



Progetto S2 - Schede di rendicontazione scientifica delle singole Unità di Ricerca

Task 1:

Organizzazione di un sistema di riferimento unitario per la descrizione della sismogenesi

Responsabile: Roberto Basili (INGV-RM1)

UR 1.1 - Basili

INGV-RM1

UR 1.2 - Gasperini

UniBO

UR 1.3 - Albini

INGV-MI



UR 1.1 - Coordinatore: Roberto Basili (INGV-RM1)

1 - Summary

The main objectives of this Research Unit (RU) were to (1) update and improve the Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3, and (2) supply insights and support to other RUs in using it. As for (1) the efforts of this RU were dedicated on both Information Technology (IT) and scientific developments.

Although our activities needed to be re-scheduled more than once to satisfy requests from other parts of the project, all main goals of this RU have been satisfactorily accomplished and the planned deliverables will be supplied in due time. We also planned an additional issue of DISS which will incorporate the latest results of the project. The main difficulty encountered in the development of our tasks was the shortage in human resources with top-level Information Technology expertise.

The following sections will illustrate results and achievements of this RU.

2 - Results

2.1 - IT developments of DISS

The architecture of DISS provides three different modes of access: (1) a specifically designed cartographic (ArcIMS) and alphanumeric web interface that only requires a web browser and a fast (640 kbps or faster) Internet connection (Fig. 1a); (2) a web interface based on the Google Earth application (Fig. 1b), that requires a browser, a fast Internet connection and the Google Earth software (available free for Mac, PC and Linux computers at <http://earth.google.com/download-earth.html>); (3) standalone mode, which uses a custom application based on MapBasic. This access mode requires MapInfo 6.5 or higher and is available only for PC computers. It is intended for database developers and for selected users that wish to contribute their own data and interpretations to the database. It allows users to access several information levels not available on the web versions of the database, including georeferenced cartography in raster format, stress data, and several types of geophysical data. This version, including the dedicated software, is available upon request to sophisticated users and potential collaborators.

The main difference between the system available to developer-users (access mode (3) on desktop PC) and those available to all other remote users (i.e. those who use DISS 3 by access modes (1) and (2) through the Internet) is the number and functionality of supported tools. Built-in GIS tools on remote platforms are not, and will likely not be for long, as efficient as those on desktop computers. Thus, as of today, advanced spatial analyses and statistical computations can not be performed directly within the Internet user interfaces. To facilitate users we then distribute in seamless mode the main data tables in several GIS proprietary formats, such as MapInfo (mif/mid), ESRI ArcInfo Export (E00), ESRI Shape (shp), AutoCAD (DXF), and Google Earth (kml). All the information on accessing DISS 3 is available at the Internet site <http://www.ingv.it/DISS>. Figure 2 illustrates the web server/client architecture of the DISS system.

As inferred from the statistics of our web site, users who routinely visit DISS belong to various categories. They come not only from Italian and non-Italian research institutions and universities, but also from several regional administrations and private consulting companies. Figure 3 and Table 1 show some access statistics between June 16, 2006 and June 15, 2007. When DISS 3.0.1 was available the average daily access was of ~8.3 visits and ~19.5 pageviews. With the version 3.0.2 these numbers have raised to ~18.1 visits and

~43.0 pageviews. Notice that the web page that put users through the DISS 3.0.2 seamlessly downloadable data tables was visited 368 times in about nine months.

The DISS web site was accessed by users from 67 foreign countries, via 150 different network locations. Returning visitors were almost 50 percent, and a significant part of them visited the web pages more than 10 times each. This implies that the use of DISS extends well beyond the community of sibling researchers and that we may expect to meet an ever increasing demand.

2.2 – DISS scientific developments and content

DISS' main object is the Seismogenic Source. In Version 3 we distinguish three main categories of Seismogenic Sources based on their attributes, their expected use, the nature and reliability of data used to define them [Basili et al., 2007]:

(1) "Individual Seismogenic Sources" are defined by geological and geophysical data and are characterized by a full set of geometric (strike, dip, length, width and depth), kinematic (rake), and seismological parameters (single event displacement, magnitude, slip rate, recurrence interval). Each parameter is then rated for accuracy. Individual Seismogenic Sources are assumed to exhibit strictly-periodic recurrence with respect to rupture length/width, slip per event, and expected magnitude. They are compared to worldwide databases for internal consistency in terms of length, width, single event displacement and magnitude, and can be augmented by fault scarp data when available. This category is intended to supply the most accurate information available for the best identified sources, but it can not guarantee the completeness of the sources themselves. As such, Individual Seismogenic Sources can be used for calculating earthquake and tsunami scenarios and for tectonic and geodynamic investigations, but are not meant to comprise a complete input dataset for probabilistic assessment of seismic hazard.

(2) "Seismogenic Areas" also are based on geological and geophysical data and characterized by geometric (strike, dip, width, depth) and kinematic (rake) parameters. The length of "characteristic" rupture, however, is poorly defined or unknown, thus the source spans an unspecified number of Individual Sources. They are not assumed to be capable of a specific size earthquake but their seismic potential can be estimated from existing earthquake catalogues. A Seismogenic Area is essentially an inferred structure based on regional surface and subsurface geological data that are exploited well beyond the simple identification of active faults or youthful tectonic features. As opposed to the previous case, this category of sources was conceived to achieve completeness of the record of potential earthquake sources, although this may imply a smaller accuracy of source description. In conjunction with seismicity and modern strain data, Seismogenic Areas can thus contribute to the development of regional probabilistic seismic hazard assessment and for investigating large-scale geodynamic processes.

(3) "Macroseismic Sources" are based on automatic processing of macroseismic data of earthquakes with M 5.5 and larger using the algorithm developed by Gasperini et al. [1999]. They are subdivided into three categories (Macroseismic-Well Constrained; Macroseismic-Poorly Constrained; Macroseismic-Deep) depending on the quality of the macroseismic dataset and on the parameters supplied for each of them. The main purpose for including macroseismic sources is to better define the previous two categories of sources and to constrain the seismogenic properties and potential of poorly known areas.

Table 2 and Figure 4 illustrate the main improvements of DISS throughout the Project. All versions between 3.0.0 and 3.0.3 have always been made available to project partners and the public in the forms described in section 2.2.

As for the sources derived from geological/geophysical data, we took particular care in realizing and distributing version 3.0.2 because this is the version used in all other parts of the project. Apparently, the Seismogenic Areas is the category that has been mostly

augmented and that incurred in several major changes. This is because this category was first introduced at the beginning of the project. However, thanks to the collaborative effort among many components of the project and its partners we have significantly improved this dataset that turned to be a major input data source for many innovative analyses (see Section 3).

Version 3.0.3 contains only limited changes with respect to its immediate predecessor and, obviously, cannot include the final results of Task 2. Figure 5 shows some of the areas that have already been analyzed by our RU but not included in version 3.0.3. In the forthcoming months we will analyze and validate the results obtained by the RUs of Task 2 and incorporate them, together with our other results, in a new version of the database. The release of the 3.0.4 version is scheduled for September 30, 2007.

As for the sources derived from macroseismic data, version 3.0.3 contains a totally new elaboration obtained by using (1) the new database of macroseismic observations (DBMI04), made available by Project S1 and RU 1.3 of this project and (2) the latest version of the code Boxer, made available by RU 1.2.

Scientists involved in our RU have also made significant efforts in supplying the database with data collected through field campaigns in key areas, collaborations with other projects and other Italian and International scientists. These results will not be illustrated here; however, all available insights and improvements in any respect concerned with the knowledge of seismogenic sources have been and will always be readily incorporated in the database. Full acknowledgement of data sources and scientific contributions is guaranteed in the monographs dedicated to all records of the database.

2.3 - Data validation

One of the most compelling issues in the realization of a reference database of seismogenic sources devised for SHA applications, and necessarily shared by a large community of scientists, is the validation of the data it contains. Other major such databases in the world are the Quaternary Fault and Fold Database of the United States (USGS) and the New Zealand Active Faults Database (GNS). As of today, there is not a common strategy, not to mention an error-proof method, to declare the reliability of these types of data. In most cases, validation is implied by the effort of putting together large amount of data and generally warranted by the quality of science behind each record.

We tackled this problem in two ways: (1) by looking at single database entries and (2) by looking at the whole database. As for point (1) we propose, and are still testing, a conceptual model to assess the quality of the database entries by scoring both epistemic and stochastic uncertainties, the first being inherent with the declaration of existence of a seismogenic source, the second is associated to its characterization. This method provides an effective way to compare different database records, address areas of lack of knowledge, and make sensitivity tests to the applications that use them. As for point (2) we propose two types of validations, tectonic and seismic, carried out by comparing geological data with independent datasets.

Tectonic validation was carried out by looking at major regional tectonic trends outlined by seismogenic sources grouped by faulting types (Fig. 6A) and their slip vectors in map projection (Fig. 6B). The sources illustrate the lateral continuity of the normal fault system along the backbone of peninsular Italy and the different styles of compression in the outer parts of the mountain belt: thrusts in the south-eastern Alps, northern Apennines, Calabrian Arc, and Sicilian-Maghrebian chain; predominant strike slip east of the southern Apennines axis and in southeastern Sicily. The change in slip vector direction shows the continuous tectonic flow that extends through zones with different tectonic regimes. These two views facilitate the comparison between the information on faulting contained in DISS and other types of geophysical data. Kinematics and tectonic flow

predicted by DISS can be compared with the results of moment tensor summation of a few decades of seismicity located within the Seismogenic Areas of DISS in terms of average focal mechanisms (Fig. 6C) and P and T axes (Fig. 6D). Normal faulting in the inner Apennines is well represented. Conversely, and apart from the southern Tyrrhenian and the eastern Alps, compression is less well documented, with the exception of the thrust faulting earthquakes in the outer northern Apennines and the strike-slip faulting earthquakes in the Apulia foreland. In addition, we have analyzed borehole breakout [Montone et al., 2004] and GPS data [Serpelloni et al., 2005] which both augment the picture of the stress field in areas where focal mechanism data are rare. For instance, the characterization of the compressional stress field in most part of the areas previously mentioned is strongly improved. If taken alone, GPS and borehole breakouts mainly help with defining the geometrical properties of the stress field and tell little, if not nothing at all, on the potential for large earthquakes. This is where the knowledge about active faults illuminates the picture. All these analyses show that the kinematic view based on geophysical observations agrees very well with that obtained from the DISS seismogenic sources. Comparing fault data, such as those contained in DISS, with other geophysical data may look inappropriate at times because the different datasets are not strictly independent. However when they are all put together, one gets at least two immediate benefits. The first is the enhanced capability of exploring the information from geographically scattered point data (focal mechanisms, borehole breakouts, GPS measurements) over the spatial domain. The second is the longer time window that can be analyzed; few years to few decades for geophysical data compared to thousands of years for geologic data on active faults.

Seismic validation was carried out by assessing the database completeness. Completeness, in turn is given by balancing the seismic moment rate produced by the seismogenic sources with that produced by historical earthquakes. To do so we first subdivided the Italian territory into eight regions. Each region being dominated by a well characterized geodynamic process, containing the least possible number of faulting types, and a significant number of historical earthquakes. Figure 7 shows that in six regions (#1, #2, #3, #4, #5, #8) the earthquake moment rate production (MRP) falls within the range of geological MRP predicted by the Seismogenic Areas and in only two regions (#6, #7) the earthquake MRP is higher than the geological MRP. Assuming that earthquake MRP is stationary over time in the eight regions, this picture tells us that in some regions we may have either failed to map all possible geological sources or have underestimated the geological slip rates. However, at the scale of the entire country the completeness level of the database is well addressed. This is a very encouraging result that gives strength to all applications that uses this dataset. It also confirms the good choice of introducing the category of Seismogenic Areas into DISS.

3 – Outline of collaborations with other project partners

This section will briefly illustrate the main activities carried out in close collaborations with other partners of the project. The scientific outcomes of these collaborations are to be found in the pertinent reports of those partners.

- Project S2
 - RU2.4 Burrato. Collaboration with this RU was held throughout the project. Most of the improvements of DISS in key areas come from this RU. Specific work was done in northeastern Italy and western Slovenia [Burrato et al., 2007] and the southern Apennines.
 - RU2.19b Piatanesi. Collaboration with this RU was held throughout the project. Figure 8 shows the areas scrutinized during the project. Figure 9 shows the six areas where we carried out in-depth analysis and supplied fully parameterized seismogenic sources (Tab. 3) for the calculations of tsunami scenarios. More details on the scientific activity can be found in Lorito et al. [2007].
 - RU3.1 Barba. Collaboration with this RU was held throughout the project. Our RU supplied updated and in-depth information about seismogenic sources and major active tectonic structures, not strictly identified as seismogenic sources, to be incorporated in the numerical modeling for determining strain rates and slip rates of faults. Figure 10 shows a comparison of slip rates geologically determined and numerically calculated. Notice how numerical modeling helps filling the knowledge gaps between pairs of geological data that are necessarily scattered.
 - RU4.1 Akinci; RU4.4 Garavaglia; RU4.8 Peruzza; RU4.9 Rotondi. Collaboration with these RUs was mainly aimed at providing insights into the parameterization of seismogenic sources and the evaluation of the associated uncertainties. Our RU also supplied RU4.4 and RU4.9 with specifically designed elaborations, including lists of earthquakes associated to Seismogenic Areas and the regional subdivision of the Italian territory in terms of tectonic processes (see Fig. 7). This activity strongly contributed to develop one of the most innovative ways of calculating earthquake probabilities by using Seismogenic Areas instead of the most widely adopted Individual Sources.
- Project S3 (Coordinated by M. Mucciarelli and F. Pacor).
 - Collaboration with this project mostly concerned the in-depth analysis and critical review of a number of Individual Seismogenic Sources and Seismogenic Areas to be used as input data for calculating seismic shaking and intensity based scenarios.

References (papers made during the project in italics)

Basili, R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2007). The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology. Tectonophysics, (submitted 10/10/2006; revision 16/04/2007).

Burrato, P., M.E. Poli, P. Vannoli, A. Zanferrari, R. Basili, F. Galadini (2007). Sources of Mw 5+ earthquakes in northeastern Italy and western Slovenia: an updated view based on geological and seismological evidence. Tectonophysics, (submitted 16/10/2006; revision 13/06/2007).

Gasperini, P., F. Bernardini, G. Valensise, E. Boschi (1999). Defining seismogenic sources from historical earthquake felt reports. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89, 94-110.

Gasperini, P., G. Vannucci (2003). FPSPACK: a package of FORTRAN subroutines to manage earthquake focal mechanism data. *Computers & Geosciences*, 29, 893-901.

Lorito, S., M.M. Tiberti, R. Basili, A. Piatanesi, G. Valensise (2007). Earthquake-generated tsunamis in the Mediterranean Sea: scenarios of potential threats to Southern Italy. J. Geophys. Res., (submitted 22/01/2007).

Montone, P., M.T. Mariucci, S. Pondrelli, A. Amato (2004). An improved stress map for Italy and surrounding regions (Central Mediterranean). *J. Geophys. Res.*, 109, B10410, doi:10.1029/2003JB002703.

Serpelloni, E., M. Anzidei, P. Baldi, G. Casula, A. Galvani (2005). Crustal velocity and strain-rate fields in Italy and surrounding regions: new results from the analysis of permanent and non-permanent GPS networks. *Geophys. J. Int.*, 161, 861-880.

Vannucci, G., P. Gasperini (2003). A database of revised fault plane solutions for Italy and surrounding regions. *Computers & Geosciences*, 29, 903-909.

Table 1 – Statistics of access to the DISS web sites, <http://www.ingv.it/DISS>, between 16 June, 2006, and 15 June, 2007.

World: countries

Country	Visits	Pages/Visit
United States	127	2.09
France	69	1.99
United Kingdom	62	1.39
Germany	32	2.00
Poland	27	1.22
Spain	24	2.79
Switzerland	22	1.64
Greece	21	2.71
Sweden	21	1.43
Portugal	18	1.33

Country Detail: Italian cities

City	Visits	Pages/Visit
(not set)	981	2.34
Rome	692	2.04
Milan	615	2.13
Naples	238	2.41
Messina	135	1.65
Bologna	106	2.66
Catania	95	1.87
Augusta	95	1.93
Bari	84	2.14
Florence	73	2.22

Content Detail: .../Version302.html*

Country	Visits	Pages/Visit
Italy	368	5.82
France	11	3.18
United States	7	7.71
Germany	5	5.60
Greece	5	6.00

* Started September 7, 2006.

Table 2 – Major improvements of DISS during the project with respect to seismogenic sources based on geological/geophysical data.

	DISS 3.0.0	DISS 3.0.3
Date Released	<i>Jan 2005</i>	<i>Jun 2007</i>
Significant improvements	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Seismogenic Areas introduced</i> • <i>Web version implemented</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>11 non-Italian sources added</i>
Individual Seismogenic Sources	100	115
Seismogenic Areas	43	86
Support data: References¹	1,720	2,069
Support data: Images²	550	794
Support data: Texts³	~250	~300
Additional materials	<ul style="list-style-type: none"> • <i>41 "Previous fault compilations"⁴</i> • <i>12 Additional data⁵</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>41 "Previous fault compilations"⁴</i> • <i>20 Additional data⁵</i>

¹ Number of independent references attached to the seismogenic sources.

² Number of independent images (original or from published literature) documenting the seismogenic sources.

³ Number of equivalent pages of original texts documenting the seismogenic sources.

⁴ Previous fault compilations: georeferenced fault maps from previous papers/investigators.

⁵ Additional data: georeferenced sets of geophysical, geological data from various investigators.

Table 3 – *Parameters of the typical faults used in each source zone for the tsunami scenarios.*

	L (km)	W (km)	D (km)	Slip (m)	Strike (deg)	Dip (deg)	Rake (deg)	MCE (Mw)
Algeria-Tunisia	35	13.5	1	4	72	30	90	7.1
Southern Tyrrhenian	12	7	3	1	273	45	90	6.2
Hellenic Arc	130	86	5	17.5	314	35	90	8.4
Montenegro	50	20	1	2.5	312	35	82	7.2
Albania Greece	- 36	16	1	2.0	330	35	90	7.0
Kefallonia- Lefkada	110	18	3	2.0	27	60	162	7.3

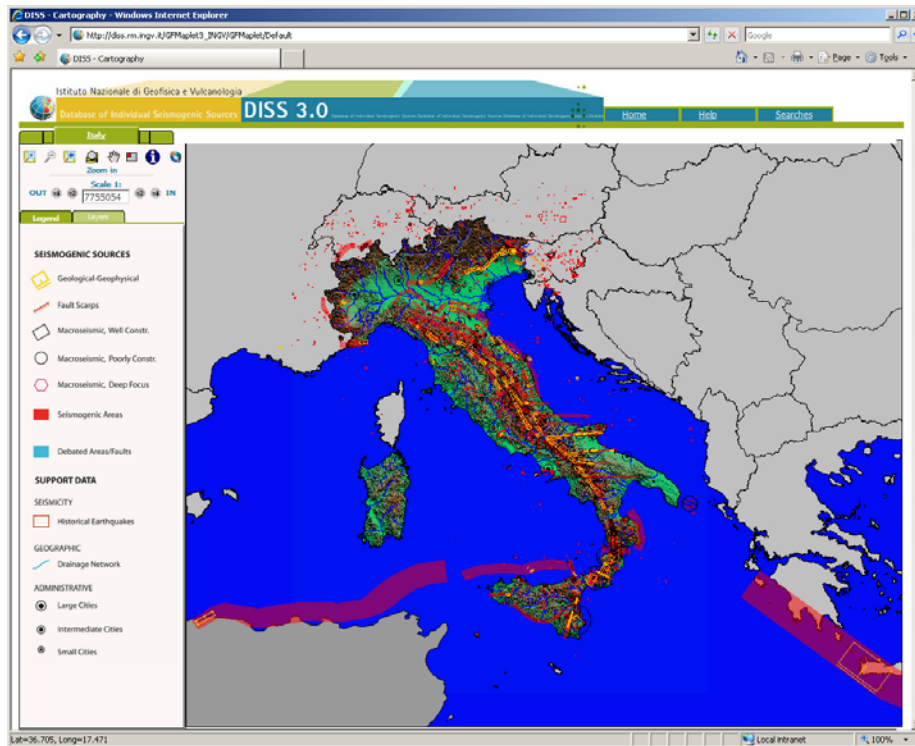
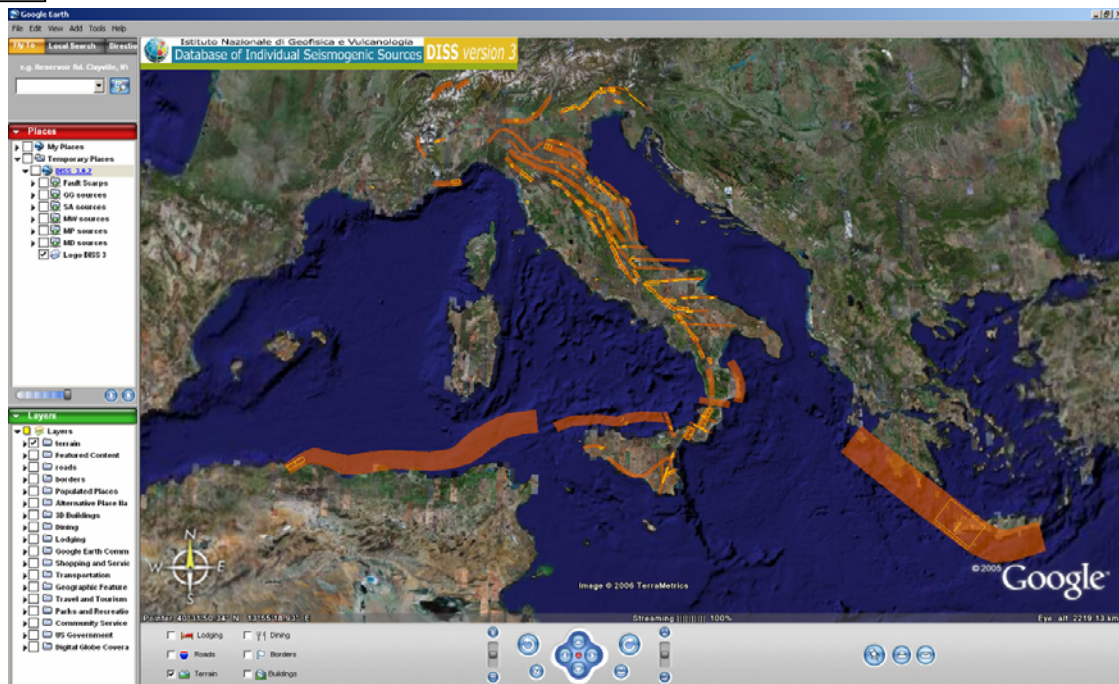
A**B**

Figure 1 – DISS 3 user interfaces. (A) Web interface provides navigation tools to users through a web application based on ArcIMS GIS engine; (B) Google Earth interface provides interactive navigation through the free Google Earth software.

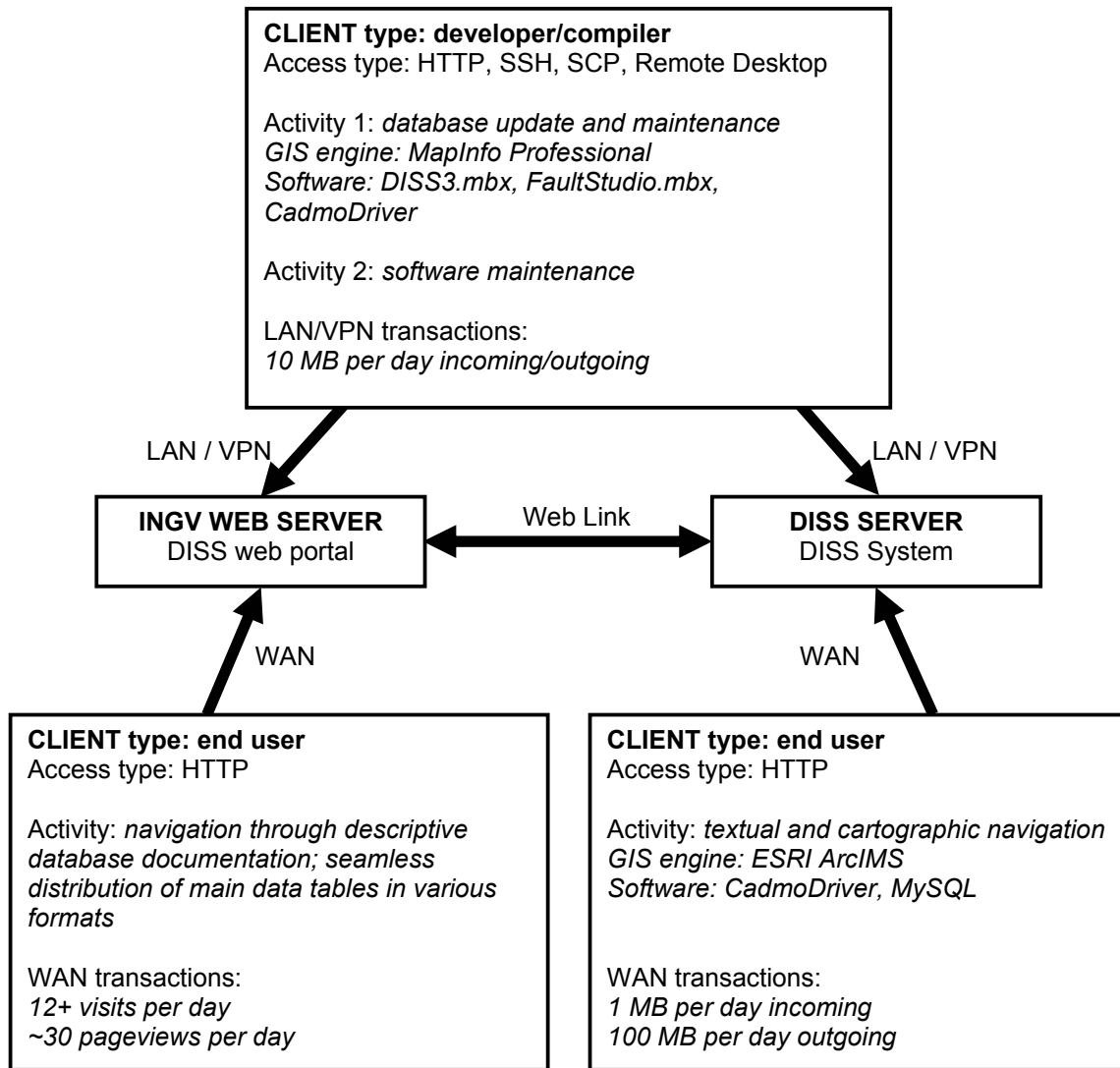


Figure 2 - DISS system server-client scheme illustrating the location of the server within the WAN and LAN systems, the hardware and software platforms, and the data distribution modes.



Figure 3 – Statistics of access to the DISS web site <http://www.ingv.it/DISS/> over a one-year period (June 16, 2006 – Jun 15, 2007). The top panel shows that visits picked right after the announcement that DISS 3.0.2 was released. Successive picks followed the Erice Meeting of October 18-24, 2006. Average pageviews of DISS 3.0.2 are significantly higher than those of the previous version. Weekly cycles are also evident. The Map Overlay shows that USA is the top visiting foreign country. Detail of Italian cities shows high points in Rome, Milan, and Naples (see Table 1 for details).

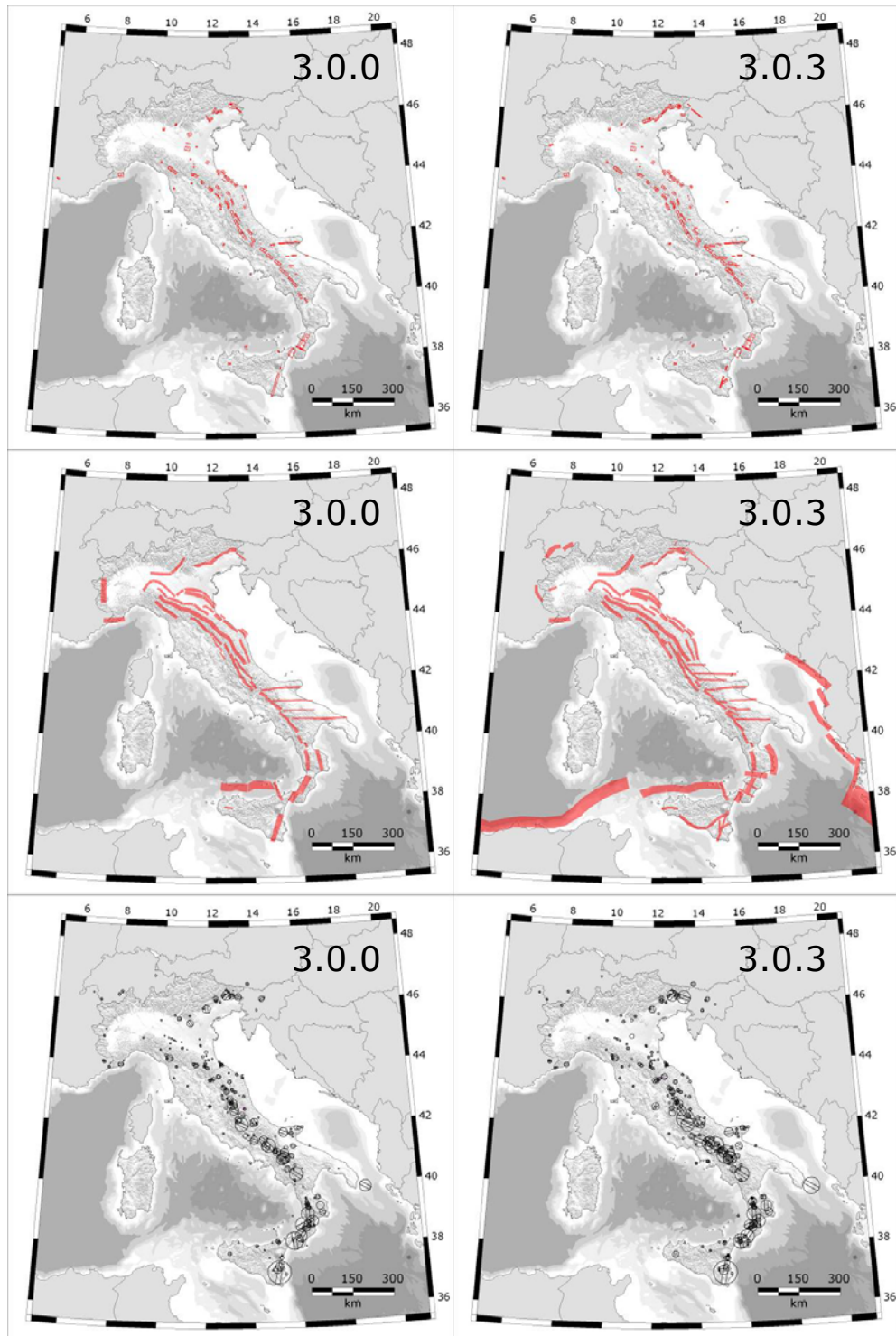


Figure 4 – Maps showing the increment of data incorporated into DISS during the project. Version 3.0.0 was the one available at the beginning of the project. Version 3.0.3 will appear in the main deliverable of this RU. From top to Bottom: Individual Seismogenic Sources based on geological/geophysical data; Seismogenic Areas based on geological/geophysical data; Macroseismic Sources (this layer was developed in collaboration with RU1.2 and RU1.3).

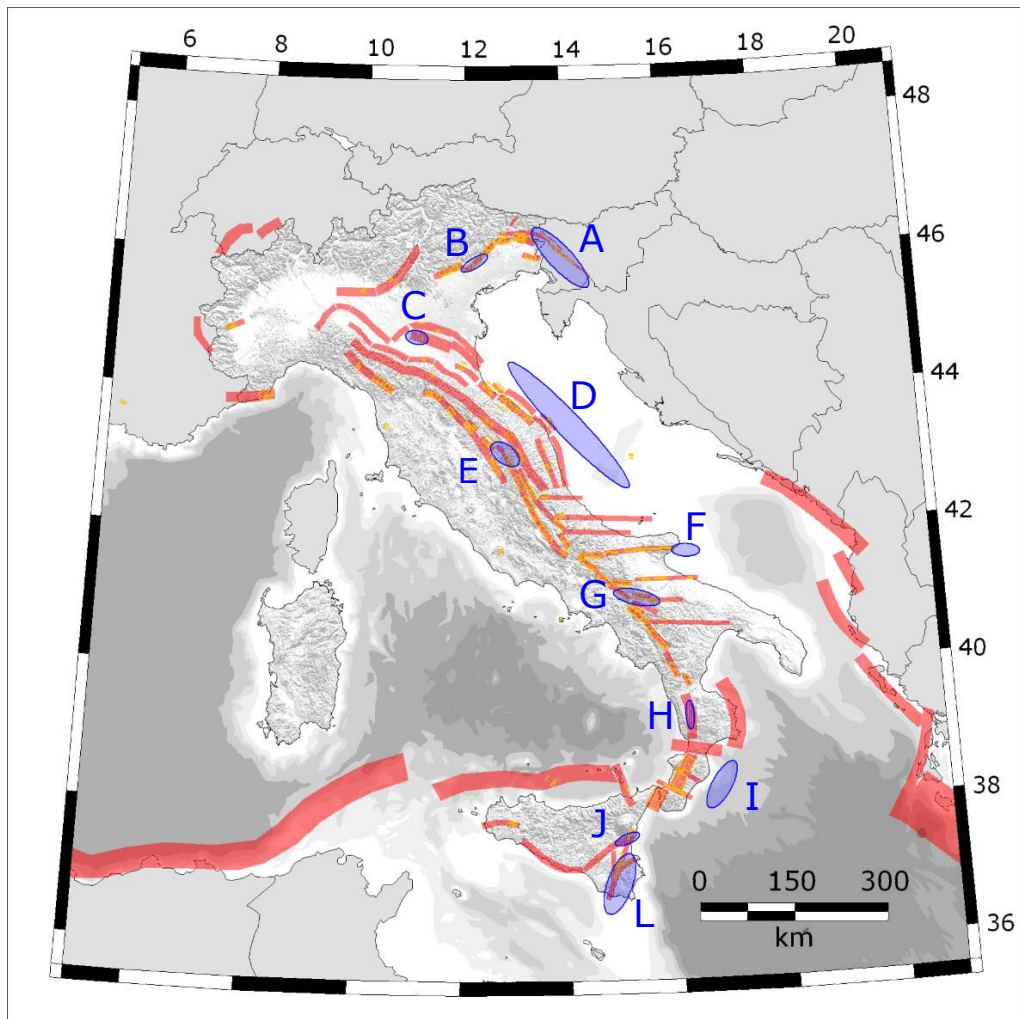


Figura 5 – Map showing areas (in blue) where the RU carried out original investigations during the project with DISS 3.0.3 in the background. A: Slovenian area; B: Montello-Conegliano thrust; C: Mirandola anticline; D: Mid-Adriatic Outer Front; E: Gubbio-Gualdo Tadino area; F: Mattinata-Gondola shear zone; G: Ufita River Valley-Vulture area; H: Crati River Valley; I: Southern Calabria Ionian Front; J: Terreforti anticlines; L: Hyblean area. These analyses will contribute in enriching DISS 3.0.4 (to be released by September 30, 2007).

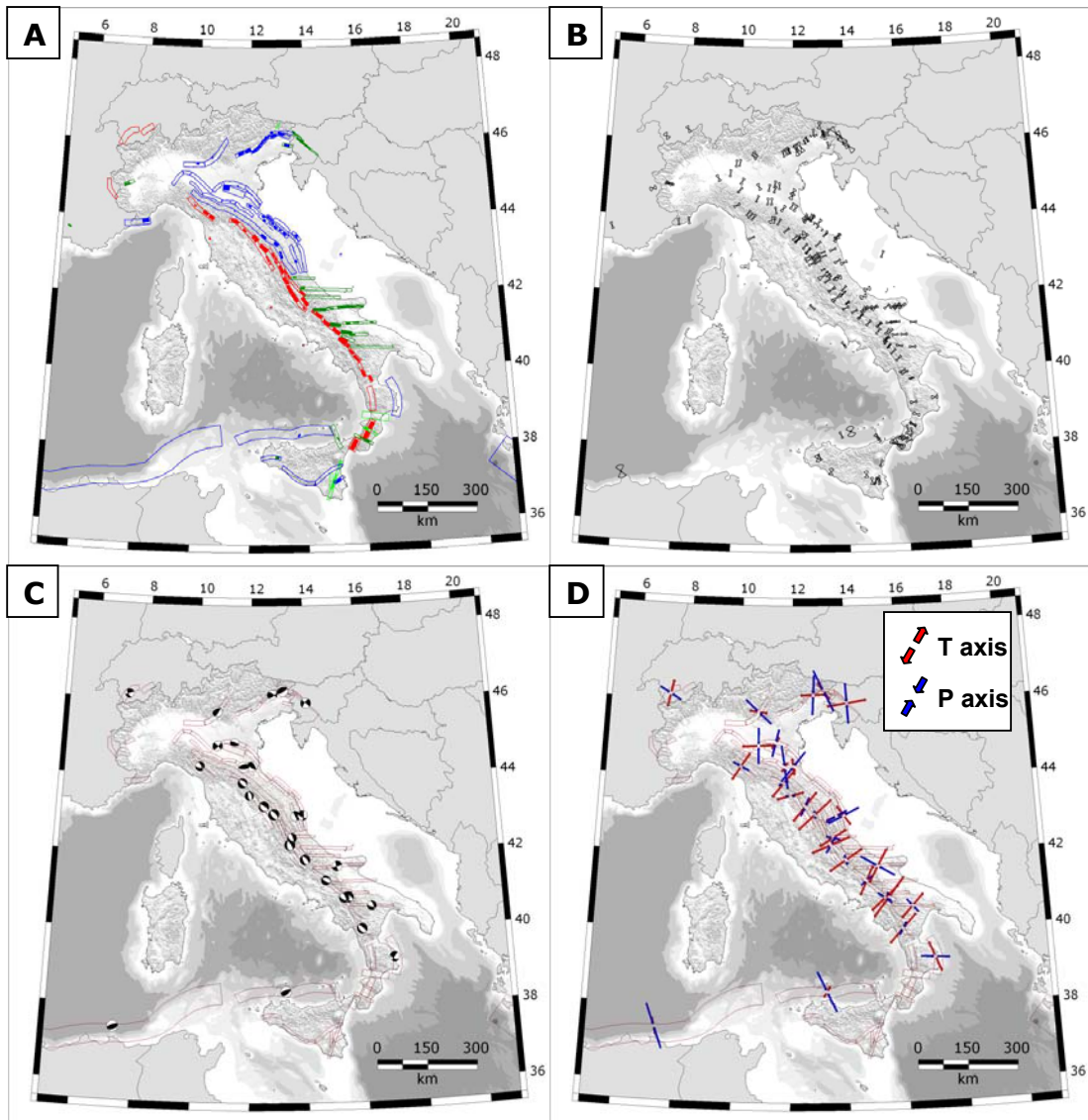


Figure 6 - (A) Individual Seismogenic Sources and Seismogenic Areas shown by color-coded faulting mechanisms. Blue: reverse or thrust; red: normal; dark green: right-lateral strike slip; light green: left-lateral strike slip. (B) Slip vectors with their angular variability from Individual Seismogenic Sources and Seismogenic Areas projected on the horizontal plane. (C) Average focal mechanisms and (D) P and T axes from moment tensor summation of earthquakes within the Seismogenic Areas of DISS (original elaboration by RU1.2 using the EMMA database by Gasperini and Vannucci [2003] and Vannucci and Gasperini [2003]).

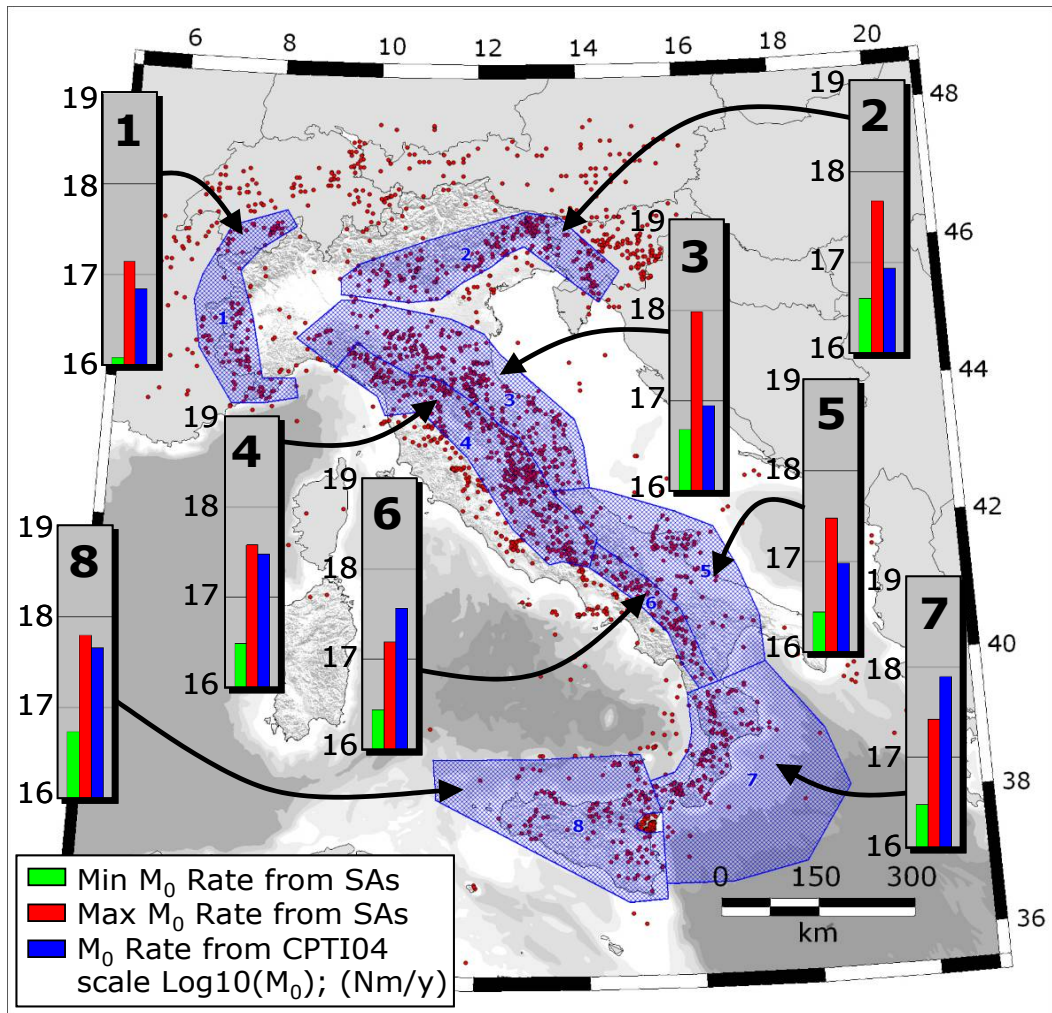


Figure 7 - Map showing the comparison between earthquake and geological moment rate productions in eight tectonically coherent regions.

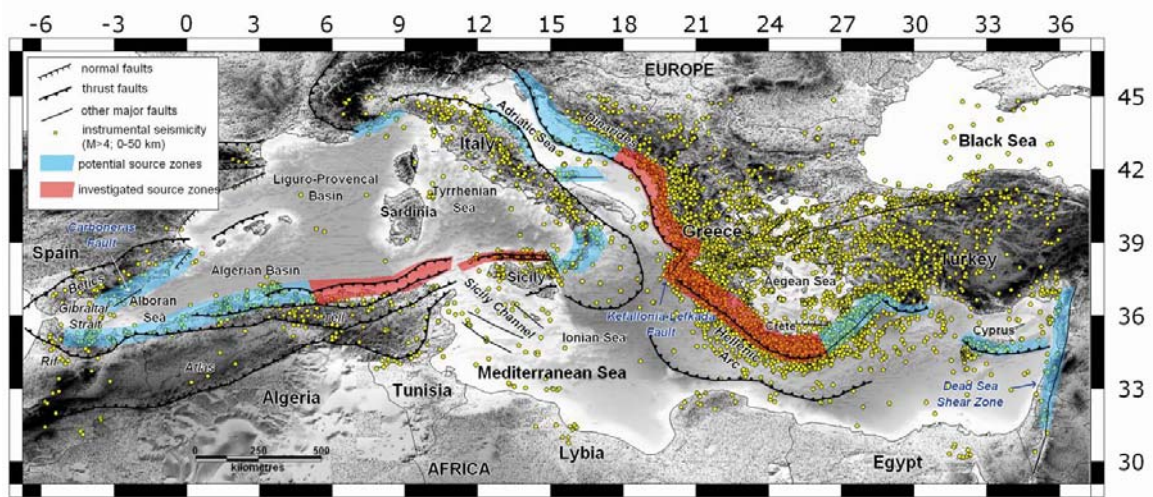


Figure 8 – Sketch map of main tsunamigenic sources in the Mediterranean area. In Red the zones studied during this project; in blue other potential source zones. Seismicity and main tectonic features are shown in the background.

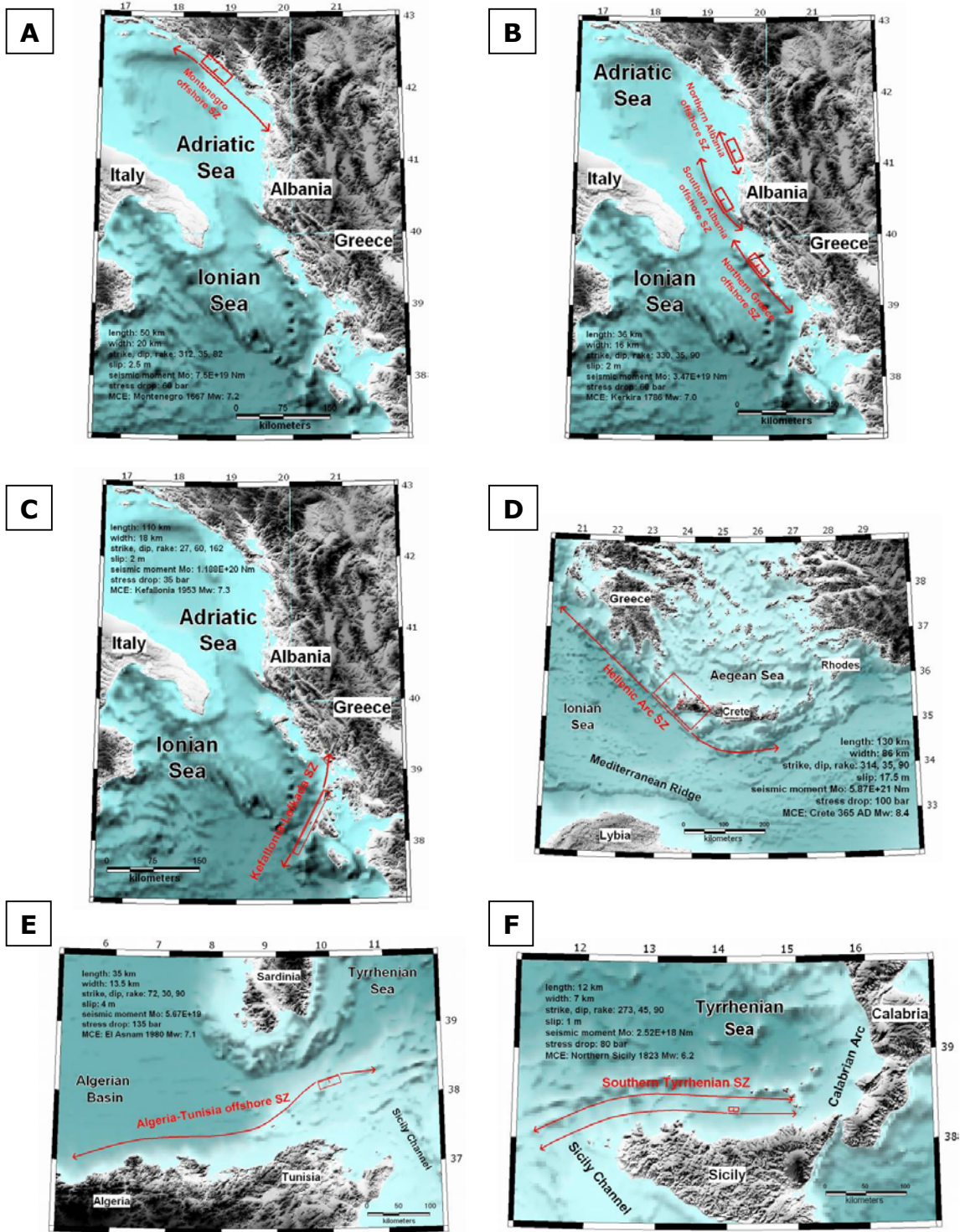


Figure 9 – Maps of the tsunamigenic earthquake sources studied during the project: (A) Montenegro; (B) Albania – Greece; (C) Kefallonia-Lefkada; (D) Hellenic Arc; (E) Algeria-Tunisia; (F) Southern Tyrrhenian. See fault parameters in Table 3.

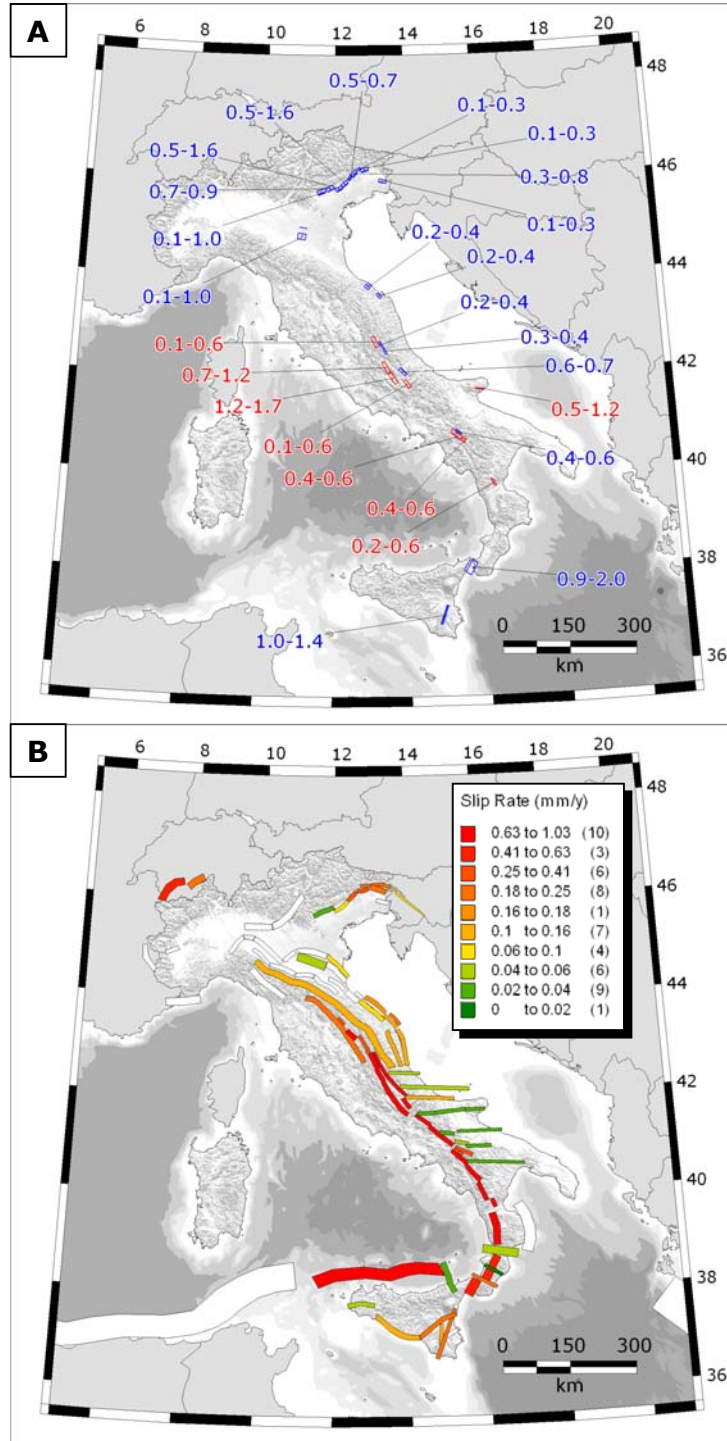


Figure 10 - (A) Slip rates of Individual Sources in DISS 3.0.3 from paleoseismological studies (red) and long-term tectonic studies (blue). (B) Slip rates of Seismogenic Areas calculated through numerical modeling by RU 3.4 (preliminary results as of May 2007, see RU3.4 report for final results).



UR 1.2 - Coordinatore: Paolo Gasperini (Dip. Fisica, Univ. Bologna)

L'attività dell'unità di ricerca nei due anni del progetto ha riguardato, come da programma, l'aggiornamento del database dei meccanismi focali mediterranei (EMMA, Vannucci e Gasperini, 2003; 2004) e lo sviluppo del codice Boxer (Gasperini et al., 1999) per il calcolo dei parametri di sorgente dei terremoti da dati macrosismici.

Per quanto riguarda il database EMMA, a partire dalla Versione 2.2 (Vannucci e Gasperini, 2004), sono stati inseriti 3355 nuovi meccanismi focali nell'area compresa fra le coordinate 32°W-72°E di longitudine e 22°N-52°N di Latitudine per un totale di 9511 soluzioni focali esaminate, di cui 9174 parametrizzate (ovvero con parametri focali corretti o ricostruiti e fornite dei parametri identificativi del terremoto). L'incremento rispetto alla versione precedente è pari al 54%. I nuovi meccanismi derivano da 78 lavori (riportati sinteticamente nella relativa sezione bibliografica).

In Figura 1a sono riportati i nuovi meccanismi aggiunti. Questi ultimi, come si evince dalla Figura 1b, in cui essi sono sovrapposti ai meccanismi presenti nella precedente versione 2.2 (in colore rosa), aggiungono consistente informazione sullo stile tettonico di zone scarsamente o affatto coperte in precedenza da meccanismi focali (Penisola del Sinai e zona Medio-Orientale, Nord Africa, Belgio, Carpazi).

Oltre all'aggiunta di meccanismi focali al database EMMA, è stato affrontato il problema dell'integrazione e del confronto fra i parametri ipocentrali e la magnitudo delle soluzioni focali presenti sul database e quelli forniti dai cataloghi sismici strumentali disponibili. Tali elaborazioni sono state effettuate sia a scala del territorio italiano che dell'intera area mediterranea. Per quanto riguarda l'area italiana sono stati utilizzati il Catalogo Sismicità Italiana (CSI) v1.1 (Castello et al., 2006), il Catalogo Strumentale dei Terremoti Italiani (CSTI) v1.1 (Gruppo di Lavoro CSTI, 2004) ed il bollettino sismico a cura del Centro Nazionale Terremoti (CNT) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), mentre a scala mediterranea sono stati considerati i cataloghi ISC e NEIC. Tale operazione non è stata ancora completata per circa un migliaio di terremoti (in massima parte di bassa magnitudo) a causa della difficoltà di reperire informazioni ipocentrali in aree per cui non sono disponibili cataloghi locali o regionali. Quindi, molto probabilmente, nella nuova versione 3.0 di EMMA (il cui pubblicazione è prevista per l'autunno del 2007) saranno ancora riportati, in questi casi, i dati presenti sui lavori originali.

Per quanto riguarda il codice di calcolo Boxer, esso è stato modificato per fornire una stima più affidabile degli errori dei principali parametri fisici di sorgente (localizzazione epicentrale, magnitudo equivalente, azimut, lunghezza e larghezza della box sismogenetica). Tale stima in precedenza era ottenuta dalla distribuzione empirica dei dati effettivamente utilizzati per il calcolo dei vari parametri che però non necessariamente rappresentava correttamente la distribuzione della popolazione dei possibili valori. La nuova procedura, ora sviluppata, si basa sul metodo bootstrap (Efron, 1979; Efron, 1981; Efron & Tibshirani 1986; Hall 1992) che consiste nell'analisi della varianza e covarianza di dataset ricampionati a partire dal dataset originale. Il presupposto di tale approccio è che la distribuzione empirica delle frequenze dei dati rappresenti una stima ottimale della distribuzione di probabilità della popolazione. Ciò implica che ogni dataset ottenuto ricampionando casualmente il set originale conserva le proprietà statistiche della popolazione stessa. Quindi i dataset ricampionati possono essere utilizzati per valutare (attraverso un approccio indipendente dalla distribuzione) le proprietà di campionamento di un parametro (ad esempio la deviazione standard) a partire dall'analisi dei valori empirici di tale parametro calcolati da ogni dataset ricampionato. Gli errori statistici di ogni parametro di sorgente possono quindi essere valutati come le deviazioni standard degli insiemi di valori assunti da tali parametri nei

dataset ricampionati. Il metodo bootstrap risulta essere preferibile, rispetto ad altri metodi analoghi (Permutation, Cross-Validation, Jackknife) in quanto conserva in ogni dataset lo stesso numero di osservazioni del dataset originale. Sebbene Efron (1979) suggerisca che un numero di set ricampionati pari al 20% del numero di dati sia sufficiente per una stima affidabile, l'implementazione in Boxer ne utilizza conservativamente in un numero almeno pari al numero di dati.

L'implementazione software è consistita nell'inserire all'inizio dell'analisi di ogni evento sismico un generatore di eventi ricampionati. Questi ultimi vengono poi analizzati attraverso la stessa procedura utilizzata per l'evento vero e successivamente processati per ricavare i parametri delle distribuzioni. L'analisi bootstrap è opzionale e viene attivata solo selezionando specifiche option cards nel file di ingresso inpparm.dat. Il formato dei file di uscita outfull.dat, outsummary.dat e outlook.dat è stato opportunamente modificato per includere i risultati delle nuove elaborazioni così come sono stati aggiunti ulteriori file di uscita per ricavare grafici o mappe per ogni evento. In particolare in outfull.dat viene riportata la matrice di varianza-covarianza per le coordinate dell'epicentro così come le dimensioni e le orientazioni dei semiassi dell'ellisse di errore. Inoltre sono state preparate procedure semiautomatiche, che fanno uso di Mapinfo e GMT (Wessel and Smith, 1991) per la produzione di schede riassuntive della distribuzione dei parametri ricalcolati che includono la mappa della distribuzione degli epicentri e delle box risultanti nonché istogrammi per la distribuzione delle coordinate epicentrali e della magnitudo e diagrammi a rosa per la distribuzione degli azimut (vedi le Figure seguenti). I risultati grafici visualizzati in Figura 2 possono essere ottenuti anche con il programma di grafica GMT, attraverso i file .bat e .gmt che contengono i riferimenti a script e file di uscita. Queste elaborazioni sono automatiche e possono essere effettuate variando il bin (intervallo) di campionamento (intervallo spaziale o angolare) su cui calcolare l'occorrenza numerica dei campioni. Nelle figure 3 e 4, ad esempio, si osserva una dispersione bassa sia della localizzazione epicentrale che dell'azimut, con curve unimodali piuttosto strette indice di bassi errori e di stabilità generale (per localizzazione e azimut) della box sismogenetica.

In ultima analisi per ogni terremoto è possibile ottenere una scheda riepilogativa attraverso GMT che rappresenta graficamente alcune elaborazioni effettuate (Figura 5). Questa scheda viene implementata con la rappresentazione della localizzazione dell'evento nell'area italiana e con plot bidimensionali e tridimensionali con scala cromatica dell'occorrenza epicentrale dei test di bootstrap effettuati, utilizzando una griglia regolare e stimando l'occorrenza degli epicentri bootstrap per ogni elemento della griglia stessa. Questa rappresentazione non è "piatta" come nella semplice sovrapposizione dei vari epicentri bootstrap stimati nel plot di Mapinfo (Figura 1) ma fornisce un valore di occorrenza numerica del campione per gli elementi della griglia e definisce in maniera qualitativa/quantitativa la localizzazione e la stabilità dell'epicentro. La disponibilità pubblica della nuova implementazione di Boxer (4.0) è prevista per l'autunno 2007 dopo l'effettuazione di verifiche di stabilità e affidabilità del codice stesso.

Alcune considerazioni sul possibile utilizzo delle elaborazioni di bootstrap in analisi sismo-tettoniche.

L'analisi quantitativa dei risultati ottenuti per i terremoti del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI) e l'osservazione qualitativa degli output attraverso le schede rappresentate nelle figure precedenti permettono di osservare differenti distribuzioni dei parametri (epicentro, azimut) ottenuti da tutti i ricampionamenti bootstrap effettuati e rappresentati come istogrammi o diagrammi a rosa. Sostanzialmente non tutte le distribuzioni appaiono come curve unimodali o presentano distribuzioni azimutali ben

definite in un range ristretto di valori. In particolare distribuzioni bimodali (o anche multimodali) in termini di latitudine e/o longitudine potrebbero suggerire aree di alto danneggiamento relativamente distanti tra loro dovute a effetti di sito o effetti di sovrapposizione temporale o spaziale. Tale possibilità potrebbe avvalorare eventuali ipotesi di sorgenti multiple ovvero di rotture di distinti segmenti di faglie capaci di generare differenti aree di danneggiamento. In questi casi gli istogrammi di localizzazione epicentrale e azimuth delle distribuzioni casuali di ricampionamento bootstrap possono cadere in aree distinte e determinare così picchi distinti in latitudine e longitudine (segmenti di faglia spazialmente distanti) o differenti trend azimuthali (interazione di faglie differientemente orientate). Nelle figure successive vengono riportati le schede riassuntive per i terremoti della Sicilia Orientale (11 gennaio 1693, Figura 6) e della Basilicata (16 dicembre 1857, Figura 7).

Sia per il terremoto della Sicilia Orientale (11 gennaio 1693) che per quello della Basilicata (16 dicembre 1857) le box sismogenetiche mostrano una direzione azimuthale prevalente ma non così ben definita (Figure 6 e 7) come per il terremoto di Avezzano del 1915 (Figura 4). Sono invece visibili due picchi distinti. Per il terremoto della Sicilia Orientale del 1693, inoltre, la distribuzione bidimensionale dell'area di frequenza di localizzazione epicentrale non copre interamente la box sismogenetica (come si osserva sostanzialmente per i terremoti del 1857 e 1915) ma occupa solo la sua metà settentrionale mettendo in evidenza due aree distinte. Di queste una è più piccola (ma ben evidente) e posizionata verso l'estremità nord, mentre l'altra, quella centrale, mostra un allungamento E-W, praticamente perpendicolare rispetto alla box determinata dal calcolo di Boxer. Per il terremoto della Basilicata del 1857, invece, sono presenti due picchi epicentrali geograficamente non molto distanti tra loro ma chiaramente distinti e una distribuzione azimuthale leggermente bimodale.

Tali osservazioni possono dare luogo ad ipotesi che devono naturalmente essere confermate in termini sismotettonici, con verifiche geologiche e geofisiche specifiche ma potrebbero costituire uno strumento potente di osservazione e indagine (non solo preliminare) per eventi complessi.

Bibliografia citata

Castello B., Selvaggi G., Chiarabba C., Amato A., 2006. CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002, versione 1.1. INGV-CNT, Roma. <http://www.ingv.it/CSI/>

Efron B. (1979). Bootstrap methods: another look at jackknife. *Annals of Statistics*, 7, 1-26.

Efron B. (1981). Nonparametric estimates of standard error: the jackknife, the bootstrap and other methods. *Biometrika* vol. 68, 3, 589-599.

Efron, B., and R.J. Tibshirani (1986). Bootstrap methods for standard errors, confidence intervals and other measures of statistical accuracy, *Stat. Sci.*, 1, 54-77.

Gasperini P., Bernardini F., Valensise G. and Boschi E. (1999). Defining seismogenic sources from historical felt reports, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89, 94-110.

Gruppo di Lavoro CSTI, (2004). Catalogo strumentale dei terremoti Italiani dal 1981 al 1996, Version 1.1, available at:

http://ibogfs.df.unibo.it/user2/paolo/www/gndt/Versione1_1/Leggimi.htm.

Hall, P. (1992). *The Bootstrap and Edgeworth Expansion*, Springer-Verlag, New York.

Vannucci G. and Gasperini P. (2003). A database of revised fault plane solutions for Italy and surrounding regions, *Computers & Geosciences*, 29/7, 903-909.

Vannucci G. and Gasperini P. (2004). The new release of the database of Earthquake Mechanisms of the Mediterranean Area (EMMA Version 2), *Annals of Geophysics*, Supplement to V. 47, N.1, 307-334.

Wessel, P. and W.H.F. Smith (1991). Free software helps map and display data, *EOS*, *Trans. Am. Geophys. Un.*, 72, 441.

Nuova bibliografia consultata per EMMA 3.0

Arieh et al. 1982. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 72, 1627

Arrigo et al. 2006. *Natural Hazards*, 37, 245

Baroux et al. 2001. *Geophys. J. Int.*, 145, 336

Benetatos et al. 2005. *J. Seismol.*, 9, 171

Bohnhoff et al. 2005. *J. Seismol.*, 9, 341

Bonaccorso et al. 2001. *Tectonophysics*, 334, 61

Borges et al. 2001. *Tectonophysics*, 337, 373

Bufo et al. 1997. *J. Seismol.*, 1, 113

Bufo et al. 1995. *Tectonophysics*, 248, 247

Cakir et al. 2006. Bull. Seism. Soc. Am., 96, 1, 59-68

Castellano et al. 1997. Phys. Earth Planet. Int., 102, 277

Chiarabba et al. 2005. J. Seismol., 9, 487

Cocina et al. 1997. Journ. of Geodyn., 23, 2, 109

Cocco et al. 1999. J. Seismol., 3, 105

Cucci et al. 2004. Geophys. J. Int., 156, 575

Deichmann et al. 2004. Eclogae Geol. Helv., 97, 447

Delacou et al. 2005. Eclogae Geol. Helv., 98, 189

Delacou et al. 2004. Geophys. J. Int., 158, 753

Di Luccio et al. 2005. Terra Nova, 17, 586

Di Luccio et al. 2005. Tectonophysics, 405, 141

Dineva. 1993. Bulg. Acad. Sci., Geophys. Inst., Seismol. Dep., 39 pp

Ergin et al. 2004. Bull. Seism. Soc. Am., 94, 3, 930

Feuillet et al. 2006. Geophys. J. Int., 164, 697

Gahalaut et al. 2003. Tectonophysics, 369, 71

Gómez et al. 1997. J. Seismol., 1, 219

Harbi et al. 2003. J. Seismol., 7, 221

Hatzfeld et al. 1999. Geophys. J. Int., 137, 891

Hatzfeld et al. 2000. Geophys. J. Int., 141, 438

Henares et al. 2003. J. Seismol., 7, 65

Herak et al. 2005. Tectonophysics, 398 (3-4), 167

Hinzen. 2003. Tectonophysics, 377, 325

Hofstetter et al. 2003. J. Seismol., 7, 99

Horasan et al. 2002. Bull. Seism. Soc. Am., 92, 1, 322

Hunstad et al. 1999. Geophys. J. Int., 139, 283

Jackson et al. 2002. Geophys. J. Int., 148, 214

Jiménez. 1991. *Publicación Técnica n. 8*, IGN, Madrid, ISSN:87-96

Kadinsky-Cade et al. 1982. *Tectonics*, 1, N. 5, 389

Karabulut et al. 2002. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 92, 387

Kiratzi et al. 1995. *Tectonophysics*, 243, 1

Laane et al. 1989. *Geophys. J. Int.*, 98 (3), 489

Laurenzano et al. 2005. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 95, 1, 241

Monaco et al. 2005. *J. Volc. Geoth. Res.*, 144, 211

Musumeci et al. 2005. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 95, 4, 1359

Neri et al. 2005. *Phys. Earth Planet. Int.*, 148, 175

Neri et al. 1996. *Tectonophysics*, 258, 233

Nostro et al. 2005. *J. Geophys. Res.*, 110, B05S20, 1

Örgülü et al. 2001. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 2, 371

Özalaybey et al. 2002. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 92, 1, 376

Pace et al. 2002. *Tectonophysics*, 350, 237

Perniola et al. 2004. *Geophys. J. Int.*, 156, 297

Piccinini et al. 2006. *Terra Nova*, 18, 89

Plenefisch et al. 1997. *Tectonophysics*, 275, 71

Polat et al. 2002. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 92, 361

Polat et al. 2002. *J. Seismol.*, 6, 287

Pondrelli et al. 2004. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L06611

Radulian et al. 2002. *Rom. Journ. Phys.*, 47, 663

Reinecker et al. 1999. *Int Journ Earth Sciences*, 88, 532

Rigo et al. 2004. *Geophys. J. Int.*, 157, 727

Rigo et al. 2005. *J. Seismol.*, 9, 211

Ripepe et al. 2000. *J. Seismol.*, 4, 387

Roumelioti et al. 2004. *Tectonophysics*, 387, 65

Salamon et al. 2003. *Geophys. J. Int.*, 155, 149

Santini. 2003. *Annals of Geophysics*, 46, 4, 725

Scarfi et al. 2001. *Annali di Geofisica*, 44, N. 4, 671

Shamir et al. 2003. *Geophys. J. Int.*, 154, 731

Talebian et al. 2002. *Geophys. J. Int.*, 150, 422

Uski et al. 2003. *Tectonophysics*, 363, 141

Utkucu et al. 2002. *Geophys. J. Int.*, 151, 184

Utkucu et al. 2003. *Geophys. J. Int.*, 153, 229

Utkucu et al. 2003. *J. Seismol.*, 7, 193

Vallée et al. 2005. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L12309

Vavrycuk. 2002. *Geophys. J. Int.*, 149, 364

van Eck et al. 1996. *Tectonophysics*, 262, 77

Vilardo et al. 1996. *Tectonophysics*, 261, 127

Walker et al. 2004. *Geophys. J. Int.*, 157, 265

Westaway et al. 1989. *Geophys. J. Int.*, 98 (3), 489

Zahradník et al. 2005. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 95, 1, 159

Zahradník et al. 2004. *J. Seismol.*, 8, 247

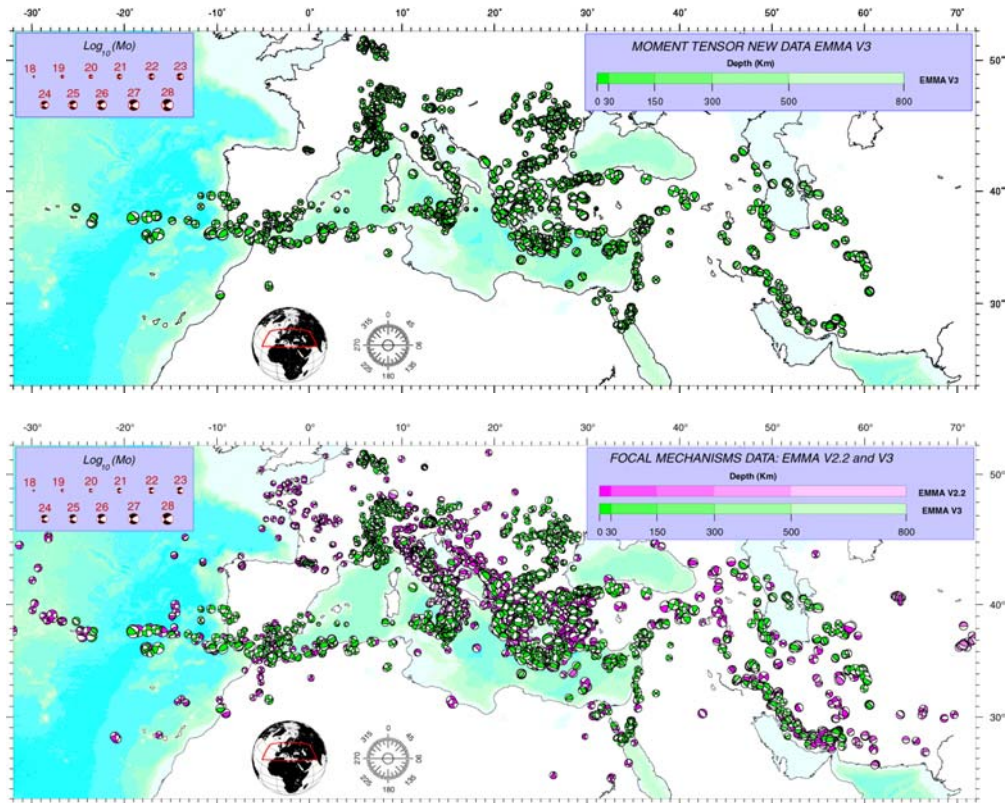


Figura 1 –Meccanismi focali del database EMMA. In colore verde i meccanismi focali aggiunti, in colore rosa quelli già presenti nella versione 2.2.

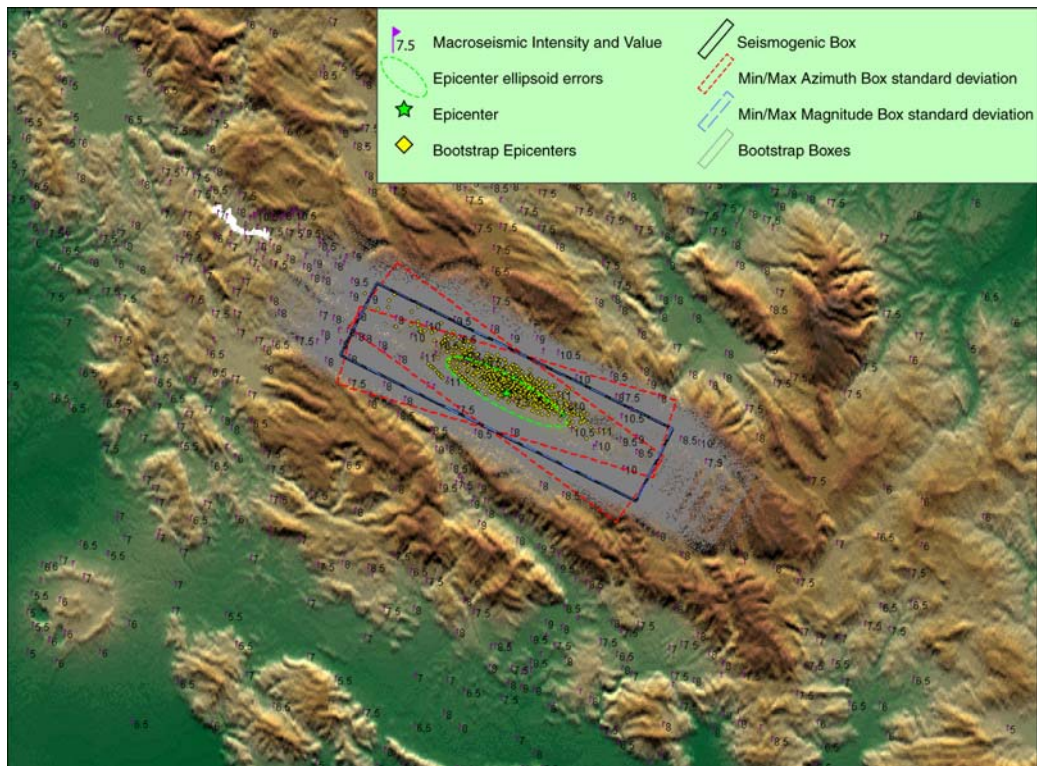


Figura 2 –Terremoto di Avezzano del 13 gennaio 1915: plot di parametri di sorgente e di analisi bootstrap (ottenuti con Mapinfo). Le deviazioni standard, per orientazione e magnitudo, e l'ellissoide d'errore derivano dall'analisi statistica delle box sismogenetiche e degli epicentri stimati dal codice Boxer su 2700 ricapionamenti bootstrap delle intensità macrosismiche.

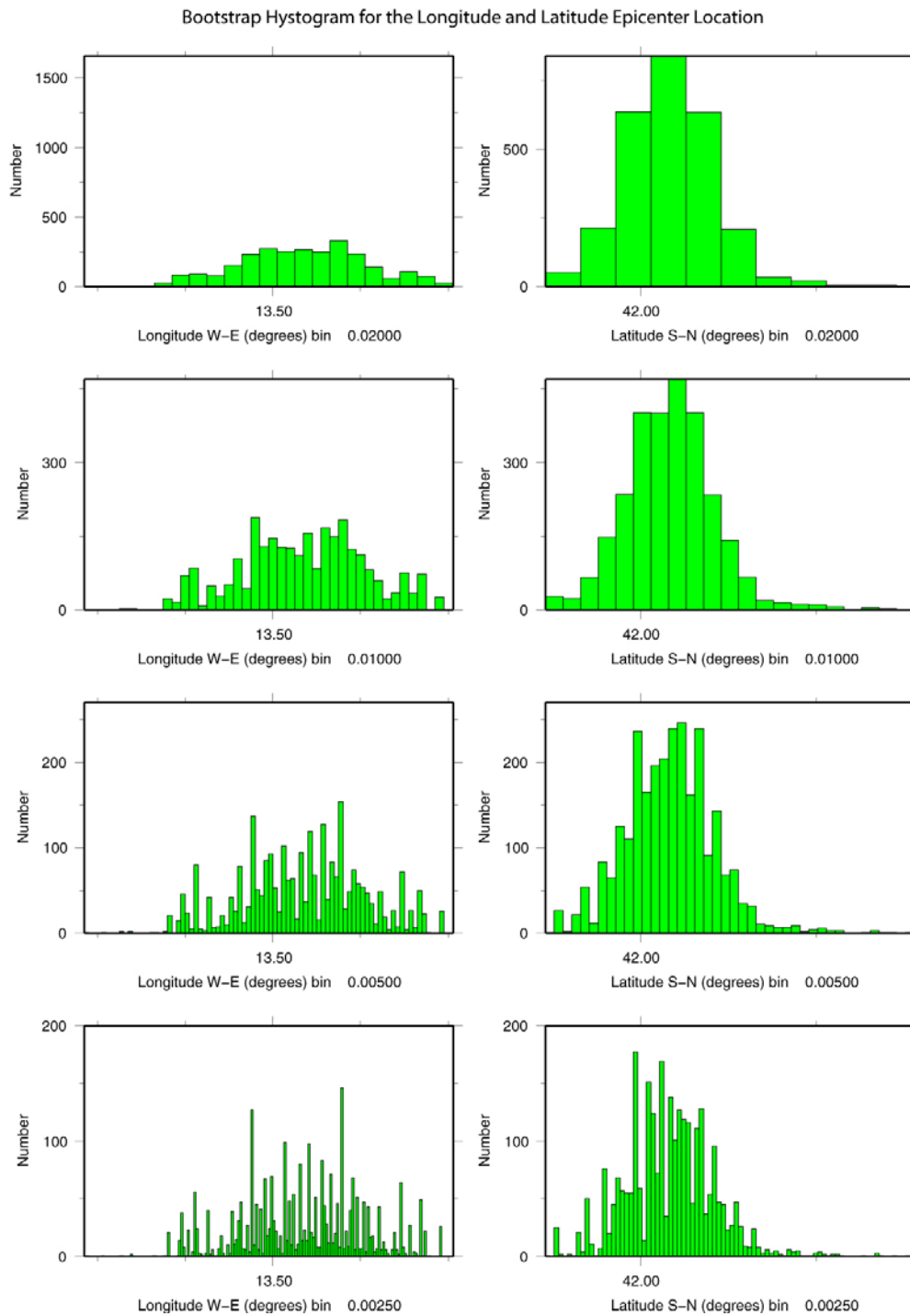


Figura 3 –Terremoto di Avezzano del 13 gennaio 1915: istogrammi della distribuzione della latitudine e longitudine epicentrale (ottenuti con GMT) al variare dell'ampiezza del bin.

Bootstrap Hystogram and Rose Diagram for the Azimuth Box Distribution

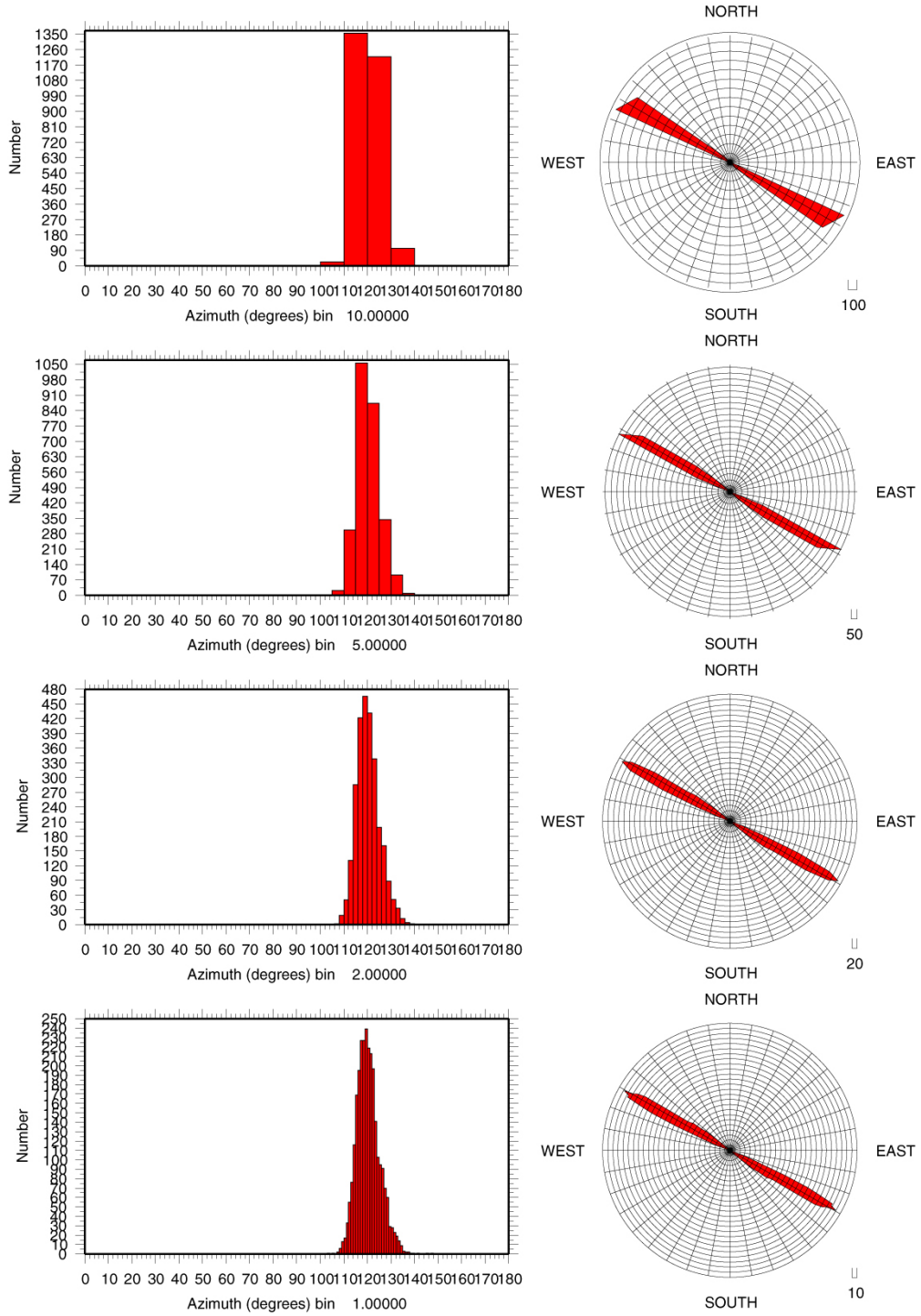


Figura 4 –Terremoto di Avezzano del 13 gennaio 1915: Istogrammi e diagrammi a rosa (ottenuti con GMT) al variare dell'ampiezza del bin.

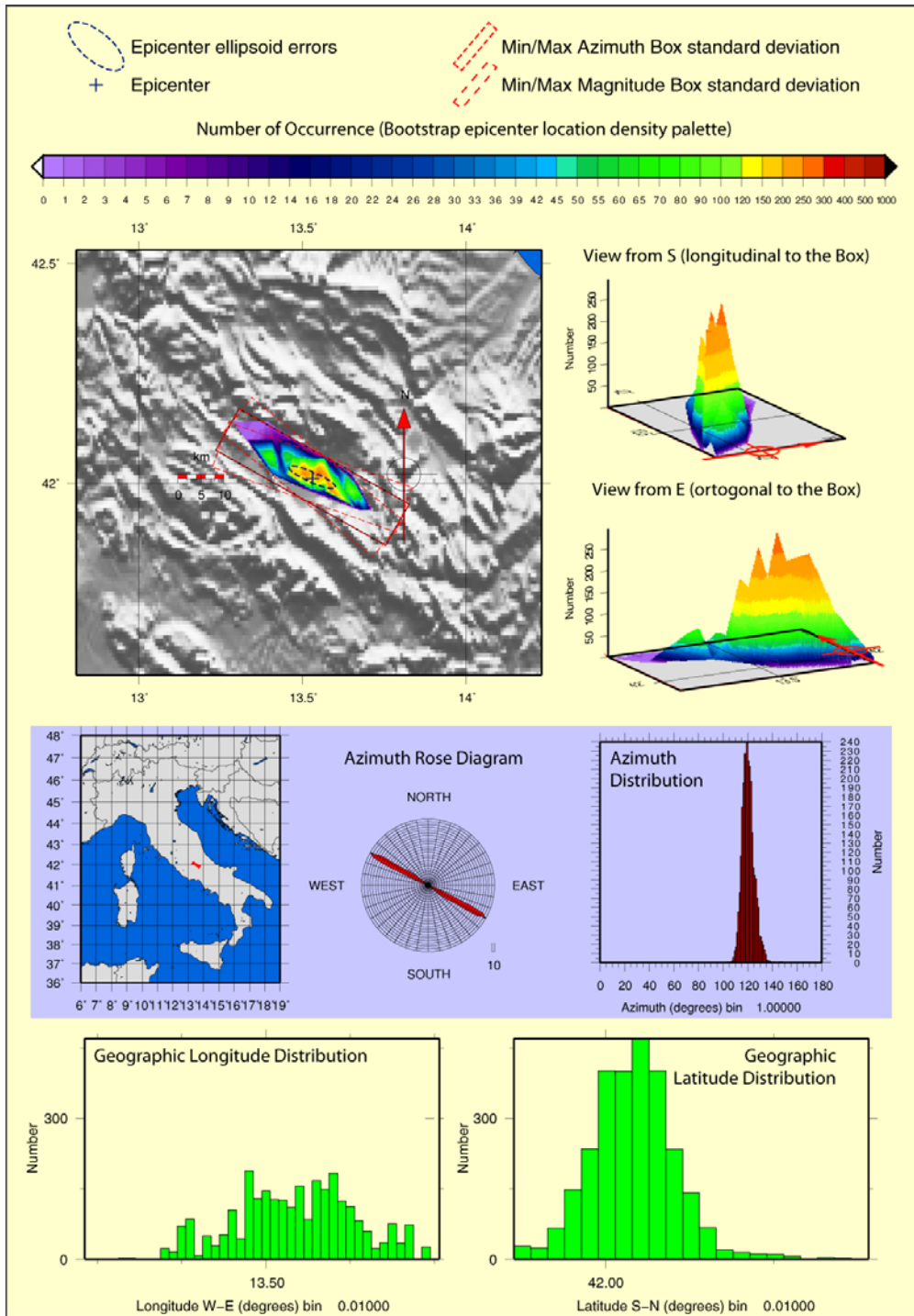


Figura 5 – Scheda riepilogativa (ottenuta con GMT) del terremoto di Avezzano del 13 gennaio 1915: plot di parametri di sorgente e di analisi bootstrap.

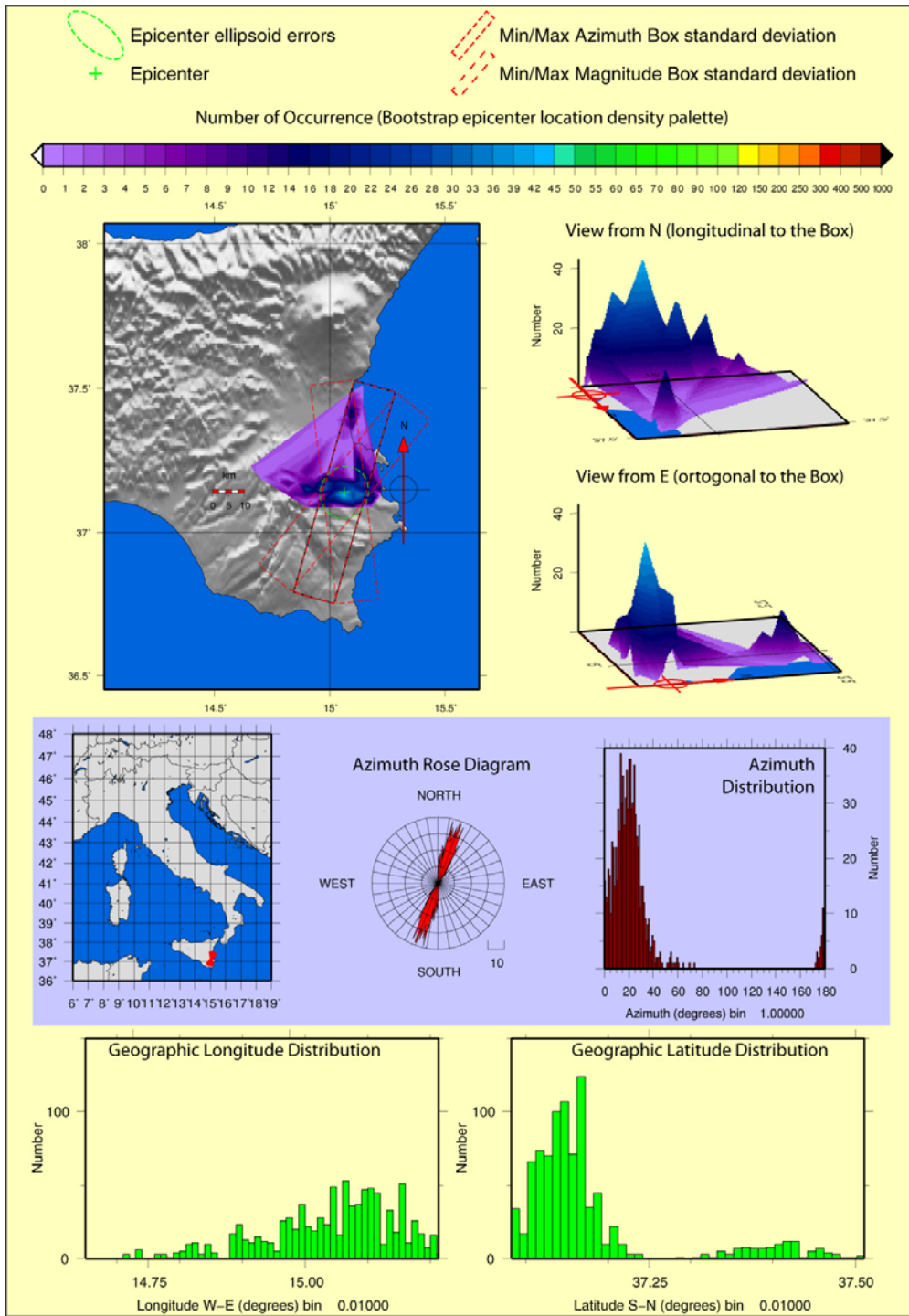


Figura 6 – Scheda riepilogativa del terremoto della Sicilia Orientale del 11 gennaio 1693: plot di parametri di sorgente e di analisi bootstrap.

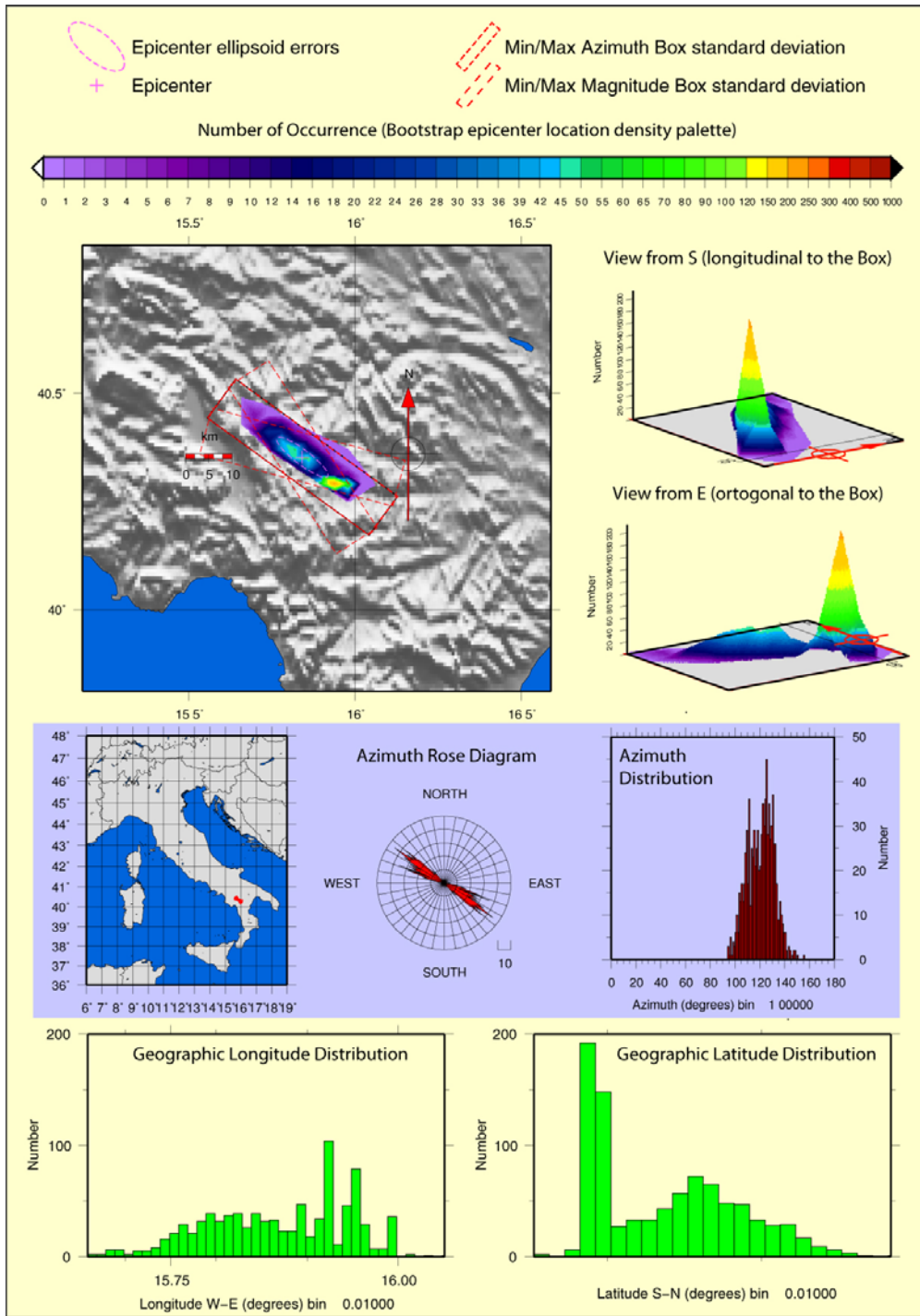


Figura 7 - Scheda riepilogativa del terremoto della Basilicata del 16 dicembre 1857: plot di parametri di sorgente e di analisi bootstrap.



UR 1.3 - Coordinatore: Paola Albini (INGV-MI)

NOTA: la relazione che segue si riferisce al primo anno di attività della UR. Nel secondo anno la UR è stata spostata al progetto S1 insieme alle relative attività.

Stato di avanzamento delle attività

L'obiettivo di questa UR è di concorrere alla determinazione di sorgenti sismogenetiche a partire dai dati macrosismici disponibili nel database sul territorio italiano, attraverso l'utilizzo di una nuova versione del programma Boxer (in corso di aggiornamento da parte dell'UR 1.2 di questo stesso Task 1), per implementare la versione DISS 3.0 del database delle sorgenti sismogenetiche.

I dati macrosismici che hanno sinora concorso alla determinazione delle sorgenti presenti in DISS derivano direttamente dagli studi pubblicati. Il contributo innovativo di questa UR al progetto, e in particolare alla versione 3.0 di DISS, consiste nel mettere a disposizione le elaborazioni sui parametri di sorgenti ottenute tramite il processamento dei dati contenuti in un database unitario di osservazioni macrosismiche per il territorio italiano.

La release del 15.12.2005 di DBMI04 è per ora disponibile ai soli progetti "S", su richiesta. Contiene 58966 punti di intensità macrosismica, riferiti a 1042 terremoti.

Il primo obiettivo dell'attività di questa UR è consistito nel testare una versione Beta (3.3.d) del programma Boxer sui dati contenuti nell'ultima release di DBMI04.

La versione aggiornata del programma Boxer è stata fornita dall'UR 1.2. Nella prima fase del test sono stati evidenziati alcuni problemi del codice di calcolo (per esempio sui criteri di selezione dei punti per la determinazione dell'azimut o dell'epicentro), superati attraverso l'interazione con i ricercatori dell'UR 1.2.

Il test nella sua completezza ha riguardato 186 terremoti, ossia quelli per i quali il codice Boxer è in grado di proporre una sorgente sismogenetica completa di tutti i parametri, incluso l'azimut. Si tratta solo di quei terremoti con $M \geq 5.5$, ricalcolata a partire dai dati di DBMI04.

I risultati sono stati confrontati con il contenuto di DISS 2.0 nel livello informativo "HistSourcesA" e di DISS 3.0 nel layer "Macroseismic Sources, Well Constrained" (nella versione rilasciata sul sito Internet a novembre 2005; i livelli nelle due versioni appaiono peraltro essere identici) che riportano sorgenti definite sulla base di dati macrosismici. Dei 186 eventi selezionati, 124 avevano una sorgente macrosismica anche in DISS, mentre per gli altri 62 DISS propone una sorgente definita sulla base dell'analisi geologica.

Le differenze principali nella determinazione della sorgente con la nuova versione del codice Boxer hanno quindi riguardato soltanto i 124 terremoti per i quali era possibile avere un immediato confronto con i parametri contenuti in DISS (Tab. 1).

L'analisi ha soprattutto teso a mettere in evidenza le possibili ragioni delle differenze, che a priori avrebbero potuto essere attribuite sia alla diversa distribuzione dei punti di intensità di DBMI04, sia alla stabilità del programma Boxer nella determinazione dei parametri del terremoto e della sorgente. Per quanto riguarda la magnitudo, la versione usata del programma Boxer consente di calcolare direttamente i valori di M_w , attraverso nuovi coefficienti opportunamente ricalibrati.

Dal confronto con i parametri delle sorgenti in DISS è emerso che in alcuni casi le differenze sui principali parametri della sorgente (localizzazione epicentrale, magnitudo, azimut) possono essere anche significative, ma che più spesso si tratta di variazioni minime. In Fig. 1 si propone il confronto tra i parametri per l'Italia meridionale.

Fattibilità delle attività previste per il secondo anno

Il contributo di questa UR al Task 1 può a nostro avviso considerarsi esaurita; per ulteriori considerazioni sulle attività del secondo anno di progetto si rimanda al punto successivo.

Difficoltà incontrate e modifiche di indirizzo

L'attività dei ricercatori impegnati nell'UR ha risentito di un indirizzo poco definito nel coordinamento di Task 1, e in particolare della mancata convocazione di riunioni di Task, sia a livello di responsabili di UR sia a livello collegiale. La conseguenza più evidente è che la metodologia per l'integrazione in DISS 3.0 dei nuovi parametri ottenuti dal processamento dei dati di DBMI04 non si è sviluppata nei modi e nei tempi previsti dal progetto nella sua stesura iniziale (maggio 2005).

Dato il carattere sperimentale di questa UR e dato che il trasferimento e l'inserimento in DISS dei dati provenienti dal DBMI è un problema di rilievo che riguarda l'interazione tra tutti i progetti "Sismologici", si ritiene conveniente ipotizzare una ridefinizione dell'attività dell'UR nel secondo anno di attività del progetto, in riferimento ad altri settori di attività del progetto S2 stesso (es. Task 2, Task 4, ecc.).

Tabella 1 – Differenze più significative tra alcuni parametri calcolati con il set di dati macrosimici usato in DISS (2.0 e 3.0) e quello di DBMI04, ottenuti usando la versione Beta (3.3.d) del programma Boxer.

Parametro	Eventi variati	Commenti
Mw	60 su 124	Per 60 terremoti la differenza di magnitudo è maggiore o uguale a 0.1; in 9 casi è maggiore o uguale a 0.3, tra questi il terremoto etneo del 1894 per il quale la differenza è di 0.74
Epicentro	21 su 124	Per 21 terremoti lo spostamento è maggiore di 1 km; tra questi in 3 casi lo spostamento è maggiore di 5 km, fino al massimo di 10.5 km per il terremoto del 1222 del Basso Bresciano.
Azimut	79 su 124	Per 79 terremoti l'azimut ruota di almeno 1°, per 25 la rotazione è maggiore o uguale a 10°, per 15 la rotazione è maggiore o uguale a 20° con un massimo di 63° per il terremoto del 1933 della Maiella.
Numero punti per l'azimut	7 su 124	In 7 casi su 124 il codice prende considerazione un numero di IDP diverso tra un set di dati e l'altro. In un caso (Mugello, 1919) la differenza di punti considerati è addirittura di 30 località.

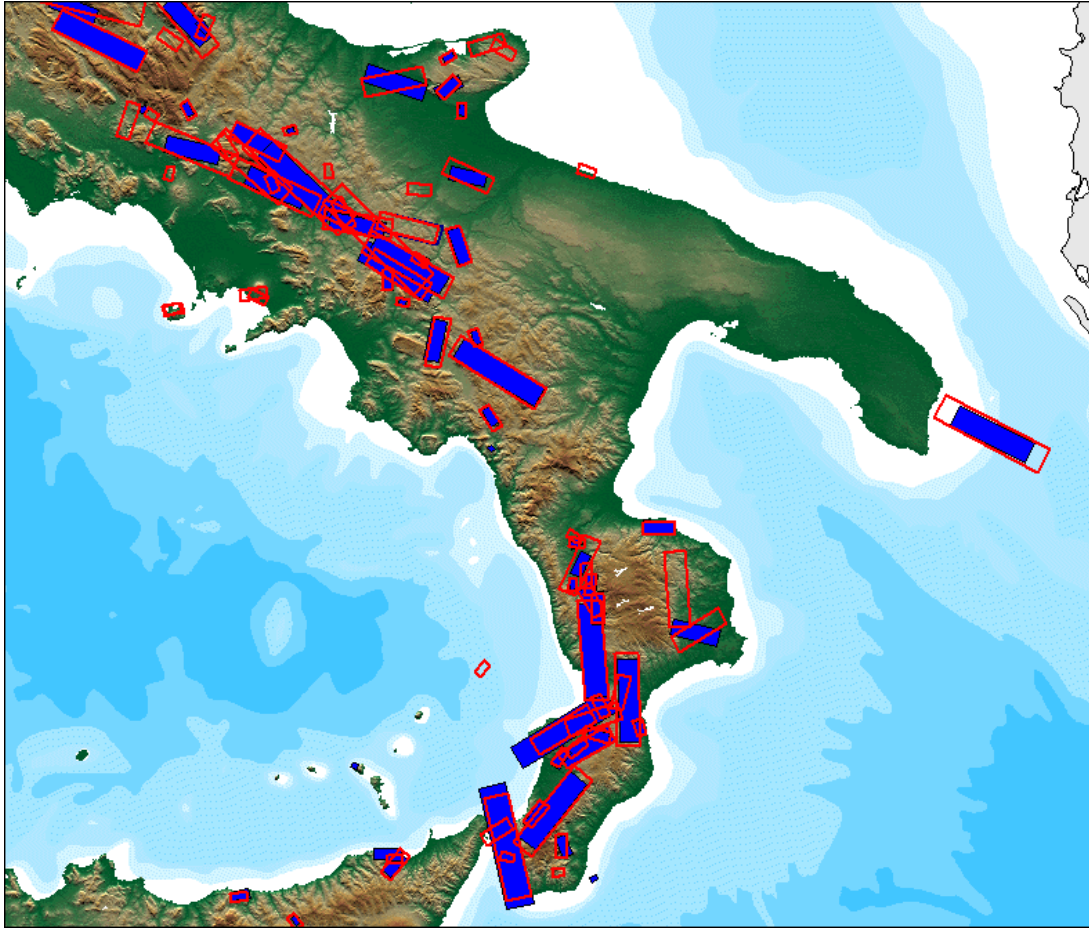


Figura 1 – Confronto tra le sorgenti macrosismiche per l'Italia meridionale nel livello "HistSourcesA" di Diss 2.0 (colore blu pieno) e quelle ottenute con i dati validati e uniformati nel database DBMI04 (bordo rosso). Le differenze più evidenti sono nella dimensione e nell'azimut della sorgente.