



QUADERNI di GEOFISICA

Storia delle scale macrosismiche
Duecento anni di osservazione degli effetti
del terremoto



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

150

Direttore Responsabile

Valeria DE PAOLA

Editorial Board

Luigi CUCCI - Editor in Chief (luigi.cucci@ingv.it)
Raffaele AZZARO (raffaele.azzaro@ingv.it)
Christian BIGNAMI (christian.bignami@ingv.it)
Mario CASTELLANO (mario.castellano@ingv.it)
Viviana CASTELLI (viviana.castelli@ingv.it)
Rosa Anna CORSARO (rosanna.corsaro@ingv.it)
Domenico DI MAURO (domenico.dimauro@ingv.it)
Mauro DI VITO (mauro.divito@ingv.it)
Marcello LIOTTA (marcello.liotta@ingv.it)
Mario MATTIA (mario.mattia@ingv.it)
Milena MORETTI (milena.moretti@ingv.it)
Nicola PAGLIUCA (nicola.pagliuca@ingv.it)
Umberto SCIACCA (umberto.sciacca@ingv.it)
Alessandro SETTIMI (alessandro.settimi1@istruzione.it)
Andrea TERTULLIANI (andrea.tertulliani@ingv.it)

Segreteria di Redazione

Francesca DI STEFANO - Referente
Rossella CELI
Barbara ANGIONI

redazionecen@ingv.it

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.174 | 2014, 23 LUGLIO

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI
Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

QUADERNI di GEOFISICA

Storia delle scale macrosismiche Duecento anni di osservazione degli effetti del terremoto

Andrea Tertulliani

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Sismologia e Tettonofisica

Accettato 17 ottobre 2018 | *Accepted 17 October 2018*

Come citare | *How to cite* Tertulliani A. (2019). Storia delle scale macrosismiche. Quad. Geofis., 150: 1-60.

In copertina Michele Stefano De Rossi (1822-1894) (sulla destra) presso l'Osservatorio geodinamico di Rocca di Papa. Foto da G. Ferrari, [2002] | *Cover* Michele Stefano De Rossi (1822-1894) (on the right) at the Rocca di Papa Geodynamic Observatory. Photo from G. Ferrari, [2002]

150

INDICE

Premessa	7
<i>Preface</i>	7
Introduzione	8
1. Le prime classificazioni della forza di un terremoto	10
2. Le prime scale sismiche	12
3. La scala De Rossi e sue varianti	18
4. Le scale sismiche assolute o scale dinamiche	28
5. Le scale di Mercalli	34
6. Le tre sorelle	39
7. La valutazione degli effetti ambientali	50
8. In conclusione	51
Ringraziamenti	52
Bibliografia	52

“Essendo tanto importante la conoscenza della intensità delle scosse, ognuno vede quanto momento sia la scelta di una buona scala sismica per distinguere i diversi gradi di tale intensità”

G. Mercalli, 1902

“In our age of cybernetics it might seem strange that in order to estimate the strength of the earthquake we still widely use rough and primitive scales based on vague human feelings and on the evaluation of damage of most diverse buildings”

N. V. Shebalin, 1964

Premessa

Le scale macrosismiche utilizzate negli anni più recenti sono il distillato di un processo evolutivo nel campo dell'osservazione degli effetti dei terremoti durato un paio di secoli. La scala più moderna, la European Macroseismic scale [EMS-98, Grünthal, 1998] attualmente diffusa nell'uso in Europa, deriva dalla scala MSK64 (Medvedev-Sponheuer-Karnik), che a sua volta, dopo varie altre proposte e varianti, è stato un adattamento della MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg) del 1930 alla condizione urbanistica dell'Europa centro-orientale. Anche la MMI (Modified Mercalli) fu proposta da Wood e Neumann per adattare la scala Mercalli allo specifico caso della California, per poi estenderne l'uso a tutti gli Stati Uniti. Nel mondo, con l'esclusione del Giappone che ha adottato scale di propria tradizione (a sette gradi), negli ultimi 130 anni circa si sono usate scale derivate dalla De Rossi-Forel prima, e dalla Mercalli poi. Durante tutto questo periodo sono state proposte diverse decine di scale, alcune velleitarie altre più significative. Vale allora la pena di curiosare nella storia della scala macrosismica, strumento considerato, a torto, fino a qualche anno fa desueto ma tornato in auge in tempi recenti, e cercare di ricostruirne il percorso scientifico e culturale dalle origini fino all'avvento della scala a dodici gradi di Sieberg. Il seguito è storia più recente e più conosciuta.

Questa nota non ha ovviamente la pretesa di essere una esauriente e definitiva raccolta di tutte le scale sismiche che si sono succedute nel tempo, e neanche il catalogo di tutte le fonti relative possibili, perché sarebbe superiore alle forze in gioco. Ambirebbe, almeno, essere una guida alla storia delle scale di intensità soprattutto per quanto riguarda il periodo pionieristico della sismologia, tra '800 e '900, mettendo insieme, nei limiti del disponibile, i materiali utili, spesso di difficile recupero. Molte delle scale elencate, oltre 50, sono note e alcune notissime, diverse altre che erano cadute totalmente nell'oblio sono state recuperate da pubblicazioni e relazioni su eventi sismici, a volte in modo casuale. Ho cercato di lasciare al lettore la possibilità di un confronto diretto tra il maggior numero possibile di scale che sono state pubblicate, proponendo i testi tradotti in italiano direttamente dall'originale.

Preface

The macroseismic scales used in recent years are the distillate of an evolutionary process in the field of the observation of the earthquakes' effects which has lasted a couple of centuries. The most modern scale, the EMS-98 (European Macroseismic scale [Grünthal, 1998]) currently in use in Europe, derives from the MSK64 scale (Medvedev-Sponheuer-Karnik), which in turn, after various other proposals and variations, was an arrangement of the MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg) of 1930 to the urban

condition of central-eastern Europe. Also the MMI (Modified Mercalli) was proposed by Wood and Neumann to adapt the Mercalli scale to the specific case of California, and then extend its use to all the United States. In the world, with the exclusion of Japan that has adopted its own tradition scales (of seven degrees), in the last 130 years, the used scales derive from the De Rossi-Forel first, and then from the Mercalli one. Throughout this period, dozens of scales have been proposed, some other more meaningful than others. It is then worthwhile to snoop in the history of the macroseismic scale, a tool considered, wrongly, until a few years ago obsolete, but back in vogue in recent times. Here I tried to reconstruct its scientific and cultural journey from its origins until the advent of the scale at twelve degrees of Sieberg and the more recent scales.

Obviously this note does not claim to be an exhaustive and definitive collection of all the seismic scales that have occurred over time, nor the catalog of all the possible relative sources, because it would go beyond the forces at stake. At least, it would be a guide to the history of the intensity scales, especially as regards the pioneering period of seismology, between the 19th and 20th centuries, putting together, to the extent available, useful materials, often difficult to retrieve. In particular I tried to leave the reader the possibility of a direct comparison between the largest possible number of scales that have been published over time, proposing the texts translated into Italian directly from the original.

Avvertenze

Il lettore potrà incontrare diverse disomogeneità nella presentazione delle scale macrosismiche descritte. Questo perché ho preferito lasciare simbolismi, notazioni, caratteri tipografici e editing il più possibile aderenti agli originali. Allo stesso modo ho lasciato invariato il linguaggio utilizzato dagli autori, anche se in diversi casi può risultare obsoleto, a volte oscuro. Ho cercato di fare la stessa operazione anche per le traduzioni.

Introduzione

Secondo una distinzione che risale al tempo in cui la sismologia, come disciplina scientifica modernamente intesa¹, muoveva i primi passi, i terremoti erano classificati in *macrosismi* e *microsismi*. Com'è intuitivo capire, tra i primi erano da considerarsi i terremoti oltre la soglia dell'avvertibilità umana, mentre i secondi erano quelli riconosciuti solo tramite gli strumenti. Per questo motivo il sismologo Milne [1903] preferì usare il termine "unfelt", non avvertito, invece di microsisma. Questo derivava dal fatto, scontato per noi oggi, ma non allora, che tramite i primi strumenti ci si accorse che la Terra tremava anche senza che l'uomo l'avvertisse, e quindi senza causare disastri o spavento [Sieberg, 1904].

Il termine *macrosismica* ha dunque questa origine, cioè di disciplina che si occupa dei sismi "sensibili". Ovviamente prima della diffusione di affidabili strumenti sismologici, cioè dai primi decenni del secolo scorso, la sismologia era in grado di studiare in modo approfondito solo i cosiddetti *macrosismi*.

Nei tempi attuali la *macrosismica* - o *macrosismologia* come definita alternativamente - e quindi lo studio degli effetti sensibili dei terremoti, ha perso molte delle sue primitive peculiarità, sostituite, com'è logico, da approcci prevalentemente quantitativi sostenuti da strumentazioni sempre più efficaci. Essa è rimasta per lo più legata alla classificazione dello scuotimento, in base all'intensità, dei terremoti recenti, ricostruito attraverso i rilievi sul campo, e come strumento di lavoro per lo studio di terremoti storici. Resta inoltre uno strumento imprescindibile nella compilazione dei cataloghi sismici, importanti per le valutazioni di pericolosità.

¹ Il termine sismologia sembra essere stato coniato da Robert Mallet nel 1858 (Oxford English Dictionary).

Sempre più studiosi, sullo slancio illuminista e sull'onda dell'emozione collettiva dopo i terremoti di Lisbona del 1755 e della Calabria del 1783, congettarono ipotesi sulle cause dei sismi dall'osservazione diretta dei loro effetti. Questa consapevolezza si era già evoluta particolarmente nella seconda metà del XVI sec., quando la concezione del fenomeno terremoto, uscendo faticosamente dalla sua collocazione fra i prodigi di eredità romana e medievale, cominciava ad acquisire la piena (e vera) dimensione di fenomeno naturale. Dalla metà del 1800, cioè da quando possiamo far iniziare gli studi sistematici di sismologia, agli inizi del 1900, l'unico modo per studiare i terremoti era osservarne gli esiti sull'ambiente e sui manufatti per cercare di dedurne elementi utili a studiarne le cause.

Gli studiosi cominciarono quindi a osservare, raccogliere e classificare tali effetti per rendere le loro osservazioni comparabili da un terremoto all'altro. Ma l'opera di un solo osservatore non avrebbe avuto molto successo, nello studiare un fenomeno che colpiva a grande scala, su ampi territori, e con grande variabilità di conseguenze. Curiosamente, e diversamente dalle altre discipline scientifiche, la scienza che studiava i terremoti, ebbe la necessità di avvalersi di schiere di osservatori non professionisti, di persone che raccoglievano osservazioni sugli effetti causati dai sismi, gli scuotimenti, i tremiti e le impressioni da essi indotte. In una bella sintesi Coen [2009] descrive questa capacità di *trasformare un istante di panico e confusione in un settore per la produzione di evidenze scientifiche*. Nacquero quindi reti di osservatori permanenti di tipo amatoriale, soprattutto nel mondo anglosassone e nella mitteleuropa, mentre in Italia e in Giappone il ricorso a queste reti fu fortemente indirizzato e mediato direttamente dagli stessi scienziati. La rete di informatori messa in piedi da Michele Stefano De Rossi per il suo *Bullettino del Vulcanismo Italiano*, ad esempio, era composta da gentiluomini naturalisti, con la passione per l'osservazione dei fenomeni e con, spesso, strumenti di misura, come sismoscopi, installati dentro casa. Cosa assai curiosa è che i testimoni degli effetti dei sismi erano al tempo stesso osservatori scientifici e oggetto di osservazione. Recente è il recupero, in alcuni archivi tedeschi, di documentazione dell'amministrazione prussiana, molto simile agli attuali questionari macrosismici, da somministrare ai funzionari e alla popolazione, per raccogliere sistematicamente notizie sul terremoto del 3 dicembre 1828 nella Valle del Reno [Knuts et al., 2017] molto in anticipo rispetto ai tentativi appena descritti.

Per riuscire ad avere un'informazione utilizzabile e nei limiti, attendibile, i sismologi cercarono di sviluppare [Coen, 2013] un linguaggio comprensibile ai *sismografi umani*, che spesso erano postini, capistazione, farmacisti, telegrafisti, eccetera. Gli scienziati, allora, poterono cominciare ad utilizzare queste informazioni per classificare la forza degli eventi sismici, a seconda della intensità o gravità degli effetti osservati². A gruppi di effetti paragonabili tra loro venne associato un grado, o livello di intensità della forza dello scuotimento sismico. Nascono in questo modo le scale sismiche o di intensità (più tardi dette *macrosismiche*).

L'intensità può essere definita quindi come una classificazione della forza dello scuotimento dovuto a un terremoto, riferita ad un dato luogo e derivata in base agli effetti ivi osservati. È molto probabile che la struttura di scala e il linguaggio usato possano discendere inizialmente dai metodi di classificazione dei fenomeni meteorologici utilizzati già alla fine del '700, come la scala Beaufort per valutare la velocità dei venti, e che derivavano a loro volta dall'esperienza di pescatori e marinai, e non direttamente dagli scienziati.

² La rete italiana di corrispondenti che riempivano questionari degli standard basati sulla scala sismica, dall'idea di De Rossi, funzionò ininterrottamente in Italia, con varie fasi e sotto varie agenzie, per oltre 60 anni [Camassi R., 1990, *Bollettini sismici e studio dei terremoti dei secoli XIX e XX*, in *Atti Convegno GNDT, Pisa 1990*, pp. 207-222]. Oltre all'eccezionale caso italiano questa metodica ha avuto sviluppi più recenti grazie a reti di informatori organizzate sistematicamente a partire dagli anni '70 del secolo scorso, reti che utilizzavano come osservatori studenti, pubblici ufficiali (in Italia le stazioni dei Carabinieri), o privati cittadini [vedi fra gli altri Favali et al., 1980; De Rubeis et al., 1989; Kayano, 1990; Dengler and Dewey, 1998]. Lo sviluppo tecnologico ha poi portato naturalmente a creare reti di corrispondenti on-line ormai universalmente diffuse in quasi tutti i paesi [Wald et al., 1999; Musson, 2007; Sbarra et al., 2010] come la statunitense *Did you feel it?* gestita dall'USGS o la rete italiana *Hai sentito il terremoto?* dell'INGV.

L'attenzione degli studiosi, in concorso con l'occorrere di terremoti luttuosi in Europa dalla seconda metà dell'800, si sposta maggiormente verso lo studio degli effetti sugli edifici. Vedremo nelle pagine seguenti come le scale, che inizialmente ponevano maggior riguardo agli effetti transitori e la percezione umana, entreranno sempre più dettaglio della descrizione dei danni ad edifici e manufatti; la maggior consapevolezza che i terremoti erano causa di grandi perdite umane porta a usare le scale sismiche come strumenti per una sorta di *epidemiologia* del danno, al fine di ricavare informazioni sulla vulnerabilità degli edifici. È con Giuseppe Mercalli, dopo il terremoto di Casamicciola del 1883 [Mercalli, 1885], che la questione della prevenzione diviene anche questione di coscienza ed etica professionale da parte dello scienziato in generale e del sismologo in particolare.

In alcuni casi, l'intensità o semplicemente una espressione della forza di un terremoto nel suo complesso (intensità del terremoto o massima), come descrizione del suo impatto su un territorio, venne usata per classificare i terremoti all'interno di cataloghi (vedi ad esempio la scala Mallet del 1858). La prima storia delle scale sismiche fu scritta dal professore di matematica e sismologo amatoriale (in realtà uno dei fondatori della moderna sismologia), l'inglese Charles Davison, il quale è stato il primo a farne una trattazione che potremmo definire analitica in vari suoi lavori [Davison, 1910; Davison, 1921]. Già nel 1921 il Davison aveva classificato 27 scale differenti sino allora utilizzate, che divennero 39 nel suo articolo pubblicato nel 1933 [Davison, 1933].

Da un punto di vista squisitamente cronologico, ma certo con molto arbitrio, potremmo individuare vari periodi in cui suddividere la storia delle scale d'intensità: un periodo maggiormente caratterizzato dalle scale "personali" o arbitrarie, le più antiche, utilizzate per un solo evento e usate dal solo autore; un secondo periodo, che potremmo far iniziare dal 1874, data della pubblicazione della scala di De Rossi, fino alla fine degli anni '50 quando Charles Richter propose una stesura aggiornata della scala di Wood e Neumann [1931] i quali avevano a loro volta adattato la scala Mercalli per la realtà degli Stati Uniti. Questo secondo periodo vede diffondersi due grandi famiglie di scale, in continuità tra di loro: prima quelle derivate dalla De Rossi e poi quelle della famiglia Mercalli. A cavallo tra questi due periodi furono concepite le scale assolute, che avrebbero dovuto rappresentare la congiunzione tra una sismologia prettamente osservativa ed una strumentale. Ultimo e più recente periodo è quello delle scale complesse, a partire proprio dalla versione Richter della MMI e dalla MSK (Medvedev, Sponhauer, Karnik) nelle quali compaiono specifiche distinzioni di tipologie edilizie e relative percentuali di danno.

In queste pagine mi soffermerò maggiormente sulle prime due parti perché a mio avviso più interessanti dal punto di vista della storia della disciplina. In secondo luogo sono le parti che riguardano maggiormente la storia della sismologia in Italia, che connotò per l'epoca l'intero sviluppo della sismologia mondiale.

1. Le prime classificazioni della forza di un terremoto

In un codice azteco del XVI secolo Garduño-Monroy [2015] ha creduto di individuare una rappresentazione pittorica di una scala di intensità dei terremoti, risalente alla metà del XV secolo. Sebbene potremmo considerare temeraria questa interpretazione, la ritengo degna di citazione e di interesse, oltretutto, probabilmente, la più antica.

Vanno citati altrettanto doverosamente, ma non ancora annoverati tra le scale macrosismiche in senso stretto, due famosi ed antichi esempi di mappe sismiche disegnate per descrivere gli effetti in un'area colpita da un terremoto. La prima di queste rappresentazioni, la cui attribuzione

località e le cartografò, racchiudendole all'interno di un'isolina di risentimento individuando anche un "epicentro". Un'analoga rappresentazione, con isolinee che racchiudevano le aree danneggiate dal terremoto di Mór (Ungheria) del 1810, fu pubblicata da due professori dell'università di Pest, Kitaibel e Tomcsányi [in Varga, 2008].

2. Le prime scale sismiche

Il più antico uso riconosciuto di una classificazione dell'intensità di un sisma proviene da Jared Brooks⁵, il quale prese nota degli effetti delle scosse della sequenza sismica di New Madrid (USA), nel 1811-1812, avvertite nella cittadina di Louisville (Fig. 2), costruendo una gerarchia di classi di forza dello scuotimento, anche con l'ausilio di piccoli pendoli orizzontali di lunghezza variabile.

Scala Brooks:

1 livello - Il più tremendo, così da minacciare la distruzione della città, e di causarla se la sua azione continuasse con lo stesso grado di violenza; gli edifici oscillano ampiamente e irregolarmente e sfregano gli uni contro gli altri; i muri si lesionano e cominciano a cedere; camini, parapetti e frontoni si rompono in varie direzioni e piombano al suolo.

2 livello - Meno violento, ma molto severo.

3 livello - Moderato, ma generalmente in grado di spaventare la gente.

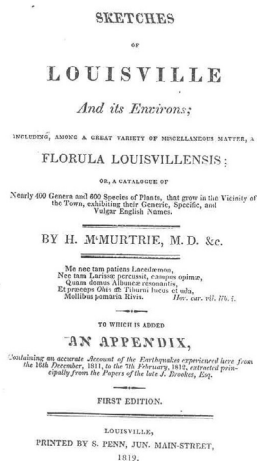
4 livello - Percepibile alla sensibilità di coloro che siano in quiete e non soggetti ad altro movimento, o scuotimento che gli possa assomigliare.

5 livello - (non definito).

6 livello - Sebbene spesso causi una sorta di strana sensazione, assenza e talvolta capogiri, il movimento (il terremoto) non è riconosciuto come tale, se non tramite avvisatori (pendoli o vibratori) o altri oggetti dedicati allo scopo.

Figura 2 Prima pagina della rivista "Sketches of Louisville", in appendice alla quale fu pubblicato il resoconto di Brooks.

Figure 2 Cover of the "Sketches of Louisville", where the account of Brooks on the earthquakes was published as appendix.



La maggior parte degli storici della sismologia [vedi tra gli altri Montessus de Ballore, 1907; Davison, 1927; Varga, 2008] assegna tuttavia la dignità di prima scala di intensità a quella dell'insegnante di matematica e fisica Peter Nikolaus Casper Egen [1828], il quale catalogò la variazione areale dell'intensità del terremoto renano, localizzabile fra Olanda, Germania, Belgio e nord della Francia, avvenuto il 23 febbraio 1828. Egen stesso disegnò una mappa nella quale

⁵ Il resoconto di Brooks apparve postumo su, *Sketches of Louisville and its Environs*, Penn. Jun. Main-Street, Louisville, come Appendice: "Account of the earthquakes experienced here from the 16th December 1811, to the 7th February, 1812, extracted from the papers of the late J. Brooks, Esq.", vedi figura 2.

le località che avevano sperimentato effetti diversi dello scuotimento erano contraddistinte da diversi colori. Anche Egen, come Brooks, distinse sei livelli di scuotimento.

Scala Egen:

6 grado - Quasi tutti gli oggetti domestici sono stati spostati con violenza dal proprio posto; si sono rotti specchi e vasellame di porcellana e di vetro; sono crollati i camini; i muri sono crollati oppure si sono lesionati.⁶

5 grado - Gli oggetti domestici sono stati spostati in modo consistente, i muri si sono crepati ma i camini non sono crollati, le persone non sono cadute e i danni non sono stati significativi.

4 grado - Gli oggetti si sono mossi e il terremoto è stato così forte da essere stato avvertito da tutti.

3 grado - Le scosse sono state così forti da far tintinnare le finestre, hanno suonato i campanelli delle case. La maggior parte delle persone ha potuto osservare le scosse.

2 grado - Poche persone hanno potuto avvertire il terremoto, perché si trovavano in una posizione favorevole. I bicchieri hanno cominciato a tintinnare, si sono mosse lentamente piccole piante in vaso, ma campanelle appese non hanno suonato.

1 grado - Il terremoto viene avvertito soltanto in circostanze particolari; (visto che ciò accade solo di rado, non si ritiene opportuno darne comunicazione).

Curiosamente le definizioni dei gradi della scala De Rossi-Forel, di 50 anni più recente, somigliano notevolmente a quelle della scala di Egen, alla quale tuttavia, non c'è prova che si siano ispirati i due autori.

Un altro tentativo di dare una gradazione alla diversa forza delle scosse di terremoto fu fatto dal direttore dell'ufficio postale di Comrie (Scozia) Peter Macfarlane che, insieme al calzolaio locale James Drummond, raccolse le informazioni per stimare l'intensità relativa delle scosse di una lunga sequenza sismica iniziata nell'ottobre 1839 nella zona di Comrie [Milne, 1842]. Macfarlane ideò una scala di 10 gradi, assegnando il grado 10 alla scossa principale del 23 ottobre 1839, graduando le altre scosse relativamente ad essa, fino al grado 1 corrispondente alla scossa più leggera. C'è da aggiungere che Macfarlane non indicò come graduare le differenze tra i gradi intermedi tra 1 e 10, impedendo così un futuro uso della sua scala. L'esempio della scala di Macfarlane, come di altre successive, è quello, quindi, di una scala specifica per stimare la grandezza relativa delle scosse all'interno di una singola serie di eventi e non esportabile per altri terremoti.⁷

Un ulteriore, e ben studiato esempio di scala personale è quello utilizzato da Volger per lo studio del terremoto di Visp (Svizzera) del 25 giugno 1855 [Volger, 1856], per il quale fu costruita una scala sulla base di dati raccolti durante una inchiesta sugli effetti del sisma. Questo viene rappresentato, grazie alle mappe del cartografo Petermann, prima con una scala di cinque gradi, da 1 (il più forte) a 5, e in una pubblicazione successiva con una scala di sette gradi [Volger, 1857-58]. Le due scale, leggermente differenti, sono state analizzate nel dettaglio da Kozak e Vaněk [2006] e da Gisler [2008], e sono riportate in tabella 1.

Un'altra rappresentazione è quella di Nöggerath [1847] del terremoto della valle del Reno del 29 luglio 1846, dove venivano definite due isolinee a racchiudere aree con diverso livello di risentimento:

1 - dove la scossa è stata avvertita con la maggior intensità;

2 - dove la scossa è stata avvertita.

⁶ Il quadro della descrizione di Egen nell'area che lui indica di massimo risentimento è in realtà più dettagliato: "Qui tutti gli oggetti presenti in casa sono stati spostati con violenza dal proprio posto; si sono rotti specchi e vasellame di porcellana e di vetro; sono crollati i camini. I muri si sono crepati oppure sono crollati. A Liegi i lavoratori delle miniere di carbone hanno lasciato il proprio posto di lavoro, in preda alla paura. Si è sentito da queste parti un rombo soffocato e sotterraneo, simile al rumore di una macchina pesante che, muovendosi sul selciato, ne rompesse le pietre".

⁷ La raccolta di dati di Macfarlane fu commissionata dalla British Association for the Advancement of Science e pubblicata su British Association Report, 1842, pp. 92-98.

Volger (1857-58)		Volger-Petermann (1856)	
0	Area dove interi villaggi sono rovinati.	1	Area del movimento più forte, dove intere case, chiese ecc. sono crollate.
1	Area dove le parti più importanti degli edifici sono cadute.	2	Area dove importanti parti di edifici sono state danneggiate.
2	Area dove numerosi muri hanno subito fessurazioni, parti più piccole di edifici sono cadute.	3	Area dove lo scuotimento ha provocato piccoli danni, e il terremoto è stato fortemente avvertito.
3	Area dove camini sono caduti, numerose tracce di minor danno.		
4	Area dove il tremore è stato in generale avvertito fortemente.	4	Area dove sono avvenuti piccoli danni isolati ad edifici.
5	Area dove sono stati osservati movimenti del suolo.	5	Area dove il tremore è stato indubbiamente avvertito.
6	Area nella quale è stata riportata una qualsiasi osservazione.		

Tabella 1 Confronto tra le due scale di Volger per il terremoto di Visp del 1856. Si nota che nella scala più recente, quella in sette gradi, Volger ha tentato di dettagliare maggiormente le informazioni raccolte. Il risultato è però abbastanza incerto soprattutto per le aree di avvertimento.

Table 1 Comparison between the two scales by Volger for the Visp earthquake occurred on 1856. In the more recent of the two scales, with seven degrees, Volger tried to better specify the collected information.

All'interno dell'isolinea che delimita l'intensità più forte, Nöggerath determinò la posizione dell'epicentro.

Aggiungo all'elenco l'opera di due altri naturalisti, J.F. Julius Schmidt and Ludwig Heinrich Jeitteles, che studiarono il terremoto di Žilina, in Slovacchia, del 15 gennaio 1858 [Vanek e Kozak, 2007]. Schmidt [1858] riprodusse gli effetti del terremoto in due mappe, delimitando con isolinee le aree di simile intensità, usando una classificazione di 6 livelli, il sesto dei quali riferito al limite di percezione del terremoto. Lo stesso evento fu accuratamente studiato anche dal praghese Jeitteles [1859] che suddivise l'area colpita in tre zone corrispondenti a tre livelli di risentimento:

- zona I, massimo scuotimento;*
- zona II, area dove il terremoto fu generalmente avvertito;*
- zona III, area dove lo scuotimento fu debole e scarsamente avvertito.*

Anche in questo caso la rappresentazione fu soltanto cartografica.

Chiudo segnalando il lavoro di Franz Wahner, geologo dell'Accademia Imperiale delle Scienze di Vienna, inviato a raccogliere informazioni su danni e risentimenti a seguito del terremoto di Zagabria del 9 novembre 1880 (noto nella letteratura dell'epoca come il terremoto di Agram, tradizionale nome austriaco di Zagabria). La particolarità della ricerca di Wahner risiede nel fatto che vennero raccolti moltissimi dati su circa 750 località, sparse in tutto l'impero asburgico, con lo scopo ultimo di dedurre dalla loro analisi, indicazioni generali sul fenomeno fisico, come dichiarò lo stesso autore [Coen, 2013]. La rappresentazione finale di Wanher fu cartografica, definendo quattro aree:

- 1- *ampia distruzione di edifici,*
- 2- *forte danno,*
- 3- *leggero danno,*
- 4- *nessun danno.*

Dopo questi tentativi, basati più che altro sulla mappatura cartografica del risentimento, nascono, a partire circa dalla metà del 1800, diverse altre scale di intensità, stilate con l'intento di descrivere in modo sintetico gli effetti di singoli terremoti o di sequenze sismiche. Si era ancora ben lontani dallo studiare i terremoti come fenomeno connesso con una realtà complessa sia dal punto di vista geofisico che urbanistico, ed ogni evento studiato rappresenta un caso a se stante. Per questo motivo, probabilmente, le scale ideate in quel primo periodo, vennero usate soltanto dal proprio autore (Davison le definì *personali*) [Davison, 1921 e 1933] e per un singolo terremoto. Abbiamo così molte scale diverse tra loro, sia nella descrizione degli elementi diagnostici, specifici per gli effetti osservati nell'occasione, che nel numero e sequenzialità dei gradi. La prima scala sismica ad essere accettata ed usata da gran parte della comunità sismologica fu la scala di De Rossi del 1874 pubblicata nel *Bullettino del Vulcanismo Italiano* [De Rossi, 1874]. L'avvento della De Rossi non esaurì la nascita e l'uso delle scale arbitrarie, ma addirittura in diversi casi, alcuni sismologi modificheranno la De Rossi, (o la Mercalli o la Sieberg), per adattarle a situazioni locali. Qui di seguito vengono elencate altre scale, sia prodotte in un periodo che precede la piena diffusione della scala De Rossi, sia alcune derivazioni di quest'ultima.

Scala Mallet 1 (1858)

Questa suddivisione in tre classi, è usata da Mallet per la sua "Mappa sismografica del mondo" pubblicata in appendice al *Fourth Report* della British Association a, p. 59 [Mallet, 1858]:

1. *Grandi terremoti, nei quali numerose città ecc., vengono rovesciate (distrutte), moltitudini di persone uccise, masse rocciose dislocate, e potenti "effetti secondari" prodotti.*
2. *Terremoti medi, quelli che, sebbene abbiano forse una larga area di risentimento, sono stati registrati (ricordati) per aver prodotto effetti molto meno distruttivi su città, ecc., e piccoli o nessun cambiamento sull'ambiente naturale, e scarse perdite di vite umane.*
3. *Terremoti minori, limitati a quelli che, sebbene sensibili e causa di qualche effetto (fissure, ecc.) su edifici, non hanno causato effetti sull'ambiente naturale, e lasciato poche o nessuna traccia della loro occorrenza dopo l'avvenimento.*

La seconda scala di Mallet, descriveva gli effetti riconosciuti sul campo nel corso del suo rilievo del terremoto campano del 1857, poi illustrati in mappa nel lavoro pubblicato [Mallet, 1862]. Curiosamente il Mallet descrisse in due modi leggermente differenti, a distanza di due pagine soltanto (253 e 255) la stessa classificazione usata come legenda della mappa.

Per esattezza e soprattutto per senso di curiosità le trascrivo entrambe qui di seguito:

Scala Mallet 2, 1862, Pag. 253:

1. *Area mesosismica, entro la quale la maggior parte di città e paesi sono stati totalmente distrutti.*
2. *Prima isosisma, esterna a quest'ultima, [...] definisce il confine dell'area all'interno della quale grandi porzioni delle città e paesi sono stati abbattuti, e persone uccise e ferite dai loro crolli, come nella precedente.*
3. *Seconda isosisma, [...] marca il confine dell'area entro cui, lo sforzo fu principalmente limitato a produrre fessure, e lievi dislocazioni negli edifici, e in cui non vi fu perdita di vite.*
4. *Terza isosisma, che racchiude l'area nella quale la scossa fu percepita da tutti.*
5. *Quarta isosisma, racchiude il probabile confine entro il quale la scossa l'onda fu sensibile, anche solo alla sensibilità strumentale di un sismometro, come il barometro galleggiante di Padre Secchi a Roma.*

Scala Hayden, 1886

La scala di Hayden, è contenuta nel rapporto pubblicato su Science [Hayden, 1886] riguardo al terremoto di Charleston del 31 agosto 1886. La scala, di cinque gradi, venne poi ripresa da Mendenhall [1886] e pubblicata insieme ad una mappa di isosisme basata sulla medesima scala, che Mendenhall attribuisce all'allora Direttore del United States Geological Survey del tempo, J. W. Powell. Lo stesso Davison [1933] chiamerà nel suo articolo la scala col nome di Powell.

1. *Molto leggera. Notata da poche persone; generalmente non avvertita.*
2. *Leggera. Avvertita dalla maggioranza delle persone; tremolio di finestre e vasellame.*
3. *Moderata. Capace di far oscillare oggetti sospesi, lampadari, o di far rovesciare oggetti leggeri.*
4. *Forte. In grado di rompere l'intonaco nelle case, o far cadere qualche mattone di camino.*
5. *Severa. In grado di rovesciare camini e lesionare i muri delle abitazioni.*

Scala Saderra Masò, 1895

Possiamo annoverare anche la Scala Saderra Masò⁹, usata nelle Filippine già dal 1870 (ma pubblicata nel 1895) [Davison, 1921], definita solo da aggettivi, senza alcun altro elemento diagnostico. Nella sua pubblicazione Davison correde gli aggettivi con i gradi equivalenti in termini di De Rossi- Forel (in parentesi sotto).

1. *Percepibile (II, III)*
2. *Leggera (IV)*
3. *Ordinaria (V)*
4. *Forte (VI, VII)*
5. *Violenta (VIII)*
6. *Distruttiva (IX, X)*

Scale Riccò, 1893, 1894

Annibale Riccò, direttore dell'Osservatorio di Catania descrisse gli effetti di una serie di terremoti avvenuti in area etnea il 22 aprile 1893 e il 7 e l'8 agosto 1894 [Riccò, 1893; 1894]. Nel primo caso fu utilizzata una scala a sei gradi, nel secondo a cinque:

1. *Scossa indicata solo da strumenti sismici*
2. *Scossa avvertita dalle persone*
3. *Scossa avvertita dalle persone con spavento*
4. *Scossa che ha prodotto danni in qualche casa*
5. *Scossa che ha prodotto seri danni in molte case*
6. *Scossa che ha prodotto la caduta di case*

La successiva scala, graduata per un terremoto di minor impatto era quasi identica, con l'eccezione del sesto grado, eliminato.

1. *Scossa indicata solo da strumenti sismici*
2. *Scossa avvertita dalle persone*
3. *Scossa avvertita dalle persone con spavento*
4. *Scossa che ha prodotto danni in qualche casa*
5. *Scossa che ha prodotto seri danni in molte case*

È evidente l'intento di usare uno strumento che si adattasse direttamente agli effetti osservati, anche se è altrettanto evidente che si tratta di parziali utilizzi della scala De Rossi (vedi Cap. 3).

⁹ P. Miguel Saderra Masò, (1895). In: La Seismologia en Filipinas, p 21, Manila, citato da Davison [1921].

3. La scala De Rossi e sue varianti

Per quanto oggi in pochi si ricordino di lui, Michele Stefano De Rossi fu indiscutibilmente il fondatore della moderna sismologia in Italia. Il Davison [1927]¹⁰ ne parla in questi termini: *“A pochi uomini, forse nessuno, la sismologia italiana è così profondamente in debito come a Michele Stefano De Rossi (1834-98)”*.

Figura 4 Michele Stefano De Rossi (1822-1894) (sulla destra) presso l'Osservatorio geodinamico di Rocca di Papa. Foto da G. Ferrari, [2002].

Figure 4 Michele Stefano De Rossi (1822-1894) (on the right) at the Rocca di Papa Geodynamic Observatory. Photo from G. Ferrari, [2002].



De Rossi (Fig. 4) romano, dedicò quasi tutta la propria vita allo studio, alla divulgazione e all'organizzazione della sismologia italiana, intesa sia come disciplina scientifica che come servizio di sorveglianza e prevenzione degli eventi sismici e vulcanici. Fu il primo a mettere in piedi un servizio di corrispondenti per la raccolta delle informazioni sui terremoti e di osservatori con strumenti sismologici e meteorologici per lo studio sistematico delle *“perturbazioni endogene”*. Nel primo numero del *Bullettino del Vulcanismo Italiano (BVI)* [De Rossi, 1874], ad accompagnare la lista degli eventi del 1873 avvenuti in Italia, viene pubblicata per la prima volta la scala sismica a 10 gradi che prenderà da qui in avanti il suo nome. La De Rossi fu la prima scala macrosismica concepita con lo scopo dichiarato di confrontare, in modo non arbitrario, diversi terremoti tra di loro:

“Descrivendo il terremoto ne indicherò la forza. Ma acciò i molti epiteti che sogliono esser dati a quel fenomeno non sieno applicati dall'arbitrio degli osservatori, senza potervi fondare un criterio scientifico, ecco i termini che io vado ad adoperare corrispondenti ad un grado speciale dell'intensità sismica rivelata dagli effetti della scossa”.

Segue la scala con le descrizioni dei vari gradi:

1 scossa leggerissima - Avvertita soltanto dai sismografi o da un sismologo.

2 debole - Avvertita da più d'uno.

3 leggera - Avvertita da molti.

4 sensibile - Scosse seguite da tremolio di infissi cristalli e soprammobili.

5 mediocre - Avvertita generalmente da moltissimi.

6 forte - Con suono di campanelli, oscillazione di lampade, arresto di orologi.

7 molto forte - Con caduta di calcinacci, suono di campane da torre, strepito.

8 fortissima - Con caduta di fumaioli e lesioni di fabbricati.

9 rovinosa - Con caduta totale o parziale di qualche edificio.

10 disastrosa - Con grandi rovine e vittime.

¹⁰ Davison in *Founders of Seismology* *“To few men, perhaps to no man, is Italian seismology so deeply indebted as to Michele Stefano De Rossi (1834-98)”*.

La scala De Rossi fu riportata nella pubblicazione di Luigi Gatta [Gatta, 1874] intitolata *La Sismologia ed il Magnetismo*, ed utilizzata per la prima volta da un autore diverso dal proponente, in uno studio sul terremoto del Riminese del 17 marzo 1875, pubblicato da padre Alessandro Serpieri [1876].

De Rossi continuò a pubblicare in quasi ogni numero del BVI la scala (il termine scala comparirà nel BVI del 1876, anno terzo di pubblicazione) con piccoli aggiustamenti nella terminologia usata nella descrizione gradi. Nel 1875 [De Rossi, 1875] i gradi dal 5° all'8° cambiano come segue (in grassetto i cambiamenti):

5 mediocre - Avvertita generalmente da moltissimi, seguita nelle città da un tocco di qualche raro campanello.

6 forte - Con suono più o meno generale di campanelli, oscillazione di lampade, arresto di orologi nelle città; e nelle campagne tremito visibile o sensibile degli alberi e degli arbusti.

7 molto forte - Con caduta di calcinacci, suono di campane da torre, strepito, spavento abbastanza generale senza danni.

8 fortissima - Con caduta di fumaioli e lesioni di fabbricati, fuga dalle abitazioni.

Nel terzo anno del BVI De Rossi giustificò l'aggiornamento della scala "perché in essa l'esperienza quotidiana mi fa sempre trovare nuovi caratteri da aggiungere per la determinazione dei gradi predetti" [De Rossi, 1876].

La terminologia usata cambiò ancora, come segue:

3 leggera - Avvertita da molti, o annunciata dai giornali, o annunciata da non sismologi.

4 sensibile - Seguita da tremolio di infissi cristalli e soprammobili. Scricchiolio di impalcature.

5 mediocre - Avvertita generalmente da moltissimi, seguita nelle città da un tocco di qualche raro campanello. Sentita in più luoghi non vicinissimi da non sismologi e quando trema il letto.

6 forte - Con suono più o meno generale di campanelli, oscillazione di lampade, arresto di orologi nelle città; e nelle campagne tremito visibile o sensibile degli alberi e degli arbusti. E quando narrasi che fortunatamente non accaddero danni; quando per timore o per prudenza taluno esce a passeggiare all'aperto. Interruzione quasi generale del sonno nella notte.

7 molto forte - Con caduta di calcinacci, suono di campane da torre, strepito, spavento abbastanza generale senza danni, caduta di oggetti e di quadri.

Nel 1877 [De Rossi, 1877], al terzo grado venne aggiunta la frase "e quando se ne apprende facilmente la durata e la direzione" e nel 1878 comparve lo "spavento degli animali" nella definizione del quinto grado [De Rossi, 1878].

Quando nel 1878 la Società Svizzera di Scienze naturali nominò una commissione per lo studio dei terremoti in Svizzera, uno dei membri, François Alphonse Forel, propose una scala di intensità a dieci gradi, che fu pubblicata nel 1881 [Forel, 1881].

Scala Forel 1881

1. Scossa di livello microsismometrico.

2. Scossa estremamente debole, registrata solo da sismometri.

3. Scossa molto debole, apprezzabile da persone sveglie e in condizioni particolarmente favorevoli per l'osservazione, a riposo, sdraiate, ecc.

4. Scossa debole, osservabile da persone sveglie e in stato di attività; capace di svegliare chi dorme; oscillazione di oggetti sospesi o liquidi.

5. Scossa di intensità media, con spostamento di oggetti di arredamento.

6. Scossa forte, mobili si rovesciano, fessure nei muri e nei soffitti delle case.

7. Scossa assai forte, danni alle case, caduta di camini.

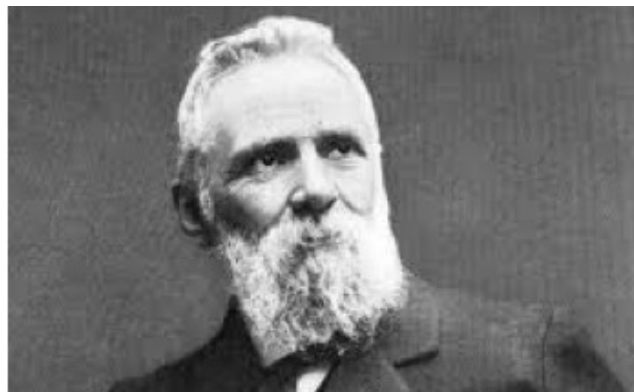
8. Scossa molto forte, capannoni e baracche vengono gettati a terra.

9. Scossa estremamente forte, crollano case solidamente costruite.

10. Scossa di intensità estrema, dislocazione di strati, fratture nei suoli, frane di montagne.

Figura 5 François Alphonse Forel (1841-1912).

Figure 5 François Alphonse Forel (1841-1912).



Questa scala, come affermato dallo stesso Forel, era in realtà quella usata da Albert Heim, uno dei fondatori della sismologia svizzera, in un suo lavoro del 1880 [Heim, 1880]. Nello stesso articolo Forel aggiunse una nota nella quale riconosceva che già nel 1875 i sismologi italiani avevano adottato la scala di De Rossi. Davanti ai diritti di priorità di De Rossi, il Forel si dichiarò disponibile a ritirare la propria scala. Tuttavia Forel ricevette da De Rossi e dal capitano Luigi Gatta, la proposta di unificare le procedure [De Rossi, 1882]. I lavori di unificazione iniziarono durante il congresso geografico internazionale di Venezia nel 1881 e continuarono per corrispondenza i mesi successivi. In una versione intermedia la scala De Rossi, ritoccata per essere adeguata a quella di Forel, viene privata degli aggettivi che caratterizzavano ogni grado (leggera, forte, ecc.) [De Rossi, 1882]. Siamo nel 1882. L'anno successivo la pubblicazione nel BVI [De Rossi, 1883], in forma bilingue, italiano e francese, sancisce la nascita della scala De Rossi-Forel, che sarà usata in Europa ed in America negli studi sismologici per oltre 20 anni.

Di seguito, la Scala De Rossi-Forel pubblicata nella versione bilingue sul BVI [De Rossi, 1883].

1. Scossa microsismometrica accennata dai sismografi di uno stesso sistema o determinata da un sismologo.

1. Secousse microsismométrique, notée par un seul sismographe, ou par des sismographes de même modèle, mais ne mettant pas en mouvement plusieurs sismographes de systèmes différents, constatée par un observateur exercé.

2. Indicata dai sismografi di sistemi diversi e sentita da qualche persona.

2. Secousse enregistrée par des sismographes de système différent; constatée par un petit nombre de personnes au repos.

3. Avvertita dall'uomo in uno stato di quiete o da molte persone, annunciata dai giornali e da persone che non si occupano di sismologia, e della quale sono valutate la durata e la direzione.

3. Secousse constatée par plusieurs personnes au repos, assez forte pour que la durée ou la direction puissent être appréciées.

4. Notata dall'uomo in uno stato di attività; tremolio di soprammobili, di cristalli e di infissi, scricchiolio di impalcature.

4. Secousse constatée par l'homme en action; ébranlement des objets mobiles, des portes et fenêtres, craquement des planchers.

- | | |
|---|--|
| <p>5. Tremolio di mobili; scossa avvertita in generale da molte persone, accennata da qualche tocco isolato di campanello, Scuotimento di letti.</p> | <p>5. Secousse constatée généralement par toute la population, ébranlement des objets mobiliers, meubles e lits, tintement de quelques sonnettes.</p> |
| <p>6. Risveglio quasi generale delle persone addormentate, suono più o meno generale di campanelli, oscillazioni di lampade, arresto di orologi, tremito visibile o sensibile degli alberi e degli arbusti; quando narrasi che fortunatamente non accaddero danni; quando per timore o per prudenza taluno esce all'aperto.</p> | <p>6. Réveil général des dormeurs; tintment général des sonnettes, oscillation des lustres, arrêt des pendules; ébranlement apparent des arbres et arbustes. Quelques personnes effrayées sortent des habitations.</p> |
| <p>7. Caduta di oggetti mobili, di calcinacci, suono di campane, spavento generale senza danni.</p> | <p>7. Renversement d'objets mobiles, chute des plâtras; tintement des cloche dans le églises; épouvante générale sans dommages aux édifices.</p> |
| <p>8. Caduta di fumaioli, lesioni nei fabbricati, fuga dalle case.</p> | <p>8. chute des cheminées, lézardes aux murs des édifices.</p> |
| <p>9. Caduta totale o parziale di edifizii.</p> | <p>9. Destruction partielle ou totale de quelques édifices</p> |
| <p>10. Gravi disastri, ruine, vittime, frane di terreni, fenditure nel suolo scoscendimenti di montagne.</p> | <p>10. Grand désastres, ruines, bouleversement des couches terrestres, feutes à l'écorce du globe, éboulement des montagnes.</p> |

Pur essendo considerata un caposaldo, la scala De Rossi-Forel conteneva alcuni elementi di dubbia chiarezza, soprattutto nelle descrizioni dell'avvertimento da parte delle persone: nel terzo grado è contemporaneamente detto che la scossa è avvertita "dall'uomo in stato di quiete o da molte persone", cose che non sembrano essere equivalenti se riferite ad un terremoto. Al quinto grado ricompare la stessa definizione di avvertimento da parte di "molte persone", che, in assenza di altri diagnostici, rende il terzo e il quinto grado troppo simili. La scarsa nitidezza delle descrizioni di alcuni gradi della De Rossi-Forel, indusse diversi studiosi ad adottare delle modifiche della scala stessa, all'atto di applicarla nello studio di singoli terremoti. Si deve comunque a Forel l'inserimento nella scala, al grado più elevato, di diagnostici legati ad effetti sull'ambiente (frane, fenditure sui terreni, ecc.) presenti prima di allora solo nella scala di Mallet del 1858 [Mallet, 1858].

Una critica fu espressa da Mario Baratta¹¹, riguardo l'irregolare progressione che si nota tra il gruppo dei gradi inferiori rispetto ai gradi superiori all'VIII (più o meno la stessa osservazione fatta da Mercalli e Taramelli [1888] vedi più avanti).

Un caso interessante fu quello dello studio del terremoto calabrese del 16 novembre 1894 di Annibale Riccò [Riccò, 1907], direttore del Servizio Sismico della Sicilia e Isole adiacenti, il quale

¹¹ Mario Baratta (1892): "Infatti mentre tra i primi numeri esiste una soddisfacente progressione, l'VIII, il IX ed il X restano assolutamente indeterminati: così per esempio si passa dalla mancanza assoluta di danni (n. VII), alla caduta di fumaioli, alle lesioni negli edifici (n. VIII), senza specificare se i comignoli che cadono siano molti o pochi, se le screpolature nei fabbricati siano gravi o leggere, o se avvengono in case vecchie o poco solide oppure di recente fatte o ben costruite."

fece uso della scala De Rossi-Forel, ma introducendo “i mezzi gradi”: “[...] abbiamo creduto opportuno di aggiungere alcuni gradi intermedi, per maggior precisione e perché il numero e la qualità dei dati che avevamo raccolto ci permettevano realmente di fare con sicurezza le distinzioni corrispondenti a quei mezzi gradi della scala; specialmente importanti sono i gradi $8\frac{1}{2}$ per la caduta parziale o totale di edifici, antichi però, o di cattiva costruzione o fondazione, $9\frac{1}{2}$ per disastri e ruine di parte non grande del paese, specialmente in causa di antica o cattiva costruzione o fondazione; [...]” Questa introduzione dei gradi intermedi, mai ufficializzata da nessun altro sismologo, è divenuta, col passare del tempo, di utilizzo sempre più comune fino a divenire prassi, raddoppiando, di fatto, il numero dei gradi effettivi.

La diffusione mondiale della De Rossi-Forel ispirò diverse altre scale: possiamo menzionare la scala Rockwood del 1886 [Rockwood, 1886] (Fig. 6), quasi gemella della già citata scala Saderra-Masò, ed entrambe definite solo da aggettivi, senza alcun altro elemento diagnostico. Nella pubblicazione, gli aggettivi sono corredati con i gradi equivalenti in termini di De Rossi-Forel (in parentesi sotto).

Scala Rockwood, 1886

1. Molto leggera (II, III)
2. Leggera (IV)
3. Moderata (V, VI)
4. Forte (VI, VII)
5. Violenta (VIII)
6. Distruttiva (IX, X)

Figura 6 Charles Green Rockwood (1843-1913).

Figure 6 Charles Green Rockwood (1843-1913).



Vale comunque la pena di riportare l'argomentazione di Rockwood riguardo all'assegnazione dell'intensità, legata all'esperienza “sismica” dell'osservatore: *“La stima dell'intensità è basata possibilmente sul carattere fisico del fenomeno riportato. Quando nessun'altra informazione è disponibile, il giudizio si baserà sulla terminologia utilizzata nel report originale, prendendo in considerazione la probabile intensità di un terremoto nella località in questione. Per esempio, se un dispaccio dice brevemente: Un forte terremoto è stato avvertito in un dato luogo; allora se questa notizia è riferita agli Stati Uniti orientali può trattarsi di una scossa leggera o molto leggera, mentre se riferita al Perù o al Centro America sarà probabilmente stata una scossa forte o severa. Sono abbastanza consapevole che tali stime hanno in molti casi un grande elemento di incertezza, ma sono, almeno, il meglio che si può fare ora...”* [Rockwood, 1886].

Scala Suess, 1896

Un altro interessante caso di adattamento della De Rossi-Forel è quello che fu elaborato da Suess [1896] nello studio del terremoto di Laibach¹² del 14 aprile 1895, nel quale definì una scala da usare per terremoti non molto forti. La metodologia suggerita dal Suess era la seguente: *“Per la valutazione delle intensità mi sembrava opportuno attenermi alla scala di Rossi-Forel. Nel 1882 i Prof. Forster e Heim, in accordo con Forel, hanno proposto una scala leggermente modificata: i gradi intermedi sono stati differenziati con maggiore dettaglio, e di conseguenza, sono stati leggermente spostati: i gradi della vecchia scala, che ritengo siano più adatti ai terremoti più forti, come quello di Laibach, sono stati aggiunti in parentesi: anche le poche spiegazioni, che mi sono permesso di aggiungere, sono stati messe fra parentesi.*

- I (1. e 2.) Movimenti microsismici, tracciati da un sismografo o da più strumenti della stessa maniera, ma non in grado di eccitare sismografi di diversa costruzione, constatati da un osservatore allenato.*
- II (3.) Colpo, registrato da sismografi di differenti sistemi, constatato da un piccolo numero di osservatori (in piccoli paesi anche da uno singolo, in condizioni favorevoli) in stato di riposo (per esempio stando a letto), (il fermarsi degli orologi è spesso l'unico indizio del terremoto).*
- III (4.) Scossa, osservata da più persone nello stato di riposo, abbastanza forte per stimare durata e direzione (oscillazioni dei lampadari, ecc.).*
- IV (4.) Scuotimento, osservato da persone in attività; scuotimento di finestre, porte e oggetti non fissati; cigolio delle tavole.*
- V (4.) Scuotimento, generalmente avvertito (in grado svegliare persone dormienti); scuotimento di mobili, letti e oggetti più grandi; suono di singole campane di casa.*
- VI (5.) Risveglio generale di persone dormienti, (strepitante) oscillazione e spostamento di quadri e specchi ecc.; visibili oscillazioni di alberi e cespugli; singole persone spaventate abbandonano le case.*
- VII (6.) Oggetti mobili vengono rovesciati. Distaccamento di ornamenti di gesso dal soffitto e dalle pareti; crepe in soffitti e pareti; battere delle campane delle chiese; lancio di alcune tegole dai tetti; generale panico; ancora nessun (significativo) danneggiamento degli edifici.*
- VIII (7.) I comignoli precipitano, crepe importanti nelle pareti esterne (specialmente degli edifici più vecchi).*
- IX (8. e 9.) Parziale o completa distruzione di edifici.*
- X (10.) Scuotimenti di straordinaria intensità, rovine, aperture nella crosta terrestre, frane.”*

Sembra che la proposta di Suess nascesse per strutturare scale che si adattassero a terremoti di grandezza differente, e che, a suo giudizio, avessero necessità di maggiore o minore dettaglio nei gradi intermedi piuttosto che nei gradi alti. Il IV grado di De Rossi-Forel, in questo caso, viene spaccettato in tre gradi diversi, ad esempio. Sembra però strano che Suess non abbia pensato che la scala potesse soddisfare entrambe le esigenze, cioè descrivere con realismo gli effetti sulle persone, e con precisione quelli sugli edifici. Ma tant'è.

Continuava Suess:

“In caso di terremoti più deboli la presente scala risulterà più pratica, soprattutto nei gradi intermedi; ma già nel terremoto di Laibach la definizione dei gradi superiori risulta insufficiente. Non possiamo mettere il terremoto di Laibach, nemmeno ai siti più colpiti, allo stesso livello delle catastrofi più orribili, alle quali è stato assegnato il decimo grado nella cronologia: la catastrofe dell'Ecuador del 1868, per esempio, il grande terremoto giapponese del 1891, i due terremoti a Lokris del 1894, il terremoto di Lisbona e tanti altri, sono di alcuni gradi più alti rispetto al terremoto di Laibach.

Non è questo che ostacola la nostra considerazione. Già dalle discussioni nell'ultimo capitolo è

¹² Laibach è il nome tedesco di Lubiana.

evidente che tra l'ottavo e il nono grado si potrebbero inserire alcuni gradi aggiuntivi.

Se si assegnasse il nono grado a Laibach e a Woditz, dove alcuni edifici sono veramente collassati e se si volesse ignorare i gradi superiori che partono con la descrizione delle devastazioni di edifici moderni di solida costruzione, bisognerebbe sottolineare che all'interno di un luogo, caratterizzato da comignoli precipitati, corrispondente all'ottavo grado (p. es. Idria) e i danni sopracitati, sarebbe necessario introdurre almeno di un ulteriore grado.

La vecchia formula di Rossi-Forel distingue:

7. precipizio di comignoli

8. rovescio di fienili e capanne

9. collasso di case di solida costruzione

È inoltre da sottolineare che le distinzioni dei gradi moderati, anche se sono realistiche, solo in rari casi sono assegnabili dalle descrizioni nei rapporti di danneggiamento.

Solo raramente si trovano descrizioni, se sono state tante o poche persone, in attività o in riposo, che hanno osservato i fenomeni (punto II-III): nel primo caso lo scuotimento sarà descritto come "generalmente risentito" e "qui o là" si saranno svegliate singole persone dormienti. Non penso che dai rapporti dei fenomeni osservati sarà mai possibile, distinguere, tra il II e il V grado della nuova scala, singole zone di differente intensità. I gradi saranno mischiati arbitrariamente e sarà necessario re-interpolare i valori per ottenere delle isosiste sensate."

Il grande terremoto dell'Assam, in India, avvenuto il 12 giugno 1897, fu il terreno di sperimentazione a parte di Richard Dixon Oldham, di una scala a sei gradi. Scrisse Oldham [1899]: "in un paese popoloso e civilizzato, dove la maggior parte degli edifici sono in mattoni o pietra, è possibile utilizzare una scala a dieci gradi, come la De Rossi-Forel, ma l'area ove questo terremoto è avvenuto è una terra principalmente selvaggia, scarsamente abitata, e anche nelle zone più densamente popolate gli edifici in pietra e mattoni sono rari. Di conseguenza non è stato possibile tentare di definire più di sette gradi di intensità¹³ con le loro isosiste. [...] Questa scala non pretende di avere una accuratezza scientifica [...]. Quello che si può dire a suo favore è che è quanto di meglio si poteva fare con i materiali a disposizione."

Scala Oldham, 1899

1. La prima isosista include tutti i luoghi dove la distruzione degli edifici di pietra e mattoni è stata praticamente universale.
2. La seconda, quei luoghi dove il danno agli edifici in muratura e mattoni è stato universale, spesso serio, in qualche caso distruttivo.
3. La terza, quei luoghi dove il terremoto è stato così violento da danneggiare tutti o quasi tutti gli edifici di mattoni.
4. La quarta, quei luoghi dove il terremoto è stato avvertito da tutti, severo abbastanza da spostare mobilio e oggetti, ma non così severo da causare danni, tranne che in poche circostanze, a edifici di mattoni.
5. La quinta, quei luoghi dove il terremoto è stato forte da essere generalmente avvertito, ma non così severo da causare danni di nessun tipo.
6. La sesta, tutti quei luoghi dove il terremoto è stato avvertito solo da una piccola parte della popolazione più sensibile, la quale stando seduta o distesa, era nella situazione più favorevole per osservarlo.

Oldham corredò il testo con una tabellina di comparazione (Tab. 2) tra le sue intensità e quelle della De Rossi-Forel.

¹³ In realtà la scala definita da Oldham è di sei gradi; forse il settimo è considerato dall'autore relativo all'area di non-risentimento, che non è descritta né nel testo né nelle mappe a corredo.

Numero dell'isosista Oldham	Grado De Rossi-Forel
1	10
2	9
3	8
4	6 e 7
5	4 e 5
6	2 e 3

Tabella 2 Comparazione tra la scala Oldham e la De Rossi-Forel [Oldham, 1899].

Table 2 Comparison between the Oldham scale and the De Rossi-Forel scale [Oldham, 1899].

Scala Davison, 1900

Un aggiustamento della De Rossi-Forel per i terremoti moderati avvenuti sul territorio inglese fu proposto da Davison, con una scala a nove gradi i cui diagnostici erano molto stringati. I gradi 8 e 9 corrispondono al grado 8 di De Rossi-Forel, e i gradi 10 e 11 non sono descritti, in ordine al fatto che gravi eventi non avevano mai afflitto la Gran Bretagna.

1. Registrato solo dagli strumenti.
2. Sentito solo da pochi coricati o sensibili ai deboli tremori.
3. Sentito da persone a riposo; non forte abbastanza per muovere oggetti.
4. Finestre, porte, attrezzi per caminetti, ecc., sbattono.
5. Il sedile di un osservatore sobbalza o si muove.
6. Candelieri, quadri, ecc., oscillano.
7. Decorazioni, vasi, ecc., cadono.
8. Camini cadono, si aprono crepe nei muri di qualche casa.
9. Camini cadono, si aprono crepe nei muri in metà circa delle case di un dato luogo.

Lo stesso Davison ammette che più tardi avrebbe modificato i primi tre gradi, sulla base di nuove esperienze:

- 1 Registrato solo da strumenti adattati a rispondere a moti veloci soltanto.
- 2 Sentito solo ai piani alti delle case, non forte abbastanza per far sbattere porte e finestre.
- 3 Sentito ai piani terra delle case, non forte abbastanza per far sbattere porte e finestre.

Curioso e interessante fu l'uso della De Rossi-Forel fatta da Weber [1902] per il rilievo sul terremoto di Shemakha (Azerbaijan) del 31 gennaio 1902.



Figura 7 Frontespizio della relazione di Weber, in russo, ma con una sintesi in lingua francese in appendice al volume.

Figure 7 Cover of the Weber's report, in Russian, including a synopsis in French language in the appendix.

Gradi DF	Gradi Weber	Descrizione
X	1.	<i>Livello al quale nessuna costruzione resta intatta; dei muri crollati non resta in piedi che qualche porzione. Il quadro che si presenta è di un ammasso di rovine.</i>
IX	2.	<i>Le costruzioni restano in piedi, ma danneggiate; numerose costruzioni vengono distrutte completamente (da cima a piedi).</i>
	3.	<i>Costruzioni solide restano intatte; costruzioni poco solide cadono in rovina. Un gran numero di muri si rovescia.</i>
	4.	<i>Costruzioni solide si danneggiano, ma solo in parte; qualche costruzione poco solida resta in piedi.</i>
VIII	5.	<i>Costruzioni poco solide restano in piedi per metà.</i>
	6.	<i>Qua e là danni parziali.</i>
	7.	<i>Rari danni.</i>

Tabella 3 Scala di De Rossi-Forel, modificata da Weber per i gradi VIII, IX e X.
Table 3 The De Rossi-Forel scale, how was modified from Weber for the degrees VIII, IX and X.

Weber utilizzò la scala De Rossi-Forel, con la seguente specifica: *“Poichè l’area da studiare si trova nei limiti dei gradi VIII - X della scala Rossi-Forel, è stato necessario, per avere una determinazione più o meno esatta dell’estensione colpita dalle scosse più intense, di ricorrere, conformemente alle condizioni locali, a una suddivisione dei gradi X, IX, VIII in 7 categorie.”*

In nota Weber aggiunse che il X grado (grande disastro, rovina) fu considerato solo per villaggi le cui costruzioni erano del tipo tradizionale, mentre per le costruzioni di tipo europeo, per cui la scala De Rossi-Forel era stata proposta, il danno maggiore subito non oltrepassava il IX grado.

Scala Wood o di San Francisco, 1908

A seguito del grande terremoto di San Francisco del 1906 H.O. Wood declinò una scala di 5 gradi per definita come *“una semplice classificazione dei fenomeni osservati”*. Possiamo notare come in questa breve scala Wood cerchi una efficace descrizione dei diagnostici osservabili in una moderna (allora) città, in relazione agli effetti più gravi.

- a) *Molto violenta. Implica la rottura e il fratturarsi di masse rocciose, suoli, terreni coltivati e tutte le strutture poste lungo la linea di faglia: caduta di massi dai fianchi delle montagne; numerose frane di grande dimensione; evidenti, profonde e diffuse fessurazioni nei terreni; alcune strutture vengono totalmente distrutte.*
- b) *Violenta. Implica il generale collasso di edifici in mattoni e intelaiati quando non sufficientemente resistenti; serie lesioni nelle murature in ottime strutture; formazione di fessure, gradini di faglia, anticlinali, ondulazioni in strade lastricate e asfaltate, accompagnate da fessurazioni dell’asfalto; distruzione di muri di fondazione e strutture di sostegno a causa dell’ondulazione del suolo; rottura di fognature e condutture dell’acqua; dislocazione laterale di strade, e compressione, distensione, e ondulazioni laterali o spostamenti delle massicciate dei tram.*
- c) *Molto forte. Implica gravi lesioni negli edifici in muratura, con occasionale collasso, caduta di mattoni e timpani in muratura; edifici ad intelaiatura lignea si piegano su di un lato quando poggiano su deboli o modeste fondazioni, con crolli possibili dalle parti aeree o collassi; rottura generale di camini e di muri, di rivestimenti in mattoni o cemento; muri di fondazione si lesionano o frantumano.*
- d) *Forte. Implica una diffusa, ma non universale caduta di camini: crepe nei muri in pietra a mattoni; crepe nei muri di fondazione, muri di contenimento, e marciapiedi; in casi isolati edifici in legno si piegano o deformano quando costruiti su fondazioni deboli.*
- e) *Debole. Implica caduta occasionale di camini e danni all’intonaco, tramezzi, tubature, e effetti simili.*

Scala Cornish, 1908

Il geografo inglese Vaughan Cornish [1908] si trovò coinvolto nel terremoto della Giamaica del 14 gennaio 1907 durante un suo soggiorno a Kingston. La scossa principale colse Cornish e la moglie in albergo, e quest'ultima restò ferita nei crolli. La disavventura lo spinse ad occuparsi dell'evento, con il risultato di un denso lavoro che descrive gli effetti del terremoto da diversi punti di vista. Per creare una mappa delle intensità Cornish riadattò la scala De Rossi-Forel: *“La classificazione delle località secondo il livello dei danni come descritti nei gradi 11 e 6 è stata fatta dall'autore esclusivamente a partire da dati di fatto e circostanze presenti in Giamaica, ma si è trovato che la scala era in accordo con quella di Rossi-Forel, con l'eccezione che, in quest'ultima, il grado 10 comprende entrambi i gradi 10 e 11 dell'autore. Le descrizioni dei numeri da 5 a 1 sono estratte dalla tabella di Rossi-Forel, come fornita da Dutton nel suo libro sui Terremoti (Progressive Science Series). Uno di questi numeri (3) corrisponde all'intensità osservata nella parte orientale di Cuba e nella penisola occidentale di Haiti”*.

11. *Tutti i muri esterni delle case in mattoni costruite con malta di fango sono crollati. Collasso completo delle case di campagna in pietra.*
10. *I muri esterni dei piani superiori delle case in mattoni costruite con malta di fango sono crollati. Frane sulle colline. Nuove sorgenti.*
9. *Caduta di qualche mattone e pietra dai muri. Vecchie frane si riattivano.*
8. *Lesioni nei muri tali da rendere questi ultimi instabili.*
7. *Crepe leggere nei muri e caduta di intonaci.*
6. *Nessun danno agli edifici, ma la scossa viene percepita di severità inusuale in Giamaica.*
5. *Scossa moderata, avvertita generalmente da ognuno.*
4. *Scossa debole, avvertita da persone in movimento.*
3. *Scossa molto debole, ma forte a sufficienza da apprezzarne direzione e durata.*
2. *Scossa estremamente debole avvertita da poche persone a riposo.*
1. *Scossa microsismica, sentita da osservatori esperti.*

Scala Hall, 1909

Per lo stesso terremoto della Giamaica del 1907, Maxwell Hall [1909] propose una sua scala, a sei gradi:

1. *Scossa lieve.*
2. *Scossa ben avvertibile.*
3. *Scossa sufficiente a far tremare le case.*
4. *Scossa sufficiente a provocare lesioni nei muri.*
5. *Scossa sufficiente a far crollare poche case.*
6. *Scossa sufficiente a far crollare quasi tutte le case.*

Scala Reid-Taber 1919

La scala proposta da Reid e Taber [1919] fu dichiaratamente un adattamento della De Rossi-Forel ad uso locale. In particolare è interessante notare la presenza nei diagnostici del tipo di abitazione tradizionale di Portorico, in muratura (*mamposteria* in spagnolo) con pietre e malta di fango molto fragili.

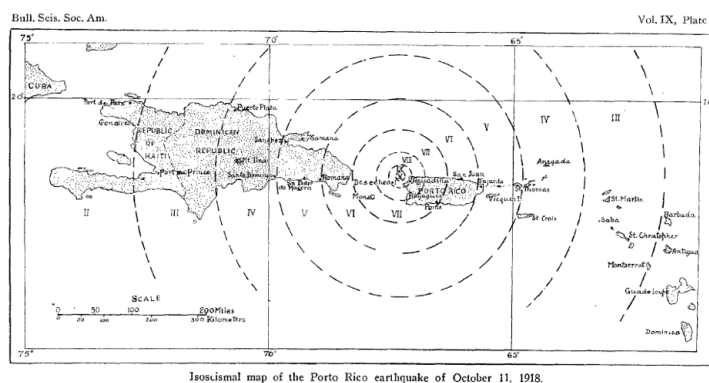
1. *Scossa registrata da sismografi.*
2. *Avvertita da pochi al riposo o in situazione favorevole.*
3. *Avvertita da molti al riposo o in situazione favorevole.*
4. *Avvertita da persone in movimento. Movimento o scricchiolio di porte, finestre, persiane, ecc.*
5. *Avvertita da quasi tutti. Movimento di mobili.*
6. *Tutti i dormienti si svegliano, suono di campane: orologi a pendolo si fermano. Cespugli e alberi si muovono visibilmente. Piccole crepe in pochi edifici (mamposteria) di povera costruzione e*

malta scadente. Caduta di pochi oggetti instabili.

7. Oggetti instabili come vasi e bottiglie ecc. cadono numerosi. Caduta di pezzi di intonaco in molti edifici. Qualche muro di mamposteria si lesiona malamente. Crepe nella malta di qualche edificio in mattoni, pietra o blocchetti di cemento.
8. I muri di molte mamposteria si danneggiano gravemente, qualcuno crolla parzialmente o totalmente. Leggere lesioni in qualche edificio in cemento.
9. Distruzione generale degli edifici mamposteria. Crepe larghe e profonde in muri di mattoni e blocchi di cemento con buona malta. Crepe in molti edifici, e crollo di qualche muro di cemento.
10. Distruzione generale di ogni edificio ad eccezione di quelli specialmente costruiti per resistere ai terremoti. Qualche albero viene spezzato e sradicato.

Figura 8 Isosisma del terremoto di Portorico dell'11 ottobre 1918 disegnata da Reid e Taber (1919).

Figure 8 Isoseismal map of the October 11, 1918 Puertorico earthquake drawn by Reid and Taber (1919).



4. Le scale sismiche assolute o scale dinamiche

Alla fine del 1800, sulla scia di correnti di pensiero come il modernismo, diffuse nel mondo scientifico e culturale, e dei profondi cambiamenti dovuti alle straordinarie innovazioni tecnologiche, muta anche l'approccio scientifico della sismologia, dotata di nuovi strumenti di misura e di più diffuse conoscenze in ambito fisico e ingegneristico. A questo proposito le seppur recenti scale d'intensità venivano da alcuni considerate già obsolete, prive, come erano, di elementi oggettivi che permettessero di misurare la forza dei terremoti indipendentemente dagli effetti prodotti (come ribadì Richter nel 1935). Si aprì quindi una circoscritta rincorsa, tra vari studiosi, a come definire fisicamente l'intensità (o *distruttività*) di un terremoto. Uno dei primi ad occuparsi della velocità di spostamento degli oggetti durante un terremoto era stato già il Mallet nel suo studio sul terremoto della Basilicata del 1857 [Mallet, 1862]. Fino alla fine del secolo vengono pubblicati diversi lavori che tentano di classificare l'energia dei terremoti sulla base della forza necessaria a spostare gli oggetti, o della velocità impressa dal sisma agli oggetti stessi. Per Milne e Gray [1881] *“La miglior stima dell'intensità di una scossa è chiaramente ottenuta dalla massima velocità di traslazione di un oggetto durante un terremoto.”*

La difficoltà, per l'epoca, di una misura della forza del terremoto era già indicata da De Rossi [1877]: *“L'intensità e forza del moto del suolo dissi esser difficile a valutare con istrumenti; perché sarebbe necessario che la scienza possedesse un istrumento a ciò uguale per tutti gli osservatori, e che servisse come unità di misura.”*¹⁴ Traguando questo raggiunto molti anni più tardi.

Tuttavia il già citato Albert Heim aveva scritto al sismologo americano Rockwood, che *“per noi (svizzeri) il semplice resoconto di osservatori senza strumenti ha molto più valore del dato strumentale”* [Coen, 2013]. Questo perché un gran numero di resoconti provenienti da uno stesso

¹⁴ Questa osservazione anticipa quello che realizzerà Richter nel 1935 usando la registrazione della rete della California meridionale composta di sette sismometri a torsione con corto periodo [Richter, 1935].

luogo, anche se contenenti errori, dava una maggior confidenza nel distinguere cosa è generalmente oggettivo. Cioè un'osservazione basata su numeri sufficientemente grandi aveva (ed ha) una sua robustezza statistica. Alcuni proposero metodi per quantificare l'energia totale del sisma, altri cercarono costruire, sulla base della scala De Rossi-Forel, ormai applicata in tutto il mondo, delle scale sismiche assolute, che correlassero l'intensità con un livello di accelerazione. Dutton e Hayden [1887] osservano come *“Non c'è un'unità di intensità che sia ad oggi disponibile”*, sottolineando come non ci si possa accontentare di una definizione relativa della forza dello scuotimento (leggi scala De Rossi-Forel) e quindi definiscono l'intensità come *“l'ammontare di energia per unità di area del fronte d'onda”*, calcolando questa grandezza per il terremoto di Charleston del 1886.

Holden [1888], Direttore del Lick Observatory, definisce il *valore assoluto dell'intensità* in termini di *“frazioni dell'accelerazione di gravità”*; poiché questa unità di misura è usualmente piccola, Holden propone di dare l'intensità in termini di millimetri per secondo. Empiricamente, con i dati di accelerazione per i terremoti giapponesi ottenuti dai lavori di Ewing, Milne e Sekiya, Holden deriva una relazione dove l'intensità De Rossi-Forel è funzione di ampiezza e periodo dell'onda sismica:

$$I = \frac{2\pi a}{T^2}$$

e propone una scala di conseguenza (Tab. 4).

Grado De Rossi-Forel	Accelerazione mm/sec
I	20
II	40
III	60
IV	80
V	110
VI	150
VII	300
VIII	500
IX	1200

Tabella 4 Scala di Holden [1888].
Table 4 The Holden Scale [1888].

L'anno seguente Mendenhall [1889]¹⁵ inizia un suo articolo sulla misura dell'intensità del terremoto con le seguenti parole *“Come scienza esatta, la sismologia è nella sua infanzia. [...] Nella crescita iniziale di una scienza uno degli ostacoli che si incontra è la mancanza di una nomenclatura esatta, e la sismologia non fa eccezione a questa regola. Quando diviene desiderabile o necessario incorporare il significato di una parola in una espressione matematica, è imperativo che siano posti sul suo utilizzo i necessari vincoli. È da lungo tempo che si parla di intensità di un terremoto senza fare alcun particolare sforzo di dare alla parola un significato esatto”*. Si contesta quindi la natura eccessivamente osservativa, quasi ancora naturalistica della sismologia, in un periodo nel quale il grande sviluppo scientifico avrebbe dovuto spingere gli studiosi verso la ricerca di una trattazione

¹⁵ Mendenhall T.C., (1889). On the intensity of earthquakes, with approximate calculations of the energy involved. Nature, XXXIX, 380-382. *“As an exact science, seismology is in its infancy. [...] In the early growth of an exact science one of the obstacles met with is the absence of an exact nomenclature, and seismology furnishes no exception to this rule. Whenever it becomes desirable or necessary to incorporate the meaning of a word in a mathematical expression, it is imperative that the necessary restrictions be placed upon its use. It has long been customary to speak of the intensity of an earthquake without any special effort to give the word an exact meaning.”*

numerica della misura dell'intensità di un terremoto, ancora incerta nella sua definizione. Lo stesso Mendenhall [1889] definisce l'intensità di un terremoto come il lavoro meccanico necessario a "perturbare" una certa superficie, e conia la definizione di "valore meccanico di un miglio cubo di terremoto". Sulla base dei suoi studi Mendenhall calcolò che per "mettere in vibrazione" l'area epicentrale del terremoto di Charleston del 31 agosto 1886, circa 100 miglia quadrate, ci sarebbe voluta approssimativamente la forza di 1,300,000,000,000 cavalli vapore (hp).

Qualche anno più tardi scrisse l'ing. Carlo Bassani [1897]:

"Facilmente a chiunque sarà balenato il pensiero di poter trarre da simili calcoli la valutazione dinamica dei vari gradi d'una scala sismica generale. Al presente la violenza d'un terremoto viene classificata mediante la nota scala De Rossi Forel, poggiata bensì agli effetti meccanici ordinari, ma non alla valutazione delle loro energie, per modo che i ragguagli possono molto differire dal vero a cagione delle diverse resistenze che una stessa forza può incontrare su oggetti simili in differenti località e in mutate condizioni. Buona cosa sarebbe perciò stabilire un modulo più razionale in base ad unità dinamiche comuni secondo le odierne esigenze scientifiche".

A tal fine, pertanto, anche Carlo Bassani propone una scala di misura del lavoro meccanico necessario a produrre gli effetti descritti nei gradi della scala De Rossi-Forel, espressa in kilogrammi per unità di superficie per secondo (Tab. 5) distribuiti su sedici gradi.

Il grande sismologo giapponese Fusakichi Omori trovò esagerati i valori di accelerazione proposti da Mallet quasi quaranta anni prima, se confrontati con quanto da lui calcolato per il ben più forte terremoto di Mino-Owari del 1891, per il quale ottenne valori compresi tra 2400 e 4300 millimetri per secondo. Sulla base di misure sperimentali sugli edifici danneggiati, Omori stabilì una scala di sette gradi dove il primo gradino era l'equivalente del VI-VII della De Rossi Forel pari ad una accelerazione massima di 300mm/sec [Omori, 1897].

Tabella 5 Comparazione tra la scala di Bassani e quella di De Rossi-Forel.

Table 5 Comparison between the Bassani scale and the De Rossi-Forel scale.

Scala De Rossi-Forel	Scala Bassani	Lavoro in Kgm/m ² /sec
I	I	0,03
	II	0,20
	III	0,70
II	IV	1,40
	V	3,50
III	VI	8,50
IV	VII	18
V	VIII	65
VI	IX	200
VII	X	450
VIII	XI	700
	XII	1000
IX	XIII	1500
	XIV	2500
X	XV	3500
	XVI	?

I gradi inferiori rimanevano inespressi. Montessus de Ballore [1907] fornì la tabella (Tab. 6) di equiparazione tra le due scale:

Scala Omori	Scala De Rossi-Forel	Accel. Max. mm/sec ²	defnizione
I	VI-VII	300	forte
II		900	
III	VIII	1200	violento
IV	IX	2000	
V	X	2500	
VI		4000	
VII		> 4000	

Tabella 6 Comparazione tra la scala di Omori e quella di De Rossi-Forel [Montessus de Ballore, 1907].
Table 6 Comparison between the Omori scale and the De Rossi-Forel scale [Montessus de Ballore, 1907].

Nel 1903 Adolfo Cancani tornò sulla questione proponendo, alla Seconda Conferenza Internazionale di Sismologia [Cancani, 1904] svoltasi a Strasburgo in quell'anno (Fig. 9), una scala empirica di valori sperimentali di accelerazione. La proposta di Cancani era di chiamare questa scala con il nome di Forel-Mercalli, su indicazione dello stesso Mercalli, che riteneva la sua scala più simile a quella originale di Forel che non alla De Rossi-Forel [nel frattempo De Rossi era scomparso]. La scala Cancani "è da approvare senza riserve" scrisse Montessus de Ballore, in quanto rappresenta bene l'insieme delle osservazioni ed inoltre è semplice, e la progressione dei i valori di accelerazione tra un grado e l'altro segue pressoché costantemente un fattore 2 o 2,5. A riprova della sua ammirazione della scala proposta da Cancani, Montessus de Ballore [1907], fornì una comparazione di quest'ultima con le scale precedenti. Inoltre il Cancani aveva ricevuto l'approvazione, sia da Forel che da Mercalli, di aggiungere due gradi, undicesimo e dodicesimo che potessero essere descrittivi di terremoti grandemente catastrofici, come quelli che avvengono in Giappone o in Sud America. Ad ogni grado sarebbe stato assegnato anche un intervallo di valori di accelerazione, con progressione geometrica in ragione di 2¹⁶, basata sugli studi di Omori e Milne per i grandi terremoti giapponesi. (Tab. 7 e Fig. 10). La dicitura Forel-Mercalli, non risultò mai operativa, e i suggerimenti di Cancani al proposito confluirono poi nella proposta di A. Sieberg per costruire la nuova scala Mercalli-Cancani-Sieberg approvata nel 1930.

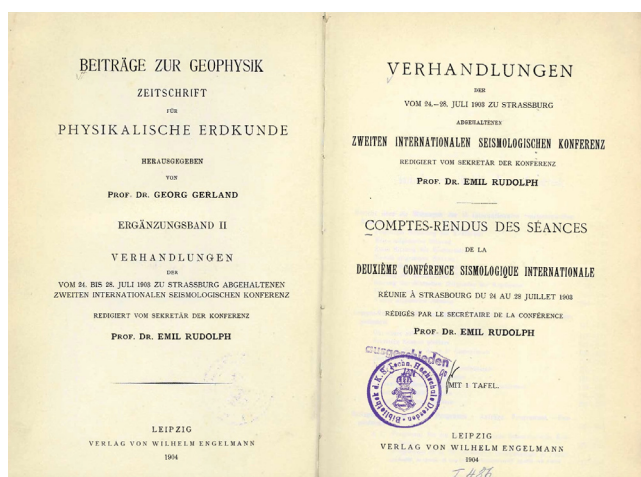


Figura 9 Frontespizio bilingue del volume degli atti della seconda Conferenza Sismologica Internazionale tenuta a Strasburgo, che include la relazione di Cancani con la proposta della scala Forel-Mercalli.

Figure 9 Frontispiece in two languages of the volume of the Proceedings of the Second International Conference of Seismology. The volume include the relation by Cancani with his proposal of the new scale named Forel-Mercalli.

¹⁶ "J'ai donc l'honneur de présenter à la Conférence l'échelle sismique Forel-Mercalli, avec les deux degrés ajoutés et avec les accélérations qui correspondent à chaque degré"

Tabella 7 Scala Forel-Mercalli con i valori di accelerazione proposti [Cancani, 1904].

Table 7 The Forel-Mercalli scale supplied with the values of acceleration suggested by Cancani [Cancani, 1904].

Grado	Accelerazione mm/sec ²	Definizione
I	0 - 2,5	Strumentale
II	2,5 - 5	Molto leggera
III	5 - 10	Leggera
IV	10 - 25	Sensibile o mediocre
V	25 - 50	Assai forte
VI	50 - 100	Forte
VII	100 - 250	Molto forte
VIII	250 - 500	Rovinoso
IX	500 - 1000	Disastrosa
X	1000 - 2500	Molto disastrosa
XI	2500 - 5000	Catastrofica
XII	5000 - 10000	Grande catastrofe

Figura 10 Tabella originale della proposta di Cancani nel 1904.

Figure 10 Original table of the Cancani proposal of 1904.

Échelle sismique Forel-Mercalli, empirique et absolue.

Degrés	Dénominations	Accélérations correspondantes (mm. par seconde)
I	Secousse instrumentale	< 2,5
II	Bien légère	2,5—5,0
III	Légère	5—10
IV	Sensible ou médiocre	10—25
V	Assez forte ¹⁾	25—50
VI	Forte	50—100
VII	Très forte	100—250
VIII	Ruineuse	250—500
IX	Désastreuse	500—1000
X	Très désastreuse	1000—2500
XI	Catastrophe	2500—5000
XII	Grande catastrophe	5000—10000

¹⁾ Les dénominations Assez forte et forte en correspondance aux degrés V et VI, sont préférables, selon l'opinion de M. Mercalli, aux dénominations forte et beaucoup forte, déjà introduites.

Nel 1911 John Milne pubblicò nel “Catalogue of destructive earthquakes”, una scala di tre gradi relativa solo alle distruzioni, con i corrispondenti valori di accelerazione.

Scala Milne, 1911

1. Crepe nei muri, rottura di camini, vecchi edifici si danneggiano, piccole fessure nei terreni; raggio della distruzione non superiore a 5 miglia (mm/sec² 1000).
2. Edifici si danneggiano o perdono il tetto, qualche edificio crolla, in alcuni luoghi molte rotture sul terreno, piccole frane; raggio dell'area di distruzione 20 miglia (mm/sec² 1500).
3. Città distrutte e distretti devastati, terreno fagliato e fessurato, acqua, fango e sabbia fuoriescono da aperture, frane diffuse in aree collinari; raggio dell'area di distruzione 100 miglia (mm/sec² 3000 o più di 3000).

Un'ulteriore tentativo venne proposto da Alexander McAdie, all'epoca Presidente della Società Sismologica Americana, durante il suo discorso inaugurale del Meeting della società all'Università di Stanford il 4 agosto 1915 [McAdie, 1915]. “È venuto il tempo di abbandonare la scala De Rossi-Forel, che, per quanto arbitraria, è stata utile”. C'è da sottolineare che la De Rossi-Forel era stata abbandonata in Italia, e anche in parte di Europa, già da diversi anni e sostituita dalla Mercalli a dieci gradi nel 1900 e poi con quella a dodici dal 1910. Inoltre nel 1912 Sieberg aveva pubblicato la sua nuova scala. Tuttavia parte della comunità sismologica era ancora in cerca di una misurazione assoluta degli effetti di un sisma: “Bisogna ricordare che non è la velocità, ma il rateo

di variazione della velocità, cioè l'accelerazione, che è importante soprattutto per determinare gli effetti del terremoto, [...]”, continua McAdie.

“Nella scala di Omori ci sono sette gradi, dalla più debole perturbazione, dove l'accelerazione massima non eccede 300 mm/sec^2 , alla più intensa. Un'altra scala dinamica, quella di Cancani, proposta nel 1904, ha dodici gradi, con accelerazioni che vanno da 2 mm/sec^2 a $10,000 \text{ mm/sec}^2$. Sinora nessuna scala è stata universalmente adottata. Siamo pienamente consapevoli che questa materia è di competenza dell'Associazione Internazionale di Sismologia; ma la guerra in Europa (e nessun terremoto nella storia può essere paragonato in distruttività con questa pazza attività umana) ha rovinato tutte le prospettive di cooperazione internazionale. Inoltre gli statuti dell'Associazione Internazionale di Sismologia scadranno il 1 aprile 1916. È quindi auspicabile che questa società [ndr, la Società Sismologica Americana] affronti la questione.

Non è per presunzione, che il vostro speaker offre preliminarmente la seguente scala di intensità. A partire da una posizione di riposo, possiamo classificare i terremoti in una scala di dieci.”:

Scala McAdie, 1915

Grado	Accelerazione mm/sec^2	Definizione
1	1 - 10	Strumentale
2	10 - 25	Debole
3	25 - 50	Leggera
4	50 - 100	Moderata
5	100 - 250	Qualche danno
6	250 - 500	Forte
7	500 - 1000	Molto dannosa
8	1000 - 2500	Disastrosa
9	2500 - 5000	Catastrofica
10	5000 - 10000	Rovina totale

Tabella 8 Scala McAdie [1915].
Table 8 The McAdie Scale [1915].

La scala di McAdie (Tab. 8), somiglia molto a quella proposta da Cancani, da lui stesso citata. Nonostante ciò, egli propone un'altra scala, questa volta di dieci gradi. Chissà se sia stato un tentativo, vano peraltro, di passare alla storia, o quello di avocare alla sismologia americana un primato sino a quel momento europeo, con la complicità dei disastri della Guerra in Europa.

Scala Mitchell, 1928

George D. Mitchell studiò, nella sua tesi di laurea in geologia, il terremoto di Santa Cruz, avvenuto in California il 22 ottobre 1926. Nell'introduzione dell'articolo [Mitchell, 1928] ricavato dalla sua tesi l'autore giustifica la decisione di usare la scala proposta da Sieberg nel 1923, adattata sulla base della scala Mercalli-Cancani, per valutare le intensità del terremoto, preferendola alla più nota De Rossi-Forel. Di seguito asserisce che dei dodici gradi della scala MCS, aveva stabilito di usarne solo otto, perché “più pertinenti per il terremoto considerato”. Venne così pubblicata la scala Mitchell a otto gradi:

- I. Impercettibile (massima accelerazione 2.5 mm/sec^2) Indicato solo dai sismografi.
- II. Molto leggera ($2.6 - \text{mm/sec}^2$). Avvertito solo da persone particolarmente sensibili a riposo.
- III. Leggera ($6 - 10 \text{ mm/sec}^2$). Solo poche persone anche in aree densamente popolate riconoscono un terremoto di questo grado. Molti riconoscono il movimento come terremoto solo dopo aver scambiato impressioni. Durata o direzione raramente determinabile.
- IV. Moderato ($11 - 25 \text{ mm/sec}^2$). Osservato da molti, ma non tutti all'interno, e da pochi all'esterno. Piatti e piccolo oggetti tintinnano, gli edifici tremano come al passaggio di

pesanti autocarri su una pavimentazione irregolare. Liquidi in contenitori oscillano leggermente. Pochissimi si svegliano.

- V. Moderatamente forte (26 - 50 mm/ sec²). Osservato da molti ma non tutti all'aperto, e da tutti al chiuso, in conseguenza del tremore dell'intero edificio. Si ondeggia su sedie e letti come in una nave su un mare agitato. Cespugli e alberi si muovono come in presenza di un vento moderato, lampadari, tende ecc., oscillano; orologi a pendolo si fermano se la direzione della scossa è perpendicolare al piano di oscillazione del pendolo stesso. Luci elettriche saltano o possono spegnersi. Piccole quantità di liquidi possono uscire da recipienti colmi. Oggetti leggeri possono muoversi; i vetri delle finestre possono rompersi, porte e finestre possono aprirsi o sbattere. I dormienti vengono svegliati e poche persone escono correndo all'aperto.
- VI. Forte (51 - 100 mm/ sec²). Tutti sono spaventati fuggono all'aperto. I liquidi si agitano fortemente; oggetti sospesi sono lanciati dagli scaffali tranne quando gli scaffali sono nel piano del moto; oggetti di arredamento pesanti si spostano, talvolta si rovesciano. Leggere crepe compaiono nell'intonaco anche in edifici solidamente costruiti, e qualche pezzo di intonaco può cadere. Edifici costruiti poveramente soffrono danni più gravi, ma non pericolosi.
- VII. Molto forte (101 - 250 mm/ sec²). Danni considerevoli sono causati dal rovesciamento e rottura di oggetti d'arredamento delle case. Le sorgenti modificano il loro regime. Cadono i camini; torri e edifici alti perdono i loro ornamenti architettonici. Molte case mal costruite o fatiscenti vengono seriamente danneggiate.
- VIII. Distruttivo (251 - 500 mm/ sec²). Grandi alberi, specialmente palme, oscillano violentemente dalla base, o vengono addirittura spezzate. Anche i mobili più pesanti si spostano o si rovesciano. Statue, monumenti e oggetti simili collocati a terra possono ruotare sulla loro base, o rovesciarsi. Le case di legno, comuni in molte parte del Nord-America vengono deformate o rovesciate. Quasi tutti i camini cadono.

5. Le scale di Mercalli¹⁷

Lo scienziato che emblematicamente, più di ogni altro, lega il proprio nome alle scale di intensità è Giuseppe Mercalli (1850-1914), che nel tempo stilerà diverse scale di intensità e ne precisò l'uso e gli scopi.

Figura 11 Giuseppe Mercalli.

Figure 11 Giuseppe Mercalli.



¹⁷ Preferisco definire le scale descritte da qui in avanti, comprese le tre sorelle, come appartenenti alla *famiglia* Mercalli, in quanto ritengo che l'impulso generatore di questo approccio provenga proprio dall'abate sismologo. Altri raggruppano le scale a 12 gradi come scale della *famiglia* Cancani [Musson et al., 2010].

La prima scala proposta da Mercalli fu quella inserita per classificare i terremoti del *Catalogo cronologico-topografico-dinamico dei fenomeni sismo-vulcanici primari e secondari italiani storicamente conosciuti*, in *Vulcani e fenomeni vulcanici* [Mercalli, 1883]¹⁸, e ovviamente non può prescindere da De Rossi. In questa versione Mercalli definiva sei gradi di severità da usare per i terremoti del suo catalogo. *“Rispetto all’intensità ho diviso i terremoti in sei gruppi, cioè: leggeri, mediocri, forti, fortissimi, rovinosi e disastrosi. Una scala più completa, com’è quella del Prof. De Rossi, l’userò solamente per terremoti più recenti”*.

Prima scala Mercalli, 1883

Leggiero - avvertito senza bisogno del sismografo da parecchi o da molti, non però universalmente.

Equivale ai terremoti *deboli e leggeri* di De Rossi.

Mediocre - con tremito generalmente avvertito d’infissi, di cristalli, ecc., e suono di qualche campanello. Equivale ai terremoti *sensibili e mediocri* di De Rossi.

Forte - Con suono più o meno generale di campanelli, arresto di orologi, oscillazione di lampade. Equivale alle scosse *forti* del De Rossi.

Fortissimo - Con caduta di calcinacci e di qualche fumajolo; lesioni nei fabbricati; suono delle campane da torre, ecc. Sono le scosse *molto forti e fortissime* di De Rossi.

Rovinoso - Con caduta totale o parziale di qualche edificio.

Disastroso - Con rovina di molti fabbricati e vittime. Questi due sono gli ultimi gradi della scala sismica già adottata dal De Rossi.

Per non creare confusione con i gradi tradizionali della De Rossi, in questa prima versione della sua scala, Mercalli non utilizzò gradi numerici, lasciò i soli aggettivi e per brevità, nel catalogo, indicò i gradi con dei simboli:

/ per leggero

X per mediocre

+ per forte

! per fortissimo

!! per rovinoso

!!! per disastroso

Come scritto dallo stesso Mercalli questa scala viene usata per i terremoti storici, mentre userà la De Rossi per i terremoti recenti.

Gli studi sul campo sugli effetti dei terremoti, (in special modo quello Andaluso del 1884-85 e quello Ligure del 23 febbraio 1887) persuasero Giuseppe Mercalli che le scale sino allora in uso, in particolare la De Rossi-Forel, non erano adeguate per descrivere la gradualità del danneggiamento. Già nel lavoro sul terremoto della Liguria Occidentale Taramelli e Mercalli [1888] definirono, e proposero di fatto alla comunità scientifica, una nuova scala che a loro dire descriveva con maggior fedeltà i grandissimi danni provocati da quell’evento. Leggiamone la motivazione a pagina 390 del succitato lavoro:

“Per indicare brevemente l’intensità del terremoto abbiamo adottato una scala sismica convenzionale di 10 gradi. Quando il terremoto in una data località ci presentò dei caratteri intermedi a quelli stabiliti per due gradi consecutivi, abbiamo rappresentata l’intensità scrivendo di seguito ambedue i numeri dei due gradi consecutivi stessi¹⁹. Non abbiamo potuto usare della scala De Rossi-Forel, avendola trovata affatto insufficiente nel nostro caso per indicare la graduazione dell’intensità, specialmente per tutta l’area dove questa fu tale da cagionare lesioni negli edifici”.

¹⁸ In questa parte di lavoro sul Catalogo, Mercalli fu aiutato da uno dei suoi allievi Achille Ratti, futuro papa Pio XI.

¹⁹ Taramelli e Mercalli evidenziano per primi la problematica della non perfetta adesione della progressione del danno sulla scala, come è ovvio che sia, che porterà negli anni successivi alla assegnazione del famoso “mezzo grado”, ripreso da Riccò nel 1894.

Il problema messo in luce dagli autori, e poi ripreso dal solo Mercalli nel 1902, era la grossolanità delle descrizioni dei gradi alti della De Rossi-Forel, incapace di differenziare tra le località con danni più gravi (gradi 8, 9, e 10). In particolare, per le località colpite da “*gravi disastri, ruine, vittime, frane, ecc.*” (grado 10), lo studio di Taramelli e Mercalli mise in evidenza: “[...] *lo studio dettagliato degli effetti del terremoto in queste diverse località ci mostrerà, come l’intensità del terremoto in questi paesi sia stata assai diversa [...]*”.

La scala Taramelli-Mercalli “spalmava” i danni osservati su più gradi rispetto alla De Rossi-Forel, cosicché il grado 8 di quest’ultima corrispondeva pressappoco al suo grado 7.

Scala Taramelli-Mercalli, 1888

1. *Scossa avvertita da qualche persona isolata in condizione di perfetta quiete ovvero da persone molto sensibili e nervose.*
2. *Avvertita da diverse persone, ma poche, relativamente agli abitanti d’un dato paese; quando si dice che fu appena sentita senza nessuna apprensione; in generale senza accorgersi che sia terremoto, se non dopo aver sentito da altri che pure hanno avvertito il fenomeno.*
3. *Avvertita da molte persone in quiete e nei piani superiori; da pochissimi in altre condizioni; senza spavento, con tremolio di vetri e soprammobili senza oscillazioni né caduta di oggetti; quando dalle persone còlte si avverte la natura del fenomeno.*
4. *Avvertito da molti in diverse condizioni, quasi da nessuno però nelle vie od al pian terreno ed in movimento. In generale, senza nessuno spavento, con leggera oscillazione degli oggetti sospesi, scricchiolio di impalcature, arresto di qualche orologio; quando si dice che il terremoto fu sensibile.*
5. *Avvertito quasi da tutti anche al pian terreno nelle case, non però nelle vie: con poco o nessuno spavento: con oscillazione di quadri, lampade ecc., e caduta di oggetti nei piani inferiori: scuotimento sensibile di letti, arresto di molti pendoli, suono di qualche campanello; quando si dice che il terremoto fu forte.*
6. *Avvertito da tutti e, in generale, con spavento e risveglio delle persone addormentate. Oscillazione e caduta di molti oggetti; suono di campanelli e rintocco di qualche campana. Caduta di calcinacci e qualche lesione leggera ed in poche case; quando si dice che fu molto forte.*
7. *Avvertito da tutti ed, in generale, con grande spavento e fuga dalle case: con lesioni negli edifici numerose ma leggere, con caduta di qualche fumajolo e di tegole. Suono forte di campanelli e di qualche campana; quando si dice che il terremoto fu fortissimo ma i danni non gravi.*
8. *Lesioni generali e considerevoli nelle case: solo poche però rese inabitabili. Caduta di qualche volta e di fumajoli in numero relativamente considerevole. Nessuna vittima od al più qualche persona ferita leggermente.*
9. *Rovina totale o parziale di alcune case: lesioni gravi nelle altre, molte rese inabitabili; qualche vittima umana.*
10. *Rovina di molti edifici con vittime numerose ed in diversi punti del paese che si considera.*

Questa scala conteneva alcune novità ed alcuni principi di base che saranno confermati e sviluppati nelle future scale sismiche. Si possono fare alcune specifiche osservazioni al riguardo:

- c’è una attenzione al dettaglio nell’osservazione degli effetti sugli oggetti, in modo più puntiglioso e per più gradi, rispetto alla De Rossi-Forel;
- si evidenzia lo stato dell’osservatore, soprattutto nei primi quattro gradi: la condizione dell’osservatore, se sensibile o nervoso, se in quiete o in movimento o in altre attività, diventa un elemento di valutazione della scossa;
- compare per la prima volta il discernimento fra i piani all’interno dell’edificio;
- i danni compaiono descritti dal sesto grado, caratteristica che resterà immutata. Il sesto diverrà lo spartiacque tra effetti permanenti e transitori, cioè tra danno e non-danno;
- la descrizione delle lesioni e dei danni, più dettagliata che in passato, evidenzia una maggiore gradualità e accenna ad una quantificazione degli elementi osservati: **qualche**

- fumaiolo, lesioni **numerose, poche/molte** inabitabili, **molti** edifici;
- Taramelli e Mercalli introducono poi una novità che però avrà breve durata, e cioè l'accento a vittime umane;
 - i gradi dal quarto al settimo vengono aggettivati *da sensibile a fortissimo*, uso derivato dalla prima scala De Rossi del 1873, ma che era stato eliminato nella De Rossi-Forel.

Una curiosità: la persona “*che si occupa di sismologia*” nei gradi 1 e 2 di De Rossi, diviene “*persona colta*”, questo a significare un uso più universale della scala, anche da parte di osservatori non professionisti. Sempre riguardo alla sensibilità nel riconoscere le scosse di terremoto, Mercalli dirà [Mercalli, 1902], che per lunga esperienza lui valuta le persone sensibili e nervose, specialmente le donne, le più efficaci nell'avvertire una scossa. Questa caratterizzazione sul genere dell'osservatore scomparirà totalmente in seguito.

Nel 1897 Mercalli propose una modifica della scala Taramelli-Mercalli, che venne pubblicata nella *Memoria sui terremoti della Liguria e del Piemonte* [Mercalli, 1897]. Le modifiche tra le due scale di Mercalli a dieci gradi sono le seguenti:

- Il primo grado torna ad essere “strumentale”, come nelle scale De Rossi e De Rossi-Forel.
- Il secondo grado riassume al suo interno una serie di elementi che nella versione del 1888 erano contenute nei primi tre gradi: scossa avvertita in quiete, da diverse persone, ai piani alti.
- La definizione di “*persone colte*” scompare.
- Al sesto grado compare la “*fuga all'aperto*”, che era nell'ottavo di De Rossi-Forel, e al settimo nella Taramelli-Mercalli 1888.
- La “*rovina parziale di alcune case*” si aggiunge alle “*lesioni generali e considerevoli*”, specificando che in un quadro di danneggiamento grave e diffuso, possono occasionalmente avvenire dei crolli.
- Al nono si specifica che le vittime possono venirsi a trovare in diversi punti dell'abitato, come a sancire un livello di distruzione più esteso.
- Al decimo grado vengono introdotti gli effetti sull'ambiente, già considerati nella De Rossi-Forel, ma ignorati da Mercalli e Taramelli nel 1888.

Mercalli suggerì anche quale prassi deve essere usata nella valutazione dell'intensità di una località colpita da un terremoto:

“Nel giudicare dell'intensità delle scosse dai loro effetti, bisogna tener calcolo del complesso dei danni e delle rovine più che di qualche fatto isolato, il quale spesso trova la sua ragione nelle condizioni particolari di qualche edificio più che nella intensità della scossa”.

Questa raccomandazione diviene uno dei capisaldi nella consuetudine usata nei rilievi macrosismici. La nuova scala Mercalli a dieci gradi venne approvata dalla Direzione dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica di Roma e divenne ufficiale nell'uso dal 1900, sostituendo la De Rossi-Forel nel servizio d'informazioni sismiche, gestito dal suddetto ufficio.

Nel 1902 Mercalli pubblica finalmente un lavoro di sintesi nel quale motiva la sua proposta di modifica alla De Rossi-Forel [Mercalli, 1902]. La scala De Rossi-Forel, sulla base degli studi effettuati sui recenti terremoti disastrosi, (Casamicciola, Andalusia, Liguria, ecc.) non aveva la giusta risoluzione per descrivere i danni in quanto squilibrata verso il basso, avendo sei gradi (dal 2 al 7) per gli effetti sull'uomo, senza danni, e solo tre (8, 9 e 10) per i danni agli edifici. Scrisse Mercalli: “[...] mentre è evidente che la differenza di intensità tra un terremoto che fa cadere i fumajoli delle case, e quello che abbatte i muri maestri di solidissimi edifizii, è certamente maggiore e più facile a determinarsi e a graduarsi, che quello che passa tra una scossa sentita da qualche persona (2° grado De Rossi-Forel) e una scossa che cagiona spavento generale e caduta di qualche calcinaccio (7° grado De Rossi-Forel)”.

Nello stesso articolo Mercalli sottolineava come, almeno in una stessa nazione, si dovesse usare la stessa scala sismica per tutti i terremoti per non creare confusione, disapprovando l'uso di scale speciali per un singolo terremoto. A questo proposito Mercalli [1902] citò l'esempio della scala a sette gradi che Baratta aveva ideato per valutare gli effetti del terremoto veronese del 1891²⁰.

Scala Baratta 1891 [Baratta, 1892]

1. leggerissimo - terremoto avvertito da soli apparecchi;
2. leggero - avvertito da parecchie persone senza uopo di strumenti;
3. mediocre - accompagnato da tremito generale di infissi cristalli ecc;
4. forte - Con suono più o meno generale di campanelli, arresto di orologi, oscillazione di lampade;
5. fortissimo - Con caduta di calcinaccio di qualche fumaiolo, lesioni di fabbricati, suono di campane;
6. quasi rovinoso - Con caduta totale o parziale di qualche (uno o due) edificio;
7. rovinoso - rovina di parecchi fabbricati, qualche vittima.

L'impressione di confusione stigmatizzata da Mercalli è ben giustificata se leggiamo le motivazioni di Baratta stesso per questa scelta: *“Però bisogna osservare che gli aggettivi specificati dei vari gradi di intensità vanno riferiti all'intensità ed all'andamento generale del fenomeno in studio, vale a dire, per esempio, che il fortissimo od il rovinoso del terremoto veronese non sono punto paragonabili a quello del terremoto ligure del 1887, all'andaluso del 1884, e così via.”* [Baratta, 1892].

Non è chiaro il motivo che indusse Baratta a creare una scala ad hoc, solo tre anni dopo la pubblicazione della Taramelli-Mercalli, e contemporaneamente scartare l'uso della De Rossi-Forel, comunque universalmente utilizzata sino ad allora.

Il terremoto dello stretto di Messina del 28 dicembre 1908, la peggior calamità sismica della storia italiana, segnò un'altra svolta nell'uso delle scale macrosismiche. Mentre Mercalli, dopo aver constatato personalmente l'enorme livello di danneggiamento [Mercalli, 1909], modificava la sua scala aggiungendo, prima l'XI grado (catastrofe), e poi il XII (grande catastrofe) [Mercalli, 1910], come accennato in precedenza (vedi note 20 e 21), Mario Baratta stilava l'ennesima scala arbitraria, questa volta dedicata alla descrizione dei soli danni. La proposta di Baratta nasceva dal fatto che il terremoto del 1908 poneva realmente i sismologi italiani contemporanei, per la prima volta, di fronte ad un livello di devastazione assolutamente non descrivibile con gli strumenti del tempo, e cercava probabilmente un modo di confrontare questo terremoto con l'unico evento con il quale fosse possibile fare un paragone, quello del 1783. Infatti la scala di Baratta richiama molto da vicino la sintesi dei danni fatta dal Vivenzio [1788]. La vastità delle distruzioni osservate poneva il problema di differenziare il più possibile tra loro le località colpite, senza che i gradi della scala appiattissero tali discordanze, e quindi, che l'intensità del sisma dovesse avere una relazione, anche numerica, con il numero effettivo di edifici danneggiati e le loro caratteristiche²¹.

“[...] tuttavia i valori che si ottengono sono semplici espressioni numeriche e tali da non darci una adeguata e giusta idea del danno sofferto da ciascuna località in paragone con le altre” [Baratta, 1910].

²⁰ *“L'usare scale sismiche speciali per lo studio di un dato terremoto, come ha fatto il mio amico dott. Baratta, in occasione del terremoto Veronese del 1891, a me pare che sia causa di confusione anche per i sismologi, e tanto più per le persone profane alla sismologia, le quali dovrebbero pure usare dette scale sismiche per indicare con brevità l'intensità di un terremoto, di cui furono testimoni.”*

²¹ Questa intenzione di Baratta nasceva da una questione posta da Annibale Riccò nello studio del terremoto calabrese del 1894 [Riccò, 1907], nel quale l'autore, cercando di correlare le diverse metodologie di raccolta dei dati sui danni utilizzate da Genio Militare, Agenzia delle Imposte e Prefettura, si proponeva di calcolare dei coefficienti di danno complessivo per ogni località. Tuttavia lo stesso Riccò concludeva che i risultati erano troppo discordanti: *“Concludiamo dunque che le statistiche delle lesioni ai fabbricati, quantunque sieno importanti per stabilire l'entità dei danni prodotti dal terremoto, pure non possono dare criterii esatti e concordanti con quelli ottenuti applicando, dietro le osservazioni dirette e le informazioni, la scala De Rossi-Forel, per graduare e misurare l'intensità dello scuotimento tellurico nei vari paesi”*.

Persuaso di ciò Baratta si dedicò alla costruzione di una scala empirica dei danni, che permettesse “*grosso modo*” di farsi un’idea del loro insieme, ma graduando con una certa precisione le quantità di edifici danneggiati o distrutti.

Scala Baratta, 1910

- I. Paesi completamente o quasi distrutti;*
- II. Paesi per metà distrutti e nel resto resi inabitabili o quasi;*
- III. Paesi in buona parte distrutti, e nel resto in maggioranza inabitabili o quasi*
- IV. Paesi con molti edifici crollati, moltissimi inabitabili ed il resto lesionati;*
- V. Paesi con parecchi edifici crollati, con la maggioranza degli altri inabitabile, ed i rimanenti lesionati;*
- VI. Paesi con pochi edifici crollati, pochi danneggiati gravemente e non molti lievemente. Oppure paesi con molte case gravemente danneggiate e poche lievemente e con le altre lievemente concusse;*
- VII. Paesi con poche case gravemente danneggiate e poche lievemente. Ovvero paesi con moltissime case leggermente danneggiate;*
- VIII. Paesi con parecchi edifici leggermente danneggiati;*
- IX. Paesi con pochi edifici danneggiati leggermente;*
- X. Paesi con pochissimi edifici danneggiati leggermente.*

Certo è che, alla lettura odierna, può risultare difficile usare, con lo stesso fine discernimento, gli aggettivi che Baratta stesso adopera. *Parecchi* è diverso da *molti*?, o *la maggioranza*, *moltissimi*, *buona parte* o *metà* esprimono quantità chiaramente definibili e diverse tra loro? Le raccomandazioni di De Rossi sull’uso omogeneo degli *epiteti* sembrerebbero rimaste, in questo caso, lettera morta (leggi a pag. 18, capitolo 3).

La scala proposta da Baratta distribuiva su dieci gradi gli elementi diagnostici sui danni, cosa che la scala di Mercalli limitava a cinque gradi, ma soprattutto dettagliava in modo più accurato le quantità descritte. È chiaro che la scala di Baratta, così come veniva proposta, sarebbe rimasta utile solo per eventi di eccezionale gravità, e tale restò, utilizzata solo dall’autore nel lavoro specifico per il quale venne creata. Tuttavia l’intuizione di descrivere con una maggior gradualità le quantità dei danni, verrà ripresa da Sieberg nello stilare quella che sarà la definitiva scala MCS.

6. Le tre sorelle

In questo capitolo sintetizzo, la storia delle tre scale più conosciute e più usate dagli anni ‘40 ad oggi: la scala MCS (1930), la scala MMI (1931) e la scala MSK (1964) (e qualche loro versione intermedia).



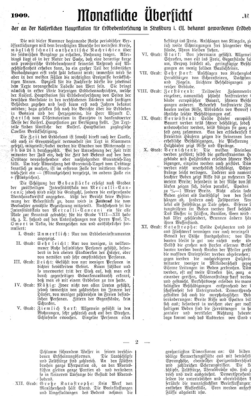
Figura 12 August Heinrich Sieberg (1875-1945).

Figure 12 August Heinrich Sieberg (1875-1945).

Come si noterà, l'impronta prima di De Rossi e poi di Mercalli è inconfondibile in tutte e tre le scale. August Sieberg, segretario dell'Osservatorio Gerland di Strasburgo, riprese e rielaborò nel 1909 (Fig. 12) la citata proposta di Cancani di una scala a dodici gradi [Sieberg, 1909] e, in virtù di una gran mole di osservazioni macrosismiche provenienti da tutto il mondo e della sua esperienza di ispezioni sui danni di recenti terremoti italiani, nel 1912 si sentì pronto per proporre una nuova scala internazionale. Una delle obiezioni principali di Sieberg alle scale precedenti, era che contenevano delle descrizioni dei diagnostici troppo succinte degli effetti osservati: "Non posso comprendere le motivazioni dietro tale concisione." [Sieberg, 1912]. In virtù di questo la scala di Sieberg del 1912, e quella del 1923 [Sieberg, 1923] ripubblicata quasi identica, sono estremamente dettagliate, con esempi relativi ad edifici di tutto il mondo e descrizioni particolareggiate degli effetti naturali. L'impatto è notevole.

Figura 13 Versione del 1909 della scala Mercalli-Cancani riscritta da Sieberg.

Figure 13 1909 version of the Mercalli-Cancani scale re-written by Sieberg.



Scala di Sieberg 1923

1. *Impercettibile. La scossa non è avvertita; solo i sismometri adatti a registrare terremoti vicini, o sensibili sismoscopi ne registrano la traccia.*
2. *Molto leggera. Solo poche persone in perfetta quiete, specialmente coloro con nervi sensibili, avvertono la scossa come un lieve tremore o oscillazione. La scossa è avvertita particolarmente ai piani superiore delle case e molto raramente al piano terra. Inoltre, la quiete della notte favorisce la sua percezione, se l'osservatore è sveglio.*
3. *Leggera. Anche in aree densamente popolate, la scossa è avvertita solo da poche persone come lo scuotimento prodotto dal passaggio veloce di un carro. Occasionalmente, la durata, e forse anche la direzione del movimento possono essere rilevati. Molti realizzano soltanto in secondo momento, parlando con altri, che si trattava di un terremoto.*
4. *Moderato. Tra le persone all'aperto non molti avvertono il terremoto. Al chiuso, molti, ma non tutti, riconoscono il tremolio o un leggero dondolio di mobili; bicchieri e stoviglie tintinnano urtando tra loro come succede al passaggio di un pesante carro sopra una pavimentazione sconnessa; le finestre sbattono; porte, travi, pavimenti, e soffitti di legno scricchiolano; liquidi in contenitori aperti si muovono leggermente. La scossa generalmente non procura allarme, eccetto che nel caso di persone cui l'esperienza di passati terremoti, ha già reso nervose e ansiose. In pochi casi i dormienti si svegliano.*
5. *Piuttosto forte. Anche durante le ore più impegnate della giornata, il terremoto è avvertito da molte persone all'aperto. Al chiuso lo scuotimento dell'intero stabile è generalmente avvertito, la percezione è la stessa quando pesanti oggetti (come un sacco, o un pezzo di arredamento) cade all'interno della casa; o avvertito dagli osservatori su una sedia, a letto ecc., come in nave su un mare agitato. Piante, rami e ramificazioni di arbusti e alberi ondeggiavano visibilmente, come sotto un vento moderato. Oggetti non fissati, come tende e lampade, ma non pesanti lampadari, oscillano; campane suonano; orologi a pendolo si fermano o oscillano con periodo più ampio a seconda se la direzione della scossa sia ortogonale o*

parallela al piano di oscillazione; similmente, orologi a pendolo fermi riprendono a funzionare; la molla degli orologi vibra rumorosamente; la luce elettrica viene a mancare per l'oscillazione dei cavi; quadri sbattono contro i muri o si spostano; piccole quantità di liquidi schizzano fuori da recipienti colmi; ninnoli, piccole cornici e anche oggetti appoggiati al muro cadono; anche mobili leggeri possono talvolta spostarsi, e sbattere; porte e persiane di finestre si aprono o sbattono; vetri di finestre si rompono. Di regola i dormienti si svegliano. Pochi corrono all'aperto.

6. Forte. Il terremoto è avvertito da tutti con allarme, così che molte persone corrono all'aperto, molti pensando di cadere. I liquidi si agitano con violenza, quadri cadono dai muri, libri ecc. dagli scaffali, a meno che la direzione della scossa sia parallela a quella dei muri; numerose stoviglie si rompono; qualche pezzo di arredo stabile si sposta o rovescia; campane di chiese e orologi di campanili battono. In poche case di tipo mitteleuropeo solidamente costruite compaiono crepe nell'intonaco, che si stacca qui e là in, frammenti, da tetti e muri. In case poveramente costruite, il danno è maggiore, ma non ancora di natura severa.
7. Molto forte. Danni considerevoli sono provocati all'arredamento a causa del rovesciamento o della rottura anche di oggetti pesanti. Grandi campane di chiese battono. La superficie di fiumi, stagni e laghi è disturbata, e il fango sul fondo viene smosso. In pochi casi sponde sabbiose e ciottolose scivolano. Variazione del livello di acqua nei pozzi. Nonostante la loro solida costruzione molti edifici di tipo mitteleuropeo soffrono danni moderati; leggere crepe nei muri, caduta di larghi pezzi di intonaco, caduta di mattoni, tegole si staccano e scivolano. I camini sono danneggiati da crepe e dalla caduta di rivestimenti e pietre; camini già in cattive condizioni si rompono alla base e danneggiano il tetto. Decorazioni mal fissate cadono da torri ed edifici elevati. In edifici intelaiati, specialmente nei tramezzi, il danno all'intonaco è serio. Edifici mal costruiti o mal tenuti soffrono seriamente allo stesso modo; recinzioni di legno, capanni, muraglie, villette e anche chiese, minareti di moschee, ecc., in molti paesi dell'Europa meridionale, cadono in misura più o meno grande. Edifici antisismici, come la maggior parte delle case in pietra e legno in Giappone, e quelle in legno e bambù, che sono diffuse largamente nei distretti tropicali, non subiscono danni.
8. Rovinoso. Tronchi di alberi, specialmente le palme, oscillano come sotto un forte vento. Anche i mobili più pesanti vengono spostati o rovesciati. Statue, ecc., poggiate al suolo, come quelle nelle chiese, cortili di chiese, parchi pubblici, ecc., possono ruotare sul loro piedistallo o cadere. Muri di recinzione in pietra si spaccano e cadono al suolo. Nonostante la loro solida costruzione molti edifici di tipo mitteleuropeo soffrono danni notevoli, con crepe passanti nella muratura; in qualche caso, collassano parzialmente; la maggior parte dei camini cade; allo stesso modo soffrono torri di chiese e ciminiere di fabbriche, e con la loro caduta possono danneggiare le case vicine, più di quanto causato dalla sola scossa; eccezionalmente ciminiere ben costruite vengono solo fratturate e dislocate nella porzione superiore. Edifici antisismici (come in Giappone) mostrano, lievi danni, come crepe, sgretolamento dell'intonaco, ecc. (vedere grado 7, case mitteleuropee), e la struttura di case in legno viene danneggiata considerevolmente. Pali marciti delle capanne in uso in Malesia si spezzano. Lieve fratture nel terreno di pendii e suoli umidi; in qualche caso si ha espulsione di acque fangose e sabbiose.
9. Disastroso. Edifici solidamente costruiti di tipo europeo vengono seriamente danneggiati, a tal punto da rendere un gran numero di loro inabitabili, alcuni crollano totalmente o parzialmente. Edifici intelaiati vengono spostati dalle fondazioni in pietra, una parte di loro, in certe condizioni, viene danneggiato. Edifici antisismici in pietra subiscono notevoli danni, i muri di quelli in legno mostrano aperture e fessure, vecchie case di legno subiscono l'allentamento del telaio.
10. Distruttivo. La maggior parte delle case in pietra e intelaiate sono rovesciate con le loro fondazioni, anche muri con mattoni di prima qualità mostrano crepe pericolose, ma la percentuale di quelle

di costruzione mitteleuropea è maggiore che nel caso di edifici antisismici. Anche le case di legno ben fatte e ponti subiscono seri danni, pochi vengono demoliti. Argini, dighe, ecc., vengono più o meno gravemente danneggiati. Binari ferroviari si piegano leggermente. Tubazioni del gas, acqua ecc., interrato vengono rotte o schiacciate. Fratture e ondulazioni si formano nell'asfalto delle strade. Terreni sciolti, specialmente se umidi, mostrano fessurazioni fino a diversi decimetri di larghezza; in special modo, vicino ai corsi d'acqua, si possono creare fessurazioni parallele larghe da mezzo metro a tre quarti di metro. Frane e scivolamenti avvengono non solo su dirupi con terreni sciolti, ma cadono massi anche dalle montagne nelle valli, e dagli argini dei fiumi, e sponde ripide franano in parte; su coste basse masse di sabbia e fango vengono spostate, provocando sostanziali modifiche del livello del suolo. La portata delle sorgenti varia. L'acqua di fiumi, canali e laghi inonda le sponde.

11. *Catastrofe. Edifici in pietra di qualsiasi tipo viene abbattuto. Anche solidi edifici in legno o bambù restano abitabili in pochi casi, specialmente vicino le linee di faglia. Ponti, sebbene grandi e solidamente costruiti, sono distrutti dalla caduta dei pilastri in pietra massiccia, o dalla rottura dei tralicci in ferro. Pavimenti in legno elastici, restano tuttavia meno danneggiati. Argini e dighe vengono completamente spezzati, spesso per lunghe distanze. Binari sono fortemente piegati e deformati. Il tipo e la quantità di danni alle strade dipende dalla natura delle fondazioni. Condotte interrato vengono totalmente rese inutilizzabili. Si osservano le più varie e grandi variazioni morfologiche nei suoli, che sono dipendenti dalla natura dei suoli stessi; ampie fessure si creano, il dissesto di terreni soffici e saturi di acqua è particolarmente importante sia in senso orizzontale che verticale. Comparsa di acque fangose o sabbiose in diverse manifestazioni. Frane e caduta di massi sono numerose.*
12. *Grande catastrofe. Nessuna opera umana resta in piedi. Dissesti e trasformazioni del territorio raggiungono le dimensioni più grandi. Anche in terreni rocciosi si formano aperture di grande profondità, con grande dislocazione orizzontale e numerose fessure. Rive di bacini si spaccano, crolli, frane, collassi di argini di fiumi o rive sono numerosi e diffuse. Acque sotterranee e superficiali subiscono i più vari squilibri; si formano cascate e laghi, fiumi vengono deviati ecc.*

La scala di Sieberg, adattata alla sola realtà europea diverrà poi la scala Mercalli-Cancani-Sieberg del 1930. In questa nuova versione compaiono più nettamente gli elementi quantitativi, sfumati in precedenza, sebbene il cuore della scala rimanga simile a quella del 1923. Quella riportata qui di seguito è la versione inserita nel 1932 nel Manuale di Geofisica pubblicato da Gutenberg [Sieberg, 1932].

Scala MCS (Mercalli - Cancani - Sieberg) 1932

I grado Impercettibile: rilevato soltanto da sismografi.

II grado Molto leggero: sentito soltanto da persone estremamente sensibili o nervose, in perfetta quiete e quasi sempre nei piani superiori dei caseggiati.

III grado Leggero: anche in zone densamente abitate viene percepito come terremoto, soltanto da una piccola parte degli abitanti nell'interno delle case, come nel caso del passaggio di un pesante mezzo. Da alcuni viene riconosciuto come terremoto soltanto dopo averne parlato con altri.

IV grado Moderato: all'aperto il terremoto è percepito da pochi. Nelle case è notato da numerose persone ma non da tutti, a seguito del tremolio o di oscillazioni leggere di mobili. Cristalleria e vasellame, posti a breve distanza, urtano come al passaggio di un pesante autocarro su strada dissestata. Finestre tintinnano; porte, travi e assi in legno scricchiolano; cricchiano i soffitti. In recipienti aperti, i liquidi vengono leggermente mossi. Si ha la sensazione che in casa si sia rovesciato un oggetto pesante; si oscilla con tutta la sedia o il letto come su una barca. In generale questi movimenti non provocano paura a meno che le persone non si siano innervosite o spaventate a causa di terremoti precedenti. In rari casi i dormienti si svegliano.

- V grado** *Abbastanza forte: nel pieno delle attività giornaliere, il sisma viene percepito da numerose persone nelle strade e se sensibili anche in campo aperto. In casa si avverte in seguito allo scuotere dell'intero edificio. Piante e piccoli rami di cespugli ed alberi si muovono con evidenza, come se ci fosse un vento moderato. Oggetti pendenti come lampade, tendaggi, lampadari non troppo pesanti entrano in oscillazione, campanelle suonano. Gli orologi a pendolo si fermano od oscillano con maggior periodo, a seconda della direzione della scossa se perpendicolare o normale al moto di oscillazione. A volte orologi a pendolo fermi riprendono il movimento. La luce elettrica guizza o viene a mancare in seguito a movimenti della linea. I quadri urtano, battono contro le pareti oppure si spostano; da recipienti colmi e aperti vengono versate piccole quantità di liquido; ninnoli ed oggetti del genere possono cadere come pure gli oggetti addossati alle pareti; arredi leggeri possono essere spostati di poco; mobili rintonano; porte ed imposte sbattono; vetri delle finestre si infrangono. Quasi tutti i dormienti si svegliano. Sporadici gruppi di persone fuggono all'aperto.*
- VI grado** *Forte: il terremoto viene notato da tutti con paura, molti fuggono all'aperto, alcuni hanno la sensazione d'instabilità. Liquidi si muovono fortemente; quadri, libri e cose simili cadono dalle pareti e dagli scaffali; porcellane si frantumano; suppellettili assai stabili, e perfino pezzi d'arredo vengono spostati se non rovesciati; piccole campane in cappelle e chiese, e orologi di campanili battono. Case isolate, solidamente costruite subiscono danni leggeri; spaccature all'intonaco, caduta del rinzaffo di soffitti e di pareti. Danni più forti, ma non ancora pericolosi, si hanno sugli edifici mal costruiti. Qualche tegola e pietra di camino cade.*
- VII grado** *Molto forte: notevoli danni vengono provocati ad oggetti di arredamento anche di grande peso. Grandi campane rintoccano. Corsi d'acqua, stagni e laghi si agitano e s'intorbidiscono a causa della melma mossa. Qua e là, parte delle sponde di sabbia e ghiaia scivolano via. Varia la portata delle sorgenti. Danni moderati a numerosi edifici costruiti solidamente: piccole spaccature nei muri; caduta di toppe piuttosto grandi dell'incalcinatura e dello stucco, a volte anche di mattoni. Caduta generale di tegole. Molti fumaioli vengono lesi da incrinature. Camini già danneggiati si rovesciano sopra il tetto danneggiandolo. Da torri e costruzioni alte cadono decorazioni mal fissate. Quando la casa è a pareti intelaiate, i danni all'incalcinatura e all'intelaiatura sono più gravi. In casi isolati distruzione di case mal costruite oppure riattate.*
- VIII grado** *Rovinoso: interi rami d'albero pendono rotti e perfino si staccano. Anche i mobili più pesanti vengono spostati lontano e a volte rovesciati. Statue, monumenti in chiese, in cimiteri e parchi pubblici, ruotano sul proprio piedistallo oppure si rovesciano. Solidi muri di cinta in pietra si rompono e crollano. Circa un quarto delle case è gravemente lesa, alcune crollano, molte diventano inabitabili; gran parte di queste cadono. Negli edifici intelaiati cade gran parte della tamponatura. Case in legno vengono schiacciate o rovesciate. Spesso campanili di chiese e di fabbriche con la loro caduta causano danni agli edifici vicini più di quanto non avrebbe fatto da solo il terremoto. In pendii e terreni acquitrinosi si formano crepe. In terreni bagnati si ha l'espulsione di sabbia e di melma.*
- IX grado** *Distruttivo: circa la metà di case in pietra sono distrutte; molte crollano; la maggior parte diviene inabitabile. Case ad intelaiature sono divelte dalle proprie fondamenta e crollano; travi strappate a seconda delle circostanze contribuiscono alla rovina.*
- X grado** *Completamente distruttivo: gravissima distruzione di circa 3/4 degli edifici, la maggior parte crolla. Perfino costruzioni solide di legno e ponti subiscono gravi lesioni, alcuni vengono distrutti. Argini e dighe ecc., chi più, chi meno, sono danneggiati notevolmente, binari leggermente piegati e tubature (gas, acqua e scarichi) vengono troncate, rotte e schiacciate. Nelle strade lastricate e asfaltate si formano crepe e per pressione sporgono larghe pieghe ondose. In terreni meno densi e più umidi si creano spaccature fino alla larghezza di più decimetri; si notano parallelamente ai corsi d'acqua spaccature che raggiungono larghezze fino a un metro. Non solo pezzi di terreno scivolano dai pendii, ma interi macigni rotolano a*

valle. Grossi massi si staccano dagli argini dei fiumi e da coste scoscese; riviere basse subiscono spostamenti di masse sabbiose e fangose, per cui il livello del terreno viene notevolmente variato. Le sorgenti subiscono frequenti cambiamenti di livello dell'acqua. Da fiumi, canali e laghi ecc. le acque vengono gettate contro le sponde.

XI grado Catastrofico: crollo di tutti gli edifici in muratura, resistono soltanto le capanne di legno e le costruzioni ad incastro di grande elasticità. Anche i ponti più sicuri crollano a causa della caduta di pilastri in pietra o del cedimento di quelli in ferro. Binari si piegano fortemente e si spezzano. Tubature interrato vengono spaccate e rese irreparabili. Nel terreno si manifestano vari mutamenti di notevole estensione, a seconda della natura del suolo, si aprono grandi crepe e spaccature; soprattutto in terreni morbidi e acquitrinosi il dissesto è considerevole sia orizzontalmente che verticalmente. Ne segue il trabocco di sabbia e melma con diverse manifestazioni. Sono frequenti lo sfaldamento di terreni e la caduta di massi.

XII grado Grandemente catastrofico: non regge alcuna opera dell'uomo. Lo sconvolgimento del paesaggio assume aspetti grandiosi. Corsi d'acqua sia superficiali che sotterranei subiscono mutamenti vari, si formano cascate, scompaiono laghi, fiumi deviano.

Scala Mercalli Modificata (MMI)

Harry Wood and Frank Neumann [1931], sismologi del Seismological Laboratory di Pasadena, in California, lavorarono per adeguare la scala Mercalli-Cancani, riformulata da Sieberg nel 1923 alla crescente modernità della situazione americana del tempo. Gli esempi usati da Wood e Neumann erano riferiti agli effetti nei grattacieli, sulle auto con motore a scoppio o autocarri pesanti, sulle infrastrutture sotterranee ecc., che spesso venivano inclusi tra le osservazioni raccolte in seguito ai terremoti, ma non inquadrabili sino ad allora nella scala macrosismica. Insomma si trattava di modulare la scala anche a realtà più complesse, come una moderna e grande città per l'appunto.

Gli autori proposero inoltre che la scala fosse usata solo da "studiosi esperti" e scrissero una prefazione che recita:

"Per valutare criticamente l'intensità bisogna tenere in considerazione la durata dello scuotimento; la natura del sottosuolo della località e se la superficie è piana, in lieve pendenza o ripido pendio; se gli osservatori sono all'aperto o al chiuso, in che tipo di struttura, a che piano, se in quiete o in attività, e se in attività quale; anche se il moto è percepito rapido o lento, semplice o complesso, e se inizia gradualmente o d'improvviso. Questo richiede esperienza. A causa dell'inclusione di questi fattori nella valutazione dei diversi gradi, nessuna scala d'intensità di questo tipo è adatta ad un uso generale, anche se spesso stime corrette potrebbero essere fatte".

Come dire che la valutazione dell'intensità è materia complessa, e difficilmente può essere resa universalmente, tuttavia è di fondamentale importanza che utenti esperti raccolgano quante più informazioni sul fenomeno osservato. La scala è suggerita come strumento di guida affinché gli osservatori notino e riportino gli effetti importanti dei terremoti.

Scala MMI 1931

I Non avvertito - o soltanto in condizioni particolarmente favorevoli. Sotto certe condizioni, fuori dell'area nella quale una grande scossa è avvertita: talvolta uccelli, animali sono inquieti o disturbati; talvolta si prova capogiro o nausea; talvolta gli alberi, strutture, liquidi, recipienti di acqua possono ondeggiare, le porte possono oscillare molto lentamente.

II Avvertito da pochi, specialmente ai piani alti, o da persone sensibili o nervose. Come al I grado, ma spesso in modo più evidente: talvolta gli oggetti sospesi possono oscillare, specialmente quando delicatamente sospesi; talvolta gli alberi, strutture, liquidi, recipienti di acqua possono ondeggiare, le porte possono oscillare molto lentamente; talvolta uccelli, animali sono inquieti o disturbati; talvolta si prova capogiro o nausea.

- III Avvertito al chiuso da pochi, usualmente come una rapida vibrazione.** Talvolta non riconosciuto come un terremoto, all'inizio. **In qualche caso la durata è stimabile.** La vibrazione sembra dovuta al passaggio di automezzi leggeri, o con poco carico, o autocarri pesanti ad una certa distanza. **Gli oggetti sospesi possono oscillare leggermente.** I movimenti sono apprezzabili ai piani superiori di edifici alti. Auto a motore oscillano leggermente.
- IV Avvertito al chiuso da molti, all'aperto da pochi. Pochi si svegliano,** specialmente se hanno il sonno leggero. **Nessuno si spaventa,** a meno che sia reso apprensivo da precedenti esperienze. La vibrazione sembra dovuta al passaggio di automezzi pesanti, o con grossi carichi. La sensazione è che oggetti pesanti colpiscano l'edificio, o che cadano oggetti pesanti all'interno. **Tintinnio di piatti, finestre e porte;** bicchieri e vasellame sbattono tra loro. **Scricchiolio di muri, telai,** specialmente ai limiti superiori di questo grado. **Gli oggetti sospesi oscillano,** in molti casi. Liquidi in recipienti aperti ondeggiano **leggermente.** Auto a motore oscillano visibilmente.
- V Avvertito al chiuso praticamente da tutti, all'aperto da molti o la maggior parte: all'aperto la direzione del moto è valutabile.** Molti o la maggior parte **si svegliano. Pochi si spaventano-**leggera agitazione, pochi corrono all'aperto. Gli edifici tremano. In qualche caso **si rompono piatti** e bicchieri. In qualche caso, ma non frequentemente, **si rompono finestre. Vasi e altri oggetti piccoli e instabili si rovesciano** in molti casi, a volte cadono. **Oggetti sospesi, porte solitamente oscillano,** anche considerevolmente. Quadri sbattono contro i muri, o cambiano posizione. Le porte, aperte o chiuse, sbattono bruscamente. **Orologi a pendolo si fermano,** ripartono, accelerano o rallentano. **Oggetti piccoli e pezzi di arredo si spostano,** questi ultimi in maniera limitata. **Liquidi fuoriescono** in piccole quantità da recipienti pieni. **Alberi, cespugli vengono scossi leggermente.**
- VI Avvertito da tutti, al chiuso e all'aperto. Molti si spaventano,** agitazione generale, panico in alcune persone, molti corrono all'aperto. **Tutti si svegliano.** Perdita di equilibrio. **Alberi, cespugli vengono scossi da leggermente a moderatamente.** Liquidi si agitano fortemente. Piccole campane suonano in cappelle, chiese, scuole ecc. **Leggeri danni** in edifici poveramente costruiti. **Caduta di piccoli pezzi di intonaco. Crepe capillari nell'intonaco** in qualche caso, anche nei camini. **Piatti e bicchieri si rompono** in grande quantità, a volte anche finestre. **Caduta di soprammobili, libri e quadri. Mobili talvolta si rovesciano. Pezzi di arredo,** di peso moderato, si spostano.
- VII Tutti si spaventano,** panico generale, tutti fuggono e all'aperto. Alcuni o molti, hanno difficoltà a rimanere in piedi. La scossa è notata da persone alla guida di un'automobile. **Alberi e cespugli vengono scossi da moderatamente a fortemente.** Onde in stagni, laghi e corsi d'acqua. Fango intorbida l'acqua. Banchi di sabbia e ghiaia vengono scavati in parte. Grandi campane di chiese rintoccano. Oggetti sospesi tremano. **Danni trascurabili** in edifici di buona fattura e costruzione, **da leggeri a moderati** in edifici ordinari ben costruiti, **considerevoli** in edifici poveramente costruiti o mal tenuti, case in mattoni di argilla, vecchi muri (specialmente se lasciati senza malta), guglie, ecc. **Rottura di numerosi camini,** e qualche muro. **Caduta di larghi pezzi di intonaco** e anche parte di stucco. **Rottura di molte finestre e qualche pezzo di arredamento.** La scossa smuove tegole e parti di murature. Camini già fragili si rompono alla linea del tetto (talvolta danneggiandolo). **Caduta di cornicioni** da torri, e edifici alti. Pietre e mattoni si staccano. **Mobili pesanti si rovesciano,** danneggiandosi nella caduta. **Danni severi** a canali di irrigazione in cemento.
- VIII Spavento generale,** l'allarme tende al panico. Disturbo per chi è alla guida di automobili. **Alberi vengono scossi con forza, rami, tronchi, specialmente di palme si rompono.** Piccole quantità di sabbia e fango vengono espulse dal terreno. Variazioni: temporanee, permanenti; della portata di sorgenti e pozzi; pozzi asciutti si riattivano; della temperatura dell'acqua di sorgenti e pozzi. **Lievi danni** in strutture in mattoni costruite per resistere ai

terremoti. **Considerevoli** in edifici ordinari, crolli parziali: qualche casa con telaio di legno crolla; caduta di pannelli in strutture intelaiate, rottura di pilastri già degradati. **Caduta di muri. Muri solidi in pietra si lesionano seriamente. Fratture in terreni umidi**, anche su ripidi pendii. **Rotazione, caduta, di comignoli, colonne, monumenti** e anche di ciminiera in fabbriche, e torri. **Mobili molto pesanti si spostano vistosamente, o rovesciano.**

IX Panico generale. Fratture evidenti nel suolo. Danni considerevoli in strutture in mattoni costruite per resistere ai terremoti: **alcune case con struttura in legno**, costruite per resistere ai terremoti, subiscono fuori piombo. **Danni importanti** in edifici in muratura ben costruiti, qualcuno crolla in parte; edifici intelaiati vengono spostati dalle fondamenta, **danni seri** a cisterne e serbatoi; tubature sotterranee talvolta si danneggiano.

X Rotture nei terreni, specialmente se sciolti e umidi, fino a diversi pollici di larghezza; fratture larghe fino a una yarda [ca. 90 cm] corrono parallele a canali e banchine di corsi d'acqua. Grosse frane si staccano dagli argini di fiumi e versanti scoscesi. Sulle rive basse e terreni pianeggianti si notano spostamenti di masse sabbiose e fangose. Variazione di livello nell'acqua di pozzi. Acqua fuoriesce da canali, laghi, fiumi ecc. **Danni seri** a dighe, terrapieni, argini. **Severi** a strutture in legno ben costruite e ponti, qualcuna è distrutta. **Lesioni pericolose si aprono in eccellenti muri di mattoni.** La maggior parte degli edifici in muratura e intelaiati sono distrutti, fino alle fondamenta. Binari di ferrovia si curvano leggermente. Tubazioni interrato vengono strappate via, o schiacciate alle estremità. In pavimenti di cemento e strade asfaltate si aprono fratture, e si creano pieghe ondulate.

XI Mutamenti nei terreni, molti e estesi, a variare a seconda della composizione dei materiali. **Larghe fessure, sprofondamenti, e scivolamenti di terra** in terreni soffici e umidi. Espulsione di gran quantità di acqua, sabbia e fango. Si formano onde di mare di altezza significativa. **Danno severo** a edifici a telaio di legno, specialmente vicino all'epicentro. Grandi (danni) a dighe, argini e terrapieni, spesso per lunghe distanze. Poche strutture in muratura rimangono in piedi. Distrutti grandi ponti, ben costruiti, per il crollo dei piloni. Meno colpiti da cedimenti i ponti di legno. Binari di ferrovia si curvano vistosamente, o si sovrappongono. Tubazioni interrato diventano completamente inservibili.

XI Danno totale, tutti manufatti sono distrutti o grandemente danneggiati. Grandi mutamenti nei terreni, con apertura di numerose fratture. Frane, crolli di grandi masse rocciose, scivolamenti degli argini di fiumi ecc. sono numerosi ed estesi. Grossi massi vengono sradicati. Evidenza di fagliazione, con notevoli rigetti verticali e orizzontali. Canali, superficiali e sotterranei, cambiano il loro corso. Formazione di laghi, cascate, fiumi deviano ecc. Si osservano onde sui terreni (viste realmente in qualche caso). Variazioni topografiche e di livello. Oggetti vengono scagliati in aria.

La versione di Richter propone una sintesi della precedente del 1931, con un lessico più conciso e come risultato una forma più schematica:

Scala MM 1956 [Richter, 1958]²²

La definizione estesa originale era: *Scala di Intensità Mercalli Modificata 1931 (ridotta e riscritta).*

Definizioni:

Muratura A: Buona manodopera, malta e progetto; rinforzata, specialmente negli elementi orizzontali, e confinata con l'uso di acciaio, cemento, ecc.; progettata per resistere a forze laterali.

Muratura B: Buona manodopera e malta; rinforzata, ma non per resistere in particolar modo a forze laterali.

²² Richter si prese la piena responsabilità di questa versione della scala MMI, chiedendo di citarla espressamente come "Modified Mercalli scale, 1956 version", senza legarla al suo nome, per non confonderla con la "scala Richter" popolarmente legata alla magnitudo.

Muratura C: Manodopera e malta ordinarie; nessuna estrema debolezza come mancanza di collegamenti agli spigoli, ma neanche presenza di rinforzi ne progettate contro forze orizzontali.

Muratura D: Materiali poveri, come argilla; malta scadente; basso livello della manodopera; debole orizzontalmente.

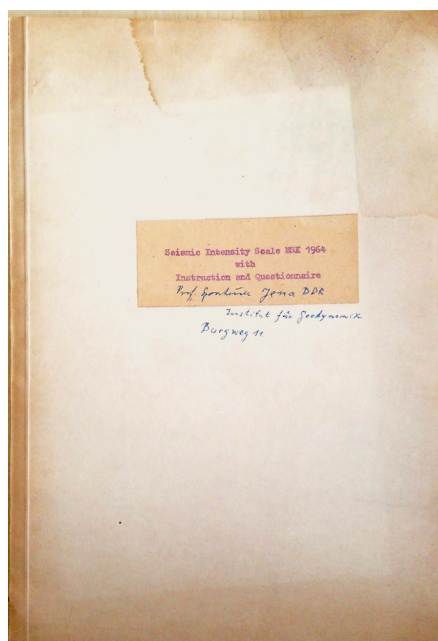
- I. Non avvertita. Effetti marginali e di lungo periodo dovuti a forti terremoti.*
- II. Avvertita dalle persone in riposo, ai piani più alti, o in favorevole condizione.*
- III. Avvertita al chiuso. Oggetti sospesi oscillano. Vibrazione come al passaggio di autocarri leggeri. Durata stimabile. Può non essere riconosciuto come un terremoto.*
- IV. Oggetti sospesi oscillano. Vibrazione come al passaggio di autocarri pesanti; o sensazione di una pesante palla che colpisce i muri. Autoveicoli a motore fermi oscillano. Finestre, piatti, porte vibrano, bicchieri e porcellane tintinnano. Al livello superiore di questo 4 grado, muri di legno e telai scricchiolano.*
- V. Avvertita all'aperto; direzione stimabile. Dormienti si svegliano. Liquidi sono disturbati, in qualche caso fuoriescono. Piccoli oggetti instabili si spostano o rovesciano. Le porte oscillano, chiuse si aprono. Le persiane e i quadri si muovono. Orologi a pendolo si fermano, ripartono, cambiano frequenza.*
- VI. Avvertita da tutti. Molti si spaventano e corrono all'aperto. Persone possono perdere l'equilibrio camminando. Finestre, piatti, e bicchieri si rompono. Ninnoli, libri ecc., cadono dagli scaffali. Quadri dai muri. Il mobilio si muove o rovescia. Intonaci fragili e edifici D si fessurano. Campanelle suonano (in chiese, scuole). Alberi, cespugli si agitano (visibilmente, o se ne sente il fruscio).*
- VII. Difficoltà nel mantenere l'equilibrio. Notata da guidatori di auto a motore. Oggetti sospesi tremano. Mobili si danneggiano. Danni, fra cui crepe, a edifici in muratura D. Camini fragili si rompono alla base. Caduta di intonaco, mattoni non murati, pietre, tegole, cornicioni (anche parapetti non fissati e ornamenti architettonici). Qualche crepa in edifici di tipo C. Onde negli stagni; l'acqua si intorbidisce. Piccole frane e cedimenti in banchi di sabbia o ghiaia. Grandi campane suonano. Canali d'irrigazione in cemento si danneggiano.*
- VIII. Difficoltà nella guida di veicoli a motore. Danni ad edifici di tipo C; crolli parziali. Qualche danno ad edifici di tipo B; nessun danno ad edifici A. Caduta di pezzi di stucco e qualche muro. Rotazione, caduta di fumaioli, ciminiera, monumenti, torri, serbatoi rialzati. Case a telaio si spostano dalle fondazioni se non ben fissate; singoli pannelli di muri si rovesciano. Palizzate ammalorate crollano. Rami cadono dagli alberi. Variazioni nel flusso e nella temperatura dell'acqua di sorgenti e pozzi. Fratture in terreni umidi e in pendii ripidi.*
- IX. Panico generale. Distruzione di edifici D; edifici di tipo C si danneggiano gravemente, talvolta crollano; edifici B si danneggiano seriamente. (Danno generale delle fondazioni.) Strutture intelaiate, se non fissate, si spostano dalle fondazioni. Telai scricchiolano rumorosamente. Seri danni a bacini idrici. Tubature interrato si rompono. Notevoli fratturazioni nei terreni. In aree alluvionali sabbia e fango vengono espulsi, si generano "fontane da terremoto", crateri di sabbia.*
- X. La maggior parte degli edifici in muratura e intelaiate sono distrutte dalle fondamenta. Alcuni edifici in legno ben fatti e alcuni ponti crollano. Seri danni a dighe, argini, terrapieni. Grandi frane. Acqua fuoriesce da canali, fiumi, laghi, ecc. Masse sabbiose e fangose si muovono in superficie su spiagge e terreni pianeggianti. Binari si piegano leggermente.*
- XI. Binari vengono piegati notevolmente. Tubature sotterranee sono rese completamente inutilizzabili.*
- XII. Danno pressoché totale. Grandi masse rocciose si trovano spostate. La linea dell'orizzonte e i livelli del terreno mutano. Oggetti scagliati in aria.*

La scala Medvedev-Sponheuer-Karnik

La scala De Rossi-Forel fu largamente usata in Russia prima e nell'Unione Sovietica poi, fino al 1931, anno in cui fu adottata dai sismologi sovietici la MCS a 12 gradi, con degli adattamenti per le peculiarità dell'Unione Sovietica [GOSPLAN, 1931]. Tuttavia questa scala non fu a lungo ritenuta adatta a soddisfare le condizioni architettonico-urbanistiche prevalenti nell'Unione Sovietica e fu modificata e sostituita con una scala arbitraria da usare nei territori dell'URSS, che divenne obbligatoria a partire dal 1933 [Gorshkov e Shenkareva, 1958]. La scala in questione, denominata OST-VKS 4537, era costituita di 12 gradi, a cui erano associati valori di accelerazione. Tuttavia questa scala era stata costruita in maniera confusa, mescolando varie tipologie di diagnostici e non tenendo nel giusto conto la necessaria gradualità nella progressione dei gradi di intensità. L'Istituto Geofisico dell'Accademia Sovietica delle Scienze, credette di dover procedere a nuove modifiche, ed affidò a Sergei Medvedev questo lavoro. L'idea di Medvedev era che l'intensità di un terremoto dovesse essere proporzionale allo spostamento massimo subito dal suolo espresso in millimetri, e misurato tramite un sismometro standard. Sulla base di ciò Medvedev costruì una scala di 12 gradi a cui associò, dal quarto all'undicesimo, valori di spostamento da 0,5 a 32 mm. Il valore di intensità era definito dallo spostamento misurato dal sismometro. In caso che il luogo dove misurare l'intensità fosse sprovvisto di sismometri, si ricorreva ad una lista di elementi diagnostici *classici* dai quali valutare il comportamento degli edifici, i fenomeni sull'ambiente, e i cosiddetti *altri sintomi*, cioè gli effetti transitori. Per quanto riguarda gli edifici Medvedev aveva definito tre tipologie costruttive e quattro livelli di danno. La scala, denominata GEOFIAN, divenne effettiva nel 1953. La scala GEOFIAN, nell'intervallo dal 6 al 9 grado (denominata GOST 6249-52), fu adottata come standard di sicurezza dal Comitato statale per le costruzioni del Consiglio dei Ministri dell'URSS. Sempre da Medvedev venne il suggerimento di passare dalla descrizione dei danni caratteristici alla valutazione del danno complessivo, come del resto Mercalli aveva già suggerito nelle istruzioni della sua scala. In questo solco si pone la concezione della nuova scala denominata MSK-64, dalle iniziali dei suoi autori S.V. Medvedev, W. Sponheuer e V. Karnik.

Figura 14 Cartellina appartenente a Sponheuer contenente il questionario di revisione della scala MSK, le istruzioni per la compilazione e il testo in inglese della scala stessa.

Figure 14 Folder belonging to Sponheuer with the revision form of the new MSK scale, the guidelines and the English text of the scale itself.



La prima versione di questa scala fu presentata e discussa a Jena nel meeting della European Seismological Commission nel 1962, per essere rivista nel corso dell'assemblea IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics a Berkeley nel 1963. Molti sismologi e ingegneri contribuirono alla discussione e alla proposta finale, fra cui Carlo Morelli e Nikolai Vissarionovich

Shebalin. Fu quindi nominata una commissione internazionale per le scale macrosismiche, con Sponheuer come chairman alla quale parteciparono tra gli altri Rothé, De Panfilis, Richter, Ambraseys, per citarne alcuni, con il compito di contribuire alla versione definitiva della nuova scala. Nel meeting UNESCO su Sismologia e Ingegneria sismica tenutosi a Parigi nell'aprile 1964 fu deciso di sperimentare la nuova scala MSK 1964, e, come recita Shebalin [1965] nella sua prefazione, "si notò come fosse desiderio di tutti che la scala di Medvedev, Sponheuer e Karnik fosse approvata ovunque", a dispetto delle naturali difficoltà di applicazione in contesti diversi. Nell'intento dei proponenti e delle commissioni internazionali c'era la volontà di superare l'uso di scale diverse come MM, MCS e Geofian, di cui la MSK ereditava in vario modo stili, dettagli, filosofie e descrizioni. Il Comitato Sovietico per la Geofisica della Accademia delle Scienze di Mosca pubblicò la scala nel 1965, in versione bilingue, russo e inglese [Medvedev, Sponheuer, Karnik, 1965]. Fra le raccomandazioni della commissione vi era anche quella di proporre una tabella di conversione tra le varie scale più usate che riprodotta qui di seguito (Tab. 9):

Seismic scale MSK 1964	Scale of the Inst. of Physics of the Earth. Sov. Akad. of Science 1952	American Modified Mercalli Scale (MM) 1931	Japanese scale 1950	Rossi-Forel scale 1873 ²³	European Mercalli-Cancani-Sieberg scale 1917 ²⁴
I	1	I	0	I	I
II	2	II	1	II	II
III	3	III	2	III	III
IV	4	IV	2,3	IV	IV
V	5	V	3	V-VI	V
VI	6	VI	4	VII	VI
VII	7	VII	4,5	VIII	VII
VIII	8	VIII	5	IX	VIII
IX	9	IX	6	X	IX
X	10	X	6	X	X
XI	11	XI	7	X	XI
XII	12	XII	7	X	XII

Tabella 9 Tabella di conversione tra varie scale presentata nella pubblicazione della MSK64.

Table 9 Table of correlation among some scales included in the official publication of the MSK64 scale.

La grande innovazione, o almeno quella che si credeva lo fosse, oltre all'introduzione delle quantità statistiche dei danni proposta da Medvedev, era l'aggiunta delle cosiddette "caratteristiche numeriche dell'intensità macrosismica", nei fatti valori di accelerazione, velocità e spostamento (Tab. 10). Nel 1992 fu proposto un aggiornamento della MSK, con il nome di

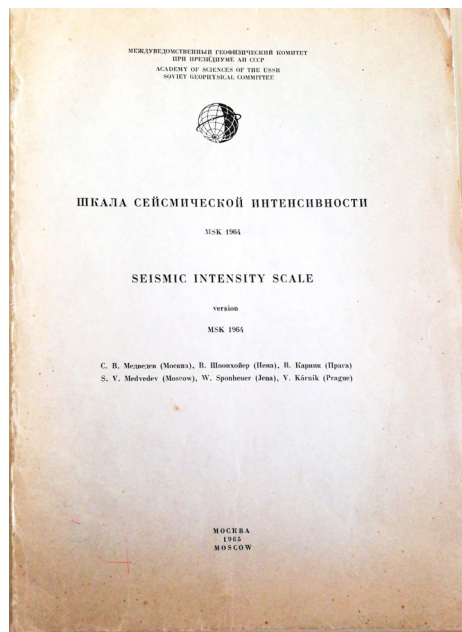
²³ La scala De Rossi-Forel è in realtà datata 1883.

²⁴ Nessuna scala di Sieberg è datata 1917, ma il riferimento è probabilmente alla versione francese della stessa scala del 1912 di Sieberg, pubblicata in: Sieberg, A. [1917]: Catalogue Régional des Tremblements de Terre Ressentis Pendant l'Année (Veröff. Zentralb. Internat. Seismol. Ass., Strasbourg). La dicitura Mercalli-Cancani-Sieberg non è dell'autore ma probabilmente assegnata erroneamente e molto più tardi.

European Macroseismic Scale 1992 (EMS92) [Grünthal, 1992], la quale diverrà definitiva dopo un periodo di sperimentazione di sei anni come EMS98 [Grünthal, 1998]²⁵.

Figura 15 Copertina del manuale della nuova scala MSK 1964 nella versione inglese.

Figure 15 Cover of the booklet of the new scale MSK 1964, in the English version.



Intensity	α cm.sec ⁻²	v cm.sec ⁻¹	X ₀ mm
V	12 - 25	1.0 - 2.0	0.5 - 1.0
VI	25 - 50	2.1 - 4.0	1.1 - 2.0
VII	50 - 100	4.1 - 8.0	2.1 - 4.0
VIII	100 - 200	8.1 - 16.0	4.1 - 8.0
IX	200 - 400	16.1 - 32.0	8.1 - 16.0
X	400 - 800	32.1 - 64.0	16.1 - 32.0

Tabella 10 Caratteristiche numeriche proposte da Medvedev. α : accelerazione del suolo in cm.sec⁻² per periodi compresi tra 0.1 e 0.5 secondi; v: velocità di oscillazione del suolo in cm.sec⁻¹ per periodi tra 0.5 e 2 secondi; X₀ ampiezza del movimento in mm di un pendolo con periodo naturale di 0.25 secondi e decremento logaritmico di 0.5 (8% dello smorzamento critico).

Table 10 Numerical characteristics as suggested by Medvedev. α : ground acceleration between 0.1s and 0.5s periods; v: velocity of the ground motion between 0.5s and 0.5s periods; X₀ amplitude of movement of centre of gravity of a pendulum with natural period of 0.25s, logarithmic decrement as 0.5 (8% of critical damping).

7. La valutazione degli effetti ambientali

Quasi nessuna delle scale mostrate in precedenza mostra attenzione a quelli che oggi chiamiamo effetti cosismici ambientali, e cioè i cambiamenti osservati sui suoli e in generali sull'ambiente naturale dopo un terremoto. Da Sieberg in poi si inverte questa tendenza, e vengono aggiunti,

²⁵ La scala EMS-98 è consultabile al seguente link: <https://www.gfz-potsdam.de/en/section/seismic-hazard-and-stress-field/data-products-services/ems-98-european-macroseismic-scale/>

nei gradi più elevati della MCS e nelle scale MMI e MSK, diagnostici dettagliati riguardanti osservazioni sull'ambiente: frane, fratture nei suoli, variazioni idrologiche, eccetera. La scala EMS-98 [Grünthal, 1998] torna tuttavia a smorzare, nelle sue linee guida, la capacità diagnostica di tali osservazioni (effetti sismogeologici), rimuovendole dalla scala effettiva con il suggerimento di non usarli nella stima dell'intensità. Questi effetti restano tabellati in una sezione a parte del manuale della EMS98.

Nel 2007, dopo un periodo di sperimentazione durato diversi anni, all'interno della comunità degli studiosi del Quaternario (INQUA), viene proposta la *Environmental Seismic Intensity Scale* (ESI 2007) [Guerrieri e Vittori, 2007], una scala che trae le sue motivazioni dalle difficoltà delle scale tradizionali di stimare in maniera affidabile l'intensità dello scuotimento in aree scarsamente urbanizzate o addirittura disabitate²⁶.

Un tentativo in tal senso era stato fatto già nel 1993 da Dengler e McPherson [1993], che avevano proposto delle modifiche alla Mercalli Modificata per adeguarla alle necessità di stimare gli effetti in aree rurali. Questa applicazione fu sperimentata per il terremoto di Honeydew del 17 agosto 1993, in California, con la proposta di una Rural Mercalli scale. La motivazione iniziale a questa sperimentazione fu la difficoltà incontrata durante il rilievo di determinare i gradi della MMI a causa di tre fattori: "l'assenza di costruzioni in muratura, la bassissima densità abitativa e la naturale diffidenza della popolazione". Queste tre difficoltà mettevano in crisi gli elementi fondanti di una valutazione classica della scala: un buon campione statistico degli effetti osservabili. Dengler e McPherson aggiunsero quindi una serie di elementi osservativi ai gradi della scala MMI per risolvere il loro problema. Il diagnostico più curioso è forse la caduta di frutti maturi al VI grado. Le motivazioni generali di Dengler e McPherson [1993] sono sostanzialmente le stesse dei successivi proponenti della scala ESI 2007, e cioè quelle di prestare maggior attenzione ai fenomeni fisici sull'ambiente, correlandoli con i classici indicatori sul danno.

La scala ESI 2007 è oggi abbastanza diffusa ed utilizzata parallelamente, e non in alternativa, alle scale tradizionali.

8. In conclusione

Percorrendo l'evoluzione delle scale cosiddette sismiche (chiamate poi macrosismiche o di intensità), dalle più antiche e semplici alle più complesse, si può osservare come le prime scale furono soprattutto personali, o locali, cioè costruite da un singolo autore per un singolo terremoto, mentre col passare del tempo, soprattutto con l'avvento della scala De Rossi, si passò ad una scala *universale*, valida per tutti gli eventi. È interessante notare come la scala De Rossi generò una serie di epigoni, con l'idea di adattarla alle situazioni più diverse. Lo stesso avvenne anche dopo la diffusione della scala Mercalli, capostipite di un'altra famiglia di scale. Abbiamo poi illustrato i tentativi di rendere assoluti i gradi di intensità, associandoli alle accelerazioni del suolo, già a partire dall'ultimo decennio del 1800 (Holden, Bassani, Omori e diversi altri). L'ultimo passo, più vicino ai nostri giorni, è stato di corredare le scale di elementi per la valutazione della vulnerabilità edilizia e la classificazione dei danni.

Questo ultimo aspetto mette in evidenza come è cambiato l'approccio verso il dato osservativo, il diagnostico, che nel tempo si è spostato da una maggiore attenzione all'avvertimento da parte dell'uomo verso l'osservazione meticolosa dei danni agli edifici. È quindi mutato il senso dell'uso delle scale, prima strumenti per la comprensione del fenomeno sismico di stampo ottocentesco, poi anche strumenti per la stima degli effetti dello scuotimento al sito, dal generale al particolare. Al termine di questo percorso le scale di intensità sono rimaste nell'uso della pratica sismologica

²⁶ La scala ESI 2007 è consultabile al sito dell'ISPRA al seguente link: <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/periodici-tecnici/memorie-descrittive-della-carta-geologica-ditalia/la-scala-di-intensita-esi-2007>

per la valutazione degli effetti macrosismici dei terremoti recenti e, in analogia, per la valutazione degli effetti dei terremoti del passato.

La pubblicazione da parte dell'ESC (European Seismological Commission) nel 1998 della EMS98, e la sua progressiva accettazione da parte della comunità scientifica di riferimento, sembrerebbe, ad oggi, aver chiuso il cerchio della proliferazione delle scale macrosismiche.

La pratica però mette continuamente alla prova la robustezza di una scala, la sua adattabilità alla realtà urbanistica e ingegneristica, in evoluzione continua. Non si fa fatica ad immaginare che anche la EMS98 dovrà sottostare alle ovvie critiche, modifiche e evoluzioni che le sue antenate hanno subito nel tempo. Non a caso, si è cercato più volte di comparare le varie scale tra di loro, al fine di cercare una regola di conversione dall'una all'altra. Musson et al. [2010] hanno suggerito che non si dovrebbe convertire l'intensità stimata da una scala con un'altra: ogni scala deve essere intrinsecamente consistente, anche perché legata alla filosofia del suo ideatore e del contesto in cui è stata costruita. Ad oggi cerchiamo di rendere lo strumento fruibile per tutti gli addetti ai lavori, da usare con buon senso ed elasticità, aiutati da una buona dose di esperienza, come già suggerito, tra gli altri, da De Rossi e da Wood e Neumann.

Per quanto mi riguarda ho cercato di ricostruire una piccola storia evolutiva dello strumento che più ha caratterizzato la mia vita lavorativa, sperando di aver reso un utile servizio almeno a quei pochi che ancora utilizzano la memoria storica come utensile per interpretare il presente.

Ringraziamenti

Nei ringraziamenti figura al primo posto Antonio Rossi, il quale in tempi non sospetti mi ha suggerito e convinto ad affrontare questo lavoro di ricerca sulle scale macrosismiche. Devo poi ringraziare chi ha letto bozze e progressive versioni che ho diffuso nel tempo: lo stesso Antonio Rossi, Corrado Castellano, Luigi Cucci, Laura Graziani, Raffaele Azzaro e qualcun altro che certamente dimentico, ma non me ne vorrà.

Non posso fare a meno di ringraziare Thomas Braun che mi ha aiutato nella traduzione dal tedesco di alcuni testi originali e Stefania Conte, instancabile cercatrice e preziosa conservatrice di innumerevoli fonti sismologiche.

Bibliografia

- Almagià R., (1914). *Intorno ai primi saggi di carte sismiche*. Riv. Geogr. It., XXI, pp. 463-470.
- Baratta M., (1892). *Il terremoto veronese del 7 giugno 1891*. Annali dell'Ufficio Centrale Meteorologico e Geodinamico Italiano, vol., 11, parte 3, pp. 293, Roma.
- Baratta M., (1892). *Sulla distribuzione topografica dei terremoti avvenuti in Italia durante il quinquennio 1887-1892*. Annali dell'Uff. Centr. di Meteor. e Geod. Parte I, 3-8.
- Baratta M., (1910). *La catastrofe sismica Calabro-Messinese*. Relazione alla Società Geografica, 1910, Roma, p. 214.
- Baratta M., (1914). *Ricerche intorno a Giacomo Gastaldi*. Rivista Geografica Italiana, XXI, pp. 117-136, 373-379.
- Bassani C., (1897). *Prime ricerche sulla provenienza del terremoto di Firenze nella sera del 18 maggio 1895*. Boll. Mens. dell'Osservatorio Centrale del R. Coll. Carlo Alberto in Moncalieri, serie II, Vol. XVII, 81-88.
- Brooks J., (1819). *An accurate account of the earthquakes experienced here from the 16th December 1811, to the 7th February, 1812, extracted from the papers of the late J. Brooks, Esq., appendice in Sketches of Louisville and its Environs, S. Penn. 1819, Louisville, pp. 233-255.*

- Camassi R., (1990). *Bollettini sismici e studio dei terremoti dei secoli XIX e XX*. in Atti Convegno GNDT, Pisa 1990, pp. 207-222.
- Cancani A., (1904). *Sur l'emploi d'une double échelle sismique des intensités, empirique et absolue*. in Rudolph, Emil: Annexe A 10-Comptes-rendus des séances de la deuxième conférence sismologique internationale réunie à Strasbourg du 24 au 28 juillet 1903, rédigés par le Secrétaire de la Conférence Prof. Dr. Emil Rudolph, Beiträge zur Geophysik, Ergänzungsband II, Verlag Wilhelm Engelmann Leipzig 1904, 362 pp.
- Coen D.R., (2013). *The earthquakes observers*. The University of Chicago Press, pp. 348, Chicago, 2013.
- Cornish V., (1908). *The Jamaica earthquake (1907)*. The Geographical Journal, XXXI, 1908 London, 245-276.
- Davison C., (1900). *Scales of seismic intensity*. Philosophical Magazine, 5th Series, Vol. 50, pp. 44-53.
- Davison C., (1921). *On scale of seismic intensity and on the construction and use of isoseismal lines*. Bull. Seism. Soc. Am., 11, 2, 94-129.
- Davison C., (1927). *The founders of seismology*. Cambridge University Press, London, 1927.
- Davison C., (1933). *Scales of seismic intensity: Supplementary paper*. Bull. Seismol. Soc. Am., 23, 158-166.
- De Poardi G.V., (1627). *Nuova relatione del grande e spaventoso terremoto successo nel Regno di Napoli, nella provincia di Puglia, in venerdì li 30 luglio 1627*.
- De Rossi M.S., (1874). *Bullettino del Vulcanismo Italiano*. Anno I, p.i., Roma.
- De Rossi M.S., (1875). *Bullettino del Vulcanismo Italiano*. Anno II, p.iii., Roma.
- De Rossi M.S., (1876). *Bullettino del Vulcanismo Italiano*. Anno II, p.i., Roma.
- De Rossi M.S., (1877). *Bullettino del Vulcanismo Italiano*. Anno II, p. 39-40, Roma.
- De Rossi M.S., (1877). *Guida pratica delle osservazioni sismiche*. In: *Bullettino del Vulcanismo Italiano*, Anno II, p.39, Roma.
- De Rossi M.S., (1878). *Bullettino del Vulcanismo Italiano*. Anno II, p. 46, Roma.
- De Rossi M.S., (1882). *Scala convenzionale delle forza dei terremoti*. *Bullettino del Vulcanismo Italiano*, Anno IX, n. 10-12, p. 157, Roma.
- De Rossi M.S., (1882). *Scala delle forza dei terremoti concordata con la Commissione sismologica di Svizzera*. *Bullettino del Vulcanismo Italiano*, Anno IX, n. 1-5, p.78, Roma.
- De Rossi M.S., (1883). *Programma dell'Osservatorio ed Archivio Geodinamico presso il R. Comitato Geologico d'Italia*. *Bullettino del Vulcanismo Italiano*, Anno X, n. 1-2, pp. 66-68, Roma.
- De Rubeis V., Gasparini C., Tertulliani A., (1989). *Procedure per la valutazione dell'intensità macrosismica da questionari (in uso presso l'ING)*. Atti 8° GNGTS, 237-244.
- Dengler L. and Dewey L.W., (1998). *An Intensity survey of households affected by the Northridge, California, earthquake of 17 January 1994*. Bull. Seismol. Soc. Am., 88, 2, 441-462.
- Dengler L. and McPherson R., (1993). *The 17 august 1991 Honeydew earthquake, north coast California: a case for revising the modified Mercalli scale in sparsely populated areas*. Bull. Seismol. Soc. Am., 83, 4, 1081-1094.
- Dutton C.E. and Hayden E., (1887). *Abstract of the results of the investigation of the Charleston earthquake*. Science, Vol. IX., No 224, 489-501.
- Egen P.N.C., (1928). *Ueber das erdbeben in den Rhein und Niederlanden vom 23 Februar 1828*. Annalen der Physik und Chemie, XIII [LXXXIX], p. 153, Leipzig.
- Favali P., Giovani L., Spadea M.C., Vecchi M., (1980). *Il terremoto della Valnerina del 19 settembre 1979. Indagine macrosismica*. Annali di Geofisica, 33, 1, 67-100.
- Ferrari G., (2002). *Letters in the Earth Sciences: their historic value and present-day scientific relevance*. Annals of Geophysics, 45, N. 5, doi.org/10.4401/ag-3530.
- Forel A.F., (1881). *Le tremblements de terre etudies par la commission sismologique Suisse, de novembre 1879 à fin décembre 1880*. In: Archives des Sciences Physiques et Naturelle, 6, Geneva, 461-494.

- Garduño-Monroy V.H., (2015). *A proposed intensity scale for historical, based on the symbolism of the codex Tellariano Remensis, Mexico*. Miscellanea INGV, 27, pp. 177.
- Gatta L., (1874). *La Sismologia ed il Magnetismo*. In: Supplemento alla Meteorologia Italiana, a. 1874, fasc. 2, p. 119, Roma.
- Gisler M., Kozák J. and. Vaněk J., (2008). *The 1855 Visp (Switzerland) earthquake: a milestone in macroseismic methodology?* In: Historical seismology, Fréchet J., Meghraoui M., Stucchi M. eds, Springer Netherlands, 231-247.
- Gorshkov G.P. and Shenkareva G.A., (1958). *On the correlation of seismic scales - USSR*. Transactions of the Institute of Earth Physics of the Academy of Sciences USSR, 1, 168, pp. 44-64 (Traduzione pubblicata dall'United States joint publications research service nel 1960).
- GOSPLAN (USSR State Planning Committee), (1931). *Scale for Determination of Power of Earthquake*. In: Edinye normy stroitel'nogo proektirovaniya, utverzhdennye Gosplanom SSSR 28 marta 1931 (Uniform Norms for Structural Design no. 2, Adopted by the USSR State Planning Committee on March 28, 1931).
- Grünthal G. (ed.), (1993). *European Macroseismic Scale 1992 (up-dated MSK scale)*. European Seismological Commission, sub commission on Engineering Seismology, Working Group Macroseismic Scales. Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 15. Luxembourg.
- Grünthal G. (ed.), (1998). *European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98)*. European Seismological Commission, sub commission on Engineering Seismology, Working Group Macroseismic Scales. Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 15. Luxembourg.
- Hall M., (1909). *Fourth Report on Earthquakes in Jamaica on the periods of the shocks from the Principal Jamaica Earthquake Centres*. Jamaica Weather Report, No. 365, p. 3.
- Heim A., (1880). *Archives des Sciences Physiques et Naturelle*, 4, Genève, 1880, 371.
- Heyden E., (1886). *The earthquake of Aug. 31th, 1886*. Science, vol. 8, n. 188, 224-226.
- Holden E.S., (1888). *Note on earthquake-intensity in San Francisco*. Am. Jour. Sc., Third Series, Vol. XXXV, n. 210, 427-431.
- Jeittele L.H., (1859). *Bericht über das Erdbeben am 15. Jänner 1858 in Karpaten und Sudeten*, Sitz-Ber. Akad. Wiss. Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse 25, 7 (mit 1 Karte), Wien.
- Johnston-Lavis D.H., (1885). *Monograph of the Earthquakes of Ischia*. pp. 75-79 and plates 3, 4.
- Kayano I., (1990). *Distribution of various effects and damages caused by earthquakes and of seismic intensities on the basis of questionnaire surveys: a newly developed group survey method*. Bull. Earthq. Res. Inst., 65, 463-520.
- Kitaibel P., Tomcsányi A., (1814). *Dissertatio de terrae motu Morensi anno 1810*. Budae, 1814.
- Knuts E., Hinzen K.G., Reamer S.K., Camelbeeck T., (2017). *A Nineteenth Century National Prussian Macroseismic Questionnaire*. Seismological Research Letters, 89, 191-201.
- Kozák J. and. Vaněk J., (2006). *The 1855 Visp (Switzerland) earthquake: early attempts of earthquake intensity classification*. Stud. Geophys. Geod., 50, 147-160.
- MacFarlane, (1842). In *British Association Report*, 1842, p. 93.
- Mallet R., (1858). *Fourth report upon the facts and theory of earthquake phenomena*. Transactions of the British Association for the Advancements of the Science, London, pp. 136.
- Mallet R., (1862). *The great Neapolitan earthquake of 1857. The first principles of observational seismology*. Chapman and Hall, London 1862.
- McAdie A., (1915). *President's address*. Meeting of the Seismological Society of America, Stanford University, cal., august 4, 1915, Bull. Seismol. Soc. Am., V, n. 3, 121-129.
- Medvedev S.V., Sponheuer W., Karnik V., (1965). *Seismic intensity scale version MSK 1964*. Academy of Sciences of the USSR, Soviet Geophysical Committee, Moscow.
- Mendenhall T.C., (1889). *On the intensity of earthquakes, with approximate calculations of the energy involved*. Nature, XXXIX, 380-382.

- Mendenhall T.C., (1886). *Report on the Charleston earthquake*. Nature, 35, 31-33.
- Mercalli G., (1883). *I Terremoti storici italiani*. In: Vulcani e fenomeni vulcanici, pagg. 217-218.
- Mercalli G., (1885). *Le case che si sfasciano ed i terremoti*. In: Rassegna Nazionale, XXI, anno VII.
- Mercalli G., (1897). *I terremoti della Liguria e del Piemonte*. Napoli, 146 pp.
- Mercalli G., (1902). *Sulle modificazioni proposte alla scala sismica De Rossi-Forel*. Boll. Soc. Sism. It., vol. VIII, Roma.
- Mercalli G., (1909). *Contributo allo studio del terremoto calabro-messinese del 28 dicembre 1908*. Reale Istituto d'Incoraggiamento di Napoli, vol. VII, pp. 44, Napoli.
- Mercalli G., (1910). *I danni prodotti dai terremoti nella Basilicata e nelle Calabrie*. In: Inchiesta parlamentare sulla condizione dei contadini nelle province meridionali e nella Sicilia, Vol. V, Basilicata e Calabria, Roma.
- Milne D., (1842). *Report of the committee appointed at the meeting of the British Association held at Plymouth, in 1841, for registering shocks in Great Britain*. Report of the twelfth meeting of the British Association for the Advancement of Science, 92-98.
- Milne J., (1903). *Seismological Observations and earth physics*. The Geographical Journal, Vol. 21, pp. 1-22.
- Mitchell G.D., (1928). *The Santa Cruz earthquake of October, 1926*. Bull. Seim. Soc. Am., 18, 3, 153-213.
- Montessus de Ballore F., (1907). *Le science séismologique*. Ed. A. Colin, Paris, 1907, pp. 579
- Moroni A. and Stucchi M., (1993). *Materials for the investigation of the 1564, Maritime Alps earthquake*. In:
- Musson R.M.W., Grünthal G., Stucchi M., (2010). *The comparison of macroseismic intensity scales*. J. Seismol., 14, 413-428, DOI 10.1007/s10950-009-9172-0.
- Nöggerath J.J., (1847). *Das Erdbeben vom 29 Juli 1846 im Rheingebiet und den benachbarten Landern*, Bonn, 1847.
- Omori F., (1897). *Sull'intensità e sull'ampiezza del movimento nel gran terremoto giapponese del 28 ottobre 1891*. Boll. Soc. Sism. It., XI, p. 189.
- Pignataro D., (1788). *Giornale tremuotico (dall'anno 1782 all'anno 1786), in G. Vivenzio, I storia e teoria de' tremuoti avvenuti nella provincia della Calabria e nella città di Messina nell'anno 1783 e di quanto fu fatto per lo suo risorgimento fino al 1787*. Vol. II, Napoli, 1788.
- Reid H.F., Taber S., (1919). *The Portorico earthquakes of October-November, 1918*. Bull. Seismol. Soc. Am. 9, n. 4, 95-127.
- Riccò A., (1893). *La lava incandescente nel cratere centrale dell'Etna e fenomeni geodinamici concomitanti*. Ann. Reg. Uff. Cent. Meteorol. Geodin., vol. 15, parte 1.
- Riccò A., (1894). *Breve relazione sui terremoti del 7 ed 8 agosto 1894 avvenuti nelle contrade etnee*. Soc. Meteorol. It., Boll. Mens., Torino, 145-48.
- Riccò A., (1907). *Il terremoto del 16 novembre 1894 in Calabria e Sicilia, Relazione sismologica, parte I*. Roma, Tipografia nazionale di G. Bertero e c., 1907.
- Richter C.F., (1935). *An instrumental earthquake magnitude scale*. Bull. Seismol. Soc. Am., 25, n. 1, 1-32.
- Richter C.F., (1958). *Elementary seismology*. W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1958.
- Rockwood C.G., (1886). *Notes on American earthquakes*. N° 15, American Journal of Sciences, 32, 7-8.
- Saderra Masò M.P., (1895). *La Seismologia en Filipinas*, pp. 21, Manila.
- Sbarra P., Tosi P., De Rubeis V., (2010). *Web-based macroseismic survey in Italy: method validation and results*. Natural Hazards, 54, 2, 563-581, DOI: 10.1007/s11069-009-9488-7.
- Schmidt J.F.J., (1858). *Untersuchungen über das Erdbeben am 15 Jänner 1858*. Mitt. Geogr. Ges. II, 2, Wien.
- Serpieri A., (1876). *Sul terremoto avvenuto in Italia la notte del 17-18 marzo 1875. Prime note e riflessioni*. In: Supplemento alla Meteorologia Italiana, a. 1875, fasc. 1, pp.3-49, Roma.

- Shapin S. and Schaffer S., (1985). *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. Princeton University press, Princeton, 1985.
- Shebalin N.V., (1965). *Foreword alla presentazione della scala MSK 1964 all'Intergovernmental Meeting of UNESCO on Seismology and Earthquake Engineering*, Paris, April 1964, UNESCO/NS/SEISM/28. (dattiloscritto).
- Sieberg A., (1904). *Handbuch der Erdbebenkunde*. Braunschweig, 1904, pp. 362.
- Sieberg A., (1909-1910). *Monatliche Übersicht der an der Kaiserlichen Hauptstation für Erdbebenforschung in Straßburg i. Els. bekannt gewordenen Erdbeben*, pp. 3.
- Sieberg A.H., (1912). *Über die makroseismische Bestimmung der Erdbebenstärke*. In: Gerland's Beiträge zur Geophysik, vol. 11, pp. 227-239.
- Sieberg, A.H., (1917). *Catalogue Régional des Tremblements de Terre Ressentis Pendant l'Année*. Veröff. Zentralb. Internat. Seismol. Ass., Strasbourg.
- Sieberg A.H., (1923). *Geologische, physikalische und angewandte Erdbebenkunde*. G. Fischer, Jena, 1923.
- Sieberg A., (1932). *Die Erdbeben*. In: Gutenberg, B. (ed.) *Handbuch der Geophysik*, vol. IV Erdbeben, Sect. V, Gebrüder Bornträger Berlin, pp. 527-686.
- Stucchi M. (editor), *Materials of CEC Project Review of Historical Seismicity in Europe*, CNR, Milano, vol. 1, pp. 258.
- Suess F.E., (1896). *Das erdbeben von Laibach am 14 april 1895*. Jahrbuch der Kaiserlich-Königlichen Geologischen Reichsanstalt, 46, 412-898.
- Taramelli T., Mercalli G., (1888). *Il terremoto ligure del 23 febbraio 1887*. Annali della Meteorologia Italiana, s. II, vol. 8, parte IV, a. 1886, pp. 331-626, Roma.
- Vanek J., Kozak J., (2007). *First macroseismic map with geological background (composed by L.H. Jeitteles)*. Acta Geophysica, 55, n. 4, pp. 594-606.
- Varga P., (2008). *History of early isoseismal maps*. Acta Geod. Geoph. Hung., 43(2-3), pp. 285-307.
- Vivencio G., (1788). *Istoria e teoria de' tremuoti avvenuti nella provincia della Calabria e nella città di Messina nell'anno 1783 e di quanto fu fatto per lo suo risorgimento fino al 1787*. Vol. II, Napoli 1788.
- Volger G.H.O., (1857-58). *Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben in der Schweiz*. 3 volumes, J. Perthes, Gotha, Germany.
- Volger G.H.O., (1856). *Untersuchungen über das letztjährige Erdbeben in Central-Europa*. Petermann's Geographische Mitteilungen, J. Perthes, Gotha, 85-102.
- von Buch L., (1801). *Nachrichten über das Erdbeben in Schlesien*, Gesellschaft Naturforschender Freunde zu Berlin, Neuere Schriften 3, p. 271.
- Wald D.J., Quitoriano V., Dengler L., and Dewey J.W., (1999). *Utilizations of the Internet for rapid community intensity maps*. Seismol. Res. Lett. 70, 680-697.
- Weber V., (1902). *Tremblement de terre de Cemakha du 31 janvier (13 février) 1902*. Mémoires du Comité Géologique, Nouvelle série. Livraison 9, pp.73.
- Wood H.O., (1908). *The Californian Earthquake of 5 April 18, 1906*. Report of the State Earthquake Investigation Commission. 1, pt. 1, 224-225.
- Wood H.O., (1914). *On the earthquakes of 1868 in Hawaii*. Bull. Seismol. Soc. Am., 4, 169-103.
- Wood H.O. and Neumann F., (1931). *Modified Mercalli Intensity scale of 1931*. Bull. Seismol. Soc. Am., 21, 277-283.

QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/quaderni-di-geofisica.html/>

I QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) accolgono lavori, sia in italiano che in inglese, che diano particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari che necessitano di rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. Per questo scopo la pubblicazione on-line è particolarmente utile e fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi. I QUADERNI DI GEOFISICA sono presenti in "Emerging Sources Citation Index" di Clarivate Analytics, e in "Open Access Journals" di Scopus.

QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) welcome contributions, in Italian and/or in English, with special emphasis on preliminary elaborations of data, measures, and observations that need rapid and widespread diffusion in the scientific community. The on-line publication is particularly useful for this purpose, and a multidisciplinary Editorial Board with an accurate peer-review process provides the quality standard for the publication of the manuscripts. QUADERNI DI GEOFISICA are present in "Emerging Sources Citation Index" of Clarivate Analytics, and in "Open Access Journals" of Scopus.

RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/rapporti-tecnici-ingv.html/>

I RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico come manuali, software, applicazioni ed innovazioni di strumentazioni, tecniche di raccolta dati di rilevante interesse tecnico-scientifico. I RAPPORTI TECNICI INGV sono pubblicati esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) publish technological contributions (in Italian and/or in English) such as manuals, software, applications and implementations of instruments, and techniques of data collection. RAPPORTI TECNICI INGV are published online to guarantee celerity of diffusion and a prompt access to published data. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favorisce la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV. In particolare, MISCELLANEA INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli, ecc. La pubblicazione è esclusivamente on-line, completamente gratuita e garantisce tempi rapidi e grande diffusione sul web. L'Editorial Board INGV, grazie al suo carattere multidisciplinare, assicura i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi sottomessi.

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favours the publication of scientific contributions regarding the main activities carried out at INGV. In particular, MISCELLANEA INGV gathers reports of scientific projects, proceedings of meetings, manuals, relevant monographs, collections of articles etc. The journal is published online to guarantee celerity of diffusion on the internet. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

Coordinamento editoriale e impaginazione

Francesca DI STEFANO, Rossella CELI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Progetto grafico e impaginazione

Barbara ANGIONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

©2019
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata, 605
00143 Roma
tel. +39 06518601

www.ingv.it



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA