

## PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI UN GIS PER SCOPI GEOFISICI IN AMBIENTE OPEN-SOURCE: IL CATALOGO DEI TERREMOTI CON $M \geq 5$

Valerio BAIOCCHI (\*), Mattia CRESPI (\*), Pierluigi RENDICINI (\*), Federica RIGUZZI (\*\*)

(\*) "Sapienza" Università di Roma, Area di Geodesia e Geomatica, DITS, 00184 Roma, via Eudossiana 18  
tel. +390644585068, fax +390644585515, valerio.baiocchi@uniroma1.it

(\*\*) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sezione CNT, 00143 Roma, via di Vigna Murata 605  
tel. +390651860266, fax +39065041303, riguzzi@ingv.it

### Riassunto

I software GIS *Open source* già da qualche anno permettono di effettuare la gestione e l'analisi delle informazioni georiferite con funzioni e strumenti anche molto evoluti, permettendo tutte le applicazioni possibili con i più noti pacchetti commerciali. Negli ultimi anni tali funzioni di archiviazione ed analisi sono state implementate anche in ambienti GIS *Open source* con interfacce molto più immediate per gli utenti permettendo l'approccio anche ad utilizzatori poco esperti in maniera rapida ed intuitiva. In questo contributo sono stati archiviati ed analizzati dati di natura geofisica utili per successivi studi geodinamici, utilizzando un software GIS *open source* dall'uso molto intuitivo, mostrando come tali pacchetti siano ormai maturi per essere utilizzati in maniera semplice anche per analisi più complesse. Infatti a partire da dati georiferiti in formato testo, liberamente disponibili su web, è stato realizzato in maniera abbastanza semplice un archivio sul quale sono poi possibili diverse analisi spaziali e relazionali utili per studiare questo tipo di fenomeni.

### Abstract

The possibilities offered by the software *open source* permit to manage quickly and intuitively georeferable information. In this contribution they are been applied to geophysical data useful for next geodynamic studies, showing how these packets are now ready for to be used for example to simplify the study of geophysical phenomena organizing and structuring several kind of data. In fact from data georefered in format text, every information are been visualized like objects in the map, also permitting to know all theirs attributes, geographic and descriptive, so discovering possible connection between the several territorial phenomena.

### Introduzione

I dati utilizzati in questo contributo, di seguito illustrati più nel dettaglio, sono estratti da banche dati di libero accesso che contengono in formato testo varie informazioni tra cui la localizzazione e classificazione degli eventi sismici registrati e le localizzazioni dei margini delle placche individuati secondo le teorie di alcuni tra i più accreditati ricercatori. Tale implementazione in un database georiferito facilita lo studio della relazione che c'è tra la disposizione dei margini delle placche tettoniche, i loro attuali movimenti sia di rotazione che di traslazione, le maggiori formazioni montuose ed il verificarsi dei più forti terremoti sulla Terra.

Le placche sono frammenti del guscio esterno terrestre, detto litosfera, spesso circa 100 km. Esse si muovono l'una rispetto all'altra a velocità di qualche cm l'anno e per tettonica delle placche s'intende appunto il movimento relativo e le deformazioni che ne conseguono ai margini. Il moto di una placca su una sfera (la Terra) è rappresentabile come una rotazione attorno ad un asse passante

per il centro della sfera (teorema di Eulero). L'asse di rotazione interseca la superficie sferica in due punti detti poli di rotazione. Tra i due punti, il polo di rotazione principale è quello attorno al quale la placca ruota in senso antiorario.

Grazie all'implementazione di tali dati in un ambiente GIS è ovviamente possibile eseguire in maniera rapida ed intuitiva analisi che possono evidenziare relazioni logiche e spaziali tra alcune caratteristiche di eventi e movimenti propri della tettonica delle placche e delle deformazioni che ne conseguono ai margini delle placche stesse.

### **Fasi del lavoro**

Il lavoro svolto può essere suddiviso in tre fasi principali:

- 1) Raccolta di tutti i dati geofisici da varie fonti e disposizione degli stessi dati sottoforma di tabelle per essere inseriti facilmente in *database* relazionali (sistemi di gestione, analisi e controllo dei dati spaziali utilizzati dai software GIS);
- 2) Ricerca delle giuste procedure ed applicazioni per rappresentare graficamente i dati in formato vettoriale introducendo opportune primitive geometriche come il punto, la linea e il poligono;
- 3) Visualizzazione di tutti i dati in un'unica mappa con possibilità di interrogarli e di accedere a tutte le relative informazioni.

### **Dati utilizzati e loro rappresentazione**

I dati implementati possono essere suddivisi in tre gruppi principali:

1. Rappresentazione geografica delle placche litosferiche;
2. Velocità di singoli siti permanenti GPS nel sistema di riferimento ITRF2005;
3. Catalogo sismico globale dei forti terremoti.

Le placche litosferiche, le maggiori formazioni montuose ed i poli di rotazione relativi delle placche sono accessibili sul sito internet <http://peterbird.name/oldFTP/PB2002/> (Bird, 2003), raggruppati in quattro *file* formato testo:

- 1) *Boundaries*, che rappresenta tutti i tratti dei margini delle placche tettoniche definiti in differenti studi. Nel *file* viene anche data anche l'indicazione sul tipo di interazione esistente tra i margini di placca: se a separare i nomi di due placche che definiscono un margine c'è il simbolo “ $\bar{\quad}$ ” significa che non c'è subduzione, se c'è il segno “ / “ vuol dire che la placca di destra è in subduzione sotto quella di sinistra, mentre il simbolo “ \ “ indica l'opposta polarità di subduzione;
- 2) *Plates*, che definisce le coordinate dei margini di placca per ciascuna delle 52 placche identificate nel lavoro di Bird. Il *file* si presenta composto di 52 blocchi, ognuno dei quali rappresenta una singola placca e inizialmente identificato con un codice di due lettere; ad es. AF sta per placca Africana, NA per placca nord-americana e così via;
- 3) *Orogens*, che rappresenta le principali formazioni montuose a scala globale, cioè le zone in deformazione che sono disposte lungo i margini compressivi, laddove le placche si avvicinano. Il *file* contiene 13 blocchi, ognuno dei quali definisce un'orogene definito all'inizio dal nome per esteso della formazione montuosa e il riferimento bibliografico;
- 4) *Poles*, che contiene i poli di rotazione relativi delle placche tettoniche. Il *file* è composto da 52 righe ognuna corrispondente ad una placca. Su ogni riga viene riportato il codice di placca, il nome per esteso della placca, l'area della placca in steradiani (unità di misura dell'angolo solido), la latitudine e la longitudine del polo di rotazione relativa, la velocità di rotazione in gradi decimali per milione di anni e il riferimento bibliografico. Tutti i poli sono stimati ipotizzando ferma la placca Pacifica e tali che il verso di rotazione della placca è diretto in senso antiorario.

Le velocità GPS sono disponibili sul sito della NASA <http://sideshow.jpl.nasa.gov/mbh/series.htm> in un *file* formato testo che contiene l'elenco delle stazioni permanenti GPS: sulla prima riga il loro nome, la loro posizione in coordinate geografiche (latitudine e longitudine), la quota e gli errori del

loro posizionamento in millimetri; nella riga successiva sono indicate le componenti geografiche della velocità ed i relativi errori in millimetri all'anno. Le velocità delle stazioni permanenti GPS situate lontano dai margini in deformazione vengono ritenute rappresentative della cinematica della placca di appartenenza.

Per quanto riguarda la sismicità, tra i vari cataloghi esistenti è stato scelto il catalogo sismico del NEIC (*National Earthquake Information Center*) contenente tutti i terremoti del mondo registrati dal 1973 al 2007 con magnitudo maggiore o uguale a cinque. Per ogni terremoto viene definita la posizione in coordinate geografiche in gradi decimali (latitudine e longitudine), la profondità dell'evento in chilometri, il grado di magnitudo che varia tra cinque e nove, l'energia sviluppata in joule, l'anno, il mese, il giorno e l'ora di occorrenza del terremoto. E' noto che i terremoti si verificano nella quasi totalità dei casi in corrispondenza dei margini delle placche tettoniche a seguito dei movimenti di quest'ultime.

I dati, disponibili solo sottoforma di tabelle in formato testo, sono stati convertiti in file *.shp* utilizzando principalmente il software *Open source Quantum GIS 9.1*, solo alcune elaborazioni dei dati stessi, per comodità, sono state eseguite mediante routine, anch'esse *Open source*, sviluppate però nell'ambiente commerciale *Mapinfo*. Com'è noto la caratteristica più interessante dei pacchetti *Open source* è che è possibile anche modificare, integrare, aggiungere comandi, duplicare e ridistribuire il software perché il codice sorgente è lasciato alla disponibilità di tutti, soprattutto per eventuali sviluppatori. Grazie a questa caratteristica che permette la collaborazione (in genere libera e spontanea) tra più gruppi di ricerca, il prodotto finale raggiunge una complessità maggiore di quanto potrebbe ottenere un singolo gruppo di programmazione.

Come è stato spiegato precedentemente, i file *Boundaries*, *Plates* e *Orogens* che rappresentano rispettivamente i tratti dei margini delle placche tettoniche secondo vari studiosi, le 52 placche della Terra secondo Peter Bird (2003) e le maggiori formazioni montuose, si presentano sottoforma di una successione di punti di note coordinate geografiche. Rappresentare i margini, le placche e le formazioni montuose come punti non ha senso perché esse vanno invece viste come polilinee, e per quanto riguarda le ultime due (placche e formazioni montuose) vanno rappresentate come poligoni, ma questo sarà illustrato meglio più avanti. *Quantum GIS* non è attualmente in grado di costruire in maniera semplice delle polilinee a partire da una successione di punti, per questo è stata fatta una ricerca su *web* per trovare in rete un software che facesse questa operazione. Tra le varie soluzioni trovate quella che sembrava più di semplice ed immediata esecuzione è stata l'utilizzazione di una macro scritta per *Mapinfo Basic* (P. Zatelli, 2008) disponibile pubblicamente sotto licenza GNU. Utilizzando tale routine bisogna prestare particolare attenzione nella costruzione del file di *input* che deve essere un file di testo appositamente formattato, rispettando la sintassi prevista nell'esauriente file di istruzioni fornito dall'autore.

Una volta tracciate le polilinee, è stato necessario convertire le placche e le formazioni montuose da polilinee a poligoni questo è stato eseguito direttamente in *Mapinfo* selezionando l'oggetto e utilizzando il comando "*convert to regions*".

Per quanto concerne gli altri dati a disposizione riguardanti i terremoti che si sono verificati dal 1973 al 2007 con magnitudo maggiore o uguale a cinque, i poli di rotazione relativi delle placche e le posizioni delle stazioni permanenti di geodesia spaziale, sono stati rappresentati utilizzando esclusivamente il software *Quantum GIS*. Infatti gli ultimi dati descritti devono essere visualizzati in mappa sottoforma di punti e *Quantum GIS* dispone di un comando semplice ed immediato, chiamato "Aggiungi Layer di Testo Delimitato", grazie al quale è stato possibile disegnare in mappa dei punti a partire da file di testo contenenti coppie di coordinate di latitudine e longitudine necessarie per inserire correttamente i punti nella mappa.

Il file contenente le posizioni delle stazioni permanenti di geodesia spaziale dà indicazione anche sulle loro velocità e quindi sugli spostamenti annuali delle placche tettoniche. Per disegnare in mappa i vettori di spostamento si è seguito lo stesso procedimento per disegnare le polilinee, polilinee che in questo caso sono delle rette che hanno il punto di origine dove è posizionata la

stazione ed il punto finale è stato calcolato considerando un fattore di scala pari a 0.3 per facilitare la visualizzazione. Tutti i *layer* vettoriali costruiti, anche quelli creati con Mapinfo, sono stati visualizzati nella mappa di Quantum GIS perché ha un'interfaccia molto chiara e di rapido acceso. Le rappresentazioni sono comprese tra  $-180^\circ$  e  $+180^\circ$  di longitudine e tra  $-90^\circ$  e  $+90^\circ$  di latitudine (fig.1 e fig.2), tale visione imponeva il taglio di alcune linee e poligoni in coincidenza con la longitudine centoottanta, compromettendo inoltre, tutta una serie di analisi topologiche quindi per avere una diversa visione dei dati rappresentati in mappa è stata creata una seconda rappresentazione che va da  $0^\circ$  a  $360^\circ$  di longitudine lasciando inalterato l'intervallo in latitudine (fig.3 e fig. 4).

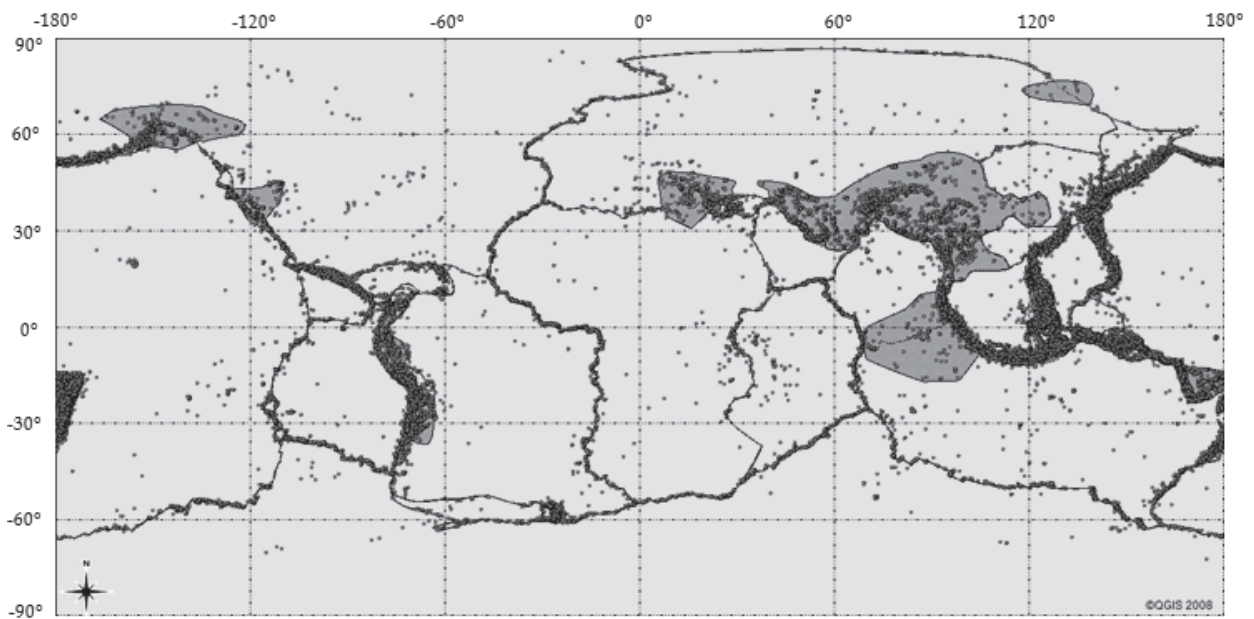


Figura 1 - Margini delle placche, formazioni montuose, zone sismiche (punti verdi)

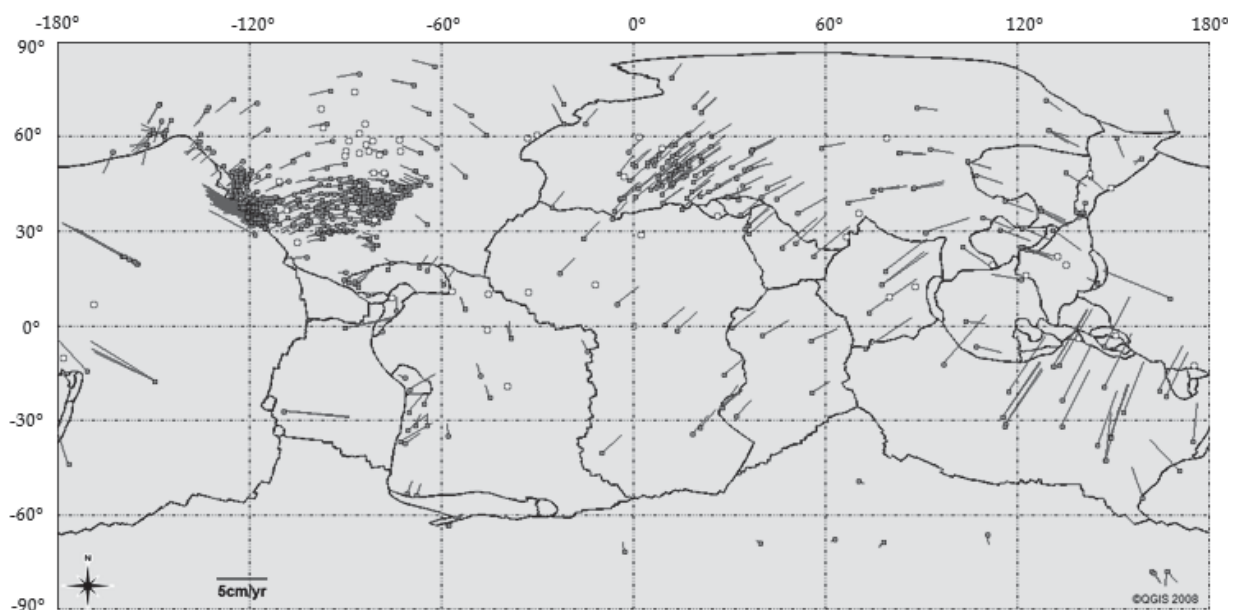
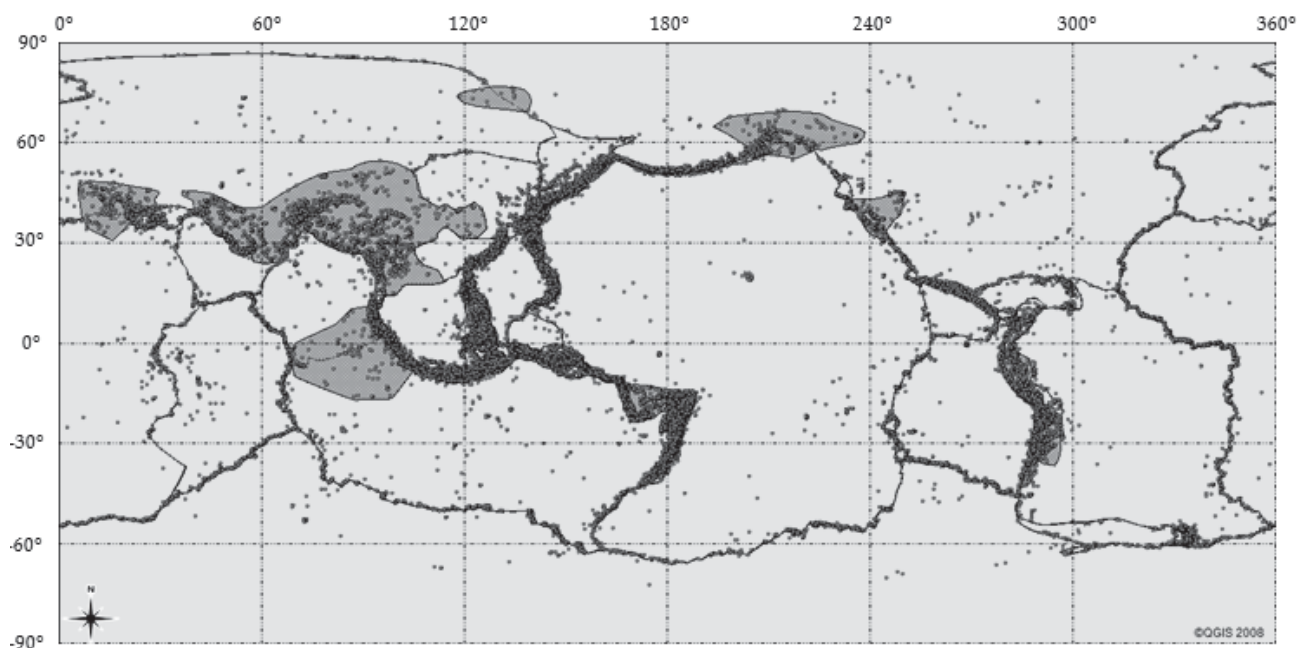
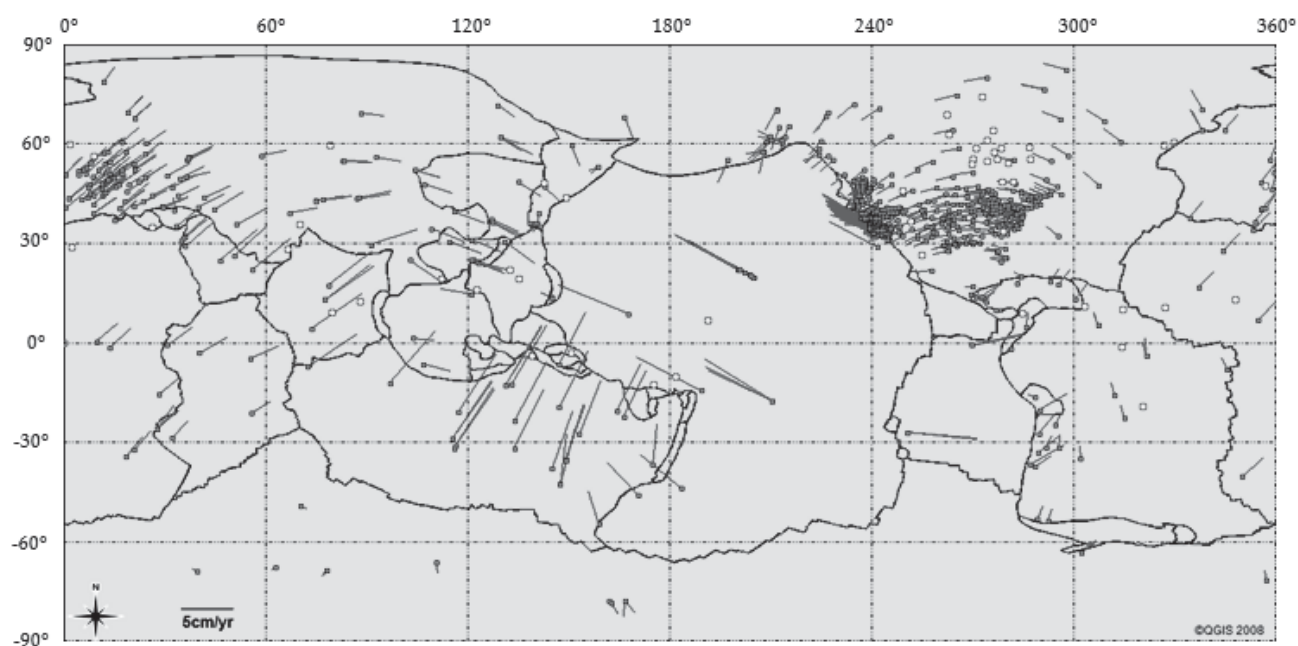


Figura 2 - Placche, poli di rotazione relativi, stazioni permanenti di geodesia spaziale e velocità

Inoltre per avere più chiarezza dal punto di vista sia grafico che del significato dei dati rappresentati, nelle figure che seguono è stata divisa la visualizzazione in due mappe. Nella prima si osservano i margini delle placche tettoniche, le formazioni montuose ed i punti in cui si sono verificati i terremoti. Nella seconda si visualizzano le placche, i loro poli di rotazione relativi, le stazioni permanenti di geodesia spaziale e le loro velocità; si dà quindi indicazione dei movimenti annuali delle placche.



*Figura 3 - Margini delle placche, formazioni montuose, zone sismiche (punti verdi)*



*Figura 4 - Placche, poli di rotazione relativi, stazioni permanenti di geodesia spaziale e velocità*

Ovviamente l'uso di tali dati georiferiti non si limita solo alla rappresentazione grafica ma in questo momento sono allo studio tutta una serie di analisi che sarà possibile eseguire con una semplice query SQL (*Structured Query Language*), che permetteranno di verificare le relazioni che ci sono tra eventi con simili caratteristiche e la loro localizzazione o geometria

### **Conclusioni e prospettive future**

Dal presente lavoro si è potuto verificare che grazie agli ultimi sviluppi dei *software GIS open-source* e delle loro interfacce è ormai possibile studiare facilmente ed in modo molto dettagliato fenomeni spazialmente riferiti anche da utenti non esperti.

Infatti, avendo a disposizione dei dati spaziali, è stato possibile visualizzare graficamente alcuni fenomeni geofisici rappresentandoli in una mappa con determinate coordinate e con una scala, la banca dati così realizzata, diventa un potente e al tempo stesso semplice strumento per verificare relazioni e caratteristiche di venti simili anche molto distanti nel tempo e nello spazio.

L'aspetto particolarmente innovativo è aver verificato passo passo la possibilità di implementare in maniera semplice e gestibile da qualunque utente in ambiente *open source* dati georiferiti; in particolare il lavoro svolto ha mostrato che è possibile organizzare con questo tipo di software informazioni di tipo geofisico utili per studi geodinamici, ed in prospettiva possono essere implementate delle funzionalità all'interno dei pacchetti grazie anche al continuo aggiornamento e sviluppo del programma.

Possibili studi successivi al GIS realizzato possono riguardare, ad esempio, gli andamenti della dissipazione dell'energia sismica lungo i margini di placca, produrre una carta dei rilasci di energia sismica lungo gli stessi margini, oppure una carta che mostri le migrazioni degli epicentri dei terremoti e stimare i poli di rotazione relativi tra due placche qualsiasi.

### **Bibliografia**

Bird P. (2003), *An updated digital model of plate boundaries*, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 4(3), 1027, doi:10.1029/2001GC000252

Boffi M. (2004), *Scienza dell'Informazione Geografica – introduzione ai GIS*, Zanichelli

Zatelli P. (2008), *Routine "Poly"*, [www.unitn.it](http://www.unitn.it)

### **Siti web**

<http://peterbird.name/oldFTP/PB2002/>

<http://sideshow.jpl.nasa.gov/mbh/series.htm>

<http://tetide.geo.uniroma1.it/sciterra/sezioni/Doglioni.html>