SEISMIC ACADEMY

Simple complexity in the evolution of seismic input and design

Prof. Gian Michele Calvi
Direttore Scientifico EUCENTRE
e Professore IUSS Pavia

Con il patrocinio di

UNICMI · EUCENTRE FOR YOUR SAFETY. · IUSS Scuola Universitaria Superiore Pavia · oice · Fondazione Promozione Acciaio CRESCE L'ACCIAIO, CRESCE IL PAESE · ISI Ingegneria Sismica Italiana

Con la partecipazione di

milaningegneria · Jacobs Challenging today. Reinventing tomorrow. · DBA PRO. A DBA GROUP COMPANY · MANINI Service · STRUCTURAMA

Simple complexity in the evolution of seismic input and design

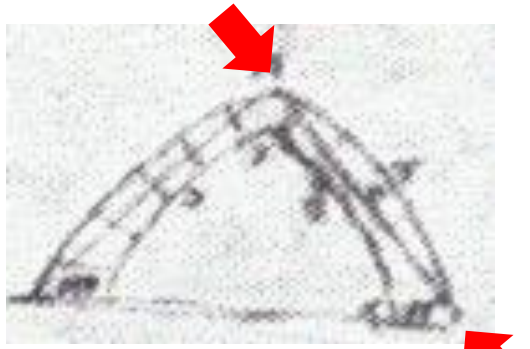
Gian Michele Calvi
IUSS Pavia, Eucentre and ROSE School

Graece magnificentiae vera admiratio exstat templum Ephesiae Dianae CXX annis factum a tota Asia.
In solo id palustri fecere, ne terrae motus sentiret aut hiatus timeret rursus ne in lubrico atque instabili fundamenta tantae molis locarentur, calcatis ea substravere carbonibus, dein velleribus lanae

Plinius, *Naturalis Historia*, Liber XXXVI, xxi, 95

‘400/’500

Leonardo



Alberti:
Per sistemare gl’impalcati lasciano i muri trapassati perfino nelle ossature da ampi squarci

Sui terremoti

L'acqua, superata dal caldo nel ventre della terra, si vapora, e crescie sua quantità, a similitudine della polvere infocata nella bombarda, e rompe la terra nella più debol parte, la quale escie a scosse, perché è riserrata dal peso della terra, che s'aperse per dare al primo impeto esito; […]

Sugli archi

L'arco non si romperà, se la corda de l'archi di fori non tocherà l'arco di dentro. Questo apare per isperienza, che ogni volta che la corda a o n dell'arco di fori n r a tocherà l'arco di dentro x b λ, l'arco darà principio a ssua deboleza, e ttanto si farà più debole, quanto l'arco di dentro ronperà d'essa corda

Sui collegamenti tra pareti e solai

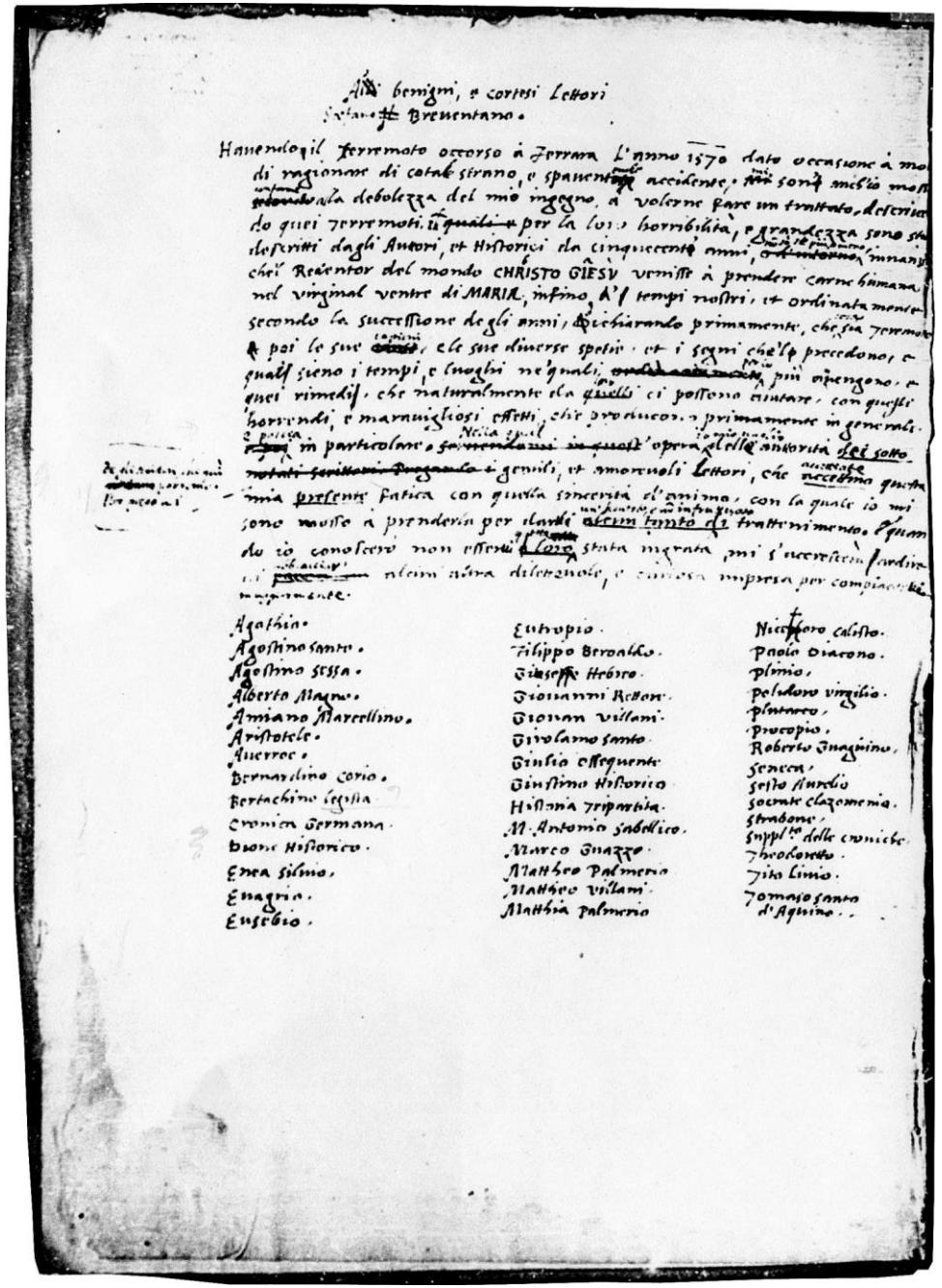
Ogni trave vole passare i sua muri e esser ferma di là da essi muri com soffiziente catene, perché spesso si vede per tremori le travi usscire de' muri e rovinare poi i muri e solari; dove, se sono incatenate, terano i muri insieme fermi, e e' muri fermano i solari.

F. Di Teodoro, L. Barbi (1983). Leonardo da Vinci: «del riparo a' terremoti». Physis, XXV, 1, 5-39

1570: Ferrara

Stefano Breventano

Caretaker of the Accademia degli Affidati, Pavia



Alli benigni, e cortesi Lettori
Stefano Breventano.

Hauendo il terremoto occorso à Ferrara L'anno 1570 dato occasione à mo di ragionar di cotale strano, e spauentoso accidente, hò sonò mes[s]o mano alla debolezza del mio ingegno, à volerne fare un trattato, descriuendo quei terremoti, i quali per la loro horribilità, e grandezza sono stati descritti dagli Autori, et Historici da cinquecento anni, cioè dall'anno, innanzi che'l Redentor del mondo CHRISTO GIESV venisse à prender carne humana nel virginal ventre di MARIA, infino à' tempi nostri, et ordinatamente secondo la successione degli anni, dichiarando primamente, che sia terremoto, & poi le sue cagioni, e le sue diuerse specie: et i segni che'l precedono, e quali sieno i tempi, e luoghi ne'quali più sogliono, e più offendono, e quei rimedij, che naturalmente da quelli ci possono aiutare, con quelli horrendi, e marauigliosi effetti, che'l producono, primamente in generali, e poi in particolare, nella quale opera, per ordine, all'autorità dei sotto notati scrittori, ricorrendo, i genili, et amoreuoli Lettori, che accettino la mia debole fatica con quella sincerità d'animo, con la quale io mi sono mosso à prenderla per darle alcun tanto di trattenimento. Egliam do io conoscere non essere stata ingrata, mi s'accenderà di nouo alcun altra dilettenole, e curiosa impresa per compiacerli maggiormente.

Agathia.
Agostino santo.
Agostino Steffa.
Alberto Magno.
Amiano Marcellino.
Aristotele.
Auerroe.
Bernardino Corio.
Bertachino Legista
Cronica Germana.
Dione Historico.
Enea Silmo.
Enagrio.
Eusebio.

Eutropio.
Filippo Beroaldo.
Giuseppe Hebreo.
Gionanni Rettor.
Gionan villani.
Girolamo santo.
Giulio Ossequente
Giustino Historico
Historia tripartita.
M. Antonio Sabellico.
Marco Guazzo.
Mattheo Palmerio
Mattheo villani.
Matthia palmerio

Niceforo calisto.
Paolo Diacono.
Plinio.
Polidoro virgilio.
Plutarco.
Procopio.
Roberto Gaguino.
Seneca.
Sesto Aurelio
Socrate Ecclesiastico.
Strabone.
Suppl.to delle croniche
Theodoreto.
Tito Liuio.
Tomaso santo d'Aquino.

seismogenesis (*What an earthquake is and what causes it*), concluding that *the principal cause of an earthquake is God*

wave-motion (*How many kinds of earthquake there are*)

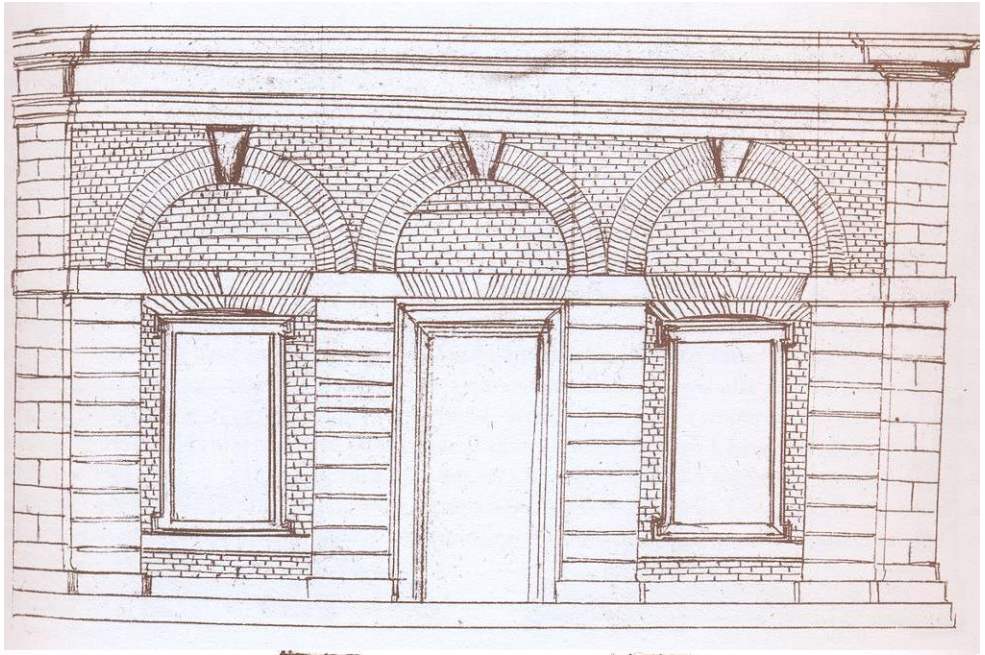
warning signs (*Signs, which precede the earthquake*)

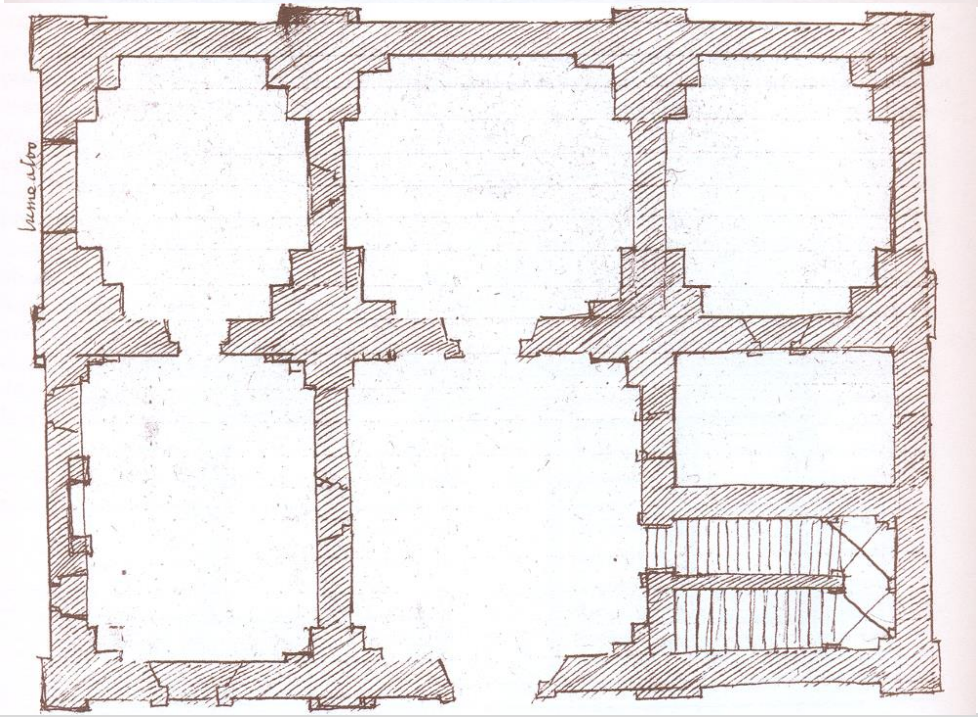
duration (*The duration of earthquakes*)

local hazard and amplification of the movement (*Places which are more or less susceptible to earthquakes*)

effects (*Under which weather conditions are earthquakes most likely to occur*, and *The effects that earthquakes cause*)

only half a page on the topic of reducing vulnerability and risk (*Remedies or protection against earthquakes*), drawing on some of the instructions given by Pliny





The seismic resistant building by Pirro Ligorio

Pirro Ligorio
Libro di diversi terremoti

a cura di Emanuela Guidoboni
De Luca Editori d'Arte, Roma, 2005

l'edificio è descritto alle pagine 93 – 97 dell'edizione citata ai f. 58 – 61 dell'opera

1678
Robert Hooke

La legge fondamentale dell'elasticità nel testo originale di Robert Hook

UT TENSIO, SIC VIS

$$F = K \times \Delta$$

LECTURES
De Potentia Restitutiva,
OR OF
SPRING
Explaining the Power of Springing Bodies.

To which are added some
COLLECTIONS
Viz.

*A Description of Dr.*Pappins *Wind-Fountain and Force-Pump.*
*Mr.*Young's *Observation concerning natural Fountains.*
Some other Considerations concerning that Subject.
Captain Sturmy's *remarks of a Subterraneous Cave and Cistern.*
Mr. G. T. Observations made on the Pike *of* Teneriff, 1674.
Some Reflections and Conjectures occasioned thereupon.
A Relation of a late Eruption in the Isle of Palma.

By *ROBERT HOOKE.* S.R.S.

LONDON,
Printed for *John Martyn* Printer to the *Royal Society,* at the Bell in St. *Pauls* Church-Yard, 1678.

To fill the vacancy of the enſuing page, I have here added a *decimate* of the *centeſme* of the Inventions I intend to publiſh, though poſſibly not in the ſame order, but as I can get opportunity and leaſure; moſt of which, I hope, will be as uſeful to Mankind, as they are yet unknown and new.

1. *A way of Regulating all ſorts of* Watches *or* Time-keepers, *ſo as to make any way to equalize, if not exceed the* Pendulum-Clocks *now uſed.*

2. *The true Mathematical and Mechanichal form of all manner of* Arches *for Building, with the true butment neceſſary to each of them.* A Problem which no *Architectonick* Writer hath ever yet attempted, much leſs performed. abccc ddeeeee f gg iiiiiii llmmmmnnnnnoopr r ssstttuuuuuuux.

3. *The true Theory of* Elaſticity *or* Springineſs, *and a particular Explication thereof in ſeveral Subjects in which it is to be found: And the way of computing the velocity of Bodies moved by them.* ceiiinosssttuu. *ut tensio, sic vis*

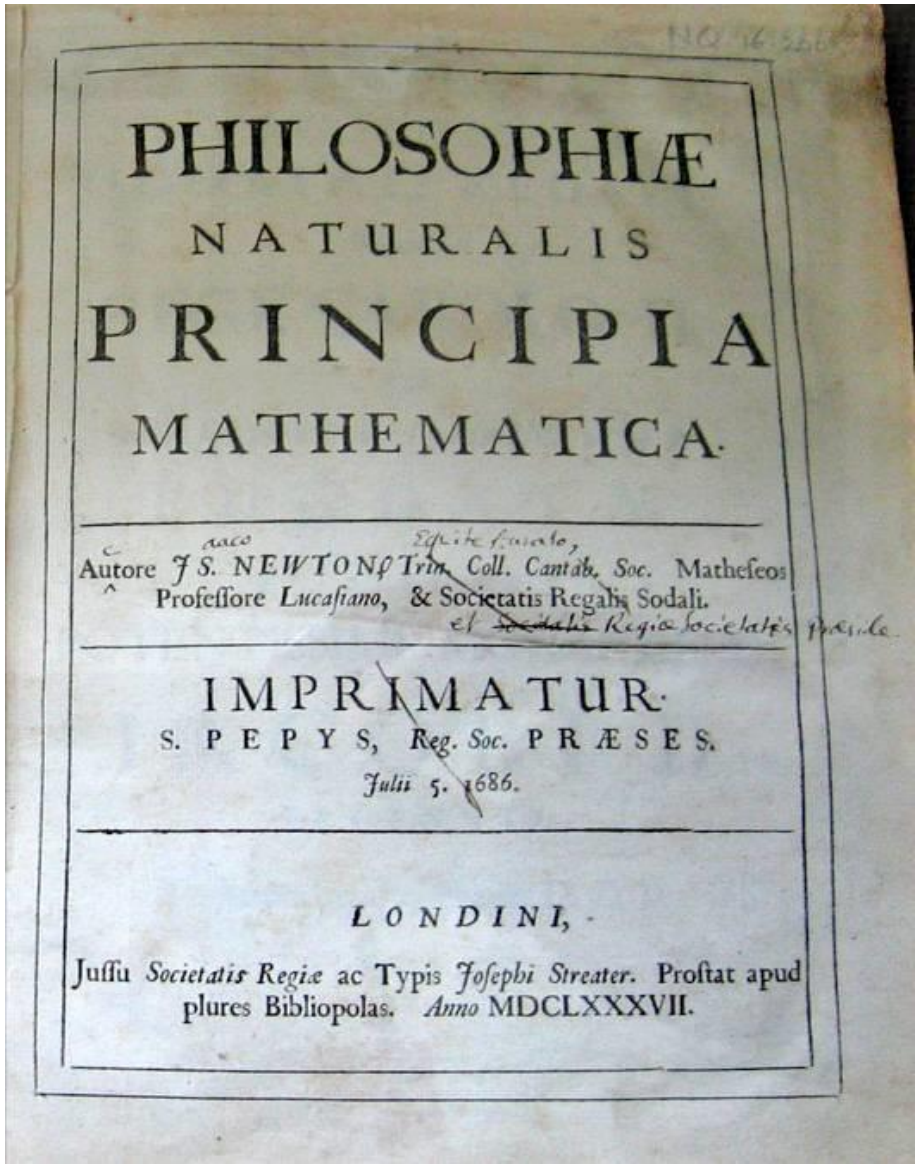
4. *A very plain and practical way of counterpoiſing Liquors, of great uſe in* Hydraulicks. Diſcovered.

5. *A new ſort of Object-Glaſſes for* Teleſcopes *and* Microſcopes, *much outdoing any yet uſed.* Diſcovered.

At point 2 it is described how a perfectly compressed arch can be constructed as the reverse shape of that of a wire subjected to the same load system.
The meaning of the anagram:
"abcccddeeeeeefggiiiiiiiiillmmmmnnnnnoopr rsssttttttuuuuuuuux"
was revealed in 1705, after his death, by the last will executors:
"Ut pendet continuum flexile, sic stabit contiguum rigidum inversum"

1687

Isaac Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, London,



PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore J. S. NEWTONO Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,
Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

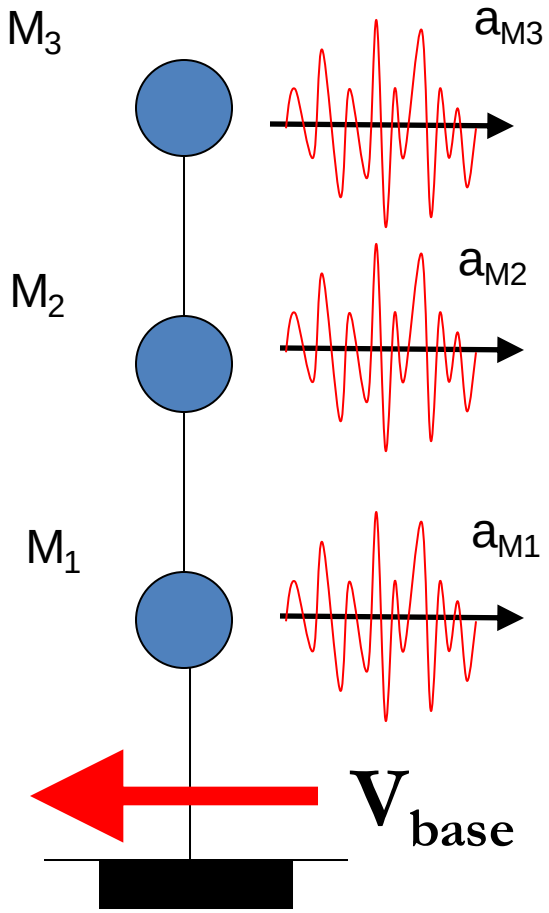
(I)
Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare

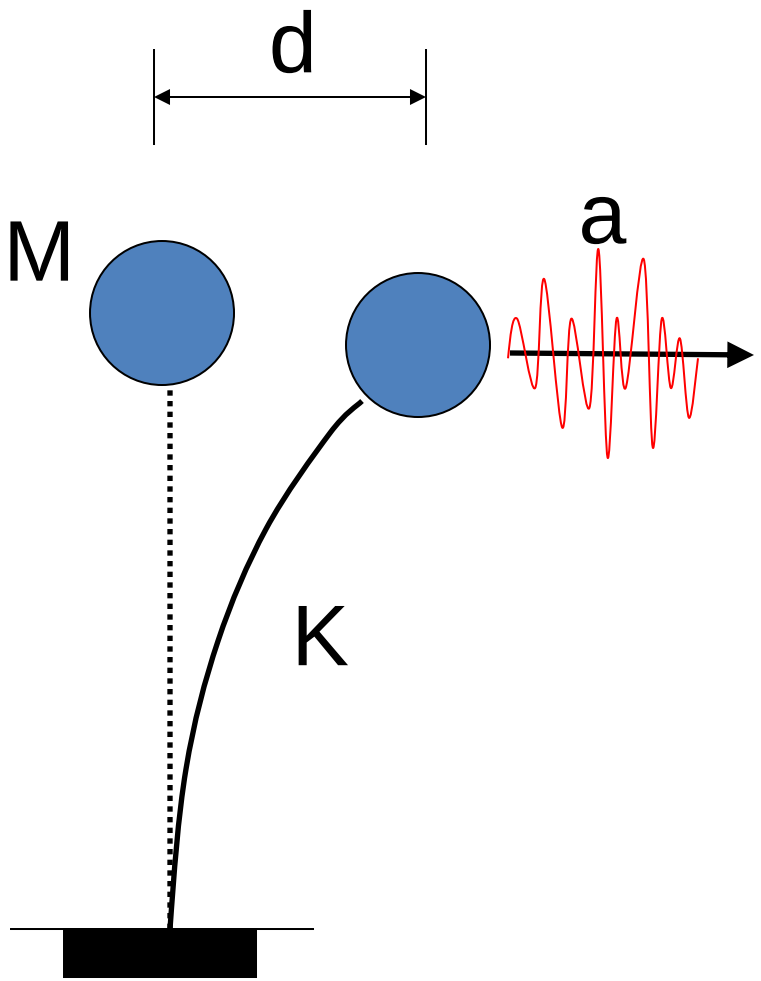
(II)
Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur

$$F = m \times a$$

(III)
Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse æqualis et in partes contrarias dirigi

$$\Sigma F = 0$$





$$V_{base} = \Sigma M_i a_{Mi}$$

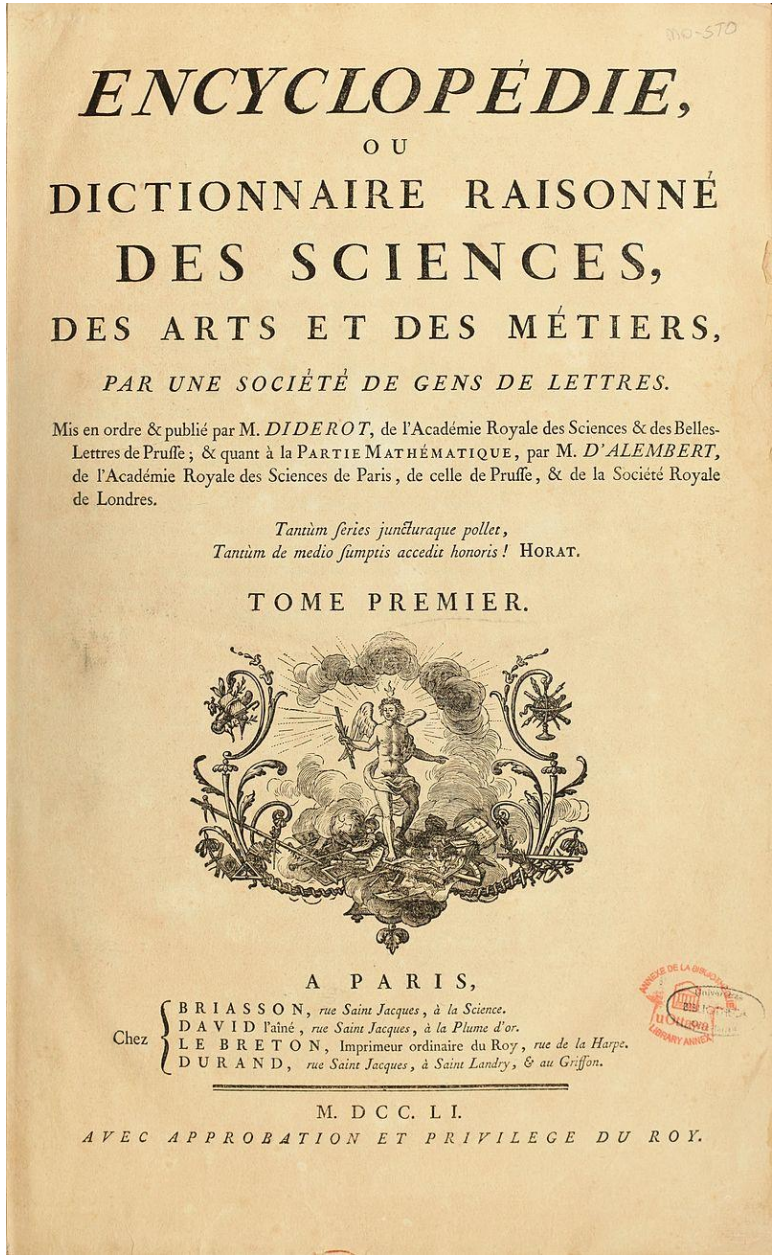
$$M \times a = K \times d$$

the age of Enlightment

Leibniz

Pope

Tout est bien



ENCYCLOPÉDIE,

OU

DICTIONNAIRE RAISONNÉ

DES SCIENCES,

DES ARTS ET DES MÉTIERS,

PAR UNE SOCIÉTÉ DE GENS DE LETTRES.

Mis en ordre & publié par M. *DIDEROT*, de l'Académie Royale des Sciences & des Belles-Lettres de Prusse; & quant à la PARTIE MATHÉMATIQUE, par M. *D'ALEMBERT*, de l'Académie Royale des Sciences de Paris, de celle de Prusse, & de la Société Royale de Londres.

Tantùm series juncturaque pollet,
Tantùm de medio sumptis accedit honoris! HORAT.

TOME PREMIER.

A PARIS,

Chez { BRIASSON, *rue Saint Jacques, à la Science.*
DAVID l'aîné, *rue Saint Jacques, à la Plume d'or.*
LE BRETON, Imprimeur ordinaire du Roy, *rue de la Harpe.*
DURAND, *rue Saint Jacques, à Saint Landry, & au Griffon.*

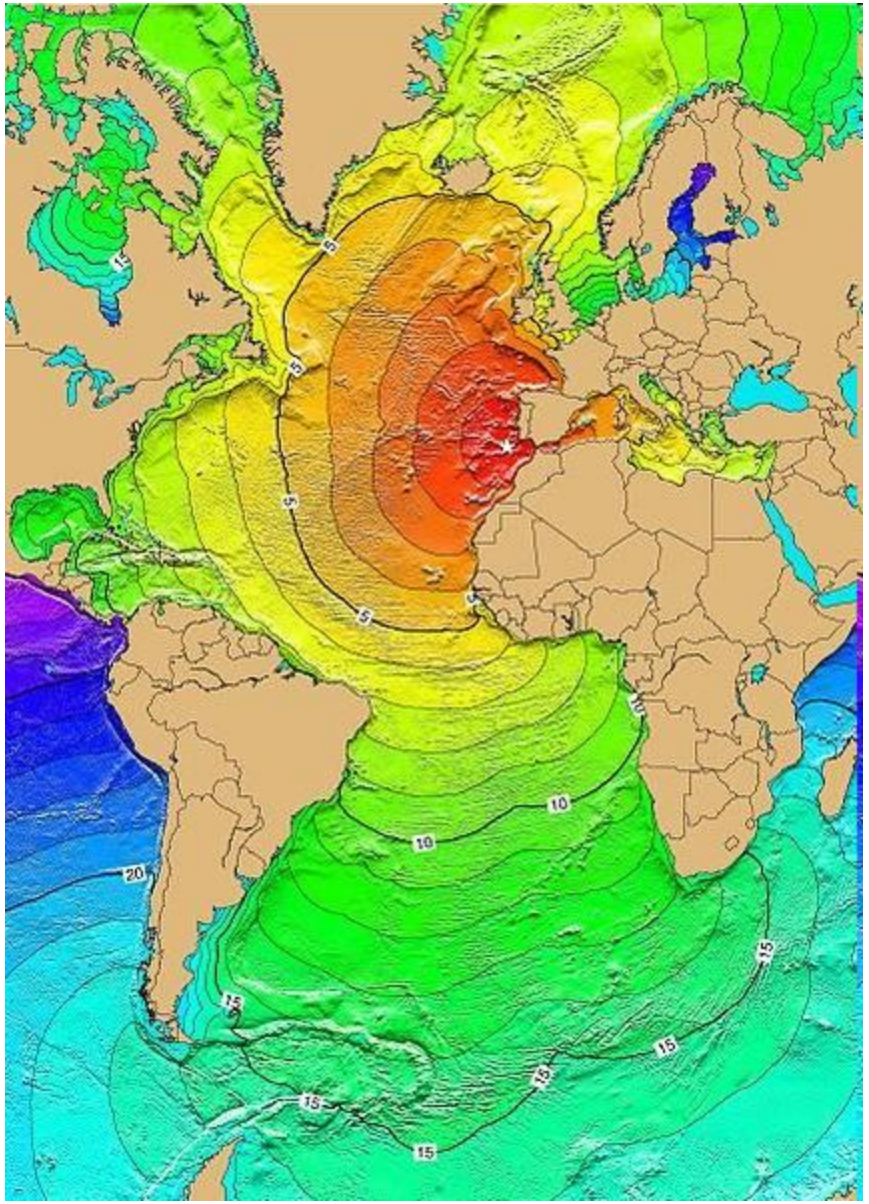
M. DCC. LI.

AVEC APPROBATION ET PRIVILEGE DU ROY.

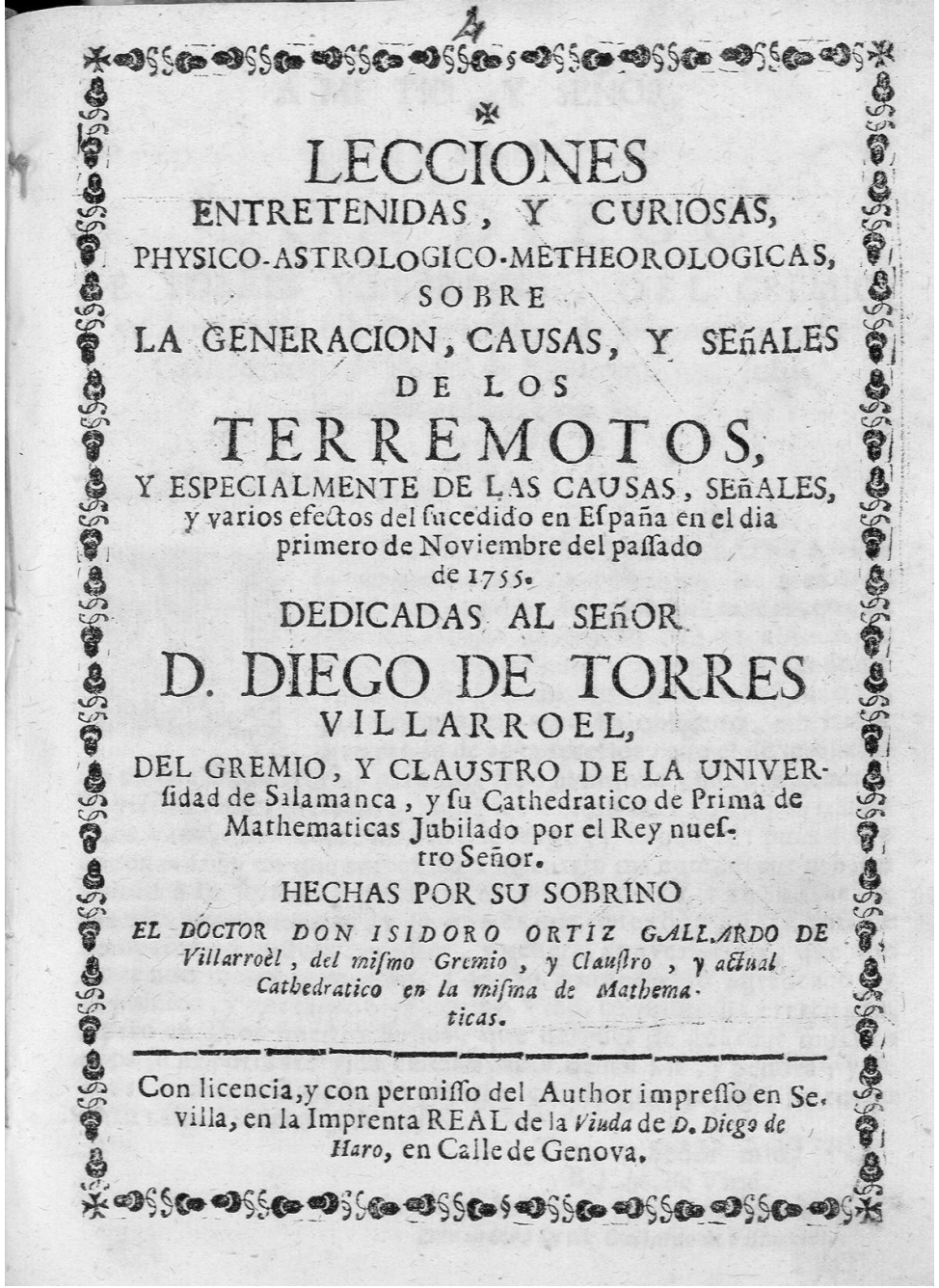
1755

The Lisbon earthquake

Jan Kozak Collection NISEE Berkeley



Travel times of the tsunami (hours)
NOAA's National Geophysical Data Center (US)



LECCIONES
ENTRETENIDAS, Y CURIOSAS,
PHYSICO-ASTROLOGICO-METHEOROLOGICAS,
SOBRE
LA GENERACION, CAUSAS, Y SEñALES
DE LOS
TERREMOTOS,
Y ESPECIALMENTE DE LAS CAUSAS, SEñALES,
y varios efectos del ſucedido en Eſpaña en el dia
primero de Noviembre del paſſado
de 1755.
DEDICADAS AL SEñOR
D. DIEGO DE TORRES
VILLARROEL,
DEL GREMIO, Y CLAUSTRO DE LA UNIVERſidad de Salamanca, y ſu Cathedratico de Prima de
Mathematicas Jubilado por el Rey nueſtro Señor.
HECHAS POR SU SOBRINO
EL DOCTOR DON ISIDORO ORTIZ GALLARDO DE Villarroèl, del miſmo Gremio, y Clauſtro, y actual Cathedratico en la miſma de Mathematicas.

Con licencia, y con permiſſo del Author impreſſo en Sevilla, en la Imprenta REAL de la *Viuda* de *D. Diego de Haro*, en Calle de Genova.

Isidoro Ortiz Gallardo

1755

explosions occur beneath the earth's surface, the products of which race through the underground chambers of the earth until they find a weak spot in the earth's surface, tearing it apart and producing an earthquake

1756 Voltaire

SI jamais la queſtion du Mal Phyſique a mérité l'attention de tous les hommes, c'eſt dans ces événements funeſtes qui nous rappellent à la contemplation de nôtre faible nature, comme les peſtes générales qui ont enlevé le quart des hommes dans le Monde connu, le tremblement de terre qui engloutit quatre-cent-mille perſonnes à la Chine en 1699. celui de Lima & de Callao, & en dernier lieu celui du Portugal & du Royaume de Fez. L'axiome, *Tout eſt bien*, parait un peu étrange à ceux qui ſont les témoins de ces déſaſtres. Tout eſt arrangé, tout eſt ordonné, ſans doute, par la Providence; mais il n'eſt que trop ſenſible, que tout depuis longtems n'eſt pas arrangé pour nôtre bien-être préſent.

Voltaire

POEMES

SUR LE

DESASTRE DE LISBONNE

ET SUR

LA LOI NATURELLE,

AVEC DES PREFACES

DES NOTES, &c.

A GENEVE,

AVEC APPROBATION,

ET PERMISSION.

1756 Rousseau

LETTRE
DE
M. JEAN JAQUES ROUSSEAU
A
M. de VOLTAIRE.

Sans quitter votre ſujet de Lisbonne, convenés par exemple, que la nature n'avoit point raſſemblé là vingt mille maiſons de ſix à ſept étages, & que ſi les habitans de cette grande ville euſſent été diſperſés plus également & plus légérement logés, le dégat eut été beaucoup moindre, & peut être nul.

1906
San Francisco earthquake

1908
Messina earthquake

San Francisco, 1906, view from Stanford Mansion, Photo by Lester C. Guernsey

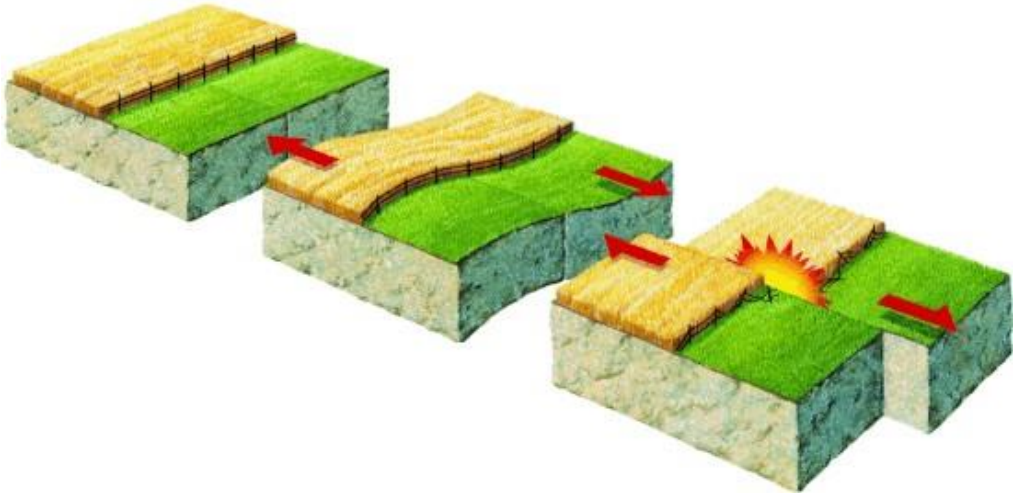
San Francisco, 1906, earthquake shacks

Messina, 1908, *The once beautiful Water-front after the earthquake. Digging for bodies* (Underwood & Underwood)

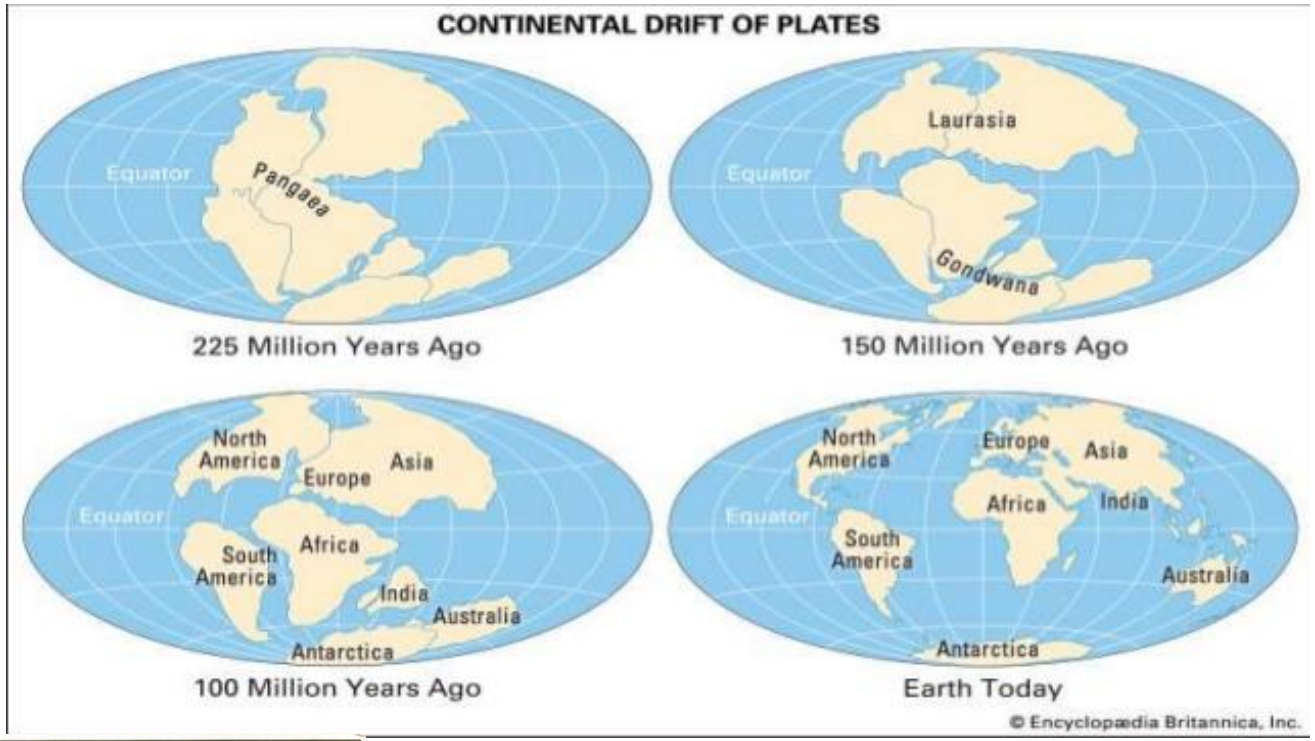
Harry Fielding Reid

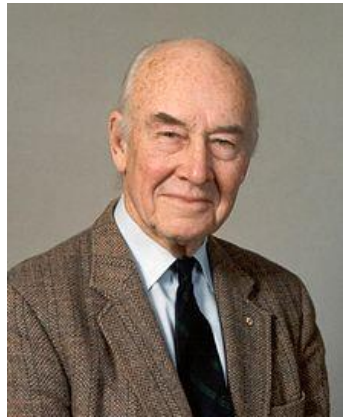
measurements on the San Andreas fault

the *Elastic Rebound Theory*
earthquakes are related to the accumulation of strain along faults and of its sudden release



The concept of continental drift: Abraham Ortelius (1596), Alfred Wegener (1912), Tuzo Wilson (1965)





Ortelius (Thesaurus Geographicus):

[the Americas were] "torn away from Europe and Africa by earthquakes and floods" […] "The vestiges of the rupture reveal themselves, if someone brings forward a map of the world and considers carefully the coasts of the three" [continents]

N.
BERGAMO
15 X 1845

M.
PAVIA
31 III 1922

VOLONTARIO GARIBALDINO NEL 1866
CULTORE INSIGNE DELLE DISCIPLINE GEOLOGICHE
PASSATO A TRAVERSO LA VITA
SEMPLICE SERENO AUSTERO
IN PURITÀ DI FEDE
IN LUCE DI SAPIENZA
IN FIAMMANTE AMORE DI PATRIA

TORQUATO TARAMELLI

ONORÒ COL SUO INSEGNAMENTO
QUESTA UNIVERSITÀ TICINESE DAL 1876 AL 1920
E QUI VIVE ANCORA SPIRITUALMENTE
ESEMPIO AI PRESENTI E AI FUTURI

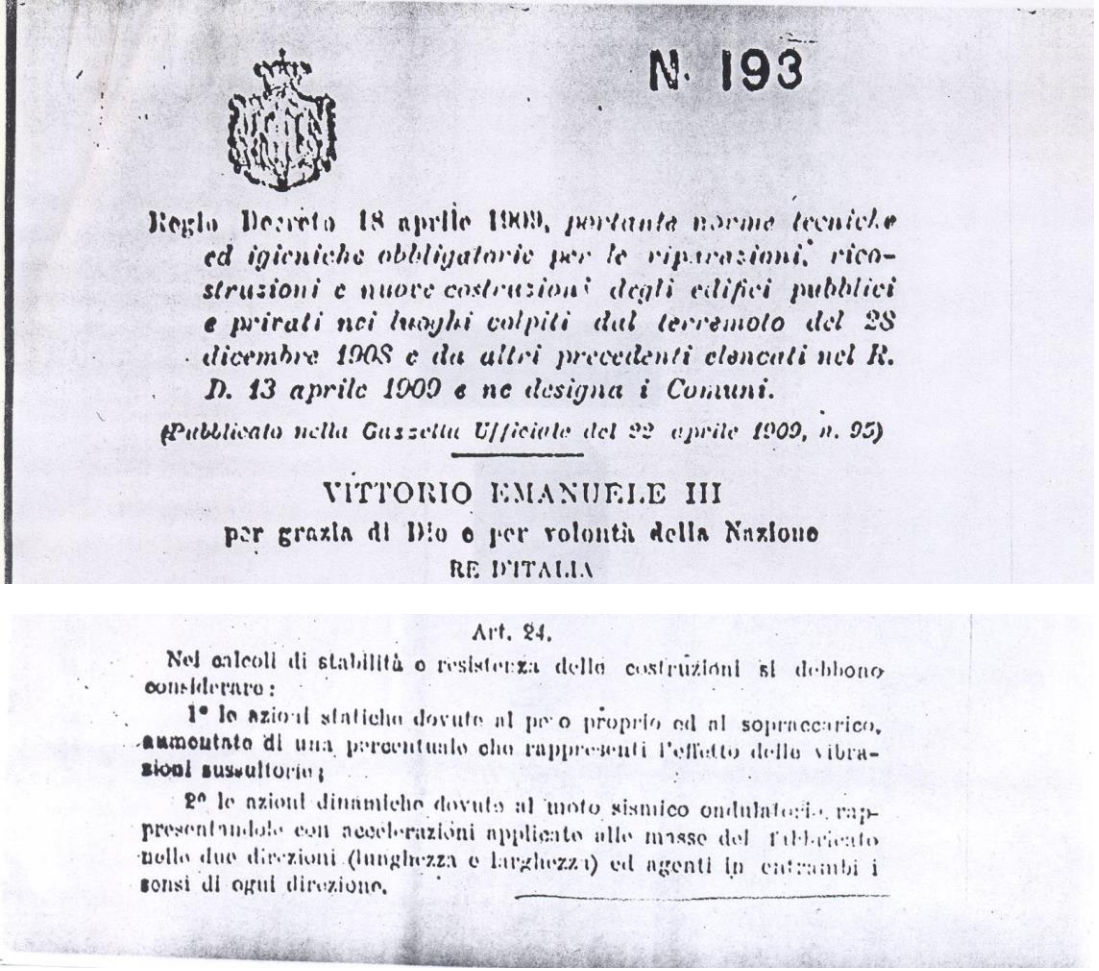
L'UNIVERSITÀ LA FAMIGLIA I COLLEGHI
GLI AMMIRATORI
LE CITTÀ DI BERGAMO E DI PAVIA P
L'ANNO 1934 XII E. F.

NEL DECENNALE DELLA MORTE DI

MARIO BARATTA

PROFESSORE DI GEOGRAFIA IN QVESTO ATENEO
DAL 1911 AL 1935
CVLTORE EMINENTE DELLA SISMOLOGIA
E DEGLI STVDI LEONARDESCHI
PATRIOTA E MAZZINIANO FERVENTE
L'VNIVERSITÀ E LA FAMIGLIA
I COLLEGHI E I DISCEPOLI
VOLLERO QVI PERPETVATA
LA MEMORIA
DELL'VOMO INTEGERRIMO
DEL MAESTRO INSIGNE

VOGHERA 13 · VIII · 1868 CASTEGGIO 4 · IX · 1935



N. 193

Regio Decreto 18 aprile 1909, *portante norme tecniche ed igieniche obbligatorie per le riparazioni, ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei luoghi colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 e da altri precedenti elencati nel R. D. 13 aprile 1909 e ne designa i Comuni.*

(Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale del 22 aprile 1909, n. 95)

VITTORIO EMANUELE III
per grazia di Dio e per volontà della Nazione
RE D'ITALIA

Art. 24.

Nei calcoli di stabilità o resistenza delle costruzioni si debbono considerare:

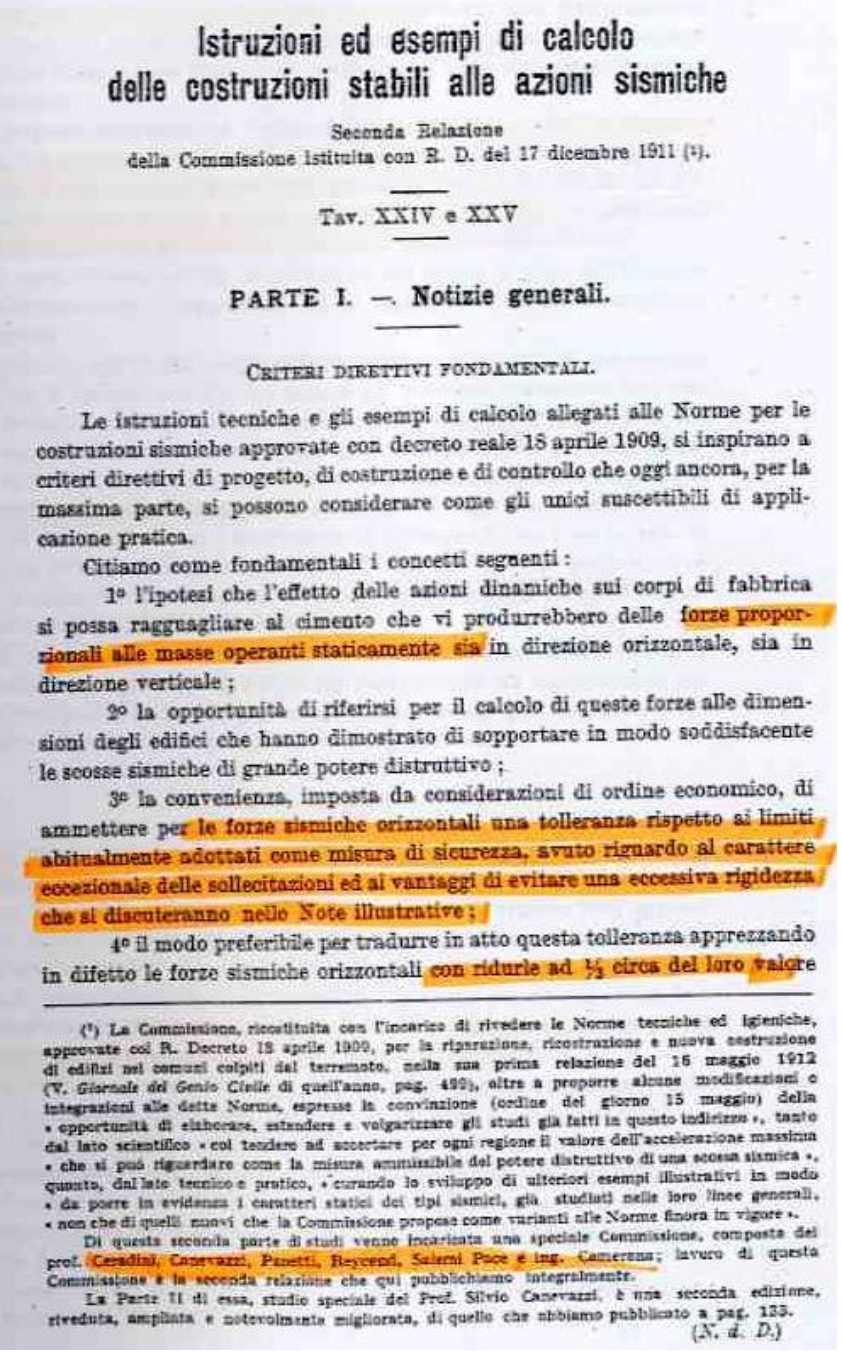
1° le azioni statiche dovute al peso proprio ed al sopraccarico, aumentato di una percentuale che rappresenti l'effetto delle vibrazioni sussultorie;

2° le azioni dinamiche dovute al moto sismico ondulatorio, rappresentandole con accelerazioni applicate alle masse del fabbricato nelle due direzioni (lunghezza e larghezza) ed agenti in entrambi i sensi di ogni direzione.

Regio Decreto 18 aprile 1909, n. 193, pubblicato sulla G.U. n. 95, del 22 aprile 1909

1. the static actions due to the building's own weight and overloading, increased by a percentage that represents the effect of the vertical vibrations;

2. the dynamic actions due to the horizontal seismic movement, representing them with accelerations applied to the masses of the building in two directions. [. . .]"



Istruzioni ed esempi di calcolo delle costruzioni stabili alle azioni sismiche

Seconda Relazione
della Commissione istituita con R. D. del 17 dicembre 1911 (1).

Tav. XXIV e XXV

PARTE I. — Notizie generali.

Criteri direttivi fondamentali.

Le istruzioni tecniche e gli esempi di calcolo allegati alle Norme per le costruzioni sismiche approvate con decreto reale 18 aprile 1909, si inspirano a criteri direttivi di progetto, di costruzione e di controllo che oggi ancora, per la massima parte, si possono considerare come gli unici suscettibili di applicazione pratica.

Citiamo come fondamentali i concetti seguenti:

1° l'ipotesi che l'effetto delle azioni dinamiche sui corpi di fabbrica si possa ragguagliare al cimento che vi produrrebbero delle forze proporzionali alle masse operanti staticamente sia in direzione orizzontale, sia in direzione verticale;

2° la opportunità di riferirsi per il calcolo di queste forze alle dimensioni degli edifici che hanno dimostrato di sopportare in modo soddisfacente le scosse sismiche di grande potere distruttivo;

3° la convenienza, imposta da considerazioni di ordine economico, di ammettere per le forze sismiche orizzontali una tolleranza rispetto ai limiti abitualmente adottati come misura di sicurezza, avuto riguardo al carattere eccezionale delle sollecitazioni ed ai vantaggi di evitare una eccessiva rigidezza che si discuteranno nelle Note illustrative;

4° il modo preferibile per tradurre in atto questa tolleranza apprezzando in difetto le forze sismiche orizzontali con ridurle ad ½ circa del loro valore

(1) La Commissione, ricostituita con l'incarico di rivedere le Norme tecniche ed igieniche, approvate col R. Decreto 18 aprile 1909, per la riparazione, ricostruzione e nuova costruzione di edifizi nei comuni colpiti dal terremoto, nella sua prima relazione del 16 maggio 1912 (V. *Giornale del Genio Civile* di quell'anno, pag. 499), oltre a proporre alcune modificazioni e integrazioni alle dette Norme, espresse la convinzione (ordine del giorno 15 maggio) della « opportunità di elaborare, estendere e volgarizzare gli studi già fatti in questo indirizzo », tanto dal lato scientifico « col tendere ad accertare per ogni regione il valore dell'accelerazione massima « che si può riguardare come la misura ammissibile del potere distruttivo di una scossa sismica », quanto, dal lato tecnico e pratico, « curando lo sviluppo di ulteriori esempi illustrativi in modo « da porre in evidenza i caratteri statici dei tipi sismici, già studiati nelle loro linee generali, « non che di quelli nuovi che la Commissione propose come varianti alle Norme finora in vigore ».

Di questa seconda parte di studi venne incaricata una speciale Commissione, composta dei prof. Ceradini, Canevazzi, Pinetti, Reycend, Salemi Pace e ing. Camerana; lavoro di questa Commissione è la seconda relazione che qui pubblichiamo integralmente.

La Parte II di essa, studio speciale del Prof. Silvio Canevazzi, è una seconda edizione, riveduta, ampliata e notevolmente migliorata, di quello che abbiamo pubblicato a pag. 133.

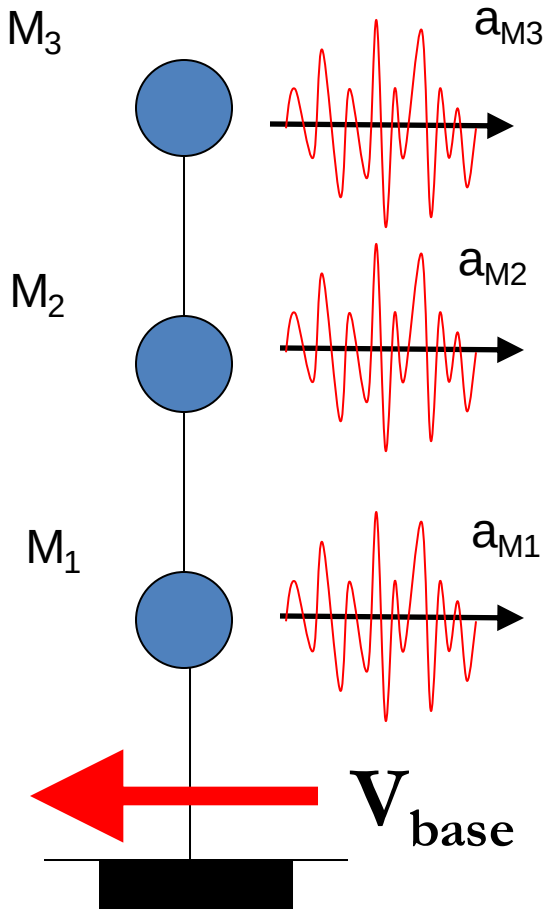
(*N. d. D.*)

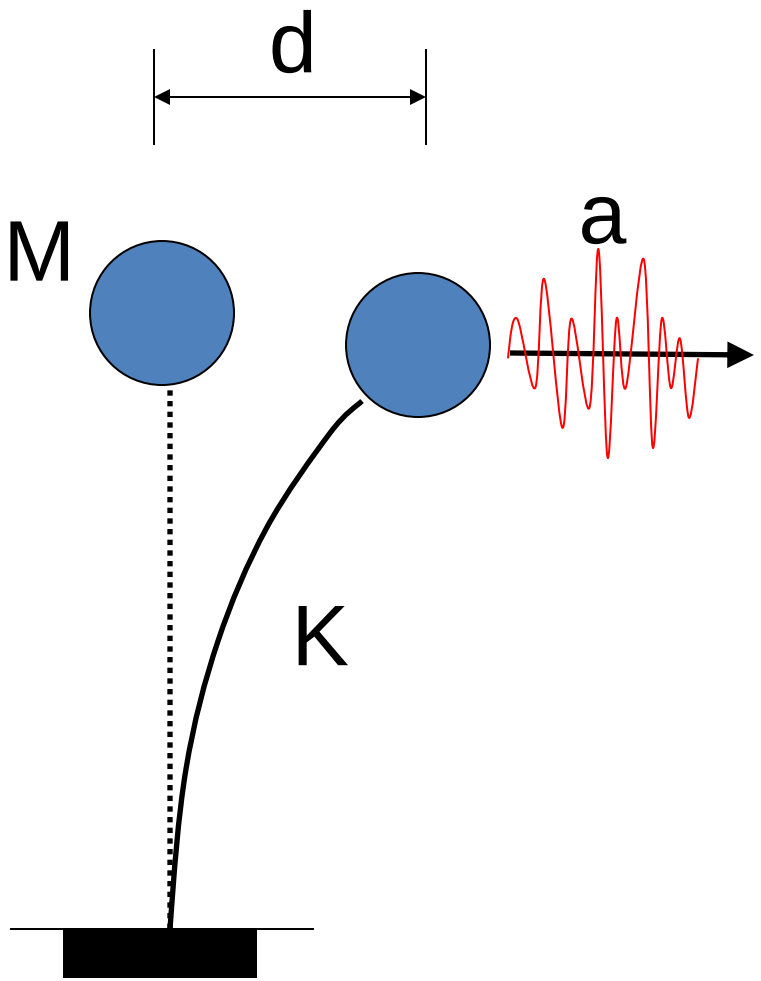
Istruzioni ed esempi di calcolo delle costruzioni stabili alle azioni sismiche

***Giornale del Genio Civile*, anno LI, 1913**

(Ceradini, Canevazzi, Pinetti, Reycend, Salemi Pace, Camerana)

1. *The theory that the effects of the dynamic actions on building elements can be compared to those produced by forces proportional to the masses both in the horizontal direction and in the vertical;*
2. *The opportunity, for the calculation of these forces, to refer to the proportions of the buildings that have proven to satisfactorily bear seismic shocks with considerable destructive power;*
3. *The suitability, imposed by considerations of an economic nature, of allowing, for horizontal seismic forces, a greater tolerance with respect to the limits normally adopted as safety levels, in light of the exceptional nature of the actions and of the advantages of avoiding excessive stiffness;*
4. *The preferred way to put this tolerance into action by undervaluing the horizontal seismic forces, reducing them to around 1/3 of their value;*
5. *The confidence that the margin provided by these safely estimated loads offers [. . .] a sufficient guarantee of safety to people if not of absolute integrity to buildings.*





$$V_{base} = \Sigma M_i a_{Mi}$$

$$M \times a = K \times d$$

The legacy of the 1940 El Centro earthquake

Measuring acceleration and response spectra

Richter (1935)

it is desirable to have a scale for rating shocks in terms of their original energy, independently of the effects which may be produced at any particular point of observation.

he noted *that the ratio of the maximum amplitudes of two given shocks, as registered by similar instruments at equal epicentral distances, is approximately constant*, and assumed this as a rule. That is: *if shock A is registered with maximum amplitude 5 millimeters at 75 kilometers and 2 millimeters at 200 km, while shock B registers with maximum amplitude 15 millimeters at 75 kilometers, then shock B should register 6 millimeters at 200 kilometers*.

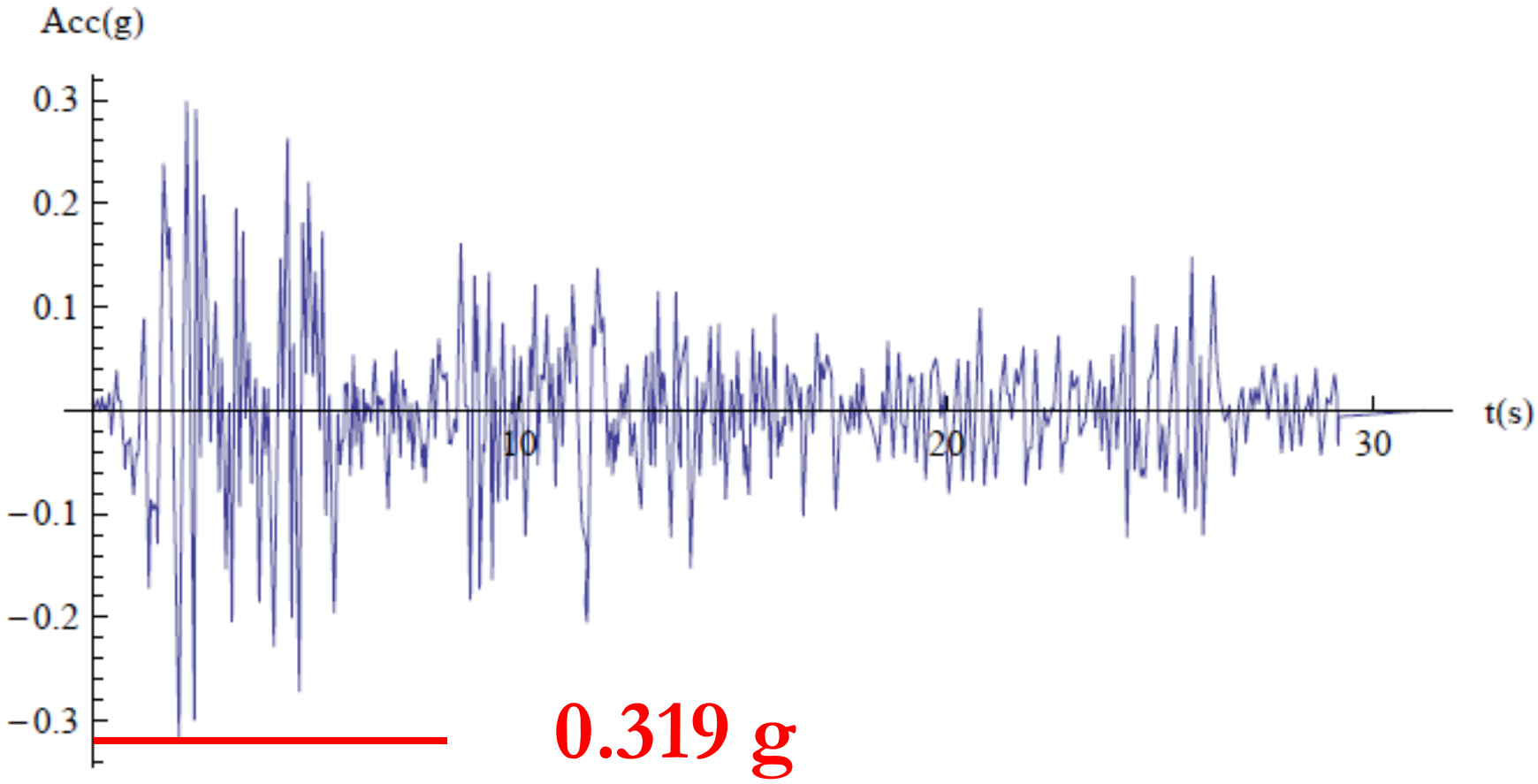
Richter (1935)

Harold Jeffreys (1924, Richter refers to the 1928 ed.) had estimated a released energy of the order of 10^{21} ergs (= 10^{14} J) from the Montana shock of 1925. *Comparison of this shock with the Nevada and Utah earthquakes suggests a magnitude somewhat in excess of 7. If this magnitude be taken as 7.5, then the smallest shocks recorded (magnitude 0.0) have energy of only 10^{6} ergs*.

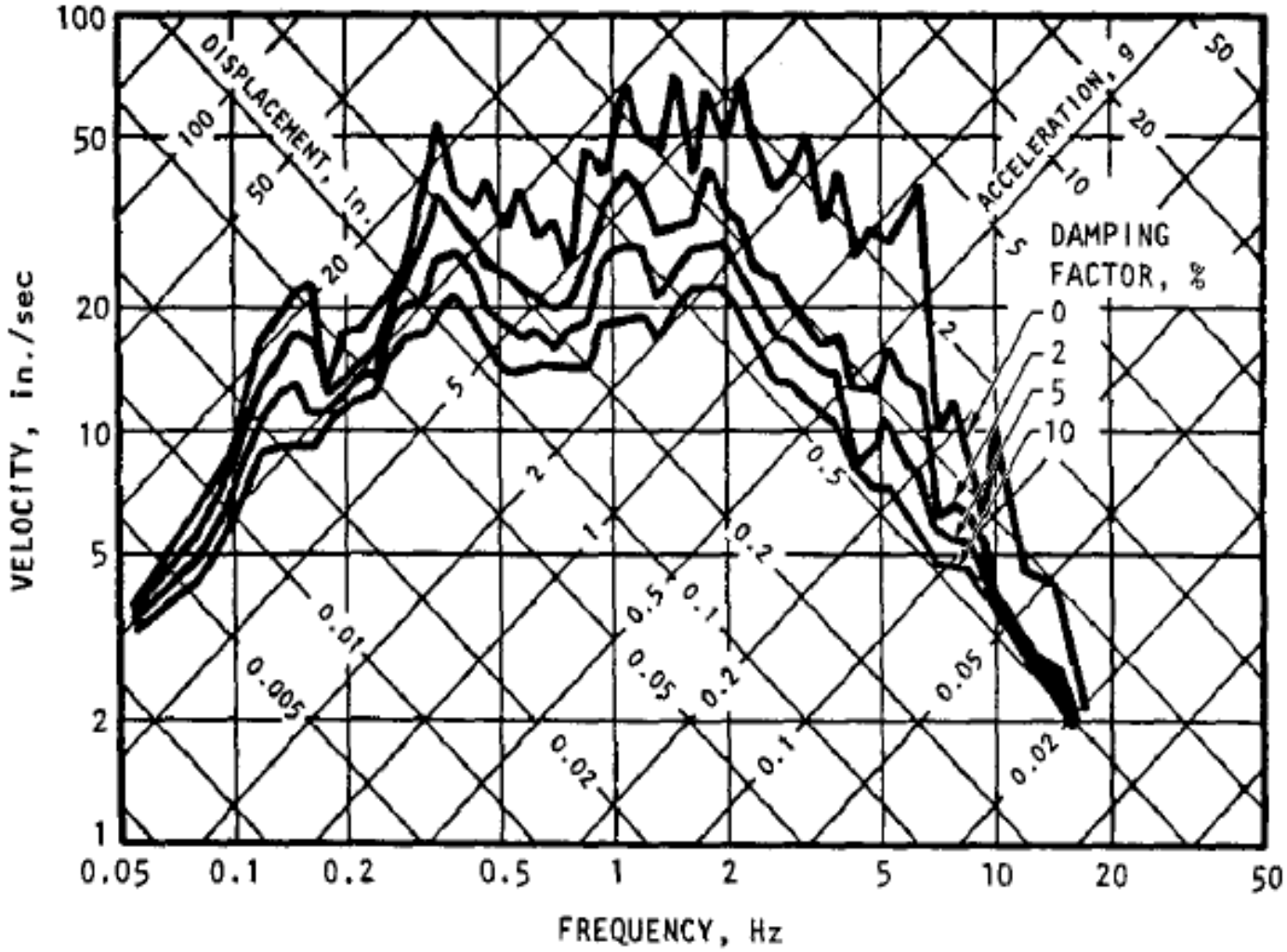
Following Richter recommendations and thus assuming a relation between released energy (E) and magnitude (M) of the kind of Eq. (2-1), it appears that Richter was assuming a = 2 (*The difference in the extreme observed magnitudes is thus 7.5 – 0. The logarithm of the ratio of the energies involved should be double this, or 15. That is, we are recording shocks with an extreme range in energy of at least 10^{15} to 1*) and b = 6.

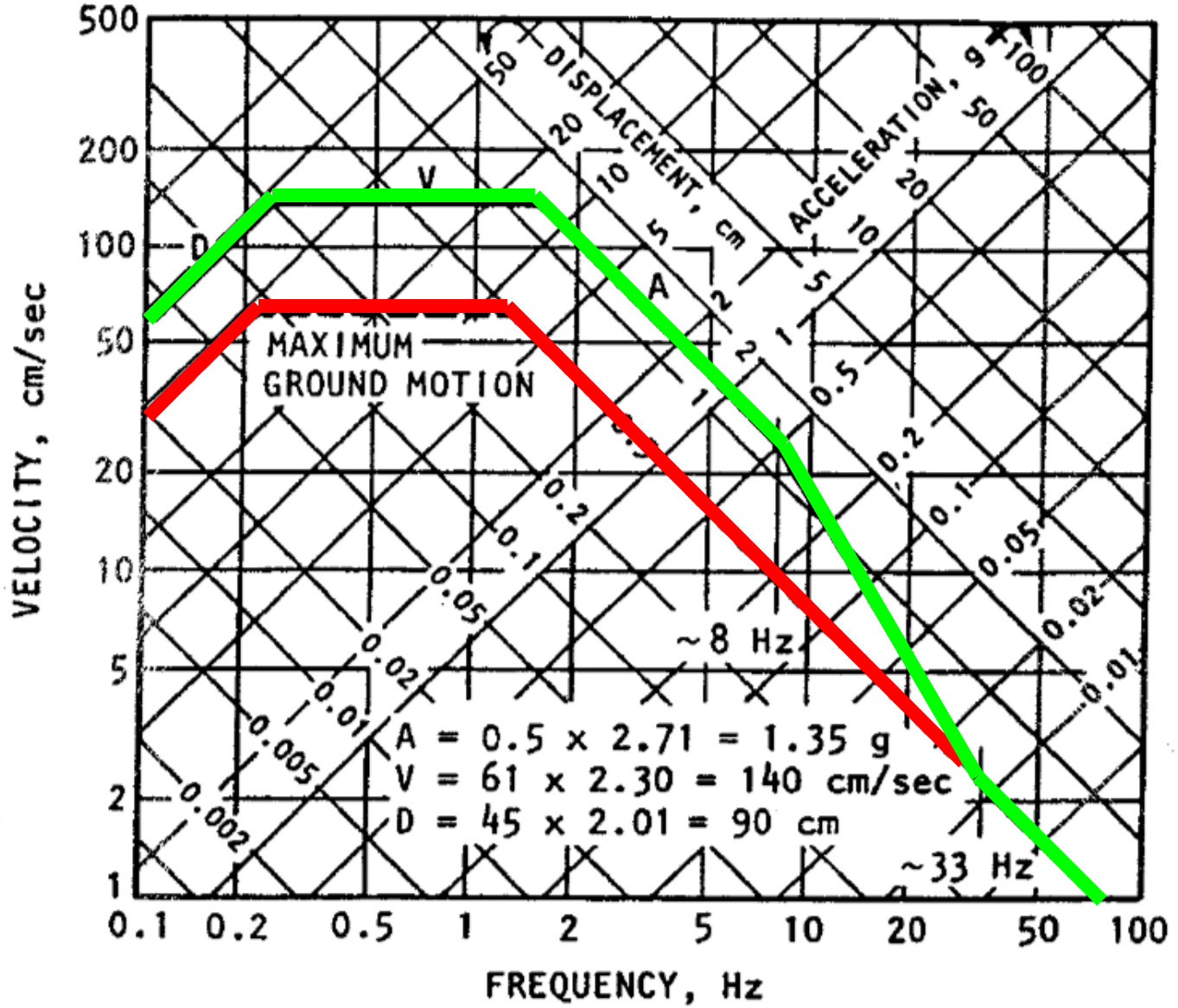
$$log_{10}E = aM + b \qquad (2\text{-}1)$$

Richter was aware of the arbitrariness of his scale. *An absolute scale, in which the number referred directly to shock energy or intensity measured in physical units would be preferable. At present the data for correlating the arbitrary scale with an absolute scale are so inadequate that it appears better to preserve the arbitrary scale for its practical convenience. Since the scale is logarithmic, any future reduction to an absolute scale can be accomplished by adding a constant to the scale numbers*.



One of the accelerograms recorded during the El Centro earthquake, 1940


VELOCITY, in./sec
FREQUENCY, Hz
DISPLACEMENT, in.
ACCELERATION, g
DAMPING FACTOR, %
0
2
5
10
100
50
20
10
5
2
1
0.5
0.2
0.1
0.05
0.02
0.01
0.005
100
50
20
10
5
2
1
0.05
0.1
0.2
0.5
1
2
5
10
20
50



A tripartite elastic response spectrum (Newmark and Hall, 1982).
Ground motion in red (d_g=45 cm, v_g=61 cm/s, a_g=0.5 g),
response at the mass of a sdof linear system in green (d_M=90 cm, v_M=140 cm/s, a_M=1.35 g)

30

Performance
(1)

Force demand

vs.

Strength capacity

1971

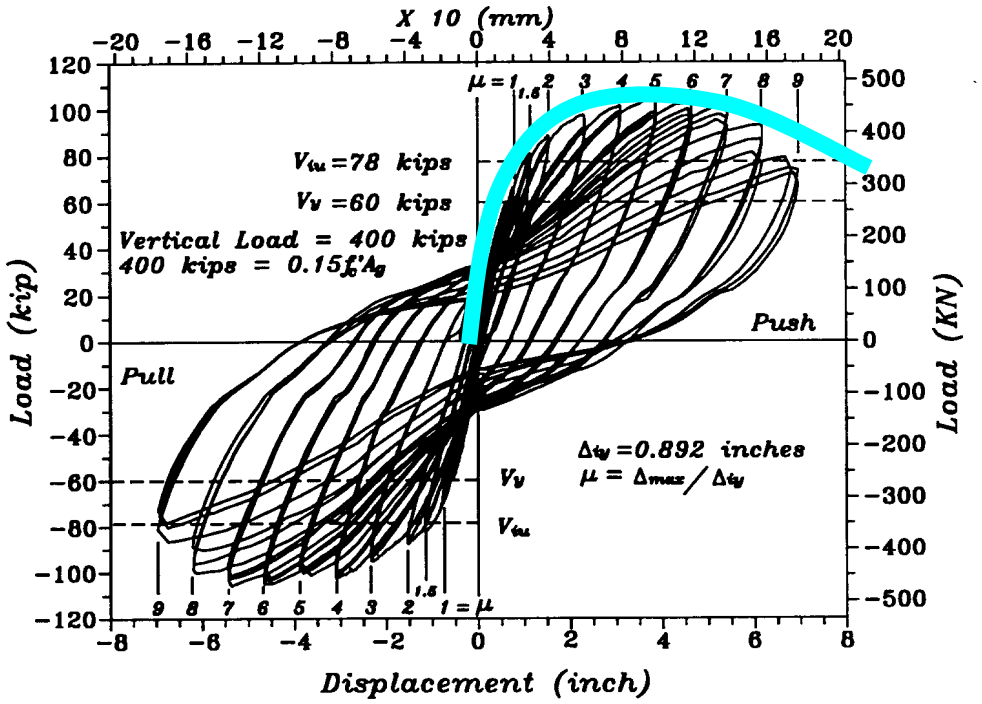
San Fernando
California

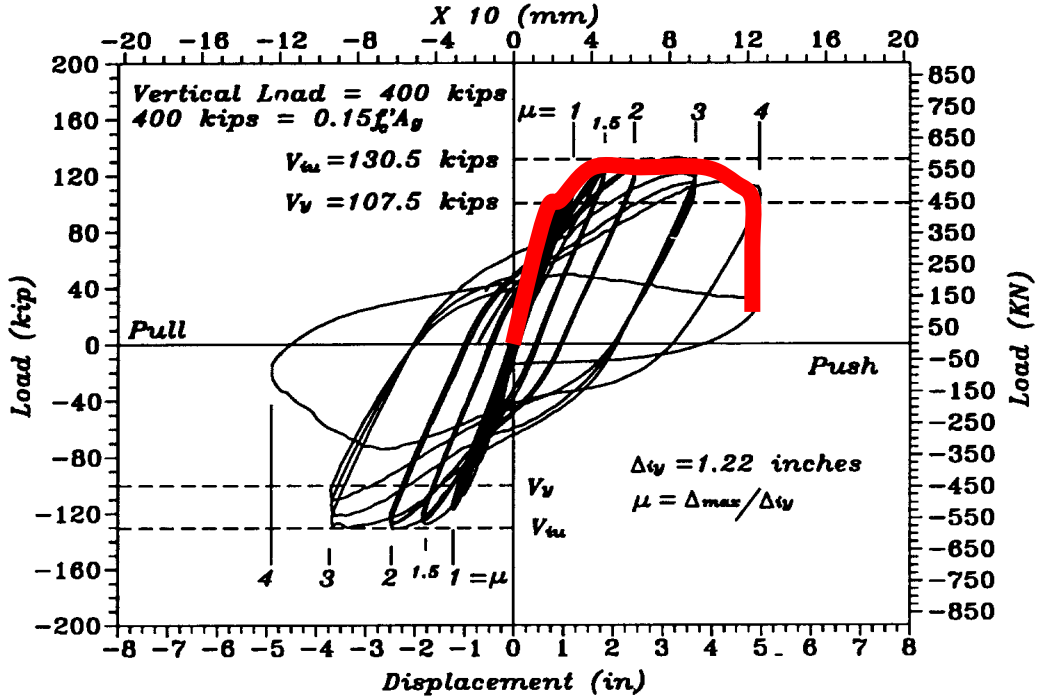
Damaged spirally-wrapped concrete pillars and shear cracks at Olive View Hospital

Olive View Hospital: a relative displacement with an interstory drift of 0.81 m measured at the corner columns.

San Fernando Earthquake 1971 (Photo USGS)

Collapsed highway overpass, INTERSTATE 5 and 14





Similar elastic displacement (D_y)

Different ultimate displacement (D_u)

Different ductility ($\mu=D_u/D_y$)

Different probability of collapse

Performance
(2)

Ductility demand
vs.
Ductility capacity

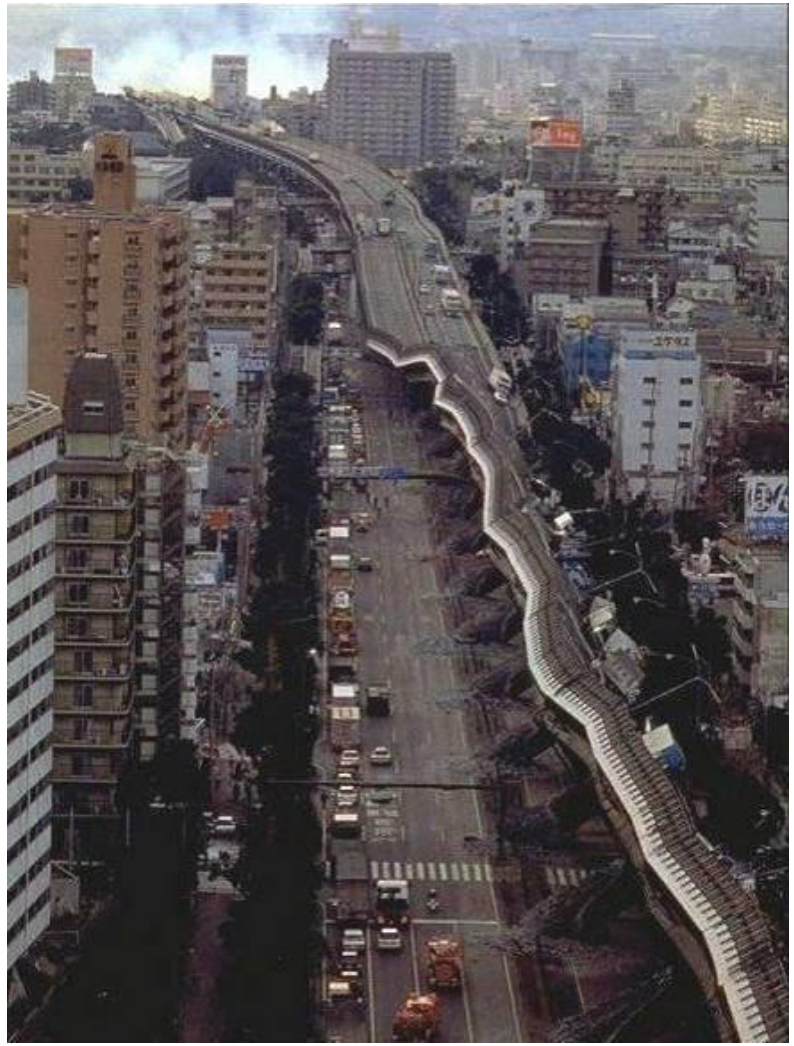
1989
Loma Prieta

1994
Northridge

1995
Kobe

Loma Prieta earthquake, 1989

Aerial view of collapsed sections and side view of support-column failure and collapsed upper deck of the Cypress Viaduct of Interstate 880 (Photo H.G. Wilshire, USGS)



Kobe earthquake, 1995

Collapse of the Hanshin Express Way

COMPETING AGAINST TIME

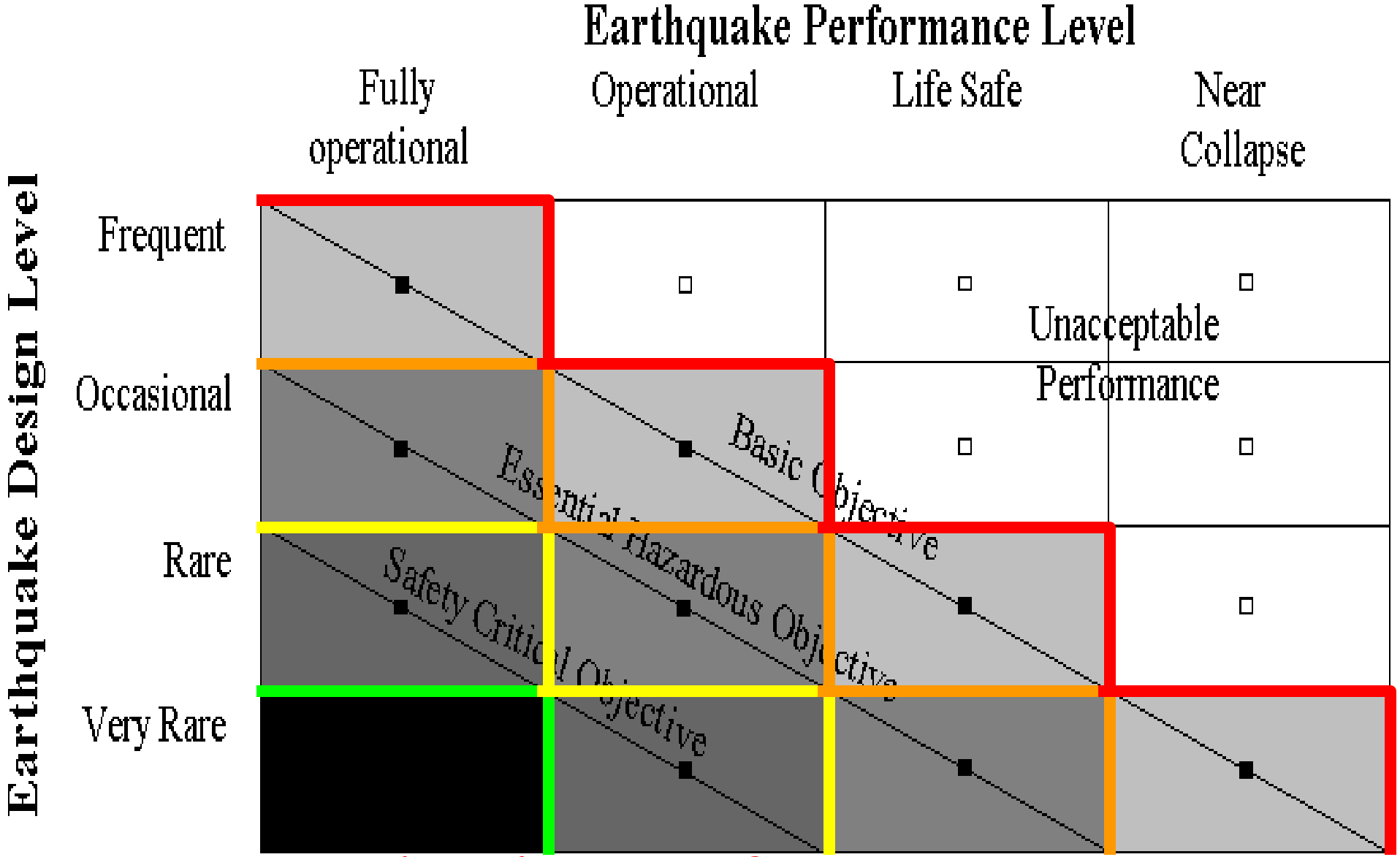
Report to Governor George Deukmejian
from
The Governor's Board of Inquiry
on the 1989 Loma Prieta Earthquake

George W. Housner, Chairman

May 1990

Competing against time

The report to the Governor of California (George Deukmejian) on the Loma Prieta earthquake, prepared by the Commission coordinated by George Housner



Matrix earthquake – performance – exposure

California Office of Emergency Services, *Vision 2000: Performance Based Seismic Engineering of Buildings*, Structural Engineers Association of California (SEAOC) 1995

Performance
(3)
Parameters to check?

Which demand?

Vs.

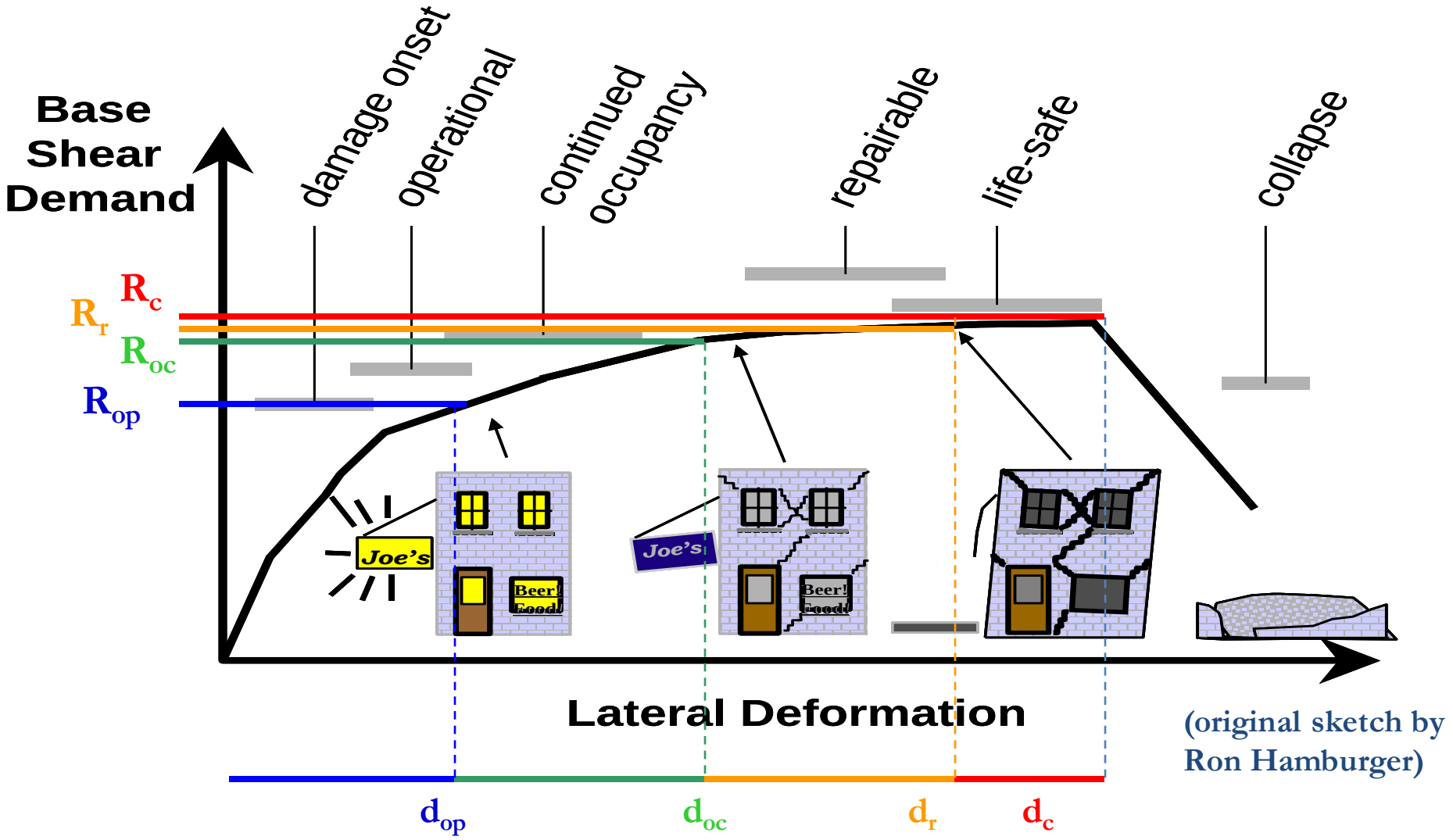
Which capacity?

Performance

Usability of building
Time of disruption
Cost of repair

Displacement

At different performance levels



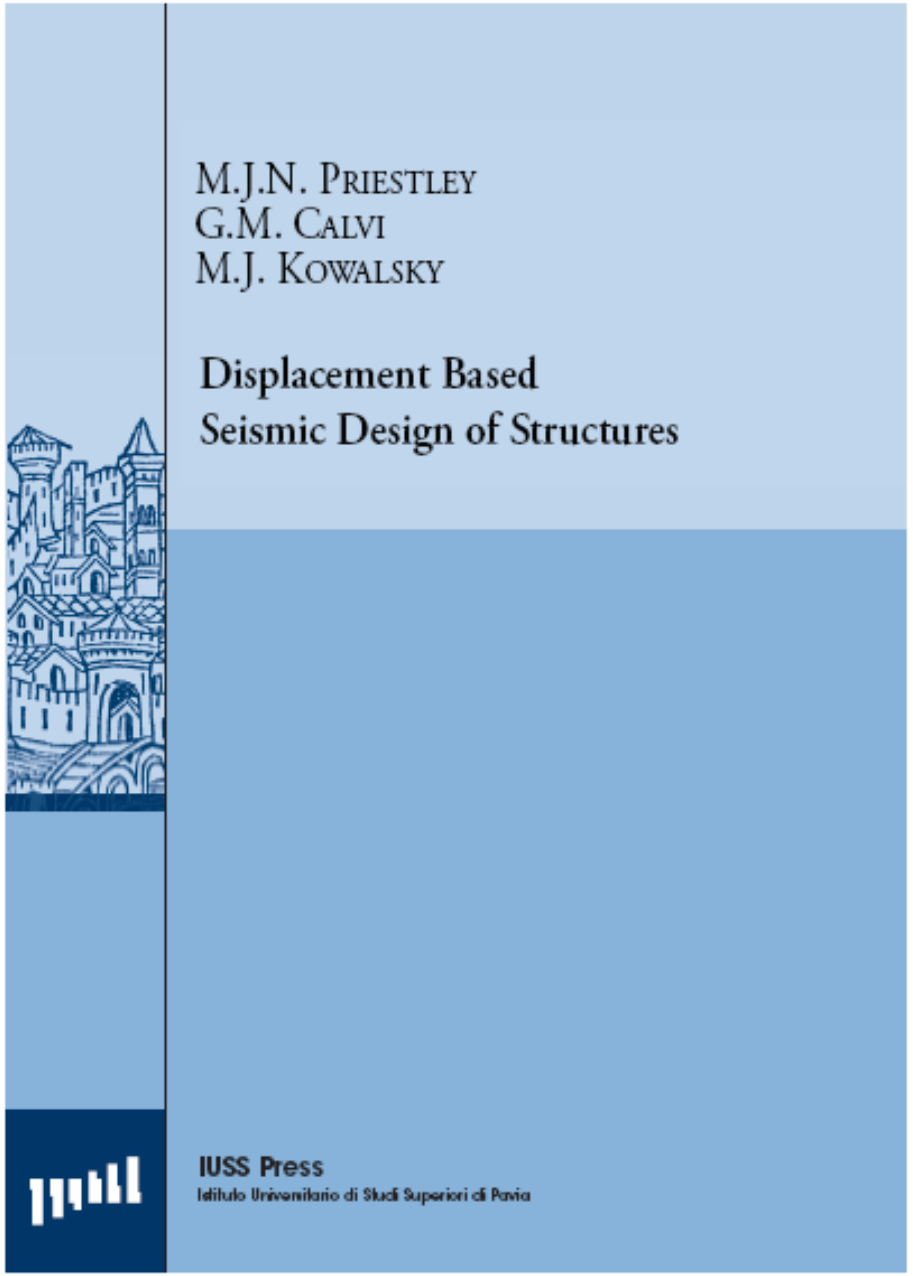
(original sketch by Ron Hamburger)

Operational displacement

Continued Occupancy displacement

Repairable structure displacement

Life safe displacement



It is rare for a book on structural engineering design to be revolutionary. I believe that this is such a book. If you are involved in any way with seismic resistant structural design, this should be on your bookshelf, and you should read at least the first three chapters. […]

This book is not the easiest read, but the authors have done an outstanding job of covering the topic.

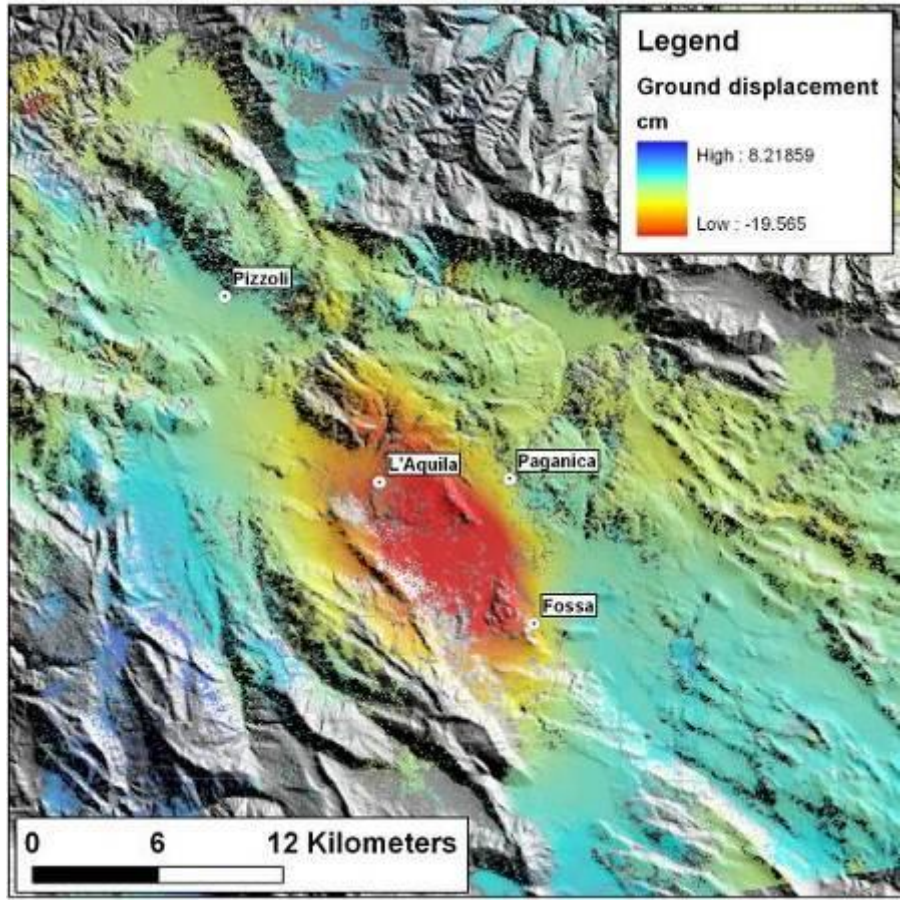
Given the limitations of force-based design, and given recent improvements in nonlinear analysis capabilities, it is inevitable that designers will move towards a displacement-based approach.

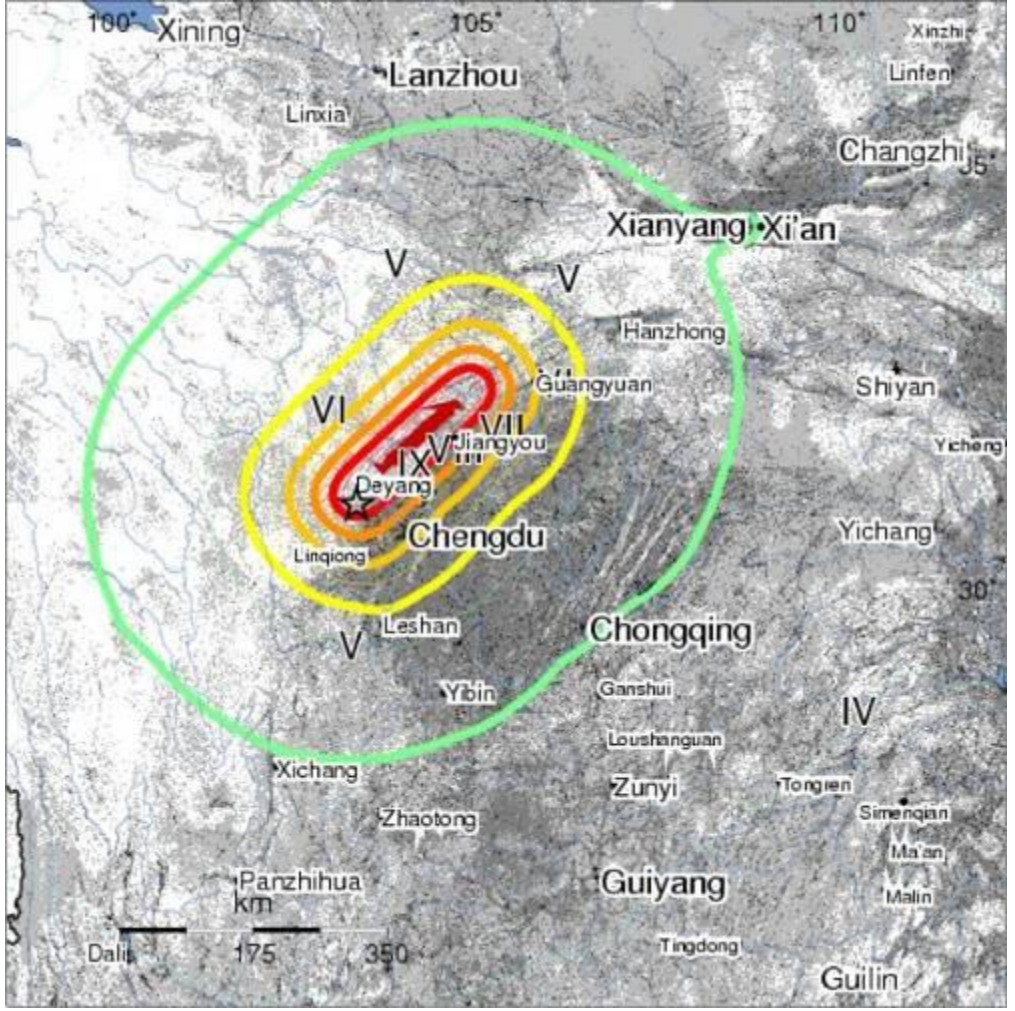
I expect this book to have a major impact on design practice.

G.H. Powell, Professor Emeritus, University of California, Berkeley


EUCENTRE - European Centre for Training and Research in Earthquake Engineering
12 May 2006
EUCENTRE - European Centre for Training and Research in Earthquake Engineering
12 May 2006

TG5 20 May 2008, 8.00 pm





L'Aquila 2009

10 km

M_w = 6.3
300 morti
70.000 senzatetto

Sichuan 2008

350 km

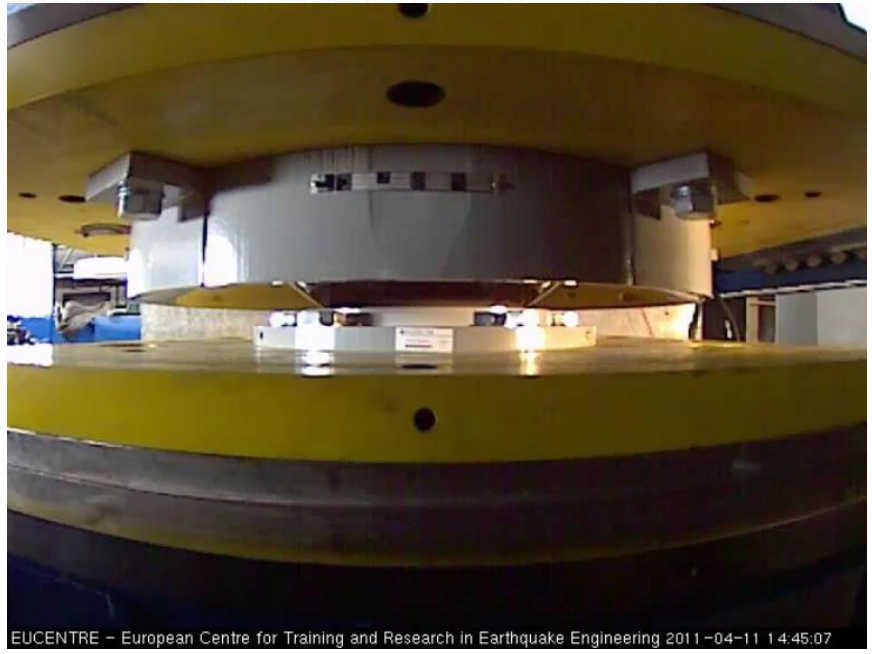
M_w = 7.9
70.000 morti
11 milioni senzatetto


Consorzio
forcase
[pic_ 001] 2009-08-19 h.10.28


2009/06/26 15:44

PROVA
ISOLATORI SISMICI

TEMPERA
26-10-2009



Graece magnificentiae vera admiratio exstat templum Ephesiae Dianae CXX annis factum a tota Asia.
In solo id palustri fecere, ne terrae motus sentiret aut hiatus timeret rursus ne in lubrico atque instabili fundamenta tantae molis locarentur, calcatis ea substravere carbonibus, dein velleribus lanae

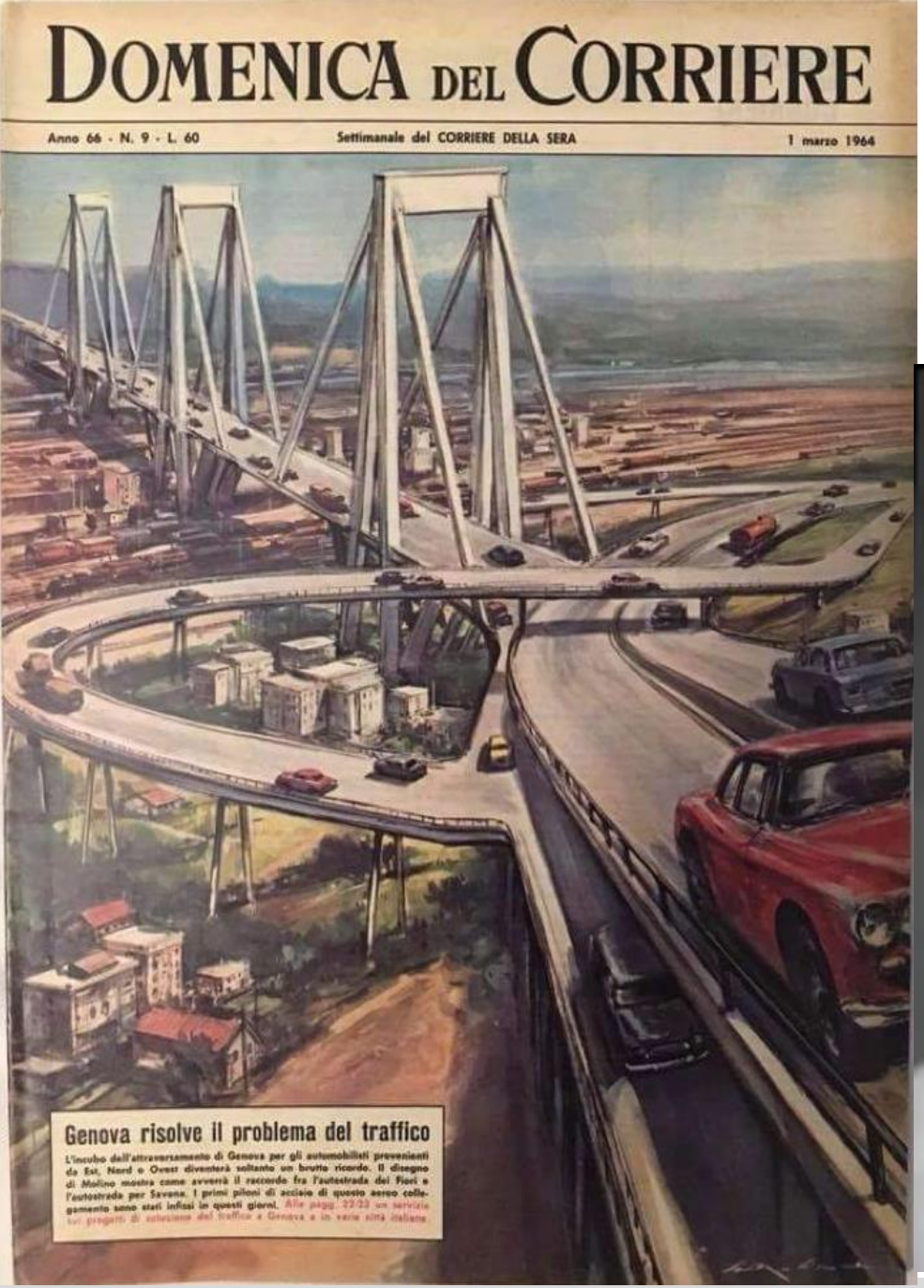
Plinius, *Naturalis Historia*, Liber XXXVI, xxi, 95

US – the "Greatest Decade":

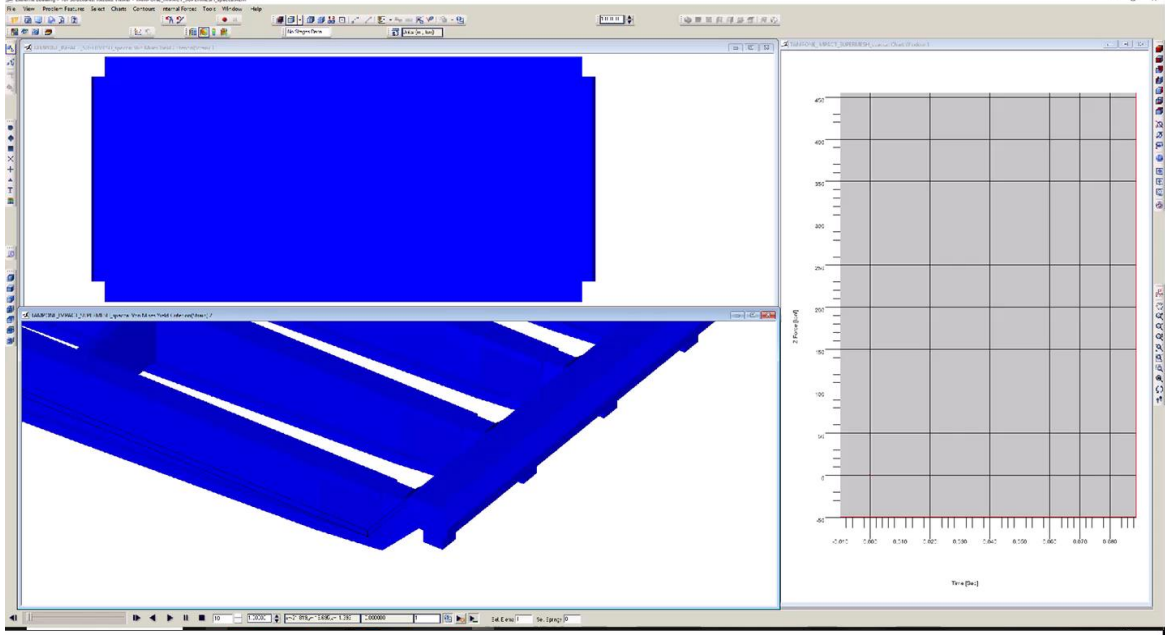
1956	President Eisenhower signs the Federal-Aid Highway Act
1961	President Kennedy maintains the project and $ 0.01 gas tax per gallon
1966	29,000 km; $ 25 billion; 60,000 bridges

In Italia – 1956-1964:

L'epopea dell"Autostrada del Sole": 853 ponti, 572 sovrappassi


DOMENICA DEL CORRIERE
Anno 66 - N. 9 - L. 60
Settimanale del CORRIERE DELLA SERA
1 marzo 1964
Genova risolve il problema del traffico
L'incubo dell'attraversamento di Genova per gli automobilisti provenienti da Est, Nord o Ovest diventerà soltanto un brutto ricordo. Il disegno di Molino mostra come avverrà il raccordo fra l'autostrada dei Fiori e l'autostrada per Savona. I primi piloni di acciaio di questo nuovo collegamento sono stati infissi in questi giorni.

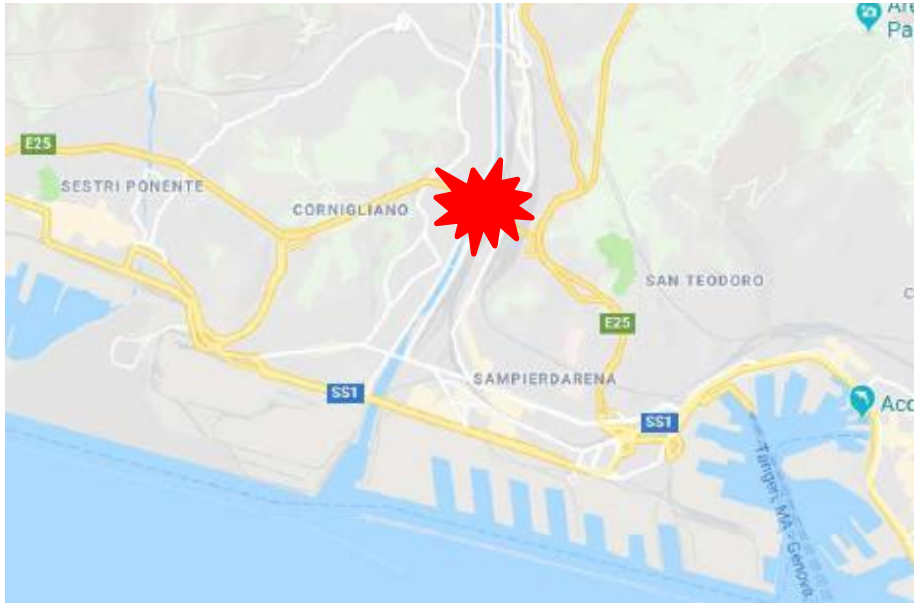
1960s

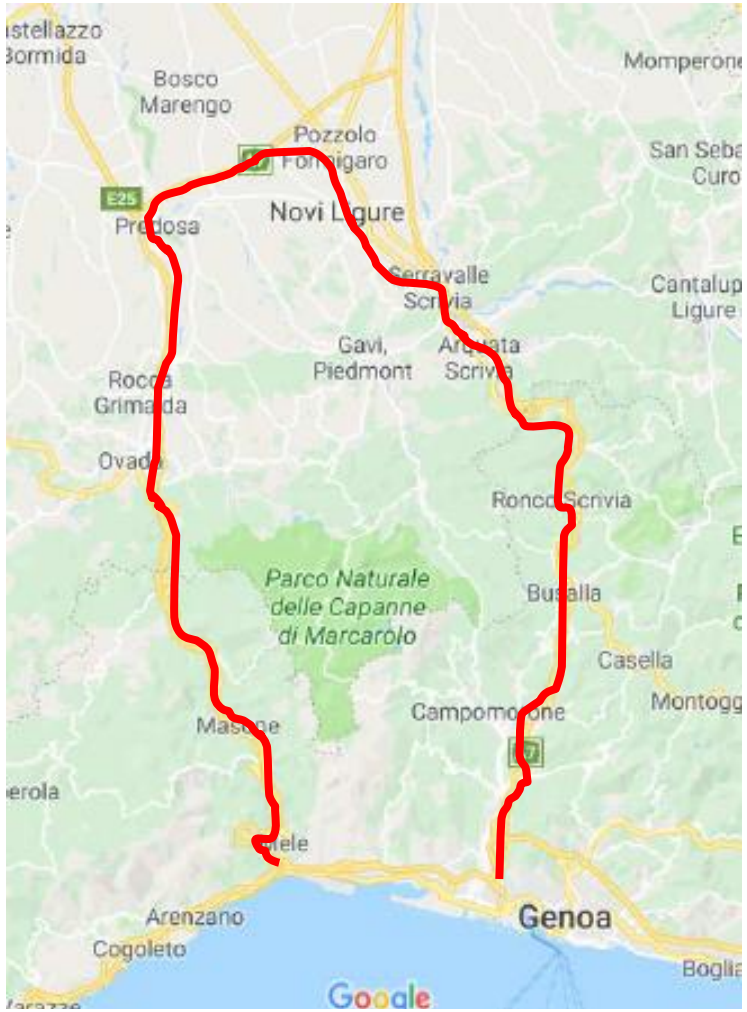


Tacoma Narrows Bridge, collapsed 1940

Collapse of the Morandi bridge:

Detour 20 km?
(70,000 vehicles)
Or 120 km?
(12,000 trucks)





Indirect cost,
per day ≈ 2,000,000 €
i.e.: 3 months ≈ reconstruction

Bridge over the Po River on the A7

Detour 22 km

~ 100,000 vehicles/day

~ 1,000,000 €/day

Cost of reconstruction (CR) ≈ 50 M€

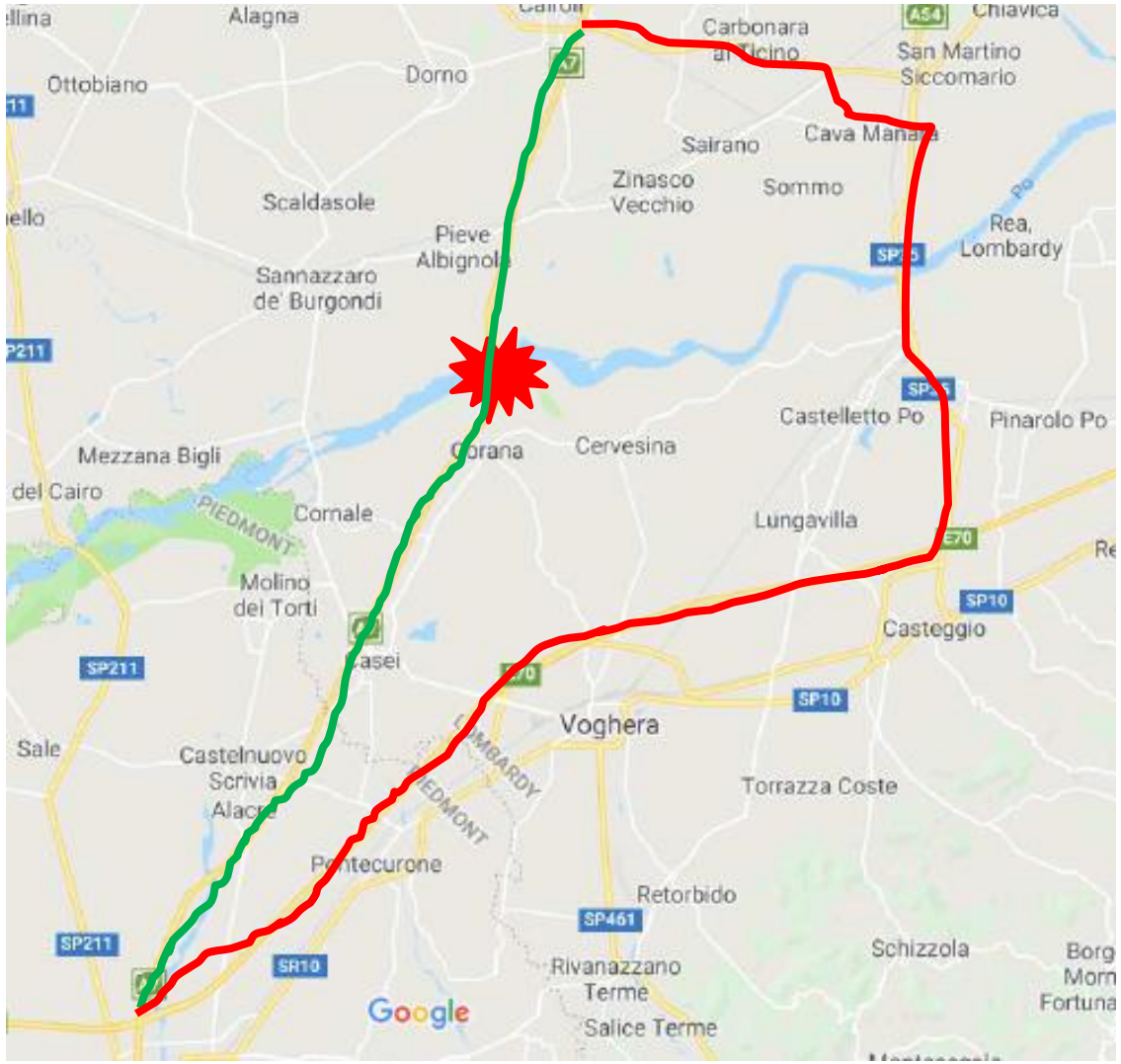
EAL/day ≈ 2%

Cost of intervention ≈ 3 M€ = 6% CR

10 % damage: from 50 to 200 y

100 % damage: from 500 to 2,000 y

EAL from 6.16 % (direct 0,83)
to 2,71 % (direct 0,48)
(1 year repay time)




18TH WORLD CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING
WCEE2024
MILAN
Looking forward to welcoming you in Milano in 2024
www.wcee2024.it