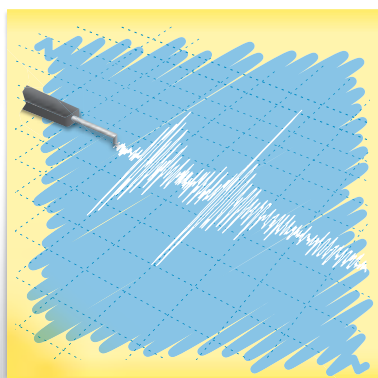


Andrea Barocci

RISCHIO SISMICO

TERREMOTI, SCIENZA, NORMATIVA E COSCIENZA



- PRIMA E DOPO IL TERREMOTO: DALLA SISMOLOGIA ALLA SOCIETÀ
- L'ITALIA E LE LEGGI
- LA SICUREZZA DELLE COSTRUZIONI: NORMATIVA E RESPONSABILITÀ
- IL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE

INDICE

| | | |
|--|----|----|
| PREFAZIONE | p. | 1 |
| 1. QUANDO PARLIAMO DI RISCHIO SISMICO | " | 3 |
| 1.1. La sismologia (prima) <i>Sismologia – Miti e leggende – Colapesce – Sismografo</i> | " | 3 |
| 1.2. La sismologia (oggi) <i>Lisbona – Carta sismica – Tromometro – Sismografo – Sismogramma – Tettonica a placche – Rete sismica nazionale</i> | " | 8 |
| 1.3. Eppure si muove... <i>Accumulo di energia – Faglia – Rimbalzo elastico – Epicentro – Ipocentro – Onde sismiche</i> | " | 11 |
| 1.4. Energia e misura di un terremoto <i>Rilascio di energia – Scale di misura – Magnitudo – PGA – Direttività</i> | " | 16 |
| 1.5. Sequenza e sciame sismico <i>Sciame – Sequenza – Responsabilità – L'Aquila – Faenza – Emilia</i> | " | 25 |
| 1.6. La ricorrenza dei terremoti <i>Consapevolezza – Tempo di ricorrenza – Database macrosismico</i> | " | 28 |
| 1.7. L'Italia e i terremoti, una storia da raccontare <i>Sismologia storica – Paleosismologia – Sant'Emidio</i> | " | 30 |
| 1.8. Le componenti del rischio sismico | " | 34 |
| 1.9. Pericolosità <i>Metodo deterministico e probabilistico – Carta della pericolosità – Effetti di sito – Micro-zonazione – Effetti near-source</i> | " | 35 |
| 1.10. Esposizione <i>Evento naturale – Abitanti – Beni culturali – Infrastrutture – Aree produttive</i> | " | 39 |
| 1.11. Vulnerabilità <i>Crollo – Edifici sicuri – Patrimonio edilizio – Vulnerabilità sociale</i> | " | 43 |
| 1.12. Le mappe di rischio sismico | " | 46 |
| 1.13. Resilienza..... | " | 48 |
| 2. PRIMA E DOPO IL TERREMOTO | " | 51 |
| 2.1. Prevenzione, gestione e mitigazione del rischio..... | " | 51 |
| 2.2. Carta igienica e scelte intelligenti <i>Piano Comunale di Protezione Civile – Telefono – Mobili – Documenti</i> | " | 55 |

| | | | |
|-------|---|----|-----|
| 2.3. | Previsione dei terremoti <i>Precursori sismici – Previsioni in Italia – Previsioni nel mondo – Early warning</i> | p. | 60 |
| 2.4. | Nepal, 25 aprile 2015. Una sintesi perfetta..... | " | 66 |
| 2.5. | Natura, scienza ed altro <i>Radon – Luci sismiche – Temperatura – Falde acquifere – Animali – Haicheng e Tangshan – Notte e giorno – Sismicità indotta – Commissione ICHESE – Turisti e nuvole</i> | " | 69 |
| 2.6. | Dopo il terremoto – gestione dell'emergenza e soccorsi <i>Dipartimento di Protezione Civile – Discorso di Sandro Pertini – Sindaco – SISTEMA – Rilevamento del danno</i> | " | 78 |
| 2.7. | Dopo il terremoto – cosa fa lo stato <i>I costi del terremoto – Il fondo per la prevenzione del rischio sismico – Il terremoto di Li-sbona -Ricostruzione – Assicurazione contro i terremoti</i> | " | 86 |
| 2.8. | Dopo il terremoto – le persone <i>Safetycheck – Il terremoto di San Francisco e la bank of Italy – I disturbi – Gli esperti</i> | " | 97 |
| 3. | STORIA DI NORME E DI ITALIA | " | 102 |
| 3.1. | Hammurabi | " | 102 |
| 3.2. | 1571, il primo progetto di casa antisismica | " | 103 |
| 3.3. | Il sistema baraccato..... | " | 105 |
| 3.4. | Dal 1784 al 1907..... | " | 107 |
| 3.5. | Le norme dopo il sisma di Messina e Reggio Calabria del 1908 | " | 111 |
| 3.6. | Dal 1915 al 1937; avanti adagio | " | 123 |
| 3.7. | Pausa. Niente più terremoti! | " | 126 |
| 3.8. | 1968, il terremoto del Belice..... | " | 133 |
| 3.9. | La legge. Sì, però | " | 134 |
| 3.10. | 1976, il terremoto del Friuli..... | " | 138 |
| 3.11. | 1980, il terremoto in Irpinia..... | " | 139 |
| 3.12. | Dal 1983 al 1996..... | " | 140 |
| 3.13. | 1997, il terremoto di Umbria e Marche | " | 144 |
| 3.14. | San Giuliano di Puglia. 27 bambini e una maestra per cambiare | " | 148 |
| 4. | LA SICUREZZA, LE COSTRUZIONI, LA RESPONSABILITÀ | " | 150 |
| 4.1. | Verso l'Italia sismica. In fretta, anzi no... <i>D.P.R. 380/2001 – Norma prestazionale – Nuova classificazione sismica – O.P.C.M. 3274/2003 – D.M. 14 settembre 2005</i> | " | 150 |
| 4.2. | Il D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008 – Parte Prima | " | 155 |
| 4.3. | 2009, in Abruzzo..... | " | 155 |
| 4.4. | Il D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008 – Parte Seconda <i>Ingegneria sismica – Duttilità – Performance Based Design – Stati limite – Fattore di struttura – Capacity design</i> | " | 157 |

| | | | |
|-----------|---|----|-----|
| 4.5. | Chi sceglie l'azione sismica? Chi il rischio? <i>Pericolosità sismica di base – Vita nominale – Classe d'uso – Periodo di riferimento – Probabilità di superamento – Responsabilità.....</i> | p. | 162 |
| 5. | DI EDIFICI ESISTENTI E ALTRI INCUBI | " | 167 |
| 5.1. | A che punto siamo <i>L'edificato italiano – Earthquake Warning Sign – Prefetture – Centri storici</i> | " | 167 |
| 5.2. | La verifica di sicurezza e l'idoneità statica..... | " | 172 |
| 5.3. | 2012 – Gli edifici industriali e il terremoto: il caso dell'Emilia | " | 180 |
| 5.4. | I beni culturali, le loro regole, i nostri doveri | " | 184 |
| 5.5. | I ponti, le infrastrutture | " | 188 |
| 5.6. | Gli ospedali | " | 192 |
| 5.7. | Le scuole | " | 195 |
| | CONCLUSIONE..... | " | 200 |

PREFAZIONE

In caso di rischio di danno grave o irreversibile, l'assenza di una piena certezza scientifica non deve costituire un motivo per differire l'adozione di misure adeguate.

*Principio 15 – Dichiarazione di Rio
Rio de Janeiro – 1992*

Questa prefazione è necessaria per tarare le attese sul libro che avete in mano.

Quando mi è stato proposto di scriverlo, all'entusiasmo iniziale è seguita subito una sensazione d'inadeguatezza; *“un libro sul rischio sismico che serva al professionista”* mi era stato detto. Autori molto più titolati di me hanno scritto testi eccellenti e la materia è stata trattata da tutti i punti di vista, dalla scienza al folclore.

Poi mi è venuta in mente la strada che, prima da professionista poi da uomo, mi ha portato a conoscere il rischio sismico. Ho ripercorso momenti di vite diverse, separate dal terremoto del 6 aprile 2009, vedendo chiaramente come quell'evento mi abbia cambiato.

Ricordo bene quando entrai in ufficio la mattina di quel lunedì. Il mio collega mi disse subito: *“Hai visto che casino all'Aquila?”*. Sì, qualcosa avevo visto, di sfuggita per colazione; ma era in Abruzzo. E poi, con un terremoto, cosa ci puoi fare? Io facevo progetti di strutture; per me il sisma si traduceva in un numero, quello della scelta della zona sismica all'interno della normativa tecnica. Alla fine, le verifiche di un software di calcolo e il rispetto delle norme sulle costruzioni mi rendevano soddisfatto del mio lavoro.

Quando sono stato la prima volta in Abruzzo a fare i sopralluoghi per l'agibilità degli edifici è cambiato tutto. Lì, dopo poche settimane dalla scossa, nel silenzio nero e asfissiante delle zone rosse, mi passavano davanti i grafici e le forze che di solito vedevo sul monitor; facevano capolino dalle crepe, si aggrovigliavano attorno a pilastri spezzati, urlavano da cumuli di macerie. Lì ho capito cosa facevo quando progettavo una struttura, ho capito il mio lavoro. Poi, durante la permanenza a più riprese nelle zone colpite, entrando in contatto con la gente, i soccorritori e le istituzioni, vivendo quella realtà, ho capito anche che il terremoto non riguarda solo l'ingegneria, gli edifici.

Il terremoto riguarda tutti e tutto e le due parole *“rischio sismico”* sono una sfida enorme rispetto alla quale c'è ancora tanto da fare.

Da tutto questo ho iniziato a vedere la mia professione in maniera diversa, a essere consapevole che, come tecnico e come uomo, avrei potuto fare meglio la mia parte. Ho iniziato a documentarmi, ad appassionarmi e a convivere con i dubbi che ho scoperto aumentare sempre, al

contrario delle ore di sonno destinate a diminuire. Con la conoscenza è cambiata la mia coscienza professionale.

Prima del sisma in Abruzzo la mia unica esperienza era stata nel 1997 una sveglia di soprassalto, nel cuore della notte (allora abitavo nelle Marche, nel Montefeltro), seguita subito da mio babbo che entra in camera e mi dice: “Sarà stato un terremoto”.

Dopo l’Abruzzo invece, il 2012 in Emilia; era già tutto diverso. I miei occhi sapevano cosa e come osservare e già dalle prime immagini divulgate provavano a vedere oltre quell’incredibile lesione lungo tutto il fianco del municipio di Sant’Agostino.

Ecco quindi il motivo di questo libro. Condividere un po’ di conoscenza e un po’ di pensieri.

In ogni caso, mi dicono che il riassunto di quanto ho appena scritto è tutto in questa foto che mi è stata scattata nel giugno 2009 all’Aquila. Quello con la mano in testa sono io. Buona lettura.



QUANDO PARLIAMO DI RISCHIO SISMICO

[...] E non ci sono più né casa né strada: la cordigliera sciolse i suoi cavalli, si accumulò la profonda potenza, saltarono le montagne e cadde il villaggio avvolto dal terremoto. E così muri di fango, ritratti alle pareti, mobili sgangherati in sale oscure, silenzio interrotto dalle mosche, tutto ritornò ad esser polvere [...].

Pablo Neruda

Per quanto ciascuno abbia un'idea propria della parola “rischio”, credo che sul dizionario Treccani ve ne sia una definizione egregia: *eventualità di subire un danno connessa a circostanze più o meno prevedibili*. Nasce quindi una singolarità nell'aggiungere la parola “sismico”, dovuta al fatto che, ad oggi, nessuno è in grado di prevedere i terremoti ma (quasi) tutti sanno dove si verificheranno i prossimi. Considerando che l'uomo è ormai da millenni un animale stanziale, la definizione di rischio tende a spostarsi da eventualità a certezza.

Nel 1908 Giuseppe Mercalli¹ scrisse questa frase: *La sismologia non sa dire quando, ma sa dire dove avverranno terremoti rovinosi, e sa pure graduare la sismicità delle diverse province italiane. Quindi saprebbe indicare al governo dove sarebbero necessari regolamenti edilizi più e dove meno rigorosi, senza aspettare che prima il terremoto distrugga quei paesi che si vogliono salvare*. Nel 1908 aveva già detto tutto, nel 2015 non è cambiato niente.

Per comprendere meglio queste due frasi è meglio partire dall'inizio.

1.1. La sismologia (prima)

Sismologia – Miti e leggende – Colapesce – Sismografo.

Sismologia deriva dall'unione di “*seismos*” (terremoto) e “*logos*” (parola) ed è una branca della geofisica che studia i terremoti e la propagazione delle onde da loro generate. Al di là della definizione tecnica trovo molto più indicata l'unione di “sisma” con “parola” perché, vedremo, lo studio scientifico è arrivato molto dopo; fino a pochi anni fa il terremoto è stato indissolubilmente legato alle sensazioni individuali ed alla tradizione orale.

Sono molti nel mondo i **miti** e le **leggende** legati ai terremoti².

¹ Giuseppe Mercalli (1850-1914) Geologo, sismologo e vulcanologo italiano; inventore dell'omonima Scala che misura l'intensità di un terremoto attraverso l'osservazione dei danni prodotti. Ha pubblicato circa 115 tra studi, ricerche e osservazioni su pubblicazioni periodiche, ed è stato membro di importanti associazioni scientifiche. Ha realizzato per primo una carta sismica del territorio italiano, dopo aver posto il problema di tale lacuna.

² Per quanto riportato in questo capitolo e altri approfondimenti si faccia riferimento all'Associazione IO NON TREMO! [www.ionontremo.it].

I membri di un'antica tribù peruviana pensavano che quando il loro dio visitava la terra per contare gli uomini presenti, i suoi passi facevano tremare il suolo. Per abbreviarne il compito i cittadini uscivano di corsa dalle case gridando “Sono qui! Sono qui!”, così il mito insegnò anche alle persone la buona pratica di abbandonare le fragili abitazioni in caso di terremoto.



Gli Indù credevano che il mondo fosse appoggiato sulla schiena di otto elefanti in equilibrio sul dorso di una tartaruga che nuotava nel mare; quando un elefante si stancava, scuoteva la testa provocando un terremoto.

Un mito messicano è precursore della tettonica: Molto tempo fa, quando il mondo era fatto solo di acqua, il Grande Spirito decise di creare una splendida terra facendola trasportare sul dorso da alcune tartarughe marine; un giorno queste cominciarono a litigare tra loro e, nuotando in direzioni diverse, tirarono la terra fino a che non si ruppe in tanti pezzi. Da allora, ogni volta che le tartarughe litigano di nuovo, la terra sulle loro schiene sussurra e trema.



Per la mitologia giapponese la causa di tutti i terremoti è il grande pescegatto Namazu, che muovendo la coda riesce a scuotere tutta la terra; può essere controllato solo dal dio Kashima, che grazie a una grossa pietra immobilizza il pesce tenendolo schiacciato a terra; purtroppo a

volte il dio si stanca e si distrae dal suo compito, e Namazu ne approfitta per muoversi. La cultura giapponese, rispettosa della tradizione, ancora oggi utilizza il pescegatto nelle grafiche legate al rischio sismico e il pescegatto non fa mai mancare la sua presenza nelle manifestazioni popolari o sfilate carnevalesche. Inoltre, nel XIX secolo, dopo il terremoto di Edo (l'odierna Tokio) Namazu divenne una sorta di giustiziere che punisce l'avidità umana costringendo alla redistribuzione della ricchezza.

Aristotele riteneva che i sismi fossero generati da aria compressa all'interno della Terra ed in cerca di una via d'uscita verso l'esterno; ne erano la prova le esalazioni che talvolta fuoriescono da spaccature del suolo in seguito ad un terremoto.

Il ruolo sociale in un evento sismico è sempre rilevante, a vari livelli e con tratti spesso comuni anche in epoche o località diverse. Affronteremo questi aspetti più avanti.

Entrando nel nostro Mediterraneo troviamo Poseidone, il dio greco del mare che nel racconto omerico è coinvolto nella famosa conquista di Troia; rappresenta anche il dio dei terremoti ed è venerato nelle città interne dell'Asia Minore sotto la figura mitologica del cavallo. Secondo l'archeologo L.A. Mackay i greci non penetrarono nella città di Troia nel ventre di un gigantesco cavallo di legno ma favoriti da un terremoto che ridusse le mura di cinta in macerie³.



A Messina, sulla volta del Teatro Vittorio Emanuele II fa bella mostra di sé l'opera di Gut-tuso "La leggenda di **Colapesce**". Si narra di un certo Nicola (Cola di Messina), figlio di un pescatore, soprannominato Colapesce per la sua abilità nel muoversi in acqua; amava immergersi e, ritornato in superficie, si soffermava a raccontare le meraviglie viste e, talvolta, a riportare tesori. La sua fama arrivò al re di Sicilia ed imperatore Federico II di Svevia che decise di

³ Tratto da "I profeti del terremoto" di Helmut Tributsch.

metterlo alla prova: si recò al largo e gettò in acqua una coppa, subito recuperata da Colapesce; il re gettò allora la sua corona in un luogo più profondo e anche questa fu subito recuperata; la terza volta il re gettò un anello in un posto ancora più profondo ed in quell'occasione il ragazzo non riemerse più. Colapesce vide, infatti, che la Sicilia posava su 3 colonne delle quali una piena di vistose crepe e segnata dal tempo e decise di restare sott'acqua, sorreggendola per evitare che l'isola sprofondasse; ancora oggi si troverebbe quindi a reggere l'isola.

Sembra che anche la fontana delle 99 cannelle in L'Aquila contenga un riferimento alla leggenda; uno dei novantanove mascheroni che la caratterizzano rappresenta infatti un uomo con la testa di pesce, tra l'altro l'unico posto in angolo, posizione dalla quale "controlla" l'intero monumento. Questi collegamenti, per nulla scontati, sono stati le basi della conoscenza per la sismologia moderna.

Anche gli strumenti di misurazione (gli antenati del **sismografo**) hanno avuto la loro evoluzione prima di arrivare a fornire dati utili per la collettività.



Uno dei primi sismografi dei quali si ha traccia è quello di Zhang Heng (132 d.C.). Era costituito da un'anfora metallica alta più di un metro al cui interno stava un pendolo che, se messo in oscillazione da una scossa sismica, urtava alcune levette; queste erano otto, disposte tutte attorno all'anfora e terminavano con la riproduzione di una testa di drago. La levetta, se urtata dal pendolo, faceva aprire la bocca al drago che a sua volta faceva cadere una pallina all'interno di una rana metallica posta in corrispondenza alla base dell'anfora; il rumore metallico era percepibile fino a 500 metri e fungeva da allarme.

L'origine naturale dei terremoti inizia a farsi strada in Europa solo in periodo rinascimentale, con diverse teorie. Gassendi, verso il 1600, pensava che il terremoto fosse dovuto all'esplosione di sacche di gas. L'abate Bertholon de Saint-Lazare invece, nel 1779, pensava a un effetto dell'elettricità che si "concentrava" nel sottosuolo; inventò quindi anche un sistema per evitare i terremoti, inserendo enormi parafulmini nel terreno.

Nel 1751 Don Andrea Bina, nell'ambito dei suoi studi sui terremoti, costruì a Perugia un sismografo formato da una lunga fune appesa al soffitto di una stanza con attaccato all'estremità

un masso; quest'ultimo aveva uno stilo nella parte inferiore, la cui punta sprofondava nella sabbia contenuta in una vaschetta che a sua volta galleggiava in un ampio vaso pieno d'acqua. In occasione dei terremoti il pendolo lasciava nella sabbia delle tracce da cui, come scrisse Bina stesso: “... si potrà conoscere la qualità e l'impeto delle scosse. Se il terremoto sarà stato regolare, o di ondeggiamento, rettilinei saranno i solchi, se tremulo ed irregolare saranno tortuosi; se sarà vorticoso si conoscerà ciò dalla profondità a cui lo stilo sarà penetrato entro la materia molle ...”.



Camassi⁴, in un breve trattato⁵ dal titolo “*Misurare il terremoto alla fine del Settecento*”, riporta quanto segue: *Risulta difficile stabilire storicamente quando nell'area di cultura occidentale si è cominciato a fare uso del sismografo, inteso nella sua accezione più semplice di misuratore di oscillazioni sismiche. In descrizioni molto antiche di terremoti, per esempio in alcuni annali benedettini del sec. XII, viene ricordata l'oscillazione di immagini sacre e di lampade appese alle navate delle chiese. Una delle testimonianze più antiche pervenuteci su questo tipo di osservazione riguarda il risentimento a Montecassino del terremoto del 3 gennaio 1117, così descritto: “Vi furono grandi terremoti, così che molti edifici in diversi luoghi crollarono, molti morirono, le lampade delle chiese furono viste muoversi”. In testi di periodi successivi non mancano precisi riferimenti ad effetti osservati su oggetti di uso comune come il rovesciamento di liquidi e la caduta di oggetti; queste osservazioni possono, in senso lato, considerarsi “strumentali”, in quanto veniva usato un sistema di riferimento esterno al soggetto osservante.*

⁴ Romano Camassi, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Bologna.

⁵ Comparso nel bellissimo testo curato da Emanuela Guidoboni “*Il terremoto di Rimini e della costa romagnola: 25 dicembre 1786*”.

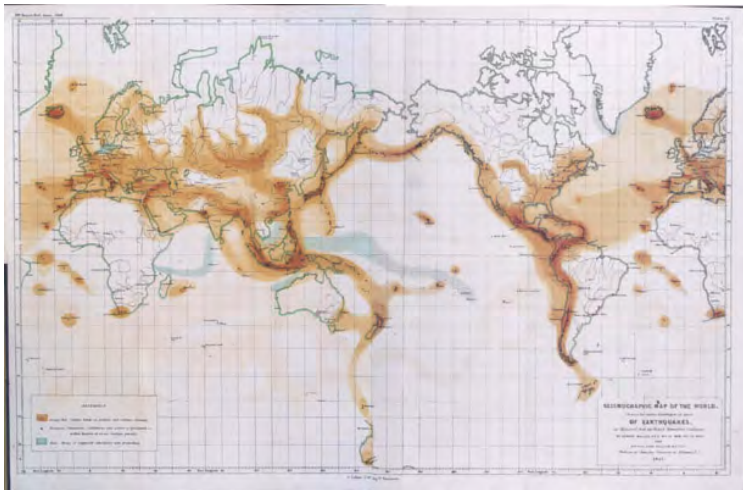
1.2. La sismologia (oggi)

Lisbona – Carta sismica – Tromometro – Sismografo – Sismogramma – Tettonica a placche – Rete sismica nazionale.

Nel 1755 **Lisbona** poteva essere paragonata, in termini sociali ed economici, all'odierna New York; alle 9:30 del mattino del 1° novembre una violenta scossa stravolse la città, seguita da una seconda scossa alle 11 e da un incessante moto vibratorio nelle 24 ore successive; si svilupparono incendi e un'onda di 15 metri si abbattè sulla città.

Il sisma interessò complessivamente una superficie di 11 milioni di km² e raggiunse un'intensità stimata tra gli 8,7 e i 9,0 della scala Richter. Si ebbero fra 60.000 e 90.000 morti su una popolazione stimata in 275.000 abitanti.

La vastità di questo terremoto e la risonanza che ebbe a livello mondiale diedero il via ai primi studi sull'argomento; la sismologia cominciò ad avere un approccio scientifico e ad evolversi fino ad arrivare a come oggi la conosciamo.

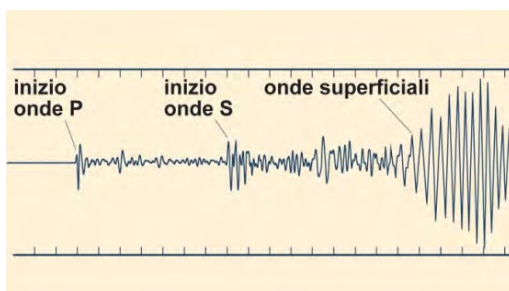
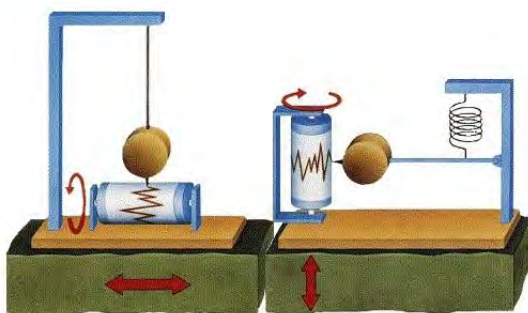


La prima **carta sismica** “globale” del mondo fu redatta dal geologo Robert Mallet nel 1854⁶. Il metodo era semplice e chiaro: è stata compilata inserendo sulla mappa gli eventi di cui si era a conoscenza, utilizzando una gradazione più intensa nelle zone dove il numero di accadimenti era stato maggiore.

Gli italiani contribuirono in maniera significativa allo sviluppo della sismologia scientifica. In particolare, il primo strumento in grado di rilevare fenomeni microsismici fu il “**tromometro**” di Padre Bertelli (1868). Consisteva in un pendolo orizzontale con una massa di 100 grammi appesa a un sottilissimo filo di rame lungo 150 cm, racchiuso in un tubo atto a proteggerlo dalle correnti d’aria; la posizione della massa veniva osservata attraverso un microscopio con oculare micrometrico in grado di distinguere tremori di ampiezza inferiore a 10⁻⁶ m. Da questo punto in poi, quello che era stato lo studio di fenomeni considerati eccezionali divenne una rilevazione costante dell’attività sismica.

⁶ Fonte: British Geological Survey [<http://www.earthquakes.bgs.ac.uk>].

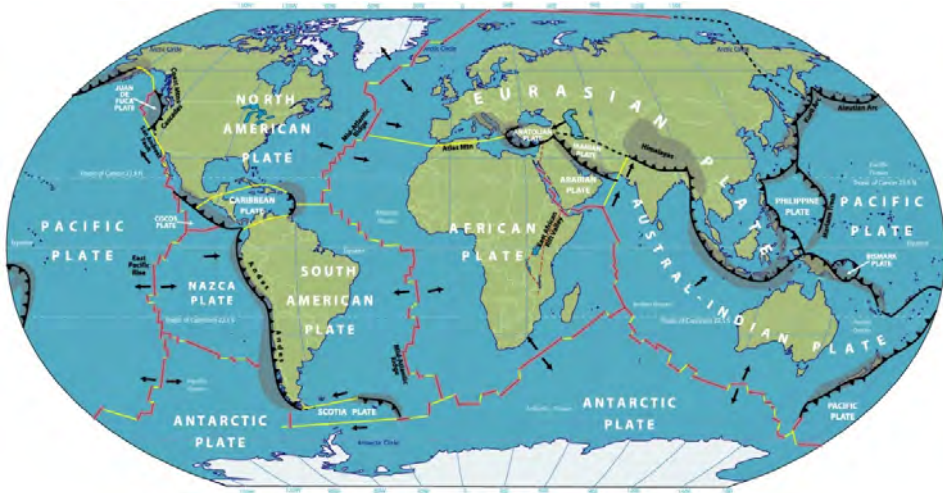
Questa la spiegazione della sismologia moderna per opera dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV: *La comprensione della dinamica terrestre è strettamente legata allo studio dei terremoti, che rappresentano l'effetto più catastrofico dei moti interni del pianeta, ma che illuminano, con le onde sismiche emesse e rilevate dai sismografi, l'interno del globo permettendo di conoscerne la struttura. La ricerca sismologica si indirizza perciò su due grandi fronti: da un lato, lo studio del fenomeno sismico finalizzato alla comprensione dei meccanismi di genesi dei terremoti ed alla prevenzione e riduzione degli effetti sull'uomo e sull'ambiente antropizzato; dall'altro lato, allo studio di problemi di base, non direttamente vincolati al campo applicativo e sostanzialmente legate alla comprensione della struttura profonda e della dinamica terrestre. Questi due aspetti della ricerca sismologica sono intimamente legati tra di loro. Avanzamenti significativi in uno qualunque dei due campi non sono possibili senza che anche l'altro progredisca.*



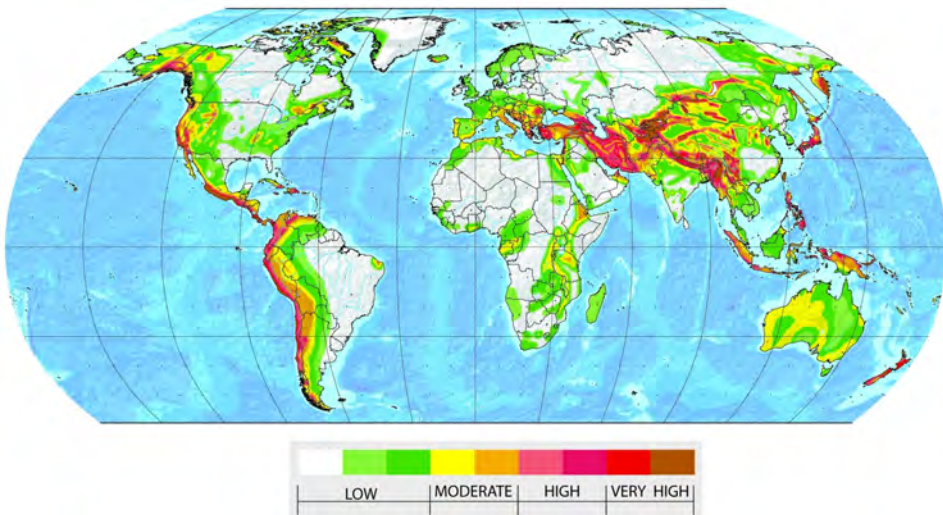
I moderni **sismografi** sono in grado di restituire graficamente con precisione la propagazione delle onde nel terreno dovute all'evento sismico (**sismogramma**⁷); grazie poi al collegamento tra diverse stazioni sismiche (almeno tre) ed ai rilevamenti di ciascuna è possibile individuare con precisione la posizione e stimarne l'intensità⁸, come riportato più avanti.

⁷ Immagini tratte dal sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia [www.ingv.it].

⁸ I sismogrammi furono molto utilizzati in ambito militare anche durante gli anni della guerra fredda. Analizzandoli infatti è relativamente facile risalire al tipo di sorgente che lo ha generato ed individuarla con precisione; ciò permette di distinguere terremoti, vulcani, frane o esplosioni. Per molti anni i test nucleari (sia sotterranei che in atmosfera) ebbero anche un intento politico, infatti ogni esplosione risultava un chiaro messaggio per il nemico sulla potenza e il luogo dell'esplosione.



Unendo quindi lo studio della **tettonica a placche**⁹ con la mappa¹⁰ delle zone dove sono avvenuti i terremoti negli ultimi 40 anni, si comprende perfettamente il senso della definizione di sismologia dato dall'INGV.



È interessante anche osservare quanto queste ultime due carte siano simili a quella redatta da Mallet nel 1954, il che ci riporta alle considerazioni iniziali di questo capitolo.

In ogni caso non dobbiamo mai dimenticarci di quanto sia “nuova” la sismologia moderna, anche e soprattutto in rapporto all’età di certi edifici storici (per quanto riguarda lo sviluppo

⁹ Immagine tratta da [<http://www.johomaps.com/world/worldtecton.html>].

¹⁰ Immagine tratta da National Geophysical Data Center [<http://www.ngdc.noaa.gov>].

delle normative) ed alle età geologiche (per quanto riguarda la pericolosità); affronteremo più avanti questi temi.

A titolo di esempio c'è il caso del terremoto di magnitudo 6 in Napa Valley del 24 settembre 2014; cito la California perché per chi si occupa di sismica è molte volte il riferimento, sia a titolo amministrativo che per le costruzioni. In questo caso si è riscontrato il movimento in una faglia del tutto sconosciuta e David Schwartz, uno dei padri della paleosismologia (vedi §1.7) in seguito ha ammesso che la precedente attivazione di quella faglia è avvenuta non meno di 130 mila anni prima.

L'Italia è dotata della propria **rete sismica nazionale**¹¹, a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, formata da più di 300 stazioni sismiche sparse su tutto il territorio.



1.3. Eppure si muove...

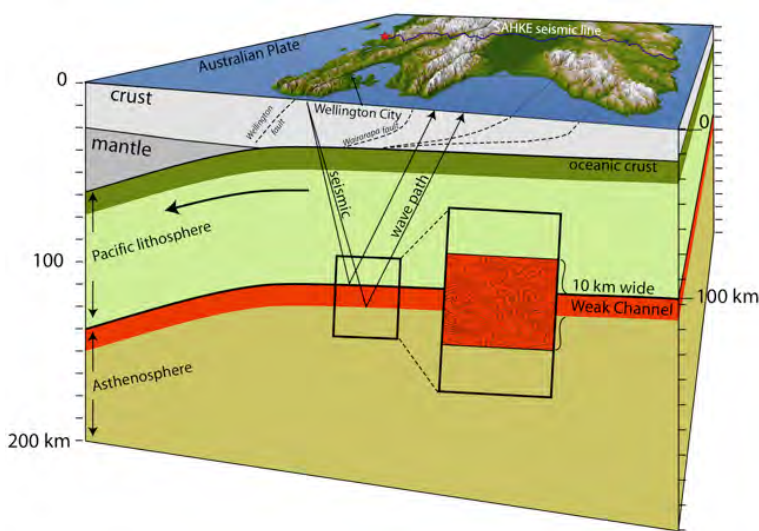
Accumulo di energia – Faglia – Rimbalzo elastico – Epicentro – Ipocentro – Onde sismiche.

“E pur si muove!” è la frase pronunciata da Galileo di fronte al tribunale dell’Inquisizione, al termine dell’arringa per difendere la propria teoria del movimento della Terra attorno al Sole e non viceversa.

¹¹ <https://ingvterremoti.wordpress.com/il-monitoraggio-sismico>

Tornando alla tettonica a placche, anch'esse si muovono; impercettibilmente per l'uomo e i suoi tempi, ma si muovono; ora, senza addentrarci nella deriva dei continenti, ogni placca interagisce con quelle a lei vicine per farsi spazio, in un balletto infinito di compressioni e trazioni. La grande maggioranza degli eventi sismici naturali, hanno origine, per lo più, nella crosta terrestre, cioè nella parte più fragile della litosfera.

Proprio a febbraio 2015 è stato presentato l'esito di un importante progetto Neozelandese¹². Lungo una linea di circa 100 km sono stati posti un migliaio di sismometri e a seguire, in fori profondi decine di metri, provocate potenti esplosioni; la possibilità di conoscere con precisione potenza e posizione della sorgente (cosa mai possibile con le onde sismiche) unita alla posizione ovviamente nota dei sismometri, hanno permesso di ricavare dati estremamente precisi sulla stratigrafia profonda. In particolare sembra che la crosta non sia direttamente collegata ai moti convettivi del mantello, ma che alla sua base si trovi uno strato spesso alcuni chilometri che funge da zona di scivolamento.



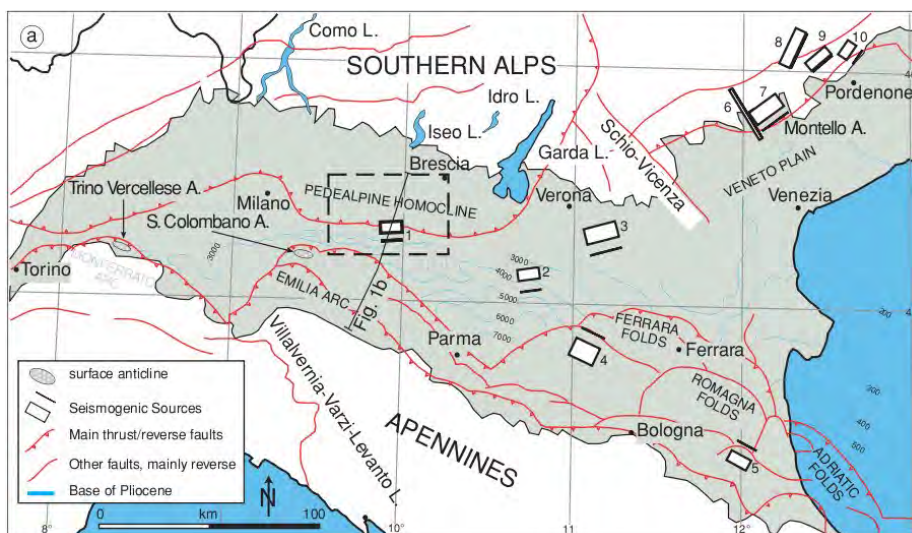
Questo aspetto, se approfondito, potrebbe avere sviluppi interessanti anche per quanto riguarda l'accumulo di energia tra placche (argomento che tratteremo nel §1.4) che quindi sembrerebbe non avvenire in maniera costante; inoltre andrebbe parzialmente a giustificare i presunti collegamenti tra faglie che si attivano, pur se distanti, nello stesso arco di tempo oltre che i periodi storici soggetti a maggiore o minore attività sismica.

Se nelle mappe del capitolo precedente cerchiamo l'Italia, la troveremo attraversata lungo tutto il suo sviluppo dalla faglia "Gloria", nome gradevole al femminile o altisonante in veste militare.

¹² Nature 518 "A seismic reflection image for the base of a tectonic plate" a cura di T.A. Stern.



In sostanza la placca africana spinge verso Nord la placca euroasiatica e il bacino adriatico forma a sua volta una micro-placca che, si ipotizza, tende a ruotare in senso antiorario con polo di rotazione in Italia settentrionale¹³.

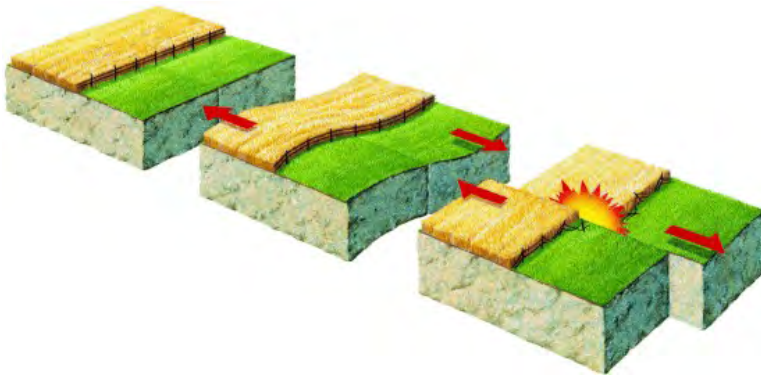


Questa “riga” ben definita nel disegno è però formata da tutto un sistema di faglie, più o meno individuate, a profondità e con movimenti variabili, ciascuna o a gruppi dotate di una propria “identità”; nell’immagine¹⁴ precedente ne possiamo vedere ad esempio alcune del centro-nord. Il movimento di una placca rispetto ad un’altra sottopone ad enormi sforzi tutta la regione in cui esse sono a contatto, agendo appunto sul sistema di faglie.

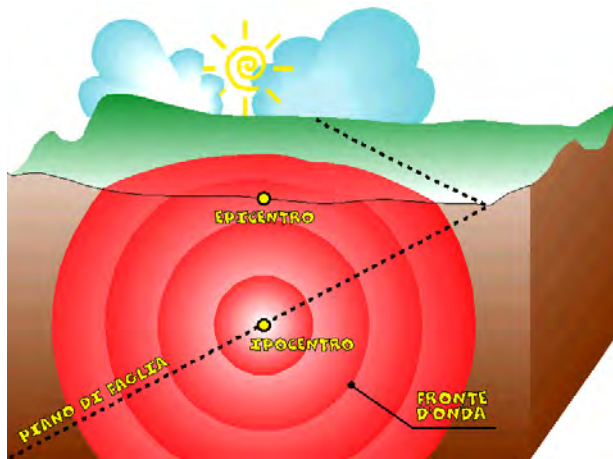
Una faglia è quindi un piano di taglio della crosta terrestre lungo la quale, durante il terremoto, avviene lo scorrimento relativo di due blocchi rocciosi sottoposti a tensione dalle forze geodinamiche globali.

¹³ Fonte Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia [www.ingv.it].

¹⁴ Italian Journal of Geoscience [www.italianjournalofgeosciences.it].



Una faglia attiva¹⁵ rivela la sua presenza attraverso i terremoti che provoca quando lo sforzo supera la resistenza della roccia (teoria del **rimbalzo elastico**); i due blocchi si muovono di scatto l'uno rispetto all'altro e da quel momento in poi l'energia ricomincia ad accumularsi fino al terremoto successivo.



Quando la faglia si frattura, inizia a farlo dal punto di minor resistenza chiamato **Ipocentro**¹⁶ che trova la sua corrispondenza in superficie nell'**Epicentro**. Dall'ipocentro la frattura si propaga a una velocità di circa 2-3 km al secondo, irradiando energia sismica ed esaurendosi nell'arco di pochi secondi. Per un terremoto non registrato dagli strumenti, invece, per esempio un evento storico, l'epicentro è definito come il baricentro della distribuzione del danno, e per questo è chiamato anche "epicentro macrosismico". La differenza tra queste due definizioni non deve essere trascurata.

L'ipocentro strumentale rappresenta solo il punto d'inizio (o nucleazione) della frattura ed è quindi solo indirettamente legato al danno causato dal terremoto. Questo punto può trovarsi al

¹⁵ British Geological Service [www.bgs.ac.uk].

¹⁶ Fonte Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia [www.ingv.it].

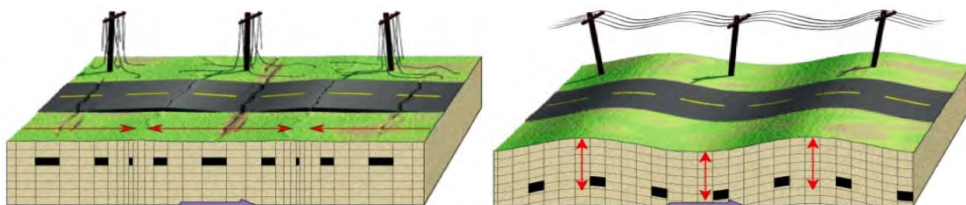
centro della faglia, e si parlerà allora di “rottura bilaterale” (ovvero che si propaga simultaneamente verso le due estremità), o vicino a una estremità (rottura unilaterale). Una rottura prevalentemente bilaterale causa una distribuzione dello scuotimento – e quindi del danneggiamento – tendenzialmente simmetrica rispetto al centro della faglia, e quindi la determinazione strumentale dell’epicentro potrà essere pressoché coincidente con quella dell’epicentro macrosismico; viceversa una propagazione unilaterale dà luogo di norma a una distribuzione dello scuotimento asimmetrica.

Poiché i terremoti intensi sono provocati da faglie lunghe come minimo 30-50 km (in certe aree del globo anche centinaia di chilometri¹⁷) l’epicentro strumentale potrà trovarsi anche a decine di chilometri dall’epicentro macrosismico.

Gli effetti in superficie sono provocati dalle **onde sismiche**, cioè vibrazioni del terreno che si trasmettono in tutte le direzioni, attraverso il terreno stesso, a partire dalla superficie di frattura; tali onde provocano nel mezzo attraversato una deformazione temporanea, ossia uno scuotimento del suolo, la cui entità, in generale, diminuisce con la distanza dalla sorgente (l’Ipocentro appunto).

Le onde sismiche sono onde elastiche (attraverso le quali, cioè, l’energia elastica può essere trasportata lontano dal punto in cui si è originata) ed hanno bisogno di un mezzo attraverso cui propagarsi; nel caso dei terremoti ciò avviene attraverso un meccanismo di deformazione dei terreni. Sono principalmente di due tipi¹⁸:

- **Onde primarie (P)**: avvengono nella stessa direzione di propagazione dell’onda e si propagano entro il volume dei terreni per successive compressioni e dilatazioni dei terreni stessi, nei quali causano variazioni di volume. Sono dette “primarie” perché sono le prime a giungere in superficie e a essere registrate dai sismografi, propagandosi a una velocità compresa tra 5 e 8 km/sec, in funzione della densità dei materiali che attraversano; possono propagarsi sia attraverso la roccia solida, sia attraverso un materiale liquido (magma o acqua).
- **Onde secondarie (S)**: sono onde trasversali generate da forze di taglio e provocano oscillazioni nei terreni perpendicolarmente alla direzione di propagazione. Vengono anche chiamate “secondarie” perché, essendo più lente delle onde P (2-4 km/sec) giungono in superficie per seconde. Non si propagano nei liquidi e questa circostanza ha permesso di ipotizzare la presenza all’interno della Terra di un nucleo interno liquido.

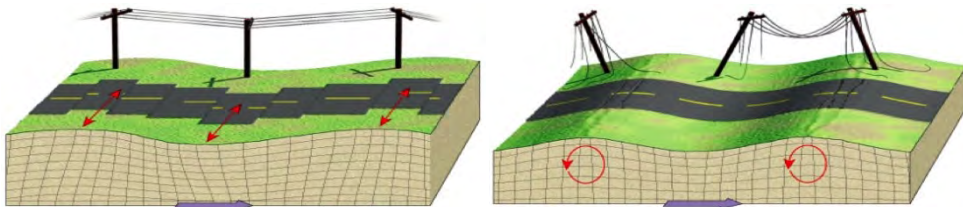


¹⁷ Nel terremoto di Sumatra del 26/12/2004 la faglia misurava 1200 km.

¹⁸ Immagini da [allanwheeler.files.wordpress.com].

Le onde sismiche, arrivando in superficie, interagiscono con essa e tra loro; le onde superficiali possono a loro volta essere suddivise in due tipi¹⁹:

- **Onde L (di Love):** provocano oscillazioni delle particelle dei terreni, trasversali alla direzione di propagazione, ma solo nel piano orizzontale, parallelo alla superficie terrestre. Sono generate dall'incontro delle Onde S con la superficie libera del terreno, ma solo nei mezzi in cui la velocità delle Onde S aumenta con la profondità (quindi in presenza di un mezzo disomogeneo) e quindi sono sempre onde disperse.
- **Onde R (di Rayleigh):** provocano un moto ellittico delle particelle dei terreni, in un piano verticale alla direzione di propagazione delle onde. Si generano quando un'onda S assieme ad un'onda P incide sulla superficie libera; vengono in parte riflesse ed in parte si genera un'ulteriore onda, data dalla composizione vettoriale delle due, che si propaga sulla superficie stessa.



Le onde superficiali possono compiere lunghe distanze prima di estinguersi; la loro velocità è inferiore a quella delle onde P e S (ma comunque attorno ai 2-3 km/sec) ed è estremamente dipendente dal tipo di terreni incontrati nel loro cammino. Questi concetti su onde e velocità ci serviranno anche più avanti, parlando di *early warning* (§2.3).

1.4. Energia e misura di un terremoto

Rilascio di energia – Scale di misura – Magnitudo – PGA – Direttività.

Abbiamo visto che un terremoto, semplificando, non è altro che energia accumulata lentamente sotto i nostri piedi e poi rilasciata in maniera improvvisa; subito dopo la faglia inizia nuovamente ad accumulare energia, fino al terremoto successivo.

A questo punto nasce il problema di capire quanta energia è stata rilasciata cioè, definire l'intensità di un sisma.

Il primo a occuparsene in maniera compiuta, seppure “indirettamente”, è stato Mercalli²⁰ tra il 1883 ed il 1902; indirettamente perché la sua scala misura l'intensità delle scosse sismiche in base agli effetti prodotti. Inizialmente di dieci gradi, fu modificata con un altro grado prima, nel 1908, a seguito del disastroso terremoto di Messina e poi, fino a essere composta di 12 gradi e diventar nota come scala MCS (scala Mercalli, Cancani, Sieberg).

¹⁹ Fonte Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia [www.ingv.it]

²⁰ Vedi nota 1.

È interessante leggere la minuziosa descrizione²¹ dei gradi della scala MCS, utilizzati per far comprendere anche a chi non ha cognizioni tecniche l'intensità relativa delle scosse sismiche:

- **I grado. Impercettibile:** evento rilevato soltanto dai sismografi.
- **II grado. Molto leggero:** avvertito soltanto da rare persone nervose, oppure molto sensibili, che si trovano in uno stato di assoluto silenzio e quasi sempre ai piani superiori dei caseggiati.
- **III grado. Leggero:** anche in zone densamente abitate viene percepito come scossa soltanto da una piccola parte delle persone che si trovano all'interno delle case, così come se passasse un'automobile a velocità elevata. Da alcuni viene riconosciuto come terremoto soltanto dopo che ne hanno parlato tra loro.
- **IV grado. Moderato:** non molte delle persone che si trovano all'aria aperta percepiscono il terremoto. All'interno delle case il sisma viene invece riconosciuto da un maggior numero di persone, ma non da tutte, in seguito al tremolio, oppure alle lievi oscillazioni dei mobili, in conseguenza delle quali la cristalleria ed il vasellame, posti a breve distanza, si urtano come quando un autocarro pesante passa su un asfalto sconnesso; i vetri delle finestre tintinnano; porte, travi ed assi in legno scricchiolano, crepitano i soffitti. In recipienti aperti i liquidi vengono leggermente smossi. In casa si ha la sensazione che venga rovesciato un oggetto pesante (un sacco, un mobile), oppure di oscillare insieme con la sedia o il letto, come avviene su una nave con mare mosso. Questo movimento tellurico di solito non provoca paura nelle persone a meno che non siano nervose o apprensive a causa di terremoti precedenti. In rari casi si sveglia chi sta dormendo.
- **V grado. Abbastanza forte:** il sisma viene percepito da numerose persone anche da quelle impegnate nelle attività giornaliere, in strada e, se sensibili, anche all'aria aperta. Nelle abitazioni si avverte la scossa in seguito al movimento ondulatorio dell'intero edificio. Si vedono le piante e le frasche, nonché i rami più piccoli dei cespugli e degli alberi agitarsi, come se ci fosse un vento moderato. Oggetti appesi come tendaggi, semafori, lampade e lampadari non troppo pesanti iniziano ad oscillare; dei campanelli risuonano; gli orologi a pendolo subiscono un arresto oppure un'accelerazione, a seconda che la direzione della scossa sia perpendicolare o normale al moto di oscillazione; allo stesso modo gli orologi a pendolo fermi possono riprendere a funzionare; le molle dell'orologio tintinnano; la luce elettrica si mette a tremolare o viene a mancare in seguito ai movimenti che interessano le linee della corrente; i quadri urtano rumorosamente contro le pareti, oppure si spostano; da recipienti colmi ed aperti vengono versate fuori piccole quantità di liquido; possono cadere a terra ninnoli ed piccoli oggetti, così come avviene anche per oggetti addossati alle pareti; gli arredi leggeri possono perfino essere un po' spostati; i mobili strepitano; le porte e le imposte si aprono e si chiudono sbattendo; i vetri delle finestre si infrangono. Si svegliano quasi tutti coloro che stanno dormendo. In qualche caso le persone fuggono all'aperto.

²¹ da Sieberg A., 1930. Geologie der Erdbeben, Handbuch der Geophysik.

- **VI grado. Forte:** il terremoto viene percepito da tutti con un certo panico, tanto che molti fuggono all'aperto, mentre alcuni hanno anche la sensazione di cadere. I liquidi si agitano fortemente; quadri, libri ed analoghi oggetti cadono dalle pareti e dagli scaffali; le stoviglie vanno in pezzi; le suppellettili, anche quelle in posizione stabile, e perfino singole parti dell'arredamento vengono spostati se non addirittura rovesciate; si mettono a suonare le campane di dimensioni minori nelle cappelle e nelle chiese, gli orologi dei campanili battono le ore. In alcune case, anche se costruite in maniera solida si producono lievi danni: fenditure nell'intonaco, caduta del rivestimento di soffitti e di pareti. Danni più gravi, ma ancora non pericolosi, si hanno su edifici mal costruiti. Si può verificare la caduta di qualche tegola e pietra di camino.
- **VII grado. Molto forte:** ragguardevoli lesioni vengono provocate all'arredamento delle abitazioni, anche agli oggetti di considerevole peso che si rovesciano e si frantumano. Rintoccano anche le campane di dimensioni maggiori. Corsi d'acqua, stagni e laghi si agitano di onde e s'intorbidiscono a causa della melma smossa. Qua e là, scivolano via parti delle sponde di sabbia e ghiaia. I pozzi variano il livello dell'acqua in essi contenuta. Danni modesti a numerosi edifici se solidamente costruiti: piccole spaccature nei muri, caduta di parti piuttosto grandi del rivestimento di calce e della decorazione in stucco, crollo di mattoni e in genere caduta di tegole. Molti camini vengono lesi da incrinature, da tegole in caduta, dalla fuoriuscita di pietre; i camini danneggiati crollano sul tetto e lo rovinano. Dalle torri e dagli edifici più alti cadono le decorazioni non ben fissate. Nelle costruzioni a traliccio, risultano ancora più gravi i danni ai rivestimenti. In alcuni casi si ha il crollo delle case mal costruite oppure riattate.
- **VIII grado. Rovinoso:** i tronchi degli alberi ondeggiando tutti in maniera molto forte ed arrivano a spaccarsi. Anche i mobili più pesanti vengono spostati lontano dal proprio posto e a volte rovesciati. Statue, pietre miliari o cose similari poste sul terreno o anche nelle chiese, nei cimiteri e nei parchi pubblici, ruotano sul piedistallo oppure si rovesciano. Solidi muri di cinta in pietra vengono fessurati ed abbattuti. Circa un quarto delle case riporta gravi danni; alcune di esse crollano; molte diventano inabitabili. Negli edifici costruiti con intelaiatura cade gran parte dei rivestimenti. Le case in legno vengono tirate giù o rovesciate. Specialmente i campanili delle chiese e le ciminiere delle fabbriche provocano con la loro caduta lesioni più gravi agli edifici circostanti di quanto non avrebbe fatto da solo il terremoto. In pendii e terreni acquitrinosi si formano delle crepe; dai terreni intrisi di acqua fuoriescono sabbia e melma.
- **IX grado. Distruttivo:** circa la metà delle case in pietra sono seriamente distrutte, molte crollano, la maggior parte diviene inabitabile. Case ad intelaiatura sono divelte dalle proprie fondamenta e compresse su se stesse, in tal modo vengono tranciate le travi di supporto degli ambienti ed in presenza di tali circostanze esse contribuiscono a distruggere considerevolmente le case.
- **X grado. Completamente distruttivo:** gravissima distruzione di circa i 3/4 degli edifici; crolla la maggior parte delle costruzioni. Perfino solidi edifici di legno e ponti ben costruiti subiscono gravi lesioni, alcuni vengono distrutti. Argini e dighe ecc., chi più

chi meno, sono danneggiati in maniera considerevole; i binari vengono leggermente piegati e le tubature (gas, acqua e scarichi) subiscono troncamenti, rotture e schiacciamenti. Nelle strade lastricate e asfaltate si formano crepe e per la pressione nel suolo si creano ampi corrugamenti ondulati. In terreni meno compatti e specialmente in quelli umidi si creano spaccature dell'ampiezza di più decimetri; in particolar modo si notano parallelamente ai corsi d'acqua fenditure che raggiungono larghezze fino a un metro. Non solo dai pendii scivola il terreno più franoso, ma interi macigni rotolano a valle. Grossi massi si staccano dagli argini dei fiumi e dalle coste scoscese; sulle rive basse e piate si verificano spostamenti di masse sabbiose e fangose; ciononostante il rilievo del terreno non subisce cambiamenti essenziali. Spesso i pozzi variano il livello dell'acqua. Da fiumi, canali, laghi, ecc. le acque vengono spinte contro le rispettive sponde.

- **XI grado. Catastrofico:** crollo di tutti gli edifici in muratura, anche se alcune solide costruzioni e le capanne di legno ad incastro di grande elasticità possono ancora resistere singolarmente. Anche i ponti più grandi e sicuri crollano a causa della caduta di pilastri in pietra o del cedimento di quelli in ferro. Argini e dighe vengono completamente staccati l'uno dall'altro, spesso anche per lunghi tratti, i binari fortemente piegati e compressi. Le tubature nel terreno vengono spaccate e rese irreparabili. Nel terreno si manifestano vari mutamenti di notevole estensione che sono determinati dalla natura del suolo: si aprono grandi crepe e spaccature ed il dissesto in direzione orizzontale e verticale è considerevole soprattutto in terreni soffici ed acquitrinosi. Si verifica di conseguenza la fuoriuscita di acqua che pur nelle sue diverse forme di travaso porta con sé sempre sabbia e melma. Sono frequenti sfaldamenti del terreni e caduta di massi.
- **XII grado. Grandemente catastrofico:** non resiste alcuna opera dell'uomo. Il suolo subisce le più grandi trasformazioni. Allo stesso modo i corsi d'acqua, sia che si trovino sulla superficie terrestre, sia che siano sotterranei, subiscono i mutamenti più disparati: si generano cascate, si formano laghi, i fiumi vengono deviati, ecc..

Si fa notare che, nella scala MCS erano già riportati concetti che attualmente sono contenuti nei più moderni trattati di Ingegneria Sismica (a rimarcare la giovane età di quest'ultima): elementi non strutturali, tamponature (o muri di tompagno) in strutture intelaiate, correlazione diretta con i pesi, aspetti geotecnici, vulnerabilità passive, liquefazione, ecc..

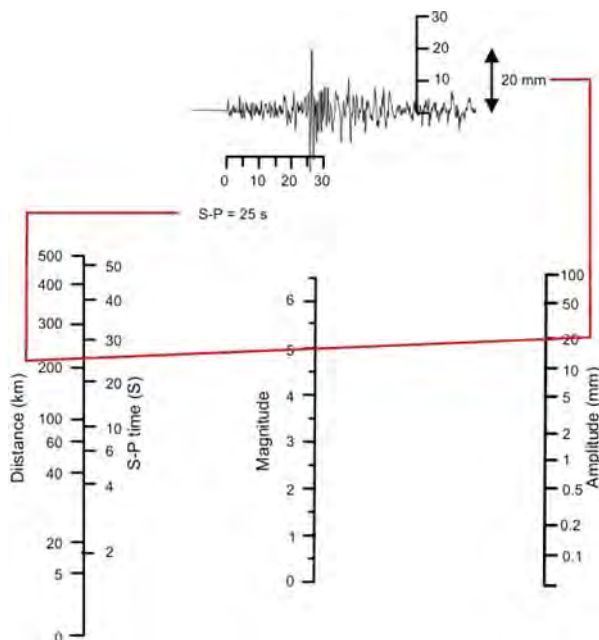
È in ogni caso evidente il grosso limite della scala MCS: è necessario che il terremoto si manifesti in un territorio antropizzato affinché i suoi effetti siano visti e sentiti. Inoltre la valutazione è completamente disgiunta dalla posizione dell'ipocentro. Per citare un esempio riportato spesso: un violentissimo terremoto nel Sahara non avrebbe alcuna classificazione perché non avvertito da nessuno, così come un distruttivo terremoto in Abruzzo sarebbe probabilmente classificato in Romagna con un 3° grado.

La scala ideata nel 1935 dal sismologo statunitense Richter²², che classifica la cosiddetta **magnitudo** di un terremoto, intende invece fornire una valutazione più oggettiva e consente di conoscere la quantità di energia liberata dalla scossa e la sua distruttività (paragonandola ad

²² Charles Francis Richter (1900-1985) è stato un fisico e sismologo statunitense.

una quantità di Tritolo equivalente). Si ottiene misurando l'ampiezza delle oscillazioni del suolo registrate dai sismografi ed ha come punto di partenza (grado zero) il terremoto che produce un sismogramma di ampiezza massima uguale a un millesimo di millimetro, registrato da un sismografo²³ che si trova a 100 chilometri di distanza dall'epicentro. Nel calcolo della magnitudo si applicano poi dei fattori di correzione per la distanza tra il sismometro e l'area sorgente del terremoto e per fattori locali dell'area in cui si trova la stazione sismica.

| Mag Richter | TRITOLO equivalente | Mag Richter | TRITOLO equivalente |
|-------------|---------------------|-------------|-----------------------------|
| 0 | 1 chilogrammo | 5 | 31 600 tonnellate |
| 1 | 31,6 chilogrammi | 5,5 | 178 000 tonnellate |
| 1,5 | 178 chilogrammi | 6 | 1 milione di tonnellate |
| 2 | 1 tonnellata | 6,5 | 5,6 milioni di tonnellate |
| 2,5 | 5,6 tonnellate | 7 | 31,6 milioni di tonnellate |
| 3 | 31,6 tonnellate | 7,5 | 178 milioni di tonnellate |
| 3,5 | 178 tonnellate | 8 | 1 miliardo di tonnellate |
| 4 | 1 000 tonnellate | 8,5 | 5,6 miliardi di tonnellate |
| 4,5 | 5 600 tonnellate | 9 | 31,6 miliardi di tonnellate |



²³ In particolare uno specifico modello di sismografo: quello a torsione di Wood-Anderson.

L'immagine precedente²⁴ mostra come si ottiene la magnitudo con il metodo Richter. Dal sismogramma si ottengono due tipi di dati: l'intervallo temporale di scarto tra le onde P e le S (che ci permette di conoscere la distanza dell'ipocentro) e l'ampiezza dell'oscillazione; unendo questi due dati mediante scale opportunamente graduate per ogni tipo di sismometro, si ottiene la magnitudo²⁵.

La seguente tabella vuole essere un raffronto con la scala MCS, descrivendo gli ipotetici effetti di terremoti di varie magnitudini vicino al loro epicentro in luoghi abitati. È di tipo qualitativo e, al pari della scala MCS, dipende dall'osservatore.

| Mag Richter | Effetti sisma |
|--------------------|---|
| 0-1,9 | Può essere registrato solo mediante adeguati apparecchi. |
| 2-2,9 | Solo coloro che si trovano in posizione supina lo avvertono; un pendolo si muove. |
| 3-3,9 | La maggior parte della gente lo avverte come un passaggio di un camion; vibrazione di un bicchiere. |
| 4-4,9 | Viene avvertito da molti; un pendolo si muove notevolmente; bicchieri e piatti tintinano; piccoli danni. Eventi con magnitudo di 4,5 o superiore sono abbastanza forti da essere registrati dai sismografi di tutto il mondo. |
| 5-5,9 | Tutti lo sentono; molte fessurazioni sulle mura; crollo parziale o totale di poche case; pericolo per la popolazione. |
| 6-6,9 | Tutti lo percepiscono; panico; crollo delle case; rischio maremoto; popolazione in pericolo. |
| 7-7,9 | Panico; pericolo di morte negli edifici; solo alcune costruzioni rimangono illese; maremoto; popolazione colpita. |
| 8-8,9 | Ovunque pericolo di morte; edifici inagibili; onde alte fino a 40 metri. |
| 9-9,9 | Totale allagamento dei territori in questione o spostamento delle terre e numerosissimi morti. Popolazione fortemente colpita. |
| 10 o più | Particolari eventi di eccezionale gravità: spaccature della Terra, totale distruzione di strutture artificiali e maremoti. |

Appare chiaro che le scale MCS e Richter non sono direttamente confrontabili ed una corrispondenza tra i valori delle due scale non può perciò che essere approssimativa²⁶.

Importante è osservare²⁷ che l'energia rilasciata da un terremoto (cui è strettamente correlato il suo potere distruttivo), è proporzionale all'ampiezza di oscillazione elevata alla 3/2. Quindi

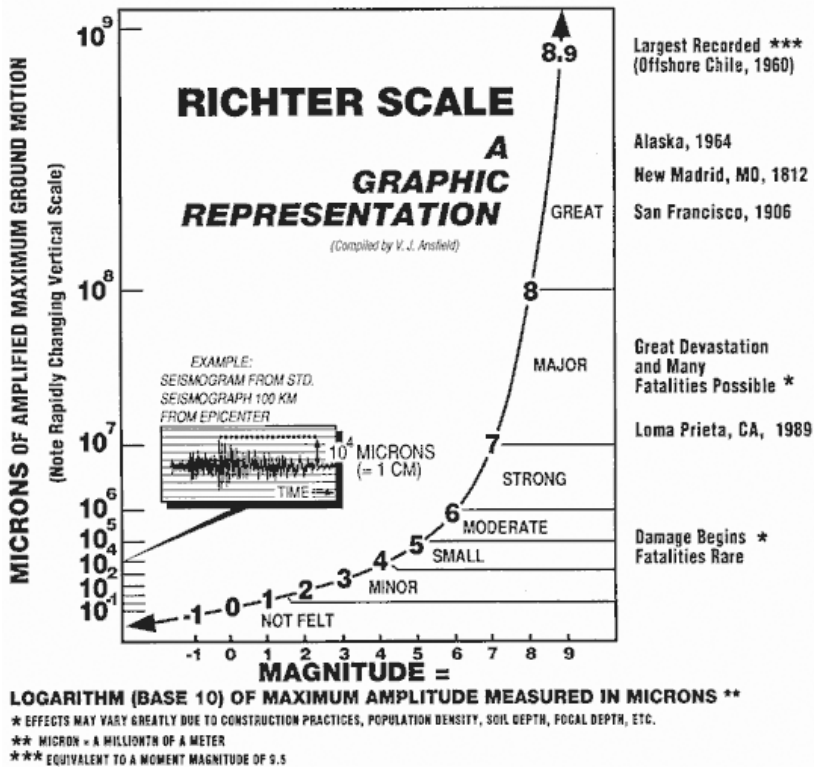
²⁴ Fonte U. S. Geological Survey [<http://www.usgs.gov>].

²⁵ Gli accelerometri o i sismometri sono trasduttori, cioè elementi che devono acquisire un segnale meccanico e trasformarlo in un dato utile ingegneristicamente; in particolare sono quindi in grado di misurare delle vibrazioni che si possono definire come l'insieme delle oscillazioni attorno ad un punto di equilibrio. Le oscillazioni sono determinate essenzialmente dalla frequenza (ovvero dal numero di oscillazioni al secondo) e dalla ampiezza (il massimo valore della grandezza).

²⁶ Un confronto indicativo tra le due scale è stato effettuato da Boschetti e Fedrizzi in "Nuovo Ecosistema Terra".

²⁷ Immagine a cura di V.J. Ansfield.

di, in termini di energia rilasciata, una differenza di magnitudo pari a 1,0 è equivalente a un fattore 31,6 (cioè $\{10^1\}^{3/2}$) mentre una differenza di magnitudo pari a 2,0 è equivalente ad un fattore 1000 (cioè $\{10^2\}^{3/2}$). Una magnitudo 4,0 sprigiona quindi un'energia pari a 1000 volte quella di una magnitudo 2,0.



La magnitudo Richter resta comunque la misura della grandezza relativa tra terremoti e non una stima della reale grandezza di un evento. Per molti sismologi le tradizionali scale di magnitudo sono obsolete perché solo debolmente correlate con le caratteristiche fisiche delle faglie.

Negli anni '70 Kanamori introdusse la magnitudo momento (M_w) derivata dal parametro sismologico "momento sismico" che equivale al prodotto tra area di faglia, dislocazione e resistenza delle rocce²⁸. Il momento sismico e la magnitudo momento rappresentano quindi la migliore stima della reale grandezza del terremoto; il momento sismico inoltre si può calcolare direttamente dal sismogramma, in particolare dalla parte a bassa frequenza (minore di 1 Hz) ma la sua determinazione richiede un certo tempo.

L'ampiezza delle onde sismiche a bassa frequenza, dove viene calcolata la magnitudo momento (al di sotto di 1 Hz), per forti terremoti è maggiore dell'ampiezza delle onde sismiche a 1 Hz, dove viene calcolata la magnitudo Richter, e questo è dovuto alle caratteristiche della

²⁸ Fonte Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia [www.ingv.it].

sorgente sismica. Questa particolarità delle onde sismiche dei forti terremoti è alla base della differenza che si osserva tra magnitudo Richter e magnitudo momento; si parla infatti di saturazione della magnitudo Richter per forti terremoti in quanto l'ampiezza delle onde sismiche a 1 Hz non aumenta linearmente all'aumentare della magnitudo.

La magnitudo Richter è ancora in uso grazie alla rapidità con la quale viene calcolata (è la prima stima che viene indicata subito dopo il manifestarsi di un evento) ma la magnitudo momento è sicuramente la migliore stima della reale grandezza di un terremoto, essendo direttamente legata alle dimensioni e alla dislocazione della sorgente sismica.

A titolo di esempio si riportano alcune interessanti considerazioni²⁹ a cura di Mucciarelli³⁰, riferite a due terremoti avvenuti a distanza di qualche giorno tra gennaio e febbraio 2015: il primo di magnitudo 4.1 in Friuli ed il secondo di magnitudo 4.3 in Emilia.

Viene fatto un confronto basato sulle mappe di risentimento³¹ rilevando che l'area interessata per l'Emilia era molto maggiore rispetto a quella friulana e sollevando il dubbio che questo dato potesse dipendere da un 0.2 di differenza di magnitudo. Essendo i due sismi stati rilevati anche dalla rete accelerometrica³² della Protezione Civile è stato possibile confrontare le **PGA**³³, ovvero la massima accelerazione al suolo.



A parità di distanza il terremoto emiliano aveva valori generalmente superiori, con un divario che aumentava con la distanza. Calcolando poi la M_w si è ricavato che il sisma emiliano aveva un valore di 4.3 contro il 3.9 di quello friulano.

Inoltre Mucciarelli evidenzia l'importanza della **direttività**³⁴ di un terremoto, cioè la tendenza che ha a “diffondersi” maggiormente in una certa direzione (piuttosto che in maniera concentrica rispetto all'epicentro); quale sarà questa direzione dipende dall'orientazione della faglia e dal modo in cui si propaga la rottura sul suo piano. Il primo dei due dati a volte è noto

²⁹ blog “terremoti, sismologia ed altre sciocchezze” 31/01/2015 [<http://tersiscio.blogspot.it/2015/01/lezioni-da-due-magnitudo-4.html?m=1>].

³⁰ Marco Mucciarelli, fisico, docente di Sismologia Applicata l'Università della Basilicata, direttore del Centro Ricerche Sismologiche dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS).

³¹ Sono mappe determinate considerando tutte le segnalazioni dei cittadini pervenute da ogni Comune, a cura di INGV mediante il portale [<http://www.haisentitoilterremoto.it>].

³² Gli accelerometri sono strumenti progettati per registrare anche forti moti del suolo senza saturarsi, mentre i sismometri nascono per registrare anche eventi piccoli o lontani e possono diventare “ciechi” quando sono troppo vicini all'epicentro.

³³ Peak Ground Acceleration.

³⁴ “Direttività e azione sismica: discussione per l'evento de L'Aquila” Chioccarelli e Iervolino.