ .

Introdotta la terza variabile  $V$  per la valutazione dell'intensità  $I$ , è facile estendere l'uso della triade di variabili  $I - V - D$ , assumendo di volta in volta l'una come variabile dipendente dalle altre due, invertendo la relazione primaria:

$I = f(V,D) \rightarrow$  problema sismologico della valutazione dell'intensità macrosismica,

$V = g(I,D) \rightarrow$  problema ingegneristico della definizione della vulnerabilità, o di converso della resistenza delle costruzioni, su basi empiriche,

$D = h(V,I) \rightarrow$  valutazione del rischio, ossia del danno futuro condizionato alla vulnerabilità dell'edificato e all'intensità di un prossimo terremoto.

Non c'è da stupirsi, perciò, che alcuni concetti, in particolare relativi alle scale del danneggiamento e della vulnerabilità, declinati nella scala EMS-98 ai fini della valutazione dell'intensità macrosismica [ $I = f(V,D)$ ], vengano utilizzati ampiamente in applicazioni ingegneristiche riguardanti le valutazioni di vulnerabilità, fornendone la metrica e le definizioni di base, e di rischio. Da qui il passo è breve per arrivare alla loro utilizzazione nelle norme che guidano la pratica professionale, come le linee guida per la valutazione del rischio sismico degli edifici.

La sistematizzazione della scala EMS-98 ha facilitato questo processo di permeazione di concetti sismologici e ingegneristici nei diversi problemi e, grazie alla definizione delle metriche del danno e della vulnerabilità, ha stabilito un riferimento importante anche per le valutazioni di tipo ingegneristico.

Come in tutti i percorsi scientifici, raggiunto un traguardo se ne possono porre di altri, più ambiziosi, che consentano di sfruttare appieno l'idea di base. Dal punto di vista ingegneristico è evidente che l'applicabilità in ambito internazionale della scala EMS-98 ha necessariamente semplificato l'individuazione delle tipologie edilizie e la loro tassonomia. A livello nazionale o sub-nazionale notevoli sforzi sono stati fatti e sono in corso per individuare le tipologie tipiche dei diversi territori e per caratterizzarle al meglio in termini di comportamento sismico. Ne sono un esempio la scheda AeDES, per il rilevamento del danno, della vulnerabilità e dell'agibilità post-sismica, e la ricerca svolta nell'ambito del progetto CARTIS di ReLUIS. Dal punto di vista sismologico, la disponibilità notevole e sempre crescente di registrazioni accelerometriche relative ai più recenti terremoti suggerisce di effettuare studi volti a migliorare le relazioni tra intensità macrosismica e intensità strumentale. Nell'applicazione della scala, inoltre, di notevole interesse sarebbe il confronto tra il rilievo macrosismico svolto sul campo e gli esiti dei rilievi di agibilità e del danno svolti nei passati terremoti e i cui dati sono oggi raccolti nella piattaforma Da.D.O., così da definire i margini di incertezza degli esiti macrosismici. Sempre rispetto al rilievo sul campo, gli sviluppi tecnologici attuali e futuri fanno pensare alla possibilità di utilizzarli per definire in maniera più rapida e completa, il danneggiamento dei singoli edifici e l'attribuzione del grado di intensità. Gli sviluppi che ne possono derivare possono portare a una utilizzazione sempre più efficiente della scala macrosismica europea.

Roma settembre, 2018,  
Mauro Dolce,  
Dipartimento della Protezione Civile, Dirigente Generale  
Università di Napoli Federico II, Ordinario di Tecnica delle Costruzioni

## PREFAZIONE ALLA PRIMA EDIZIONE

E' un onore e un piacere particolare per me presentare questa monografia dedicata alla nuova "Scala Macrosismica Europea 1992", che fu completata nel corso della XXIII Assemblea Generale della Commissione Sismologica Europea a Praga 1992.

E' legittimo menzionare qui che l'ESC ha sempre dedicato molta attenzione alla classificazione dell'intensità dei terremoti. Nel 1964 la scala MSK-64, chiamata così dai padri fondatori S.V. Medvedev, W. Sponheuer e V. Kárník, è stata raccomandata dall'ESC e largamente usata per quasi trent'anni nella sua forma base. Inoltre, una versione modificata di questa scala fu introdotta nel 1981.

Ora, dopo più di cinque anni di lavoro intenso, abbiamo in mano una Scala Macrosismica Europea migliorata che tiene conto di tutti i risultati precedenti in questo campo. Essa viene raccomandata dall'Assemblea Generale ESC 1992 per un uso generale in un periodo di prova di tre anni. Questa sembra essere una procedura utile e corretta da parte dell'ESC per introdurre uno standard internazionale.

E' degno di attenzione che l'uso di metodi computerizzati nella valutazione dei dati macrosismici ha certamente portato ad una migliore definizione della scala. E' necessario capire che la scala d'intensità può solo essere migliorata tramite una continua discussione e un costante uso pratico, ma le nuove idee non dovrebbero modificare i principi base della scala stessa. La nuova scala qui presentata è un buon esempio di come questo difficile compito possa essere realizzato.

Vorrei esprimere il mio apprezzamento ai membri del gruppo di lavoro ESC "Macro seismic Scales" e a tutti gli altri colleghi che hanno contribuito alla attuale versione. E' un risultato eccellente di uno di quei progetti internazionali a lungo termine che sono sostenuti in prima linea dall'ESC. Vorrei esprimere il mio speciale ringraziamento all'editore WG-Chairman Dr. G. Grünthal, Potsdam, e agli altri editori Dr. R.M.W. Musson, Edimburgo, Dr. J. Schwarz, Weimar, e Dr. M. Stucchi, Milano per il loro straordinario impegno.

L'ESC riconosce il sostegno del Consiglio d'Europa attraverso il Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie in Lussemburgo, la Swiss Reinsurance Co. di Zurigo la Compagnia Bavarese di Assicurazioni di Monaco, per aver ospitato i workshop. I nostri ringraziamenti sono anche rivolti alla commissione dei "Cahiers" per l'edizione di questo volume.

Praga, 8 marzo 1993

Ludvík Waniek

Presidente dell'ESC

## PREFAZIONE ALLA SECONDA EDIZIONE

Sono ora cinque anni da quando il nostro stimato collega scomparso, Ludvík Waniek, scrisse la prefazione alla 1<sup>a</sup> edizione della Scala Macrosismica Europea. In questi cinque anni molto è stato fatto nello sviluppo della scala. Il periodo di prova di tre anni ha esteso l'utilizzo della nuova scala non solo al contesto europeo ma anche a quello internazionale, prendendo in considerazione molti dei terremoti più significativi del periodo: Maharashtra 1993, Northridge 1994 e Kobe 1995, solo per menzionarne tre.

Nel 1996 la 11<sup>a</sup> Conferenza Mondiale di Ingegneria Sismica di Acapulco presentò una speciale sessione tematica sulla scala e il suo sviluppo e test. Ciò è significativo, dato che la EMS è la prima scala d'intensità progettata per incoraggiare la cooperazione tra ingegneri e sismologi, piuttosto che essere usata solo da sismologi. Più tardi, in quell'anno, la XXV Assemblea Generale dell'ESC in Reykjavik approvò una risoluzione che raccomandava l'adozione della nuova scala all'interno dei paesi membri dell'ESC.

La nuova scala, dopo molto lavoro supplementare per incorporare le lezioni imparate durante il periodo di prova, è ora completa, ed io ho il grande piacere di presentarla alla comunità sismologica con la speranza che verrà adottata in tutta Europa per le future indagini macrosismiche.

Mi resta solo di ringraziare, per l'eccellente lavoro svolto, il Dr. Gottfried Grünthal, responsabile del Gruppo di Lavoro "Scala Macrosismica" dell'ESC, la commissione editoriale e tutti gli altri colleghi che hanno contribuito a questo importante compito. Vorrei anche ringraziare di nuovo la commissione di Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie per aver acconsentito alla pubblicazione di questo volume.

Trieste, 6 aprile 1998

Peter Suhaldoc

Segretario Generale dell'ESC

## Indice

COLLABORATORI AL PROCESSO DI ISTITUZIONE DELLA SCALA MACROSISMICA EUROPEA (EMS).....	9
INTRODUZIONE .....	11
<b>SCALA DELL'INTENSITÀ MACROSISMICA</b> .....	<b>16</b>
LINEE GUIDA E MATERIALE INFORMATIVO .....	23
1 Assegnazione dell'intensità.....	23
1.1 La natura dell'intensità.....	23
1.2 La struttura della scala d'intensità EM-98 .....	24
1.2.1 Tipi di edifici e classi di vulnerabilità.....	24
1.2.2 Gradi di danno.....	25
1.2.3 Quantità.....	27
1.3 Intensità e luogo .....	27
1.4 Stabilire il grado .....	28
1.5 Uso di informazioni negative .....	29
1.6 Deduzioni improprie .....	29
1.7 Edifici alti e altri casi speciali .....	30
1.8 Effetti delle condizioni del terreno.....	30
1.9 Notazione .....	31
2 Vulnerabilità.....	32
2.1 Vulnerabilità degli edifici nelle scale d'intensità - una prospettiva storica .....	32
2.2 Tipi di edifici e la Tavola della Vulnerabilità .....	33
2.2.1 Osservazioni generali sulla resistenza ai terremoti .....	33
2.2.2 Strutture in muratura .....	34
2.2.2.1 Pietrame/ciottoli .....	34
2.2.2.2 Adobe/mattoni di terra cruda .....	35
2.2.2.3 Pietra semplice sbazzata .....	35
2.2.2.4 Blocchi lapidei squadrati.....	35
2.2.2.5 Muratura non armata/blocchi in cemento .....	35
2.2.2.6 Muratura non armata con solai in CA .....	36
2.2.2.7 Muratura armata e muratura confinata .....	36
2.2.3 Strutture in cemento armato .....	37
2.2.3.1 Strutture con telai in cemento armato .....	37
2.2.3.2 Strutture a pareti in cemento armato .....	38
2.2.4 Strutture in acciaio .....	38
2.2.5 Strutture in legno.....	39
2.3 Fattori che influenzano la vulnerabilità sismica degli edifici .....	40
2.3.1 Qualità dei materiali e abilità manodopera .....	40

2.3.2	Stato di conservazione.....	40
2.3.3	Regolarità.....	40
2.3.4	Duttilità .....	41
2.3.5	Posizione .....	42
2.3.6	Rafforzamento tramite interventi strutturali.....	42
2.3.7	Progettazione Antisismica (PA).....	42
2.3.7.1	Progettazione Antisismica secondo normativa .....	43
2.3.7.2	Importanza.....	44
2.3.7.3	Livello finale (reale) di progettazione antisismica e classe di vulnerabilità .....	45
2.4	Assegnazione della classe di vulnerabilità.....	46
2.5	Osservazioni sull'introduzione di nuovi tipi di edifici.....	47
3	Valutazione dell'intensità da documenti storici .....	48
3.1	Dati storici e documentari .....	48
3.2	Tipi di edifici (classi di vulnerabilità) nelle fonti storiche .....	49
3.3	Numero totali totale di edifici .....	49
3.4	Qualità delle descrizioni.....	50
3.5	Danni agli edifici monumentali.....	50
4	L'uso delle scale di intensità .....	52
4.1	Intensità osservate e intensità estrapolate .....	52
4.2	Correlazioni con i parametri del moto del suolo.....	52
4.3	Correlazione con altre scale macrosismiche .....	52
4.4	Qualità della valutazione dell'intensità e campione dei dati.....	53
4.5	Qualità e incertezza .....	54
4.6	Curve del danno .....	56
4.7	Limitazioni delle scale a dodici gradi .....	58
4.8	Il presunto grado "mancante" della Scala MSK .....	58
5	Esempi che illustrano la classificazione del danno in relazione alla tipologia degli edifici.....	60
6	Esempi di assegnazione dell'intensità.....	85
7	Effetti sull'ambiente naturale .....	91
8	Tabella sintetica della EMS-98 .....	95

## COLLABORATORI AL PROCESSO DI ISTITUZIONE DELLA SCALA MACROSISMICA EUROPEA (EMS)

Le attività del Gruppo di Lavoro “Scale Macrosismiche” della Commissione Sismologica Europea ESC iniziarono con la distribuzione della *Call for Proposal* per l’Aggiornamento della Scala di Intensità MSK (come parte del Bollettino N. 3 dell’ESC del Marzo 1989), seguita dalla pubblicazione “Riflessioni e Proposte per l’Aggiornamento della Scala di Intensità MSK (Thought and Proposal for Up-Dating of the MSK Intensity Scale)”, edito dal coordinatore del Gruppo di Lavoro **G. Grünthal**, Potsdam, Dicembre 1989) dove, oltre ai partecipanti alle riunioni del Gruppo di Lavoro, sotto menzionati, contribuirono con le loro osservazioni **P. Albini** (Milano), **N.N. Ambraseys** (Londra) e **A. Moroni** (Milano).

I partecipanti ad almeno una delle riunioni del Gruppo di Lavoro “Scala Macrosismica” (Zurigo, 7-8 Giugno 1990; Monaco, 14-16 Maggio 1991; Walferdange, Lussemburgo, 16-18 Marzo 1992) sono stati: **G. Grünthal**, **V. Kárník** (Praga), **E. Kenjebaev** (Alma Ata), **A. Levret** (Fontenay-aux-Roses), **D. Mayer-Rosa** (Zurigo), **R.M.W. Musson** (Edimburgo), **O. Novotný** (Praga), **D. Postpischl** (Bologna), **A.A. Roman** (Kishinev), **H. Sandi** (Bucarest), **V. Schenk** (Praga), **Z. Schenková** (Praga), **J. Schwarz** (Weimar), **V.I. Shumila** (Kishinev), **M. Stucchi** (Milano), **H. Tiedemann** (Zurigo), **J. Vogt** (Strasburgo), **J. Zahradník** (Praga), **T. Zsíros** (Budapest).

Vennero inoltre inviati alle riunioni del Gruppo di Lavoro altri contributi, ad esempio da **R. Glavcheva** (Sofia), **R. Gutdeutsch** (Vienna) **A.S. Taubaev** (Alama Ata). La principale stesura finale della Scala Macrosismica Europea EMS-92 fu realizzata da G. Grünthal, R.M.W. Musson, J. Schwarz e M. Stucchi durante una riunione a Potsdam nel 17-21 Giugno 1992 (per i dettagli cfr. l’Introduzione alla precedente versione della EMS-92). Commenti alla versione di prova pubblicata della EMS-92 furono inviati da: **J.A. van Bodegraven** (de Bilt), **J. Dewey** (Denver), **J. Grasses** (Caracas), **R. Gutdeutsch**, **V. Kárník**, **D. Mayer-Rosa**, **A.A. Nikonov** (Mosca), **J. Rynn** (Indooroopilly), **H.G. Schmidt** (Weimar), **L. Serva** (Roma), **N.V. Shebalin** (Mosca), **S. Sherman** (Irkutsk), **P. Stahl** (Pau), **J. Vogt**. Nel Giugno 1996 la 11<sup>a</sup> Conferenza Mondiale di Ingegneria Sismica di Acapulco presentò una speciale sessione tematica sulla Scala, specialmente sui suoi aspetti ingegneristici, i suoi test e sviluppo, con presentazioni di J. Dewey, G. Grünthal, **C. Gutierrez** (Messico), R.M.W. Musson, J. Schwarz e M. Stucchi.

L’inclusione delle esperienze acquisite nel periodo di prova nell’applicazione della EMS-92 a scala mondiale fu curata dalla commissione editoriale della EMS-98, cioè G. Grünthal, R. M. W. Musson, J. Schwarz e M. Stucchi, a partire dal 1996. A questo proposito furono tenute due riunioni della commissione (Edimburgo 7-9 Nov. 1996 e Potsdam 26 Gen. - 1 Feb. 1998). In preparazione alla riunione di Edimburgo, **M. Dolce** (Potenza), **C. Carrocci** (Roma) e **A. Giuffré** (Roma) contribuirono a riguardo degli aspetti ingegneristici. Nello stadio finale del lavoro **D. Molin** (Roma), **A. Tertulliani** (Roma), **Th. Wenk** (Zurigo), **H. Charlier** (Stoccarda) contribuirono inviando fotografie illustranti i gradi di danno, così come Th. Wenk contribuì, insieme alla commissione editoriale, in uno sforzo congiunto sugli aspetti ingegneristici incorporati nella presente edizione. Il supporto tecnico venne fornito da **Ch. Bosse** (Potsdam).



## INTRODUZIONE

Lo scopo di questo numero del Cahier du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie è di presentare un aggiornamento della prima edizione della Scala Macrosismica Europea (EMS-92) realizzata dal Gruppo di Lavoro “Scale Macrosismiche” della Commissione Sismologica Europea (ESC), che fu pubblicata nel Volume 7 del Cahier nella primavera del 1993.

Questa nuova scala fu raccomandata dalla XXIII Assemblea Generale dell’ESC nel 1992 per essere usata in parallelo con altre scale esistenti, durante un periodo di tempo di tre anni, allo scopo di raccogliere esperienze in condizioni reali, specialmente per quanto riguarda le sue parti più innovative: le classi di vulnerabilità e le costruzioni antisismiche. Questa fase di test non restò limitata all’Europa. I principali terremoti le cui analisi furono usate per aggiornare la scala EM-92 furono: Roermond/Olanda 1992, Kilar/India 1993, Northridge/USA 1994, Kobe/Giappone 1995, Aegion/Grecia 1995, Cariaco/ Venezuela 1997 e Italia Centrale 1997/98.

Il percorso verso la compilazione della prima versione della EMS, pubblicata nel 1992, fu illustrato nella Introduzione a quella stessa versione, mentre le motivazioni generali per l’introduzione di una nuova scala macrosismica vengono presentati qui assieme a una panoramica sulle maggiori innovazioni introdotte nella EMS-98 rispetto alla versione di prova EMS-92.

La base per compilare la EMS è la scala MSK, essa stessa un aggiornamento basato sulle esperienze disponibili nei primi anni 60 delle applicazioni delle scale allora in uso: la Scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS), la scala Mercalli Modificata (MM-31 e MM-56) e la scala Medvedev, conosciuta anche come la scala GEOFIAN, del 1953. Cambiamenti quasi impercettibili alla MSK-64 furono proposti da Medvedev nel 1976 e 1978. A quell’epoca divenne evidente a molti utilizzatori che la scala doveva essere migliorata sia per una maggiore chiarezza, sia introducendo quelle modifiche che tenessero conto di tecniche di costruzione che nel frattempo erano state introdotte. Una analisi dei problemi che nascevano dall’applicazione della scala MSK-64 fu fatta da un Gruppo di Esperti (Ad-Hoc Panel of Experts) durante una riunione a Jena nel marzo 1980 (pubblicato su Gerlands Beitr. Geophys., 1981, dove erano incluse le proposte precedenti di S.V. Medvedev). Le raccomandazioni sui cambiamenti della scala da parte di questo gruppo di esperti furono generalmente minime. Questa versione servì come piattaforma iniziale per le attività del presente Gruppo di Lavoro.

Uno dei principali intendimenti della creazione di una nuova scala è stato quello di non cambiare la coerenza interna della scala stessa. Questo avrebbe portato infatti a valutazioni dei valori d’intensità diversi dalle precedenti applicazioni delle scale a dodici gradi, largamente usate, e quindi avrebbe richiesto una rivalutazione di tutte le stime di intensità precedenti. Questo rischio andava evitato a tutti i costi, in quanto avrebbe determinato un totale disorientamento in tutti gli studi sulla sismicità e sulla pericolosità sismica che dipendono fortemente dai dati macrosismici.

Altri aspetti generali considerati fondamentali nell’aggiornamento della scala sono stati i seguenti:

- la robustezza della scala, cioè il fatto che piccole differenze nei diagnostici non dovrebbero causare grandi differenze nelle intensità stimate; ovvero, la scala dovrebbe essere considerata

ed usata come una soluzione di compromesso, poiché nessuna scala d'intensità può mirare ad includere tutti i possibili punti di disaccordo tra diagnostici che potrebbero manifestarsi in nella pratica;

- queste divergenze potrebbero anche riflettere differenze di condizioni culturali nelle regioni dove la scala viene usata;
- la semplicità d'uso della scala;
- l'esclusione di qualsiasi correzione dell'intensità per condizioni del terreno o effetti geomorfologici, perché osservazioni macrosismiche dettagliate dovrebbero essere solo uno strumento per individuare ed elaborare tali effetti di amplificazione;
- la convenzione che i valori di intensità siano rappresentativi di ogni villaggio, cittadina o parti di una città più grande, invece di essere assegnati ad un punto (ad una casa ecc.).

I problemi specifici che il Gruppo di Lavoro Scale Macrosismiche doveva risolvere sulla base degli aspetti menzionati sopra erano:

- la necessità di includere nuovi tipi di edifici, in particolare quelli progettati con caratteristiche antisismiche, che non venivano trattati in versioni esistenti della scala;
- la necessità di considerare un problema percepito di non linearità della scala fra i gradi VI e VII (che dopo discussioni approfondite nella preparazione dell'EMS-92, così come EMS-98, si dimostrò illusoria);
- la necessità di migliorare complessivamente la chiarezza del linguaggio della scala;
- la necessità di decidere come includere edifici molto alti nella valutazione d'intensità;
- se dovessero essere incluse linee-guida per equiparazione fra intensità e parametri fisici dello *strong motion*, compresa la loro rappresentazione spettrale;
- progettare una scala che non soddisfacesse solo le esigenze dei sismologi, ma anche quelle degli ingegneri civili ed altri possibili utilizzatori;
- progettare una scala adatta anche alla valutazione dei terremoti storici;
- la necessità di una revisione critica dell'utilizzo degli effetti macrosismici visibili sull'ambiente (cadute di massi, fenditure, ecc.) e l'esposizione alle scosse di strutture sotterranee.

Il termine “intensità macrosismica” viene qui usato nel significato di una classificazione della severità del moto del terreno sulla base di effetti osservati in un'area limitata.

I membri del Gruppo di Lavoro sono consapevoli che le scale macrosismiche a dodici gradi sono in realtà scale a dieci gradi; cioè che intensità I (1) significa che nulla è stato osservato e che intensità XI e XII sono, a parte la loro limitata importanza pratica, difficili da distinguere.

Se consideriamo il raro uso pratico delle intensità II e XI e il fatto che l'intensità XII definisce effetti massimi, che non ci si aspetta accadano in realtà, il risultato è addirittura una scala ad otto gradi. Tuttavia, come detto sopra, per evitare confusione viene mantenuta la numerazione classica.

Problemi seri sono sorti nell'affrontare il ruolo delle costruzioni con progettazione antisismica nella valutazione delle intensità. Le ragioni erano:

- la limitata conoscenza ed esperienza sulla sistematicità dei danni dei terremoti per queste categorie di costruzioni;
- la grande varietà di sistemi per classificare le costruzioni progettate secondo normative antisismiche;
- divergenze tra ingegneri e sismologi sull'uso dell'intensità e argomenti di ricerca connessi (per esempio, una tendenza tra gli ingegneri a sovrastimare l'importanza dei dati strumentali in relazione all'intensità e quindi il pericolo di sovraccaricare il concetto di intensità);
- l'approccio sismologico spesso impreciso dell'assegnazione dell'intensità riguardo tipi di costruzioni usati in precedenza nelle scale MSK-64 o MM-56; cioè la tendenza generale a trascurare la qualità di manodopera, la regolarità strutturale, la robustezza dei materiali, lo stato di manutenzione e così via, così come il bisogno di considerare tali caratteristiche come fattori di giudizio.

Già per la EMS-92 era stato accettato il fatto che edifici progettati in modo antisismico potessero essere usati per assegnare l'intensità solamente sulla base di principi relativi ai criteri di progettazione antisismici. Un passo essenziale per superare questi problemi fu l'introduzione della Tavola di Vulnerabilità, che dà la possibilità di considerare, in uno schema unico, diversi tipi di costruzioni e la varietà della loro gamma di vulnerabilità. In precedenti versioni della scala i tipi di edifici venivano definiti, in modo abbastanza rigido, solamente dal punto di vista della tipologia costruttiva. Questa Tavola di Vulnerabilità, parte essenziale dell'EMS, include in un unico schema costruzioni antisismiche e non. Era chiaro fin dall'inizio che la versione EMS-92, con i compromessi adottati, dovesse essere considerata una soluzione sperimentale o temporanea, in relazione alla necessità di raccogliere più informazioni ed esperienze su questo tema per poter introdurre i miglioramenti necessari. A questo scopo fu stabilito un periodo di tre anni: agli utenti di questa versione fu gentilmente richiesto di inviare i loro commenti al presidente del Gruppo di Lavoro "Scale Macrosismiche" riguardo possibili miglioramenti.

Nella fase finale del periodo di prova di tre anni dell'EMS-92, dopo applicazioni in tutto il mondo, è divenuto chiaro che, con la nuova scala, il livello di giudizio personale usato nell'assegnazione dell'intensità può essere minore che in precedenza. Questo non significa che stabilire l'intensità con la nuova scala sia in tutti i casi più facile, ma che gli utenti diventano consapevoli dei casi problematici in un modo più diretto.

L'introduzione della Tavola di Vulnerabilità è stata accolta positivamente, così come l'introduzione delle nuove definizioni dei gradi di danno e specialmente della Guida all'Uso della Scala d'Intensità e le sue appendici. Nuovi tipi di costruzione o quelli che non vengono trattati dall'attuale Tavola di Vulnerabilità possono essere aggiunti in modo appropriato. In generale gli aspetti ingegneristici incorporati nella nuova scala sono stati apprezzati dagli ingegneri e sono stati argomento di sessioni a conferenze internazionali sull'ingegneria dei sismica, e persino di una Speciale Sessione Tematica sull'EMS-92 alla Conferenza Mondiale di Ingegneria Sismica di Acapulco, 1996. I nuovi elementi dell'EMS, sotto forma della Tavola di Vulnerabilità e dei gradi di danno, hanno facilitato l'uso della scala da parte di assicuratori, progettisti e di coloro che devono prendere decisioni su come determinare scenari di danno o rischio per determinate intensità. Critiche sono state espresse, principalmente riguardo la sottovalutazione del ruolo degli effetti sull'ambiente naturale nell'assegnazione dell'intensità. Le applicazioni dell'EMS-92 chiarirono

che solo le parti in sperimentazione, ad esempio l'uso delle costruzioni antisismiche, avrebbero richiesto modifiche significative.

La XXV Assemblea Generale dell'ESC di Reykjavik, 1996, approvò una risoluzione che raccomandava l'adozione della nuova scala macrosismica all'interno dei paesi membri della Commissione Sismologica Europea (ESC), tenuto conto del fatto che uno sforzo aggiuntivo sarebbe stato necessario per superare diverse discrepanze nell'uso della parte relativa alle strutture antisismiche.

Mentre proseguivano gli studi degli effetti di diversi terremoti, ad esempio Northridge/USA 1994, Kobe/Giappone 1995, Aegion/Grecia 1995, altri eventi devastanti come Dinar/Turchia 1996, Cariaco/Venezuela 1997 e Italia Centrale 1997/98 fornirono informazioni ed ulteriori esperienze. Essi portarono infine, anche se non con unanime accordo, a modifiche della Tavola di Vulnerabilità riguardo le strutture in cemento armato (CA), del loro livello di resistenza ai terremoti e alla loro differenziazione in strutture con pareti in cemento armato e strutture intelaiate, così come alla introduzione delle strutture in acciaio. Il linguaggio delle classificazioni dei gradi di danno è stato in parte rivisto. Il danno agli edifici, come parte delle definizioni dei gradi d'intensità, è stato organizzato in modo più chiaro.

Le precedenti Appendici dell'EMS-92 sono state incluse nella nuova sezione dell'EMS-98 intitolata Linee Guida e Materiale di Supporto. Gli editori sono consapevoli delle rilevanti differenze nel carattere di molte delle sue sotto-sezioni. Il vecchio Allegato B sulle strutture antisismiche è risultato quello soggetto a maggiori cambiamenti. Questi aspetti vengono adesso trattati nella sotto sezione Vulnerabilità e risultano ora meglio integrati. Parti della precedente Guida sono state modificate, integrate e riorganizzate. La maggior parte delle fotografie nel precedente Allegato A, che illustravano classificazioni di vulnerabilità e gradi di danno sono state sostituite da altri esempi dall'Europa e dal Giappone. I commenti sono ora limitati a tipi di strutture e gradi di danno, poiché sarebbe necessario un ulteriore gruppo di esempi per illustrare la vulnerabilità. Gli esempi precedenti (ex-Allegato D) sono stati completati da una presentazione, assegnando le intensità da vecchi materiali storici. Le restrizioni e le spiegazioni su come possono essere incorporati gli effetti sull'ambiente naturale nella pratica macrosismica (ex-Allegato C) sono state riviste alla luce di nuove ricerche. In risposta a frequenti richieste è stata creata una versione ridotta dell'EMS-98 (sotto-sezione 8). Sebbene chiaramente dichiarato all'inizio della versione ridotta, che quest'ultima non è adatta per assegnare l'intensità, c'è il pericolo che venga mal utilizzata in questo modo. Questa versione ridotta è stata inclusa a scopo divulgativo, per esempio per scuole o mezzi di informazione, o per dare una breve spiegazione del significato dei numeri della scala a un pubblico che non comprenderebbe appieno la versione completa.

Andrebbe oltre lo scopo di questa introduzione discutere tutti i "se" e i "ma" che inevitabilmente sono sorti durante il processo di aggiornamento sia della EMS-92 che della EMS-98. Si è reso necessario, in ogni fase del lavoro, trovare il giusto equilibrio tra la desiderata coerenza della versione aggiornata con la scala originale e le varie, eccellenti idee, per il miglioramento della scala stessa, che andavano oltre l'obiettivo definito per le attività del GdL. Alcuni di questi aspetti sono menzionati nella sezione Linee Guida e Materiale di Supporto (per esempio, il problema

della correlazione dell'intensità con parametri dello scuotimento). Altri potrebbero essere soggetto di ulteriori approfondimenti. Uno di essi sarà senza dubbio l'introduzione di procedure formalizzate (o algoritmi) per la valutazione computerizzata dell'intensità macrosismica. Deve essere sottolineato che non era obiettivo del GdL creare tali algoritmi – ma solo creare una base per essi, cioè di presentare definizioni aggiornate, chiare, qualitative e descrittive di cosa dovrebbero realmente significare le diverse intensità.

L'intero processo per compilare prima l'EMS-92 e, alla fine l'EMS-98, è andato avanti per quasi dieci anni includendo anche lunghi intervalli, essenziali per fare ulteriori nuove esperienze. La versione attuale dell'EMS dovrebbe rappresentare uno stadio finale, risultato di queste attività di aggiornamento della scala. Ulteriori esperienze di macrosismica potrebbero consentire una maggiore comprensione dei complicati meccanismi dell'assegnazione delle intensità. Applicazioni o bisogni futuri potrebbero dare indicazioni per ulteriori miglioramenti di questo nuovo strumento nella pratica sismologica ed ingegneristica per classificare gli effetti dei terremoti sulle persone, sugli oggetti nell'ambiente o sugli edifici come elementi essenziali della società.

# SCALA DELL'INTENSITÀ MACROSISMICA

## Classificazione usata nella Scala Macrosismica Europea (EMS)

### Suddivisione delle strutture (edifici) in classi di vulnerabilità (Tavola di Vulnerabilità)

	TIPO DI STRUTTURA	Classi di Vulnerabilità										
		A	B	C	D	E	F					
MURATURA	ciottoli, pietre naturali							○				
	adobe (mattoni in terra cruda)							○	—			
	a conci (pietra semplice sbazzata)							○	—			
	a blocchi lapidei squadriati							○	—			
	non armata, con elementi di pietra lavorata o blocchetti							○	—			
	non armata, con solai in cemento armato armato o confinata							○	—			
CEMENTO ARMATO (CA)	strutture a telaio senza progettazione antisismica (PA)							○	—			
	strutture a telaio con moderato livelli di progettazione antisismica PA							○	—			
	strutture a telaio con alto livello di PA							○	—			
	strutture a pareti senza PA							○	—			
	strutture a pareti con moderato livello di PA							○	—			
	strutture a pareti con alto livello di PA							○	—			
ACCIAIO	strutture in acciaio							○	—			
LEGNO	strutture in legno							○	—			

○ Classe di vulnerabilità più probabile; — gamma possibile; .....gamma di casi meno probabili o eccezioni

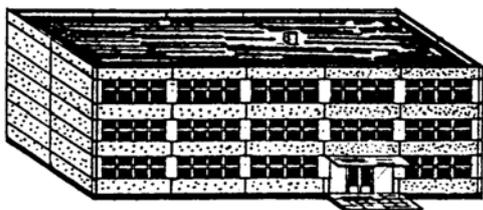
Le tipologie delle strutture in muratura devono essere intese come, ad esempio, murature a conci; le tipologie delle strutture in cemento armato (CA) devono essere intese come, ad esempio, strutture a telaio in CA o pareti in CA. Vedi sezione 2 delle Linee Guida e Informazioni di base sui Materiali per ulteriori dettagli anche rispetto a come considerare le strutture con progettazione antisismica.

## Classificazione del danno

Nota: Il modo in cui un edificio si deforma sotto il carico di un terremoto dipende dal tipo di struttura. In prima istanza si possono individuare due diverse categorie, l'una che raggruppa gli edifici in muratura e l'altra gli edifici in cemento armato.

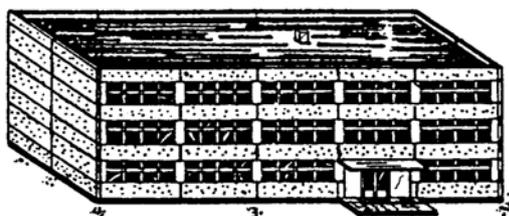
Classificazione del danno a edifici in muratura	
	<p><b>Grado 1: Danno da trascurabile a leggero</b> (nessun danno strutturale, leggero danno non strutturale) Crepe capillari su pochissimi muri. Caduta di piccoli pezzi di intonaco. Caduta di pietre non fissate dalla parte superiore degli edifici in pochissimi casi.</p>
	<p><b>Grado 2: Danno moderato</b> (leggero danno strutturale, moderato danno non strutturale) Lesioni in molti muri. Caduta di pezzi di intonaco piuttosto grandi. Parziale collasso di comignoli.</p>
	<p><b>Grado 3: Danno da sostanziale a grave</b> (moderato danno strutturale, grave danno non strutturale) Lesioni larghe diffuse sulla maggior parte dei muri. Tegole si staccano. Comignoli si frantumano alla base; cedimento di singoli elementi non strutturali (tramezzi, cornicioni).</p>
	<p><b>Grado 4: Danno molto grave</b> (grave danno strutturale, danno non strutturale molto grave) Importanti cedimenti dei muri; parziale cedimento strutturale di tetti e solai.</p>
	<p><b>Grado 5: Distruzione</b> (danno strutturale molto grave) Collasso totale o quasi totale.</p>

## Classificazione del danno a edifici in cemento armato



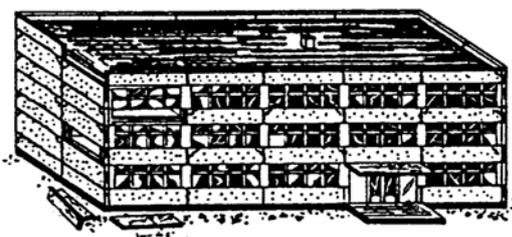
**Grado 1: Danno da trascurabile a leggero  
(nessun danno strutturale,  
leggero danno non strutturale)**

Crepe sottili nell'intonaco sopra elementi dell'intelaiatura o nei muri alla base.  
Crepe sottili nei tramezzi e nelle tamponature.



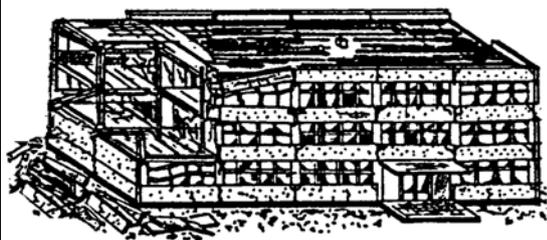
**Grado 2: Danno moderato  
(leggero danno strutturale, moderato danno non strutturale)**

Lesioni nei pilastri e nelle travi delle strutture a telaio e nelle pareti portanti.  
Lesioni in tramezzi e tamponature; caduta di rivestimenti esterni ed intonaco. Malta cade dai giunti dei pannelli murari.



**Grado 3: Danno da sostanziale a grave  
(moderato danno strutturale,  
grave danno non strutturale)**

Lesioni alla base dei pilastri e nei nodi delle strutture a telaio; lesioni alle intersezioni delle pareti accoppiate. Espulsione del copriferro, instabilità delle barre dell'armatura.  
Larghe lesioni in tramezzi e tamponature, cedimento di singoli pannelli.



**Grado 4: Danno molto grave  
(grave danno strutturale,  
danno non strutturale molto grave)**

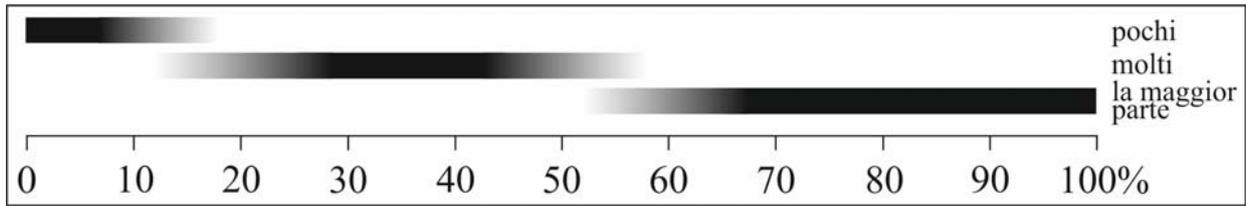
Larghe lesioni in elementi strutturali con cedimento a compressione del cemento e rottura di barre d'armatura; sfilamento delle barre di armatura; inclinazione dei pilastri. Collasso di alcuni pilastri o di un singolo piano alto.



**Grado 5: Distruzione  
(danno strutturale molto grave)**

Collasso del piano terra o di parti (es. ali) di edifici.

## Definizione delle quantità



## Definizione dei gradi di intensità

### Organizzazione della scala:

- (a) Effetti sulle persone.
- (b) Effetti sugli oggetti e sull'ambiente  
(effetti sul terreno e cedimenti del terreno sono trattati in modo particolare nella Sezione 7).
- (c) Danni agli edifici.

### Osservazioni introduttive:

I singoli gradi d'intensità possono anche comprendere gli effetti relativi a gradi d'intensità inferiori, anche se questi effetti non sono menzionati esplicitamente.

### I. Non avvertito

- (a) Non avvertito, anche sotto le circostanze più favorevoli.
- (b) Nessun effetto.
- (c) Nessun danno.

### II. Poco avvertito

- (a) Il tremore è avvertito solo in particolari circostanze isolate (< 1%) da individui a riposo e in posizioni particolarmente ricettive all'interno.
- (b) Nessun effetto.
- (c) Nessun danno.

### III. Debole

- (a) Il terremoto è avvertito all'interno da poche persone. Persone a riposo avvertono una oscillazione o leggero tremore.
- (b) Oggetti appesi oscillano leggermente.
- (c) Nessun danno.

#### **IV. Ampiamente avvertito**

- (a) All'interno il terremoto è avvertito da molti, all'esterno solo da pochissimi. Poche persone vengono svegliate. Il livello della vibrazione non spaventa. La vibrazione è moderata. Osservatori avvertono un leggero tremore o oscillazione dell'edificio, stanza o letto, sedia ecc.
- (b) Oggetti in porcellana, bicchieri, finestre e porte tremano. Oggetti appesi dondolano. In alcuni casi la mobilia leggera trema visibilmente. In alcuni casi i manufatti in legno scricchiolano.
- (c) Nessun danno.

#### **V. Forte**

- (a) All'interno il terremoto è avvertito dalla maggior parte, all'esterno da pochi. Alcune persone sono spaventate e corrono all'esterno. Molte persone che dormono si svegliano. Osservatori avvertono una forte scossa o un dondolio dell'intero edificio, stanza o mobilia.
- (b) Gli oggetti appesi oscillano considerevolmente. Porcellane e vetri tintinnano. Piccoli oggetti pesanti e/o su un supporto in equilibrio precario potrebbero essere spostati o cadere. Porte e finestre si spalancano o sbattono. In alcuni casi i vetri delle finestre si rompono. I liquidi oscillano e potrebbero versarsi da contenitori ben riempiti. Gli animali in casa potrebbero agitarsi.
- (c) Danni di grado 1 ad alcuni edifici di classi di vulnerabilità A e B.

#### **VI. Leggermente dannoso**

- (a) Avvertito dalla maggior parte delle persone all'interno, da molte all'esterno. Alcune persone perdono l'equilibrio. Molti si spaventano e corrono all'esterno.
- (b) Piccoli oggetti normalmente stabili potrebbero cadere; e mobili potrebbero muoversi. In pochi casi piatti e oggetti di vetro si potrebbero rompere. Animali domestici potrebbero essere spaventati (anche all'esterno).
- (c) Danni di grado 1 sostenuti da molti edifici di classi di vulnerabilità A e B; alcuni di classe A e B soffrono danni di grado 2; alcuni di classe C soffrono danni di grado 1.

#### **VII. Dannoso**

- (a) La maggior parte delle persone è spaventata e cerca di correre all'esterno. Molti non riescono a stare in piedi, specialmente ai piani alti.
- (b) I mobili si spostano e quelli meno stabili potrebbero cadere. Molti oggetti cadono dagli scaffali. L'acqua schizza fuori da contenitori, cisterne e piscine.
- (c) Molti edifici di classe di vulnerabilità A subiscono danni di grado 3; pochi di grado 4. Molti edifici di classe di vulnerabilità B subiscono danni di grado 2; pochi di grado 3. Pochi edifici di classe di vulnerabilità C subiscono danni di grado 2. Pochi edifici di classe di vulnerabilità D subiscono danni di grado 1.

## **VIII. Fortemente Dannoso**

- (a) Molti non riescono a stare in piedi persino all'aperto.
- (b) I mobili potrebbero rovesciarsi. Oggetti come televisori, macchine da scrivere ecc. cadono a terra. Lapidi potrebbero occasionalmente essere spostate, girate o capovolte. Potrebbero apparire ondulazioni su terreni soffici.
- (c) Molti edifici di classe di vulnerabilità A subiscono danni di grado 4; pochi di grado 5.  
Molti edifici di classe di vulnerabilità B subiscono danni di grado 3; pochi di grado 4.  
Molti edifici di classe di vulnerabilità C subiscono danni di grado 2; pochi di grado 3.  
Pochi edifici di classe di vulnerabilità D subiscono danni di grado 2.

## **IX. Distruttivo**

- (a) Panico generale. Persone potrebbero venire scaraventate a terra.
- (b) Molti monumenti e colonne cadono o si girano. Si osservano ondulazioni su terreni morbidi.
- (c) Molti edifici di classe di vulnerabilità A subiscono danni di grado 5.  
Molti edifici di classe di vulnerabilità B subiscono danni di grado 4; pochi di grado 5.  
Molti edifici di classe di vulnerabilità C subiscono danni di grado 3; pochi di grado 4.  
Molti edifici di classe di vulnerabilità D subiscono danni di grado 2; pochi di grado 3.  
Pochi edifici di classe di vulnerabilità E subiscono danni di grado 2.

## **X. Molto Distruttivo**

- (c) La maggior parte degli edifici di classe di vulnerabilità A subiscono danni di grado 5.  
Molti edifici di classe di vulnerabilità B subiscono danni di grado 5.  
Molti edifici di classe di vulnerabilità C subiscono danni di grado 4; pochi di grado 5.  
Molti edifici di classe di vulnerabilità D subiscono danni di grado 3; pochi di grado 4.  
Molti edifici di classe di vulnerabilità E subiscono danni di grado 2; pochi di grado 3.  
Pochi edifici di classe di vulnerabilità F subiscono danni di grado 2.

## **XI. Devastante**

- (c) La maggior parte degli edifici di classe di vulnerabilità B subiscono danni di grado 5.  
La maggior parte degli edifici di classe di vulnerabilità C subiscono danni di grado 4; molti di grado 5.  
Molti edifici di classe di vulnerabilità D subiscono danni di grado 4; pochi di grado 5.  
Molti edifici di classe di vulnerabilità E subiscono danni di grado 3; pochi di grado 4.  
Molti edifici di classe di vulnerabilità F subiscono danni di grado 2; pochi di grado 3.

## **XII. Completamente devastante**

- (c) Tutti gli edifici di classe di vulnerabilità A, B e praticamente tutti quelli di classe di vulnerabilità C vengono distrutti. La maggior parte degli edifici di classe di vulnerabilità D, E e F vengono distrutti. Gli effetti del terremoto hanno raggiunto i massimi risultati concepibili.

# LINEE GUIDA E MATERIALE INFORMATIVO

## 1 Assegnazione dell'intensità

### 1.1 *La natura dell'intensità*

Come affermato nell'introduzione a questa scala, l'intensità è qui definita come una classificazione della severità dello scuotimento del suolo, sulla base di effetti osservati in un'area limitata. Le scale d'intensità e lo stesso concetto d'intensità hanno subito un'evoluzione nel corso di questo secolo: a partire da una classificazione puramente gerarchica degli effetti si è cercato, a poco a poco, di fare evolvere l'intensità come uno strumento - approssimativo - per misurare lo scuotimento; o per lo meno è stata usata in questo modo.

Ne consegue che una scala d'intensità è in qualche modo simile a uno strumento semplificato, nel senso che consente la riduzione di una descrizione complessa degli effetti di un terremoto, a un singolo simbolo (di solito un numero). Descrivere l'intensità in questo modo è utile per chiarire le limitazioni del concetto. L'intensità è descrittiva come un resoconto in prosa, piuttosto che analitica come una misurazione strumentale. L'intensità è in grado di analizzare e interpretare; è quindi un parametro molto utile e il suo uso va oltre quello che potrebbe essere fatto con una semplice raccolta di descrizioni. Ma la sua natura elementare deve essere tenuta bene in considerazione dall'utilizzatore così da non sovraccaricare il concetto con aspettative irraggiungibili.

Qualsiasi scala d'intensità consiste in una serie di descrizioni degli effetti dei diversi livelli di scuotimento dovuti ad un terremoto su di un campione di oggetti che si possono trovare in un ambiente comune. Questi oggetti possono essere considerati come "sensori", poiché la loro reazione allo scuotimento viene usata per misurare la forza dello scuotimento stesso. Tuttavia gli oggetti non sono elementi di uno speciale equipaggiamento che devono essere messi in opera dal ricercatore; questi sensori fanno parte dell'ambiente quotidiano, e quindi sono estremamente comuni. Questo è uno dei grandi vantaggi dell'intensità come strumento: non c'è bisogno di alcuna apparecchiatura per misurarla. I sensori che sono stati storicamente usati nelle scale d'intensità possono essere suddivisi in quattro gruppi:

*Esseri viventi* - persone e animali. All'aumentare dell'intensità un numero crescente di persone o animali (a) avvertono lo scuotimento, e (b) si spaventano.

*Oggetti comuni* - All'aumentare dell'intensità un numero crescente di comuni oggetti domestici (stoviglie, libri, ecc.) iniziano a vibrare (oscillare) e cadono.

*Edifici* - All'aumentare dell'intensità il danno agli edifici diventa più severo.

*L'ambiente naturale* - All'aumentare dell'intensità aumenta la probabilità di effetti come crepe sugli argini, caduta di massi e così via.

La Scala Macrosismica Europea (EMS-98) si concentra principalmente sui primi tre di questi quattro gruppi. Il quarto è considerato meno attendibile, come viene spiegato nella Sezione 7.

Qualsiasi effetto particolare su uno di questi sensori può essere considerato un diagnostico. Per esempio “alcune persone si spaventano e cercano di correre all’esterno” è una reazione particolare di uno dei possibili sensori (persone), ed è considerato dalla scala d’intensità come diagnostico del grado 5. La descrizione di un grado d’intensità raggruppa molti di questi diagnostici, che sono considerati dagli autori della scala come rappresentativi della forza dello scuotimento.

Quando l’utente della scala ha raccolto tutti i dati descrittivi disponibili per un dato luogo e per un dato terremoto, per valutare l’intensità avvertita in quel luogo deve confrontare i dati con i gruppi di diagnostici contenuti nella scala, e decidere quale di essi si adatta meglio. Questo è il modo più semplice di come si usa una scala per assegnare l’intensità.

La scala EM-98 riconosce la natura statistica dell’intensità, ovvero che in qualsiasi luogo è probabile che un certo effetto venga osservato solamente in un certo numero di casi, la cui entità fornisce un’indicazione sulla severità dello scuotimento. Scale precedenti descrivevano solo gli effetti, senza le quantità, significando implicitamente il fatto che lo stesso effetto fosse universale su tutti i sensori quando l’intensità raggiungeva quel valore.

## **1.2      *La struttura della scala d’intensità EM-98***

La scala d’intensità EM-98, come la scala MSK che l’ha preceduta, è parte di una famiglia di scale d’intensità che derivano dalla scala a dieci gradi di De Rossi e Forel, semplice e largamente usata: questa fu modificata da Mercalli, successivamente ampliata a dodici gradi da Cancani e quindi pienamente definita da Sieberg come la scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS). E’ questa scala che rappresenta il punto di partenza non solo della scala MSK/EM-98, ma anche delle numerose versioni della scala “Mercalli Modificata”. La maggior parte di queste scale a dodici gradi sono all’incirca equivalenti l’una all’altra in valori reali. Esse variano nel grado di complessità impiegato nella formulazione.

La maggiore differenza tra la scala EM-98 e le altre scale d’intensità è nei dettagli con i quali all’inizio vengono definiti i diversi termini usati, in particolare, i tipi di costruzione, i gradi e l’entità del danno, che ora sono considerati individualmente. Inoltre, la Scala Macrosismica Europea è la prima scala di intensità con illustrazioni. I disegni mostrano in modo grafico e preciso il significato dei diversi livelli di danno e le fotografie di esempio nella Sezione 5 possono essere usate sul campo come confronto con casi reali di strutture danneggiate. L’uso di queste illustrazioni può far migliorare la standardizzazione dell’utilizzo della scala da parte dei singoli fruitori. Allo stesso modo, l’aggiunta alla scala di queste linee guida (un’altra innovazione) dovrebbe ridurre le ambiguità e chiarire le intenzioni che stanno dietro alla realizzazione della scala stessa.

### **1.2.1      Tipi di edifici e classi di vulnerabilità**

In una scala d’intensità molto semplice tutto il danno agli edifici di un determinato tipo verrebbe raggruppato senza tenere conto della solidità della costruzione danneggiata. Questa caratteristica sarebbe facile da usare, ma potrebbe dare risultati molto fuorvianti in un’area dove sono presenti

tipi di edifici molto diversi. All'estremo opposto si può immaginare una scala d'intensità nella quale sarebbe necessario conoscere i parametri ingegneristici esatti dell'edificio prima di poter valutare la severità della scossa che ha prodotto il danno osservato: in questa circostanza si avrebbero informazioni molto accurate, ma di impossibile utilizzo pratico.

La Scala Macrosismica Europea scende a un compromesso mediante l'utilizzo di una semplice differenziazione della resistenza degli edifici alle scosse generate dai terremoti (vulnerabilità), allo scopo di fornire un metodo robusto per distinguere il modo in cui ciascun edificio può reagire. La Tavola di Vulnerabilità è un tentativo di classificare la solidità delle strutture in modo pratico, prendendo in considerazione sia il tipo di edificio che altri fattori. Questo è un passo avanti rispetto alle scale precedenti che usavano solo il tipo di costruzione come esempio di vulnerabilità.

L'uso di lettere per rappresentare vari tipi di edifici ebbe origine con la versione del 1956 della scala Mercalli Modificata ad opera di Richter, e fu presente anche nella scala MSK del 1964. Questa suddivisione non è basata su un interesse architettonico, ma rappresenta in modo approssimativo diversi livelli di vulnerabilità. Lo stesso grado di scuotimento che distruggerebbe una capanna di argilla cruda (adobe) avrebbe effetti meno severi su un moderno palazzo adibito a uffici ben costruito. E' chiaro però che le condizioni dell'edificio e anche altri fattori, oltre il tipo di costruzione, influiscono sulla sua vulnerabilità.

Gli autori della scala EM-98 hanno ritenuto che i sismologi e gli ingegneri esperti che usavano la scala MSK, stessero già adottando, nella pratica corrente, alcune modifiche non ufficializzate per affrontare aspetti di vulnerabilità che andavano oltre la semplice definizione del tipo di costruzione. Quindi alcune modifiche al trattamento della vulnerabilità dovevano essere introdotte nella scala EM-98 allo scopo di rendere esplicito ciò che veniva già utilizzato nella pratica comune.

Questo viene esplicitato graficamente nella Tavola di Vulnerabilità. Per ogni tipo di costruzione, la Tavola fornisce una linea che mostra la classe di vulnerabilità più probabile ed anche le sue probabili variazioni (rappresentate con linee tratteggiate dove questa è incerta). La posizione lungo questa linea, nelle colonne della vulnerabilità, deve essere trovata prendendo in considerazione altri fattori, quali stato di manutenzione, qualità della costruzione, irregolarità della forma dell'edificio, livello di progettazione antisismica (PA) e così via. Questi aspetti vengono discussi in maggior dettaglio nella sezione 2.

### 1.2.2 Gradi di danno

Anche i gradi di danno rappresentano un compromesso. I gradi da 1 a 5 dovrebbero idealmente rappresentare un incremento lineare dello scuotimento. In realtà ciò avviene solo in maniera approssimata e la loro formulazione è fortemente influenzata dalla necessità di descrivere dei livelli di danno che possano essere facilmente distinti dall'operatore. Si deve notare inoltre che non tutte le possibili combinazioni di classi di vulnerabilità e gradi di danno vengono menzionati per ciascun grado della scala; di solito vengono menzionati solo i due gradi di danno più alti per una data classe di vulnerabilità; si assume che, in proporzione, un certo numero di costruzioni soffrirebbe gradi di danno più bassi (vedi sezione 4.6).

Un punto che non è stato trattato nelle versioni precedenti della scala è che diversi tipi di costruzioni rispondono e collassano in modi diversi. Questo aspetto è stato affrontato nella versione attuale, inserendo casi illustrati di edifici sia in muratura che in cemento armato. La posizione del danno e lo schema di danneggiamento potrebbero anche essere diversi per strutture antisismiche e non.

Deve essere chiara la differenza tra danno strutturale e non strutturale, e distinguere accuratamente tra danno al sistema primario (portante/strutturale) e danno agli elementi secondari (non-strutturali, come tamponature o pareti divisorie). Nel caso speciale di edifici con PA si deve anche distinguere il danno in particolari zone a deformazione plastica (come nelle travi accoppiate in strutture a parete, nei giunti di edifici con pannelli murari prefabbricati o nelle travi in prossimità dei nodi di strutture intelaiate).

E' consigliabile esaminare gli edifici sia dall'esterno sia all'interno, poiché le apparenze esterne possono essere fuorvianti (sebbene a volte sia difficile farlo per ragioni di sicurezza).

Non si dovrebbe prendere in considerazione il danno causato da fenomeni connessi al terremoto, se non la scossa vera e propria. Questi fenomeni comprendono danni da martellamento (causati da edifici adiacenti con separazione insufficiente dall'edificio considerato), frane, cedimenti del pendio e liquefazione.

Di contro, il danno che sembra maggiore del previsto a causa di fattori come condizioni di risonanza, o una forzante sismica che eccede quella prevista dal livello di PA, è di fatto un prodotto diretto dello scuotimento e può essere preso in considerazione come tale.

Nel caso speciale di strutture costruite con PA, la progressione del danno con lo scuotimento può non aumentare linearmente. Questo può essere giustificato dai moderni principi di progettazione che riguardano la performance di strutture in base al terremoto di progetto. In particolare:

- (a) Strutture progettate per resistere a un terremoto di bassa intensità, atteso con un'alta probabilità di occorrenza, dovrebbero sostenere un evento di questo tipo senza danno strutturale, e comunque senza danni che potrebbero influire sulla funzionalità.
- (b) Strutture progettate per resistere a un terremoto di media intensità, atteso con una bassa probabilità di occorrenza, reagiscono al terremoto per cui sono state progettate con leggeri danni non strutturali, e dovrebbero sopravvivere senza perdita di funzione.
- (c) Strutture progettate per resistere a un terremoto di alta intensità e che devono superarlo danneggiandosi ma senza perdita di integrità strutturale e stabilità. Per questo livello di progettazione il danno causato dal terremoto è ammesso, ma non dovrebbe eccedere il grado 3.

In conseguenza di ciò, si potrebbe verificare una saturazione del danno ai gradi 2 e 3. I risultati dei sopralluoghi dei danni potrebbero suggerire, in alcuni casi, di differenziare le classi di vulnerabilità in base all'intensità assegnata, cioè, che strutture costruite con PA tendano ad appartenere a classi di vulnerabilità più alte all'aumentare l'intensità stimata.

Si deve essere consapevoli del fatto che quando si indagano gli effetti dei danni causati da una replica, gli edifici potrebbero essere molto più vulnerabili di quanto lo sarebbero normalmente, a

causa del danno eventuale (anche se non molto visibile) provocato dalla scossa principale. Questo aspetto dovrebbe essere preso in considerazione quando viene assegnata la vulnerabilità.

### 1.2.3 Quantità

L'uso di termini quantitativi (“pochi”, “molti”, “la maggior parte”) fornisce un importante elemento statistico per la scala. E' necessario limitare l'elemento statistico a termini generali, poiché qualsiasi tentativo di presentare la scala come una serie di grafici che mostrano percentuali esatte sarebbe impossibile da applicare in pratica e distruggerebbe la robustezza della scala. Tuttavia definire numericamente questi termini non è molto facile. Se pochi, molti e la maggior parte sono definiti come tre gamme contigue di percentuali (per esempio 0-20%, 20-60%, 60-100%), si può verificare l'indesiderabile effetto che un piccolo aumento percentuale in alcune osservazioni potrebbe, in un caso oltrepassare il valore di soglia e far aumentare l'intensità di un grado, mentre in un altro caso lo stesso incremento non determinerebbe tale aumento e pertanto non avrebbe lo stesso effetto.

Definizioni sovrapposte (0-35%, 15-65%, 50-100%) possono causare problemi di ambiguità per alcuni valori (es. 25%) che si trovano nelle fasce di sovrapposizione; e definizioni più separate (0-20%, 40-60%, 80-100%) causano problemi simili dove un valore può essere indefinito. Per questa versione della scala è stata adottata una soluzione di compromesso usando definizioni leggermente sovrapposte, tuttavia nessuna soluzione è ideale. Nel nostro caso l'obiettivo è stato quello massimizzare la robustezza della scala, e le definizioni di quantità qui presentate dovrebbero essere usate avendo questo obiettivo in mente. La soluzione è stata presentata, deliberatamente in un formato grafico per enfatizzare il modo in cui queste categorie numeriche sono sfumate piuttosto che nitidamente definite.

Nel caso in cui una determinata quantità cada in un'area di sovrapposizione, l'utilizzatore dovrebbe considerare le implicazioni di classificarla in una categoria o nell'altra, valutandone la coerenza con qualsiasi altro dato disponibile per lo stesso luogo.

## 1.3 *Intensità e luogo*

L'intensità è essenzialmente relativa a un luogo, e normalmente può solo essere considerata in riferimento a un luogo specifico: ad esempio “l'intensità di Pienza era 5” (o più correttamente “l'intensità a Pienza era stata stimata come 5”). Dire “l'intensità del terremoto era 8”, con nessuna indicazione del posto, rappresenta un uso improprio (anche se si potrebbe dire che “l'intensità più alta osservata del terremoto era 8”).

E' quindi necessario ordinare i dati per luogo prima di cominciare ad assegnare le intensità. Si deve essere sicuri che (a) tutti i dati da utilizzare in una data valutazione d'intensità provengano dallo stesso luogo, e che (b) tutti i dati disponibili per quel luogo siano stati raggruppati insieme. Laddove i dati consistano in questionari provenienti da singoli individui o da singole osservazioni di campagna, questi dati dovrebbero essere combinati per ciascun luogo al fine di determinare in quante istanze un diagnostico è stato o non è stato osservato.

Il concetto d'intensità ruota intorno all'idea che, per un dato luogo colpito da un terremoto, alcuni livelli di severità dello scuotimento siano tipici di ciò che è stato avvertito. Questo comporta, prima di tutto, che il luogo sia abbastanza grande per ottenere un campione statisticamente significativo, senza essere affetto da peculiarità locali a piccola scala e, secondariamente, che non sia così grande che variazioni locali reali vengano perse nella media.

In sostanza, l'intensità non dovrebbe essere assegnata a un singolo edificio o una strada; né si dovrebbe assegnare una singola intensità a una metropoli o una zona amministrativa (comune o provincia). In circostanze generali, il luogo più piccolo cui assegnare un'intensità non dovrebbe essere più piccolo di un villaggio, e il più grande non più grande di una cittadina europea di medie dimensioni. Quindi è ragionevole assegnare un'intensità, ad esempio al Pireo, ma non all'intera Atene. Non vengono fissate qui delle regole rigide, dato che circostanze individuali influenzeranno l'utilizzatore nel prendere le decisioni in casi particolari.

E' anche desiderabile assegnare valori a località che sono ragionevolmente omogenee, specialmente riguardo i tipi di terreno, altrimenti la gamma degli effetti osservati a seguito delle scosse potrebbe essere molto vasta. Comunque, questo non è sempre attuabile, dipendendo dalla precisione dei dati e da come sono stati raccolti. Nel caso in cui una cittadina presenti aree in cui le condizioni geotecniche siano molto diverse (per esempio, una metà potrebbe essere su una formazione alluvionale e un'altra su una collina/plateau), i valori d'intensità diversi dovrebbero essere valutati indipendentemente per le due parti della città.

#### **1.4 Stabilire il grado**

Le descrizioni sotto ciascun grado della scala d'intensità sono "immagini scritte" ideali degli effetti che ci si potrebbe aspettare a ciascun livello d'intensità. Ogni effetto descritto nella scala potrebbe essere considerato un diagnostico, o una prova, al quale si possono paragonare le osservazioni. Stabilire il grado significa comparare i dati alle descrizioni idealizzate della scala e scegliere quale di queste offre la miglior corrispondenza con quanto osservato.

Non ci si deve aspettare che tutti i diagnostici siano soddisfatti dai dati in ogni caso; per esempio, alcuni potrebbero semplicemente non essere presenti. E' quindi consigliabile adottare un approccio flessibile nel cercare la miglior corrispondenza nella gamma dei dati disponibili, piuttosto che cercare di stabilire formule rigide che dipendono solo da uno o due diagnostici-chiave.

Anche se vi sono elementi di soggettività nell'assegnazione dell'intensità, investigatori esperti raramente troveranno significativi motivi di disaccordo tra di loro. Nella grande maggioranza dei casi la valutazione dell'intensità è ovvia; casi problematici possono essere sempre trovati, ma sono di solito eccezionali. E' impossibile stabilire linee guida per coprire ogni eventualità, ma quanto segue può essere d'aiuto.

Nei casi reali, spesso, i dati disponibili non combaceranno in ogni aspetto con le descrizioni dei gradi d'intensità, pertanto spetterà all'utilizzatore decidere quale grado fornisca la miglior corrispondenza con i dati in suo possesso. Nel fare così, è importante cercare un elemento di coerenza

nei dati complessivi, piuttosto che fare affidamento su un solo diagnostico come metro di misura. E' necessario essere cauti nel dare troppo peso ad una sporadica osservazione estrema, che potrebbe condurre a una sovrastima dell'intensità nel luogo in questione. Per esempio, aver fatto troppo affidamento sul danno come diagnostico ha condotto in passato a sovrastimare le intensità in quei casi in cui danni isolati, persino anomali, sono stati valutati come intensità 6 o più, anche se la massa degli altri dati suggeriva un valore più basso.

Laddove i dati consistono in descrizioni testuali, gli effetti possono essere riportati in termini lontani dal linguaggio dell'intensità. In questi casi può essere utile considerare se il tenore complessivo della descrizione può essere comparato con il carattere generale di un grado della scala d'intensità.

Nei casi dove tutte le costruzioni locali appartengono alla classe di vulnerabilità A, e la maggior parte o tutti gli edifici sono distrutti, non è possibile distinguere tra intensità 10, 11 o 12. Questo è un effetto di saturazione che in pratica non può essere evitato.

A volte non è possibile dare una assegnazione definitiva dell'intensità e si può solo proporre una gamma di valori. Questa situazione è discussa in dettaglio nella Sezione 4.5.

Le fotografie della Sezione 5 possono essere usate come aiuto nella valutazione dei gradi di danno. In più, diversi esempi di assegnazioni d'intensità vengono presentati in Sezione 6, "da dati documentari" e "da dati di questionari". Questi esempi non sono intesi come modelli da seguire rigidamente, ma piuttosto come illustrazioni dei processi di valutazione che possono essere utilizzati.

### **1.5      *Uso di informazioni negative***

Nella stima dell'intensità l'informazione che un dato effetto non abbia certamente avuto luogo è spesso tanto preziosa quanto il fatto che esso si sia verificato, e questi dati non dovrebbero essere trascurati. Per esempio, una descrizione "il terremoto fu spaventoso per gli abitanti di Slavonice ma non ci furono danni di nessun genere" è indicativa che l'intensità non ha raggiunto il grado 6 EMS. Tuttavia, assumere automaticamente che un effetto non sia accaduto, solo perché non è stato riportato, è pericoloso e scorretto, a meno che ci siano specifiche ragioni che giustifichino questa assunzione. Se il rapporto avesse soltanto detto "un terremoto spaventoso a Slavonice", l'incidenza del danno sarebbe stata sconosciuta, a meno che ci fossero state buone ragioni per supporre che, se si fosse verificato del danno, l'autore ne sarebbe stato a conoscenza e l'avrebbe menzionato.

### **1.6      *Deduzioni improprie***

Un punto che deriva dalla natura statistica dell'intensità è che nessun effetto singolo è mai certo. Questo è importante quando si cerca di arrivare ad una conclusione negativa piuttosto che positiva. Per esempio, l'esistenza di un numero di antiche sottili guglie, in una regione particolare, può essere usata per suggerire che l'esposizione complessiva della regione a terremoti passati era abbastanza bassa, ma sarebbe avventato concludere da una singola guglia che un certo valore d'intensità non è mai stato superato nella località durante la vita della guglia stessa.

## **1.7      *Edifici alti e altri casi speciali***

In alcuni casi può non essere consigliabile cercare di usare un certo tipo di dati per assegnare l'intensità. Un caso in particolare si riferisce a osservazioni relative a edifici alti. E' risaputo che la gente ai piani superiori avverte le vibrazioni dovute al terremoto, in modo probabilmente più accentuato di chi sta ai piani inferiori. Sono state suggerite diverse soluzioni su come ridurre l'intensità assegnata di un grado per ogni dato numero di piani, ma queste non hanno mai trovato il favore generale. Inoltre, poiché edifici molto alti sotto il carico di un terremoto possono comportarsi in modo particolare, in relazione alla frequenza dello scuotimento e al tipo di progettazione dell'edificio, l'incremento della severità della scossa con l'altezza può essere irregolare. La pratica raccomandata è di escludere tutte le informazioni provenienti da osservatori siti più in alto del quinto piano quando si assegnano le intensità, anche se in realtà il comportamento di singoli edifici varia considerevolmente, specialmente in funzione della snellezza dell'edificio stesso. In generale, l'utilizzatore dovrebbe essere più interessato agli effetti osservati in circostanze normali piuttosto che in casi eccezionali.

Un caso particolare è quando si dispone solo di informazioni che provengono da edifici alti, perché la scossa era così debole da essere avvertita solo nei piani superiori di queste strutture. Questo tipo di dati è tipico dell'intensità 2.

Così come l'altezza degli edifici, anche la loro simmetria e regolarità influenzano il modo in cui si comportano durante un terremoto (vedi Sezione 2). Questo è particolarmente vero per quanto riguarda il danno e interessa tutti i tipi di edifici, non solo le moderne costruzioni antisismiche. Più il progetto è regolare e simmetrico, meglio l'edificio resisterà alla scossa di terremoto.

Osservazioni di strutture speciali, come fari, torri-radio, ponti, ecc., non dovrebbero essere usate; lo stesso vale anche per edifici monumentali (per esempio cattedrali), per cui si rimanda alla Sezione 3.5. Dati da osservatori sotto terra non si possono facilmente confrontare con osservazioni fatte alla superficie e non dovrebbero essere usati.

## **1.8      *Effetti delle condizioni del terreno***

Nessun tentativo dovrebbe essere assolutamente fatto per ridurre o scartare le assegnazioni di intensità sulla base del fatto che possano essere influenzate dalle condizioni del terreno. L'amplificazione dello scuotimento dovuto alle condizioni del suolo o a condizioni topografiche è parte degli effetti che vengono registrati dall'intensità e parte del pericolo al quale l'ambiente edificato è esposto, e non dovrebbe essere rimosso. Se vengono riportati forti effetti, anomali, in aree alluvionali, distanti da altre aree dove vengono osservati forti effetti, la procedura corretta è quella di assegnare alte intensità come gli effetti meritano. E' quindi possibile interpretare queste alte intensità come dovute all'amplificazione del terreno (sebbene questa potrebbe essere solo una delle tante cause che contribuiscono). Ogni altro approccio contraddice la semplice natura dell'intensità come misura degli effetti osservati di un terremoto.

## **1.9 Notazione**

Le intensità venivano convenzionalmente annotate in numeri Romani, sia per distinguerle più chiaramente dalle magnitudo sia per sottolineare la natura intera della scala. Poiché è scomodo trattare i numeri Romani con il computer, questa convenzione è in un certo senso decaduta. L'uso di numeri Romani o Arabi può essere ora considerato una questione di preferenza.

Esistono anche dei gruppi di simboli convenzionali per rappresentare le intensità, basati su cerchi nei quali una crescente quantità viene riempita per valori di intensità più alti.

## 2 Vulnerabilità

La parola “vulnerabilità” è usata in questa scala per esprimere le differenze nella risposta degli edifici alle scosse di terremoto. Se due gruppi di edifici sono soggetti esattamente allo stesso scuotimento, e un gruppo si comporta meglio dell’altro, si può affermare che gli edifici meno danneggiati avevano una vulnerabilità sismica più bassa di quelli più danneggiati; ovvero si può affermare che gli edifici meno danneggiati erano più resistenti ai terremoti e viceversa. Questo non è necessariamente lo stesso utilizzo che viene fatto del termine “vulnerabilità” in altri contesti. La discussione che segue illustra come il termine viene applicato nella scala, con lo scopo principale di illustrare come si stabilisce una classe di vulnerabilità.

### 2.1 *Vulnerabilità degli edifici nelle scale d’intensità - una prospettiva storica*

Il concetto di vulnerabilità è fondamentale per la costruzione delle moderne scale d’intensità. Il livello di scuotimento richiesto per distruggere una capanna di mattoni di fango mal costruita non è lo stesso di quello richiesto per distruggere un robusto edificio destinato ad uffici; queste differenze devono emergere. Il paragone può essere fatto con gli effetti di una scossa di terremoto su oggetti mobili: una matita appoggiata su una scrivania può rotolare persino con una leggera scossa, mentre la forza richiesta per far cadere una macchina da scrivere sul pavimento è molto maggiore. Il solo indicare che “oggetti vennero spostati” senza nessuna considerazione del tipo di oggetti non offrirebbe una buona distinzione fra le differenti intensità dello scuotimento. Una differenziazione simile è necessaria per gli edifici e il loro danno.

Tale necessità emerse sin dai primi studi per la definizione delle scale d’intensità. Le prime scale, che non facevano distinzione tra tipologie di edifici, erano generalmente concepite per uso in aree geograficamente limitate dove era possibile assumere la presenza di “case medie” senza ulteriori distinzioni. Tali scale, inoltre, non avevano bisogno di considerare aree con numerose costruzioni in cemento armato e acciaio, come i moderni centri urbani. D’altra parte scale più recenti, come la scala Mercalli Modificata nella sua formulazione del 1956 di Richter, o la scala MSK del 1964, che erano destinate ad essere utilizzate in un ambiente edificato moderno ed essere quindi di più generale applicazione, dovettero affrontare questo argomento con cautela. Lo fecero dividendo gli edifici in classi differenti sulla base del tipo di edificio, cioè del materiale da costruzione impiegato per il sistema resistente alle azioni orizzontali. In questo modo il tipo di edificio fu usato come sinonimo di vulnerabilità.

È importante chiarire questo punto: anche se può sembrare che il trattamento esplicito della vulnerabilità nella scala EM rappresenti una innovazione sostanziale, in realtà si pone in continuità con quanto introdotto dalle scale MSK e MM. Esse distinguevano le tipologie di edifici non in base a considerazioni estetiche ma in base al materiale di cui erano costituite, senza fare esplicito riferimento alla vulnerabilità. Ma ci si rese conto da subito che la sola tipologia non era sufficiente. La variazione di resistenza, nell’ambito della medesima tipologia, ha causato numerosi problemi per l’assegnazione dell’intensità. Inoltre, un sistema basato solo sulla tipologia di materiale, risultava poco flessibile nel caso di dovessero aggiungere nuove tipologie di edifici.

## **2.2 Tipi di edifici e la Tavola della Vulnerabilità**

La scala MSK definì classi di edifici dal tipo di costruzione, in un semplice tentativo di esprimerne la vulnerabilità. Nella scala EM si è cercato di definire le classi rappresentando direttamente la vulnerabilità, a prescindere dalla tipologia (materiale). Vengono proposte sei classi di vulnerabilità decrescente (A-F), le prime tre delle quali rappresentano rispettivamente la resistenza di una “tipica” casa “adobe” (realizzata in argilla cruda), di un edificio in mattoni e di una struttura in cemento armato (CA); queste dovrebbero essere compatibili con le classi di edifici A-C nelle scale MSK-64 e MSK-81. Le classi D ed E dovrebbero rappresentare l’andamento, decrescente linearmente, della vulnerabilità come risultato di una migliore progettazione antisismica (PA), ricomprendendo anche strutture ben costruite in legno, in muratura armata o confinata e in acciaio, tutte ben note per essere resistenti alle scosse dei terremoti. Con la classe F si intende rappresentare la vulnerabilità di una struttura con un alto livello di progettazione antisismica, cioè una struttura con la maggiore resistenza ai terremoti.

Per valutare sul campo la vulnerabilità di una struttura ordinaria, il primo passo è, ovviamente, stabilire il tipo di edificio. Questo fornisce la classe di vulnerabilità di partenza. Ogni tipologia di edifici, comunemente presenti in Europa, è individuata da una voce nella Tavola di Vulnerabilità che mostra la più probabile classificazione in termini di classe di vulnerabilità e anche la sua possibile variabilità. I tipi di edifici nella Tavola di Vulnerabilità sono classificati secondo i materiali normalmente incontrati: muratura, CA, acciaio e legno, e saranno discussi in maggior dettaglio di seguito.

Per ragioni di spazio, la lista dei tipi è necessariamente limitata. Si è consapevoli del fatto che la tabella è incompleta e alcuni tipi di edifici (es. adobe, legno) richiederebbero una ulteriore sotto-classificazione. Alcune ipotesi sull’introduzione di nuovi tipi di edifici sono indicate in Sezione 2.5, ma questa è una problematica da affrontare con la dovuta accortezza.

### **2.2.1 Osservazioni generali sulla resistenza ai terremoti**

Nella costruzione della Tavola di Vulnerabilità la principale suddivisione riguarda il tipo di costruzione. Tuttavia, quando si affronta in modo generale l’argomento della resistenza degli edifici ai terremoti, si può anche considerare una progressione in termini di progettazione.

Al livello più basso sono collocati gli edifici senza Progettazione Antisismica (PA) (tali edifici includono costruzioni con un minimo di progetto o del tutto privi). Edifici di questo tipo sono comuni in regioni a bassa sismicità dove non ci sono regole progettuali antisismiche o sono presenti solo come raccomandazioni. Solo edifici di questo tipo sono stati considerati dalle precedenti scale d’intensità.

Al secondo livello ci sono edifici con PA, cioè edifici progettati e costruiti secondo quanto imposto da una normativa sismica. Per questi edifici è stata seguita una certa filosofia di progettazione, inclusi i processi di valutazione della pericolosità, considerando una zonazione collegata a parametri che descrivono le azioni sismiche attese. Edifici di questo tipo si possono trovare in

regioni sismiche dove la progettazione di edifici deve obbligatoriamente tener conto di norme sismiche. Tali edifici possono includere costruzioni in muratura così come edifici in CA o in acciaio. Edifici di questo tipo sono trattati da questa scala per la prima volta.

Al livello più alto si trovano edifici con speciali misure antisismiche, come l'isolamento alla base. Essi si comportano in modo speciale sotto l'azione sismica, e di solito non si danneggiano, a meno che l'isolamento fallisca per qualche motivo specifico. Edifici di questo tipo non possono essere usati per assegnazioni d'intensità.

Strutture progettate che utilizzano moderni sistemi costruttivi, non concepite specificamente per resistere a sollecitazioni orizzontali, possono avere un certo livello di resistenza sismica, dello stesso livello di edifici con Progettazione Antisismica specifica. Inoltre strutture progettate per un'intensa azione del vento possono essere considerate intrinsecamente anti-sismiche. Strutture in legno o muratura ben costruite (seppur senza progetto) possono comportarsi in modo comparabile a edifici con Progettazione Antisismica di classe di vulnerabilità D e, in alcuni casi, addirittura di classe E. Questo può valere anche per edifici ai quali sono state applicate speciali misure di rinforzo (*retrofitting*). In tali casi persino strutture in pietra, con buoni interventi di miglioramento, possono comportarsi ben al di sopra della loro classe di vulnerabilità di partenza.

Si fa notare che, per semplificare, strutture in cemento armato senza PA, e quelle con un basso livello di PA sono raggruppate in un'unica tipologia poiché, generalmente, si comportano in maniera analoga. La tipica (più probabile) classe di vulnerabilità di questi edifici è la C. Questo è stato proposto non tanto per trascurare l'utilità di un basso livello di PA, ma semplicemente per accorpare situazioni numericamente poco rappresentative. Strutture in CA con un basso livello di PA scendono in classe B solo eccezionalmente, mentre strutture simili senza PA possono facilmente essere equiparate alla classe B e, in alcuni casi, addirittura scendere in classe A.

L'importanza degli orizzontamenti, nel determinare le prestazioni di edifici sottoposti ad azione sismica, è stata spesso trascurata in passato, almeno per quanto riguarda gli edifici in muratura. La rigidità dei solai di un edificio o di altri elementi orizzontali spesso gioca un ruolo-chiave nell'assegnare la vulnerabilità di una struttura. Si potrebbe obiettare che sia difficile, se non impossibile, riconoscere dall'esterno quale tipo di solaio o di elemento orizzontale sia presente in un edificio; è infatti molto importante avere la possibilità di esaminare, durante il rilievo, anche l'interno dell'edificio per una corretta valutazione della vulnerabilità.

## 2.2.2 Strutture in muratura

### 2.2.2.1 Pietrame/ciottoli

Queste sono costruzioni tradizionali dove pietre grezze vengono usate come materiale da costruzione di base, utilizzando di solito malta di basso livello, con il risultato costituito da edifici pesanti con bassa resistenza alle azioni orizzontali. Normalmente i solai sono in legno e non forniscono alcuna rigidità orizzontale.

### 2.2.2.2 Adobe/mattoni di terra cruda

Questo tipo di costruzione si trova in molte zone dove sono disponibili le argille adatte per la loro realizzazione. La metodologia di realizzazione delle costruzioni in terra cruda (adobe) varia notevolmente e ciò introduce una certa variabilità nella resistenza di questo tipo di edifici all'azione sismica. Muri costruiti con strati di terra cruda (adobe), senza l'uso di mattoni, sono rigidi e deboli; edifici in mattoni si comportano meglio in base alla qualità della malta utilizzata e, in misura minore, in base alla qualità dei mattoni. Il peso del tetto è uno dei fattori più importanti per il comportamento di tali edifici, costituendo, tetti pesanti, un fattore negativo. Case in terra cruda (adobe), ma con intelaiatura in legno, sono più resistenti e si comportano molto meglio. Tali edifici possono ancora subire danni ai muri, mentre la struttura in legno rimane intatta grazie alla sua maggiore duttilità. In situazioni in cui, nelle case di terra cruda (adobe), manca la connessione tra travi e pilastri in legno, l'incremento di rigidità è meno significativo rispetto ad una intelaiatura perfettamente connessa.

Le tipologie di costruzione, conosciute come “canne e fango”, che si trovano in alcune parti dell'Europa, realizzate con una intelaiatura in legno riempita da materiale misto di argilla, letame, sabbia, paglia, sono simili alle costruzioni in terra cruda/legno (adobe/legno).

### 2.2.2.3 Pietra semplice sbozzata

Questo tipo di costruzione differisce da una costruzione in pietrame in quanto, le pietre utilizzate, hanno subito una qualche lavorazione/regolarizzazione prima di essere poste in opera. Nella costruzione dell'edificio le pietre sbozzate sono disposte secondo alcune tecniche per migliorare la resistenza della struttura, ad esempio usando pietre più grandi per legare i muri nei cantonali. Normalmente questi edifici rientrano nella classe di vulnerabilità B e scendono in classe A solo quando in cattivo stato o se realizzati particolarmente male.

### 2.2.2.4 Blocchi lapidei squadriati

Edifici realizzati con blocchi di pietra molto grossi sono di solito costruzioni monumentali, castelli, grossi edifici civici, ecc. Edifici speciali di questo tipo, come cattedrali o castelli, non vengono normalmente usati per stabilire l'intensità per le ragioni illustrate nella Sezione 2.3.5. Comunque alcune città hanno aree con edifici pubblici di questo tipo che risalgono al XIX secolo e che possono essere usati per stabilire l'intensità. Questi edifici sono di solito molto robusti e ciò spiega la loro basso livello di vulnerabilità (C o perfino D in casi particolarmente ben costruiti).

### 2.2.2.5 Muratura non armata/blocchi in cemento

Questo tipo di edificio, molto comune, è il tipo di struttura normalmente classificata come “B” nell'originale scala MSK alla quale si può fare riferimento per valutare le altre costruzioni. Nell'Eurocode 8 queste costruzioni sono definite come “unità realizzate in pietre manufatte”, pietra artificiale. Essendo molto diffuse, si possono facilmente trovare esemplari in condizioni

talmente cattive che possono rientrare solo in classe A. E' meno probabile trovare esemplari così ben costruiti da rientrare in classe C; questo può essere il caso di grandi complessi costruiti con standard elevati in zone particolarmente ricche o dove è richiesta resistenza ad azioni orizzontali per il vento. In questa tipologia nessuna cura particolare è dedicata agli elementi orizzontali della struttura che, di solito, sono realizzati in legno e quindi molto deformabili.

In generale la vulnerabilità è influenzata dal numero, misura e posizione delle aperture. Aperture grandi, piccoli pilastri tra le aperture, piccoli cantonali, muri lunghi senza muri di controvento perpendicolari contribuiscono a una maggior vulnerabilità dell'edificio. Un problema al quale prestare attenzione è l'uso del sistema di muri a doppio paramento (o muratura a cassetta) che, nel caso le due pareti non fossero ben collegate, potrebbe risultare molto debole e con insufficiente resistenza sismica.

#### 2.2.2.6 Muratura non armata con solai in CA

Sebbene i muri di un edificio siano la parte più evidente per un osservatore, gli elementi orizzontali giocano un ruolo anche più importante nel determinare la resistenza di una struttura alle azioni orizzontali. È per questo che gli edifici con muratura non armata ma con solai in cemento armato, si comportano molto meglio dei normali edifici in mattoni. Dove i muri sono connessi e legati con un diaframma rigido con cordoli d'ambito, si realizza il comportamento "scatolare" che riduce efficacemente il collasso fuori dal piano dei muri, la separazione tra muri ortogonali o l'apertura dei cantonali. Questo miglioramento si realizza solo se il solaio in CA è ben connesso al resto della struttura, il che non sempre si verifica. Nel caso in cui la struttura è ben connessa la classe di vulnerabilità sarà probabilmente C, altrimenti rimane in classe B.

#### 2.2.2.7 Muratura armata e muratura confinata

Sotto questa voce si trovano vari sistemi nei quali è stato fatto uno sforzo significativo per migliorare le prestazioni e la duttilità delle costruzioni in muratura. Nella muratura armata barre o reti di acciaio sono inserite (con malta o intonaco) in fori o tra strati di mattoni, creando un materiale composito che si comporta come un muro o un sistema di muri altamente resistente e duttile. Tali armature sono presenti in direzione orizzontale e verticale. La muratura confinata è costituita da muratura costruita rigidamente tra colonne e travi su tutti e quattro i lati e fornisce un livello di resistenza simile alla muratura armata. I telai non funzionano come elementi a flessione e la muratura non è semplicemente riempimento non strutturale. In certe regioni si sono sviluppati speciali sistemi in cui conci di forme particolari si innestano nelle parti in calcestruzzo ottenendo un comportamento molto efficace. Un altro sistema efficiente è conosciuto come *grouted masonry* (letteralmente muratura riempita), in cui due muri, che costituiscono un involucro interno ed esterno di mattoni, risultano connessi da un nucleo di cemento, armato verticalmente e orizzontalmente. In questo sistema possono sorgere dei problemi se il collegamento è debole e gli involucri in muratura risultano impropriamente connessi. Le prestazioni di tali sistemi dovrebbero essere equivalenti a quelle della muratura armata, sebbene l'esperienza con questo tipo di costruzione sia, al momento, limitata.

### 2.2.3 Strutture in cemento armato

Questo tipo di costruzione, comune nelle città moderne, varia estremamente come aspetto, progettazione e resistenza, e ciò rende difficile dare indicazioni semplici su come vada trattata. Nella Tavola di Vulnerabilità vengono suddivise in base al livello di progettazione anti sismica; i criteri di tale suddivisione sono discussi nella Sezione 2.3.8.

#### 2.2.3.1 Strutture con telai in cemento armato

Il sistema strutturale di edifici con intelaiature in cemento armato consiste in travi e pilastri che formano un telaio e che sono accoppiati da nodi che trasmettono l'azione flettente e tagliante. Telai in cemento armato resistono sia a carichi verticali sia ad azioni orizzontali. Il comportamento dei telai in CA è determinato dal rapporto tra l'altezza del pilastro e la luce della trave così come dalla resistenza e rigidezza delle rispettive sezioni. Pilastri deboli e travi forti indicano un sistema vulnerabile ad azioni orizzontali. Telai in cemento armato sono molto comuni e diffusi ma sono la tipologia di edifici con la più ampia variabilità riguardo la loro resistenza al terremoto. In alcuni casi la vulnerabilità è comparabile a quella di edifici in terra cruda (adobe) o in pietra semplice conducendo a fuorvianti (alte) assegnazioni d'intensità se la classe di vulnerabilità viene assegnata come quella più probabile fornita dalla Tavola di Vulnerabilità, trascurando la possibile distribuzione e i casi eccezionali. La crisi di edifici con intelaiature in CA spesso produce danni particolarmente eclatanti. I danneggiamenti osservati durante i passati terremoti costituiscono esperienza circa i tipici difetti di progettazione e spiegano i motivi per i quadri di danno che si ripetono ad ogni evento. Differenze di rigidezza e resistenza del sistema strutturale rispetto alle direzioni trasversale e longitudinale dovrebbero essere evitate. Come indicazione di debolezza in una direzione (probabilmente longitudinale) il rilevatore può considerare il rapporto tra larghezza e altezza della sezioni dei pilastri e valutare la presenza o meno di efficaci telai trasversali.

Nella maggior parte dei casi il sistema strutturale può essere descritto come telaio in CA con tamponature di riempimento in muratura. La possibile interazione tra telai in CA e i fragili riempimenti possono generare un sistema più vulnerabile. A causa di questa interazione pilastri e nodi sono sottoposti ad azioni addizionali per le quali, generalmente, non sono stati progettati. Se il riempimento ha aperture o ha altre discontinuità, può formarsi il cosiddetto "pilastro tozzo" predisposto ad un cedimento per taglio (lesioni diagonali con snervamento delle armature del pilastro). Questa è una nuova un'indicazione di vulnerabilità e persino dove ci si dovrebbe aspettare un certo livello di progettazione antisismica garantita dalle norme, la reale resistenza tende ad essere inferiore di quella ipotizzabile inizialmente.

Per i telai in CA, ma anche in acciaio e legno, il progetto anti sismico prevede la definizione di un preciso quadro di danneggiamento. Si dovrebbero danneggiare le parti terminali delle travi mentre nessun danno è ammesso sui pilastri o nei nodi trave-pilastro. Purtroppo, e ancora troppo spesso, il danno si verifica, invece, proprio nei pilastri. Se il copriferro si stacca è possibile controllare le staffe e il loro passo, che dovrebbe essere minore in tutte le zone critiche (quelle prossime ai nodi). Questi dettagli sulle armature permettono di capire la qualità della progettazione e il livello di progettazione antisismica finale (reale).

La vulnerabilità sismica di telai in CA è influenzata da tutti i fattori precedentemente menzionati come la regolarità, la qualità dei materiali, l'abilità della manodopera e la duttilità strutturale. I telai in CA sono particolarmente vulnerabili quando presentano discontinuità della rigidezza lungo l'altezza dell'edificio. La presenza di un "piano soffice" può causare il collasso dell'intero edificio e rendere questa tipologia di edifici molto vulnerabile alle azioni orizzontali. Se gli edifici hanno irregolarità nella pianta, il danno sarà concentrato in zone lontane dal centro di rigidezza, ossia risultano danneggiati i pilastri esterni a causa degli effetti torsionali che rendono la struttura più vulnerabile. Tutti gli effetti descritti e i conseguenti quadri di danneggiamento devono essere tenuti in considerazione per assegnare la giusta classe di vulnerabilità.

#### 2.2.3.2 Strutture a pareti in cemento armato

Strutture a pareti in cemento armato sono caratterizzate da elementi portanti verticali che hanno una sezione allungata con un rapporto lunghezza/spessore maggiore di 4 e presentano staffatura con bracci multipli. Se due o più pareti sono connesse da travi di accoppiamento, il sistema strutturale è chiamato a pareti accoppiate; le travi devono fornire la sufficiente duttilità e sono le zone deputate alla dissipazione di energia secondo quanto previsto dai moderni principi di progettazione antisismica. La vulnerabilità è influenzata da larghe aperture, da discontinuità delle pareti e dalla variazione della loro forma geometrica lungo l'altezza dell'edificio così come da eventuali interruzioni al pian terreno (formazione di un piano soffice).

Strutture a pareti in CA sono caratterizzate da una più alta rigidezza rispetto ai telai in CA. Se le pareti non sono posizionate regolarmente e su tutti i lati esterni dell'edificio, effetti torsionali possono contribuire a un cedimento parziale o dell'intero sistema. Irregolarità in pianta o difetti interni dovrebbero essere considerati come serie problematiche, anche se dall'esterno possono risultare non visibili; in tal caso si possono avere casi eccezionali di maggiore vulnerabilità.

Contrariamente ai telai in CA, le pareti in CA tendono a distribuirsi in una gamma più ristretta di classi di vulnerabilità. Secondo la Tavola di Vulnerabilità, casi eccezionali sono limitati alla classe di vulnerabilità B quando manca la progettazione antisismica e sempre eccezionalmente possono scendere in classe C le strutture a parete con progettazione antisismica.

Ci sono diversi sistemi strutturali che sono composti da telai spaziali e pareti strutturali (i cosiddetti sistemi misti) o da un sistema di telai flessibili combinati con pareti concentrate all'interno o simmetricamente disposte in una direzione dell'edificio (i cosiddetti sistemi a nucleo). I sistemi a nucleo sono considerati meno duttili rispetto ai sistemi a telai, ai sistemi a pareti e ai sistemi misti.

#### 2.2.4 Strutture in acciaio

Sotto questa voce si trovano edifici per i quali il principale sistema portante è costituito da telai in acciaio. Attualmente sono pochi i dati disponibili da valutazioni macrosismiche riguardanti

strutture in acciaio, ma comunque indicano, per tali strutture, un alto livello di resistenza ai terremoti. A volte il danno strutturale può essere mascherato da elementi non portanti utilizzati a protezione degli elementi in acciaio quali rivestimenti, pannelli divisorii, o aggiunte in cemento (utilizzate per aumentare la resistenza al fuoco). In situazioni del genere il danno ai nodi dei telai sarà visibile solo dopo la rimozione della copertura protettiva.

Per la definizione del livello di resistenza ai terremoti, e quindi della classe di vulnerabilità più appropriata, occorre prendere in considerazione sia il sistema di controvento, sia il tipo di connessioni utilizzate ai nodi. La duttilità dell'intero sistema è determinata dal sistema di resistenza laterale (cioè dal tipo di intelaiatura e dal tipo di controvento). Per edifici con intelaiatura in acciaio senza speciali misure anti sismiche o senza specifica progettazione antisismica, la classe di vulnerabilità più probabile è la D. Controventi che interessano i pilastri (controventi-K) danno minor resistenza ai terremoti e dovrebbero essere rappresentati da classi di vulnerabilità C. Nella maggior parte dei casi, telai con comportamento flessionale, telai con pareti o nuclei in CA, o telai con controventi eccentrici, ad X o a V, forniscono una buona resistenza alle azioni orizzontali e assicurano un comportamento duttile. La classe di vulnerabilità E può essere considerata la più probabile. Nel caso di specifica progettazione antisismica la classe di vulnerabilità F può essere considerata la più probabile. Le probabili classi di vulnerabilità per strutture con telai in acciaio a comportamento flessionale dipendono dal livello di progettazione antisismica e sono discusse nella Sezione 2.3.7.

### 2.2.5 Strutture in legno

Agli edifici in legno viene dato uno spazio limitato in quanto non si incontrano così spesso nelle aree d'Europa sismicamente più attive. La naturale flessibilità delle costruzioni in legno garantisce un'alta resistenza al danno da terremoto, sebbene questa possa variare considerabilmente in funzione delle condizioni di conservazione. Connessioni mal fissate o presenza di marcescenze del legno possono rendere una casa di legno più vulnerabile; è da notare che, nel caso del terremoto di Kobe del 1995, case tradizionali in legno, presenti in alcune zone della città, si comportarono molto male a causa delle precarie condizioni di manutenzione. Questo è un esempio molto calzante per sottolineare come la vulnerabilità non dipende solo dalla tipologia costruttiva di un edificio.

Il sistema strutturale, che fornisce resistenza alle azioni orizzontali, deve essere considerato attentamente. Se le travi e i pilastri sono collegati da sistemi di connessione poco efficaci (di gesso o altri materiali fragili) o se queste connessioni sono deboli, la struttura va in crisi per il cedimento delle connessioni stesse. Le strutture in legno rientrano tipicamente nella classe di vulnerabilità C, e occorre distinguere le strutture, con telai in legno, appositamente concepite per resistere ad azioni sismiche. La duttilità delle strutture in legno dipende dalla duttilità delle connessioni.

In futuro sarà necessario un approfondimento del modo in cui le strutture in legno sono trattate nella scala. Dovrebbero essere suddivise in gruppi e si dovrebbero descrivere in dettaglio i vari livelli di danno alla stessa maniera in cui è stato fatto per strutture in muratura e in cemento armato.

## **2.3 Fattori che influenzano la vulnerabilità sismica degli edifici**

Numerosi fattori influenzano la vulnerabilità complessiva di una struttura oltre al tipo di costruzione. Questi fattori sono generalmente applicabili a tutti i tipi di strutture, con o senza specifica progettazione antisismica.

### **2.3.1 Qualità dei materiali e abilità manodopera**

Sembra ovvio affermare che un edificio ben costruito è più solido di uno mal costruito, eppure questo concetto non è mai stato preso precedentemente in considerazione nelle scale d'intensità. Il motivo, senza dubbio, è per la difficoltà di definire cosa è "buono" e cosa è "cattivo". Persino lasciare la distinzione di queste condizioni su una base soggettiva è meglio che scartarle completamente. L'uso di materiali di buona qualità e di buone tecniche di costruzione condurrà a un edificio molto più capace di resistere alle scosse rispetto all'uso di materiali scadenti e utilizzati da manodopera non qualificata. Nel caso delle murature la qualità della malta è particolarmente importante, e persino una muratura fatta di pietrame può dar luogo ad un edificio ragionevolmente resistente se la malta è di buona qualità. Scarsa abilità professionale può comprendere sia incuria sia misure per ridurre i costi, come, ad esempio, la scarsa cura nell'esecuzione delle connessioni tra le diverse parti che compongono la struttura. Nel caso di strutture progettate ma poi mal costruite, può accadere che la struttura realizzata in realtà non corrisponda alle condizioni imposte dalla normativa sismica utilizzata.

### **2.3.2 Stato di conservazione**

Un edificio che è stato ben mantenuto conserverà un buon comportamento, come se fosse appena realizzato e secondo quanto previsto in fase di progettazione. Un edificio che è stato lasciato decadere senza manutenzione può essere più debole in maniera significativa e quindi poter perdere almeno una classe di vulnerabilità. È questo il caso di edifici abbandonati o fatiscenti, e anche in quei casi dove c'è un evidente mancanza di manutenzione. Un caso particolare da menzionare è quello di edifici già danneggiati (in genere da una scossa principale e da numerose repliche). Edifici del genere possono comportarsi in modo decisamente scadente, così che una replica, anche relativamente debole, può causare un livello sproporzionato di danno (crollo incluso).

È importante tenere in conto che un edificio può sembrare in buone condizioni perché è stato curato l'aspetto estetico, ma intonaco fresco e gradevole pittura non significano necessariamente che anche il sistema strutturale dell'edificio sia in buono stato.

### **2.3.3 Regolarità**

Dal punto di vista della resistenza ai terremoti, l'edificio ideale sarebbe un cubo nel quale tutte le variazioni interne di rigidità (come i vani scala) fossero disposte simmetricamente. Poiché edifici siffatti sarebbero, dal punto di vista funzionale, non pratici ed esteticamente sgradevoli, in realtà si incontrano situazioni con maggiori o minori variazioni da questa disposizione solo ideale.

Quanto più ci si discosta da regolarità e simmetria, maggiore sarà la vulnerabilità sismica dell'edificio; è spesso possibile osservare, in edifici danneggiati, come l'irregolarità abbia chiaramente contribuito al danno (ad esempio nel crollo di piani soffici).

Secondo quanto previsto dall'attuale normativa (cioè Eurocode 8) gli edifici in fase di progetto sono classificati, riguardo la loro regolarità strutturale, sulla base sia di parametri geometrici (dimensioni, rapporti tra dimensioni) sia in base alle deviazioni globali e locali da una pianta regolare e una regolare forma in elevazione. Queste considerazioni sono ugualmente applicabili a strutture non progettate. La regolarità dovrebbe essere considerata in senso globale, cioè la regolarità è più di una semplice simmetria esterna in pianta e in elevazione. La regolarità, nel senso di questa scala, include sia le caratteristiche proprie di un edificio e, per strutture progettate, anche tutti gli accorgimenti tendenti ad assicurare, fino ad un certo limite, un comportamento semplice e controllato sotto l'azione sismica. Per strutture progettate ci si aspetta che le misure prese per assicurare la regolarità coincidano con le regole di progettazione antisismica.

Irregolarità grossolane sono facili da identificare; per esempio si incontrano spesso edifici con piante disegnate a forma di L o simili che sono quindi soggetti a effetti torsionali che possono incrementare pesantemente il danno subito in caso di sisma.

Non è sufficiente assumere che un edificio soddisfi gli standard di regolarità soltanto per il fatto che esso è simmetrico nelle sue dimensioni esterne. Anche se la pianta è regolare problemi possono sorgere in edifici che hanno una marcata asimmetria nella disposizione di componenti interni con variazioni di rigidità. È importante, sotto questo aspetto, la posizione dei nuclei ascensore e quella delle scale.

Si incontrano spesso casi di edifici nei quali un piano (di solito il più basso) è significativamente più debole degli altri; spesso ciò è dovuto ad ampie aperture, con pilastri che sostengono i piani superiori, ma senza muri. Questi sono conosciuti come piani soffici, e sono spesso soggetti a crolli. Finestre a nastro sul perimetro dell'edificio possono causare simili effetti.

In alcuni casi, edifici che avevano originariamente un buon livello di regolarità, hanno subito modifiche successive che hanno pregiudicato tale regolarità. Per esempio, la conversione del piano terreno di un palazzo in un garage o in un negozio, potrebbe averlo indebolito (creando un piano soffice); l'ampliamento di un edificio rende spesso la pianta meno regolare e introduce variazioni di rigidità e periodo proprio per la struttura complessiva che ne risulta. Vecchi edifici in muratura possono essere stati radicalmente modificati nel corso della loro storia arrivando ad avere piani sfalsati, fondazioni a diversi livelli su un pendio e altre irregolarità del genere.

#### 2.3.4 Duttilità

La duttilità è una misura della capacità di un edificio di sopportare le azioni orizzontali in un intervallo post-elastico, cioè dissipando l'energia del terremoto e localizzando il danno in un'area di propagazione controllata, estesa o limitata, a seconda del tipo di costruzione e del sistema

strutturale. La duttilità può essere una caratteristica propria del tipo di costruzione: edifici in acciaio ben costruiti hanno alta duttilità e quindi resistono bene allo scuotimento sismico rispetto a edifici più fragili, a più bassa duttilità come gli edifici in mattoni. In edifici con progettazione antisismica vengono controllati i parametri dell'edificio che determinano le caratteristiche dinamiche (rigidezza e distribuzione della massa) e, allo stesso tempo, si determinano le zone dove assicurare una corretta dissipazione dell'energia del sisma, controllando l'interazione tra terreno, fondazioni ed elementi strutturali ed evitando concentrazioni locali di danno (fratture).

### 2.3.5 Posizione

In un terremoto la posizione di un edificio può influenzare il suo comportamento rispetto ad altri edifici nelle vicinanze. Nel caso di una schiera di case, quelle in posizione terminale o su un angolo sono spesso le più danneggiate. Quando un lato della casa è ancorato ad un edificio adiacente mentre l'altro non lo è, si genera una irregolarità nella rigidezza complessiva della struttura che causa un maggiore danneggiamento.

Un severo danneggiamento può verificarsi allorché due edifici alti, ma con diversi periodi naturali, si trovano troppo vicini l'uno all'altro. Durante un terremoto potrebbero vibrare con frequenze diverse e collidere l'uno con l'altro causando un effetto chiamato "martellamento". Tale danno non è una misura della reale forza della scossa di terremoto e non deve essere usato quando si assegna l'intensità.

### 2.3.6 Rafforzamento tramite interventi strutturali

Alcuni interventi strutturali, eseguiti su edifici per aumentarne la loro resistenza ai terremoti, hanno come risultato la creazione di un nuovo sistema resistente, in cui gli elementi aggiunti lavorano in combinazione con quelli preesistenti. Le loro prestazioni possono essere radicalmente diverse da quelle di un edificio non modificato. Per esempio se si interviene su vecchie costruzioni fatte di pietrame e si migliorano gli elementi orizzontali rimpiazzando i solai o inserendo cerchiature, si ottiene un incremento delle prestazioni fino alla classe B. Se inoltre si eseguono iniezioni di malta o di resine epossidiche o una placcatura in CA, le prestazioni possono migliorare fino ad arrivare a quelle delle classi assegnate ad edifici con progettazione antisismica.

### 2.3.7 Progettazione Antisismica (PA)

Per gli scopi della scala macrosismica è impossibile fornire una completa classificazione degli edifici con progettazione antisismica che rifletta le differenze presenti nelle diverse normative sismiche nazionali. Correlazioni tra livelli di resistenza ai terremoti secondo norme sismiche di paesi europei o non europei, e le tipiche classi di vulnerabilità fornite, devono essere sviluppate e richiedono una discussione qualificata tra i vari specialisti dei diversi paesi. Funzioni di vulnerabilità per diversi tipi di strutture dovrebbero essere realizzate in base al livello di progettazione antisismica richiesto (compatibile con la norma cogente). Questi livelli possono differire da nazione a nazione. Essi risultano anche non uniformi rispetto al livello e agli scopi che si prefiggono

le varie normative sismiche nazionali, e possono cambiare nel tempo in ogni nazione o regione. La classe di vulnerabilità reale verrà assegnata in accordo al livello finale (reale) di progettazione antisismica, che potrebbe però differire (sebbene sarebbe auspicabile non lo sia) da quello richiesto dalle norme per una serie di motivi.

### 2.3.7.1 Progettazione Antisismica secondo normativa

Assumendo che edifici di una determinata zona sismica “i” siano progettati e costruiti per terremoti di una certa intensità (o per un certo livello di scuotimento) che corrisponde alle condizioni del sito e a quelle del sottosuolo della predetta zona “i”, ne consegue che tali edifici saranno classificati secondo il livello di progettazione antisismica previsto dalla normativa. La progettazione anti sismica è regolata dalle normative sismiche nazionali.

Il livello di progettazione anti sismico può essere distinto sulla base dei parametri di progettazione (intensità, picco di spostamento del terreno, taglio alla base) che sono direttamente correlati alla zona sismica “i”. Quindi, conoscendo il livello di progettazione antisismica previsto dalla norma, è possibile associare tale livello “i” agli edifici progettati nell’area di studio. Si può assumere che gli edifici abbiano un certo tipo di progettazione antisismica “i”, dove “i” esprime sia l’intensità dell’ipotetico terremoto sia la capacità antisismica dell’edificio.

Comunemente, in passato, ogni regione o città era caratterizzata da un solo livello di progettazione antisismica “i”; ma per l’assegnazione dell’intensità è necessario che sia disponibile l’informazione che indica la distribuzione dei siti ove ricadono i singoli edifici. Una regione o una città può essere caratterizzata da diversi tipi di progettazione antisismica “i” se gli attuali edifici sono stati costruiti secondo norme sismiche differenti.

Si possono classificare tre tipi di Progettazione Antisismica “i” come segue:

Tipo PA-L: edifici progettati con un livello basso o minimo di Progettazione Antisismica.

Questo livello è caratterizzato da limiti imposti a determinati parametri strutturali (e in alcuni casi è previsto un metodo semplificato di calcolo). Secondo l’importanza dell’edificio può essere consentito ignorare carichi sismici addizionali. Speciali regole sui dettagli costruttivi (per migliorare la duttilità) non sono previste per questo tipo di edifici. Questo tipo è diffuso in aree a bassa o moderata sismicità. (Comunemente edifici di questo tipo sono progettati per un’intensità 7 o per un coefficiente di taglio alla base di 2-4% g). Edifici progettati senza considerare le azioni orizzontali ma di sufficiente livello di qualità (a causa della loro regolarità e per la qualità della manodopera) sono comparabili a questo tipo di progettazione antisismica. Quindi strutture in CA senza progettazione antisismica e strutture in CA di tipo PA-L sono considerate appartenenti ad un unico gruppo di edifici nella Tavola di Vulnerabilità.

Tipo PA-M: edifici progettati con un livello moderato (migliorato) di Progettazione Antisismica.

Questo livello è caratterizzato dal rispetto delle regole di progettazione. Speciali regole sui dettagli costruttivi (per migliorare la duttilità) sono parzialmente implementate. Ci si può aspettare questo tipo di strutture in aree da moderata ad alta sismicità (comunemente edifici di questo tipo sono progettati per un'intensità 8 o per un coefficiente di taglio alla base di 5-7 % g).

Tipo PA-H: edifici progettati con un livello alto (qualificato) di Progettazione Antisismica.

Per questi edifici la sollecitazione sismica è calcolata con analisi dinamica. Speciali regole sui dettagli costruttivi vengono adottate per assicurare un sistema duttile, dove l'energia sismica si distribuisce su tutta la struttura ed è principalmente dissipata in cerniere plastiche, evitando cedimenti strutturali. Questo tipo di strutture si trovano in aree ad alta sismicità (comunemente edifici di questo tipo sono progettati per un'intensità 9 o per un coefficiente di taglio alla base di 8-12 % g). Questo livello non è comunemente raggiunto o richiesto nei paesi europei, e dovrebbe essere caratterizzato da una migliorata duttilità dei sistemi strutturali e da meccanismi controllati di plasticizzazione come risultato di speciali misure antisismiche (progettazione secondo gerarchia delle resistenze) <sup>(ndr)</sup>.

È verosimile che il livello di progettazione anti sismica sia relativamente uniforme dentro una qualsiasi regione sismica per la quale si deve assegnare l'intensità. Il livello può essere non uniforme quando edifici all'interno di una regione sismica sono stati progettati secondo normative differenti, per esempio dove un vecchio codice è stato aggiornato o interamente rimpiazzato da uno nuovo.

### 2.3.7.2 Importanza

Nello sviluppo delle normative antisismiche l'importanza (valutata in base alla destinazione d'uso) degli edifici progettati deve essere tenuta in conto perché può portare a differenti livelli di progettazione antisismica (PA) per lo stesso tipo di edificio. L'importanza di un edificio è determinata dal numero di occupanti o visitatori, dall'uso dell'edificio (o dalle conseguenze di un'interruzione del suo utilizzo) o dal pericolo per le persone e l'ambiente nel caso di crollo dell'edificio (ad esempio edifici a rischio di incidente rilevante).

La classificazione di importanza non è omogenea ed è anche abbastanza diversa nelle varie normative sismiche europee, ed è tenuta in considerazione (in certe normative, soprattutto quelle precedenti) attraverso la definizione di fattori amplificativi dell'azione sismica (fattori d'importanza). In casi particolari, edifici di maggiore importanza sono progettati per azioni tipiche per zone o classi d'intensità maggiori. Edifici di grande importanza o di più alto rischio potenziale devono essere accuratamente considerati rispetto al livello finale di progettazione. In generale, per questo genere di edifici si deve assumere un livello di progettazione antisismica più alto.

---

<sup>(ndr)</sup> Nota aggiunta alla sola versione italiana: Nelle zone ad alta sismicità, le nuove costruzioni, devono rispettare questi criteri di progettazione; in Italia, ad esempio, sono state costantemente ampliate le zone ad alta sismicità con le nuove Normative Tecniche per le Costruzioni che si sono succedute (Ordinanza PCM 3274 del 2003, NTC 2005, NTC 2008) e quindi sarà sempre maggiore il numero di questo tipo di costruzioni.

### 2.3.7.3 Livello finale (reale) di progettazione antisismica e classe di vulnerabilità

Dopo che il livello compatibile con la normativa è stato determinato, è necessario stabilire il livello appropriato (o reale) di progettazione antisismica e determinare la classe di vulnerabilità. Ciò implica considerazioni sul livello di regolarità, sulla qualità dei materiali impiegati e sul livello di abilità della manodopera dei diversi tipi di edifici e dei sistemi strutturali; inoltre occorre verificare l'adozione di moderni principi di progettazione nell'area di studio. È necessario comparare i livelli di progettazione delle strutture per regioni sismiche con le caratteristiche ideali delle tipologie PA-i espresse in termini di intensità di progettazione (bassa, media alta) o di coefficienti utilizzati per la progettazione stessa anche se relativi ad altre zone. Dovrebbe risultare, nella maggioranza dei casi, che il livello reale di progettazione antisismica sia quello previsto dalla norma; eccezioni saranno le strutture speciali (dove il livello potrebbe essere più alto) e i casi dove la norma non è stata correttamente utilizzata (dove il livello può essere più basso).

La gamma di probabili classi di vulnerabilità nelle Tavola di Vulnerabilità è più o meno un indicatore del livello di progettazione antisismica adottato. Classi di vulnerabilità più alte di C o D sono in pratica limitate a strutture progettate con un certo livello di progettazione antisismica (oppure alcune strutture in legno).

Su questa base il livello reale di Progettazione Antisismica all'interno dell'intervallo previsto dalla scala può essere stabilito come segue:

- per edifici a telaio in CA con PA-L, le classi di vulnerabilità da C a D sono possibili, con C la più probabile;
- per edifici a telaio in CA con PA-M, le classi di vulnerabilità da D a E sono possibili, con D la più probabile;
- per edifici a telaio in CA con PA-H, le classi di vulnerabilità da E a F sono possibili, con E la più probabile;
- per strutture a parete in CA con PA-L, e strutture in acciaio (con elementi a comportamento flessionale) la classe di vulnerabilità D è quella di più probabile assegnazione;
- per strutture a parete in CA e strutture in acciaio (con elementi a comportamento flessionale) con PA-M, le classi di vulnerabilità da D a E sono possibili, con la D più probabile per strutture a pareti in CA e con la E più probabile per strutture in acciaio (con elementi a comportamento flessionale);
- per strutture a parete in CA e strutture in acciaio (con elementi a comportamento flessionale) con PA-H, le classi di vulnerabilità da E a F sono possibili con la E più probabile per strutture a parete in CA e con la F più probabile per strutture in acciaio (con elementi a comportamento flessionale).

Per edifici a telaio in CA senza progettazione antisismica, sono possibili classi di vulnerabilità da B a C, con la C la più probabile. Per edifici a telaio in CA con gravi difetti (come piani soffici, pilastri deboli, mancanza di elementi irrigidenti come tamponature o pareti di taglio) possono essere assegnate classi di vulnerabilità B o persino A.

Per edifici regolari con telai in CA senza progettazione antisismica ma con un certo livello di resistenza alle azioni orizzontali (dovuta a progettazione per azione del vento o a seguito di specifiche verifiche di stabilità), la classe di vulnerabilità D potrebbe essere assegnata in alcuni casi eccezionali.

Per strutture a pareti in CA senza progettazione antisismica sono possibili classi di vulnerabilità da C a D, con la C più probabile. Per pareti in CA con gravi difetti, la classe di vulnerabilità B può essere assegnata in casi eccezionali. È doveroso sottolineare che, nelle strutture a parete in CA, i difetti non portano a così drastici decrementi di vulnerabilità previsti per i telai in CA.

## **2.4 Assegnazione della classe di vulnerabilità**

Quando si valuta la classe di vulnerabilità di una struttura o di un gruppo di strutture, un esame del tipo di costruzione dell'edificio consente di trovare la collocazione corretta sulla Tavola di Vulnerabilità. La decisione su quale classe deve essere assegnata consiste nel mettere in relazione le caratteristiche sopra descritte con la gamma delle possibili classi mostrate sulla Tavola di Vulnerabilità.

Il cerchio mostra la classe più probabile. Se non ci sono particolari aspetti migliorativi o peggiorativi in un edificio, questa è la classe che deve essere assegnata. Una linea continua mostra un probabile intervallo, sia migliorativo sia peggiorativo. In tal caso è possibile classificare l'edificio all'interno di questo intervallo. Una linea tratteggiata mostra l'intervallo di possibile assegnazione in quei casi estremi con molti aspetti migliorativi o peggiorativi, o con sostanziali incrementi di resistenza o pesanti diminuzioni, ed è consentito classificare l'edificio anche all'interno di questo intervallo ma in casi del tutto eccezionali.

Alcuni esempi possono illustrare questo processo.

- (i) Un edificio è in muratura non armata con solai in CA, con un pianterreno debole (piano soffice), mediamente regolare e normalmente costruito. La classe di prima assegnazione sarebbe la C, ma l'edificio non ha vantaggi per bilanciare la significativa debolezza del piano soffice, e quindi deve essere classificato come B, che è dentro il probabile intervallo di vulnerabilità per questo tipo di edificio.
- (ii) Un edificio simile al precedente è semplicemente in muratura non armata. Questo tipo di edificio è normalmente in classe B. La debolezza del piano soffice non è sufficiente per declassarlo in classe A, dato che questa è nella parte estrema della gamma. Se l'edificio fosse anche in cattive condizioni per essere stato non utilizzato e senza manutenzione per alcuni anni, internamente molto irregolare oltre al piano terreno debole, questa combinazione di svantaggi sarebbe sufficiente per portarlo in classe A.

Può spesso succedere che, gli edifici più deboli in qualsiasi gruppo, sono quelli che vengono danneggiati per primi in un terremoto. Comunque, questo non è un motivo valido per declassare

tutti gli edifici di una classe di vulnerabilità automaticamente. In casi dove si hanno solo informazioni sul tipo di edificio (come per esempio con la maggior parte dei resoconti storici, quando a volte persino questa informazione è mancante) si dovrebbe normalmente assegnare la classe di vulnerabilità più probabile, ed impiegare una classe differente solo per risolvere situazioni anomale.

## **2.5 Osservazioni sull'introduzione di nuovi tipi di edifici**

Per usare la scala al di fuori dell'Europa, o in aree europee dove è presente un particolare tipo di edificio, può succedere di non trovare, nella Tavola di Vulnerabilità, quella particolare tipologia. Le seguenti linee guida sintetiche suggeriscono alcune indicazioni su come si potrebbe procedere per la corretta assegnazione della classe. E' consigliabile, comunque, risolvere il problema dell'assegnazione della corretta classe di vulnerabilità coinvolgendo un gruppo di esperti del settore.

Lo scopo fondamentale è paragonare il nuovo tipo di edificio a quelli già trattati e provare a stabilire una equivalenza. Se si ritiene che la tipologia in esame è ugualmente resistente, ma non più resistente, di una normale costruzione in mattoni, allora si può classificare il nuovo tipo essenzialmente in classe B. Se il nuovo tipo di struttura è tale che, per la sua particolare duttilità, non si comporta mai peggio di edifici in mattoni, ma, in alcuni casi in cui la costruzione è molto buona, si comporta significativamente meglio, si può quindi dedurre che il nuovo tipo di edificio sia rappresentato, sulla Tavola di Vulnerabilità, come un cerchio sotto B e una linea che si estende fino a C ma non fino ad A.

La questione è come si debba stabilire tale equivalenza. Idealmente, in un'area dove il nuovo tipo di edificio coesiste con un tipo di edificio già presente nella Tavola di Vulnerabilità, i risultati di una rilevazione di danni potrebbero essere usati per stabilire una classificazione oggettiva. Per esempio, in una città molti edifici in mattoni subiscono danni di grado 2 ma solo alcuni del nuovo tipo subiscono questo grado di danno. L'intensità è valutabile come 7, e l'evidenza indica che il nuovo tipo di edificio è di classe C.

Se questo non è possibile, perché il nuovo tipo di edificio è l'unico tipo di costruzione nell'area, si valuta, in prima approssimazione, l'intensità 6-8 utilizzando altri diagnostici, e quindi, considerando la proporzione di edifici danneggiati, si determina la classe di vulnerabilità corretta.

Se anche questo non è possibile, si potrebbe cercare un'equivalenza su basi teoriche confrontando caratteristiche di duttilità e resistenza, sia degli elementi orizzontali sia di quelli verticali.

Occorre fare attenzione a tipologie di edifici che potrebbero essere considerate costruzioni miste. Un esempio è dato da edifici in legno con un rivestimento esterno in mattoni. In questo caso, se il rivestimento non è ben legato alla struttura, può essere molto debole e facilmente danneggiabile, mentre la struttura in legno rimane duttile e intatta. Tali edifici possono facilmente subire danni non strutturali pur avendo un'alta resistenza al collasso. Edifici con speciali rinforzi, come discusso in precedenza, possono anche presentare casi che sono praticamente non risolvibili.

### **3 Valutazione dell'intensità da documenti storici**

#### **3.1 *Dati storici e documentari***

Il termine “dati storici” è frequentemente usato per indicare descrizioni di effetti di terremoti presenti in documenti storici, cioè fonti scritte precedenti il periodo strumentale (prima del 1900). Va comunque sottolineato che importanti dati macrosismici dello stesso tipo sono disponibili, e usati, per terremoti del XX secolo, e persino per eventi molto recenti.

E' perciò comune considerare insieme come “dati documentari” sia i documenti storici che le moderne testimonianze scritte. Questo termine è qui usato per differenziare le descrizioni di effetti di terremoti scritte per scopi non sismologici, dai dati di questionari raccolti sotto la guida di sismologi. Questi dati devono essere recuperati e interpretati secondo metodi storici senza tener conto se si riferiscono agli anni 1890 o 1980.

Il recupero e il trattamento dei dati documentari richiede cura e competenza, come mostrato da una abbondante letteratura recente. In particolare, lo studioso che elabora dati documentari deve essere consapevole che le informazioni gli sono spesso pervenute dopo un percorso lungo e complesso. E' di grande importanza, pertanto, iniziare considerando il contesto dei dati in termini storici, geografici e letterari.

Si dovrebbe prestare un'attenzione particolare ai seguenti punti:

- (i) Il valore della fonte, considerando il motivo per cui è stata scritta e il contesto in cui la testimonianza è stata prodotta. Qual è la sensibilità della fonte verso i terremoti e altri eventi naturali? (Per esempio, alle intensità più basse, un terremoto ha molto più probabilità di essere registrato su un diario personale che nelle minute di un consiglio comunale).
- (ii) Il contesto nel quale la testimonianza viene scritta, che potrebbe contenere informazioni significative e non dovrebbe essere ignorato. Per esempio un libro può contenere una breve descrizione degli effetti di un terremoto in un capitolo, ma includere in altre parti del volume dettagli che chiariscono queste informazioni. Se la notizia del terremoto venisse estratta isolatamente, queste informazioni qualificanti, che possono essere essenziali, andrebbero perse. Anche la natura del linguaggio è importante, e le informazioni non dovrebbero essere ridotte a un riassunto, perché in tal modo si perderebbero le sfumature dell'originale.
- (iii) La collocazione spazio-temporale dell'informazione. E' molto importante in quanto un approccio non accurato può determinare la duplicazione di terremoti, con dati di un terremoto attribuiti ad un evento differente, o riferiti al terremoto giusto ma nella località sbagliata. In alcuni casi, i dati non possono essere interpretati in maniera univoca rispetto al luogo, al tempo o a entrambi; in questi casi ciò deve essere indicato chiaramente quando i dati vengono mappati.

Questi brevi paragrafi non vanno intesi come una guida esaustiva sulle procedure di indagine storica dei terremoti, che è argomento ampiamente discusso in letteratura.

### **3.2 *Tipi di edifici (classi di vulnerabilità) nelle fonti storiche***

I resoconti storici riportano spesso in dettaglio i danni a particolari edifici monumentali (castelli, chiese, palazzi, torri, colonne e così via). Meno frequentemente riportano gli effetti sugli edifici ordinari, che sono i soli che possono essere usati nell'ambito della scala. Il primo tipo di dati verrà discusso in Sezione 3.5, dato che questi edifici pongono problemi particolari.

Per quanto riguarda gli edifici ordinari, le classi di vulnerabilità di edifici tradizionali rientrano nella maggior parte dei casi in A e B e persino in C e D (strutture in legno). In letteratura si conosce molto poco circa i tipi di edifici in uso in Europa fino al XVII secolo, eccetto il fatto, ovvio, che la gente usava i materiali più a portata di mano, e che più ricco era il proprietario, probabilmente meglio costruita e meglio mantenuta era la sua casa. Ma nel Medioevo, certamente, la maggioranza degli edifici in molte parti d'Europa era fatta di legno, e la transizione ai mattoni o alla pietra fu lunga e, a volte, avvenne solo in modo parziale. Senza informazioni di dettaglio è molto difficile pronunciarsi in maniera affidabile sulla resistenza di queste strutture; non è certo, ad esempio, se le strutture medievali di legno fossero così resistenti come quelle conosciute oggi.

Si possono tuttavia suggerire alcuni metodi per risolvere questo problema. Ad esempio, se si crede che il tipo di edifici in un dato luogo e in un dato periodo fosse di classe di vulnerabilità A o B, è possibile assegnare l'intensità assumendo A, fare una seconda assegnazione assumendo B, e quindi usare l'intervallo di valori dato dalle due assegnazioni. In alternativa potrebbe essere possibile considerare altri fattori culturali: se ci sono evidenze che le strutture più deboli erano localizzate in aree rurali povere piuttosto che in città benestanti, può essere ragionevole assumere una proporzione più alta di classe di vulnerabilità A nei villaggi e B nelle città. La nozione che le prime strutture ad essere danneggiate sono probabilmente quelle in peggiori condizioni, potrebbe anche aiutare a risolvere certe situazioni (ma non dovrebbe essere usata acriticamente o automaticamente).

### **3.3 *Numero totali totale di edifici***

Allo scopo di assegnare l'intensità usando la percentuale di edifici danneggiati, è necessario conoscere non solo quanti edifici furono danneggiati, ma anche quanti non lo furono. Le fonti di dati che descrivono i danni non riportano sistematicamente (o spesso) questo tipo di informazione. Tuttavia, informazioni sul numero totale di edifici in una località possono spesso essere spesso ottenute con successo investigando altro genere di fonti, come studi demografici, lavori topografici, dati di censimento e così via.

In alcuni casi, cifre affidabili possono essere reperite senza difficoltà. Più frequentemente è necessario fare uso di estrapolazioni basate su dati sulla popolazione con varie assunzioni e correlazioni. Queste cifre conterranno alcune incertezze di cui si dovrà tenere conto quando si valuterà l'intensità, e spesso condurranno a stime incerte ma comunque utili.

Una ulteriore complicazione è rappresentata dal fatto che le cifre disponibili possano riferirsi al territorio circostante una cittadina, inclusi alcuni villaggi, frazioni e case isolate, sebbene il testo suggerisca che è la città stessa che viene descritta. Le descrizioni dei danni possono avere lo stesso problema. Indipendentemente dal fatto che questo problema possa essere risolto o meno per circostanze peculiari, è bene riconoscere che tale situazione può condurre a interpretazioni errate di +/- 1 grado. In questi casi è probabilmente più ragionevole assegnare intervalli d'intensità come 7-8, ecc.

### **3.4      *Qualità delle descrizioni***

A seconda della loro natura, i documenti che riportano gli effetti dei terremoti si concentrano spesso sugli effetti più rilevanti o che fanno più notizia, con esclusione di tutti gli altri dettagli. Il silenzio di una fonte riguardo gli effetti minori può essere dovuto ad un certo numero di fattori e non può essere usato come prova che nulla accadde oltre a quanto descritto. Allo stesso modo non sono valide neanche le assunzioni opposte: per esempio, ha poco senso fare estrapolazioni del tipo “se il campanile è crollato, allora la maggioranza degli altri edifici deve aver subito almeno danni minori”. Il solo modo di migliorare i dati è di effettuare ulteriori indagini (e questo può semplicemente anche non avere successo). Informazioni prodotte alcuni giorni, settimane, o persino mesi dopo il terremoto, dalla stessa o da altre fonti, possono essere illuminanti, fornendo nuovi dati sui danni oppure indizi indiretti degli effetti. Per esempio, l'indicazione che in una località, dopo un terremoto, la vita continua come sempre - la gente vive e lavora ancora nelle proprie case, il consiglio cittadino si riunisce come al solito, i servizi religiosi continuano - può essere considerata in contraddizione con una descrizione di danni che porterebbe a credere ad una intensità 9.

Se i dati sono ancora scarsi dopo aver tentato tutte le strade, devono quindi essere presi per quello che sono e valutare l'intensità con un intervallo di incertezza che rappresenta di fatto la scarsità dei dati. Una buona procedura è di conservare comunque note su come si giunge alle decisioni.

### **3.5      *Danni agli edifici monumentali***

I danni agli edifici monumentali sono di solito meglio rappresentati nelle fonti documentarie rispetto ai danni agli edifici ordinari, per due buone ragioni:

- (i) Per gli autori dei resoconti questi edifici sono più importanti a causa del loro valore sociale, economico, simbolico o culturale.
- (ii) La complessità strutturale e non strutturale di questi edifici è tale che essi hanno una maggior probabilità di venire danneggiati rispetto agli edifici ordinari, anche se costruiti meglio.

Ad esempio, questo accade quando piccole decorazioni architettoniche si staccano dalle chiese durante una scossa di terremoto generalmente al di sotto della soglia di danno. Si dovrebbe stare attenti a non sovrastimare l'intensità in seguito a tali effetti.

Gli edifici monumentali sono di solito elementi unici, e in una data località possono essere presenti solo alcuni di questi edifici. E' quindi impossibile usare questi dati in modo statistico, come richiede la scala. Questi dati devono essere quindi maneggiati con cura, complementari ad altre evidenze (se disponibili). Se sono disponibili soltanto dati di questo genere, si dovrebbero usare intervalli d'intensità per indicare l'incertezza.

In alcuni casi, dove sono disponibili descrizioni molto dettagliate dei danni a un edificio che è ancora in piedi, e che può essere studiato, o sul quale ci sono notizie accurate, si possono trarre conclusioni utili allo scuotimento del terremoto attraverso analisi specialistiche.

## **4 L'uso delle scale di intensità**

Tradizionalmente l'uso delle scale d'intensità si basa principalmente su questionari per il rilevamento e su sopralluoghi che vengono fatti immediatamente dopo un terremoto. Con l'aumentato interesse per i terremoti del passato a partire dalla metà degli anni 70 del secolo scorso, c'è stato un crescente uso delle scale come strumento da applicare a documenti di natura molto eterogenea. Inoltre, è sempre più comune, per ingegneri e pianificatori, utilizzare l'intensità come parte di un approccio a strumenti predittivi per stimare perdite in caso terremoti futuri. Il presente documento è inteso come un contributo sull'uso generale della scala EM-98 e non come un manuale completo di macrosismica. Tuttavia alcuni punti possono essere utilmente richiamati nel contesto attuale.

### **4.1 Intensità osservate e intensità estrapolate**

L'intensità, come descritta in queste linee guida, si riferisce interamente a un parametro derivato da dati di osservazione. Si deve ricordare che occasionalmente si incontrano valori d'intensità che non sono stati prodotti da osservazioni in un luogo, ma derivano da estrapolazioni o interpolazioni di dati provenienti da altri luoghi. Questo avviene comunemente nei cataloghi dei terremoti, nei quali i compilatori hanno estrapolato i valori osservati per calcolare una intensità presunta, esattamente all'epicentro del terremoto.

Una discussione di queste procedure va oltre lo scopo di queste linee guida; tuttavia sarebbe utile che tutti i valori d'intensità citati che non derivano direttamente da osservazioni reali, fossero chiaramente distinti come tali.

### **4.2 Correlazioni con i parametri del moto del suolo**

Sono stati fatti molti tentativi per correlare l'intensità con specifici parametri fisici del moto del suolo, in particolare l'accelerazione di picco. Alcune delle prime scale includevano effettivamente valori equivalenti di accelerazione di picco come parte integrante della scala stessa. Se da un lato è innegabile che gli effetti osservati, dai quali si deducono valori di intensità, sono un prodotto dei parametri reali del moto del suolo, dall'altro è noto che la relazione tra di loro è complessa e non si presta a correlazioni semplici. La relazione fra intensità e accelerazione di picco mostra tipicamente una dispersione molto ampia, tale da rendere i valori previsti di significato limitato (sebbene la dispersione potrebbe essere ridotta usando accelerazioni spettrali).

Per questa ragione non è stato fatto qui nessun tentativo per includere una tabella comparativa tra intensità e i parametri del moto del suolo, come l'accelerazione. Questo argomento rappresenta un'area di ricerca ancora attiva.

### **4.3 Correlazione con altre scale macrosismiche**

In linea di principio non si dovrebbe cercare di convertire valori d'intensità da una scala macrosismica a quelli di un'altra utilizzando una formula o una tabella di conversione, sebbene molte

di queste tabelle siano state pubblicate. I dati invece dovrebbero essere nuovamente valutati, usando la scala nella quale devono essere espressi i risultati. Questo, in pratica, è spesso difficile o impossibile, e si finisce con l'applicare alcuni tipi di fattori di conversione.

L'esperienza mostra che comparare scale d'intensità diverse non è per nulla semplice, dato che, spesso, i valori di intensità variano di più tra due utilizzatori che applicano la stessa scala, che nel caso di uno stesso utilizzatore che passi da una scala ad un'altra. Questo è particolarmente vero per le principali scale a dodici gradi a causa della loro essenziale similarità nelle caratteristiche principali. Se si tenta una valutazione comparativa, si finisce per mettere in luce piccole differenze in modo molto letterale, usando la scala non secondo la procedura normale, invalidando il test: tale comparazione è pertanto non praticabile. Diversamente, si usino le scale in un modo più naturale e flessibile e qualsiasi differenza scompare nell'interpretazione.

Nella maggior parte dei casi non ci dovrebbero essere difficoltà nella conversione tra valori MSK e EMS, e si può assumere l'equivalenza del sistema  $MSK=EMS$ . La differenza più probabile è che alcuni valori incerti come 4-5 MSK o 6-7 MSK verrebbero ora certamente valutati come 4 EMS e 6 EMS. Altre differenze possono derivare da interpretazioni letterali o restrittive della scala MSK. Per esempio, da una lettura letterale del testo della scala MSK, la soglia di danno è l'intensità 6. L'esperienza pratica ha mostrato che danni si verificano occasionalmente anche quando tutti gli altri dati diagnostici suggerirebbero intensità più basse; riconoscendo questo, alcuni utilizzatori accettano la possibilità che le intensità siano valutate minori di 6 MSK anche in presenza di danni. Altri utilizzatori, non accettando questa possibilità, possono riscontrare che intensità, valutate come 6 MSK, possono in alcuni casi diventare 5 EMS.

#### **4.4 Qualità della valutazione dell'intensità e campione dei dati**

Un punto importante ma spesso trascurato è che i dati macrosismici disponibili all'uso non sono mai, o lo sono molto raramente, una registrazione completa di tutti gli effetti che sono avvenuti durante un terremoto. Quando una città con 20.000 edifici è soggetta a un terremoto, ognuno di quegli edifici verrà interessato in un modo o nell'altro.

L'utilizzatore potrebbe avere dati solo su alcune decine di edifici, sui quali basare la sua valutazione. In altre parole, i suoi dati sono solo un campione su una intera popolazione di effetti. E' perciò lecito chiedersi: questo campione è realmente rappresentativo dell'intera popolazione, oppure no? Minore è il numero delle informazioni, maggiore è l'errore che si avrà nella percentuale di osservatori che riferiscono un certo effetto, in confronto alla proporzione reale osservata sull'intera città. Se i dati sono stati raccolti con la dovuta attenzione a tecniche di campionamento casuale, sarà possibile calcolare statisticamente questo errore nei campioni. Sfortunatamente, questo di solito non avviene. Si raccomanda che chi è coinvolto nella raccolta e nello studio delle informazioni macrosismiche sia a conoscenza dei questionari e delle metodologie di campionamento che sono state sviluppate nel campo delle scienze sociali.

L'utilizzatore potrebbe non essere in grado di migliorare la qualità dei suoi dati, ma dovrebbe almeno avere un'idea di quella che è la loro qualità, ed essere in grado di comunicarlo; sia per

mezzo di un resoconto, o con l'esplicitazione delle dimensioni del campione (es. numero di questionari), oppure usando alcuni sistemi come l'utilizzo di un carattere (font) più piccolo per indicare intensità derivate da campioni meno rappresentativi.

Il problema è probabilmente meno grave, o potrebbe addirittura non manifestarsi, nei casi in cui l'utilizzatore abbia il diretto controllo sulla sua raccolta di dati sul campo. Può essere molto grave, viceversa, quando i dati sono ottenuti di seconda o terza mano. Un'osservazione generica fatta da un giornalista circa la severità degli effetti in una città può essere basata su una indagine molto limitata; il rapporto di un osservatore può essere riscritto come rappresentativo quando invece non lo è. Questo è spesso un problema nel caso di studi su terremoti storici, dove l'utilizzatore è vincolato dal numero relativamente basso di dati che sono riusciti a sopravvivere.

Un esempio può illustrare questo punto. Supponiamo che l'unica informazione per una certa città sia che molte persone non riuscivano a stare in piedi. Questo è un diagnostico dell'intensità 7, ma senza il supporto di altri diagnostici, è giustificata un'assegnazione di tale d'intensità? E' difficile proporre linee guida precise riguardo quali siano, o quali non siano, gli indizi sufficienti sui quali basare le valutazioni d'intensità. Un approccio utile quando i dati sono scarsi è quello di marcare valutazioni d'intensità basate su valori poco attendibili usando 7?, oppure un carattere più piccolo o forme simili. In alternativa si può assegnare un codice di qualità a ciascuna valutazione d'intensità.

#### **4.5      *Qualità e incertezza***

Accadrà spesso che un grado di intensità non possa essere determinato con sicurezza. In questi casi è necessario decidere se si può fare una valutazione approssimativa dell'intensità, o se i dati sono talmente contraddittori che forse è meglio lasciare la questione irrisolta.

Nei casi dove i dati soddisfino ed eccedano le descrizioni dell'intensità 6, ma non siano chiaramente compatibili con quelli dell'intensità 7, il miglior modo sarà quello di considerare il valore più basso dell'intensità. Si raccomanda che l'utilizzatore conservi il carattere intero della scala, e non usi forme come "6.5" o "6 ½" o "6+". Non sembra peraltro sicuro che una maggiore risoluzione dell'intensità sia davvero necessaria o realizzabile in pratica. Se, per qualche ragione, si crede essenziale presentare un maggiore dettaglio, allora lo si dovrebbe mostrare in maniera descrittiva.

Un esempio: un paese ha 180 edifici (in muratura), dei quali 30 sono classificati come vulnerabilità A ed il resto come B. Degli edifici di classe A, 15 hanno sofferto danni di grado 1, 10 di grado 2 e 5 non sono stati danneggiati. Degli edifici di classe B, 10 hanno sofferto di grado 1, 5 di grado 2 ed il resto non è stato danneggiato. Se si considera solo il danno, ci sono abbastanza informazioni per giustificare una intensità 6, ma chiaramente non abbastanza per giustificare intensità 7 (solo pochi B2, nessun A3). L'intensità più rappresentativa è 6.

Ci potrebbero essere ancora casi in cui i dati possono essere interpretati ugualmente bene (ad esempio) come 6 o 7 (ma chiaramente non 8). In tali casi l'intensità dovrebbe essere scritta come

6-7, che significa o 6 o 7; ciò non implica valori intermedi. Esprimere l'intensità come un intervallo di valori è ora pratica abbastanza comune, specialmente per dati storici che sono frequentemente insufficienti per consentire una maggiore risoluzione. Intervalli più ampi, che abbracciano più di due gradi della scala, sono possibili; si potrebbe scrivere 6-8 e ciò non significherebbe 7. Un esempio: un documento dice "nelle nostra città crollarono i comignoli ma nessuna casa fu seriamente danneggiata". In questo breve resoconto non c'è indicazione su quale fosse la percentuale di comignoli crollati, e pertanto l'intensità può essere 6 o 7; l'affermazione che non ci furono certamente sicuramente danni seri indica che l'intensità non era 8. L'intensità è quindi 6-7.

Assegnazioni vaghe come  $< 6$  (minore di 6) o  $> 7$  (maggiore di 7) sono accettabili quando non si può avere una maggiore accuratezza. Esempio: un documento riporta "ci furono molti danni a Cortona". Se non si possono ottenere altre informazioni, l'intensità è  $> 6$ . Teoricamente si potrebbe considerare che  $>6$  può essere interpretato come 6-12, ma per ragioni pratiche e di buon senso, il limite superiore può essere dedotto di volta in volta .

Un ulteriore problema è causato dall'ambiguità dei dati; per esempio, effetti sulle persone possono suggerire solo intensità 6, mentre effetti sulle strutture suggeriscono intensità 8, o viceversa. Se questo problema si verifica ripetutamente potrebbe indicare che sia entrato in gioco qualche significativo fattore di tipo regionale o culturale (la gente si allarma più facilmente; le locali tecniche locali di costruzione sono molto scadenti) e dovrebbe essere preso in considerazione. Quando, applicando la scala, si verificano casi individuali di questo genere, se nessuna coerenza può essere riscontrata, allora è necessario esprimere l'intensità come un intervallo, così come descritto sopra.

Ci saranno sempre casi in cui i dati sono talmente privi di dettaglio, o così completamente contraddittori o poco credibili, che non si riesce a fare nessuna assegnazione. In questi casi è opportuno adottare qualche convenzione per indicare un'osservazione: per esempio, un puntino o una F per "felt" (avvertito) senza fare nessuna assegnazione. Se necessario, si può includere una nota esplicativa a piè di pagina.

Un esempio: una cronaca afferma „questo terremoto ebbe luogo anche a Ravenna, Ancona e Perugia“. Nessuna intensità può essere assegnata a queste tre città, ma dovrebbe essere segnalato che il terremoto fu avvertito anche lì usando qualche simbolo appropriato ("F", o un puntino). Si noti che, sulla base di queste informazioni così sintetiche, non si può nemmeno ipotizzare che le tre località siano state danneggiate.

Una distinzione può essere fatta tra ciò che può essere definito "certezza" e "qualità" (entrambe le parole vengono qui usate in una accezione un po' particolare). Casi in cui i dati non consentono una precisa valutazione d'intensità, ovvero tali da rendere necessari valori di 6-7 o  $> 6$ , sono casi in cui il valore d'intensità è incerto. In questi casi non c'è dubbio che l'intensità assegnata è quella che si adatta meglio ai dati, ma i dati non sono sufficientemente completi da consentire l'assegnazione di un dato grado d'intensità. Casi in cui i dati corrispondono esattamente con la scala, ma sono così pochi che non si può essere sicuri che siano rappresentativi di tutto ciò che è stato osservato, sono quelli in cui il valore di intensità può essere definito di qualità scarsa. Un esempio potrebbe essere un resoconto che afferma solo che "le finestre hanno tremato a Manchester":

questo suggerisce intensità 4 e nessun altro valore ma, in relazione a quanto altro sia stato osservato e in che ampiezza, l'intensità reale avrebbe potuto essere qualsiasi valore compreso nell'intervallo 3-5. In questi casi si ottiene un valore certo di intensità dai dati, ma si ha la sensazione che potrebbe non essere quello corretto e che, se ci fossero più dati disponibili, il valore potrebbe cambiare. E' infine possibile che i dati siano al tempo stesso incerti e di scarsa qualità. Si raccomanda che valori di scarsa qualità vengano segnalati in qualche modo, se proprio devono essere utilizzati.

#### **4.6 Curve del danno**

Le prime scale d'intensità trattavano il danno in modo limitato e ristretto, affermando che ad una certa intensità si sarebbe verificato un certo tipo di danno agli edifici, con l'implicazione che la distribuzione del danno fosse uniforme. Questa assunzione fu mitigata solo parzialmente nella prefazione alla scala Mercalli Modificata (formulazione di Richter del 1956), assumendo che qualsiasi effetto poteva essere visto in una forma più debole, o, solo in pochi casi, ad un grado d'intensità più basso di quello a in cui si supponeva che si verificasse. Fu un importante passo in avanti, quindi, quando la scala MSK introdusse un approccio al danno sia qualitativo che quantitativo, e quando questo proseguì e fu sviluppato nella scala EM-98. L'aspetto qualitativo si occupa del tipo di edificio e della sua vulnerabilità; l'aspetto quantitativo tratta la probabilità che si verifichino diversi gradi di danno.

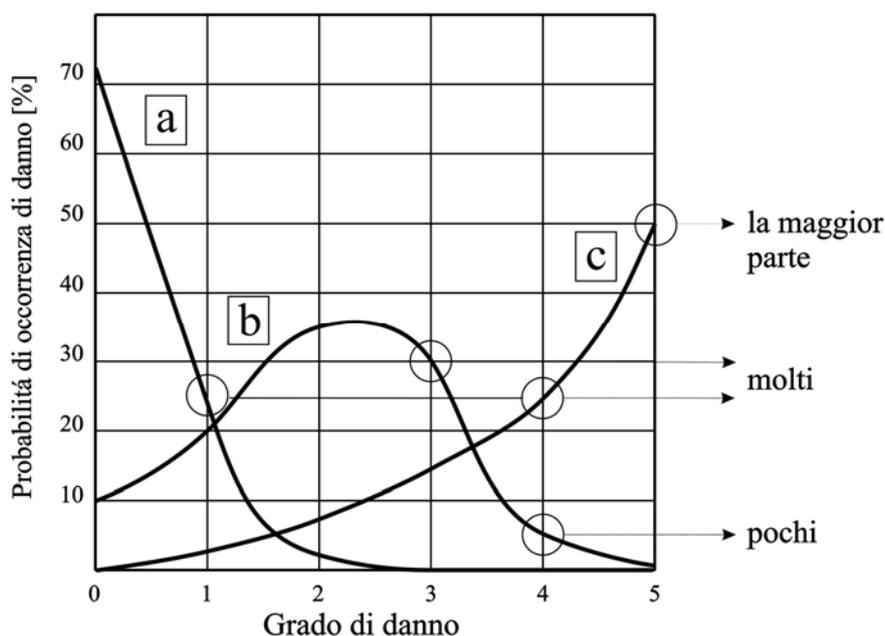
Generalmente, in quei gradi d'intensità ai quali si verificano danni, questi si manifestano secondo una progressione lineare. Se il grado di danno è lo stesso, per ogni incremento di una classe in vulnerabilità, l'intensità risultante aumenterà parimenti di un grado. Questi incrementi del danno con l'aumentare dell'intensità sono derivati da distribuzioni statistiche osservate di danni strutturali e non strutturali. Sebbene in alcuni casi eccezionali si possano incontrare distribuzioni del danno irregolari, ci si deve attendere con tutta probabilità, che qualsiasi distribuzione del danno per una particolare intensità incontrata sul campo, corrisponderà a quelle previste da questa scala.

In un caso ideale si potrebbe considerare la distribuzione del danno a edifici di uguale vulnerabilità, sottoposti alla stessa intensità, come la normale distribuzione intorno al grado medio di danno. I gradi di danno previsti dalla scala EM-98 rappresentano una discretizzazione di un continuum di possibili gradi di danno; tale discretizzazione dev'essere fatta nell'ottica di una facile discriminazione sul campo. Se fosse possibile tracciare una funzione di danno continua, essa dovrebbe mostrare una distribuzione normale, e i diagnostici del danno dati nella scala rappresenterebbero i punti di campionamento su questa curva. Si deve ricordare che essi sono solo punti di campionamento e che si possono anche osservare intersezioni di altri gradi di danno sulla curva. Se ad esempio, per alcuni gradi d'intensità, si definisce che pochi edifici di una certa classe di vulnerabilità soffrono danni di grado 3, mentre molti subiscono danni di grado 2, si dovrebbe tenere in mente che si potranno incontrare osservazioni anche nella parte bassa della distribuzione; in questo caso, ci si può anche aspettare che molti edifici soffrano danni di grado 1 e che alcuni non vengano danneggiati.

Proprio come i gradi di danno definiti rappresentano punti discreti di una funzione di danno continua che copre ogni situazione, da nessun danno al crollo completo, così i gradi della scala d'intensità rappresentano stadi discreti in una ipotetica, continua funzione dello scuotimento. Si può quindi immaginare, sempre in un caso ideale, che come l'intensità aumenta, così la distribuzione del danno venga traslata verso punti sempre più in alto sulla funzione di danno, pur conservando la sua forma essenziale.

Comunque, dato che la funzione di danno ha un limite assoluto sia superiore che inferiore, la forma della distribuzione del danno deve cambiare avvicinandosi a questi limiti. In questo modo, a basse intensità si vede l'estremità sinistra della curva normale sui bassi gradi di danno, al tempo stesso il grosso della distribuzione è accumulato nel punto che rappresenta nessun danno, dato che gradi negativi di danno non sono possibili. Analogamente, per intensità molto alte si dovrebbe idealmente vedere l'estremità destra della curva normale ad alti gradi di danno, mentre il grosso nella distribuzione è accumulato nel punto che rappresenta il crollo totale, che non può essere superato.

Questo concetto è illustrato in Figura 4-1, nella quale sono mostrate tre principali funzioni di danno: "tipo a" per intensità più basse (tipica per intensità 6), dove la funzione mostra un decre-



○ punti di intersezione tra funzioni di probabilità di danno tipico e gradi di danno presi per la classificazione dei gradi d'intensità

livello di intensità

**a** I = VI      **b** I = VIII      **c** I = X

**Figura 4-1** Relazione tra distribuzioni di frequenze tipiche di gradi di danno per differenti gradi d'intensità e definizioni usate nella scala d'intensità.

mento monotono di probabilità ai gradi più alti; “tipo b”, che è il caso dove una normale distribuzione di probabilità viene osservata intorno al grado di danno medio; e “tipo c”, che mostra un incremento monotono di probabilità del grado di danno, tipico delle intensità più alte (come intensità 10). In Figura 4-1 le curve mostrate sono tipiche di osservazioni di campagna su tipi di edifici singoli piuttosto che su classi di vulnerabilità, ma il principio è lo stesso.

La definizione o descrizione dei gradi d'intensità nella scala viene fatta scegliendo uno o più punti di intersezione tipici su queste curve per ciascuna classe di vulnerabilità, dove la curva interseca un grado di danno particolare. Perciò, ad esempio, per l'intensità 8 e per classe di vulnerabilità C, i punti di intersezione sulla funzione di danno sono quelli dei gradi di danno 2 e 3; nulla viene detto circa la probabilità di gradi di danno 1 o nessun danno, ma questi esistono e sono sottintesi nella Figura 4-1. I punti di intersezione si riferiscono generalmente in termini di grado più alto o ai gradi di danno più alti che ci si può attendere (la “decisione del massimo danno”); questi gradi sono probabilmente i casi migliori riportati o esaminati.

L'uso di risultati statistici dei rilievi del danno possono essere la chiave per introdurre nuovi tipi di edifici, così come per correlare meglio tipi particolari di edifici con le classi di vulnerabilità più probabili.

#### **4.7 Limitazioni delle scale a dodici gradi**

Possiamo rimarcare che, sebbene la scala EM-98 e altre scale come la MSK o la maggior parte delle versioni della MM, ecc., abbiano dodici gradi, in pratica tendono a funzionare come scale a otto gradi. Intensità 1 significa, nella prassi, “non avvertito”; l'intensità 2 è così debole che di solito non viene riportata e quindi raramente usata. All'altra estremità della scala, l'intensità 12 è definita in un modo tale da descrivere i massimi effetti concepibili, che non necessariamente possono essere osservati in un terremoto. Intensità 10 e 11 sono difficili da distinguere in pratica, quindi anche l'intensità 11 è usata raramente. Perciò, “l'intervallo di lavoro” di tutte queste scale tende ad essere di solito quello compreso fra intensità 3 e intensità 10.

#### **4.8 Il presunto grado “mancante” della Scala MSK**

Uno dei temi affrontati dal Gruppo di Lavoro durante la revisione della scala d'intensità MSK, è stato l'ipotetico problema del grado d'intensità mancante tra 6 e 7 MSK. Questo argomento, trattato con un certo dettaglio, alla fine si è dimostrato essere un fenomeno apparente. Questa conclusione può essere dimostrata abbastanza semplicemente. Se la scala MSK fosse non lineare a causa del grado d'intensità mancante tra 6 e 7, ciò sarebbe stato molto evidente dalla analisi di mappe isosismiche. Tutte queste mappe mostrerebbero un intervallo spaziale sproporzionatamente largo tra le isosisme dei gradi 6 e 7 MSK, in confronto ai gradi 5 e 6 MSK e ai 7 e 8 MSK. In trent'anni di uso della scala MSK, nessuno ha mai evidenziato questo problema. Quindi la scala deve essere considerata effettivamente lineare così come è stata definita.

Perché allora questa illusione persiste? Per rispondere a questa domanda è necessario guardare di nuovo alla natura dell'intensità e delle scale d'intensità. Se si considera lo scuotimento del terreno come un parametro fisico, o piuttosto, come una combinazione di parametri fisici quali l'accelerazione, la velocità, lo spostamento e la durata, si può immaginare che esista un continuum completo di possibili valori, che vanno da nessun scuotimento al massimo scuotimento credibile del suolo. Dato che l'intensità è in qualche modo analoga a misurazioni combinate di scuotimento del terreno, anch'essa ha un ipotetico intervallo continuo da nulla ai massimi effetti possibili.

Tuttavia l'intensità non può essere definita come un parametro continuo. Per essere robusta deve essere discretizzata in valori interi. Ciò significa assegnare un valore allo stato minimo e uno allo stato massimo, e prendere poi un numero di punti uniformemente spaziatati tra di loro, per i quali la forza degli effetti a quei punti può essere descritta in modo chiaro. Beninteso non stiamo sostenendo che la Natura debba seguire le descrizioni nella scala d'intensità secondo intervalli a gradini; sarebbe assurdo immaginare che nella realtà gli effetti vicino all'epicentro debbano corrispondere esattamente agli effetti della descrizione (ad esempio) della intensità 8 per una data distanza senza alcuna variazione, e quindi calare bruscamente alla descrizione dell'intensità 7, e così via.

Il numero di divisioni - e dove vengono poste - deve soddisfare due criteri: uno, che debbano essere uniformemente spaziate; due, che debbano essere distinguibili una dall'altra nella pratica. L'esperienza, nel corso del XX secolo, sembra mostrare che il numero ottimale di gradi che possono essere discriminati in pratica, conservando una spaziatura uniforme, è dodici. Alcuni utilizzatori in circostanze particolari, specialmente lavorando con dati storici, hanno trovato che un numero minore di gradi sarebbe ottimale, ma per la maggioranza degli studi moderni si è visto che una scala a dodici gradi funziona bene.

Comunque questo non significa che ulteriori suddivisioni non possano essere distinguibili, particolarmente nei casi in cui si verifichi qualche sorta di effetto di soglia, per esempio, o che qualche diagnostico compaia per la prima volta invece che aumentare solamente nella frequenza di osservazione. Questo è il caso tra le intensità 6 e 7, dove si potrebbe definire facilmente un grado intermedio, più alto della descrizione per il grado 6 e più basso della descrizione per il grado 7. Tuttavia, il fatto che si possa definire un tale grado intermedio in questa parte della scala, più facilmente che in altre parti, non è d'aiuto. Non sarebbe utile avere un grado aggiuntivo che non sia lineare con il resto della scala.

Ai fini pratici dodici gradi d'intensità dovrebbero essere sufficienti e si raccomanda che gli utilizzatori non spendano tempo cercando di interpolare gradi intermedi, anche nei casi dove questi potrebbero essere discriminati. La pratica più semplice e più robusta è di arrotondare verso il basso tutte le intensità "frazionate" per ottenere il corretto valore intero d'intensità. Perciò, gli effetti che potrebbero corrispondere a un grado intermedio tra 6 e 7, dovrebbe essere assegnati al valore d'intensità 6 EMS.

## 5 Esempi che illustrano la classificazione del danno in relazione alla tipologia degli edifici

Gli esempi di danni da terremoto sugli edifici sono classificati secondo i diversi tipi di strutture (cfr. la Tavola di Vulnerabilità dell'EMS-98) e il grado di danno subito (da 1 a 5) (cfr. la Classificazione del Danno dell'EMS-98).

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
		1	2	3	4	5
<b>Muratura in mattoni crudi</b>	<b>Est Kazakistan 1990 / Saisan</b>			●		



Commento:

Le lesioni grandi e estese nella maggior parte dei muri suggeriscono un danno di grado 3.

**Figura 5 - 1**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Muratura in mattoni crudi</b>	<b>Carpazi 1986 / Moldavia, Leovo</b>	1	2	3	4	5
					●	



Commento:

La perdita di connessione tra i muri esterni e il cedimento parziale alla base dell'angolo sinistro suggeriscono un danno grado 4 (rottura grave di muri). La parte destra dell'edificio non sembra avere danni seri ed è chiaramente in migliori condizioni. Una classificazione finale del danno dovrebbe tener conto dei motivi di queste differenze.

**Figura 5 - 2**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Muratura in mattoni crudi</b>	<b>Tagikistan 1985 / Kairakkoum</b>	1	2	3	4	5
					●	



Commento:

Questo esempio mostra significativi livelli di danni alla muratura, classificati come danni di grado 4.

**Figura 5 - 3**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Muratura in pietrame misto</b>	<b>Nord Peloponneso, Grecia 1995 / Aegion</b>	1	2	3	4	5
					●	



Commento:

Il crollo dei muri in questo esempio indica un danno di grado 4. La vulnerabilità è influenzata dalla scarsa qualità della malta e dall'inefficacia degli elementi in cemento presenti nella costruzione.

**Figura 5 - 4**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
Muratura in pietra semplice e ciottoli (con malta molto scadente)	Campania-Basilicata, Italia 1980 / Balvano	1	2	3	4	5
						●



Commento:

Il solaio e la maggior parte dei muri hanno ceduto. Questo è un danno strutturale molto grave ed indica un danno di grado 5.

**Figura 5 - 5**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Muratura in pietra semplice sbazzata</b>	<b>Grison, Svizzera 1991 / Vaz</b>	1	2	3	4	5
			●			



Commento:

La lunga crepa in questo muro è abbastanza larga da costituire un leggero danno strutturale. Il danno dovrebbe essere considerato di grado 2.

**Figura 5 - 6**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Muratura in pietra semplice sbazzata</b>	<b>Montenegro, Jugoslavia 1979</b>	1	2	3	4	5
				●		



Commento:

Il muro crollato nella parte superiore è un timpano e non reggeva il tetto. Quindi dovrebbe essere classificato come grave danno non strutturale, corrispondente ad un grado di danno 3.

**Figura 5 - 7**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Muratura in pietra semplice sbozzata</b>	<b>Montenegro, Jugoslavia 1979</b>	1	2	3	4	5
					●	



Commento:

Parti dei muri portanti hanno ceduto, causando il crollo parziale di tetto e solaio.  
Questo è un grave danno strutturale che va classificato come danno di grado 4.

**Figura 5 - 8**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Muratura non rinforzata</b>	<b>Nord-ovest Boemia - Vogtland 1985, Repubblica Ceca / Skalná</b>	1	2	3	4	5
			●			

Commento:

Sebbene nessun danno strutturale sia visibile dall'esterno dell'edificio, all'interno si vede come si siano verificate delle crepe alla giunzione tra i muri, indicative di un leggero danno strutturale. Pezzi d'intonaco abbastanza grandi sono caduti dalla parte esterna così come intonaco si è staccato anche dai muri interni. Il danno è di grado 2.



**Figura 5 - 9**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Muratura non rinforzata</b>	<b>Roermond, Paesi Bassi 1992 / Heinsberg</b>	1	2	3	4	5
			●			



Commento:

Diversi comignoli sono stati danneggiati e alcune tegole sul tetto sono state spostate. Non sono state osservate crepe nella maggior parte dei muri, pertanto il danno può essere valutato come grado 2.

*Nota:* Il comignolo nella parte sinistra della foto si è rotto a causa del comportamento differenziale dei due edifici adiacenti. Alcune parti del comignolo rotto hanno colpito il tetto e mosso delle tegole; il danno alle tegole è quindi un effetto secondario e non causato direttamente dalla scossa di terremoto.

**Figura 5 - 10**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Muratura non rinforzata</b>	<b>Schwäbische Alb 1978, Germania / Albstadt</b>	1	2	3	4	5
			●			



Commento:

Sono comparse molte lesioni verticali come risultato della spinta tra i muri.  
Questo è un leggero danno strutturale corrispondente al grado 2.

**Figura 5 - 11**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
		1	2	3	4	5
<b>Muratura non rinforzata</b>	<b>Correggio, Italia 1996 / Bagnolo (Reggio Emilia)</b>					
			●			



Commento:

Osservando i muri esterni si possono vedere molte crepe indicanti un danno di grado 2. Si dovrebbe ispezionare anche l'interno dell'edificio per confermare questa valutazione del grado di danno.

**Figura 5 - 12**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Muratura non rinforzata</b>	<b>Friuli, Italia 1976 / Gemona (Udine)</b>	1	2	3	4	5
				●		



Commento:

Sono presenti grandi crepe diagonali sulla maggior parte dei muri, ma non così gravi da far crollare i muri stessi. In questo caso il danno è di grado 3.

*Nota:* La differenza nella classificazione del grado di danno rispetto alla figura seguente.

**Figura 5 - 13**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Muratura non rinforzata con solai in cemento armato</b>	<b>Friuli, Italia 1976 Braulins (Udine)</b>	1	2	3	4	5
					●	



Commento:

Le grandi crepe diagonali sui muri e la parziale perdita di connessione tra i muri esterni indicano un grave danno strutturale. Questo è un danno di grado 4.

**Figura 5 - 14**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Muratura non rinforzata con solai in cemento armato</b>	<b>Nord Peloponneso, Grecia 1995 / Aegion</b>	1	2	3	4	5
				●		



Commento:

Le crepe sul muro esterno sono grandi ed estese, ma non tutte sono passanti. Questo è un danno strutturale moderato di grado 3.

**Figura 5 - 15**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Intelaiatura in cemento armato</b>	<b>Città del Messico, 1985</b>	1	2	3	4	5
				●		



Commento:

Questo edificio in cemento armato ha subito crepe nelle colonne e nelle tamponature, con distacco di pezzi di intonaco; in alcuni casi si osserva il parziale crollo delle tamponature. Il danno strutturale (alle colonne) è moderato ed il danno non strutturale (ai tramezzi) è grave, indicando un danno di grado 3.

**Figura 5 - 16**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Intelaiatura in cemento armato</b>	<b>Irpinia-Basilicata, Italia 1987 / Sant' Angelo dei Lombardi</b>	1	2	3	4	5
					●	



Commento:

Molte tamponature sono interamente crollate, il che implica un danno non strutturale molto grave. In alcuni punti c'è un danno grave ai giunti trave-pilastro. Questo è un danno di grado 4.

**Figura 5 - 17**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Intelaiatura in cemento armato</b>	<b>Nord Peloponneso, Grecia 1995 / Aegion</b>	1	2	3	4	5
						●



Commento:

L'intero piano terra è completamente collassato. In questi casi il grado di danno è 5.

**Figura 5 - 18**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Intelaiatura in cemento armato</b>	<b>Nord Peloponneso, Grecia 1995 / Aegion</b>	1	2	3	4	5
						●



Commento:

La parte centrale di questo edificio è completamente crollata.  
Grado di danno 5.

**Figura 5 - 19**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Intelaiatura in cemento armato</b>	<b>Città del Messico 1985</b>	1	2	3	4	5
					●	



Commento:

Questo edificio ha subito il crollo parziale della parte superiore. Sebbene i singoli piani superiori abbiano ceduto, nessuna parte dell'edificio è crollata completamente al suolo, così che il danno è solo di grado 4.

**Figura 5 - 20**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Intelaiatura in cemento armato</b>	<b>Spitak, Armenia 1988 / Gyumri (Leninakan)</b>	1	2	3	4	5
						●



Commento:

Questo é chiaramente un danno strutturale molto grave con crollo quasi totale e quindi rappresenta un grado di danno 5.

*Nota:* Questa struttura, con intelaiatura in CA, aveva un certo livello di progettazione antisismica, ma ha reagito negativamente a causa di un insufficiente staffatura tra travi e colonne. Questo edificio è un tipico esempio a cui si dovrebbe assegnare una classe di vulnerabilità bassa, in questo caso B, particolarmente bassa per edifici con questo tipo di struttura.

**Figura 5 - 21**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Muri in cemento armato</b>	<b>Grande Hanshin, Giappone 1995 / Kobe</b>	1	2	3	4	5
						●



Commento:

Il piano terra è crollato completamente; questo è un danno di grado 5.

**Figura 5 - 22**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Muri in cemento armato</b>	<b>Grande Hanshin, Giappone 1995 / Kobe</b>	1	2	3	4	5
				●		



Commento:

Questo edificio ha subito un danno strutturale moderato lungo tutta la sua altezza. Le crepe sono concentrate sulle colonne tozze della facciata esterna. L'integrità dell'intero edificio non è stata compromessa. Il grado di danno valutato è 3.

**Figura 5 - 23**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
<b>Intelaiatura in acciaio</b>	<b>Grande Hanshin, Giappone 1995 / Kobe</b>	1	2	3	4	5
					●	



Commento:

Uno dei piani superiori di questo edificio é crollato, e vi é stata la flessione laterale delle colonne; questo è un danno strutturale grave. Alcuni dei pesanti muri di rivestimento sono crollati a causa del cedimento delle connessioni. Questo tipo di danno dovrebbe essere valutato di grado 4.

**Figura 5 - 24**

TIPO DI STRUTTURA	TERREMOTO / LOCALITÀ	GRADO DI DANNO				
Struttura in legno	Grande Hanshin, Giappone 1995 / Kobe	1	2	3	4	5
					●	



Commento:

L'edificio sulla sinistra ha subito gravi danni ai giunti dell'intelaiatura. Il danno dovrebbe essere valutato di grado 4.

*Nota:* A causa della debolezza del sistema di irrigidimento al piano terreno (piano soffice), l'intero edificio si è spostato sulla destra. Il supporto laterale è un buon esempio del ruolo giocato dalla posizione di un edificio relativamente ad altri edifici.

**Figura 5 - 25**

## 6 Esempi di assegnazione dell'intensità

### *Esempio 1- Assegnazione da dati documentari*

Le due descrizioni seguenti sono relative agli effetti del terremoto delle Alpi Marittime del 20 Luglio 1564 a La Bollène, Roquebillière e Belvédère nell'entroterra di Nizza (Francia).

Il resoconto che segue fu scritto da un notaio di Nizza, Lubonis; il testo documento originale è andato perso ed è conosciuto solo grazie alla trascrizione fatta da Scaliero, uno storico locale del XVIII secolo, che afferma che questo testo è annesso a un protocollo notarile del 1564:

“De admirabili hora et horrendo terremotu in comitatu Niciense facto. Anno ipsi millesimo quingentesimo [quingentesimo cancellato] sexagesimo quarto indictione septima et die iovis vigesima iulii circa unam horam noctis fuit quidam terremotus in Comitatu Niciense absque tamen aliquo damno veruntamen tota nocte per illius discursum sepius iterato ipso terremotu in vale Lantusie qui adeo infremuit et impetum fecit ut locus Bolene omnino devastatus et diruptus remansit ad quod omnes parietes domorum dirupte sunt et duo partes ex tribus personarum eiusdem loci mortui sunt et fere alia tertia pars remansit vulnerata in locis rocabigliera et de bello vedere fere pro dimidia remansit dirupta et devastata adeo quod in loco

Rocabigliera mortui sunt viginti due et fere sexaginta vulnerati in loci de bello vedere mortui sunt quinquaginta et totidem vulnerati

a fol. 79 dicto, del prottocolo di Gio. Lubonis del 1564.”

Il secondo resoconto è una storia della Provenza di Cesare Nostradamus, il figlio maggiore del celebre Michel; questa fonte contiene un rapporto che si dice sia stato lasciato “su un rotolo scritto in nizzardo da qualcuno dell'area di Nizza che passò a Salon [Salon-de-Provence, dove Nostradamus trascorse l'ultima parte della sua vita] nello stesso periodo del terremoto:

“En ce mesme temps [1564] passa par nostre ville de Sallon, un qui se disoit de ces quartiers là, lequel racomptant ces tristes choses et ces tant estranges prodiges, laissa un roolle en sa langue naturelle et Nissarde qui est comme un vieil Provençal des villes et chasteaux ruynez: ... La Boulene entierement et de fond en comble ruynee, deux cens cinquante morts, et quatorze blessés”.

### **Analisi**

Questo resoconto è un esempio tipico del genere di materiale con cui si ha a che fare per ciò che riguarda gli antichi terremoti. Il grado di dettaglio è estremamente limitato, sia rispetto al danno che al tipo di edifici.

Apparentemente potrebbe sembrare che la scala EM sia meno adatta di altre scale a trattare casi in cui non sono disponibili informazioni dettagliate sugli edifici. Questo tuttavia non è vero; altre scale o fanno assunzioni nascoste circa il tipo di edificio che limitano le scelte dell'utilizzatore, oppure usano categorie piuttosto ampie che forniscono scarsa risoluzione.

Prendendo il caso di La Bollène, le informazioni si riducono all'affermazione che “tutti i muri delle case sono crollati”. Le domande che ci si deve porre sono: (a) quale era la classe di vulnerabilità degli edifici; (b) quale era il reale grado e la distribuzione del danno; e, inoltre, (c) fino a che punto il resoconto è esagerato? Analizzando queste domande in ordine inverso, l'esperienza mostra che una certa esagerazione è presente nelle descrizioni storiche dei danni dovuti a terremoto, e che a un minore dettaglio corrisponde una maggiore probabilità che il resoconto non sia accurato. Si hanno due tipi di esagerazioni. Le quantità possono essere esagerate: “tutti” significa più probabilmente la “maggior parte”. Il grado può essere esagerato: “crollato” spesso significa “gravemente danneggiato”. Così l'interpretazione più probabile di “tutti i muri delle case sono crollati”, è che la maggior parte degli edifici subirono danni sia di grado 4 che 5, e che alcuni potrebbero persino essere stati meno danneggiati. A proposito della vulnerabilità, dalle conoscenze generali sugli edifici storici dell'area ci si può aspettare la coesistenza di classi A e B. Se fossimo stati a conoscenza che l'esatta distribuzione del danno era che molti edifici subirono danno di grado 4, assegneremmo intensità 8 nel caso che tutti gli edifici fossero di classe A; se invece fossero tutti di classe B, assegneremmo intensità 9. Questo ci fornisce un intervallo di valori nel quale si potrebbe trovare l'intensità nel caso più probabile di una coesistenza di classi A e B. A meno che non si abbiano buoni motivi per supporre che la grande maggioranza degli edifici debbano essere in una classe o nell'altra, una valutazione di 8-9 sarebbe il risultato logico. In questo caso abbiamo un'incertezza addizionale riguardo l'estensione del danno, con interpretazioni possibili che vanno da molti edifici con danno di grado 4, alcuni di grado 5, a la maggior parte degli edifici con danno di grado 4 e, molti di grado 5. La combinazione delle due incognite dà un intervallo credibile di valori d'intensità da 8-10. (Si noti che nella scala, dove viene usato “molti di grado 5”, anche se “la maggior parte di grado 4” non è esplicitamente dichiarato, può essere implicitamente assunto).

Per Roquebillière e Belvédère, “metà delle case furono gravemente danneggiate”. In questo caso l'interpretazione della distribuzione del danno come “la maggior parte di grado 4, molti di grado 5” non è più attendibile. “Molti di grado 4, alcuni di grado 5” è credibile, e “molti di grado 3, alcuni di grado 4” può essere considerata un'alternativa, ma si adatta meno bene. La vulnerabilità che varia da A a B dà un intervallo d'intensità di 7-9, con 8-9 come valore più probabile.

### ***Esempio 2 - Assegnazione da dati documentari***

Le due descrizioni seguenti riguardano gli effetti del terremoto del 7 settembre 1801 a Comrie, in Scozia. Entrambe sono prese da giornali contemporanei di Edimburgo, che era a quel tempo il luogo più vicino dove venivano pubblicati i giornali. La distanza tra Comrie e Edimburgo è di circa 75 km. L'ora del terremoto era circa le 6 del mattino.

Il resoconto seguente fu scritto da un osservatore che si trovava a Comrie, il 9 di settembre, due giorni dopo il terremoto, e fu pubblicato sull'Edinburgh Advertiser (15 settembre 1801 p.174):

1) “La ... scossa...fu molto forte e incredibilmente spaventosa ... Tegole di ardesia caddero dalle case e molti oggetti rotolarono giù con grande fragore. Oggetti come bottiglie bicchieri ecc. furono scaraventati l'uno sull'altro con grande rumore. Alcune grosse pietre e frammenti di roccia caddero dai fianchi delle montagne. Parti di muretti crollarono e un banco di terra scivolò dal suo

posto. Se la scossa avesse avuto maggior forza è probabile che diverse case fragili sarebbero state buttate giù; ma per la bontà divina nessun danno ulteriore ebbe luogo oltre quello menzionato sopra.”

Il secondo resoconto fu anch'esso scritto a Comrie il 9 settembre, e fu pubblicato nell'Edinburgh Evening Courant (14 settembre 1801, p. 3):

2) “...il rumore e la scossa.... furono istantanei; tutte le persone che erano a letto ebbero paura che le case cadessero loro addosso, e molti qui e nelle vicinanze saltarono giù il più velocemente possibile; la durata potrebbe essere stata circa 5 o 6 secondi, e durante tutto quel tempo i pavimenti, i letti e le persiane tremarono violentemente e i tetti scricchiarono e furono molto sollecitati. I cavalli che stavano pascolando sembrarono molto spaventati e ascoltavano con le orecchie dritte; le mucche che erano nelle stalle manifestarono disagio muggendo, e tutti i cani e gli altri animali diedero segni di paura. Un pastore, alcune miglia ad ovest, aveva appena separato una mandria di bestiame, ma appena la terra iniziò a tremare le bestie in un momento si raggrupparono tutte insieme.”

### **Commento**

Queste due descrizioni sono abbastanza utili e contengono più informazioni del solito per gli effetti (la popolazione nel 1801 era di circa 1500 abitanti) di un terremoto moderato in un paese piccolo in questo periodo.

Bisogna prima spendere una parola per dire qualcosa circa il tipo di edificio locale, che era rappresentato prevalentemente da case costruite in pietra (di solito a un piano), con tetti di legno coperti con di ardesia. Esse possono essere considerate come strutture di classe di vulnerabilità B. La resistenza di questi edifici era probabilmente abbastanza buona, quando non erano in cattivo stato.

Una prima indicazione del grado d'intensità è di solito ottenuta guardando il danno. Qui il danno è evidentemente lieve e non è menzionato dal secondo scrittore. L'effetto principale osservato è la caduta di tegole di ardesia da alcune case. Questo è tecnicamente danno di grado 3, ma dato che non ci sono indizi di altri tipi di danni di grado 3 (a camini o muri) è probabile che le tegole che caddero non erano fossero ben fissate. Non c'è menzione di crepe nell'intonaco, ma queste spesso non vengono menzionate (a) perché non sono osservabili dall'esterno dell'edificio o (b) possono venire notate dal proprietario della casa più tardi, specialmente se ci sono altre crepe preesistenti. Quindi che non ci sia menzione di danno all'intonaco non è molto significativo. Analogamente la mancata menzione di danno ai camini, che sono un elemento sporgente, è molto più significativa, specialmente quando il primo scrittore afferma specificatamente che non si verificò altro danno oltre quello descritto. Il fatto che alcune case molto deboli non crollarono è anche menzionato specificatamente.

La prima conclusione che si può trarre da una considerazione sul danno è che l'intensità fu almeno 5, ma non più di 6. Per avere intensità 7 sarebbe stato necessario avere più indizi che molte case furono danneggiate, e specialmente i loro camini, ma non è questo il caso. I “muretti” a cui ci si riferisce sono muri di confine. Questo tipo di struttura non è trattata dalla scala EM come tale, ma

l'esperienza mostra che questo tipo di danno inizia a intensità 5.

Considerando gli effetti sulla gente, entrambi i resoconti sono concordi sul fatto che la scossa fu terrificante. La gente era chiaramente molto spaventata dal fatto che le loro case sembrava stessero cadendo. Molti saltarono giù dal letto, non viene detto che corsero fuori, ma anche se sembra probabile, ed in questo caso la descrizione si adatterebbe meglio con “molte persone sono spaventate e corrono all'aperto” per intensità 6. E' chiaro che il terremoto fu avvertito all'aperto (es. da un pastore) ma non si sa da quante persone. Gli effetti sulle persone confermano il possibile intervallo 5-6, con 6 più probabile.

Il primo resoconto afferma che molti oggetti vennero buttati giù violentemente. Questo è molto più vicino alla descrizione “piccoli oggetti di ordinaria stabilità potrebbero cadere” (intensità 6), che a quella “oggetti piccoli, sbilanciati e/o fissati in maniera precaria potrebbero essere spostati o cadere” (intensità 5), e ricorda persino “oggetti cadono dalle mensole in grande numero” (intensità 7).

Lo sbattere di bottiglie, il tremare delle persiane ecc. sono effetti che iniziano a intensità 4 e continuano ad essere osservati ad intensità più alte. Qui è chiaro che la forza della scossa è almeno 5.

Il secondo testimone menziona effetti sugli animali. Le mucche all'interno erano a disagio (intensità 5) ma anche i cavalli e il bestiame all'aperto erano in allarme (intensità 6).

La considerazione complessiva di quanto sopra indica che l'intensità 6 è la valutazione dell'intensità più idonea per il terremoto a Comrie del 7 settembre 1801. Alcune conferme possono essere cercate in dati sismogeologici. Il primo scrittore menziona effetti sui pendii: grosse pietre e frammenti di roccia scivolarono giù dalla montagna, e un banco di terra subì un piccolo smottamento.

Il primo effetto è più un movimento di pendii con ghiaione che una caduta di rocce, ma entrambi gli effetti iniziano ad intensità 5 e sono tipici di 6-7 (6-8 nel caso di caduta di rocce). Il secondo effetto è associato a intensità 5-7, ma poiché sembra essere un episodio isolato non è un indicatore molto attendibile. Questi effetti confermano il giudizio ottenuto dall'esame degli altri dati.

### ***Esempio 3 — Assegnazione da dati di questionari***

I seguenti dati seguenti sono estratti da questionari che si riferiscono agli effetti del terremoto di Carlisle del 26 dicembre 1979 (magnitudo 4.8 ML), a Carlisle nell'Inghilterra del Nord. Il questionario fu pubblicato su giornali locali; i lettori dei giornali furono invitati a riempire il questionario e a inviarlo. Non vennero quindi usate tecniche di campionamento casuale nella raccolta dei dati, e non si ha la nessuna garanzia che le percentuali calcolate dai campioni siano degli indicatori affidabili della popolazione totale. Il questionario non era stato progettato con la scala EM in mente, e quindi non tutte le domande sono strettamente relative al testo della scala. In questo esempio quindi si può mostrare come possa funzionare la scala con dati che non sono ottimali.

Per gli scopi di questo studio la città di Carlisle fu divisa in 3 aree. In questo esempio vengono usati i dati dalla parte occidentale della città. Il numero di questionari ricevuti da questa parte della città fu di 222. Il terremoto avvenne alle 3h 57 minuti; la quasi totalità degli osservatori era in casa e a letto. Non ci sono resoconti da persone all'aperto, dato che a quell'ora di notte le strade erano deserte, essendo la mattina successiva il giorno di Natale.

Domanda: Che cosa hai avvertito?

L'87% del campione avvertì una vibrazione; il 19% la descrisse come forte (sebbene non venne specificatamente chiesto di qualificare la loro descrizione); l'1% la descrisse come debole; l'11% non avvertì nessuna scossa.

Commento: la vibrazione fu generalmente osservata oppure fu forte.

Domanda: Che cosa hanno avvertito o sentito gli altri nei dintorni?

Il 73% del campione disse che i vicini avvertirono o sentirono il terremoto; il 12% disse che ciò non avvenne e il resto non seppe rispondere o non rispose.

Commento: il terremoto fu avvertito dalla maggior parte della gente in casa.

Domanda: Ti sei spaventato o allarmato?

Il 69% del campione rispose di sì, il 18% rispose di no. Tre persone dissero che corsero fuori, ma questa informazione non era in realtà richiesta dal questionario, per cui altri potrebbero averlo fatto.

Commento: molti o la maggior parte delle persone furono allarmate o spaventate e almeno alcuni tentarono di correre fuori. Finora l'intensità sembra essere nell'intervallo 5-7.

Domanda: Porte o finestre tremarono?

Il 54% del campione rispose sì; il 26% no.

Domanda: Tremò nient'altro?

Il 54% rispose sì; il 19% no.

Commento: da questi indizi l'intensità è almeno 4 e probabilmente 5 o più.

Domanda: Oscillarono oggetti appesi?

Il 14% del campione rispose sì; il 26% no ed il resto non aveva oggetti appesi da osservare, o non poteva vedere al buio o non rispose.

Commento: dato che lo scuotimento prodotto da un terremoto relativamente piccolo a breve distanza dall'epicentro (come qui in questo caso) è probabile che abbia un contenuto ad alta frequenza, non ci si aspetta che ci siano molte osservazioni di oggetti appesi che oscillano. In queste circostanze il rapporto approssimativo 1:2 di risposte si/no suggerisce una scossa abbastanza forte, cioè almeno intensità 5.

Domanda: Si versò o cadde qualcosa?

Il 18% del campione rispose sì; il 72% rispose no.

Commento: l'intensità fu almeno 5.

Domanda: Ci fu qualche danno?

Il 13% del campione riportò notizie di danno di qualche tipo; l'85% non riportò danni. La maggior parte del danno fu rappresentato da crepe agli intonaci e ai muri; inoltre caduta di tegole di ardesia, caduta di camini e spostamento di mattoni non ben fissati. In un caso fu riportato che si aprì uno spazio tra un garage e un ampliamento di una casa.

Commento: il tipo di case costruito in mattoni è predominante. Il danno può essere riassunto come pochi edifici di classe di vulnerabilità B soffrono danni di grado 1 e 2. Questo quadro non combacia esattamente con le descrizioni date nella scala ma è più simile a quello del grado 6 che di qualunque altro.

Domanda: Hai altre osservazioni?

Fu ricevuta una varietà di risposte. Nove persone riportarono che i mobili si mossero, un effetto che si menziona per la prima volta al grado 6 della scala.

**Riassunto:** Sulla base delle evidenze sopra discusse, l'intensità è meglio valutata come grado 6 in base agli indizi di cui sopra, sebbene alcuni potrebbero obiettare che sia stimabile 5 o 5-6. Il grado di danno, il movimento dei mobili e il numero di persone spaventate suggeriscono 6 ed anche il resto dei dati sono alla fine coerenti con questo, sebbene ci si sarebbe potuti aspettare una più alta percentuale di osservazioni di oggetti che cadono.

## 7 Effetti sull'ambiente naturale

Gli effetti dei terremoti sul terreno, qui riportati col termine di effetti “sismogeologici”, sono stati spesso inclusi nelle scale d'intensità, compresa la scala MSK, ma sono in pratica abbastanza difficili da usare in modo vantaggioso. Questo perché questi effetti sono complessi e sono spesso influenzati da numerosi fattori, quali l'intrinseca stabilità del pendio, il livello della tavola d'acqua ecc., che potrebbero non essere immediatamente evidenti all'osservatore. Il risultato è che la maggior parte di questi effetti può essere osservata in un intervallo abbastanza ampio di intensità. Si ritiene dunque che questo tipo di evidenze siano insufficienti per stabilire una buona correlazione tra questi effetti e determinati gradi d'intensità. In questa sezione sono presentate alcune considerazioni generali sull'uso limitato che può essere fatto di tali effetti come la variazione del livello dell'acqua nei pozzi, le crepe nel terreno, le frane o la caduta di massi.

La rimozione di questi diagnostici dalla descrizione dei gradi di intensità e la loro collocazione in una sezione separata non è stata presa alla leggera, particolarmente perché in aree rurali scarsamente popolate (o non popolate) pochi altri dati potrebbero essere disponibili. Il problema è che, mentre le variazioni della vulnerabilità di strutture costruite possono essere presentate in modo ragionevolmente coerente e robusto, nel caso di effetti sull'ambiente la maggior parte di essi dipende da complesse caratteristiche geomorfologiche e idrologiche che non possono essere facilmente (o affatto) valutate dall'osservatore. Per esempio, la caduta di rocce, che si verifica frequentemente anche senza nessun terremoto, può essere facilmente innescata in una situazione dove la superficie delle rocce è alterata e altamente vulnerabile; in altri casi dove le rocce sono molto coerenti può verificarsi solo in occasione di una forte scossa. Le condizioni che influenzano questo fenomeno non sono necessariamente costanti per qualsiasi sito, ma possono dipendere dallo stato della tavola d'acqua o variare stagionalmente. In un certo senso, la situazione è simile a quella della vulnerabilità degli edifici: una roccia con una superficie indebolita è più vulnerabile al “danno”, sotto forma di caduta di massi, rispetto a una roccia coerente. Il problema è che non si hanno modi per stimare la vulnerabilità delle rocce come si fa per gli edifici. Inoltre, in molti casi, gli effetti sismogeologici si verificano in modo tale che non possono essere facilmente quantificati allo stesso modo di altre osservazioni.

E' certo che le proporzioni alle quali questo fenomeno si verifica in un particolare terremoto variano spazialmente, e ciò può essere a volte utile per discriminare gradi relativi di scuotimento. Per esempio, si può rappresentare graficamente la densità spaziale della caduta di rocce o delle crepe nel terreno. Comunque, studi recenti sulla distribuzione spaziale di parametri geotecnici quali l'umidità del suolo (di importanza critica nel determinare la stabilità dei versanti) hanno mostrato che queste proprietà presentano spesso distribuzioni di tipo frattale. Infatti, è stato osservato che le distribuzioni delle frane sono tipicamente raggruppate persino quando non si è verificato nessun terremoto, e quello che potrebbe essere erroneamente preso per distribuzione legata all'intensità non ha niente a che vedere con lo scuotimento prodotto da un terremoto.

Quindi, come regola generale, gli effetti sulla natura dovrebbero essere usati con cautela, ed insieme ad altri effetti. Dati che consistono esclusivamente in effetti sull'ambiente non dovrebbero essere normalmente usati per assegnare intensità. Tali dati possono essere usati per confermare le intensità suggerite da altri diagnostici. Ciò implica che vi è sempre un problema nella stima

dell'intensità in aree non popolate; nel migliore dei casi si può assegnare un intervallo di intensità. Questo è spiacevole, ma è meglio ammettere questo limite che assegnare intensità troppo inaffidabili per essere utilizzabili.

Occorre inoltre fare attenzione riguardo la localizzazione degli effetti di questo genere; essi possono avvenire in campagna a distanza considerevole dalla città più vicina, alla quale potrebbero essere attribuiti da un resoconto impreciso.

Per gli scopi della scala EM-98, gli effetti sismogeologici sono presentati in una Tabella. Per ciascun effetto sono usati tre tipi di simboli come segue:

- |                        |   |
|------------------------|---|
| linee                  | - mostrano un possibile intervallo di osservazione;   |
| cerchi (vuoti o pieni) | - mostrano l'intervallo d'intensità tipico per questo un dato effetto   |
| cerchi (pieni)         | - mostrano l'intervallo d'intensità per le quali un dato effetto può essere impiegato più utilmente come diagnostico. |

Queste linee terminano con una freccia per mostrare una tendenza potenziale in caso di osservazioni estreme, che in casi eccezionali, differenti situazioni geologiche o casi di vulnerabilità particolare possono andare oltre i limiti mostrati. Per alcuni effetti non sono rappresentate tutte le tre categorie, in particolare dove si pensa che non ci sia una casistica adeguata per formulare un'opinione. Si deve ricordare che per la maggior parte di questi effetti la severità dell'osservazione aumenterà con il crescere dell'intensità. Perciò per "variazione nella portata delle sorgenti", all'intensità 5 ci si può aspettare una leggera variazione, mentre ad intensità più alte la variazione può essere molto maggiore. E' stato deciso che tentare di discriminare tra "leggera variazione nella portata delle sorgenti" e "grande variazione nella portata delle sorgenti" all'interno della scala non era pratico per le difficoltà di quantificare tali espressioni.

Quando si ha a che fare con rotture nel terreno, si deve stare attenti a discriminare tra osservazioni geotecniche, cioè quelle causate dallo scuotimento, e quelle causate direttamente da fagliazione superficiale. Questo comprende gli importanti cambiamenti nel paesaggio dovuti a fagliazione.

Gli effetti elencati nella Tabella sono raggruppati in quattro categorie: idrologici, cedimento dei versanti, effetti nel piano e casi complessi. L'ultimo gruppo riguarda casi in cui più di un tipo di processo è coinvolto nel produrre un certo effetto. Dovrebbe essere notato che le frane appaiono sia come effetto del cedimento dei versanti che come effetto della convergenza di processi diversi; questo avviene perché alcune frane sono il risultato diretto di scuotimenti che dislocano rocce, mentre altre si verificano solamente perché l'instabilità dei versanti viene aggravata da certe condizioni idrauliche. Discriminare tra questi processi può non essere facile; questo è solo un esempio dei problemi che sorgono trattando questo tipo di effetti.

**Tabella 7-1:** Relazione tra effetti sismogeologici e gradi d'intensità

Tipo di effetti	Intensità											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Effetti idrologici</b>												
livello dell'acqua nei pozzi - variazioni minori <sup>1)</sup>	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
livello dell'acqua nei pozzi - variazioni sostanziali <sup>2)</sup>						●	●	●	○	○	○	○
onde a lungo periodo in acque stagnanti <sup>3)</sup>												
onde in acque stagnanti dovute a uno scuotimento locale						●	●	●	○	○	○	○
intorbidimento delle acque di lago <sup>4)</sup>												
cambiamenti nella portata delle sorgenti <sup>5)</sup>												
interruzione e ripresa di sorgenti												
acqua straripa dai laghi												
<b>Effetti di cedimento dei versanti</b>												
rimobilizzazione del detrito di versante piccole frane <sup>6)</sup>												
piccole cadute massi <sup>7)</sup>												
grandi frane, crolli massivi												
<b>Processi su terreno piano <sup>8)</sup></b>												
crepe minori nel terreno												
grandi fenditure nel terreno												
<b>Processi convergenti / casi complessi</b>												
frane (per cause idrologiche) <sup>9)</sup>												
liquefazione <sup>10)</sup>												

Legenda: ●—● intervalli più utili come diagnostici dell'intensità  
○ intensità anche tipiche per questo effetto  
— - - - possibili intervalli d'osservazione  
—> tendenza potenziale in caso di osservazioni estreme oltre i limiti dati

## **Note alla Tabella sugli effetti sismogeologici**

- 1) avvertito solo da strumenti automatici.
- 2) variazioni facilmente osservabili.
- 3) causati da terremoti distanti; possibile torbidità indotta da passaggio di onde.
- 4) da disturbi nei sedimenti del fondo.
- 5) variazione nella portata o intorbidimento di una sorgente.
- 6) in materiale sciolto in siti naturali (argini di fiumi ecc.) o artificiali (sbancamenti).
- 7) piccole cadute di sassi in siti naturali (scogliere) o artificiali (sbancamenti o cave).
- 8) queste due categorie sfumano una nell'altra. Viene ripetuto l'avvertimento di non confondere rotture nel terreno con fenditure causate dallo scuotimento.
- 9) frane dovute a cause idrauliche predominanti (possono essere effetti ritardati).
- 10) liquefazione (es. crateri di sabbia, collinette che si formano ecc.).

## 8 Tabella sintetica della EMS-98

La forma sintetica della Scala Macrosismica Europea, estratta dalla parte centrale, è fornita per dare una panoramica molto semplificata e generalizzata della Scala EM. Essa può, per esempio, essere usata per scopi divulgativi. *Questa forma sintetica ma non è adatta per le assegnazioni d'intensità.*

<b>Intensità EMS</b>	<b>Definizione</b>	<b>Descrizione degli effetti tipici osservati (riassunto)</b>
<b>I</b>	<b>Non avvertito</b>	Non avvertito.
<b>II</b>	<b>Appena avvertito</b>	Avvertito solo da poche persone in stato di riposo al chiuso.
<b>III</b>	<b>Debole</b>	Avvertito da alcune persone in casa. Persone a riposo avvertono una oscillazione o un leggero tremore.
<b>IV</b>	<b>Ampiamente osservato</b>	Avvertito all'interno da molta gente, da pochissimi all'esterno. Alcune persone si svegliano. Finestre, porte e piatti sbattono.
<b>V</b>	<b>Forte</b>	Avvertito all'interno dalla maggior parte delle persone, all'esterno da pochi. Molte persone che dormivano si svegliano. Alcuni si spaventano. Gli edifici tremano nel loro complesso. Oggetti appesi oscillano notevolmente. Piccoli oggetti vengono spostati. Porte e finestre si spalancano o si chiudono.
<b>VI</b>	<b>Danni lievi</b>	Molte persone si spaventano e corrono all'aperto. Alcuni oggetti cadono. Molti edifici subiscono leggeri danni non strutturali come sottilissime fessure capillari e caduta di piccoli pezzi di intonaco.
<b>VII</b>	<b>Danni diffusi</b>	La maggior parte delle persone si spaventano e corrono fuori. I mobili si spostano e gli oggetti cadono dalle mensole in grande numero. Molti edifici ben costruiti subiscono danni moderati: piccole crepe nei muri, caduta di intonaco, caduta di parti di camini; gli edifici più vecchi possono mostrare grandi crepe nei muri e cedimento dei tramezzi.
<b>VIII</b>	<b>Danni gravi</b>	Molte persone hanno difficoltà a stare in piedi. Molti edifici presentano grandi fenditure nei muri. Alcuni edifici ben costruiti mostrano cedimenti gravi dei muri, mentre strutture deboli e più vecchie possono crollare.
<b>IX</b>	<b>Distruttivo</b>	Panico generale. Molte costruzioni deboli crollano. Anche edifici ben costruiti mostrano danni molto gravi: gravi lesioni dei muri e parziali cedimenti strutturali.
<b>X</b>	<b>Molto distruttivo</b>	Molti edifici ben costruiti crollano.
<b>XI</b>	<b>Devastante</b>	La maggior parte degli edifici ben costruiti crollano; anche alcuni con un buon livello di progettazione antisismica vengono distrutti.
<b>XII</b>	<b>Completamente devastante</b>	Quasi tutti gli edifici vengono distrutti.

## **Ringraziamenti**

I curatori della versione italiana della scala EMS-98 sono grati a Massimiliano Stucchi per il suo ruolo di prezioso suggeritore. Un ringraziamento anche a Dino Bindi e Massimiliano Pittore che hanno avuto la pazienza di leggere le bozze. La stampa della versione italiana della EMS-98 è stata finanziata dal Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e dal Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam.

## Referenze Fotografiche:

Figure 5 - 1, 5-2, 5 - 3 da E.T. Kenjebaev and e A.S. Taubaev (Alma Ata);

Figure 5 - 5, 5 - 7, 5 - 8, 5 - 16, 5 - 17, 5 - 20, 5 - 21 da H. Tiedemann (Swiss Reinsurance Company, Zurigo);

Figure 5 - 4, 5 - 6, 5 - 15, 5 - 18, 5 - 19, 5 - 22, 5 - 23, 5 - 24, 5 - 25 da Th. Wenk (Eidgenössische Technische Hochschule, Zurigo);

Figure 5 - 13, 5 - 14 da D. Molin (Servizio Sismico Nazionale, Roma);

Figura 5 - 12 da A. Tertulliani (Istituto Nazionale di Geofisica, Roma);

Figure 5 - 9, 5 - 10 da G. Grünthal (Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam);

Figura 5 - 11 da Landesstelle für Bautechnik Baden Württemberg.

