

di Alessandra Fraschini

TERREMOTOS, CAUSA Y MEDICIONES

En geofísica los terremotos [del latín terrae motus, es decir, "movimiento de la tierra"], también conocido como sismos o temblores de la tierra que son fluctuaciones repentinas, rápidas y más o menos potentes de la corteza de la tierra, causado por el desplazamiento repentino de un macizo rocoso en el subsuelo.

Tal desplazamiento se genera por las fuerzas de naturaleza tectónica que actúan constantemente en el interior de la corteza terrestre provocando la liberación de energía en un punto interno de la tierra llamado hipocentro; esta fractura crea una serie de ondas elásticas, llamadas " ondas sísmicas ", que se propagan en todas las direcciones del hipocentro, dando lugar al fenómeno observado en la superficie; el lugar de la superficie terrestre situado sobre la vertical del hipocentro se llama epicentro y generalmente es el más afectado por el fenómeno. La rama de la geofísica que estudia estos fenómenos es la sismología.

Casi todos los terremotos que se producen en la superficie terrestre se concentran en zonas muy precisas o bien cerca de los confines entre una placa tectónica y otra: es donde están de hecho las áreas tectónicas activas, o bien donde las placas se mueven más o menos lentamente frotando o chocando la una contra la otra. En raras ocasiones los terremotos suceden lejos de las zonas de confín entre placas [terremotos intraplaca].

Sin embargo en algunos momentos y en algunas zonas, debido a las fuerzas internas, las presiones, tensiones y fricción entre las masas rocosas, tales modelados se bloquean, el área atascada acumula tensión y energía durante decenas o centenares de años, hasta que la energía es suficientemente grande para superar el bloqueo creado que cede repentinamente causando el inesperado cambio de la masa rocosa anteriormente atascada [" como un engranaje que se desbloquea "]. Tal movimiento repentino [que en pocos segundos recupera el movimiento bloqueado durante decenas o cientos de años] genera así las ondas sísmicas y por tanto

un terremoto: el constante pero lento deslizamiento entre las placas se hace en algunas áreas y en algunos momentos un tipo de movimiento snap, bloqueo y desbloqueo, que engendra así un terremoto.

■ *¿Qué es un terremoto?*

Es una repentina liberación de energía acumulada de las rocas en profundidad que, sometidas a las acciones de los continuos movimientos de la corteza terrestre, rompen largas superficies llamadas fallas. Parte de esta energía se libera en forma de ondas sísmicas, que provocan el temblor en la superficie del suelo.

Cerca de 2 millones de personas viven en zonas de riesgo sísmico y las víctimas de los terremotos desde comienzos del siglo fueron aproximadamente 1.400.000 en el mundo y en particular 150.000 en Italia.

■ *Las causas del terremoto*

Generalmente los terremotos son causados por repentinos movimientos de masas rocosas [más o menos grandes] dentro de la corteza terrestre. La superficie terrestre está en efecto en lento, pero constante movimiento [ver la tectónica de las placas] y los terremotos verifican cuando la tensión resultante acumulada de estrés mecánico excede la capacidad o resistencia del material rocoso para soportarla, es decir, supera la denominada carga de rotura. Esta condición sucede muy a menudo en los confines de las placas tectónicas. Los acontecimientos sísmicos que suceden en los confines entre placas son llamados terremotos tectónicos. Existen otros menos frecuentes que suceden dentro de las placas de la litosfera y se denominan terremotos intraplaca. Casi todos los terremotos que se producen sobre la superficie terrestre se concentran en zonas muy precisas, es decir, cerca de los confines entre una placa tectónica y otra: éstas son de hecho, las zonas tectónicamente activas, donde las placas se mueven más o menos lenta y repentinamente una con respecto a la otra. Según





la tectónica de las placas la superficie de la tierra está en efecto modelada como si consistiera en una docena de grandes placas tectónicas, que se mueven muy lentamente, a causa de las corrientes de convección en el manto, situado bajo la corteza terrestre. Dado que las placas no se mueven en la misma dirección, éstas a menudo colisionan o se deslizan lateralmente a lo largo del borde de la otra [fallas de transformación]. Generalmente el movimiento de las placas es lento, imperceptible [excepto con instrumentos adecuados] y constante; sin embargo en algunos momentos y en algunas zonas, debido a las fuerzas internas o el equilibrio entre presiones, tensiones y fricciones entre las masas rocosas, tales movimientos pasan de forma repentina [" como un engranaje atascado, que de repente se desbloquea "] desarrollando así un terremoto: el deslizamiento lento y constante entre las placas se convierte en algunas áreas y en determinados periodos en un movimiento repentino que genera un movimiento telúrico. La secundaria es aquella del movimiento magmático dentro de un volcán que puede indicar una inminente erupción junto al característico temblor. En

casos muy raros, los terremotos han sido asociados a la acumulación de grandes masas de agua en las presas de los diques, como la presa de Kariba en Zambia, Africa, y con la inyección o extracción de fluidos de la corteza terrestre [arsenal de las montañas rocosas]. Tales terremotos suceden porque la resistencia de la corteza terrestre puede ser modificada por la presión del fluido.

■ *El fenómeno físico o tectónica de las placas*

Las placas de la litosfera se apoyan sobre un estrato viscoso [astenosfera]. Su movimiento relativo es debido a un desequilibrio térmico interno de la tierra, que desencadena movimientos convectivos en el estrato correspondiente al manto.

Hay dos teorías:

El desplazamiento de las placas se supone pues que sea el mecanismo desencadenante de los terremotos.

1. comportamiento **pasivo** de las placas "flotante" sobre el manto

2. comportamiento **activo** de las placas, que toman directamente parte en el proceso convectivo, sometidas a procesos de calentamiento y enfriamiento.

■ **Tipos de fallas**

Los terremotos se verifican sobre fracturas o hendiduras de la corteza terrestre conocidos como fallas sísmicas, es decir, donde se acumula el estrés mecánico inducido por los movimientos tectónicos. Los confines entre placas tectónicas no están definidos por una simple ruptura o discontinuidad, pero esto a menudo se manifiesta a través de un sistema de más fracturas, a menudo independientes entre ellas y también paralelas por algunos rasgos, que representan precisamente las fallas. Existen diferentes tipos de fallas subdivididas según el movimiento relativo de las porciones tectónicas adyacentes a la fractura en sí misma y el ángulo del plano de la falla. El proceso de formación y desarrollo de la falla, así como los terremotos mismos es conocido como fallamiento y puede ser estudiado través de técnicas de análisis propios de la mecánica de la fractura. La intensidad de un terremoto depende de la cantidad de energía acumulada en el punto de ruptura que depende a su vez generalmente del tipo de rocas implicadas en el proceso de acumulación, es decir, desde su carga de rotura, el tipo de estrés o tensión interna y el tipo de falla.

■ **El mecanismo de génesis de los terremotos**

Las fallas se cree que son *el origen* anterior al efecto de un terremoto, generado por ellas de acuerdo a un esquema:

- ✓ Dos bloques de la corteza, separados por una superficie de falla, se encuentran en una **posición originaria** sin deformar. A lo largo de la superficie total de la falla tiene una acumulación progresiva de esfuerzos.
- ✓ Tal acumulación de esfuerzos provoca una **deformación** elástica de la zona afectada.
- ✓ Alcanzado el límite de **ruptura** en un punto, tiene un **desplazamiento** de las dos masas rocosas a lo largo de la superficie de la falla, con concomitante **liberación instantánea de energía**.
- ✓ Las dos masas rocosas alcanzan un nuevo estado de equilibrio [configuración no deformada, no coincidente con la posición originaria].

■ **Tipos de ondas sísmicas**

Se distinguen tres tipos de ondas sísmicas:

Las ondas longitudinales o de comprensión (P) – Las ondas longitudinales hacen oscilar las partículas de la

roca en la misma dirección de propagación de la ola. Estas generan “compresiones” y “rarefacciones” sucesivas en el material en el que se propagan. La velocidad de propagación depende de las características elásticas del material y de su densidad, pero generalmente viajan a una velocidad comprendida entre los 4-8 Km/s. Ya que las ondas P se propagan más rápidamente, son también primeras [P= primarias] en alcanzar los sismómetros, y después ser registradas por los sismógrafos. Estas ondas sísmicas atraviesan longitudinalmente todos los tipos de materia: sólido, líquido y gas.

Las ondas transversales o de cizalla (S)—Las ondas S o, “secundaria”, sólo se propagan en los sólidos perpendicularmente a su dirección de propagación (ondas de corte). Ellas son más lentas que las ondas P, viajando en la corteza terrestre con una velocidad entre 2-4km/s. Las ondas S no pueden propagarse a través de los fluidos y gases debido a que estos no oponen resistencia al corte. A diferencia de las ondas P las ondas S no causan variaciones de volumen.

Las ondas superficiales (R y L) Las ondas superficiales, a diferencia de lo que se podría pensar, no se manifiestan en el epicentro, pero sólo a una cierta distancia de éste. Estas ondas son el resultado de la combinación de ondas P y S, y son por eso muy complejas. Las ondas superficiales son las que causan los mayores daños.

Las ondas de Rayleigh, llamadas también ondas R, mueven las partículas según órbitas elípticas en un plano vertical a lo largo de la dirección de la propagación, como es el caso de las olas en el agua.

Las ondas de Love, también conocidas como ondas L, mueven en cambio las partículas transversalmente a la dirección de propagación [como las ondas S], pero solo sobre el plano horizontal.

Todas las ondas sísmicas están sujetas a la atenuación con la distancia en función de las características del medio de propagación.

■ **Reconocimiento y medición**

Las ondas sísmicas son detectables y medibles por instrumentos especiales llamados sismógrafos utilizados comúnmente por los sismólogos y visibles en los sismogramas; la elaboración cruzada de los datos de más sismógrafos repartidos sobre un territorio después de un terremoto nos permite estimar de manera

SISMICITA' Y RIESGO SÍSMICO

bastante exacta el epicentro, el ipocentro y la intensidad del terremoto; esta última puede ser evaluada a través de la denominada escala sísmica, principalmente la **escala de Richter**, la **escala de Mercalli** y la **escala de magnitud** del momento sísmico.

El cambio tectónico de la corteza terrestre en las 3 coordenadas espaciales a consecuencia de un fuerte terremoto se puede medir con precisión a través de técnicas de teledetección, como las encuestas geodésicas y el radar de interferometría satélite SAR en toda el área afectada del epicentro.

El **sismoscopio de Chang**, sin embargo, es la primera herramienta para la medición de los terremotos, construido en China en el 132 A.C. Las bocas de los dragones tienen bolas con un mecanismo de palanca conectado a un péndulo interno. Se creía que la dirección del epicentro era indicada por la primera bola que caía.

■ **El grado de magnitud de los terremotos**

Para medir los terremotos se indica la **magnitud (escala de Richter)**; definida por Richter en el 1935 a través de la medida de la amplitud máxima de la huella registrada por el sismógrafo, comparada con una medida de referencia estándar. Es independiente de los efectos que el terremoto provoca en los seres humanos y en los edificios. Permite comparar acontecimientos sísmicos pasados en diversas partes del mundo y en diferentes momentos. Es proporcional a la longitud de la falla y a la energía liberada. Cuanto mayor magnitud, más energía se libera.

Otro valor es la **"INTENSIDAD" (escala de Mercalli)**, la escala empírica que mide los efectos de un terremoto sobre el medio ambiente, sobre los seres humanos, sobre los edificios. Es una medida menos representativa porque depende de las condiciones de medición, pero permite clasificar los terremotos del pasado.

Además el temblor se atenúa con la distancia, a causa de la amplificación de las dimensiones de la longitud de onda y de la disipación de energía.

La amplificación es debida a las diferentes características de los estratos del terreno del ipocentro en la superficie. Aproximadamente, los terremotos que son capaces de causar víctimas y daños graves a edificios, pueden ser caracterizados por una magnitud de 5.5 en adelante. El incremento de una unidad de magnitud corresponde a un incremento de la energía emitida aproximadamente treinta veces.

■ **¿Se pueden predecir los terremotos?**

Algunos terremotos, especialmente los más fuertes, son también acompañados, precedidos o seguidos de

fenómenos naturales insólitos llamados **precursores sísmicos** como: relámpagos o resplandores (luzes telúricas); modificaciones repentinas del campo magnético, eléctrico o de la radioactividad local emisión de radón; interferencias en las comunicaciones de radio; nerviosismo de los animales; variación del nivel de la tierra o de las aguas costeras; actividad volcánica. Todas éstas manifestaciones se han reflejado en las observaciones y testimonios que han sido estudiados y en parte confirmados por la búsqueda científica que ha llegado a la explicación de cada una de ellas, aunque, en falta de un acuerdo unánime, no constituyen de hecho las medidas efectivamente reconocidas y aprobadas como al frente de la previsión.

El terremoto de Haicheng del 4 de febrero de 1975 ha sido históricamente el primer y único terremoto previsto con tales técnicas, pero en aquel caso los precursores sísmicos de naturaleza geológica fueron tan intensos y regularmente progresivos que no dejaron ninguna duda acerca de la proximidad e inminencia del acontecimiento. Ya desde el ochocientos han sido además estudiadas las correlaciones entre las variaciones de la altura del nivel hídrico y la gravedad local, así como la emisión de radón, pero lamentablemente el estado de los conocimientos actuales no han sido todavía elaborados como modelos que permitan evidenciar señales útiles para una previsión eficaz de un terremoto o de sus posibles características, intensidad y localización espacio-temporal.

La previsibilidad de los fenómenos sísmicos ha sido objeto en Italia de discusiones y polémicas fuera del ámbito científico, a causa del **terremoto de Aguila** el 6 de abril de 2009; con motivo del trágico acontecimiento, la prensa recondujo con énfasis la noticia según la cual **Giampaolo Giuliani**, un técnico de laboratorio no licenciado del INAF, que desarrolla estudios sobre los terremotos a título personal fuera del horario de trabajo del INAF, en las semanas precedentes al seísmo había sostenido varias hipótesis de la inminencia de una sacudida desastrosa procurando también algunas falsas alarmas; esto sería comprobado, a su decir, en marzo, más o menos en aquella misma región; él basó su análisis sobre el aumento repentino de emisiones de radón, pero utilizando instrumentaciones y metodología previsionales que no han sido rigurosamente aceptados como válidos por la comunidad científica.

Otra hipótesis para la previsión de un terremoto fue aquella propuesta por **Raffaele Bendandi**, un pseudo-científico autodidacta, según el cual los terremotos como las mareas son debidos a la influencia de la luna y de los demás planetas sobre la corteza terrestre.



El seguimiento de cualquier enjambre sísmico antes de un mainshock no parece conducir a resultados concretos en términos de predicción ya que la gran mayoría evoluciona sin causar catástrofes. Al estadio actual de la investigación sismológica los resultados más concretos para la **previsión de los terremotos** tendrán que basarse en la estadística a largo plazo o mediante la consulta de mapas de zonas de riesgo que tengan en cuenta el periodo de recuperación de un terremoto en un determinado territorio, calculando por lo tanto la probabilidad de que ocurra de nuevo.

Sin embargo, el intervalo de tiempo en el que se considera probable que suceda un terremoto es bastante extenso, incluso decenas de años, por lo que cualquier intento razonable de evacuación de la población será en vano.

■ **El riesgo sísmico**

El riesgo sísmico es el resultado de la combinación de tres elementos: la peligrosidad, la vulnerabilidad, la exposición.

El enfoque de defensa seguida por los terremotos en Italia en los últimos veinte años, se ha basado en la **Carta**

de peligrosidad sísmica que es más o menos la misma que hace 40 años; **Normativa antisísmica rigurosa**, pero solo para los edificios de nueva construcción, que son el 10 % del total. Y por último sobre la base de la *investigación geofísica*, por desgracia sin utilidad práctica.

En Italia se carece por completo: de un mapa de amplificación sísmica, un mapa de la vulnerabilidad sísmica, un mapa combinado de la vulnerabilidad y del valor expuesto y de la legislación de intervención sobre el patrimonio existente, que es más del 90 % del total.

Sólo es necesario planificar las prioridades de intervención, identificando las áreas específicas en las que es máxima la amplificación sísmica, los edificios individuales en los que la vulnerabilidad sísmica está alta y la combinación de los datos de amplificación con los de peligrosidad, de vulnerabilidad y del valor expuesto.

Después establecer las prioridades de intervención, porque reducir los efectos destructivos de los terremotos no solo es posible: es regla consolidada desde hace casi un siglo en todos los países sísmicos con una economía a nivel de GB.