

# Rapporti tecnici

# INGV

*Pypaver*, ovvero automazione del  
calcolo dei Quick RCMT con Python

# 239



## **Direttore**

Enzo Boschi

## **Editorial Board**

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Simona Masina (BO)

Mario Mattia (CT)

Nicola Pagliuca (RM1)

Umberto Sciacca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

## **Segreteria di Redazione**

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

[redazionecen@ingv.it](mailto:redazionecen@ingv.it)



# Rapporti tecnici INGV

## **PYPAVER, OVVERO AUTOMAZIONE DEL CALCOLO DEI QUICK RCMT CON PYTHON**

Silvia Pondrelli<sup>1</sup>, Paolo Perfetti<sup>2</sup>, Peter Danecek<sup>3</sup>, Simone Salimbeni<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna)

<sup>2</sup>paolo@metalabs.org

<sup>3</sup>UNIVERSIDAD DE GRANADA (Istituto Andaluz de Geofisica)

# 239



## **Indice**

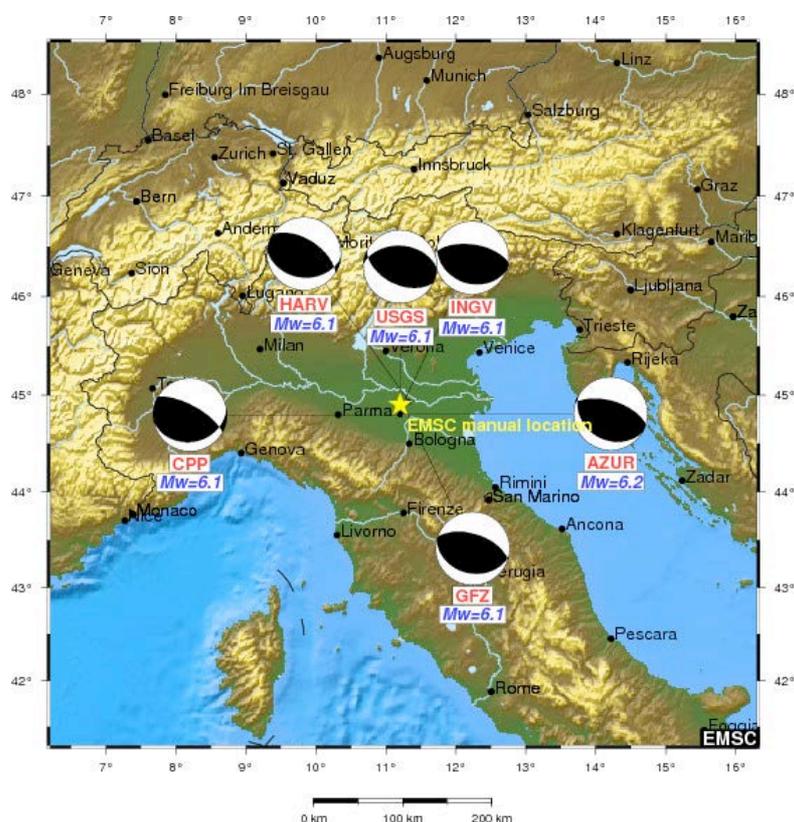
Introduzione	5
1. Quando e come calcoliamo un Quick RCMT	6
2. Flow chart della procedura di calcolo	7
2.1 Alert e Acquisizione dei simogrammi	7
2.2 Calcolo del QRCMT	7
3. Pypaver	10
3.1 Sistema e risorse	10
3.2 Linguaggio ed Architettura di Pypaver	11
4. Risultati dei test	12
5. Conclusioni	13
Bibliografia	14



## Introduzione

Il calcolo del tensore momento sismico è determinante per conoscere molte delle caratteristiche della sorgente di un terremoto. Dal tensore momento sismico si determinano il momento sismico  $M_0$  e la magnitudo momento  $M_w$ , considerata lo standard a scala globale all'interno dei Cataloghi internazionali. Inoltre dal tensore momento sismico si ricava il meccanismo focale, che ci indica come si è mossa la faglia generatrice, se è estensionale, compressiva o trascorrente o un misto di questi stili tettonici principali. Queste informazioni, se valutate rapidamente, possono a loro volta essere usate sia per approfondimenti real-time, come ad esempio la determinazione delle *shakemap* con sorgente non puntiforme [Faenza et al., 2011; Lauciani et al., 2012], che per successivi studi sulla sorgente estesa [Atzori et al., 2009; Cirella et al., 2009; Pino e Di Luccio, 2009].

Attualmente, quando avviene un terremoto di magnitudo elevata,  $M > 6.5$ , le agenzie che per prime pubblicano un tensore momento sismico, a scala mondiale, sono l'USGS (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes>) e il *Global CMT* (<http://www.globalcmt.org>). A scala regionale, in particolare europea, sul sito web dell'*European-Mediterranean Seismological Centre* (EMSC, <http://www.emsc-csem.org>) dedicato a ogni singolo evento, vengono pubblicati tutti i tensori momento sismico calcolati da diverse agenzie (Figura 1). Dove la soluzione focale è marcata con la scritta INGV, è riportato un tensore momento sismico calcolato per ogni evento con magnitudo superiore a 4.5 avvenuto nell'area Europea-Mediterranea, con un metodo denominato RCMT, ampiamente consolidato negli anni [Pondrelli et al., 2002, 2004, 2006, 2007, 2011; <http://www.bo.ingv.it/RCMT>]. Queste soluzioni, dove RCMT sta per *Regional Centroid Moment Tensor*, si possono considerare parenti diretti dei *Global CMT*.



**Figura 1.** Mappa dei momenti tensori pubblicati dal sito dell'*European-Mediterranean Seismological Centre* (EMSC, <http://www.emsc-csem.org>) per l'evento del 20 maggio 2012.

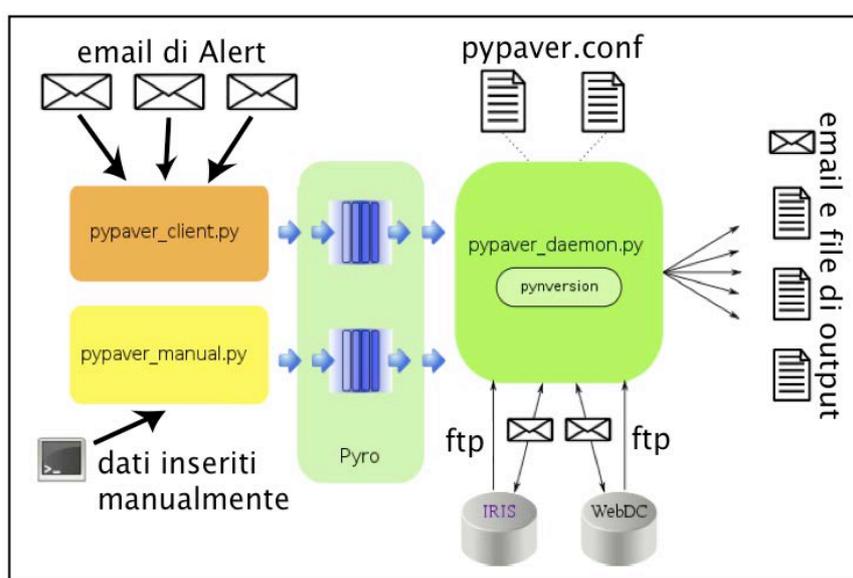
In questo Rapporto Tecnico, oltre che descrivere la procedura con cui vengono calcolati gli RCMT e come essa sia cambiata nel tempo al variare delle tecnologie a disposizione, descriviamo anche l'architettura test per automatizzare il più possibile tutti i passaggi di cui la procedura è costituita. Al di là dei commenti di carattere tecnologico, cerchiamo anche di esporre benefici e complessità della determinazione automatica real-time di grandezze fisiche così importanti da sapere nel momento in cui è in corso una sequenza sismica.

## 1. Quando e come calcoliamo un Quick RCMT

Abbiamo iniziato a calcolare gli RCMT nel 1997, con la sequenza dell'Umbria-Marche [Ekström et al., 1998; Pondrelli e Morelli, 2008]. Fino ad allora era stato possibile calcolare il tensore momento sismico solo per grandi terremoti ( $M > 6.5$ ). All'epoca era quindi già così importante riuscire a calcolare un CMT per un evento di magnitudo moderata (tra 4.5 e 6.5), da non potersi neanche immaginare un sistema di calcolo real-time come abbiamo in funzione ora, men che meno con una porzione elevata se non totale di automazione della procedura.

Gli RCMT real-time, detti Quick RCMT, nei limiti dei mezzi di allora, vennero pubblicati dopo molti test, dal 2001, nelle pagine di MedNet (<http://mednet.rm.ingv.it>), ovvero nelle stesse pagine web dove veniva descritta la rete di sismometri very broadband che ci forniva i dati fondamentali per questi studi [Mazza et al., 2008]. Per calcolare gli RCMT, notificata la localizzazione, si scaricavano le forme d'onda via modem; ogni trasferimento veniva fatto a mano e anche ogni passaggio delle procedure di calcolo.

Ora, quando avviene un evento con magnitudo da 4.5 in su nell'area Europea-Mediterranea, si attiva Pypaver (Figura 2), la procedura semi-automatica che permette il calcolo di un Quick RCMT (QRCMT) che, dopo una revisione manuale, viene solitamente pubblicato, nel più breve tempo possibile, sia su una pagina web dedicata, <http://autorecmt.bo.ingv.it/quicks.html>, che sulla pagina web dell'evento presso l'EMSC (Figura 1). Successivamente (entro 1-2 mesi a seconda della quantità di sismicità in corso), le soluzioni QRCMT vengono riviste aggiungendo alla procedura sismogrammi e informazioni sulla localizzazione non disponibili in real-time, e alla fine si calcola l'RCMT definitivo, che entra a far parte del Catalogo Europeo-Mediterraneo [Pondrelli et al., 2002; <http://www.bo.ingv.it/RCMT>].



**Figura 2.** Architettura di pypaver.

## 2. Flow chart della procedura di calcolo

### 2.1 Alert e Acquisizione dei simogrammi

Quando avviene un terremoto di magnitudo superiore a 4.0 in Italia o di magnitudo superiore a 4.5 nell'area Europea-Mediterranea, o ancora di magnitudo superiore a 6.0 per tutto il resto del mondo, possiamo venir allertati attraverso messaggi email o sms. Le agenzie di cui ci serviamo sono l'INGV per l'Italia e dintorni e l'EMSC per il resto del mondo.

L'arrivo degli email di Alert è recepito da Pypaver attraverso un client sempre attivo (pypaver\_client di Figura 2), che esaminando il testo ne estrae i parametri sul terremoto, ovvero localizzazione e magnitudo, necessari per le operazioni successive. Pypaver, recepito e analizzato l'Alert, prepara le email di richiesta dei sismogrammi ai centri di distribuzione dati. I due siti presso i quali, negli anni, abbiamo verificato una costanza e qualità di distribuzione dei sismogrammi molto alta sono IRIS (<http://www.iris.edu/hq>) e WebDC (<http://www.webdc.eu>). Da entrambi i centri si possono ottenere dati di stazioni broadband e very broadband da reti mondiali e regionali. I dati sismologici di interesse possono essere scaricati attraverso diverse modalità, con metodi sempre più innovativi e veloci. Questi cambiamenti continui verso miglioramenti tecnologici per la fruibilità dei dati, per noi, in alcune fasi, sono stati un ostacolo: appena organizzavamo le nostre procedure basandoci su un sistema standard per lo scarico dei dati, quello veniva modificato. Alla fine ci siamo indirizzati verso l'utilizzo di - forse - uno dei più vecchi metodi, denominato `breq_fast` ([http://www.iris.edu/manuals/breq\\_fast.htm](http://www.iris.edu/manuals/breq_fast.htm)). Questo metodo prevede la spedizione di un email adeguatamente formattato (Figura 3), che includa la richiesta dei dati per ciascuna stazione, specificando componente e canale, la durata necessaria (solitamente dai 30 ai 60 minuti) e tutte le specifiche del mittente. Al richiedente viene spedito un messaggio che indica l'indirizzo del sito da cui i dati richiesti possono essere scaricati. Questa modalità ha dell'arcaico rispetto ai metodi di trasferimento dati odierni, ma in sostanza noi abbiamo scelto la stabilità a scapito degli aggiornamenti, almeno finché le procedure di selezione dei dati e di calcolo automatico non saranno stabili.

In base alla magnitudo e alla localizzazione del terremoto, vengono selezionate le stazioni per le quali richiedere i dati, poichè se la magnitudo è moderata, es. 4.5, risulta inutile avere i sismogrammi di stazioni lontane, per le quali scaricheremmo solo rumore sismico. Quindi richiediamo i dati delle stazioni più lontane di 50° solo se la magnitudo è superiore a 5.0. Pypaver\_daemon.py scrive quindi un email (Figura 3) e lo spedisce sia ad IRIS che a WebDC, e resta in attesa di risposta. Quando i dati sono pronti, dai Data Center arriva un email che attiva quelle funzioni di Pypaver che puntano i dati, li scaricano e li processano affinché siano pronti per l'inversione e il calcolo dell'RCMT (Figura 2). Il processamento consiste nella trasformazione dei dati da seed a SAC e al formato usato dai codici di calcolo, nella deconvoluzione della risposta della stazione e nel filtraggio (inizialmente tra 50 e 150 s per tutti i sismogrammi), nonché nella creazione dei files che includono tutte le informazioni iniziali necessarie per l'inversione, come localizzazione e magnitudo preliminari, estratte dagli email di Alert.

### 2.2 Calcolo dell'RCMT

Acquisiti i sismogrammi, Pypaver attiva una serie di programmi preesistenti (funzione `pynversion` in Figura 2, descritta per esteso in Figura 4) che fanno le inversioni dalle quali otteniamo i Quick RCMT. In particolare sono previste due inversioni. La prima viene fatta a localizzazione fissa e comprende tre iterazioni. L'output di questa prima inversione viene usato come input della seconda, che viene effettuata a localizzazione libera (quindi include il calcolo anche del centroide e non solo del tensore momento sismico). Quest'ultima prevede cinque iterazioni (Figura 5). Tra la prima e la seconda inversione vengono solitamente scartati i sismogrammi per i quali il confronto con i sismogrammi sintetici dà un errore quadratico medio superiore a 0.6 (essendo 0.0 per una perfetta

coincidenza e 1.0 per massima diversità). Per esempio, in Figura 5 è riportato l'esito di questa procedura per l'evento del 20 maggio 2012 in Emilia e si vede come parte delle stazioni usate nella prima inversione non sono più incluse nella seconda. Infatti i cerchi con raggi verdi, gialli e rossi, che rappresentano la distribuzione azimutale delle stazioni attorno all'epicentro sia per onde di volume (B) che di mantello (M) che di superficie (S), mostrano che i raggi rossi – che appartengono ai sismogrammi con elevato errore quadratico medio – ci sono per la prima inversione ma non per la seconda. I raggi gialli rappresentano le stazioni con errore quadratico tra 0.4 e 0.6 mentre quelli verdi le stazioni con errore quadratico inferiore a 0.4.

```

Subject: Event 1209220352A : data request
To: breqfast@webdc.eu
To: breq_fast@iris.washington.edu
.NAME      Silvia Pondrelli
.INST      INGV - Sezione di Bologna
.MAIL      Via Donato Creti 12, 40128 Bologna - Italy
.EMAIL     seismicevents@ingv.it
.MEDIA     ftp
.LABEL     1209220352A
.QUALITY   B
.END
APE  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHZ
APE  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHN
APE  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHE
BKB  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHZ
BKB  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHN
BKB  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHE
BOAB GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHZ
BOAB GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHN
BOAB GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHE
CSS  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHZ
CSS  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHN
CSS  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHE
DAG  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHZ
DAG  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHN
DAG  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHE
DSB  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHZ
DSB  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHN
DSB  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHE
IBBN GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHZ
IBBN GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHN
IBBN GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHE
ISP  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHZ
ISP  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHN
ISP  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHE
KBS  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHZ
KBS  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHN
KBS  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHE
KMBO GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHZ
KMBO GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHN
KMBO GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHE
KWP  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHZ
KWP  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHN
KWP  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHE
LVC  GE 2012 09 22 03 52 25.40 2012 09 22 04 52 25.40 1 LHZ

```

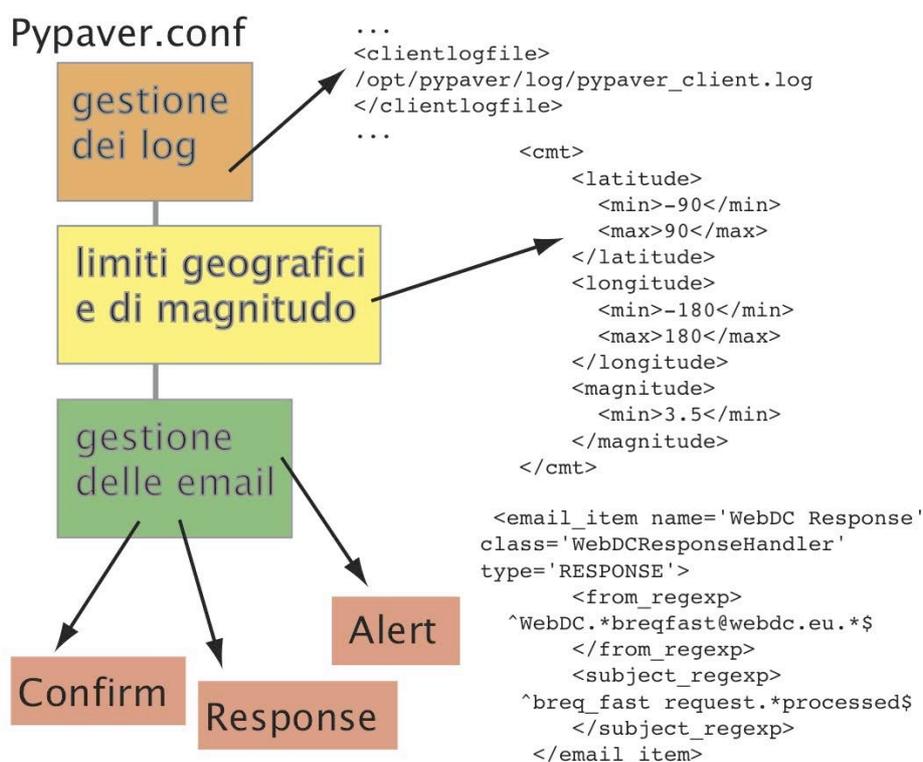
**Figura 3.** Esempio di email preparato per la richiesta dati in formato breq\_fast.

Un'altra importante informazione che si ottiene dalla Figura 5 è indicata dalle barre colorate a fianco di ciascuno dei parametri che possono variare durante l'inversione. In funzione della lunghezza e del colore di queste barre si può immediatamente capire se un parametro è stabile o meno. Infatti, quando la barra è rossa, significa che il corrispondente parametro è variato tra in'iterazione e la successiva di un'entità critica, mentre se la barra è verde significa che il parametro varia, ma di poco tanto da essere considerato stabile. Per

esempio, in Figura 5, nel riquadro di destra che riporta le informazioni per la seconda inversione, risulta che il parametro *dr*, che è la differenza fra la localizzazione iniziale e quella del centroide, è troppo grande tra la seconda e la terza iterazione, segnalato dalla barra rossa; nelle successive iterazioni però si stabilizza, tanto che ad esso corrisponde una barra verde molto piccola.

Alla fine della seconda inversione, gli output contenuti in Figura 5, vengono spediti via email agli operatori che, vedendo la qualità del momento tensore ottenuto, possono decidere come intervenire per la revisione manuale e la pubblicazione su web.

La revisione manuale consiste nel visionare uno per uno i confronti fra sismogrammi reali e sintetici per escludere quelli che inficiano la buona riuscita dell'inversione. Ciò può rendersi necessario per diversi motivi, che vanno dal cattivo funzionamento di una stazione o dall'eccesso di rumore rispetto al segnale. In generale, se la magnitudo preliminare è elevata,  $M > 5.5$ , la fase automatica preliminare produce delle soluzioni che nel 90% dei casi potremmo già pubblicare automaticamente su web, come abbiamo verificato anche durante la recente sequenza sismica emiliana [Pondrelli et al., 2012]. Per gli eventi di magnitudo minore ci troviamo spesso a dover filtrare molto più di quanto il sistema automatico da solo non faccia per ottenere una soluzione stabile.



**Figura 4.** Blocchi di cui è costituito `pypaver.conf`, che seleziona e gestisce in entrata le informazioni elaborate da `pypaver_daemon`. Sulla destra sono riportate porzioni di programma come esempio.

Soprattutto è necessario filtrare in modo diverso stazioni vicine e lontane; in automatico fin'ora è stato possibile filtrare diversamente a seconda della magnitudo, ma tutte le stazioni coinvolte nell'inversione allo stesso modo. Questo ulteriore miglioramento ci dovrebbe permettere l'automatizzazione completa del processo.

Effettuata la revisione manuale, il Quick RCMT viene pubblicato su web, sia nel sito INGV dedicato, <http://autorcmr.bo.ingv.it/quicks.html>, che sulla pagina dell'evento presso l'EMSC.

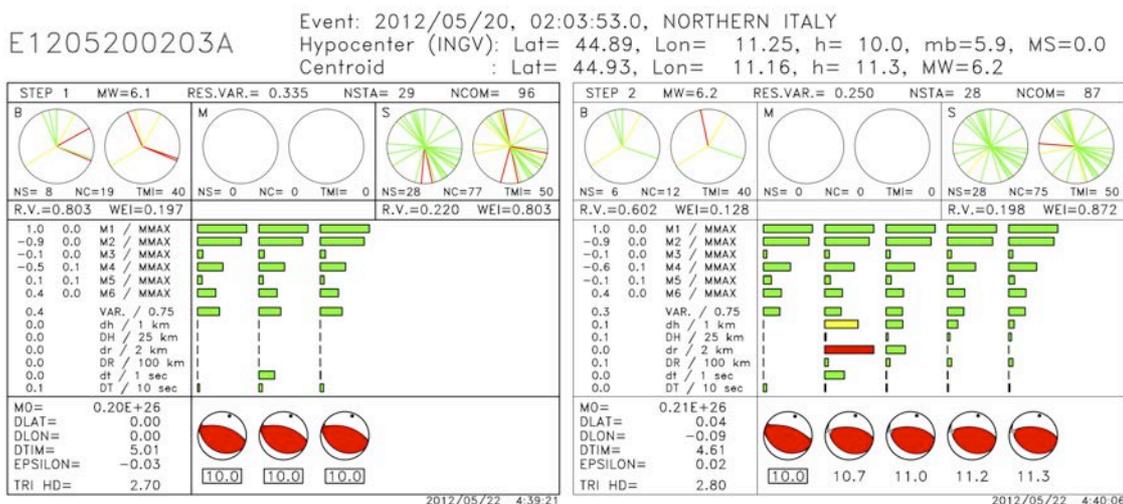


Figura 5. Esempio di output della procedura automatica di calcolo di un QRCMT.

### 3. Pypaver

La finalità del software Pypaver è quella di automatizzare il più possibile la catena di analisi descritta nel paragrafo precedente, combinando i programmi già esistenti ed utilizzati per le procedure di inversione, con i meccanismi di ricezione degli alert, dei dati e tutte le altre segnalazioni necessarie.

In particolare, trattandosi di uno strumento di coordinamento di vari tool già presenti e mantenuti da diverse persone e gruppi di lavoro, nello sviluppo dell'architettura di Pypaver si è posta una particolare attenzione alla flessibilità e facilità di modifica delle configurazioni e funzionalità di base, allo scopo di aumentarne la robustezza e utilizzabilità.

Per risolvere casi in cui si verificano disservizi momentanei (nella segnalazione o nel reperimento dei dati necessari all'analisi), oppure vengano effettuate delle modifiche ai formati delle email, alla disponibilità delle forme d'onda o alle specifiche dei protocolli delle terze parti, è necessario considerare a priori un certo grado di ridondanza nelle fonti di informazioni esterne all'INGV. Per questo prevediamo di ricevere gli Alert non solo dall'INGV ma anche dall'EMSC, che i sismogrammi vengano richiesti sia ad IRIS che a WebDC, oppure che le segnalazioni che la procedura è attiva vengano mandate a più destinatari.

In questo contesto non è pensabile l'utilizzo di un approccio sincrono, con l'uso per esempio di un crontab che verifichi ad intervalli prestabiliti la presenza di nuovi sismi oppure dati. Infatti, nel momento stesso in cui si accetta la definizione di un terremoto come evento, si ricade naturalmente nel dominio dei procedimenti asincroni, dove l'esecuzione dei programmi avviene solo al momento necessario e con la maggior prontezza possibile.

La segnalazione attraverso email, sia dell'evento che della successiva disponibilità dei dati ed infine dell'output finale della parte automatica, rispetta esattamente il paradigma asincrono appena introdotto, ed è infatti pienamente sfruttato nella realizzazione della procedura automatica di analisi.

#### 3.1 Sistema e risorse

Nella scelta delle risorse dedicate a questo procedimento di automatizzazione ha avuto primaria importanza la necessità di rimanere vincolati al sistema operativo Solaris: infatti, per poter continuare ad utilizzare i codici per il calcolo dei CMT già esistenti e

consolidati, è necessaria, tra le altre, la libreria grafica GKS, disponibile solo per SunOS (5.10 nel nostro caso). La workstation utilizzata è una Ultra45, su architettura UltraSPARC III, con 1024MB di RAM, ma questo viene indicato solo a titolo informativo: per l'esecuzione delle componenti di Pypaver non si necessita infatti di una quantità significativa di risorse, anzi, sarebbe possibile utilizzarla su qualsiasi computer che includa Python.

### 3.2 Linguaggio ed Architettura di Pypaver

Per agevolare la scrittura del programma, la comprensione del codice e della struttura, quindi il loro mantenimento e le eventuali modifiche, la portabilità e la flessibilità, si è scelto di mantenersi ad un livello di astrazione sufficientemente alto da ignorare i dettagli del sistema operativo e dell'architettura del processore, puntando maggiormente l'attenzione sul flusso delle informazioni e la possibilità di combinare differenti sotto-programmi scritti separatamente.

È stato quindi scelto il linguaggio Python, nella sua versione 2.5, per compatibilità e supporto verso la piattaforma, rivelatosi, anche in fase di attuazione, ottimale per gli scopi elencati.

A complementare la comunicazione asincrona fornita dall'interfaccia email con gli Enti esterni per la gestione delle segnalazioni di disponibilità e puntamento dei dati, si è integrato un framework, Pyro, per il passaggio di messaggi ed oggetti tra differenti istanze di un programma Python (Figura 2). Grazie a questo è stato possibile suddividere comodamente le funzionalità tra differenti eseguibili (`pypaver_daemon`, `pypaver_client` e `pypaver_manual`) senza dover re-implementare più volte le stesse procedure e, contemporaneamente, mantenendo la semplicità di ogni programma. La Figura 2 mostra la suddivisione in componenti ed i canali di comunicazione tra di essi.

Oltre alla gestione della segnalazione asincrona degli eventi e della disponibilità dei dati, si è reso necessario anche l'utilizzo di alcuni *timeout* nell'invio delle richieste e nella ricezione delle conferme e scarico dei dati. Sembra un problema banale, ma la tempistica di acquisizione dei dati deve avvenire dopo un certo tempo dal terremoto affinché i dati siano già stati immagazzinati dai Data Center; inoltre se arrivano dati da entrambi i Data Center entro un certo tempo, la procedura automatica parte una sola volta, piuttosto che due volte con i dati di IRIS e WebDC separatamente. Infine, quando si è nel pieno di una sequenza sismica, Alert, richieste e conferme di disponibilità dei dati e inversioni si accavallano e attivano contemporaneamente. I *timeout* hanno impedito più volte un esito negativo al sovraccarico del sistema.

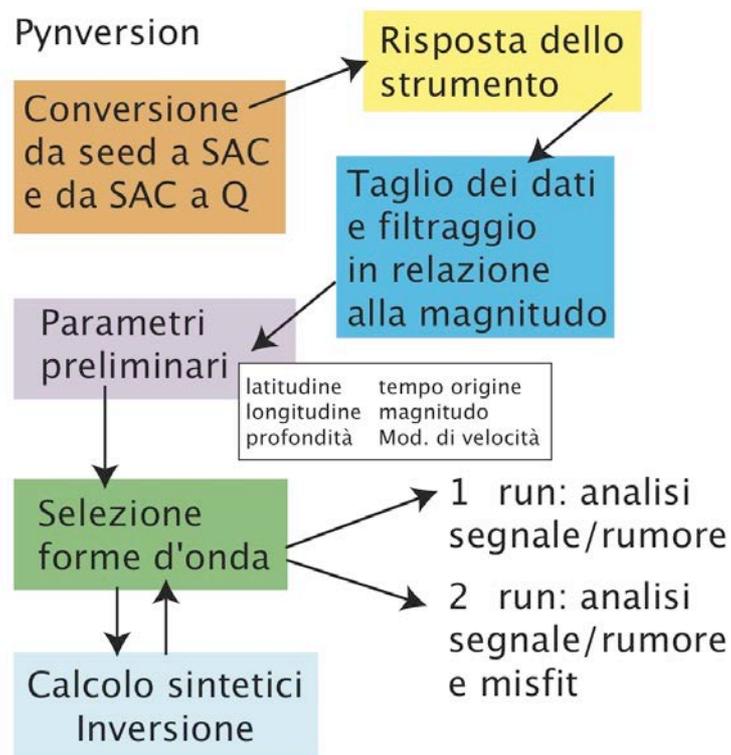
Per gestire e coordinare tutte queste procedure è stato realizzato un componente server, sempre in esecuzione, che gestisce e coordina le varie operazioni.

Nel dettaglio, la separazione tra i sotto-programmi, è così strutturata:

- `pypaver_client`: si occupa della ricezione delle email, del loro eventuale inoltramento ad ulteriori indirizzi configurabili (facoltativi) e di passare l'oggetto risultante al componente server. Nel corso della progettazione e scrittura del codice si è preferito eliminare ogni elemento della logica (sia di riconoscimento delle email valide, sia di creazione dell'oggetto `SeismicEvent`) da questo eseguibile, accentrando le responsabilità in `pypaver_daemon`, attraverso i settaggi contenuti in `pypaver.conf` (Figura 4).
- `pypaver_manual`: permette di attivare le procedure di analisi a partire dai dati inseriti da riga di comando. In questo modo è facile mettere alla prova la corretta esecuzione delle procedure ed è possibile avviare un'elaborazione completa senza presupporre una precedente segnalazione esterna attraverso email.
- `pypaver_daemon`: implementa tutta la logica del programma. Riceve da parte delle altre componenti le segnalazioni, filtrate da `pypaver.conf` (Figura 4), sotto forma di

oggetti email o SeismicEvent. Letti e parsati i file di configurazione in xml, invia le opportune richieste delle forme d'onda ai Data Center. Una volta ricevute le email di conferma e di disponibilità degli archivi, si preoccupa di scaricarli via ftp e, sotto le opportune condizioni, procede con l'inversione. L'architettura multithread (derivata anche dalle funzionalità messe a disposizione dal framework Pyro), permette la gestione contemporanea di più richieste scongiurando così l'eventualità di blocchi della totalità del programma a causa di un errore nell'analisi di un singolo evento.

- pynversion.sh: script esterno che si occupa dell'effettiva inversione delle forme d'onda (Figura 6). Semplicemente riunisce e rende omogenei i comandi e le procedure già precedentemente utilizzati nell'analisi. Il risultato prodotto da questo script viene testato ed inviato alle email passate come parametri da pypaver\_daemon.



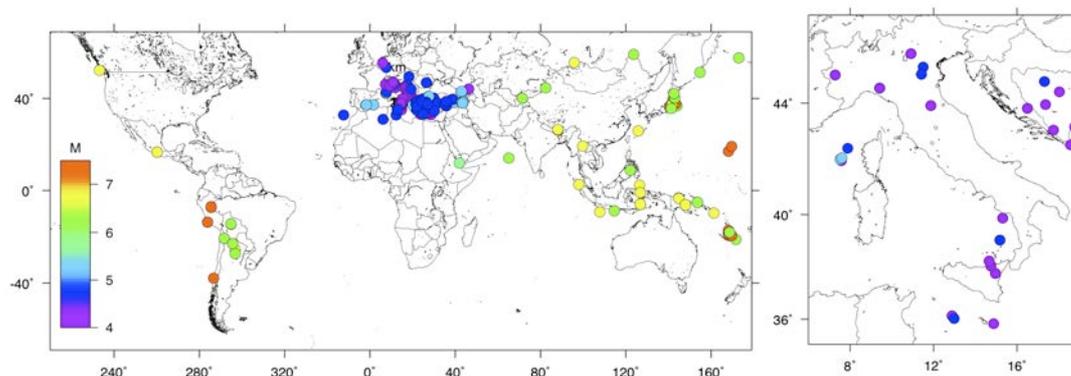
**Figura 6.** Sequenza delle azioni che precedono le inversioni.

#### 4. Risultati dei test

Per dare un quadro dei risultati ottenuti scorriamo i dati per l'anno 2011. Il sistema Pypaver s'è attivato 246 volte per un totale di 180 eventi di cui la maggioranza con M maggiore di 6 e comunque lontani dall'area mediterranea (Figura 7). La scelta di elaborare anche questa categoria di terremoti nasce dalla necessità di mettere all prova fittamente e in maniera realistica Pypaver. Chiaramente i QRcMT vengono poi calcolati e pubblicati solo per gli eventi sismici coerenti ai criteri geografici e di magnitudo del Catalogo Europeo-Mediterraneo degli RCMT.

I criteri sulla base dei quali riteniamo stabile un tensore momento sismico sono stati descritti in diversi lavori [Pondrelli et al., 2011 e referenze ivi contenute] e per semplicità si riassumono nella necessità che l'errore quadratico medio complessivo sia inferiore a 0.4. Considerato che non è stato ancora completato il perfezionamento della scelta dei filtri rispetto alla distanza stazione-evento, nè la possibilità di filtrare diversamente le stazioni all'interno di un'unica inversione automatica, ci sembra che i risultati mostrati in Figura 8 siano incoraggianti: più della metà delle attivazioni di Pypaver per eventi con magnitudo maggiore di 5.5 produce una soluzione automatica con rms minore di 0.4. Tutte queste soluzioni stabili potrebbero essere pubblicate automaticamente su web riducendo di molto i tempi di diffusione dell'informazione. Un altro dei controlli effettuati è l'influenza della fonte dell'Alert sulla qualità. Considerando l'INGV insostituibile per il territorio italiano e parte delle regioni circostanti, ci risulta che per eventi sia di area mediterranea, che sono quelli che ci premono di più, che per il resto del mondo, l'EMSC fornisce in tempi brevi coordinate preliminari molto stabili, che influenzano considerevolmente la qualità del QRCMT calcolato automaticamente. L'evidenza si ha nei casi in cui, per lo stesso evento, Pypaver s'è attivato con Alert provenienti da diverse agenzie: la soluzione prodotta partendo dai dati dell'EMSC è quella che ha l'rms minore (Figura 8).

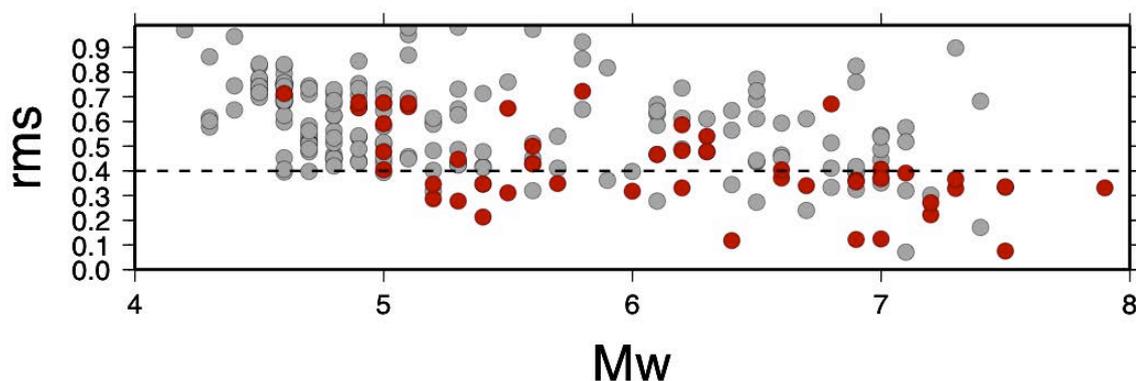
Sulla base quindi non solo di considerazioni geografiche ma anche di valutazioni sulla qualità dei dati forniti, utilizziamo l'INGV e l'EMSC per attivare Pypaver.



**Figura 7.** Mappe degli eventi elaborati da Pypaver nel 2011, a sinistra per tutto il mondo e a destra per il solo territorio italiano. I diversi colori rappresentano le diverse magnitudo (scala a sinistra in basso).

## 5. Conclusioni

L'importanza di spingersi verso un'automatizzazione totale per calcolare i tensori momento sismico è indiscutibile, affinché la tempistica della diffusione delle informazioni si riduca favorendo anche l'utilizzo dei dati ottenuti. Questo processo però non può andare a scapito della qualità e della stabilità delle informazioni. Sulla base di questi principi si è proceduto un po' per volta ad automatizzare il calcolo degli RCMT.



**Figura 8.** Grafico della distribuzione dell'errore quadratico medio complessivo (rms) rispetto alla magnitudo per gli eventi elaborati con Pypaver per l'anno 2011. I risultati ottenuti da un Alert partito dall'EMSC sono cerchiati in rosso.

La scrittura di Pypaver ha permesso di ottenere risultati ottimi, tanto che al posto delle ore, talvolta fino a 24, necessarie per calcolare un QRCMT prima della sequenza de L'Aquila del 2009, ora ci impieghiamo minuti. Durante la recente sequenza emiliana del 2012 [Pondrelli et al., 2012] la tempistica di pubblicazione è stata molto buona, ma ancora troppo influenzata dal traffico di rete, che cresce esponenzialmente in caso di terremoto. La revisione manuale di per sè porta via poco tempo rispetto ai trasferimenti di informazione e dei dati. La procedura Pypaver è scritta utilizzando una serie di accorgimenti atti proprio ad aggirare queste problematiche e in questi ultimi mesi ha dato prova di notevole stabilità. Stiamo ora valutando l'ipotesi di creare delle alternative alle modalità di richiesta dei sismogrammi, sfruttando le procedure arlink e seedlink ormai considerate stabili. In ultima analisi da ulteriori perfezionamenti del processamento dei dati (es. filtri/rumore vs distanza/magnitudo) riteniamo che a breve sarà possibile pubblicare i QRCMT ottenuti automaticamente anche per eventi con magnitudo inferiore a 5.5.

## Bibliografia

- Atzori S., et al., (2009). *Finite fault inversion of DinSAR coseismic displacement of the 2009 L'Aquila earthquake (central Italy)*, Geophys. Res. Lett., 36, L15305, doi:10.1029/2009GL039293.
- Cirella A., Piatanesi A., Cocco M., Tinti E., Scognamiglio L., Michelini A., Lomax A.J. and Boschi E., (2009). *Rupture history of the 2009 L'Aquila (Italy) earthquake from non-linear joint inversion of strong motion and GPS data*, Geophys. Res. Lett., 36, L19304.
- Ekström G., Morelli A., Boschi E. and Dziewonski A.M., (1998). *Moment tensor analysis of the central Italy earthquake sequence of September-October 1997*, Geophys. Res. Lett., 25, 1971-1974.
- Faenza L., Lauciani V. and Michelini A., (2011). *Rapid determination of the shakemaps for the L'Aquila main shock: a critical analysis*, Boll. Geof. Teor. App., 52, 3, doi: 10.4430/bgta0020.
- Lauciani V., Faenza L. and Michelini A., (2012). *ShakeMaps during the Emilia sequence*, Ann. Geophys., 55, 4, doi: 10.4401/ag-6160.
- Mazza S., Olivieri M., Mandiello A. and Casale P., (2008). *The Mediterranean Broad Band Seismographic Network*, Chapter 9 of Earthquake Monitoring and Seismic Hazard Mitigation in Balkan Countries. Springer Sciences + Business B.V.
- Pino N.A. and Di Luccio F., (2009). *Source complexity of the 6 April 2009 L'Aquila (central Italy) earthquake and its strongest aftershock revealed by elementary seismological analysis*. Geophys. Res. Lett., 36, L23305.

- Pondrelli S., Morelli A., Ekström G., Mazza S., Boschi E. and Dziewonski A.M., (2002). *European-Mediterranean regional centroid-moment tensors: 1997-2000*, Phys. Earth Planet. Int., 130, 71-101, 2002.
- Pondrelli S., Morelli A. and Ekström G., (2004). *European-Mediterranean Regional Centroid Moment Tensor catalog: solutions for years 2001 and 2002*, Phys. Earth Planet. Int., 145, 1-4, 127-147.
- Pondrelli S., Salimbeni S., Ekström G., Morelli A., Gasperini P. and Vannucci G., (2006). *The Italian CMT dataset from 1977 to the present*, Phys. Earth Planet. Int., doi: 10.1016/j.pepi.2006.07.008, 159/3-4, pp. 286-303, 2006.
- Pondrelli S., Salimbeni S., Morelli A., Ekström G. and Boschi E., (2007). *European-Mediterranean Regional Centroid Moment Tensor catalog: Solutions for years 2003 and 2004*, Phys. Earth Planet. Int., 164, 1-2, 90-112.
- Pondrelli S. and Morelli A., (2008). *Seismic strain and stress field studies in Italy before and after the Umbria-Marche seismic sequence: a review*. Ann. of Geophysics, 51, 2-3, 319-330.
- Pondrelli S., Salimbeni S., Morelli A., Ekström G., Postpischl L., Vannucci G. and Boschi E., (2011). *European-Mediterranean Regional Centroid Moment Tensor Catalog: solutions for 2005-2008*, Phys. Earth Planet. Int., 185, 74-81.
- Pondrelli S., Salimbeni S., Perfetti P. and Danecek P., (2012). *Quick RCMT solutions for the 2012 Emilia (Northern Italy) seismic sequence*, in "The Emilia (northern Italy) seismic sequence of May-June, 2012: preliminary data and results" edited by Marco Anzidei, Alessandra Maramai and Paola Montone, Ann. of Geophysics, 55, 4, doi:10.4401/ag-6146.



**Coordinamento editoriale e impaginazione**

Centro Editoriale Nazionale | INGV

**Progetto grafico e redazionale**

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2012 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

**<http://www.ingv.it>**



**Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia**