

De Shape Files (shp, dbf, shx) per la definizione delle aree Target

Sfoggia... 3 file selezionati.

Catalogo shapeTargetAreaTest.dbf  
Catalogo shapeTargetAreaTest.shp  
Catalogo shapeTargetAreaTest.shx

Metodo di Valutazione della Completezza selezionato:

**Completezza statistica Albarello et al., 2001**

Parametri per la Completezza:

Valore minimo per il primo intervallo di magnitudo

4.5

Valore massimo di magnitudo (viene arrotondato per eccesso)

7.72

Passo di incremento del valore minimo di magnitudo

0.5

Raggio di ricerca (in Km)

20

# RAPPORTI TECNICI INGV

L'applicazione web AutoRate per il declustering, la stima di completezza di un catalogo e di tassi di sismicità



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

406

5 Usa il metodo con intervalli di magnitudo a soglia (se non selezionato imposta bin)

Quando  $N'=0$ ,  $P(C|R)=1$ , come nella pubblicazione (se non selezionato imposta  $P(C|R)=0$ )

Forza  $P(C|R)=0$  durante i primi due passi di elaborazione

**Direttore Responsabile**

Valeria DE PAOLA

**Editorial Board**

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

**Segreteria di Redazione**

Francesca DI STEFANO - Referente  
Rossella CELI  
Barbara ANGIONI  
Tel. +39 06 51860068  
redazionecec@ingv.it

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

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



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

# RAPPORTI TECNICI INGV

L'applicazione web AutoRate per il declustering, la stima di completezza di un catalogo e di tassi di sismicità

*The web application AutoRate to decluster, to estimate completeness of a catalog and seismicity rates of source zones*

Francesco Martinelli, Carlo Meletti

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Pisa

Accettato 5 novembre 2018 | Accepted 5 November 2018

Come citare | How to cite Martinelli F., Meletti C., (2019). L'applicazione web AutoRate per il declustering, la stima di completezza di un catalogo e di tassi di sismicità. Rapp. Tec. INGV, 406: 1-28.

In copertina Parametri per valutare la Completezza statistica con il metodo Albarello et al. [2001] | Cover Parameters used to evaluate the statistical completeness using method Albarello et al. [2001]

406



# INDICE

<b>Introduzione</b>	<b>7</b>
<i>Introduction</i>	7
<b>1. Premessa</b>	<b>7</b>
<b>2. La stima della pericolosità sismica</b>	<b>8</b>
<b>3. I cataloghi</b>	<b>11</b>
<b>4. Gli algoritmi di decluster</b>	<b>12</b>
4.1 Gardner e Knopoff [1974]	12
4.1.1 Gardner e Knopoff – implementato da J. Douglas Zechar	12
4.1.2 Gardner e Knopoff – implementato dal CPS	13
<b>5. Gli algoritmi per valutare la Completezza</b>	<b>13</b>
5.1 Completezza storica	13
5.2 Completezza statistica	14
5.2.1 Albarello et al. [2001]	14
5.2.2 Stepp [1971; 1972]	15
<b>6. Gli algoritmi di Fitting</b>	<b>16</b>
6.1 Metodo dei minimi quadrati	16
6.2 Metodo di Weichert [1980]	17
<b>7. Dettagli implementativi</b>	<b>17</b>
7.1 Le interfacce definite	17
7.1.1 ICatalogo	18
7.1.2 IElementoCatalogo	18
7.1.3 IDecluster	18
7.1.4 ICompletezza	18
7.1.5 IAlgoritmoFitting	18
7.2 Shapefile	19
<b>8. Esempi d'uso</b>	<b>19</b>
8.1 Ottenere un Decluster	20
8.2 Ottenere una Completezza	22
8.3 Ottenere un Fitting	23
<b>9. Conclusioni</b>	<b>24</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>25</b>



## Introduzione

Durante le analisi per l'elaborazione di un modello di pericolosità sismica, quando si trattano i vari elementi di input, vengono svolte alcune operazioni ricorrenti che è possibile automatizzare; in questa fase vengono svolte parecchie decine o centinaia di test e di analisi di sensibilità basati su procedure standard e codici prefissati. Diventa pertanto importante assicurarne la correttezza, riducendo sia l'intervento umano che la possibilità di introdurre errori.

In particolare abbiamo identificato come automatizzabili le operazioni di: **decluster** di un catalogo, stima della **completezza** dello stesso, valutazione dei **tassi di sismicità** per aree sorgente secondo la distribuzione di Gutenberg-Richter (G-R; [Gutenberg & Richter, 1944]).

Per eseguire tali operazioni è stata sviluppata una applicazione web, **AutoRate**, che consente di appoggiarsi a database (anche geografici) condivisi tra gli utenti, di avere codice sempre aggiornato per tutti in tempo reale e l'utilizzo di risorse condivise senza appesantire i computer dei singoli utenti. L'applicazione dà la possibilità all'utente di scegliere fra differenti approcci per le diverse operazioni – oltre ad essere esplicitamente progettata per accoglierne di nuovi. Il formato del risultato di ciascun tipo di operazione è indipendente dall'algoritmo scelto: ogni formato è stato pensato sia per permettere un facile e rapido confronto, sia per l'utilizzo immediato nei codici di calcolo della pericolosità sismica.

## Introduction

*During the process for assessing seismic hazard there are some recurring operations which can be automated, which are about analysing the input data elements. The recurring operations are based on standard procedures and well known algorithms, and are performed a number of times in the range of tens, or even hundreds. It is therefore important to guarantee the correctness of the elaborations, and to reduce the human intervention which is always a potential source of errors.*

*Specifically, we identified the following operations to be automated: **the declustering** of a catalog, **the estimate** of the **catalogue completeness**, **the estimation of seismicity rates** of source areas according to the Gutenberg-Richter distribution (G-R; [Gutenberg & Richter, 1944]).*

*To perform the above operations, we developed a web application, **AutoRate**. The application allows to use databases (including geographical databases) shared between the users, to have the code always updated and available to all the users, to use shared dedicated resources to perform the elaborations removing the load on personal computers. The application offers the users to choose different approaches for each operation; additionally, it is explicitly designed to host new approaches. The output format of each type of operation is independent from the selected algorithm. Each output format is designed to allow a rapid and simple comparison and to be immediately usable as input for the computation of the seismic hazard.*

## 1. Premessa

Questo programma è stato inizialmente concepito [Meletti et al., 2013] come libreria interna ad uno sviluppo di CrisisWeb [Ordaz et al., 2013], per fornire in automatico i parametri di sismicità da passare alle routine interne dell'applicazione per il calcolo della pericolosità di un'area sorgente. CrisisWeb è un codice per il calcolo della pericolosità sismica, sviluppato dall'Universidad Nacional

Autónoma de México (UNAM) come applicazione stand alone e reingegnerizzato come web application nell'ambito del progetto DPC-INGV 2007-2009 S2 [Martinelli e Meletti, 2009].

La libreria AutoRate è stata successivamente dotata della possibilità di fornire all'utente report dei risultati intermedi ottenuti durante le elaborazioni, in particolare per quanto riguarda il calcolo dei periodi di completezza del catalogo ed il calcolo dei parametri della distribuzione G-R.

L'utilizzo del codice come libreria di CrisisWeb è però vincolato all'utilizzo di CrisisWeb, che tra l'altro impone la selezione di tutti gli elementi di input prima dell'esecuzione del calcolo di pericolosità. Tale requisito, nel caso di elaborazioni finalizzate alla produzione dei soli risultati intermedi o di test non risulta pratico: ad esempio deve essere sempre definita un'area su cui fare il calcolo dei tassi, che non è sempre necessaria per le elaborazioni di AutoRate; i file di input devono risiedere sul server; i risultati anche intermedi vengono prodotti sul server ed è necessario ogni volta trasferirli in locale.

In CrisisWeb, per motivi architettureali, le operazioni di decluster non possono essere richieste dagli utenti tramite interfaccia online: il catalogo risultante deve essere inserito direttamente nel sistema (cioè sul server da un amministratore), e diventa subito disponibile a tutti, creando ridondanze di opzioni non sempre desiderabili. In generale, tutti i cataloghi utilizzabili devono essere inseriti nel sistema, e non è possibile per l'utente fornire direttamente un proprio catalogo, magari per fare un solo test in autonomia.

All'interno del Centro Pericolosità Sismica dell'INGV (CPS; <https://ingvcps.wordpress.com/>), nell'ambito anche del programma per l'aggiornamento del modello di riferimento della pericolosità sismica in Italia (MPS16; <https://ingvcps.wordpress.com/2015/04/02/aggiornamento-del-modello-di-pericolosita-sismica-di-lungo-termine-per-litalia/>) e nell'ottica di una maggiore flessibilità e facilità d'uso, è stato deciso di trasformare la libreria AutoRate in una applicazione indipendente, anche per eliminare le problematiche appena descritte.

CrisisWeb è un'applicazione scritta in VisualBasic e quindi il server su cui gira è vincolato al sistema operativo Windows, così come le librerie utilizzate (compreso anche AutoRate). Il CPS ha scelto come politica di svincolarsi, per quanto possibile, dal sistema operativo su cui vengono eseguite le proprie applicazioni, ed a tale scopo è stato deciso di rendere il codice AutoRate indipendente dal sistema operativo, traducendolo in linguaggio Java e costruendo una nuova interfaccia utente, mantenendo comunque la caratteristica di essere utilizzabile tramite un browser web.

Il presente lavoro si pone l'obiettivo di dare una descrizione della struttura dell'applicazione, del suo utilizzo pratico (formati dei dati di input, output, algoritmi implementati, opzioni per ciascun algoritmo), ed infine delle possibilità di sviluppare moduli per nuovi algoritmi da aggiungere all'applicazione.

L'applicazione è stata pensata per compiere velocemente test di sensibilità, in quanto la costruzione di un modello definitivo deve essere, a nostro parere, compiuta e verificata puntualmente dall'utente.

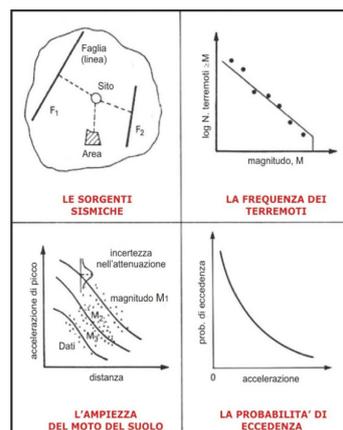
## 2. La stima della pericolosità sismica

La pericolosità sismica è una stima dello scuotimento atteso in una certa area in un certo periodo di tempo. In quanto tale è una valutazione dell'accadimento di un fenomeno sismico, per la quale è necessario prendere in considerazione tutti i terremoti che possono verificarsi in un intorno rispetto al sito di interesse, tali da provocarvi un risentimento.

Generalmente si utilizza un approccio probabilistico contrapposto a quello deterministico.

Tradizionalmente il secondo approccio è usato per la progettazione di impianti particolarmente importanti dal punto di vista economico e strategico (*in primis* centrali nucleari), mentre il primo viene preferito per la progettazione di edifici o strutture ordinarie.

L'approccio probabilistico si basa sulla valutazione di tutte le sorgenti sismogenetiche che interessano l'area in esame, sulla stima, per ognuna, dei ratei di ricorrenza (o frequenze) dei terremoti per classi di magnitudo, sulla valutazione, mediante modelli empirici di attenuazione del moto del suolo, di quali scuotimenti si producono al sito di interesse. Combinando il contributo di ogni sorgente per ogni classe di magnitudo, in termini di numero di eventi rilasciati nel tempo, e la relativa distribuzione nello spazio dello scuotimento, possiamo calcolare una curva di pericolosità sismica per ogni sito, ovvero la frequenza annuale di superamento per ogni valore di scuotimento (Figura 1). Questo metodo è noto come approccio di Cornell-McGuire [Cornell, 1968; McGuire, 1978]. Si ha pertanto la necessità di definire un inventario delle sorgenti sismogenetiche, siano queste aree, oppure faglie o celle, e di definirne la sismicità (intendendo con questo termine il numero di eventi suddivisi per classi di magnitudo e normalizzati rispetto al tempo) a partire da un catalogo di terremoti; è poi necessario selezionare una o più relazioni empiriche di attenuazione del moto del suolo in funzione della magnitudo e della distanza dalla sorgente.



**Figura 1** Schema per la definizione della curva di pericolosità sismica di un sito, seguendo l'approccio di Cornell [1968]. Da Reiter [1990], con modifiche.

*Figure 1* Schema flow for the definition of the seismic hazard curve on a site, using the Cornell [1968] approach. By Reiter [1990], modified.

È importante sottolineare che un modello di pericolosità, per essere considerato affidabile, deve esplorare le incertezze (spesso molto grandi) nella definizione dei vari parametri di input; occorre quindi valutarne opportunamente l'impatto nei calcoli che vengono effettuati e per questo motivo si effettuano molti test di sensibilità del calcolo della pericolosità rispetto al variare dei parametri di input.

Per quanto appena detto, uno degli elementi importanti nella costruzione di un modello di pericolosità sismica è la stima della ricorrenza dei terremoti, espressa come tassi normalizzati rispetto al tempo (ovvero le frequenze di accadimento) per diversi tipi di sorgente (aree, faglie o griglie). La presente applicazione è stata sviluppata per le aree sorgente.

Per ottenere un modello di ricorrenza dei terremoti bisogna:

- suddividere l'area di studio in aree sorgente ritenute sismicamente omogenee (in termini di massima magnitudo e di frequenza di terremoti);
- disporre di un catalogo dei terremoti *declusterato* (che contiene solo eventi indipendenti tra loro, i cosiddetti *Mainshock*, in quanto il processo è ipotizzato come poissoniano) da cui ricavare la frequenza con cui si verificano gli eventi per classi di magnitudo all'interno di ciascuna area;

- per ciascuna area e per ciascun intervallo di magnitudo:
  - determinare quale sia il periodo di completezza del catalogo, ovvero l'intervallo per cui il catalogo può essere considerato completo;
  - caratterizzare la sismicità, ovvero la distribuzione magnitudo-frequenza degli eventi;
  - nel caso in cui si voglia utilizzare una distribuzione G-R, occorre eseguire il fit delle osservazioni con una retta e determinare i parametri dell'equazione della stessa.

La definizione delle aree sorgente omogenee deve essere fatta esternamente all'applicazione e trasferita nella stessa in formato shapefile.

L'approccio probabilistico comunemente utilizzato per la stima della pericolosità sismica prevede di considerare l'accadimento dei mainshock come un processo poissoniano stazionario nel tempo; ciò comporta che gli eventi utilizzati nel calcolo devono essere indipendenti tra loro. Tale requisito non è sempre soddisfatto nei cataloghi, che possono contenere informazioni relative a sequenze (*cluster*) caratterizzate da scosse premonitrici (*foreshock*), scossa principale (*mainshock*) e repliche (*aftershock*): in tali casi i foreshock e gli aftershock non devono essere utilizzati.

L'operazione per definire quali siano i mainshock ed escludere gli altri eventi è chiamata **Decluster**, ed avviene tramite la definizione di finestre spazio-temporali per ciascun evento, e considerando mainshock il primo evento con la massima magnitudo interno a tali finestre. Esistono vari algoritmi in letteratura per la definizione di tali finestre e tutti utilizzano come informazioni la posizione, la data e la magnitudo dell'evento e producono come risultato un catalogo con i soli eventi individuati come *Mainshock*.

Gli intervalli di completezza devono essere determinati a partire dal catalogo "declusterato". Questi possono essere ottenuti tramite valutazioni di tipo storico per aree omogenee da un punto di vista documentale (**completezza storica**; [Stucchi et al., 2004]); oppure valutando le informazioni presenti nel catalogo, vale a dire quando il numero di eventi nel catalogo è stabile nel tempo, in genere facendo riferimento a macroaree definite in qualche modo: **completezza statistica**.

Nel primo caso l'informazione deve essere fornita esternamente all'applicazione, mentre per l'approccio statistico l'applicazione permette di utilizzare algoritmi che analizzano i dati del catalogo.

Definito l'intervallo di completezza del catalogo in un'area e per un intervallo di magnitudo, la frequenza di accadimento è semplicemente fornita come rapporto fra il numero di mainshock (per l'area di interesse e per intervallo di magnitudo) presenti in catalogo nel periodo di completezza e la lunghezza dello stesso periodo.

Nel caso in cui si voglia utilizzare la cosiddetta distribuzione G-R per definire la sismicità di un'area, l'applicazione prima calcola le ricorrenze dei terremoti per ciascun intervallo di magnitudo, poi determina i parametri della retta G-R, utilizzando un **algoritmo di fitting**.

Ciascuna delle tre operazioni (*decluster*, *completezza*, *fitting*) che si possono svolgere tramite l'applicazione può avere tempi di elaborazione potenzialmente anche lunghi, pertanto si è pensato di non fornire il risultato in modalità interattiva, bensì tramite email, comprensive di file allegati. Questa soluzione ha facilitato anche la soluzione di altre problematiche:

- in fase di richiesta dell'elaborazione l'utente inserisce specifici parametri, che è opportuno vengano restituiti come parte della soluzione per avere traccia dell'input fornito. Tali parametri vengono riproposti all'interno del corpo della email;
- tra i parametri di input possono essere presenti uno o più file. Questi vengono restituiti come allegati alla email;

- il risultato dell'elaborazione può essere composto di informazioni logicamente distribuite in più file che quindi non hanno problemi a comparire come allegati separati;
- l'utente si ritrova quindi in un'unica email tutte le informazioni di input ed output relative ad una singola richiesta.

### 3. I cataloghi

Per stimare i tassi di ricorrenza dei terremoti in una zona sorgente, l'elemento base è il catalogo dei terremoti.

Le informazioni minime indispensabili perché l'applicazione possa lavorare correttamente sono la data e l'ora, le coordinate dell'epicentro e la magnitudo. L'ora deve essere definita fino al secondo, essenzialmente ai fini delle operazioni di declustering.

Spesso i cataloghi, per gli eventi più antichi, presentano informazioni sulla data e ora degli eventi non molto dettagliate, talvolta anche limitate al solo anno.

Per non escludere tali eventi, è stato deciso di utilizzare informazioni fittizie (inserite automaticamente) dove non presenti. Per minimizzare l'errore di approssimazione, i valori fittizi introdotti quando assenti sono stati:

- mese: giugno
- giorno: 15
- ora: 12
- minuti: 30
- secondi: 30

Le coordinate fornite all'applicazione devono essere geografiche. Queste sono utilizzate per determinare la distanza tra due punti; a tale scopo viene utilizzato internamente il sistema di riferimento geografico WGS 84, identificato dall'SRID EPSG:4326 (<http://spatialreference.org/ref/epsg/wgs-84/>).

Per quanto riguarda la magnitudo, questa deve essere espressa secondo una scala omogenea all'interno di un catalogo; l'applicazione, infatti, non effettua conversioni di magnitudo.

Ulteriori informazioni che possono (ma non sono obbligatorie) essere presenti nel catalogo fornito all'applicazione sono:

- un identificativo di ciascun record, che può essere testuale;
- una stringa di caratteri su una singola riga ad uso dell'utente, che viene mantenuta inalterata.

Attualmente è possibile fornire all'applicazione il catalogo con due modalità:

- cataloghi *built-in*: messi a disposizione dall'amministratore dell'applicazione su un database a cui questa si collega, ed identificati dal loro nome. Il catalogo utilizzato è indicato nelle email contenenti i risultati dell'elaborazione con il suo nome; non viene restituito il suo contenuto in quanto disponibile come *built-in*;
- cataloghi forniti dall'utente su un file di tipo testo con campi separati da tabulazioni. Il file deve contenere una riga per ogni evento (con il formato "YYYY:MM:DD[:hh:mm:ss] TAB lat TAB lon TAB M [TAB ID [TAB stringaCustom]]"), e può contenere righe vuote o di testo libero se precedute dal carattere speciale "#" (per esempio per identificare eventuali header o commenti). Tale file viene restituito inalterato al richiedente insieme ai risultati per avere traccia del catalogo utilizzato.

## 4. Gli algoritmi di decluster

Con l'operazione di declustering si intende identificare, in un catalogo di terremoti, quelli che possono essere considerati i mainshock di una sequenza, per rimuovere tutti gli altri eventi ed ottenere in questo modo un catalogo di soli eventi indipendenti tra loro e quindi utilizzabile nell'approccio poissoniano per la stima della pericolosità sismica. Esistono in letteratura molte pubblicazioni che propongono metodi e relative parametrizzazioni. Si è deciso al momento di implementare l'algoritmo di Gardner e Knopoff [1974], essendo uno dei metodi più utilizzati e verificati al mondo; si basa sulla definizione di finestre spazio-temporali "costruite" intorno ai terremoti di un catalogo per identificare gli aftershocks. L'algoritmo originale è definito nei suoi parametri in base al catalogo della California.

Attualmente la funzionalità di *Decluster* è disponibile solo per i cataloghi forniti dall'utente e non per i cataloghi *built-in*.

L'operazione di decluster è propedeutica alle operazioni di stima della completezza e di valutazione dei parametri di fitting per la retta G-R, e deve essere richiesta separatamente. Il catalogo risultante può poi essere direttamente utilizzato nelle altre due operazioni.

### 4.1 Gardner e Knopoff [1974]

Questo metodo prevede che le finestre spazio-temporali dipendano dalla magnitudo dell'evento principale, secondo coefficienti che devono essere opportunamente valutati.

Il metodo viene proposto in due versioni: quella implementata da J. Douglas Zechar all'ESC, ed una modificata all'interno del CPS.

#### 4.1.1 Gardner e Knopoff - implementato da J. Douglas Zechar

L'implementazione viene riferita all'interno dell'articolo di Stiphout et al. [2012] come link ad un sito non più raggiungibile ([http://www.corssa.org/articles/themev/van\\_stiphout\\_et\\_al/Software/GK](http://www.corssa.org/articles/themev/van_stiphout_et_al/Software/GK)) e prevede che la finestra spazio-temporale sia riferita ai soli eventi successivi al mainshock, quindi consente di eliminare solo le repliche.

I coefficienti, relativi alla dimensione della finestra in funzione della magnitudo, sono definiti internamente al codice, e quindi non modificabili.

Unica opzione prevista dal codice riguarda se interpolare i coefficienti tra i valori di magnitudo per cui sono definiti, oppure se utilizzarli a soglia.

Il codice prevede anche la possibilità di eliminare un evento se rientra nella finestra del precedente, a prescindere dalla magnitudo. Tale scelta comporta la classificazione del secondo evento come replica, anche nel caso sia di magnitudo maggiore del primo.

È stato deciso di eliminare tale opzione in quanto ritenuta non utile ai fini del calcolo della pericolosità.

La versione sviluppata da Zechar è stata resa disponibile in linguaggio Java, ed include tutte le routine di utility, quali ad esempio il calcolo delle distanze geografiche e l'intervallo temporale. È stato deciso di utilizzare direttamente tale codice, a cui vengono passate le informazioni del catalogo ricevute dall'infrastruttura dell'applicazione web.

#### 4.1.2 Gardner e Knopoff - implementato dal CPS

Abbiamo analizzato l'articolo originale del metodo [Gardner & Knopoff, 1974] e abbiamo riscontrato come non sia chiaramente espressa, in quanto consente diverse interpretazioni, la posizione degli autori relativamente alla rimozione o meno anche delle scosse premonitrici.

Sono disponibili in rete diverse implementazioni, fra le quali abbiamo deciso di utilizzare quella implementata all'interno del codice di calcolo OpenQuake ([https://github.com/gem/oq-engine/blob/master/openquake/hmtk/seismicity/declusterer/dec\\_gardner\\_knopoff.py](https://github.com/gem/oq-engine/blob/master/openquake/hmtk/seismicity/declusterer/dec_gardner_knopoff.py)) che consente di definire la finestra temporale per valutare i foreshock come frazione compresa tra 0 ed 1 della finestra utilizzata per gli aftershock, quindi definire finestre asimmetriche rispetto al mainshock. Il codice OpenQuake è sviluppato dalla fondazione GEM (<https://www.globalquakemodel.org/>) ed è il codice utilizzato dal CPS per le stime di pericolosità sismica.

Ricordiamo anche che gli autori dell'algoritmo originale propongono dei coefficienti basati su una specifica calibrazione, ma invitano a calibrare i coefficienti sull'area di interesse. Uno dei due autori, Knopoff, nel 2000 propone coefficienti differenti [Knopoff, 2000], ma sempre relativi alla California. In questa fase non abbiamo ritenuto di dover ricalibrare l'algoritmo per l'area italiana, ma il codice è stato sviluppato per consentire una veloce introduzione di parametrizzazioni diverse.

È stato quindi deciso di riscrivere l'algoritmo ripartendo dalla descrizione originale degli autori, fornendo la possibilità di rimuovere anche i foreshock con finestre variabili tra 0 e 100% rispetto alla finestra temporale definita per gli aftershock.

Inoltre è stata inserita la possibilità di scegliere i coefficienti da una lista predeterminata. Sono stati resi disponibili tre insiemi di parametri: quelli proposti da [Gardner & Knopoff, 1974]; gli stessi ma utilizzati a soglia; quelli proposti da [Knopoff, 2000]. È comunque possibile inserire nelle librerie nuovi insiemi di parametri con un lavoro di pochi minuti.

Per completezza abbiamo anche verificato che l'implementazione di Zechar e la presente producessero gli stessi risultati quando vengano utilizzati gli stessi coefficienti e la frazione della finestra per determinare i foreshock sia impostata a 0, ovvero assente.

## 5. Gli algoritmi per valutare la Completezza

La valutazione della completezza del catalogo consiste nella definizione degli intervalli spazio-temporali per i quali il catalogo può essere considerato completo (ovvero riporta l'insieme completo di tutti i terremoti che sono accaduti). La stima di Completezza indica quindi, per ogni area, in quale anno e per quale intervallo di magnitudo inizia la porzione completa.

Esistono in letteratura diversi metodi per la valutazione della Completezza. Come accennato precedentemente, abbiamo implementato due approcci: uno basato su considerazioni essenzialmente storiche e uno basato su stime essenzialmente statistiche.

### 5.1 Completezza storica

La valutazione storica della Completezza si basa sull'approccio descritto da Stucchi et al. [2004] a cui si rimanda per i dettagli metodologici. Si può riassumere questo tipo di approccio dicendo che non si basa sul contenuto del catalogo (cercando di individuare il periodo in cui il numero di eventi nel tempo riportato può essere considerato "stabile"), ma si basa sullo studio dei periodi

di attività delle fonti storiche considerate più affidabili, per le quali si ritiene che se un forte terremoto si fosse verificato sarebbe stato riportato. È pertanto chiaro che l'approccio storico non può essere valutato con strumenti di analisi automatici (per la complessità dei processi logici richiesti), ma sono richieste profonde conoscenze storiche e socio-demografiche. Questo approccio è sicuramente più preciso e affidabile per i terremoti di magnitudo più elevata che non per quelli di magnitudo più bassa. Un ulteriore vantaggio di questo tipo di approccio è che la valutazione dei periodi di Completezza non varia al variare del catalogo.

È stata quindi considerata l'utilità di avere sempre a disposizione all'interno dell'applicazione tali valutazioni, senza che l'utente debba fornirle ad ogni richiesta: l'utente può solo scegliere la completezza storica fra quelle disponibili. Al momento non è previsto che l'utente possa fornire direttamente al sistema una propria stima della Completezza su base storica.

Al momento è disponibile un'unica valutazione di Completezza storica per l'Italia, quella di Stucchi [Stucchi et al., 2004] rilasciata nell'ambito della attività per il modello di pericolosità sismica MPS04 [Gruppo di Lavoro MPS, 2004]. È stata definita sia per le singole zone sismogenetiche del modello ZS9 (36 zone per tutta Italia; [Meletti et al., 2008]), sia per 5 macroaree (Alpi, Pianura Padana, Centro Italia, Sud Italia, Isole) definite sulla base di ragioni storiche e socio-demografiche. Per ciascuna delle singole aree definite è stato stimato l'inizio del periodo di Completezza per diversi intervalli di magnitudo.

Poiché in generale le aree omogenee per la Completezza non coincidono, ovviamente, con le aree sorgente, ed in particolare una stessa area sorgente si può sovrapporre a più aree di completezza, è stato stabilito che ad ogni area sorgente venga attribuita la completezza relativa all'area che ne copre la maggiore superficie.

È stato previsto anche il caso in cui non ci siano sovrapposizioni: in tal caso vengono restituiti valori prefissati per ciascun intervallo di magnitudo.

## 5.2 Completezza statistica

Nel caso di valutazione della Completezza con un approccio statistico, qualunque sia il metodo, si assume che la distribuzione dei terremoti abbia media costante nel tempo e si cerca di individuare il periodo più lungo in cui tale assunzione ha corrispondenza con i dati presenti in catalogo. Per questo motivo, questo tipo di completezza deve essere stimato per ogni catalogo dei terremoti, eventualmente in base ad una qualche regionalizzazione.

Fra gli approcci disponibili in letteratura è stato scelto di implementare quello proposto da Albarello et al. [2001], che è stato utilizzato anche nella realizzazione del modello di riferimento italiano (MPS04).

Un altro approccio fra i più diffusi è quello definito da Stepp [1971; 1972], per quanto non sia mai stato pubblicato su una rivista scientifica. Abbiamo deciso di inserire nell'applicazione una sua implementazione proposta all'interno del codice OpenQuake.

### 5.2.1 Albarello et al. [2001]

L'approccio prevede un'analisi statistica della frequenza dei terremoti in un catalogo, al fine di individuare la data a partire dalla quale la loro distribuzione nel tempo può essere considerata stazionaria e quindi completa.

Le assunzioni fondamentali sono: il processo sismogenetico è stazionario; il catalogo è completo

nella sua ultima parte; il catalogo è statisticamente rappresentativo del processo sismogenetico a lungo termine.

Oltre alla pubblicazione, gli autori ci hanno fornito l'algoritmo scritto in linguaggio Fortran, che è stato utilizzato come linea guida per l'implementazione in Java. Per esplorarne al massimo le potenzialità abbiamo inserito dei parametri aggiuntivi.

Viene valutata la probabilità di completezza per diverse porzioni del catalogo (sottocataloghi) che si differenziano per l'anno di inizio, che viene spostato dalla fine all'inizio del catalogo con un passo definito (parametro "Numero di Anni per Passo"). Per fare la valutazione su ciascun sottocatalogo, questo viene suddiviso in intervalli elementari (di ampiezza data dal parametro "Numero di Anni per Intervallo Elementare") e viene confrontato il numero di eventi negli intervalli della prima metà del sottocatalogo con il numero di eventi nei corrispondenti intervalli della seconda metà. Viene calcolata la probabilità che le differenze osservate tra le due metà del sottocatalogo possano esistere nell'assunzione di stazionarietà: più alta è tale probabilità, maggiore è la probabilità che tale sottocatalogo sia completo.

L'elaborazione fornisce tre valori: l'anno di inizio della Completezza (valore mediano della funzione di completezza) ed i due quartili che definiscono l'Incertezza.

La Completezza può essere valutata contemporaneamente per vari intervalli (*bin*) contigui di magnitudo. L'utente deve specificare i valori minimo e massimo di magnitudo e l'ampiezza dei bin. È stata inoltre inserita la possibilità di valutare la completezza per bin o per soglia: nel primo caso un bin di magnitudo viene analizzato valutando solo gli eventi la cui magnitudo rientra nel bin. Nel secondo caso, come nell'implementazione fornita dagli autori, vengono presi tutti gli eventi con magnitudo uguale o maggiore del minimo del bin in analisi.

La Completezza può essere stimata sia per un catalogo intero sia per porzioni geografiche (definite come poligoni), per esempio per zone sismogenetiche. La selezione degli eventi del catalogo da utilizzare per stimare la Completezza può essere definita in due modi: usando la zona sorgente di cui si richiede la completezza oppure definendo un'area circolare intorno al centroide di tale area (con raggio definito dall'utente). L'utente può scegliere se effettuare il calcolo utilizzando l'unione delle due aree, oppure utilizzarne solo una. Per utilizzare l'area sorgente deve selezionare "Includere l'Area nella Ricerca"; per utilizzare l'area circolare deve inserire un valore diverso da zero nel parametro "Raggio di Ricerca in Km".

In questo modo l'utente può definire set di dati statisticamente attendibili (per esempio Meletti et al., [2013]) allargando il raggio di ricerca nel caso di zone molto piccole o con pochi eventi. L'utente deve inoltre definire la data di inizio e fine del periodo da valutare.

Oltre all'anno di inizio della Completezza ed alla relativa Incertezza, la funzione che implementa questo approccio produce anche alcuni file testuali di report, nei quali vengono riportati tutti i dati necessari per seguire l'elaborazione, compreso l'elenco di tutti i terremoti che ricadono nella zona esaminata ad ogni passo di iterazione dell'algoritmo.

### 5.2.2 Stepp [1971; 1972]

L'approccio prevede di valutare l'andamento della radice della varianza ( $\sigma$ ) degli eventi all'aumentare della finestra di analisi, identificando come Completezza l'anno in cui si ha discontinuità di tale valore.

L'algoritmo è stato implementato in linguaggio Python dal gruppo di sviluppo di OpenQuake

come toolkit a disposizione degli utenti. All'interno del CPS abbiamo tradotto quel codice in Java.

Sono stati messi a disposizione degli utenti gli stessi parametri di selezione utilizzati per l'approccio di Albarello et al., [2001] per quanto riguarda: la selezione degli intervalli di magnitudo e della possibilità di utilizzarli a bin o soglia; l'area del catalogo sui cui effettuare la valutazione; l'intervallo del catalogo da utilizzare.

I parametri relativi al "Numero di Anni per Passo", alla "Soglia di Tolleranza sulla Pendenza", al "Forzare che la Completezza Aumenti con la Magnitudo" sono ripresi dall'algoritmo di OpenQuake.

## 6. Gli algoritmi di fitting

Un altro aspetto importante nella definizione dei tassi di sismicità di una sorgente sismogenetica è quello di modellare la distribuzione dei terremoti secondo il modello G-R [Gutenberg e Richter, 1944]. Esiste una vastissima letteratura su questo singolo aspetto della stima della pericolosità sismica; anche nel progetto europeo SHARE questo elemento è stato discusso a lungo. La scelta del metodo di fitting risulta spesso fonte di grande incertezza e può determinare differenze importanti nella valutazione finale di pericolosità sismica che si va a realizzare.

Per fare un esempio, il cambio della pendenza della retta che definisce il modello G-R può determinare un maggiore numero di eventi di grande magnitudo attesi rispetto a quelli di minore magnitudo. È quindi molto utile avere uno strumento che faccia i calcoli secondo modelli noti, consolidati e che permetta di confrontare i risultati.

Nell'applicazione AutoRate sono stati implementati al momento i seguenti metodi:

- minimi quadrati
- Wiechert [1980]

L'applicazione è configurata affinché le funzioni che calcolano il Fitting G-R per la singola zona producano dei file di testo nei quali vengono riportati tutti i dati necessari per verificarne l'esito, consentendo così all'utente di valutare la stima ottenuta.

Il risultato fornito da questi algoritmi prevede una serie di informazioni che sono utilizzate come parametri di input dal codice Crisis. In particolare vengono fornite le informazioni sulla pendenza della curva, espresse come "b", Beta, o entrambe; il valore "a" della frequenza per  $M=0$ ; ed eventualmente (quando calcolate) le stime delle varianze.

Nella versione per Crisis i valori non calcolati dal singolo metodo venivano imposti di default (ad esempio la varianza di a).

In questa applicazione è stato deciso di non fornire valori non calcolati, in quanto i valori di default non avrebbero dato alcuna informazione aggiuntiva.

### 6.1 Metodo dei minimi quadrati

Il metodo, ampiamente conosciuto in letteratura anche come OLS (Ordinary Least Squares - [https://en.wikipedia.org/wiki/Ordinary\\_least\\_squares](https://en.wikipedia.org/wiki/Ordinary_least_squares)), minimizza la somma dei quadrati delle distanze fra la retta ricercata ed i punti relativi alle osservazioni delle frequenze di accadimento all'interno della finestra di completezza.

Sebbene tale metodo sia generalmente considerato non adeguato per la stima della G-R, è stato utilizzato per definire i tassi di sismicità del modello MPS04 [Gruppo di Lavoro MPS, 2004]; per questo motivo si è valutato di doverlo inserire ai fini di stimare l'influenza della scelta del metodo di fitting sui risultati. Il metodo è stato scritto all'interno del CPS.

## 6.2 Metodo di Weichert [1980]

Il metodo si basa sul principio di massima verosimiglianza, considerato da molti come criterio statistico più affidabile.

L'autore riporta in calce alla pubblicazione anche il codice Fortran, che ai fini di questa applicazione è stato tradotto in linguaggio Java.

## 7. Dettagli implementativi

L'applicazione consiste in alcune pagine JSP per l'interazione con l'utente e l'acquisizione dei parametri di input, e di una *servlet* che ricevuti i parametri di input dall'utente richiama l'opportuna elaborazione ed al termine invia una email con i risultati al richiedente.

Ciascun tipo di elaborazione è definito come una interfaccia, che definisce i metodi (in termini di nome, parametri di input, parametro di output) che le classi che la implementano devono avere. Ad esempio l'interfaccia **IAlgoritmoFitting** definisce, tra gli altri, il metodo **getParamFitting()** per effettuare il calcolo dei parametri.

Ad ogni elaborazione è associata una classe differente, e ciascuna classe implementa l'interfaccia del tipo di elaborazione: ad esempio per gli algoritmi di fitting abbiamo le classi **MaxLikelihood\_Weichert** e **MinimiQuadrati**.

Il codice richiedente (ovvero la *servlet*) non ha visibilità delle classi, ma solo delle interfacce, ovvero dei metodiche sono sicuramente disponibili: una classe che implementa una interfaccia deve possedere tutti i metodi definiti dall'interfaccia.

Tale approccio consente di sviluppare nuove classi utilizzabili dalle elaborazioni (ad esempio una nuova classe per fare il Decluster), senza preoccuparsi delle restanti parti dell'applicazione.

Per tutte le interfacce che permettono di ricevere dei parametri dall'utente, in particolare IDecluster, ICompletezza, IAlgoritmoFitting, è prevista una funzione che restituisce una lista di oggetti ParametroUtente (eventualmente vuota).

Ciascun ParametroUtente definisce il nome del parametro, ed il modo con cui deve essere presentato all'utente per l'inserimento. I possibili tipi di parametro sono: testo (*casella di testo libero*), casella di spunta (*checkbox*), selezione da menù a tendina (*dropdown*), file da caricare dalla macchina dell'utente.

In tal modo la gestione dei parametri per i differenti oggetti scelti dall'utente risulta estremamente flessibile.

### 7.1 Le interfacce definite

Di seguito elenchiamo le principali interfacce che sono state definite ed i metodi più significativi, seguendo un ordine logico di utilizzo.

### 7.1.1 ICatalogo

Implementata dalle classi che offrono cataloghi, in particolare CatalogoFile e CatalogoStorico, definisce le funzioni per ottenere:

- la massima magnitudo in catalogo all'interno di una determinata area;
- una lista di date degli eventi all'interno di una determinata area, entro un intervallo di magnitudo (utile per calcolare la completezza del catalogo);
- la ricorrenza per una determinata area ed intervallo di magnitudo, considerando il catalogo fra due date (quelle calcolate dalla Completezza).

### 7.1.2 IElementoCatalogo

Viene utilizzata per comunicare con l'operazione di decluster sia l'elenco degli elementi del catalogo originale sia il risultato del Decluster.

I cataloghi devono fornire la possibilità di iterare i propri elementi restituendo oggetti che forniscono le seguenti informazioni:

- data dell'evento
- epicentro
- magnitudo

### 7.1.3 IDecluster

Implementata dalle classi che offrono algoritmi di decluster, permette di ottenere sia la lista degli eventi risultato del Decluster, che direttamente un file di output con tali elementi.

Uno stesso algoritmo di decluster può essere utilizzato con finestre spazio-temporali differenti a seconda della calibrazione.

Per permettere ad una singola classe che implementa un algoritmo di decluster di associare più intervalli spazio-temporali è stata creata l'interfaccia IwindowingParameters: le classi che la implementano restituiscono la distanza temporale (in secondi) e spaziale (in km) della finestra relativa ad una data magnitudo.

In particolare, per la versione dell'algoritmo G-K sviluppata dal CPS, per aggiungere un nuovo insieme di parametri è necessario sviluppare una classe che implementi queste due funzioni.

### 7.1.4 ICompletezza

L'unica funzione peculiare di questa interfaccia è per ottenere la Completezza dato un catalogo, un intervallo di magnitudo ed un'area. Questa funzione scrive informazioni sull'evoluzione dell'elaborazione in un file che verrà restituito all'utente al termine della stessa.

### 7.1.5 IAlgoritmoFitting

Anche questa interfaccia presenta una sola funzione peculiare, a cui vengono forniti gli elementi su cui effettuare il Fitting, definiti in termini di: minima e massima magnitudo dell'intervallo; frequenza annuale con cui si ha un evento in tale intervallo di magnitudo.

La funzione restituisce una lista di coppie nome-valore dei parametri calcolati.

## 7.2 Shapefile

Le operazioni di calcolo della Completezza e del Fitting richiedono anche la definizione delle aree per cui effettuare i calcoli.

Attualmente l'applicazione accetta come formato per definire tali aree gli shapefile (un formato proprietario di ESRI), ma con alcune limitazioni.

In particolare all'interno di uno shapefile possono essere definite più aree, e ciascuna area può essere composta di più poligoni (parti).

L'applicazione attualmente può utilizzare solo aree composte di un solo poligono.

Nel caso venga fornito uno shapefile con più aree, o aree con più parti, ciascun elemento (ovvero ciascun poligono) viene considerato come una singola area su cui effettuare l'elaborazione.

Attualmente la complessità della revisione del codice per gestire elaborazioni che utilizzino anche aree definite da più poligoni è stata giudicata troppo elevata, e nei rari casi in cui si è presentata tale esigenza è stato preferito trovare soluzioni alternative.

## 8. Esempi d'uso

L'applicazione si accede tramite interfaccia web, utilizzando un qualsiasi browser, senza la necessità di alcun plug-in aggiuntivo, all'indirizzo [http://sismo.pi.ingv.it/AutoRate\\_Italiano/](http://sismo.pi.ingv.it/AutoRate_Italiano/) (Figura 2), da cui si può richiedere una delle operazioni precedentemente descritte.



Figura 2 Pagina iniziale dell'applicazione AutoRate.

*Figure 2 Home page of AutoRate application.*

Dopo aver inserito i dati specifici della richiesta, prima della sottomissione, sono sempre presenti tre campi relativi all'invio dell'email contenente i risultati (Figura 3): il destinatario (obbligatorio); un eventuale testo dell'oggetto dell'email da sostituire a quello di default (sempre uguale) inserito dall'applicazione; eventuale testo libero che verrà aggiunto all'interno del corpo dell'email, per dare la possibilità all'utilizzatore di associare delle note all'elaborazione, che restano unite al risultato.

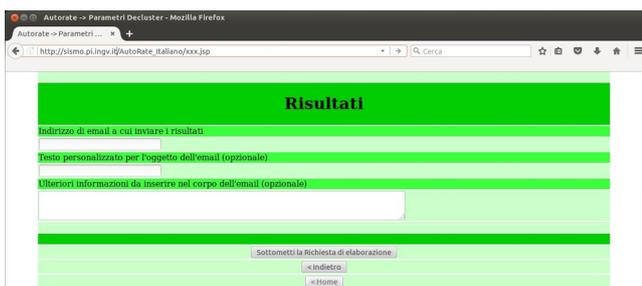


Figura 3 Parametri per la restituzione del risultato via email.

*Figure 3 Parameters used to return the result via email.*

Dopo aver sottomesso la richiesta, nella casella di posta indicata si riceve l'esito dell'elaborazione. Per motivi implementativi tutti i file passati all'applicazione vengono rinominati internamente, e restituiti in allegato alle email con un nome fornito dall'applicazione. All'interno della email è indicato il nome originale del file ed il corrispondente assegnato dall'applicazione. Il nome di tutti i file in allegato all'email dei risultati è preceduto da un numero: tale numero è un identificativo interno all'applicazione, ma non può essere preso come univoco (ovvero l'applicazione può riutilizzarlo in elaborazioni successive).

## 8.1 Ottenere un Decluster

Selezionando "Effettuare un Decluster" viene prima proposta una finestra di selezione fra i metodi implementati (Figura 4) e poi la finestra in cui inserire i parametri specifici del modello scelto (Figura 5).

Figura 4 Selezione del metodo di decluster da utilizzare.

Figure 4 Selection of the decluster method to use.



Figure 5 Parametri specifici di un metodo di decluster.

Figure 5 Specific parameters relative to a given decluster method.



In particolare si può subito notare qui la flessibilità del codice rispetto ai parametri utente: avendo scelto il metodo riferito come "Gardner & Knopoff con foreshock implementato da F. Martinelli at INGV", uno dei parametri (*Windowing*) è la scelta della relazione "magnitudo - finestra spazio-temporale" da utilizzare. Tale parametro non è invece presente nel caso del metodo "Gardner & Knopoff implementato in Java da J. Douglas Zechar at usc.edu" (Figura 6), in quanto non previsto dall'implementazione utilizzata.

Altro parametro particolare è la selezione (sulla macchina dalla quale si fa la richiesta) del file contenente il catalogo degli eventi, con il formato indicato.

L'email contenente il risultato dell'elaborazione (Figura 7) contiene tutte le informazioni di input, oltre ai risultati prodotti. In particolare, in questo esempio, si hanno:

- il nome del file scelto come input ("catalogoTest.txt") e del nome che gli è stato assegnato internamente durante l'elaborazione ("55\_CatalogoDaFile\_CatalogoInputFile.txt") e con cui è stato allegato all'email;



Figure 6 Parametri specifici di un metodo di decluster differente dal precedente.

Figure 6 Specific parameters relative to a decluster method different from the previous.

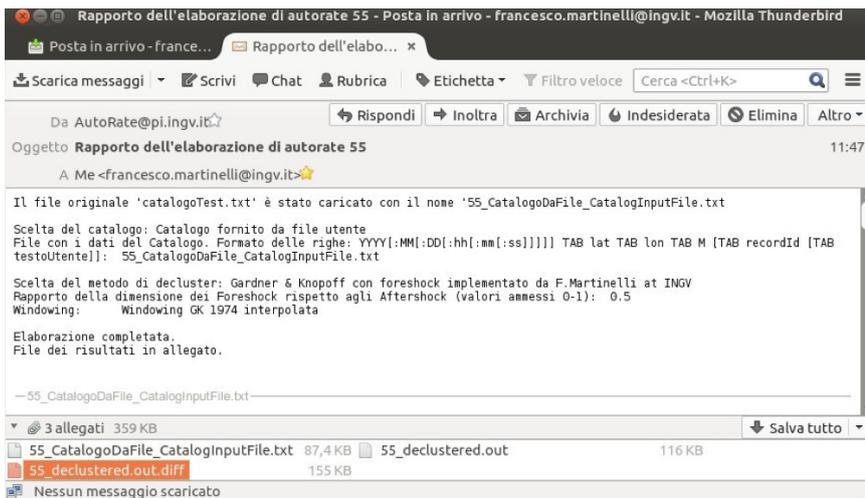


Figura 7 Email contenente il risultato di un'elaborazione di decluster, in cui sono riportate i parametri di input dell'elaborazione.

Figure 7 Email with the results of a decluster elaboration, where are also present the elaboration.

- il nome del metodo di decluster scelto;
- i parametri relativi al metodo ed i valori forniti (Rapporto della dimensione dei foreshock rispetto agli aftershock, e windowing).

In allegato è presente:

- una copia del file di input;
- il file di output ("55\_declustered.out") riutilizzabile come catalogo di input per richieste successive;
- un file non standard, specifico del metodo, 55\_decluster.out.diff, che permette di evidenziare a quale *Mainshock* siano associati gli eventi rimossi (Figura 8).

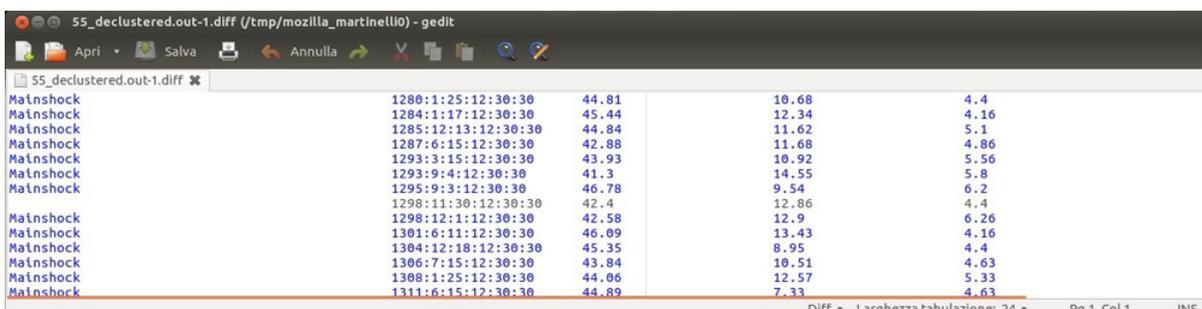


Figura 8 Esempio di file in cui sono evidenziati gli eventi individuati come *Mainshock*.

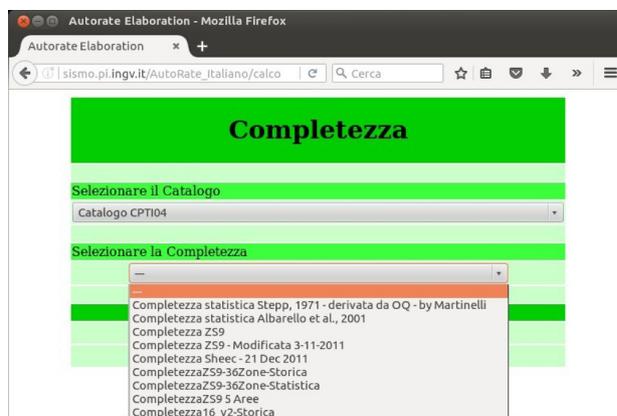
Figure 8 Example of file where are highlighted the events identified as *Mainshock*.

## 8.2 Ottenere una Completezza

Selezionando “Stimare una Completezza”, devono essere fornite inizialmente due informazioni: il catalogo e la completezza da utilizzare (Figura 9).

Figura 9 Informazioni per il calcolo della completezza.

Figure 9 Informations used to evaluate the completeness.



Se come catalogo viene selezionato il “Catalogo fornito da file utente”, al passo successivo sarà presentata la possibilità di selezionare il relativo file, altrimenti l'applicazione utilizza i dati presenti in un database interno.

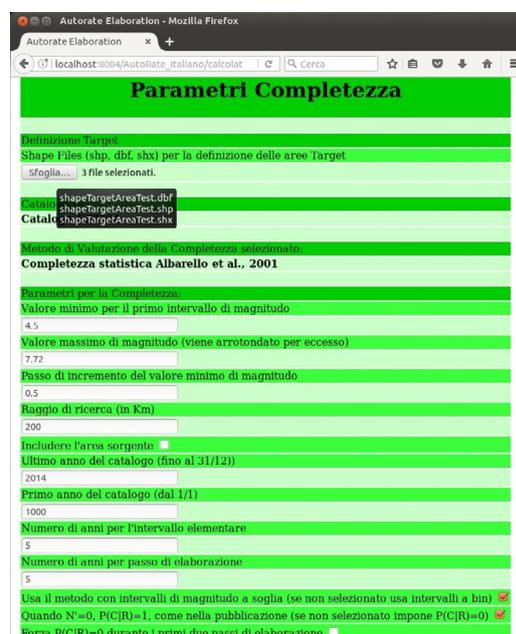
Anche per la Completezza, se viene selezionata una “Completezza statistica...” al passo successivo vengono presentate le opzioni relative al metodo, altrimenti l'applicazione utilizza i dati presenti in un database interno.

In ogni caso, al passo successivo devono essere inseriti i file per la definizione delle aree su cui effettuare la valutazione: questi devono essere nel formato shapefile, ed in particolare quelli con l'estensione shp, dbf e shx.

Come esempio utilizziamo un catalogo interno (“Catalogo CPTI04”), un metodo statistico per valutare la Completezza (“Completezza statistica Albarello et al., 2001”) da valutare su un'area definita dai file (“shapeTargetAreaTest”) (Figura 10).

Figure 10 Parametri per valutare la Completezza statistica con il metodo Albarello et al. [2001].

Figure 10 Parameters used to evaluate the statistical completeness using method Albarello et al. [2001].



Anche in questo caso abbiamo tutti i parametri nell’email dei risultati, ed i file allegati sono dieci: i tre file per la definizione delle aree su cui effettuare la valutazione sono rinominati come “64\_shapeTargetAreaFileName”; gli altri sono file prodotti dall’elaborazione.

In particolare il metodo per il calcolo della completezza scelto produce i seguenti file:

- il file “64\_elaboration.log” in cui sono registrati nel dettaglio i passi fatti dall’elaborazione;
- il file “64\_summary.log” (Figura 11) in cui sono riportati in formato tabellare, per ciascuna regione e per ciascun intervallo di magnitudo analizzato, i valori mediani della stima di completezza e del primo e del terzo quartile (che forniscono un indice di attendibilità del risultato), oltre al numero di eventi utilizzati per ciascuna stima;
- due file, “64\_matriceTassi.txt” e “64\_numeroEventi.txt”, che in forma matriciale contengono rispettivamente, per ciascuna area e per ciascun intervallo di magnitudo, l’anno di completezza (mediano) e nel caso sia richiesto, il Fitting, ed il numero di eventi.

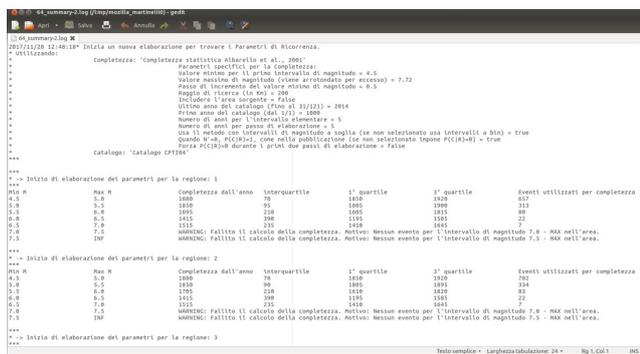


Figure 11 Esempio di file sommario dell’elaborazione del calcolo di completezza.

Figure 11 Example of file containing a summary of completeness evaluation.

### 8.3 Ottenere un Fitting

Selezionando “Valutare i parametri di fitting per la curva G-R”, si deve effettuare sia la scelta per la valutazione della completezza (scelta di Catalogo e Completezza), che quella per l’algoritmo di fitting (Figura 12).

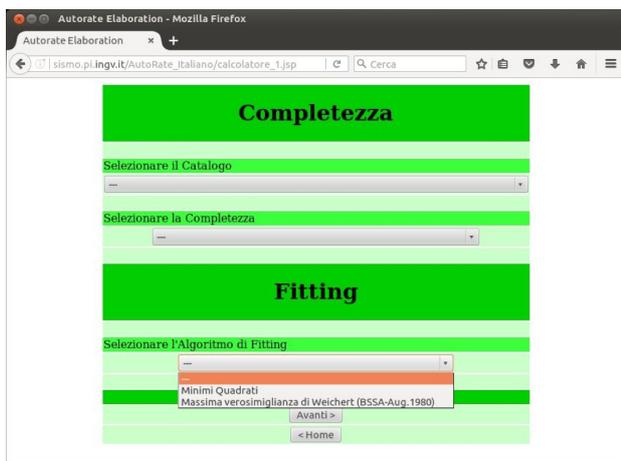


Figure 12 Informazioni da fornire per il calcolo dei parametri di fitting.

Figure 12 Figure 12. Informations to provide to evaluate the fitting parameters.

Al passo successivo devono essere inseriti i parametri relativi al Catalogo ed alla Completezza scelti, come descritto al paragrafo precedente, oltre a quelli relativi all’algoritmo di fitting. Al momento gli algoritmi di fitting disponibili (“Minimi Quadrati” e “Massima verosimiglianza di Weichert [BSSA, 1980]”) non prevedono alcun parametro, per cui viene visualizzato solo il nome dell’algoritmo scelto.

La mail dei risultati, oltre a contenere le stesse informazioni viste per ottenere la Completezza, indica l'algoritmo di fitting scelto e contiene il file 69\_fittingSummary.log (Figura 13) che contiene in forma tabellare, per ciascuna area, i parametri della retta richiesta.

Inoltre all'interno del file 69\_elaboration.log sono presenti anche informazioni di dettaglio relative al calcolo della retta di fitting.

ID Regione	Coefficient Variation of beta	Threshold Magnitude	Lambda M0	Expected beta	Expected Maximum Magnitude		
1	0.0	4.5	0.24804168544280988	2.598911882644137	7.0	0.3	6.5999999
2	0.0	4.5	0.509575480580057	3.291313344664039	6.5	0.3	6.23000002
3	0.0	4.5	1.1979377463409282	2.7543270980738384	7.0	0.3	6.98999977
4	0.0	4.5	0.3252125237698772	1.7646437582558505	7.0	0.3	6.96000004
5	0.0	4.5	0.11823562148281072	2.0140460481150577	7.0	0.3	6.71999979
6	0.1*	4.5	0.09023763640041361	1.912446884419041	5.5	0.3	5.84000015
7	0.0	4.5	0.4400910984655783	1.815442051411491	7.5	0.3	7.23999977
8	0.0	4.5	0.1325064368139281	3.027895871355836	6.5	0.3	6.0
9	0.0	4.5	0.15077416236075672	2.4675901555872217	6.5	0.3	6.05999994
10	5.398549303373865	4.5	0.26531981801519616	4.092371837311969	6.0	0.3	5.71000004
11	3.0246540199934624	4.5	0.13179177258144023	2.2627741919715927	6.0	0.3	5.88999987
12	0.0	4.5	0.15539820419808603	3.2984383994035005	6.5	0.3	6.5999999
13	0.0	4.5	0.07751584616725407	1.6512664514513646	7.5	0.3	7.40999985
14	3.0656164901707545	4.5	0.2926385581008122	2.2089283627795853	6.0	0.3	5.88000011
15	0.1*	4.5	0.4382810908716517	3.1969200820513902	5.5	0.3	6.5999999
16	0.1*	4.5	0.1551621835443137	2.815102400290626	5.5	0.3	5.55000019
17	0.0	4.5	0.307622522250535	2.475940144470377	7.0	0.3	6.73000002
18	4.677733157899654	4.5	0.17810857764369223	3.498498903997845	6.0	0.3	5.53000021
19	4.33129508230367	4.5	0.16797929549082656	3.0612461955451837	6.0	0.3	6.05000019
20	0.0	4.5	0.4986482653972704	2.531233273788681	7.0	0.3	6.65999985
21	4.005857383049086	4.5	0.04831949564308649	2.4946386171484787	6.0	0.3	5.67000008

Figura 13 Esempio di risultato di calcolo dei parametri di fitting.

Figure 13 Example of the outcome of the evaluation of the fitting parameters.

## 9. Conclusioni

Internamente al CPS abbiamo sviluppato una applicazione web, AutoRate, che è disponibile all'interno dell'ente all'indirizzo [http://sismo.pi.ingv.it/AutoRate\\_Italiano/](http://sismo.pi.ingv.it/AutoRate_Italiano/).

In quanto applicazione web è disponibile a tutti nella sua versione più recente e non ha bisogno di essere distribuita. Attualmente è accessibile ai soli utenti interni all'ente, ma in caso di richieste da parte di esterni è previsto di aprire l'accesso anche all'esterno.

L'applicazione permette di effettuare elaborazioni automatiche per il calcolo di decluster, completezza e parametri di fitting per valutazioni di pericolosità sismica, in particolare quando la sismicità sia definita in termini di aree sorgente caratterizzate da ricorrenza secondo il metodo G-R.

Sono stati implementati alcuni algoritmi per ciascun tipo di elaborazione, ma l'applicazione è di tipo "aperto", ovvero predisposta per inserirne di nuovi ove si rendessero disponibili.

Le elaborazioni, che possono presentare tempi di calcolo lunghi, non compatibili con un'interfaccia web, sono eseguite in background sul server e restituite all'utente tramite email. Per ciascuna operazione proposta è possibile applicare metodi alternativi. L'applicazione prevede la possibilità di aggiungere nuovi metodi (ovvero classi che implementano algoritmi o approcci differenti) senza dover rivedere il codice dell'applicazione stessa. Essendo il formato delle uscite indipendente dagli algoritmi, è possibile utilizzare l'applicazione in modo flessibile per confrontare facilmente i risultati utilizzando approcci differenti.

Attualmente è stata utilizzata con profitto per fornire in maniera standard i parametri necessari come input all'applicazione OpenQuake, tramite la quale si sono prodotte stime di pericolosità utilizzate per un primo screening dei risultati associati a possibili scelte alternative.

In particolare l'uniformità sia dell'interfaccia utente in fase di selezione dei parametri, sia dei formati di output, ha permesso di minimizzare i tempi delle persone coinvolte.

## Bibliografia

- Albarelo D., Camassi R., Rebez A., (2001). *Detection of space and time heterogeneity in the completeness level of a seismic catalogue by a "robust" statistical approach: An application to the Italian area*. Bull. Seismol. Soc. Am., 91 (6), 1694–1703.
- Cornell C.A., (1968). *Engineering seismic risk analysis*. Bulletin of the Seismological Society of America, 58, 1583–1606.
- Gardner J.K. and Knopoff L., (1974). *Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian?* Bull. Seis. Soc. Am., 64(5), 1363-1367.
- Gruppo di lavoro CPTI (2004). *Catálogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. Versione 2004 (CPTI04), INGV, Bologna. doi: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI04>.
- Gruppo di lavoro MPS, (2004). *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003*. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp + 5 allegati.
- Gutenberg B., Richter C.F., (1944). *Frequency of earthquakes in California*. Bull. Seismol. Soc. Am., 34(4), 1985–1988.
- Knopoff L., (2000). *The magnitude distribution of declustered earthquakes in Southern California*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 97, 1880–1884.
- Martinelli F., Meletti C., (2009). *CrisisWeb User Manual*. DPC Project S2, 34 pp. <http://www.earthprints.org/handle/2122/6568>
- McGuire R.K., (1978). *FRISK: computer program for seismic risk analysis using faults as earthquake sources*. USGS open file report 78, 1007.
- Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G., Boschi E., (2008). *A seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory*. Tectonophysics, 450(1), 85-108. doi:10.1016/j.tecto.2008.01.003.
- Meletti C., Martinelli F., D'Amico V., (2013). *Prototipo dell'infrastruttura di calcolo*. Deliverable 1/2013 del Centro Pericolosità Sismica dell'INGV. Rapporto interno.
- Ordaz M., Martinelli F., D'Amico V., Meletti C., (2013). *CRISIS2008: A Flexible Tool to Perform Probabilistic Seismic Hazard Assessment*. Seism. Res. Lett., 84, 495–504.
- Reiter L., (1990). *Earthquake hazard analysis: issues and insights*. Columbia University Press, New York.
- Stapp J.C., (1971). *An investigation of earthquake risk in the Puget Sound area by the use of the type I distribution of largest extreme*. Ph.D. Thesis, Pennsylvania State University, 131 pp.
- Stapp J.C., (1972). *Analysis of completeness of the earthquake sample in the Puget Sound Area and its effect on statistical estimates of earthquake hazard*. Proc. Intern. Conf. Microzonation for Safer Construct. Res. Appl., Seattle, Washington, 2897, 909. [https://www.researchgate.net/publication/245377366\\_Analysis\\_of\\_Completeness\\_of\\_the\\_Earthquake\\_Sample\\_in\\_the\\_Puget\\_Sound\\_Area](https://www.researchgate.net/publication/245377366_Analysis_of_Completeness_of_the_Earthquake_Sample_in_the_Puget_Sound_Area)
- Stucchi M., Albini P., Mirto C., and Rebez A., (2004). *Assessing the completeness of Italian historical earthquake data*. Ann. Geophys. 47, 2-3, 659-673.
- van Stiphout T., Zhuang J. and Marsan D., (2012). *Seismicity declustering*. Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis, doi:10.5078/corssa-52382934. Available at <http://www.corssa.org>
- Weichert D.H., (1980). *Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes*. Bull. Seismol. Soc. Am., 70, 1337-1346.
- Woessner J., Danciu L., Giardini D., Crowley H., Cotton F., Grünthal G., Valensise G., Arvidsson R., Basili R., Demircioglu M., Hiemer S., Meletti C., Musson R., Rovida A., Sesetyan K., Stucchi M., and the SHARE consortium (2015). *The 2013 European Seismic Hazard Model - Key Components and Results*. Bull. Earthq. Eng., 13(12), 3553-3596. doi:10.1007/s10518-015-9795-1.

# QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

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

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

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

# RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

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

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

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

# MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

[http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html](http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html/)

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

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

**Coordinamento editoriale e impaginazione**

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

**Progetto grafico e impaginazione**

Barbara ANGIONI  
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

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

[www.ingv.it](http://www.ingv.it)

## Shape Files (shp, dbf, shx) per la definizione delle aree Target

Sfoggia... 3 file selezionati.

Catalogo  
Catalogo  
shapeTargetAreaTest.dbf  
shapeTargetAreaTest.shp  
shapeTargetAreaTest.shx

Metodo di Valutazione della Completezza selezionato:

**Completezza statistica Albarello et al., 2001**

Parametri per la Completezza:

Valore minimo per il primo intervallo di magnitudo

4.5

Valore massimo di magnitudo (viene arrotondato per eccesso)

7.72

Passo di incremento del valore minimo di magnitudo

0.5

Raggio di ricerca (in Km)



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Usa il metodo con intervalli di magnitudo a soglia (se non selezionato usa intervalli a bin)

Quando  $N'=0$ ,  $P(C|R)=1$ , come nella pubblicazione (se non selezionato impone  $P(C|R)=0$ )

Forza  $P(C|R)=0$  durante i primi due passi di elaborazione