

Previsione probabilistica operativa dei terremoti: stato delle conoscenze e linee guida per l'utilizzo

COMMISSIONE INTERNAZIONALE SULLA PREVISIONE DEI TERREMOTI PER LA PROTEZIONE CIVILE

Executive summary

1. Introduzione

In base ad un'Ordinanza emessa dal Presidente del Consiglio dei Ministri a seguito del terremoto de L'Aquila, il Dott. Guido Bertolaso, Capo del Dipartimento della Protezione Civile (DPC), ha nominato una Commissione Internazionale sulla Previsione dei Terremoti per la Protezione Civile (d'ora in avanti indicata come Commissione) al fine di (1) elaborare un rapporto sullo stato attuale delle conoscenze sulla predizione (deterministica) e sulla previsione (probabilistica) a breve termine dei terremoti tettonici, e (2) indicare linee guida per l'utilizzo di possibili precursori di forti terremoti, che includano l'uso di analisi di pericolosità sismica probabilistica, per azioni di protezione civile prima di un forte terremoto. Nella Commissione sono stati nominati geoscientisti provenienti da Cina, Francia, Germania, Giappone, Grecia, Italia, Regno Unito, Russia e Stati Uniti, con una vasta esperienza nella previsione probabilistica e nella predizione deterministica dei terremoti.

La Commissione si è riunita per la prima volta a L'Aquila il 12 maggio 2009 e ha riferito sulle proprie Risultanze e Raccomandazioni il 2 ottobre 2009. Durante questo periodo di studio, la Commissione ha analizzato criticamente le ricerche condotte sulla predizione e la previsione dei terremoti, in particolare quelle in corso in regioni sismicamente attive di tutto il mondo, ottenendo un'ampia varietà di indicazioni sugli aspetti operativi della previsione dei terremoti in Italia e altrove.

2. Previsione Probabilistica e Predizione Deterministica dei Terremoti

Questo rapporto considera sia le previsioni probabilistiche che le predizioni deterministiche. Una *predizione* è una dichiarazione deterministica per la quale un terremoto futuro accadrà o non accadrà in una particolare regione geografica, in una certa finestra temporale ed entro un intervallo di magnitudo. Al contrario, una *previsione* fornisce una probabilità (maggiore di zero ma minore di uno) che tale evento accadrà.

La Commissione ha analizzato criticamente le basi fisiche e le evidenze sperimentali sulla possibilità di prevedere i terremoti –. La rottura periodica delle faglie geologiche in terremoti caratteristici, così come potrebbe essere attesa in base a versioni semplificate della teoria del rimbalzo elastico, è di rado osservata in natura. Molti fattori complicano le sequenze di terremoti, incluse le complesse geometrie delle ramificazioni delle faglie, la natura caotica dei processi di rottura, le variazioni a piccola scala nelle forze che agiscono sulle faglie per produrre terremoti e le variazioni di queste forze dovute a terremoti generati da altre faglie.

Una strategia di predizione alternativa è la ricerca di precursori diagnostici, ossia segnali osservati prima dei terremoti che indichino dove, quando e con quale magnitudo avverrà un evento imminente. Parecchi tipi di precursori sono stati studiati in esperimenti di laboratorio sul processo di frattura delle rocce, ma l'osservazione di questi stessi precursori nella realtà si è dimostrata difficile. Le rotture di faglia che generano i terremoti si verificano in strutture geologiche fortemente variabili e in condizioni difficili da replicare in laboratorio. Inoltre, la dimensione finale della rottura, misurata dalla magnitudo del terremoto, dipende dai processi che arrestano la rottura così come da quelli che la avviano.

Lo scopo della previsione probabilistica dei terremoti è di quantificare l'informazione circa l'accadimento di futuri terremoti. Le previsioni a lungo termine forniscono stime probabilistiche su dove e con che frequenza accadranno i terremoti di diversa magnitudo, in media su intervalli di tempo di decenni. Queste informazioni sono essenziali per la realizzazione di mappe di pericolosità sismica e sono la base su cui sono fondate le metodologie operative per la previsione dei terremoti.

I terremoti tendono a raggrupparsi nello spazio e nel tempo. Forti terremoti sono sempre seguiti da repliche innescate dalle conseguenti variazioni degli sforzi nelle regioni adiacenti, e, d'altra parte, sono comuni sequenze di terremoti quali quelle che hanno preceduto il terremoto a L'Aquila del 6 aprile 2009. L'innescare e il decadimento delle repliche, come anche altri aspetti del raggrupparsi dei terremoti, mostrano regolarità statistiche su scale temporali da ore a mesi che possono essere utilizzate per previsioni probabilistiche a breve termine dei terremoti. Ulteriori informazioni sulle probabilità di terremoti a medio termine (da mesi ad anni) possono essere ottenute dalle perturbazioni sulle forze tettoniche che agiscono sulle faglie, causate dai precedenti forti terremoti.

La Commissione ha esaminato i criteri che dovrebbero essere utilizzati per qualificare a fini operativi i metodi di previsione probabilistica dei terremoti. Tutte le previsioni operative richiedono una descrizione delle loro incertezze e la qualità di un metodo di previsione dovrebbe essere valutata in base alla sua affidabilità (corrispondenza con le osservazioni raccolte nel corso di numerose prove) e capacità (prestazione rispetto ad una previsione di riferimento). Accertare la qualità di una previsione probabilistica richiede sia delle verifiche prospettive che retrospettive utilizzando la sismicità osservata. I metodi per la previsione a differenti scale spaziali e temporali dovrebbero essere tra loro consistenti; ad esempio, le previsioni a breve termine basate sul raggrupparsi dei terremoti dovrebbero essere consistenti con le previsioni a lungo termine usate nell'analisi di pericolosità sismica. L'idoneità di un metodo di previsione per scopi operativi dipende anche dal suo valore a fini decisionali.

3. Stato della previsione operativa dei terremoti

L'obiettivo della previsione operativa dei terremoti è di fornire alle comunità informazioni sulla pericolosità sismica che possano essere usate con finalità decisionali, prima di terremoti potenzialmente distruttivi. I membri della Commissione provenienti da paesi con aree ad alto rischio sismico (Cina, Grecia, Giappone, Italia, Russia, Stati Uniti) hanno fornito un rapporto su come i loro enti nazionali e regionali usano previsioni operative nella gestione del rischio sismico. Essi hanno, inoltre, descritto le loro attuali procedure per la valutazione delle predizioni deterministiche e delle previsioni probabilistiche. Nella maggiore parte di questi paesi queste valutazioni sono fatte da comitati composti di esperti nel settore sismico, che riferiscono direttamente ai responsabili degli enti.

In tutti i paesi, i modelli di previsione dei terremoti indipendenti dal tempo sono prodotti ufficiali usati nella realizzazione di mappe di pericolosità sismica. Per specifiche

aree in Giappone, Cina e Stati Uniti sono stati sviluppati modelli di previsione dipendenti dal tempo. Non sono stati ancora istituiti protocolli nazionali per l'uso operativo di previsioni a medio e a breve termine. In California, tuttavia, previsioni probabilistiche a breve termine vengono aggiornate ogni ora in base all'attività sismica e sono state istituite procedure operative per il loro utilizzo.

Metodi di previsione a breve termine sono in corso di sviluppo in molte regioni, Italia inclusa. Dopo il terremoto a L'Aquila del 6 aprile 2009, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha prodotto previsioni probabilistiche delle repliche su base giornaliera.

4. Risultanze chiave e Raccomandazioni

In accordo con l'incarico ricevuto, la Commissione ha analizzato criticamente le conoscenze sulla predicibilità (predictability) dei terremoti e la loro attuale implementazione in metodi di previsione deterministica e previsione probabilistica, e ha descritto in termini generali le valutazioni di qualità, consistenza e valore che sono necessarie per guidare l'uso operativo di tali metodi. Questa sezione illustra le risultanze chiave della Commissione e fornisce specifiche raccomandazioni relative a politiche ed azioni che possono essere intraprese dal DPC per migliorare la previsione probabilistica dei terremoti e il suo uso in Italia. La Commissione riconosce che la ricerca nel settore sismico in Italia sta già procedendo velocemente, e le sue raccomandazioni sono volte ad aiutare il DPC e le relative organizzazioni di riferimento nell'incrementare questo slancio e utilizzare i risultati della ricerca per il benessere pubblico.

A. Necessità di una previsione probabilistica dei terremoti

Il pubblico ha bisogno di informazioni sui terremoti futuri. Tuttavia, i terremoti vengono generati attraverso un processo molto complesso che si verifica nel sottosuolo ed è molto difficile da osservare. Dato lo stato attuale delle conoscenze scientifiche, singoli forti terremoti non possono essere predetti in modo affidabile per intervalli temporali di anni o meno. In altre parole, non è ancora possibile una previsione deterministica dei terremoti efficace ed affidabile.

Qualsiasi informazione circa l'accadimento futuro di terremoti contiene larghe incertezze e, pertanto, può essere valutata e fornita solo in termini di probabilità. La previsione probabilistica dei terremoti può fornire informazioni circa il verificarsi in futuro di terremoti su varie scale temporali, che vanno dal lungo termine (anni o decenni) al breve termine (mesi o meno). La previsione probabilistica è un campo della ricerca scientifica in rapida evoluzione.

Raccomandazione A.: il DPC dovrebbe continuare a seguire l'evoluzione scientifica della previsione probabilistica dei terremoti e incentivare lo sviluppo di infrastrutture e conoscenze necessarie per utilizzare le informazioni probabilistiche a scopi operativi.

B. Monitoraggio sismico

Il monitoraggio dei terremoti è progredito considerevolmente dall'inizio della rivoluzione digitale, alcuni decenni or sono. Grazie agli investimenti nelle tecnologie digitali sismiche e geodetiche (basate su dati satellitari e di terreno), si è avuto un rapido accumulo di nuovi dati sui processi riguardanti i terremoti. Tuttavia, molti dei processi chiave che controllano la rottura di una faglia, come ad esempio gli sforzi che agiscono sulle faglie per produrre terremoti e i movimenti lenti che a volte accompagnano (e potrebbero precedere) le rotture rapide delle faglie, sono ancora poco noti. È assai probabile che ulteriori investimenti mirati in tecnologie di osservazione e programmi di raccolta di dati saranno di beneficio per incrementare le capacità operative della previsione probabilistica dei terremoti.

Non tutte le informazioni di alta qualità dalle reti sismiche gestite da vari enti sono al momento disponibili per il DPC. Il monitoraggio della velocità di deformazione, così come altri tipi di analisi geodetiche, sono gestiti da vari enti che elaborano i dati utilizzando metodi indipendenti.

Raccomandazione B.1: il DPC dovrebbe coordinare i diversi enti italiani per migliorare il flusso di dati, in particolare quelli del monitoraggio sismico e geodetico, utilizzabili per la previsione operativa dei terremoti in termini probabilistici.

Raccomandazione B.2: particolare enfasi dovrebbe essere posta sull'analisi dei dati sismici in tempo reale e sulla produzione rapida di cataloghi sismici di alta qualità e di mappe di velocità di deformazione.

La determinazione delle proprietà dei terremoti in tempo quasi-reale è una capacità critica per la previsione probabilistica operativa a breve termine, incluso la previsione delle repliche e quella durante dell'evoluzione degli sciami sismici. I cataloghi sismici e le mappe di velocità di deformazione sono prodotti essenziali per sviluppare previsioni probabilistiche a lungo termine.

“Laboratori naturali” ben strumentati, come Parkfield negli Stati Uniti e Tokai in Giappone, hanno fornito osservazioni di alta densità e alta qualità circa i processi di generazione dei terremoti, inclusi i processi precursori, che sono risultati utili per verificare le ipotesi scientifiche sulla prevedibilità dei terremoti. Laboratori naturali in Italia potrebbero fornire osservazioni uniche, significative rispetto ai tipi di terremoti che si verificano nel suo contesto tettonico.

Raccomandazione B.3: dovrebbero essere supportate le opportunità di realizzare laboratori naturali ben strumentati per lo studio dei processi di generazione dei terremoti.

C. Ricerche sulla predicibilità (predictability) dei terremoti

Malgrado oltre un secolo di impegno scientifico, la comprensione della predicibilità dei terremoti rimane incompleta. Questa mancanza di comprensione si riflette nell'incapacità di predire forti terremoti in senso deterministico a breve termine. La Commissione non ha identificato alcun metodo per la predizione deterministica a breve termine di forti terremoti che sia stato dimostrato essere affidabile ed efficace.

In particolare, la ricerca di precursori che siano diagnostici di un terremoto imminente non ha ancora prodotto uno schema per la previsione deterministica a breve termine che possa avere successo. La Commissione ha analizzato criticamente la letteratura scientifica sui

fenomeni proposti come precursori diagnostici, comprese le accelerazioni della deformazione del suolo, le variazioni delle velocità delle onde sismiche, i segnali elettromagnetici, le variazioni dei livelli e di flusso in falda, le anomalie di radon e le emissioni acustiche. In regioni ben monitorate, le analisi retrospettive di dati raccolti prima di grandi terremoti, compresa la scossa principale del 6 aprile 2009 a L'Aquila, non mostrano alcuna evidenza convincente di precursori diagnostici.

In molti casi di segnalazione di presunti precursori, gli osservabili a disposizione sono contraddittori e non adatti ad una valutazione statistica rigorosa. Un problema è costituito dalla tendenza a pubblicare i risultati positivi piuttosto che i negativi, per cui la percentuale di falsi negativi (terremoto ma assenza di segnali precursori) non può essere accertata. Un secondo problema è dato dalla frequente mancanza di studi sui livelli di riferimento, che stabiliscano i livelli di rumore nelle serie temporali osservate. Poiché il comportamento dei segnali in assenza di terremoti è spesso non caratterizzato, la percentuale di falsi positivi (segnale ma assenza di terremoto) è sconosciuta. Senza poter vincolare l'entità di questi errori, non è possibile valutare le proprietà diagnostiche dei segnali osservati.

I metodi che utilizzano la distribuzione della sismicità regionale per predire forti terremoti sono stati oggetto di considerevoli ricerche. Sottoclassi basate su tecniche di *pattern recognition* sono in corso di verifica in senso prospettivo e alcune tecniche mostrano un guadagno di probabilità relativamente alle previsioni probabilistiche a lungo termine. Tuttavia, a causa delle percentuali di errore e della larga estensione areale, questi metodi non forniscono ancora la capacità diagnostica necessaria per le previsioni deterministiche operative.

Malgrado questa valutazione negativa, la ricerca di precursori diagnostici non dovrebbe essere abbandonata, e si rende necessaria ancora più ricerca di base sui processi di generazione dei terremoti. L'attuale conoscenza dei precursori dei terremoti è limitata, e molte osservazioni interessanti devono essere ancora pienamente esplorate. Tra le importanti recenti scoperte ci sono le deformazioni transienti, che si propagano lungo alcune faglie ai limiti di placca con velocità molto più lente delle rotture sismiche ordinarie. Ricerche su questi fenomeni miglioreranno la comprensione dei terremoti e potrebbero condurre a risultati con implicazioni per la previsione probabilistica operativa dei terremoti.

Raccomandazione C.1: un programma di ricerca di base focalizzato sulla comprensione scientifica dei terremoti e della loro predicibilità dovrebbe essere parte di un programma nazionale equilibrato per lo sviluppo della previsione probabilistica operativa.

Anche se la ricerca di precursori diagnostici dovrebbe continuare come componente della ricerca di base, la Commissione non vede con ottimismo la possibilità che precursori diagnostici possano fornire, nel breve futuro, una base operativa per la previsione deterministica dei terremoti. La migliore strategia operativa è quella di accelerare lo sviluppo della previsione probabilistica dei terremoti.

D. Sviluppo di modelli di previsione probabilistica a lungo termine

I modelli più semplici e più largamente utilizzati per la previsione probabilistica a lungo termine assumono che i terremoti avvengano in maniera aleatoria nel tempo, ossia che la sismicità sia un sistema senza memoria. Tali modelli, indipendenti dal tempo, costituiscono attualmente gli strumenti di previsione probabilistica più importanti per la Protezione Civile per la prevenzione dei danni sismici, poiché forniscono informazioni fondamentali su dove i terremoti avverranno, quanto forti essi possono essere e con quale

frequenza potrebbero avvenire. Queste previsioni costituiscono la base per la realizzazione di mappe di pericolosità sismica che guidano le regole per la sicurezza sismica delle normative sulle nuove costruzioni, per la progettazione antisismica basata sulle prestazioni e per altre pratiche ingegneristiche volte alla riduzione del rischio, quali l'adeguamento sismico degli edifici più vecchi. Come dimostra l'esperienza di vari paesi, le misure più efficaci che le comunità possono adottare per garantire la sicurezza dai terremoti sono codici rigorosi per le nuove costruzioni e regole di adeguamento antisismico per le costruzioni esistenti.

Per l'Italia, la previsione probabilistica dei terremoti indipendente dal tempo, che è stata pubblicata nel 2004, aveva identificato la regione aquilana tra quelle con il più alto potenziale di scuotimento atteso del suolo. In terremoti recenti, alcune aree hanno sperimentato uno scuotimento del suolo più alto di quello atteso, specialmente nei pressi della faglia e in specifici siti le cui caratteristiche geologiche e dei suoli hanno amplificato il movimento del terreno. Ciò è probabilmente dovuto al fatto che l'attuale mappa italiana di pericolosità non include né gli effetti di amplificazione locale né gli effetti di propagazione delle onde sismiche vicino alla faglia.

Inoltre, l'attuale mappa di pericolosità sismica d'Italia si basa su sorgenti sismiche distribuite in volumi sismogenici, piuttosto che su sorgenti associate a faglie cartografate. Procedere verso una previsione probabilistica basata su faglie singole, del tipo dei modelli di pericolosità sismica per il Giappone e gli Stati Uniti, potrebbe migliorare la previsione probabilistica indipendente dal tempo. Tuttavia, la complessità tettonica dell'Italia rende molto difficile un'enumerazione completa di singole faglie. Le ricerche in corso su rappresentazioni di 'sistemi di faglie' che aggregano faglie individuali in volumi sorgente appaiono essere un passaggio intermedio credibile.

Una classe di modelli a lungo termine tiene conto in qualche modo di una memoria a lungo termine degli eventi passati, che rende la probabilità dei terremoti dipendente dal tempo. Ad esempio, dopo un terremoto su un segmento di faglia, un altro terremoto su quel segmento può essere meno probabile fino a che non sia passato un lasso di tempo tale da permettere una ricarica degli sforzi sufficiente per un'altra rottura. In Italia, a causa della complessità tettonica, questo tipo di modello *renewal* è difficile da applicare e rimane in fase di ricerca. Una seconda classe di modelli dipendenti dal tempo si basa sul raggruppamento spazio-temporale a lungo termine dei terremoti osservati nei cataloghi storici.

Un'incertezza fondamentale nella previsione probabilistica a lungo termine dei terremoti è il breve intervallo di campionamento disponibile in base ai cataloghi della sismicità strumentale e storica. Anche se l'Italia ha una lunga documentazione storica per i terremoti, gli intervalli di ricorrenza sono ancora altamente incerti. L'attività di campo per l'identificazione delle faglie attive, delle loro velocità di scorrimento e dei tempi di ricorrenza è dunque necessaria.

Raccomandazione D.1: il DPC dovrebbe continuare ad orientare i suoi programmi di ricerca verso lo sviluppo di modelli di previsione probabilistica indipendenti e dipendenti dal tempo con l'obiettivo di migliorare le mappe di pericolosità sismica di lungo termine-a fini operativi.

E. Sviluppo di modelli di previsione probabilistica a breve termine

Per scale di tempo brevi, tipicamente meno di qualche mese, le sequenze dei terremoti mostrano una sensibile concentrazione nello spazio e nel tempo; un terremoto può innescarne altri. La probabilità di innesco aumenta con la magnitudo della scossa principale, e diminuisce con il passare del tempo secondo semplici (pressoché universali) leggi di scala.

Questi andamenti spiegano molti degli aspetti statistici osservati nei cataloghi sismici, quali le repliche, e possono essere utilizzati per costruire previsioni a breve termine.

Se opportunamente applicate, le previsioni probabilistiche di repliche a breve termine hanno un'utilità a livello operativo, poichè permettono alle autorità di protezione civile e alla popolazione in generale di pianificare in anticipo il loro comportamento durante le repliche che inevitabilmente seguono forti terremoti. La previsione probabilistica delle repliche può probabilmente essere migliorata incorporando maggiori informazioni sulla distribuzione della deformazione e sul contesto geologico relativi alla scossa principale, come ad esempio descrizioni più dettagliate dei sistemi di faglie locali.

Raccomandazione E.1: il DPC dovrebbe incrementare gli sforzi per migliorare la capacità operativa di previsione statistica delle repliche.

I modelli di innesco e di raggruppamento dei terremoti utilizzati nella previsione probabilistica delle repliche possono essere più in generale applicati alle previsioni probabilistiche a breve termine. Ulteriori informazioni dall'analisi retrospettiva delle scosse che possono precedere quella principale, degli sciami sismici e altri aspetti del comportamento sismico possono essere utilizzate per migliorare le stime di probabilità dei terremoti a breve termine.

Raccomandazione E.2: il DPC dovrebbe supportare lo sviluppo di metodi di previsione probabilistica dei terremoti basati sulle variazioni di sismicità per quantificare le variazioni di probabilità a breve termine.

F. Verifica dei metodi di previsione probabilistica dei terremoti

I modelli di previsione probabilistica a fini operativi dovrebbero dimostrare affidabilità ed efficacia rispetto a consolidati modelli di riferimento, quali i modelli a lungo termine indipendenti dal tempo. Molti schemi proposti per la previsione probabilistica dei terremoti non possono essere accettati come candidati per scopi operativi in quanto essi non mostrano guadagni significativi di probabilità rispetto a una previsione di riferimento.

La verifica dell'affidabilità e dell'efficacia richiede la valutazione obiettiva di quanto il modello previsionale corrisponda ai dati raccolti dopo che la previsione è stata fatta (verifica prospettiva), così come il confronto con i dati precedentemente registrati (verifica retrospettiva). L'esperienza ha mostrato come tali valutazioni sono fortemente diagnostiche quando le procedure di verifica sono conformi a standard rigorosi e quando la verifica prospettiva è cieca. È in corso una collaborazione internazionale, a cui partecipano ricercatori italiani, per stabilire standard e infrastrutture per la verifica comparativa di modelli di previsione probabilistica dei terremoti.

Raccomandazione F.1: l'affidabilità e l'efficacia dei metodi di previsione probabilistica ad uso operativo dovrebbero essere scientificamente verificati, utilizzando i dati disponibili, sull'affidabilità ed efficacia, sia retrospettivamente che prospettivamente. Tutti i modelli operativi dovrebbero essere sottoposti ad una continua verifica prospettiva.

Raccomandazione F.2: Le infrastrutture internazionali di collaborazione in corso di sviluppo per verificare i metodi prospettivi di previsione probabilistica dei terremoti dovrebbero essere usate come uno strumento per la verifica di modelli di previsione probabilistica in Italia.

Attualmente, la gran parte degli sforzi di verifica è basata sulla valutazione della corrispondenza delle previsioni dei terremoti direttamente con i dati di sismicità. Tuttavia, in una prospettiva operativa, il valore della previsione può essere valutato al meglio in termini di scuotimento del suolo. In altre parole, la valutazione delle previsioni probabilistiche dei terremoti è ottimizzata quando viene accompagnata anche da una verifica della rispondenza della pericolosità sismica prevista con gli scuotimenti del suolo effettivamente osservati..

G. Utilizzo delle previsioni probabilistiche dei terremoti

L'utilizzo delle previsioni probabilistiche dei terremoti per la mitigazione del rischio e per una adeguata preparazione ai terremoti necessita di due componenti base: informazioni scientifiche espresse in termini di probabilità di eventi pericolosi, e protocolli che stabiliscano come le probabilità possono essere trasposte in azioni di mitigazione e di preparazione al terremoto.

Un sistema efficiente per assistere gli organi decisionali è la creazione di un comitato di esperti che si riunisca regolarmente per impegnarsi nella pianificazione e preparazione e per interpretare i prodotti dei modelli di previsione probabilistica e qualsiasi altra informazione rilevante. La responsabilità di questo comitato deve includere la redazione di sintesi tempestive delle informazioni necessarie per le opportune valutazioni durante le crisi sismiche e anche in "tempo di pace". Esso fornirebbe inoltre un meccanismo per la valutazione *ad hoc* di predizioni deterministiche di terremoti.

Raccomandazione G.1: dovrebbe essere creato un comitato di esperti indipendenti al fine di valutare metodi di previsione probabilistica e interpretate i loro prodotti. Questo comitato dovrebbe riferire direttamente al Capo del DPC.

Una delle sfide più importanti nell'uso operativo delle previsioni probabilistiche è la loro trasposizione in attività decisionali in un contesto di bassa probabilità. La maggior parte dei precedenti lavori sulla pubblica utilità delle previsioni probabilistiche dei terremoti presupponeva che le previsioni fornissero alte probabilità di accadimento di forti terremoti, cioè che sarebbero state possibili predizioni deterministiche. Tale aspettativa non si è realizzata. Le attuali politiche di previsione probabilistica devono essere adattate ad un contesto di bassa probabilità, quale è l'Italia. Sebbene il valore delle previsioni probabilistiche a lungo termine per garantire la sicurezza sismica sia piuttosto chiaro, l'interpretazione di previsioni probabilistiche a breve termine è problematica poiché le probabilità di terremoti possono variare di diversi ordini di grandezza pur rimanendo tipicamente basse in senso assoluto.

Ad oggi non esiste un approccio formale per convertire le probabilità dei terremoti in azioni di mitigazione. Una strategia che può assistere gli organi decisionali è la predisposizione di soglie di probabilità dei terremoti per le azioni di mitigazione. Queste soglie dovrebbero essere supportate da analisi oggettive, per esempio da analisi costi/benefici, al fine di giustificare le azioni intraprese in un processo decisionale.

Raccomandazione G.2: protocolli quantitativi e trasparenti dovrebbero essere stabiliti per le attività decisionali che includano azioni di mitigazione con differenti impatti, azioni che verrebbero implementate se determinate soglie nella probabilità dei terremoti fossero superate.

H. Comunicazione al pubblico delle informazioni sui terremoti

Fornire previsioni probabilistiche al pubblico in modo coordinato rappresenta un'importante capacità operativa. Una buona informazione rende la popolazione consapevole del corrente stato di pericolosità, diminuisce l'impatto di informazioni infondate e contribuisce a ridurre il rischio sismico e a migliorare la preparazione ai terremoti. Usando tecnologie basate sul web, le previsioni probabilistiche dei terremoti possono essere rese disponibili per il pubblico con continuità, non solo durante le crisi ma anche in tempi in cui la probabilità di avere eventi maggiori è bassa. Questo educerebbe la popolazione alle variazioni dell'attività sismica, accrescendo l'efficacia della comunicazione pubblica in caso di un evento estremo, ridurrebbe le critiche ingiustificate e avrebbe un'influenza positiva sulla volontà pubblica di partecipare al sistema di protezione civile. L'esperienza in differenti aree soggette a terremoti ha mostrato che l'informazione diretta attraverso siti web ufficiali accessibili al pubblico, come anche appositi programmi TV, rappresentano modi di comunicare efficaci e bene accettati. I principi per una comunicazione pubblica efficace sono stati stabiliti da ricerche nell'ambito delle scienze sociali e dovrebbero essere applicati nel comunicare le informazioni sulla pericolosità sismica.

Raccomandazione H: il DPC, secondo i principi delle scienze sociali sull'efficacia della comunicazione pubblica, e di concerto con le organizzazioni partner, dovrebbe informare con continuità il pubblico circa la situazione sismica in Italia sulla base delle previsioni probabilistiche.

I. Roadmap per l'implementazione

La Commissione ha identificato diverse attività connesse tra loro che potrebbero migliorare le basi scientifiche e l'affidabilità delle previsioni probabilistiche operative dei terremoti. Questa sezione riassume le azioni che emergono dalle nostre conclusioni principali al fine di utilizzare le tecniche di previsione probabilistica al momento oggetto di studi, a fini di protezione civile.

L'elaborazione di qualsiasi nuovo protocollo operativo richiede uno sviluppo in tre fasi. La prima è una fase di ricerca, in cui si raccolgono le informazioni e si costruiscono i modelli di previsione probabilistica. Questa dovrebbe essere seguita da una fase di valutazione, in cui i modelli di previsione probabilistica sono confrontati in termini di qualità e consistenza, seguita poi da una fase di implementazione che include la verifica del valore della previsione, che può essere usato a sua volta per definire soglie per azioni di protezione civile. Chiaramente, ogni implementazione di nuovi metodi di previsione probabilistica deve essere fatta in un appropriato quadro di indirizzi, che possa pesare i costi rispetto ai benefici e i potenziali vantaggi rispetto ai possibili rischi. Le seguenti azioni sono in corso o sono state avviate dal DPC e dai principali enti italiani.

1. Azioni in corso

- Incoraggiare la ricerca di base sui terremoti e sulla loro predicibilità.
- Continuare un programma di ricerca orientato allo sviluppo di mappe di pericolosità sismica a lungo termine, al fine di fornire un modello di riferimento di base nei confronti del quale altri modelli possono essere giudicati per la loro capacità di previsione.
- Sviluppare la capacità di integrare differenti flussi di dati sismici e geodetici raccolti da

differenti enti e fornire un'infrastruttura di elaborazione in tempo reale, in modo che dati e informazioni di base da essa derivati possano essere forniti in maniera consistente e veloce.

- Accumulare esperienze attraverso l'esercizio della previsione probabilistica delle repliche inteso come il miglior esempio corrente di una previsione relativamente efficace a bassa probabilità, e anticipare l'uso potenziale di altre forme di previsione probabilistica basate sull'osservazione di raggruppamenti di terremoti.
- Incoraggiare le istituzioni competenti a partecipare a programmi globali di valutazione per quantificare l'affidabilità e l'efficacia delle previsioni probabilistiche dei terremoti in relazione alle conoscenze attuali.
- Informare in modo continuo il pubblico fornendo informazioni accessibili, appropriate e tempestive sullo stato corrente della pericolosità sismica, basate sulle previsioni di probabilità.

2. Azioni da intraprendere

La Commissione ha stabilito che la scienza della previsione probabilistica ha raggiunto un livello in cui possono essere ottenuti dei guadagni di probabilità al di sopra di una probabilità di fondo, sebbene in un contesto di bassa probabilità. Sono stati proposti diversi modelli di previsione che quantifichino le probabilità ed è in corso uno sforzo generalizzato per stabilire l'affidabilità e l'efficacia di tali modelli. Si raccomanda di anticipare attraverso le seguenti azioni l'emergere di tali modelli di previsione probabilistica valutati scientificamente attraverso le seguenti azioni:

- Istituire una struttura scientifica di consulenza che riferisca al Capo del DPC per fornire assistenza specialistica e aggiornamenti a intervalli regolari e rapidamente in tempi di crisi.
- Determinare come risultati scientifici sulla capacità di previsione probabilistica possano essere forniti in modo utile agli organi decisionali. Questo può essere fatto attraverso un gruppo di lavoro con rappresentanti degli enti competenti e ricercatori di scienze sociali, così come sismologi, che riferisca alla struttura scientifica di consulenza.
- Realizzare un'infrastruttura adeguata per utilizzare le previsioni a bassa probabilità per scopi operativi.

L'implementazione deve essere orchestrata in modo da ridurre la vulnerabilità delle comunità e migliorarne la resilienza. L'esame scientifico, legittimo e responsabile, del grado di predicibilità di popolazioni di terremoti non sostituisce quelle azioni di protezione civile da fare in largo anticipo sul terremoto, per esempio nell'ambito della progettazione di nuovi edifici o dell'adeguamento di quelli esistenti a maggior rischio.

5. Membri della Commissione

Thomas H. Jordan, Chair of the Commission
Director of the Southern California Earthquake Centre
Professor of Earth Sciences, University of Southern California, Los Angeles, USA

Yun-tai Chen
Professor and Honorary Director, Institute of Geophysics
China Earthquake Administration, Beijing, China

Paolo Gasparini, Secretary of the Commission

Professor of Geophysics, University of Napoli “Federico II”, Napoli, Italy
President of the AMRA (Analisi e Monitoraggio del Rischio Ambientale) Scarl,

Raul Madariaga
Professor at Department of Earth, Oceans and Atmosphere
Ecole Normale Superieure, Paris, France

Ian Main
Professor of Seismology and Rock Physics
University of Edinburgh, United Kingdom
Co-Director of the Edinburgh Collaborative of Subsurface Science and Engineering

Warner Marzocchi
Chief scientist, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Rome, Italy

Gerassimos Papadopoulos
Research Director, Institute of Geodynamics
National Observatory of Athens, Athens, Greece

Gennadi A. Sobolev
Professor and Head of the Seismological Department, Institute of Physics of the Earth
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Koshun Yamaoka
Professor and Director
Research Center for Seismology, Volcanology and Disaster Mitigation
Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Nagoya, Japan

Jochen Zschau
Director Department of Physics of the Earth
Helmholtz-Center, GFZ, German Research Centers for Geosciences, Potsdam, Germany