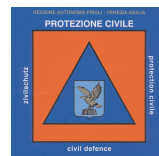




**Regione Autonoma
Friuli-Venezia Giulia**

**Direzione Regionale
della Protezione Civile**



Contratto n. 35/2005

Gestione della rete di controllo sismico, studio della sismicità regionale e ricerca sismologica a fini di protezione civile

Anno 2006

a cura di Enrico Priolo

Autori: Carla Barnaba, Paolo Bernardi, Pier Luigi Bragato, Gianni Bressan, Marcello Candido, Erica Cazzador, Paolo Di Bartolomeo, Giorgio Duri, Marco Garbin, Stefania Gentili, Peter Klin, Stefano Kravanja, Giovanna Laurenzano, Lara Lovisa, Paolo Marotta, Damiano Pesaresi, Cristian Ponton, Fausto Ponton, Andrea Restivo, Marco Romanelli, Angela Saraò, Adriano Snidarcig, Sandro Urban, Alessandro Vuan, David Zuliani

Relazione OGS 22/2007–CRS–6

Udine, 21 marzo 2007



**Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale
Dipartimento Centro di Ricerche Sismologiche**

Indice

Introduzione	1
1 Configurazione e caratteristiche tecniche della RSFVG	3
1.1 Configurazione della RSFVG	3
1.2 Caratteristiche tecniche delle stazioni a corto periodo della Rete Sismometrica del Friuli-Venezia Giulia	4
1.3 Caratteristiche del sistema di acquisizione Mars-88	5
1.4 Caratteristiche tecniche delle stazioni a larga banda della Rete Sismometrica del Friuli-Venezia Giulia	7
1.5 Calibrazione dei sensori	8
1.5.1 Il sistema della tavola vibrante	11
1.6 Sviluppi tecnologici	16
2 Funzionamento della RSFVG e del sistema di allarme automatico	17
3 Elaborazione dati	18
4 Analisi della sismicità regionale	21
5 Attività di ricerca	47
5.1 Meccanismi focali	48
5.2 Analisi delle sequenze sismiche in Friuli	50
5.3 Tecniche di zonazione sismica automatica	55
6 Attività didattico-divulgativa	61
7 Commenti conclusivi	63
Bibliografia	64

Elenco delle figure

1.1	Configurazione della Rete Sismometrica del Friuli-Venezia Giulia. Le linee nere rappresentano i collegamenti radio tra le stazioni sismometriche ed il centro di acquisizione dati ad Udine. Sono mostrate anche le stazioni della Rete Sismometrica del Veneto e quelle a banda larga gestite dal CRS. Il collegamento con la Sala Operativa Regionale della Protezione Civile a Palmanova (evidenziato in rosso) è realizzato tramite linea dati dedicata.	4
1.2	Schema a blocchi del sistema di acquisizione dati della rete.	6
1.3	Visione globale della tavola vibrante, con due sensori Willmore posizionati per la calibrazione della componente orizzontale (al centro) e verticale (a destra).	12
1.4	Laser doppler Optodyne.	12
1.5	Un sensore Willmore durante la fase di taratura della componente orizzontale.	13
1.6	Risposta in frequenza (modulo e fase) della taratura relativa alla componente orizzontale del sensore Willmore.	13
1.7	Un sensore Willmore durante la fase di taratura della componente verticale.	14
1.8	Risposta in frequenza (modulo e fase) della taratura relativa alla componente verticale del sensore Willmore.	14
4.1	Mappa degli epicentri dei terremoti del 2006 localizzati nel Friuli-Venezia Giulia.	23
4.2	Mappa degli epicentri dei terremoti del 2006 localizzati nelle Alpi orientali.	24
4.3	Grafico del numero cumulativo di terremoti.	24
4.4	Numero giornaliero di terremoti registrati e localizzati nelle Alpi Orientali.	25
4.5	Numero giornaliero di terremoti registrati e localizzati in Friuli-Venezia Giulia.	25
4.6	Numero mensile di terremoti registrati e localizzati nelle Alpi Orientali.	26
4.7	Numero mensile di terremoti registrati e localizzati in Friuli-Venezia Giulia.	26
4.8	Numero dei terremoti in funzione della magnitudo registrati nelle Alpi Orientali.	27
4.9	Numero dei terremoti in funzione della magnitudo registrati in Friuli-Venezia Giulia.	27
4.10	Numero di terremoti localizzati in funzione della profondità nelle Alpi Orientali ed in Friuli-Venezia Giulia.	28
4.11	Sezione sud-nord relativa alla zona tra Trasaghis e Gemona	28
4.12	Rapporto della sismicità del mese di gennaio 2006	29
4.13	Rapporto della sismicità del mese di febbraio 2006	30
4.14	Rapporto della sismicità del mese di marzo 2006	31
4.15	Rapporto della sismicità del mese di aprile 2006	32
4.16	Rapporto della sismicità del mese di maggio 2006	33
4.17	Rapporto della sismicità del mese di giugno 2006	34
4.18	Rapporto della sismicità del mese di luglio 2006.	35
4.19	Rapporto della sismicità del mese di agosto 2006	36
4.20	Rapporto della sismicità del mese di settembre 2006	37
4.21	Rapporto della sismicità del mese di ottobre 2006	38

4.22	Rapporto della sismicità del mese di novembre 2006	39
4.23	Rapporto della sismicità del mese di dicembre 2006	40
5.1	Meccanismi focali dei principali eventi localizzati nell'area regionale nel 2006. Accanto a ciascun meccanismo è riportata la data e tra parentesi la magnitudo locale. Sono riportate anche le principali zone sismotettoniche (Bressan et al., 2003).	48
5.2	Stima del numero di scosse di magnitudo maggiore di $M_m - \Delta M$ attese nelle 24 ore successive al tempo t (t tempo trascorso dall'evento principale) per diversi valori di ΔM (1, 2, 3, 4).	51
5.3	Probabilità di un aftershock con magnitudo $M \geq M_m - 1$ nell'intervallo di tempo $[t, t + \Delta t]$ (t tempo dall'evento principale) per diversi valori di Δt (1 giorno, 7 giorni, ecc.)	53
5.4	R_{ES} (rapporto fra l'energia irradiata dalla scossa principale e quella degli aftershock) in funzione della caduta di sforzo di Brune $\Delta\sigma$	54
5.5	Epicentri dei terremoti e relativa triangolazione di Delaunay utilizzati per la zonazione automatica dell'area friulana basata sull'uniformità del tensore di stress (da Bragato and Bressan (2006)).	55
5.6	Zonazione automatica dell'area friulana basata sull'uniformità del tensore di stress (in grigio) confrontata con quella adottata da (Bressan et al., 2003) (poligoni con linee spesse) (da Bragato and Bressan (2006)).	56
5.7	Punti di misura di rumore sismico nell'area di Vittorio Veneto e relativa triangolazione di Delaunay.	58
5.8	Zonazione automatica dell'area di Vittorio Veneto basata sull'omogeneità dei rapporti spettrali H/V.	59
5.9	Rapporti spettrali per ciascuna delle zone in Fig. 5.8 con l'indicazione del valore medio +/- una deviazione standard.	60

Elenco delle tabelle

1.1	Caratteristiche delle stazioni a corto periodo della RSFVG e della RSV.	5
1.2	Descrizione dei siti che ospitano le stazioni a banda larga.	8
1.3	Strumentazione installata presso le stazioni a banda larga.	8
1.4	Tabella riassuntiva delle caratteristiche dei geofoni a corto periodo della RSFVG e della RSV per l'anno 2006.	10
3.1	Stazioni ausiliarie usate nell'elaborazione dei dati della RSFVG.	20
4.1	Terremoti di magnitudo $M_D \geq 2,8$ localizzati dalla RSFVG nella regione Friuli-Venezia Giulia durante l'anno 2006. I dati qui riportati sono quelli della localizzazione definitiva, e possono quindi discostarsi da quelli comunicati dal sistema di allarme automatico.	22
4.2	Terremoti localizzati dalla RSFVG nel 2006.	46
5.1	Sequenze analizzate. M_{Dm} : magnitudo di durata della scossa principale; $Data_m$: data della scossa principale; lat e lon : latitudine e longitudine della scossa principale; A , b : parametri della legge di Gutenberg-Richter; K , c , p : parametri della legge di Omori modificata; a : parametro della legge di Reasenberg e Jones.	50

Elenco degli Allegati

Allegato 1 – Floppy Disk MS-DOS contenente i dati ipocentrali degli eventi sismici registrati nel 2006.

Allegato 2 – Carta in scala 1:250.000 degli epicentri dei terremoti avvenuti nel 2006 nella Regione Friuli-Venezia Giulia.

Introduzione

Nella presente relazione si riporta l'attività svolta durante l'anno 2006 dall'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale–OGS per conto della Direzione Generale per la Protezione Civile (DRPC) della Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia (FVG) secondo la convenzione n. 35 del 31/03/2005 .

La convenzione prevede lo svolgimento da parte dell'OGS di attività incentrata sul monitoraggio sismico H24 (con relativo servizio di allarme sismico automatico e di reperibilità e pronto intervento del personale) e di attività di ricerca finalizzata ad ottenere una maggior comprensione del fenomeno sismico in regione e nelle zone limitrofe. Queste attività vengono svolte utilizzando i dati della rete sismometrica del Friuli-Venezia Giulia (RSFVG), di proprietà dell'OGS e gestita dal Dipartimento 'Centro di Ricerche Sismologiche' (CRS).

L'attività sismica del 2006 è stata caratterizzata da una sismicità moderata con eventi di magnitudo massima contenuta tra 3 e 4 sia nell'area regionale sia nelle aree limitrofe veneta, slovena e austriaca. In particolare, l'evento più rilevante avvenuto nella regione Friuli-Venezia Giulia è stato il terremoto di magnitudo $M_D=3,1$ dell'11 agosto localizzato vicino a Gemona, mentre all'esterno della regione FVG sono stati significativi l'evento $M_D=3,4$ del 23 aprile verificatosi a Plave (Slovenia), circa 15 km ESE Cividale del Friuli, e l'evento $M_D=3,6$ del 28 dicembre localizzato vicino a Belluno.

Osservando dettagliatamente la Fig. 4.1, si può notare la distribuzione della sismicità lungo la fascia pedemontana friulana, con un suo proseguimento ad est in Slovenia e ad ovest nel Bellunese. Più precisamente, si nota che la quasi totalità degli eventi è stata localizzata nell'area delimitata dalle città di Claut-Arta T.-Tolmezzo-Venzone-Gemona-Stupizza. Questa sismicità, comunque, si presenta con una M_D relativamente modesta che raramente supera i 3 gradi della scala Richter.

In particolare, e con tre eventi magnitudo compresa tra i valori 3,9 e 4,5 nell'area slovena ma a distanza di qualche decina di km dal confine italiano.

Per quanto riguarda l'attività di servizio, nel corso del 2006 sono stati assolti tutti i compiti previsti senza rilevare particolari problemi, ed in particolare si è provveduto a:

- i)* fornire il servizio di 'sorveglianza sismica' secondo la modalità stabilite dalla convenzione;
- ii)* effettuare gli interventi di calibrazione programmata di tutti i sensori delle stazioni della rete;
- iii)* effettuare test su tavola vibrante di alcuni nuovi sensori avuti in prova, anche in vista di un possibile aggiornamento della rete.

In particolare, per tutti i sensori a corto periodo di superficie sono state effettuate le calibrazioni sia a distanza sia con il metodo diretto attraverso test su tavola vibrante. Inoltre il sistema della tavola vibrante è stato ulteriormente migliorato sia nel software di pilotaggio e controllo sia nella parte hardware per ridurre l'effetto del campo magnetico residuo della tavola vibrante stessa sul comportamento in bassa frequenza dei sensori broad-band.

Nel corso del 2006 il CRS ha continuato nell'opera di ammodernamento della rete di trasmissione dati attraverso l'utilizzo della tecnologia *spread-spectrum*, scelta alla fine della sperimentazione effettuata nell'ambito del progetto INTERREG III/A *Reti sismologiche senza frontiere nelle Alpi sud-orientali*. Durante il 2005 era stata realizzata una dorsale di collegamento a larga banda in direzione Nord-Sud da Udine fino al Monte Zouf Plan, cui si sarebbero connessi i rami laterali provenienti dalle stazioni. Attualmente tutte le stazioni ubicate a nord e sul versante orientale, corrispondenti al 60 % delle stazioni della RSFVG sono collegate con la tecnologia *spread-spectrum*. I tempi di acquisizione dei dati presso la sede del CRS sono attualmente di circa 1 minuto.

Dal punto di vista della ricerca, l'attività del CRS nell'ambito della convenzione si è articolata sui seguenti temi principali:

- i) calcolo dei meccanismi focali degli eventi principali verificatisi nel corso dell'anno ed il loro inquadramento nel contesto sismotettonico regionale;
- ii) l'analisi delle maggiori sequenze sismiche avvenute in Friuli, dall'installazione della rete, con lo scopo di comprenderne l'evoluzione temporale e stimare la probabilità aftershocks rilevanti;
- iii) lo sviluppo di tecniche di zonazione automatica che possono fungere da supporto oggettivo ad analisi quantitative sui dati.

Per quello che riguarda le collaborazioni a livello nazionale, il CRS partecipa a diversi progetti sismologici e vulcanologici nell'ambito della convenzione stipulata tra il Dipartimento Nazionale della Protezione Civile e l'Istituto Nazionale di Geofisica e di Vulcanologia (INGV). Queste collaborazioni sono importanti in quanto permettono un confronto con le altre realtà sismologiche nazionali e quel travaso di 'know-how' indispensabile per la crescita tecnico-scientifica del dipartimento. Lo stesso dicasi per le collaborazioni in atto a livello locale sia con il Dipartimento di Scienze della Terra (DST) dell'Università di Trieste, gestore della rete accelerometrica del FVG (RAF), che con le istituzioni d'oltre confine in Slovenia (Agencija Republike Slovenije za Okolje, ARSO) e Austria (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, ZAMG).

Va infine segnalata l'attività svolta nei due seguenti progetti internazionali:

- il progetto INTERREG III/A *Reti sismologiche senza frontiere nelle Alpi sud-orientali*;
- il progetto SISMOVALP in ambito INTERREG III/B *Spazio Alpino*.

Questa relazione è organizzata come segue: dapprima si descrivono le caratteristiche tecniche e di funzionamento della rete sismica e del sistema automatico di allarme (sezioni 1 e 2) ed il percorso di elaborazione dati (sezione 3); successivamente si fornisce un quadro esaustivo della sismicità che si è verificata nel corso del 2006 (sezione 4); segue quindi una descrizione delle attività di ricerca svolte dal CRS nell'ambito di altri progetti, i cui temi sono correlabili a quelli della convenzione stessa (sezione 5). Le conclusioni, infine, riassumono lo stato attuale della rete e danno un'indicazione sugli indirizzi futuri che si intendono perseguire per potenziare il servizio che la rete fornisce alla DRPC.

1 Configurazione e caratteristiche tecniche della RSFVG

1.1 Configurazione della RSFVG

La RSFVG è attualmente costituita da 23 stazioni, di cui 15 a corto periodo e 8 a larga banda, che trasmettono in teletrasmissione, localizzate prevalentemente nell'area pedemontana e montana del Friuli. Le stazioni a corto periodo sono ubicate in siti a basso disturbo ambientale al fine di poter discriminare gli eventi sismici di bassa energia.

Delle 15 stazioni, 14 sono equipaggiate con sismometro Lennartz da 1 Hz a tre componenti. La sola stazione di Talmassons (TLI) è dotata di sismometro verticale MARK L4C da 1 Hz monocomponente, collocato in un pozzo profondo circa 100 metri. Inoltre sono in funzione 3 accelerometri del tipo Kinematics 3D.

Le stazioni remote sono collegate con il centro di acquisizione dati del CRS ad Udine attraverso ponti radio. Ogni stazione remota può fungere anche da ripetitore per altre stazioni. La velocità di trasmissione dei dati è pari a 19.200 bit/s.

Allo scopo di aumentare la velocità complessiva di trasferimento dei dati, la rete è stata ulteriormente suddivisa mediante l'utilizzo di cinque frequenze. Poiché l'OGS ha la concessione all'uso di sei frequenze, è ancora possibile disporre di una frequenza di riserva nel caso in cui si verificano interferenze e disturbi.

Attualmente è in avanzata fase di attuazione la conversione dei ponti radio convenzionali in apparati che trasmettono in modalità spread spectrum. Questo permette che tra le stazioni di acquisizione si venga a formare una rete ethernet "privata" con l'effetto di aumentare ulteriormente la velocità di trasferimento del dato.

Il monitoraggio sismico del Friuli-Venezia Giulia trae grande vantaggio, soprattutto per la parte occidentale delle regioni, dalle 8 stazioni della Rete Sismometrica del Veneto (RSV): Alpe Faloria (AFL), Forcella Aurine (FAU), Cima Grappa (CGRP), Jesolo (IESO), Montello (MTLO) e Teolo (TEOL) installate negli anni precedenti si sono aggiunte nel corso del 2006 le stazioni di Col Varnada (VAR) e Pozza Ferrara (PZF). Esse hanno caratteristiche tecniche identiche a quelle della RSFVG. I loro dati affluiscono direttamente al CRS via radio, ad eccezione di PZF che attualmente trasmette i dati via modem GSM, i quali poi sono inseriti nel percorso di elaborazione sia automatico che manuale.

Le stazioni a larga banda sono situate a Trieste (TRI), Villanova (VINO), Cimolais (CIMO), Udine (CUSI), Cima Grappa (CGRP), Mt. Sabotino (SABO), Monte Prat (MPRI2) ed Acomizza (ACOM). Di queste, CIMO, MPRI2 e CUSI sono proprietà dell'OGS, TRI e VINO sono in proprietà con il Dipartimento di Scienze della Terra (DST) dell'Università di Trieste, mentre ACOM, CGRP e SABO sono state realizzate dal CRS nell'ambito del progetto INTERREG III/A *Reti sismologiche senza frontiere nelle Alpi sud-orientali* con strumentazione di proprietà della Regione

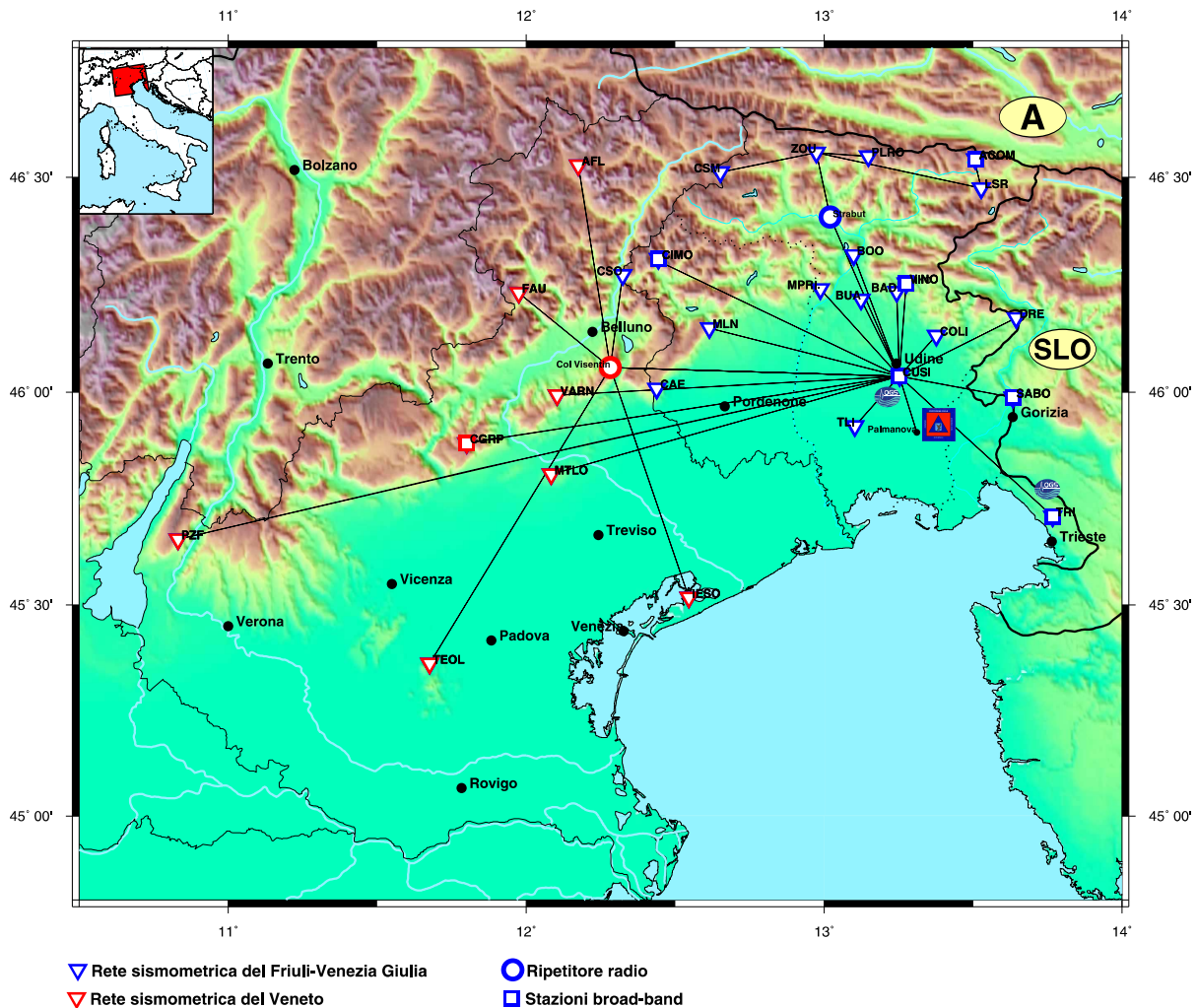


Figura 1.1: Configurazione della Rete Sismometrica del Friuli-Venezia Giulia. Le linee nere rappresentano i collegamenti radio tra le stazioni sismometriche ed il centro di acquisizione dati ad Udine. Sono mostrate anche le stazioni della Rete Sismometrica del Veneto e quelle a banda larga gestite dal CRS. Il collegamento con la Sala Operativa Regionale della Protezione Civile a Palmanova (evidenziato in rosso) è realizzato tramite linea dati dedicata.

Autonoma Friuli-Venezia Giulia. La stazione TRI, inoltre, fa parte della rete MedNet (International Mediterranean Network). <http://bbtri.inogs.it>.

In Fig. 1.1 è rappresentata la distribuzione geografica delle stazioni a corto periodo della RSFVG, della RSV e delle stazioni a banda larga gestite dal CRS. Le caratteristiche tecniche delle stazioni a corto periodo sono riportate in Tab. 1.1 ed illustrate qui di seguito. Quelle delle stazioni a banda larga sono discusse nella sezione 1.4.

1.2 Caratteristiche tecniche delle stazioni a corto periodo della Rete Sismometrica del Friuli-Venezia Giulia

Le stazioni remote della rete sono composte da:

nome	codice	lat °N	long °E	quota [m]	materiale di fondazione	età geologica	inizio registrazioni	sensore
Alpe Faloria	AFL	46°31'42"	12°10'42"	2235	Dolomia	Triassico Sup.	01/01/88	Le3DLite
Bernadia	BAD	46°14'03"	13°14'36"	590	Calcare	Eocene	06/05/77	Le3DLite
Bordano	BOO	46°19'11"	13°05'55"	444	Calcare	Cretaceo	09/05/77	Le3DLite
Buia	BUA	46°13'00"	13°07'25"	320	Flysch	Eocene	06/05/77	Le3DLite
Caneva	CAE	46°00'31"	12°26'17"	870	Calcare	Werfeniano	23/04/83	Le3DLite
Cas. Mimosias	CSM	46°30'44"	12°39'07"	1640	Arenaria marn. e Calcare	Werfeniano	12/10/94	Le3DLite
Casso	CSO	46°16'24"	12°19'26"	1070	Calcare	Cretaceo	01/01/88	Le3DLite
Cima Grappa	CGRP	45°52'50"	11°48'17"	1757	Calcare	Malm-Cretaceo	05/08/01	Le3DLite
Colloredo	COLI	46°07'56"	13°22'36"	250	Flysch	Eocene	06/05/77	Le3DLite
Col Varnada	VARN	45°59'36"	12°06'17"	870	Dolomia		16/11/06	Le3DLite
Drenchia	DRE	46°10'24"	13°38'40"	810	Arenaria marn. e calcare fratt.	Eocene Medio	20/12/82	Le3DLite
For. Aurine	FAU	46°13'56"	11°58'31"	1430	Scisti	Precarbon.	01/01/88	Le3DLite
Lussari	LSR	46°28'30"	13°31'38"	1750	Porfiriti, diabasi, spiliti	Ladinio Sup.	01/01/88	Le3DLite
Jesolo	IESO	45°31'04"	12°32'47"	0	Sabbie -limi	Quaternario	01/05/01	Le3DLite
Malnisio	MLN	46°09'00"	12°36'53"	814	Calcare	Cretaceo	14/11/95	Le3DLite
Montello	MTLO	45°48'48"	12°05'48"	350	Molasse	Miocene Sup.	01/01/88	Le3DLite
Monte Prat	MPRI	46°14'26"	12°59'14"	762	Calcare	Cretaceo	20/06/77	Le3DLite
Paularo	PLRO	46°32'56"	13°08'53"	1420	Diabasi	Carbon. Medio	01/01/88	Le3DLite
Pozza Ferrara	PZF	45°39'21"	10°49'56"	1095			16/11/06	Le3DLite
Talmassons	TLI	45°55'15"	13°06'12"	-74	Alluvioni sciolte e parz. Cem.	Quaternario	27/11/85	L4C
Teolo	TEOL	45°21'42"	11°40'26"	370	Marne	Eocene inf.	06/03/02	Le3DLite
Udine	UDI	46°02'14"	13°15'10"	90	Ghiaie	Quaternario	24/06/77	FBA ES-T
Zoufplan	ZOU	46°33'27"	12°58'26"	1896	Dolomia	Carbon. Medio	17/10/82	Le3DLite

Tabella 1.1: Caratteristiche delle stazioni a corto periodo della RSFVG e della RSV.

- un sistema di alimentazione a pannelli solari (o allacciamento rete ENEL) con batterie tampone;
- un sismometro a 3 componenti (verticale, N-S, E-W), che trasforma il movimento del terreno in un segnale elettrico (TLI ha ancora un sismometro ad 1 componente verticale situato in pozzo);
- un acquirettore (Mars88-RC) con la dinamica di 120 dB ed una banda passante programmabile da 0 a 200 Hz. I dati vengono memorizzati in una memoria circolare (ring buffer) della capacità di 4 MB. L'acquirettore evidenzia gli eventi sismici basandosi su un algoritmo di trigger, che elabora continuamente la media dell'ampiezza dei segnali su un corto intervallo STA (Short Term Average) e su un lungo intervallo LTA (Long Term Average) predefiniti. Quando il rapporto STA/LTA supera una determinata soglia i blocchi dati vengono trasmessi al CRS. Attualmente su 12 stazioni, il segnale è campionato a intervalli di 16 millisecondi, per una banda passante da 0 a 25 Hz, sulle rimanenti 3 stazioni il campionamento è di 8 millisecondi per una banda passante da 0 a 50 Hz;
- una radio ricevente/trasmittente operante in digitale;
- un radiorecettore DCF per allineare il segnale orario delle stazioni al tempo universale (GMT) con accuratezza dell'ordine dei millisecondi.

1.3 Caratteristiche del sistema di acquisizione Mars-88

Come si è già anticipato, presso il CRS è in funzione dal giugno 1994 il sistema digitale Lennartz Mars-88, che permette l'acquisizione dei dati con un campionamento massimo di 500 Hz ed una

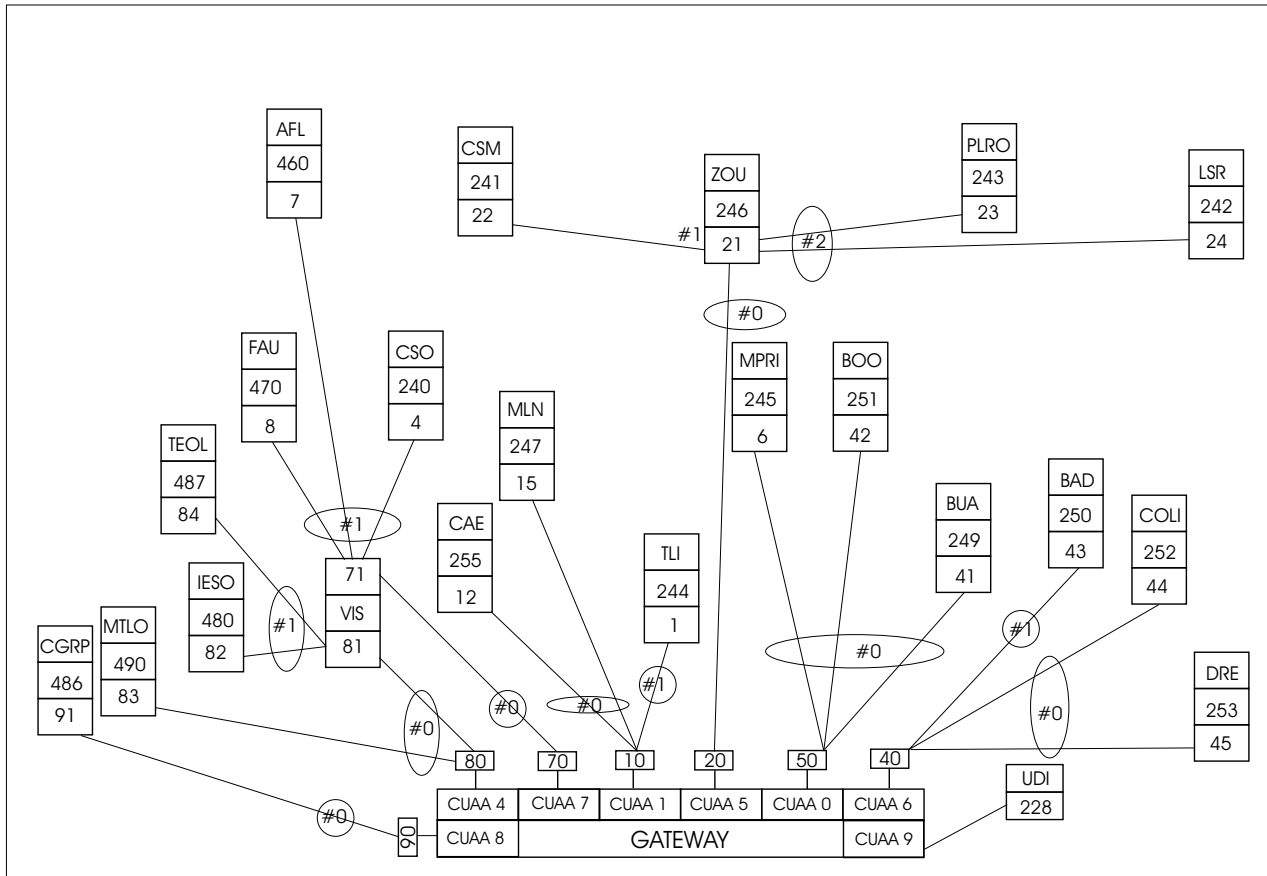


Figura 1.2: Schema a blocchi del sistema di acquisizione dati della rete.

dinamica di 120 dB. È un sistema di acquisizione dati digitali a tre canali per stazione, con 20 bit reali di dinamica e con possibilità di gestione on-line dei dati. Esso usa una connessione a due vie tra la stazione centrale e le stazioni remote. La connessione è di tipo Half Duplex, cioè un collegamento può essere usato solo in una direzione in un certo momento, ma c'è un sistema di inversione della direzione di collegamento. La rete può (caso limite) lavorare anche con una sola frequenza di trasmissione. I dati non transitano in un unico flusso ma vengono organizzati in pacchetti. Questi hanno una testata (header) con l'indicazione di chi lo ha inviato e a chi è destinato. Ogni pacchetto ha un CRC (Cyclic Redundancy Checksum) associato, che permette al destinatario di verificare se esso sia stato o no modificato a causa di errori di trasmissione. Per tale motivo è necessario dare un unico indirizzo ad ogni set strumentale di stazione. La stazione remota crea i dati in formato demultiplexato a blocchi di 1024 bytes, di cui 24 sono dedicati alla testata e i rimanenti sono riempiti con 500 campioni di 16 bit ciascuno. Oltre ai blocchi di dati, il sistema genera anche blocchi di stato, che servono a descrivere completamente la configurazione del sistema.

La stazione remota ha un buffer circolare di memoria con capacità di 4 MB. Se si utilizza una banda passante da 0 a 25 Hz con 1 canale, è possibile memorizzare un blocco di dati di circa 9 ore prima che venga sovrascritto. In questo intervallo di tempo il programma che opera nella Mars88-MC (stazione remota) con un sistema operativo multitasking, può retriggerare i blocchi di interesse, secondo le direttive provenienti dalla stazione centrale e comandare poi la trasmissione al momento opportuno.

Presso la sala di acquisizione, allo scopo di avere un'idea complessiva dell'attività sismica nell'arco delle 24 ore, si può ricorrere al canale monitor che campiona in continuo ad una frequenza 1/50 di quella di lavoro. Inoltre, la stazione remota del sistema Mars88 può essere commutata in

”modalità di servizio”, che permette di effettuare dei test di funzionamento sia in campagna che dalla sede centrale utilizzando un collegamento via modem.

Le stazioni periferiche sono dotate di un sistema di sincronizzazione al fine di evitare la trasmissione simultanea. Esse sono in ascolto e pronte a rispondere in qualunque momento una per volta. Prima di rispondere, la stazione deve stabilire una connessione con la stazione richiedente. La stazione che ha il possesso del ”testimone” dà il permesso a iniziare la connessione. Questo è un pacchetto vuoto che corre lungo la rete e/o sottorete in continuazione. Il suo passaggio implica la costante presenza di un certo traffico di rete, ed esso circola anche in assenza di dati.

La tipologia di rete è abbastanza flessibile, ossia è possibile ottenere la classica struttura a stella oppure anche una più complessa: in Fig. 1.2 viene rappresentata la configurazione di rete e lo schema relativo al sistema di acquisizione della RSFVG. Esso è suddiviso in cinque sottoreti ognuna con la propria frequenza di trasmissione in cui alcune stazioni lavorano solamente come punto di ripetizione (Col Visentin: VIS) mentre altre come perno (Zoufplan: ZOU) con due o più stazioni ad esso collegate.

I dati trasmessi al CRS vengono interfacciati tramite un gateway (Fig. 1.2) ad una workstation posta in sala di acquisizione. La workstation interroga ciclicamente (ogni minuto) le stazioni remote per scaricare i dati di interesse tramite i cinque radiomodem 0, 10, 20, 40, 50. Il gateway ha la funzione di smistare le varie richieste ai cinque radiomodem e alla stazione locale tramite le 6 linee seriali CUA0, CUA1, CUA4, CUA5, CUA6, CUA7.

Caratteristica importante del sistema è che il collegamento con le stazioni remote è bidirezionale, per cui è possibile inviare comandi di reinvio di pacchetti di dati eventualmente deteriorati nel primo tentativo di trasmissione. Tramite la workstation di acquisizione è inoltre possibile ridefinire i parametri di soglia per l'individuazione di eventi sulle singole stazioni. Una volta acquisiti presso la stazione centrale di Udine, i dati vengono organizzati in un database, visualizzati su un monitor ed elaborati.

1.4 Caratteristiche tecniche delle stazioni a larga banda della Rete Sismometrica del Friuli-Venezia Giulia

La dislocazione delle stazioni a banda larga gestite dal CRS è mostrata in Fig. 1.1. I siti che le ospitano sono descritti in Tab. 1.2: ad eccezione della stazione CUSI, installata presso la sede del CRS, in tutti i casi si tratta di siti poco rumorosi e di buona qualità dal punto di vista sismologico. La stazione TRI è situata all'interno della Grotta Gigante (Sgonico - TS); VINO e CIMO in due grotte naturali rispettivamente in provincia di Udine e Pordenone; ACOM in un bunker posto in una località isolata di montagna; CGRP in una galleria della Grande guerra in cima al monte Grappa; SABO in un ex serbatoio d'acqua di una casermetta in cima al monte Sabotino; MPRI2 nel sito della stazione a corto periodo.

La strumentazione è descritta in Tab. 1.3. Tutte le stazioni sono dotate di doppio sensore velocimetrico/accelerometrico a tre componenti ed acquisitore a 24 bit (fa eccezione MPR2, dotata di solo velocimetro). Il sensore velocimetrico a banda larga permette la registrazione di oscillazioni lente fino ad almeno 120 sec di periodo. L'accelerometro garantisce la leggibilità del segnale anche per forti scuotimenti. Tutte le stazioni sono a registrazione continua e sono dotate di oltre 1 GB di memoria su disco, il che consente un'ampia autonomia (da qualche settimana a qualche mese a seconda delle frequenze di campionamento utilizzate) in caso di problemi nella trasmissione dei dati ad Udine.

La trasmissione dei dati avviene con modalità diverse. La stazione CUSI è inserita nella rete

nome	codice	lat °N	long °E	quota [m]	materiale di fondazione	età geologica	inizio registrazioni
Acomizza	ACOM	46°32'53"	13°30'55"	1715	Calcare	Paleozoico	26/09/03
Cima Grappa	CGRP	45°52'50"	11°48'17"	1757	Calcare	Malm-Cretaceo	01/07/06
Cimolais	CIMO	46°18'41"	12°26'40"	610	Calcari dolomitici	Norico	18/05/02
Monte Prat	MPR2	46°14'26"	12°59'14"	762	Calcare	Cretaceo	01/12/05
Monte Sabotino	SABO	45°59'15"	13°38'01"	621	Calcari bioclastici	Cretaceo	21/03/05
Trieste	TRI	45°42'32"	13°45'61"	161	Calcare	Cretaceo	29/07/63
Udine	CUSI	46°02'14"	13°15'10"	90	Ghiaie	Quaternario	01/02/02
Villanova	VINO	45°42'32"	13°15'10"	161	Calcare	Eocene	01/08/95

Tabella 1.2: Descrizione dei siti che ospitano le stazioni a banda larga.

codice	acquisitore	velocimetro		accelerometro	
		modello	banda	modello	banda
ACOM	Q330	STS-2	120sec-50Hz	FBA ES-T	0-200Hz
CIMO	Q4128	STS-2	120sec-50Hz	FBA ES-T	0-200Hz
CGRP	Q330	STS-2	120sec-50Hz	FBA ES-T	0-200Hz
CUSI	Q4128	STS-2	120sec-50Hz	FBA ES-T	0-200Hz
MPR2	M24	CMG40	120sec-50Hz	FBA23	0-200Hz
SABO	Q330	STS-2	120sec-50Hz	FBA ES-T	0-200Hz
TRI	Q4126	STS-1	360sec-10Hz	CMG-5T	0-100Hz
VINO	Q4126	CMG-3T	120sec-50Hz	CMG-5T	0-100Hz

Tabella 1.3: Strumentazione installata presso le stazioni a banda larga.

locale del CRS. TRI è collegata alla sede centrale dell'OGS, situata all'esterno della Grotta Gigante, mediante un collegamento a fibra ottica: da qui i dati vengono instradati verso Udine tramite INTERNET. CGRP è collegata alla rete internet di un operatore pubblico tramite un collegamento radio WI-FI. Per ACOM, SABO e VINO è stato realizzato un collegamento diretto via radio con tecnologia spread-spectrum. Queste tre stazioni sono collegate in continuo, e trasferiscono le registrazioni complete a 100 campioni al secondo con ritardi dell'ordine della decina di secondi. CIMO è collegata mediante linea ISDN. I suoi dati vengono scaricati con modalità dial-up. I dati di singoli terremoti, campionati a 100 campioni al secondo, vengono trasferiti in maniera automatica pochi minuti dopo l'evento, in seguito alle segnalazioni del sistema di allarme FAAS. Le registrazioni continue a 20 campioni al secondo vengono trasferite una volta al giorno in blocchi di 24 ore. Tutti i tipi di collegamento consentono un accesso remoto alle stazioni per verificarne lo stato di funzionamento e per agire sui parametri di configurazione.

1.5 Calibrazione dei sensori

Disporre di sensori ben calibrati è fondamentale per qualsiasi studio che si avvale delle forme d'onda registrate. Poiché le caratteristiche dei sensori possono essere soggette a variazioni nel tempo, è necessario procedere a calibrazioni periodiche degli stessi. Annualmente tutti i sensori della RSFVG vengono calibrati o con il metodo indiretto o con quello diretto. Il metodo indiretto consiste nell'eccitare il sensore tramite una bobina interna di calibrazione e nel misurare il segnale in uscita. Tramite una relazione matematica che descrive il funzionamento del sensore è possibile calcolare con buona approssimazione le caratteristiche strumentali dello stesso. Il metodo indiretto può essere applicato direttamente sulla stazione remota, senza rimuovere lo strumento. Il metodo diretto prevede l'uso della tavola vibrante installata presso i laboratori del CRS a Udine e richiede la temporanea sostituzione del sensore. Nel corso del 2006 solamente il sensore della stazione di Talmassons è stato tarato con il metodo indiretto in quanto unico metodo applicabile (sensore ubicato a 100 metri di profondità in un pozzo a perdere). La procedura adottata è esaurientemente descritta in due rapporti

tecnicisti (Bulfony and Ponton, 1992; Bulfony et al., 1992). Il metodo indiretto di calibrazione implica la necessità di portare sulla stazione remota la strumentazione necessaria per:

1. generare i segnali di calibrazione;
2. misurare la risposta del geofono;
3. calcolare la costante di trasferimento.

I segnali generati durante la calibrazione vengono anche trasmessi alla centrale e memorizzati per l'ulteriore verifica della taratura al computer.

Tutti gli altri sensori sono stati tarati col metodo diretto, al fine di ricavare i parametri caratteristici dei sismometri della rete del Friuli Venezia Giulia e confrontarli con quelli di origine o con quelli ottenuti negli anni precedenti con il metodo indiretto. L'obiettivo finale è quello di valutare la complessiva stabilità nel lungo periodo (arco temporale medio: 10 anni) dei parametri tipici.

Nell'occasione è stato possibile anche verificare (testare) praticamente la funzionalità delle nuove procedure di pilotaggio diretto della tavola vibrante orizzontale e verticale.

Le nuove procedure sono state ottenute tramite l'utilizzo della nuova interfaccia utente, messa a punto dagli ingegneri di D. Zuliani e E. Diez. Questa interfaccia è stata sviluppata per pilotare in modo completo la tavola vibrante

Fino all'anno 2006 la taratura indiretta dei sismometri è stata realizzata con cadenza annuale, fornendo come risultato delle tabelle con i parametri caratteristici da utilizzare in fase di elaborazione dei dati. La procedura indiretta è molto veloce in quanto non richiede l'intervento in loco. Essa, infatti, si basa sull'attivazione a distanza (tramite telemetria) di una sequenza di impulsi di calibrazione. Tali impulsi producono segnali di risposta da confrontare con un segnale standard di riferimento e, quindi, permettono di verificare eventuali scostamenti significativi rispetto a quest'ultimo. La comodità di questo metodo si paga in termini di incertezza. Manca, infatti, una verifica dell'ampiezza degli impulsi generati localmente su ogni sensore. Il metodo indiretto ideato dalla casa costruttrice dei sensori (Lennartz) a detta della stessa doveva permettere una verifica con un errore stimabile intorno al +/-5%. La taratura diretta è molto più onerosa in quanto richiede l'intervento su ogni stazione remota per prelevare il sismometro (sostituito temporaneamente con uno analogo tarato), portarlo in laboratorio, fissarlo sulla tavola vibrante verticale e orizzontale, eseguire la procedura e infine memorizzare i risultati in un database. Questo spiega il motivo per cui ci si è limitati per ora ai soli sismometri a corto periodo della Rete sismometrica del F.V.G.. Il risultato del metodo diretto è più completo e valido in quanto si basa su misure di laboratorio eseguite con strumenti molto precisi (Laser, etc. vedi rapporti tecnici in calce). Le stazioni sismometriche a corto periodo interessate dalla taratura diretta sono state: Casso, Caneva, Malnisio, Monte Prat, Bordano, Buia, Bernadia, Colloredo, Drenchia, Casera Mimoiias, Zoufplan, Paularo e Lussari. La stazione a corto periodo di Talmassons ha il sismometro collocato a 100 mt di profondità in un pozzo non tubato per cui l'unico metodo di taratura attuabile è quello indiretto.

Risultati ottenuti La verifica di funzionalità delle nuove procedure è stata positiva, visto che l'interfaccia utente è intuitiva e facilmente utilizzabile da chiunque con un piccolo training iniziale. In corso d'opera, inoltre, sono stati migliorati i tempi di realizzazione della taratura, orientando i sensori a 45° rispetto all'asse orizzontale della tavola e correggendone la risposta, attraverso l'aggiunta di un'opzione del software. Per il confronto tra i risultati ottenuti col metodo di taratura indiretto e quelli ottenuti col metodo attuale, si può sostanzialmente dire che tutti i sensori sono rimasti entro specifiche originali, con scostamenti non superiori al +/- 2% dopo diversi anni di funzionamento. Si è così confermata l'affidabilità di questi sensori in relazione alla stabilità nel tempo dei parametri caratteristici, quali frequenza naturale f_0 , fattore di trasduzione k e smorzamento h .

I parametri caratteristici di calibrazione per l'anno 2006 sono riportati in Tab. 1.4.

stazione	Geofono modello/numero	Comp.	Polarità ¹	f ₀ Hz	Smorz. h	Trasduzione	
						V/m/s	V/g
ZOU 10/07/06	Lennartz LE3DLite B-122	V	normale ¹	1.00	0.7	400	
		L	normale	1.00	0.7	400	
		T	normale	1.00	0.7	400	
BAD 30/08/06	Lennartz LE3DLite F-273	V	normale	1.00	0.7	400	
		L	normale	1.00	0.7	400	
		T	normale	1.00	0.7	400	
BAD 29/11/06	Kinem. FBA23 36156 Kinem. FBA23 36155 Kinem. FBA23 36157	V	normale	52.7	0.65		2.5
		L	normale	52.1	0.67		2.49
		T	normale	53.7	0.65		2.5
DRE 28/08/06	Lennartz LE3DLite F-416	V	normale	1.00	0.7	400	
		L	normale	1.00	0.7	400	
		T	normale	1.00	0.7	400	
CAE 20/06/06	Lennartz LE3DLite C-140	V	normale	1.00	0.7	400	
		L	normale	1.00	0.7	400	
		T	normale	1.00	0.7	400	
UDI 28/11/06	Guralp CMG-5T 5235	V	normale	100	0.7		10
		L	normale	100	0.7		10
		T	normale	100	0.7		10
BOO 04/07/06	Lennartz G-348 Kinem. EpiSensor 6702 Kinem. EpiSensor 6691	V	normale	1.00	0.7	400	
		L	normale	196	0.7		5.0
		T	normale	206	0.7		5.0
CSO 16/06/06	Lennartz LE3DLite G-341	V	normale	1.00	0.7	400	
		L	normale	1.00	0.7	400	
		T	normale	1.00	0.7	400	
MLN 26/06/06	Lennartz LE3DLite G-347	V	normale	1.00	0.7	400	
		L	normale	1.00	0.7	400	
		T	normale	1.00	0.7	400	
TLI 24/01/07	Mark L4 4420	V	normale	1.30	0.72	65.6	
		L	assente				
		T	assente				
MPRI 23/06/06	Lennartz LE3DLite G-345	V	normale	1.00	0.7	400	
		L	normale	1.00	0.7	400	
		T	normale	1.00	0.7	400	
CSM 10/06/06	Lennartz LE3DLite G-344	V	normale	1.00	0.7	400	
		L	normale	1.00	0.7	400	
		T	normale	1.00	0.7	400	

Tabella 1.4: Tabella riassuntiva delle caratteristiche dei geofoni a corto periodo della RSFVG e della RSV per l'anno 2006.

¹Per polarità normale si intende: Componente verticale (Z) in movimento da basso verso l'alto: segnale positivo. Componente longitudinale (N-S) in movimento da sud verso nord: segnale positivo. Componente trasversale (E-W) in movimento da ovest verso est: segnale positivo. Inoltre la sequenza standard di acquisizione per i canali tridimensionali è: Ch0 = Verticale (Z); Ch1 = Longitudinale (N-S); Ch2 = Trasversale (E-W).

stazione	Geofono modello/numero	Comp.	Polarità ¹	f ₀ Hz	Smorz. h	Trasduzione	
						V/m/s	V/g
PLRO 10/08/06	Lennartz LE3DLite G-340	V	normale	1.00	0.7	400	
		L	normale	1.00	0.7	400	
		T	normale	1.00	0.7	400	
LSR 19/07/06	Lennartz LE3DLite G-346	V	normale	1.00	0.7	400	
		L	normale	1.00	0.7	400	
		T	normale	1.00	0.7	400	
BUA 04/07/06	Lennartz LE3DLite G-343	V	normale	1.00	0.7	400	
		L	normale	1.00	0.7	400	
		T	normale	1.00	0.7	400	
COLI 10/08/06	Lennartz LE3DLite K-580	V	normale	1.00	0.7	400	
		L	normale	1.00	0.7	400	
		T	normale	1.00	0.7	400	
AFL 08/02/07	Lennartz LE3DLite F-286	V	normale	1.00	0.7	400	
		L	Non usato				
		T	Non usato				
CGRP 08/02/07	Lennartz LE3DLite H-400	V	normale	1.00	0.7	400	
		L	normale	1.00	0.7	400	
		T	normale	1.00	0.7	400	
FAU 08/02/07	Lennartz LE3DLite F-274	V	normale	1.00	0.7	400	
		L	Non usato				
		T	Non usato				
IESO 08/02/07	Lennartz LE3DLite H-401	V	normale	1.00	0.7	400	
		L	Non usato				
		T	Non usato				
MTLO 08/02/07	Lennartz LE3DLite K-579	V	normale	1.00	0.7	400	
		L	normale	1.00	0.7	400	
		T	normale	1.00	0.7	400	
TEOL 08/02/07	Lennartz LE3DLite H-402	V	normale	1.00	0.7	400	
		L	normale	1.00	0.7	400	
		T	normale	1.00	0.7	400	
VARN 09/11/06	Lennartz LE3DLite K-581	V	normale	1.00	0.7	400	
		L	normale	1.00	0.7	400	
		T	normale	1.00	0.7	400	
PZF 13/10/06	Lennartz LE3DLite G-349	V	normale	1.00	0.7	400	
		L	normale	1.00	0.7	400	
		T	normale	1.00	0.7	400	

Tabella 1.4: Segue dalla pagina precedente

1.5.1 Il sistema della tavola vibrante

La tavola vibrante progettata e realizzata nei laboratori del CRS (Fig. 1.3) composta dalle seguenti parti::

1. un Laser-Doppler della Optodyne (vedi Fig. 1.4), per la misura dello spostamento dei sensori testati;
2. un segnale di pilotaggio costituito da un rumore di tipo gaussiano, opportunamente filtrato con un filtro passa basso con la frequenza di taglio di 1 Hz (disegnato mediante Matlab);
3. un sistema di controllo basato su PC remoto che comprende:



Figura 1.3: Visione globale della tavola vibrante, con due sensori Willmore posizionati per la calibrazione della componente orizzontale (al centro) e verticale (a destra).



Figura 1.4: Laser doppler Optodyne.



Figura 1.5: Un sensore Willmore durante la fase di taratura della componente orizzontale.

Willmore, horizontal component, ($R_s=33K\text{ ohm}$) tested by CRS/OGS

Module: sensitivity mean value (5Hz - 20Hz): 294.2573 V/(m/s)

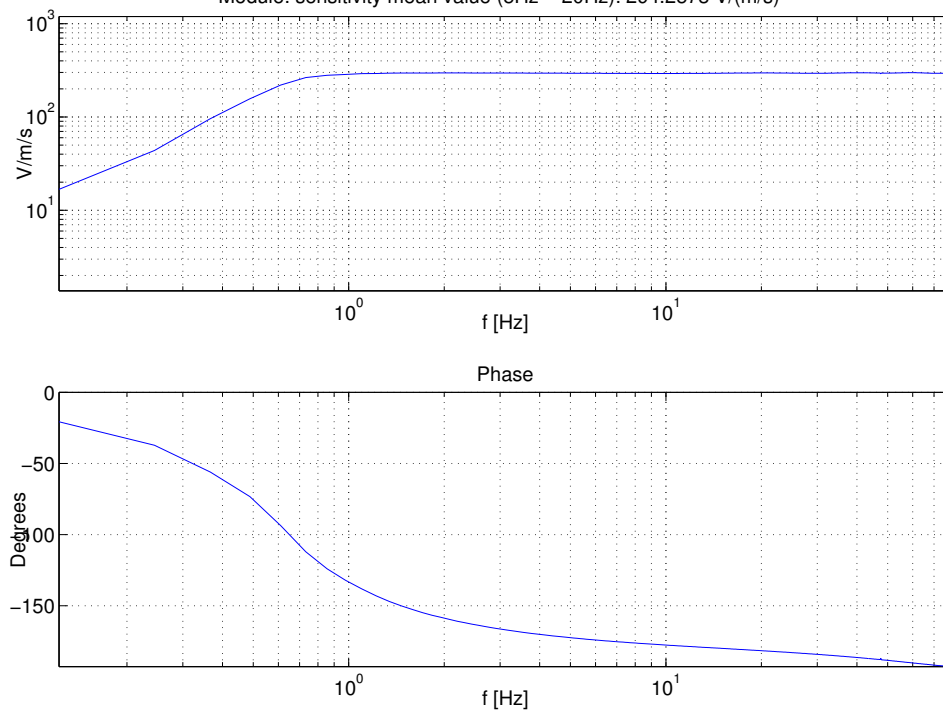


Figura 1.6: Risposta in frequenza (modulo e fase) della taratura relativa alla componente orizzontale del sensore Willmore.



Figura 1.7: Un sensore Willmore durante la fase di taratura della componente verticale.

Willmore, vertical component, ($R_s=33K$ ohm), tested by CRS/OGS

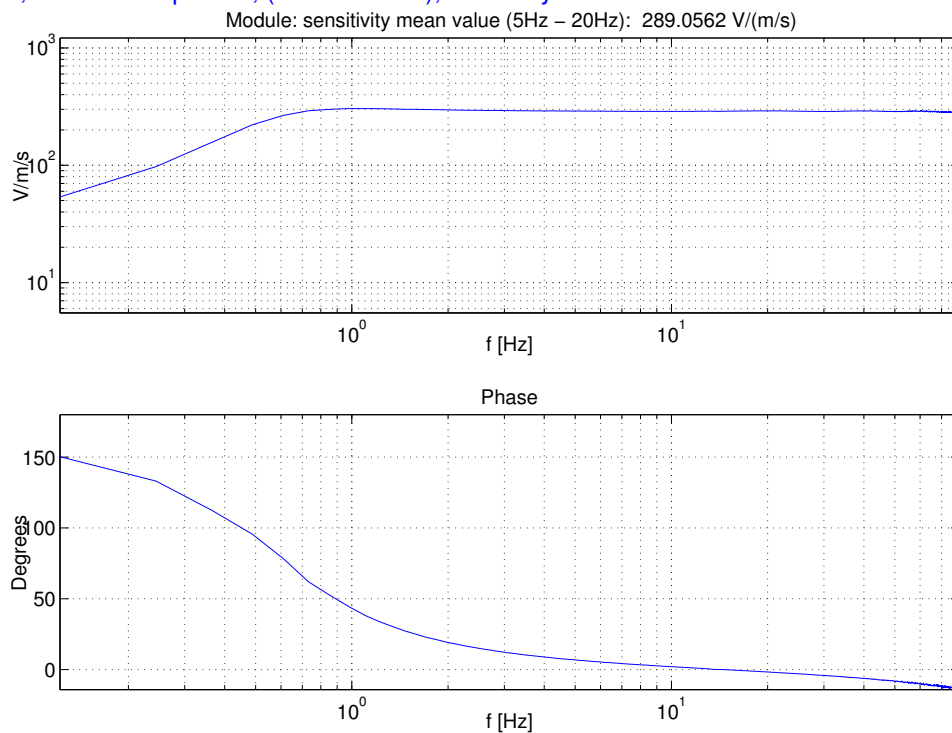


Figura 1.8: Risposta in frequenza (modulo e fase) della taratura relativa alla componente verticale del sensore Willmore.

- uno script in tcshell, denominato dmvibro, con funzioni di demone, che gira, in ambiente linux, sul PC che pilota la tavola vibrante. Lo script acquisisce i comandi del PC remoto e, in base ad essi, pilota la tavola e fornisce informazioni sul suo stato di funzionamento.
 - uno script Matlab con interfaccia grafica denominato vibrotool (sia per linux che per windows) che funziona sul PC remoto. Questo programma lancia i comandi che poi sono letti da dmvibro sul PC di pilotaggio della tavola vibrante.
4. Un sistema per l'annullamento del campo magnetico residuo generato dallo shaker, che può influenzare la calibrazione della componente verticale di alcuni tipi di sensore (per es. i Guralp CMG-40 della vecchia serie o i nuovi broadband PMD), soprattutto alle basse frequenze. Allo scopo è stato creato un campo magnetico coassiale a quello residuo e di segno opposto. In pratica si è avvolta attorno al piatto dello shaker una bobina alimentata in serie con la stessa corrente di pilotaggio dello shaker. Il numero delle spire della bobina è stato variato fino ad ottenere l'annullamento del campo residuo.

Un altro problema delle tavole vibranti in genere è l'effetto del "tilt" alle frequenze molto basse (sotto i 0.1 Hz) che tende a introdurre un errore nella misura tanto più importante quanto più si scende in frequenza. L'errore è dovuto soprattutto alle inevitabili imperfezioni meccaniche della tavola vibrante che non riesce a sviluppare un moto perfettamente rettilineo. Nel nostro sistema di calibrazione abbiamo allungato i tempi in modo da mediare su più misure, riuscendo così ad ottenere risultati attendibili fino ad oltre 30 secondi di periodo.

Nelle Figg. 1.5–1.8 sono mostrati l'assetto della tavola vibrante ed i risultati relativi alla taratura di un sensore Willmore a tre componenti.

1.6 Sviluppi tecnologici

Come accennato in precedenza, il CRS ha collaborato con la DRPC (contratto n. 34/2003 del 03/05/2003) per la realizzazione del progetto INTERREG III/A *Reti sismologiche senza frontiere nelle Alpi sud-orientali*. Tra gli obiettivi del progetto vi era la realizzazione di sistemi di trasmissione dati in tempo reale, da utilizzare per alcune nuove stazioni sismometriche a banda larga. La soluzione più adatta è stata individuata nella trasmissione via radio con tecnologia spread-spectrum. Il principale vantaggio è dato dal fatto che non sono richieste licenze d'uso. Inoltre essa offre facilità di implementazione, flessibilità, elevata velocità di trasmissione, costo iniziale relativamente basso, assenza di canoni e consumi energetici compatibili con l'alimentazione a pannelli solari delle stazioni sismometriche.

Nel corso del 2006 il CRS ha continuato nell'opera di ammodernamento della rete sismometrica della regione FVG. Attualmente le stazioni ubicate a nord e sul versante orientale utilizzano la tecnologia spread-spectrum. Le stazioni utilizzano delle radio del tipo Alvarion BreezeNET B14, in grado di trasmettere ad una velocità di 6 Mbps utilizzando canali da 20 MHz nella banda di frequenza 5.47-5.725 GHz. Questo dispositivo ha la capacità di verificare la qualità della trasmissione, che può deteriorarsi a causa di avverse condizioni meteorologiche, incremento del rumore di fondo oppure per la presenza di radar. In questi casi, il sistema è in grado di passare al canale da 20 MHz più appropriato senza alcuna interruzione della trasmissione. Per il collegamento delle stazioni sismometriche alla dorsale, è stato selezionato un tipo di radio meno costoso, e cioè il modello WiLAN VIP 110-24, che trasmette ad una velocità 2Mbps nella banda di frequenza di 2.4 GHz. Tutti i dispositivi scelti hanno capacità di *bridging*, permettono cioè di collegare in maniera trasparente due qualsiasi nodi dotati di interfaccia di rete Ethernet ed indirizzo IP.

Inizialmente, la tecnologia spread-spectrum è stata adottata per il collegamento tra la stazione a banda larga di Acomizza e la sede del CRS. Dal 2004 è stata sperimentata la possibilità di un suo utilizzo per le stazioni a corto periodo della RSFVG. In particolare, è stato attivato un collegamento tra il CRS e la stazione di Bernadia (BAD in Fig. 1.1). Poiché i digitalizzatori MARS88 sono dotati della sola uscita seriale, per realizzare il collegamento si è reso necessario introdurre un convertitore da seriale ad Ethernet del tipo MOXA NPort Express DE-211. La sperimentazione ha dato buoni risultati e, lasciando inalterato il sistema di acquisizione MARS88, ha permesso di ridurre drasticamente i tempi di acquisizione dei dati ad Udine, passando dai 5/6 minuti del sistema attuale a circa 1 minuto con la soluzione spread-spectrum. Questa innovazione ha avuto importanti implicazioni, soprattutto per quel che riguarda la generazione rapida di allarmi sismici. Attualmente il collegamento è attivo sul 60 % delle stazioni.

2 Funzionamento della RSFVG e del sistema di allarme automatico

Nel corso del 2006 sulle stazioni remote è stata eseguita regolare manutenzione ordinaria e straordinaria, con interventi di riparazione dei guasti e/o manutenzione preventiva (verifica offset, efficienza dell'alimentazione, funzionalità dei ponti radio, ecc.). In particolare durante il 2006 la RSFVG ha avuto un buon funzionamento con poche e poco significative interruzioni ai fini dell'acquisizione dati. Infatti, in molti casi si è potuto ripristinare la mancanza del dato grazie al processo di retrigger dal centro stesso, mentre solo in qualche rara occasione l'interruzione, su singola stazione, è stata superiore alla giornata con il conseguente intervento di riparazione sulla stazione medesima.

Il sistema automatico di allarme FAAS (Friuli Automatic Alert System, Bragato and Govoni (2000)) ha segnalato tutti gli eventi di magnitudo $M_D \geq 2,8$ avvenuti in regione e nelle aree limitrofe. I messaggi di allerta sono stati notificati via fax alla SOR della Protezione Civile Regionale. Contemporaneamente i parametri di localizzazione e magnitudo sono stati resi disponibili sul terminale grafico installato presso la SOR e sulla pagina Web del CRS (<http://www.crs.inogs.it/>). Sono inoltre stati inviati via posta elettronica a varie istituzioni sismologiche italiane ed europee, quali l'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), lo CSEM (Centro Sismologico Europeo Mediterraneo, con sede a Parigi), il Servizio Sismico della Slovenia (Agencija Republike Slovenije za Okolje, ARSO), e l'Università di Zagabria.

Gli allarmi sono stati inviati anche via SMS al personale CRS e ad alcuni numeri della Protezione Civile Regionale. Allo scopo è stato utilizzato il servizio di un provider esterno. Il servizio SMS e la comunicazione telefonica in generale hanno evidenziato seri limiti di affidabilità ed efficienza in occasione del terremoto di Bovec del 12 luglio 2004 a causa dell'intasamento delle linee in conseguenza dell'evento stesso.

In connessione con il sistema di allarme automatico, per tutto l'anno il CRS ha fornito un servizio di reperibilità H24. Il servizio è stato svolto contemporaneamente da un ricercatore e da un tecnico, entrambi dotati di telefono cellulare raggiunto dal sistema automatico di allarme. Almeno uno dei due è intervenuto presso la sede entro 45 minuti dal verificarsi dei terremoti di magnitudo $M_D \geq 2,8$, e ciò al fine di controllare le localizzazioni automatiche e di seguire l'evoluzione della sismicità.

3 Elaborazione dati

Le letture delle fasi degli eventi vengono effettuate utilizzando il programma XPITSA (Scherbaum and Johnson, 1993) e, dal luglio 2004, il programma SeisGram2K (Lomax, 2004). La qualità della registrazione è tenuta in debito conto tramite l'assegnazione di opportuni pesi alle letture fatte. Si procede alla determinazione ipocentrale degli eventi con epicentro avente una distanza non superiore a 100 km da almeno una delle stazioni della rete. L'area dei terremoti localizzati (Alpi Orientali) è compresa, dunque, fra latitudine 45,50°N - 47,00°N e longitudine 11,00°E - 15,00°E. Le determinazioni ipocentrali vengono elaborate utilizzando il programma HYPO71 (Lee and Lahr, 1975). Poiché in questo programma i parametri di input furono calibrati per localizzare i terremoti lungo la Faglia di San Andreas in California, si è reso necessario modificare alcuni di questi parametri per adattare il processo di localizzazione ipocentrale alle caratteristiche della sismicità in Friuli. In particolare, parametri standard (definiti *Test* nel programma di Lee e Lahr) come il massimo aggiustamento orizzontale nella localizzazione del terremoto (si ricorda che la localizzazione è un'inversione linearizzata localmente che viene risolta iterativamente mediante aggiustamenti nelle tre coordinate spaziali e quella temporale) o la profondità iniziale media da cui far partire la localizzazione (rispettivamente *Test* (10) e *Test* (05) nel programma) sono stati modificati in modo da riflettere le caratteristiche della rete e della sismicità. I valori dei parametri di input al programma che sono stati modificati rispetto ai valori standard sono presentati nel prospetto che segue mentre ci si rifà al lavoro di Lee and Lahr (1975) per la loro descrizione:

```
Test (01) = 100
Test (02) = 120 km
Test (03) = 0,5
Test (05) = 7 km
Test (06) = 1
Test (10) = 50 km
Test (11) = 12
```

Il modello crostale utilizzato, costituito da due strati ed un semispazio, è definito da:

velocità (km/s)	profondità (km)
5,85	0-22
6,80	22-39,5
8,00	> 39,5
$V_p/V_s = 1,78$	

Il modello di velocità è stato calcolato in base alle conoscenze crostali dell'area friulana ed a quelle della pianura veneta (Slejko et al., 1989). Per ogni terremoto viene calcolata la magnitudo da durata per ogni singola stazione ed il suo valore medio. La formula usata per il calcolo della magnitudo da durata è:

$$M_D = a + b \log T$$

dove T è la durata della registrazione in secondi mentre a e b sono due costanti. I valori delle costanti per ciascuna delle stazioni della rete sono stati calcolati da Rebez and Renner (1991). Per localizzare i terremoti esterni all'area coperta dalle stazioni della RSFVG, vengono utilizzati, se utili per una migliore definizione dei parametri ipocentrali, i dati rilevati da ulteriori stazioni europee (vedi Tab. 3.1). Tutte le soluzioni ipocentrali vengono accuratamente analizzate e ritenute accettabili solo quando gli errori statistici loro associati risultano sufficientemente piccoli.

Codice	Nome	Istituto di appartenenza
ARSA	Arzberg	Austrian Geophysical Service Vienna
BGY	Bistrica	Geophysical Survey of Slovenia
BHG	Bad Reichenhall	Geophysikalisches Observatorium Fustenfeldbrunch
BISS	Bistrioki jarek	Geophysical Survey of Slovenia
CADS	Cadrg	Geophysical Survey of Slovenia
CARA	Carano	Regione Trentino-Alto Adige Trento
CAV	Cavalese	Regione Trentino-Alto Adige Trento
CESS	Cesta nad Krskim	Geophysical Survey of Slovenia
CEY	Cerknica	Geophysical Survey of Slovenia
CRES	Cresnjevec	Geophysical Survey of Slovenia
CTI	Castel Tesino	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia Roma
DAVA	Damuels Voralberg	Austrian Geophysical Service Vienna
DDS	Dosso del Sommo	Regione Trentino-Alto Adige Trento
DOBS	Dobrina	Geophysical Survey of Slovenia
FIN	Finale Ligure	Istituto Geofisico e Geodetico Universita' di Genova
FUR	Fuerstenfeldbruck	Geophysikalisches Observatorium Fustenfeldbrunch
FVI	Forni Avoltri	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia Roma
GMNA	Gemona	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia Roma
GOLS	Golise	Geophysical Survey of Slovenia
GORS	Gorjuse	Geophysical Survey of Slovenia
GROS	Grobnik	Geophysical Survey of Slovenia
HVAR	Hvar	Geophysical Institute Zagreb University
KBA	Koelnbreinsperre	Austrian Geophysical Service Vienna
LEGS	Legarje	Geophysical Survey of Slovenia
LJU	Ljubljana	Geophysical Survey of Slovenia
MOA	Malln	Austrian Geophysical Service Vienna
MOTA	Moosalm	Austrian Geophysical Service Vienna
OBKA	Hochobir	Austrian Geophysical Service Vienna
OGA	Obergurgl	Geophysikalisches Observatorium Fustenfeldbrunch
OSS	Ova Spin	E.T.H. Zurich
OZOL	Ozol	Regione Trentino-Alto Adige Trento
PAG	Paganella	Regione Trentino-Alto Adige Trento
PANI	Panarotta	Regione Trentino-Alto Adige Trento
PKS	Podkum	Geophysical Survey of Slovenia
PERS	Pernice	Geophysical Survey of Slovenia
PTCC	Patocco	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia Roma
PTJ	Puntijarka	Geophysical Institute Zagreb University

Tabella 3.1: Stazioni ausiliarie usate nell'elaborazione dei dati della RSFVG.

Codice	Nome	Istituto di appartenenza
RIY	Rijeka	Geophysical Institute Zagreb University
ROBS	Robic	Geophysical Survey of Slovenia
RNI	Roncone	Regione Trentino-Alto Adige Trento
SAX	Saentis	E.T.H. Zurich
SCE	Schlegeis	Geophysikalisches Observatorium Fustenfeldbrunch
SGV	S. Giovanni	Regione Trentino-Alto Adige Trento
SLE	Schleitheim	E.T.H. Zurich
SQTA	St.Quirin	Austrian Geophysical Service Vienna
STLV	Grossmontoni	Regione Trentino-Alto Adige Trento
TMA	Mt. Tamaro	E.T.H. Zurich
VAR	Varagna	Regione Trentino-Alto Adige Trento
VBY	Bojanci	Geophysical Survey of Slovenia
VDL	Valle di Lei	E.T.H. Zurich
VEA	Veano	Istituto Geofisico e Geodetico Universita' di Genova
VIP	Vipiteno	Regione Trentino-Alto Adige Trento
VOY	Vojsko	Geophysical Survey of Slovenia
VVI	Villa di Villa	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia Roma
WATA	Walderalm	Austrian Geophysical Service Vienna
WTTA	Wattenberg	Austrian Geophysical Service Vienna
WET	Wetzell	Geophysikalisches Observatorium Fustenfeldbrunch
ZAG	Zagreb	Geophysical Institute Zagreb University

Tabella 3.1: Stazioni ausiliarie usate nell'elaborazione dei dati della RSFVG.

4 Analisi della sismicità regionale

Il monitoraggio della sismicità regionale durante il 2006 è stato effettuato con le stazioni appartenenti alla RSFVG e le otto stazioni della rete sismometrica della regione Veneto (Tab. 1.1). La rete del Veneto nel corso del 2006 si è arricchita delle stazioni di: Caprino Veronese, Monte Baldo, inizio acquisizione il 13/10/2007; Col Varnada (BL) inizio acquisizione il 9/11/2006. Allo scopo di raffinare le elaborazioni ipocentrali sono stati utilizzati anche i dati relativi alle stazioni riportate in Tab. 3.1, facenti parte di organizzazioni nazionali e internazionali. Questo ha permesso di elaborare localizzazioni con sufficiente precisione nell'ambito di un'area compresa tra il lago di Garda e la città di Lubiana, e più precisamente tra le latitudini $45^{\circ}30'N$ e $47^{\circ}00'N$ e le longitudini $11^{\circ}00'E$ e $15^{\circ}00'E$, corrispondente alla regione Friuli-Venezia Giulia (FVG) ed una fascia di circa 100 km esterna al territorio regionale. Nel seguito quest'area sarà denominata Alpi Orientali (AO).

Nella Tab. 4.1 vengono riportati i terremoti avvenuti nel 2006 nella regione Friuli-Venezia Giulia con magnitudo $M_D \geq 2,8$. Essi rientrano nella sfera d'interesse per la Protezione Civile Regionale: per essi si è attivata la procedura di trasmissione delle informazioni, secondo quanto prescritto dalla convenzione (si veda al proposito la sezione 2). Una visione complessiva della sismicità registrata in FVG e zone adiacenti viene rappresentata in Fig. 4.1, mentre in Fig. 4.2 viene rappresentata la sismicità in tutta l'area delle AO. Nell'Allegato 1 viene riportata la sismicità in FVG alla scala 1:250.000.

Durante il 2006 gli eventi più rilevanti avvenuti nella regione Friuli-Venezia Giulia sono stati:

- l'evento $M_D=2,9$, verificatosi il 25 luglio, alle 03:38 ora locale, localizzato nel comune di Arta Terme;
- l'evento $M_D=3,1$ verificatosi il giorno 11 agosto, alle 03:35 ora locale, localizzato nel comune di Gemona.

All'esterno della regione FVG significativi sono stati:

- l'evento $M_D=3,4$ del 23 aprile alle ore 18:21, ora locale, verificatosi a Plave (Slovenia), circa 15 km ESE Cividale del Friuli;
- l'evento $M_D=3,6$ del 28 dicembre delle ore 15:10, ora locale, tra i comuni di Sedico e Belluno.

Osservando in dettaglio la Fig. 4.1, si può notare la distribuzione della sismicità lungo la fascia pedemontana friulana, con un suo proseguimento ad est in Slovenia e ad ovest nel Bellunese. Più precisamente, si nota che la quasi totalità degli eventi è stata localizzata nell'area delimitata dalle città di Claut-Arta T.-Tolmezzo-Venzone-Gemona-Stupizza. Questa sismicità, comunque, si presenta con una M_D relativamente modesta che raramente supera i 3 gradi della scala Richter.

Nella Fig. 4.2 è riportata la sismicità localizzata in tutta l'area delle Alpi Orientali. In particolare, ad est, in Slovenia, essa è caratterizzata da sismicità presente nelle aree di Kobarid-Bovec, Plave-Kanal (N di Gorizia), e nell'area a est di Ljubliana. In Croazia si segnala attività sull'isola di Krk e nell'area di Vinodol (SE di Rjeka).

data	ora UTC0	lat. °N	long. °E	prof. (km)	M_D	località
25-07-2006	01:38:36,03	46,434	13,054	12,6	2,9	Arta
11-08-2006	01:35:56,48	46,318	13,144	11,6	3,1	Gemona

Tabella 4.1: Terremoti di magnitudo $M_D \geq 2,8$ localizzati dalla RSFVG nella regione Friuli-Venezia Giulia durante l'anno 2006. I dati qui riportati sono quelli della localizzazione definitiva, e possono quindi discostarsi da quelli comunicati dal sistema di allarme automatico.

Ad ovest, regione Veneto, si notano una sismicità prevalentemente concentrata nelle vicinanze della città di Belluno e caratterizzata da eventi di M_D relativamente modesta a parte l'evento di data 28/12/2006 di M_D pari a 3,6 localizzato tra Sedico e Belluno. Sismicità sparsa e di intensità modesta è presente in prossimità del lago di Garda e la città di Rovereto (TN).

Allo scopo di evidenziare l'evoluzione nel tempo della sismicità nella regione Friuli-Venezia Giulia (FVG) e nella più vasta area delle Alpi Orientali (AO), vengono di seguito forniti una serie di diagrammi esemplificativi dell'andamento della sismicità.

Il numero cumulativo di eventi nel tempo, rispettivamente registrati e localizzati sia nella regione Friuli-Venezia Giulia, che nell'area delle Alpi Orientali, è rappresentato in Fig. 4.3. Nell'anno 2006, sono stati registrati in FVG 799 eventi, di cui 141 con determinazione ipocentrale, mentre su tutta l'area investigata 976 eventi, di cui 297 con determinazione. Questo indica che la sismicità più consistente si è sviluppata all'esterno della regione Friuli-Venezia Giulia ed in particolare è collegata alle aree slovene di Bovec-Kobarid e di Plave, N di Gorizia. Il grafico cumulativo dei terremoti (Fig. 4.3) evidenzia in corrispondenza dei mesi aprile, maggio e giugno una diminuzione della pendenza della curva per poi riprendere con la pendenza originaria.

I grafici di Figg. 4.4 e 4.5 mettono successivamente in evidenza il numero giornaliero dei terremoti registrati e localizzati nelle Alpi Orientali e il numero giornaliero dei terremoti registrati e localizzati nel Friuli-Venezia Giulia. Da essi emerge che la sismicità presente è dovuta principalmente a sismicità regionale e sismicità localizzata nella zona confinaria in slovenia.

Nelle Figg. 4.6 e 4.7 sono riportati il numero mensile dei terremoti registrati e localizzati nelle Alpi Orientali e nel Friuli-Venezia Giulia. Dall'esame dei grafici emerge la buona correlazione tra i due con la messa in evidenza della sequenza di Ovaro (23 febbraio - 12 marzo) e della sequenza di Gemona dal 11-25 agosto. Per quanto riguarda la sismicità extra regionale si segnala, oltre a quella già menzionata in precedenza, una certa attività presente in prossimità e oltre la città di Lubiana.

Le Figg. 4.8 e 4.9 riportano gli istogrammi relativi al numero di terremoti registrati e localizzati in funzione delle classi di magnitudo, rispettivamente nelle Alpi Orientali e nel Friuli-Venezia Giulia. Per quanto riguarda i terremoti registrati, la distribuzione per le Alpi Orientali è molto simile a quella del FVG, ed evidenzia un massimo assoluto per le classi di magnitudo comprese tra 0,9 e 2,0. Per quanto riguarda invece gli eventi localizzati il massimo assoluto è rappresentato dalle classi comprese tra 1,6 e 2,0 per le Alpi Orientali con un secondo massimo relativo alla classe 2,7. La distribuzione del FVG evidenzia un solo massimo ed è compreso tra le classi 1,8 e 2,0. Il grafico di Fig. 4.9, inoltre indica che la soglia minima di magnitudo per gli eventi localizzati in regione è di circa 0,9 mentre le classi di magnitudo maggiormente rappresentate sono rispettivamente 1,6 per i terremoti registrati e 1,8 per quelli localizzati.

Il grafico di Fig. 4.10, relativo al numero di terremoti in funzione della profondità, evidenzia che globalmente la sismicità è localizzata tra 3 e 18 km. In Friuli-Venezia Giulia i terremoti si distribuiscono uniformemente nell'intervallo tra 7 e 13 km, mentre nella più vasta area delle Alpi Orientali appare evidente un addensamento di eventi a profondità comprese nell'intervallo tra 5 e 15 km.

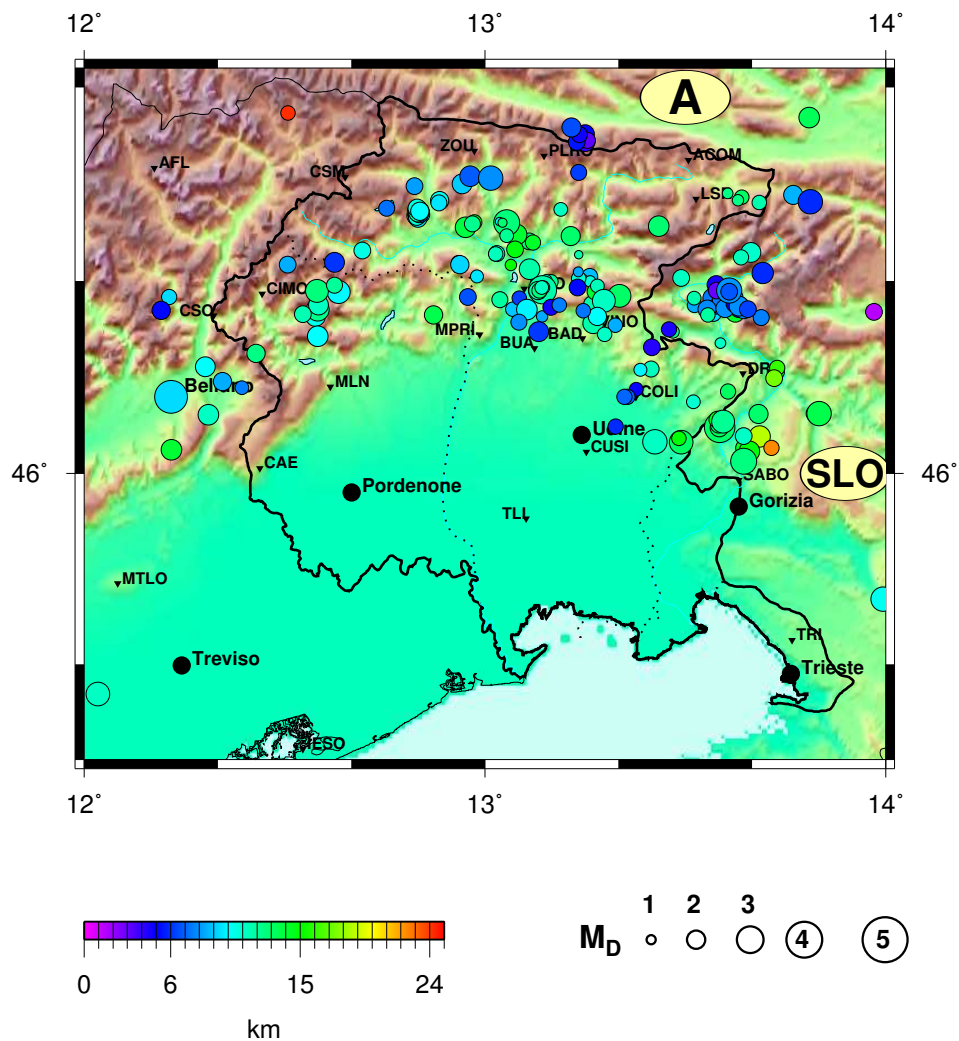


Figura 4.1: Mappa degli epicentri dei terremoti del 2006 localizzati nel Friuli-Venezia Giulia.

La sezione verticale, orientata sud-nord, ed ubicata in una fascia geografica compresa tra Trasaghis e Gemona, rappresentata in Fig. 4.11, mette in evidenza nell'area centrale friulana una localizzazione degli ipocentri compresa tra i 5 e i 15 km.

Nelle Figg. 4.12–4.23 viene infine presentata in maniera sintetica la sismicità rilevata mese per mese.

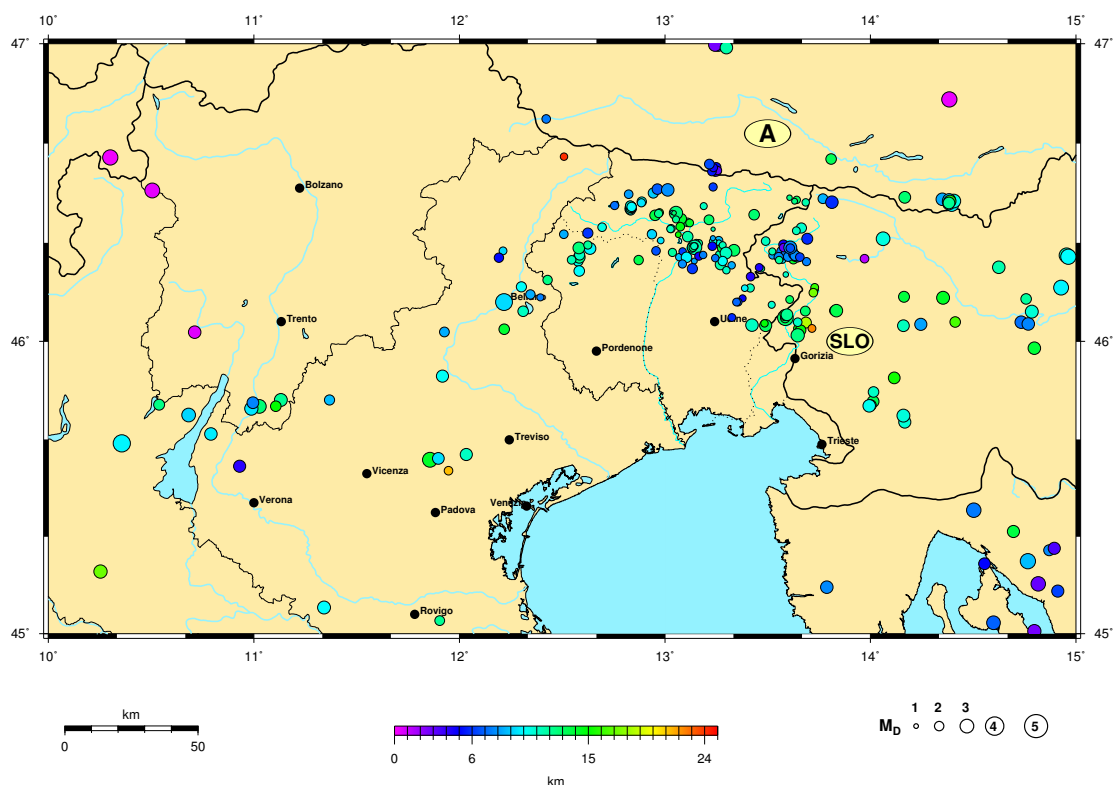


Figura 4.2: Mappa degli epicentri dei terremoti del 2006 localizzati nelle Alpi orientali.

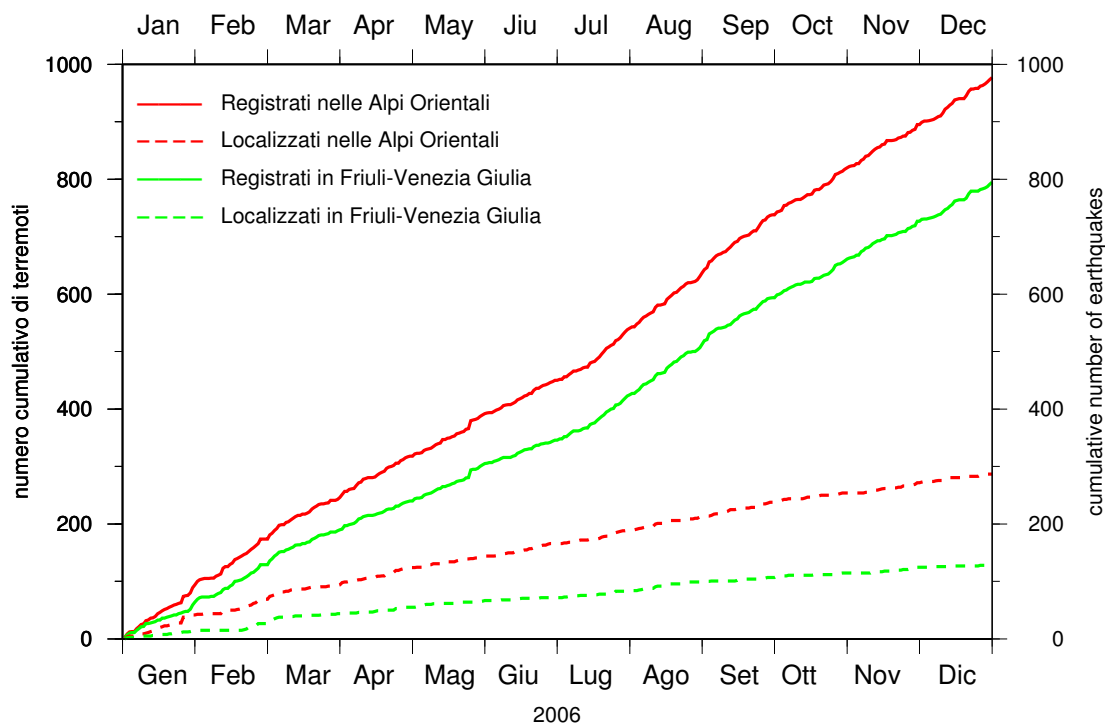


Figura 4.3: Grafico del numero cumulativo di terremoti.

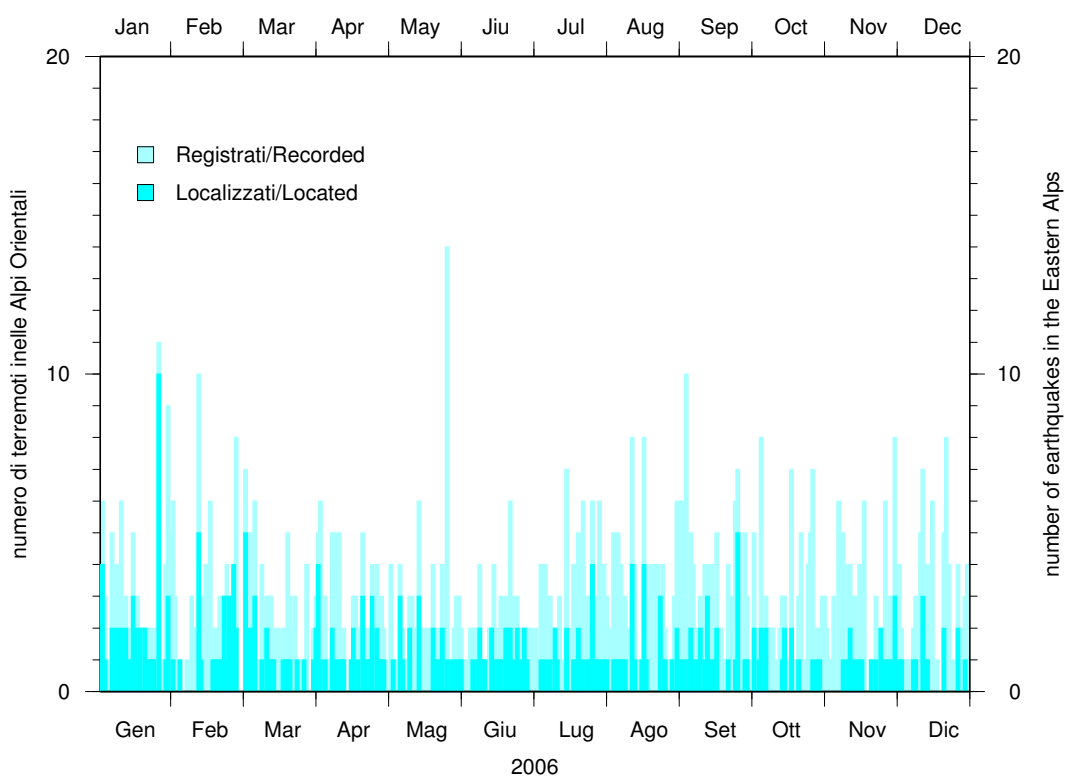


Figura 4.4: Numero giornaliero di terremoti registrati e localizzati nelle Alpi Orientali.

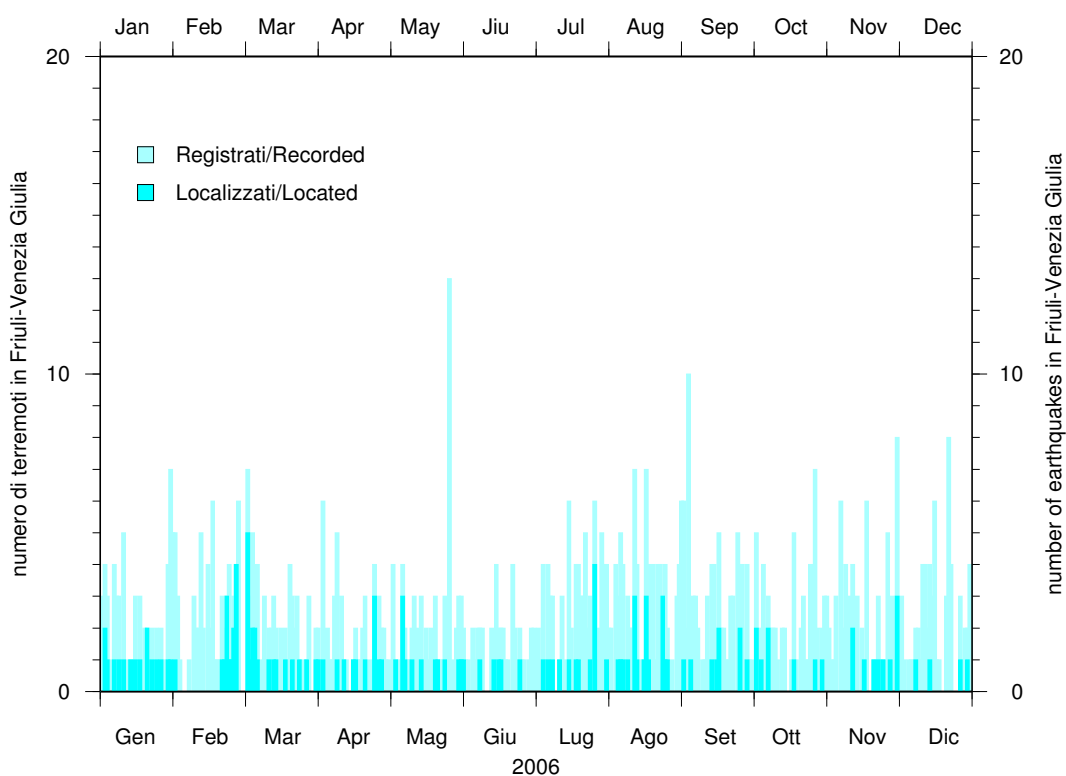


Figura 4.5: Numero giornaliero di terremoti registrati e localizzati in Friuli-Venezia Giulia.

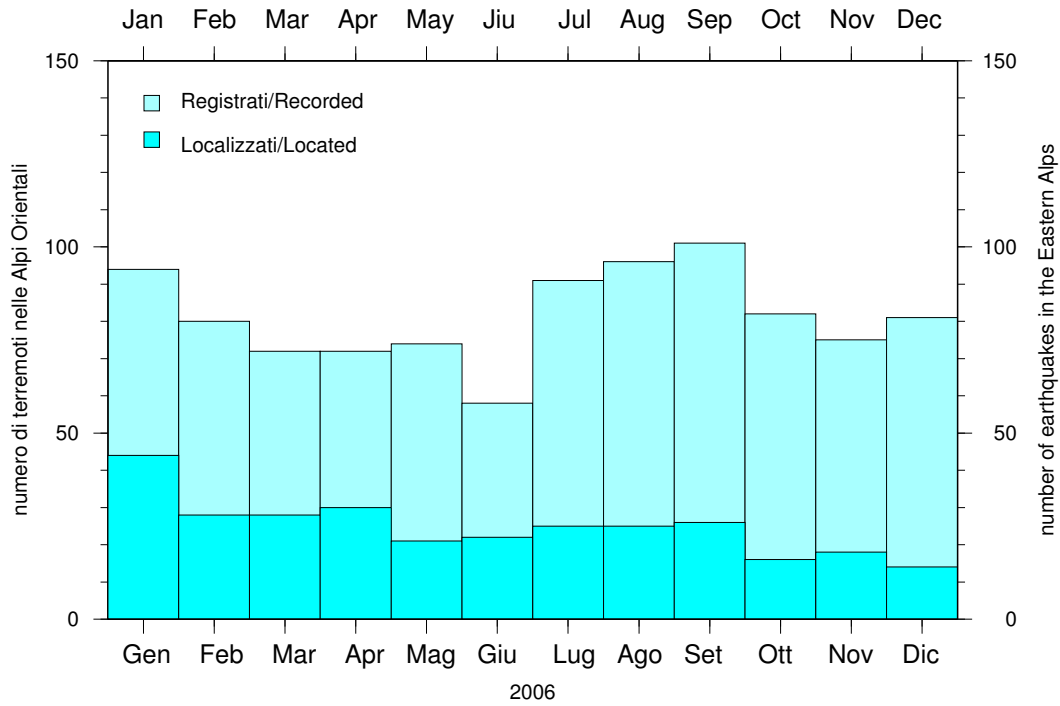


Figura 4.6: Numero mensile di terremoti registrati e localizzati nelle Alpi Orientali.

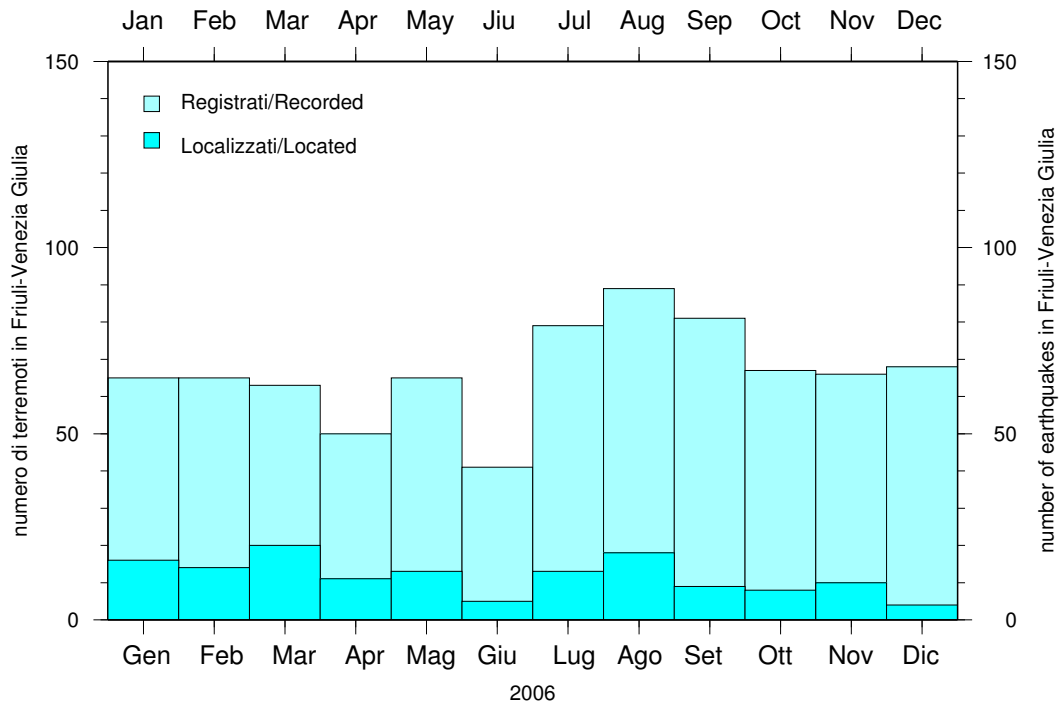


Figura 4.7: Numero mensile di terremoti registrati e localizzati in Friuli-Venezia Giulia.

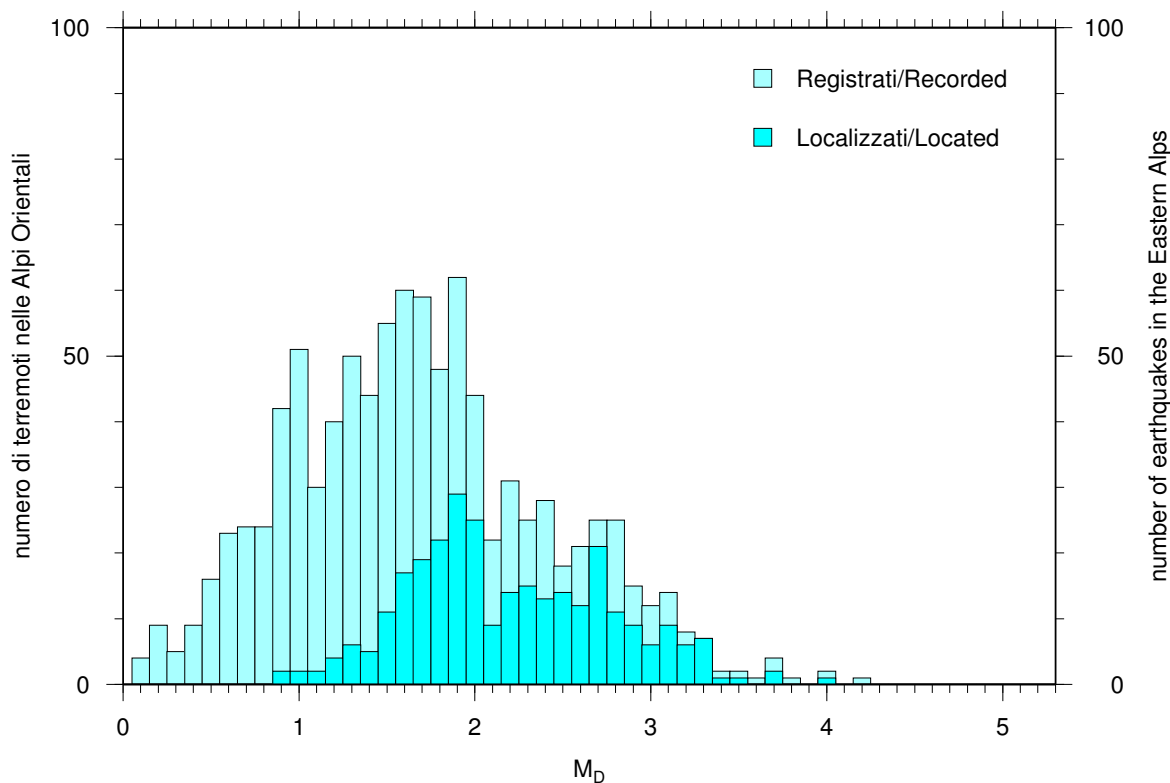


Figura 4.8: Numero dei terremoti in funzione della magnitudo registrati nelle Alpi Orientali.

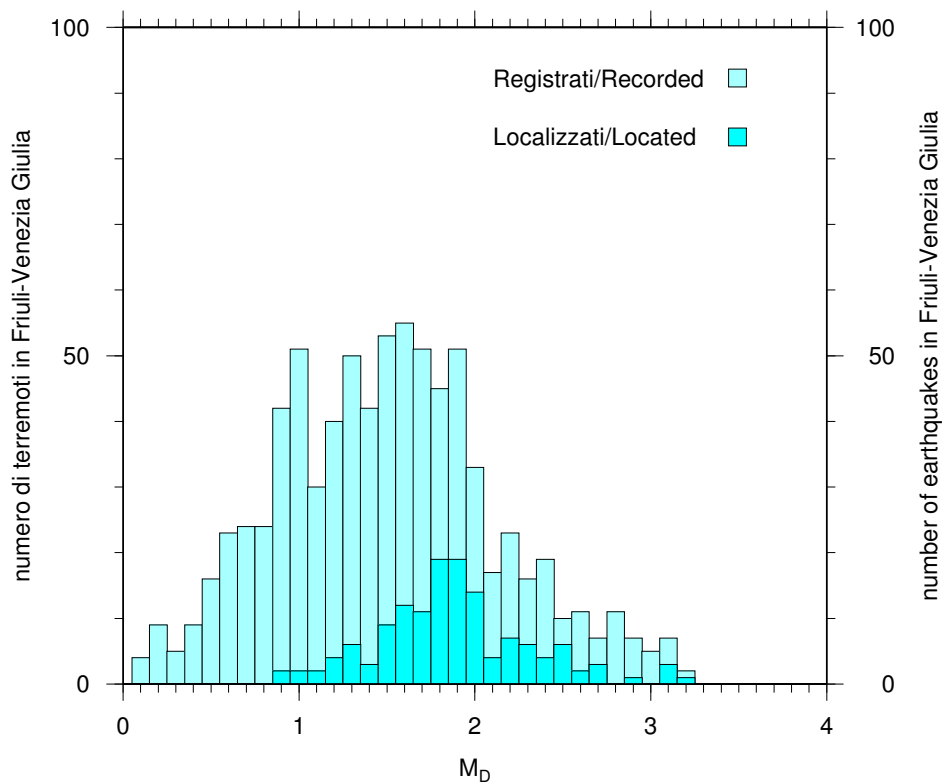


Figura 4.9: Numero dei terremoti in funzione della magnitudo registrati in Friuli-Venezia Giulia.

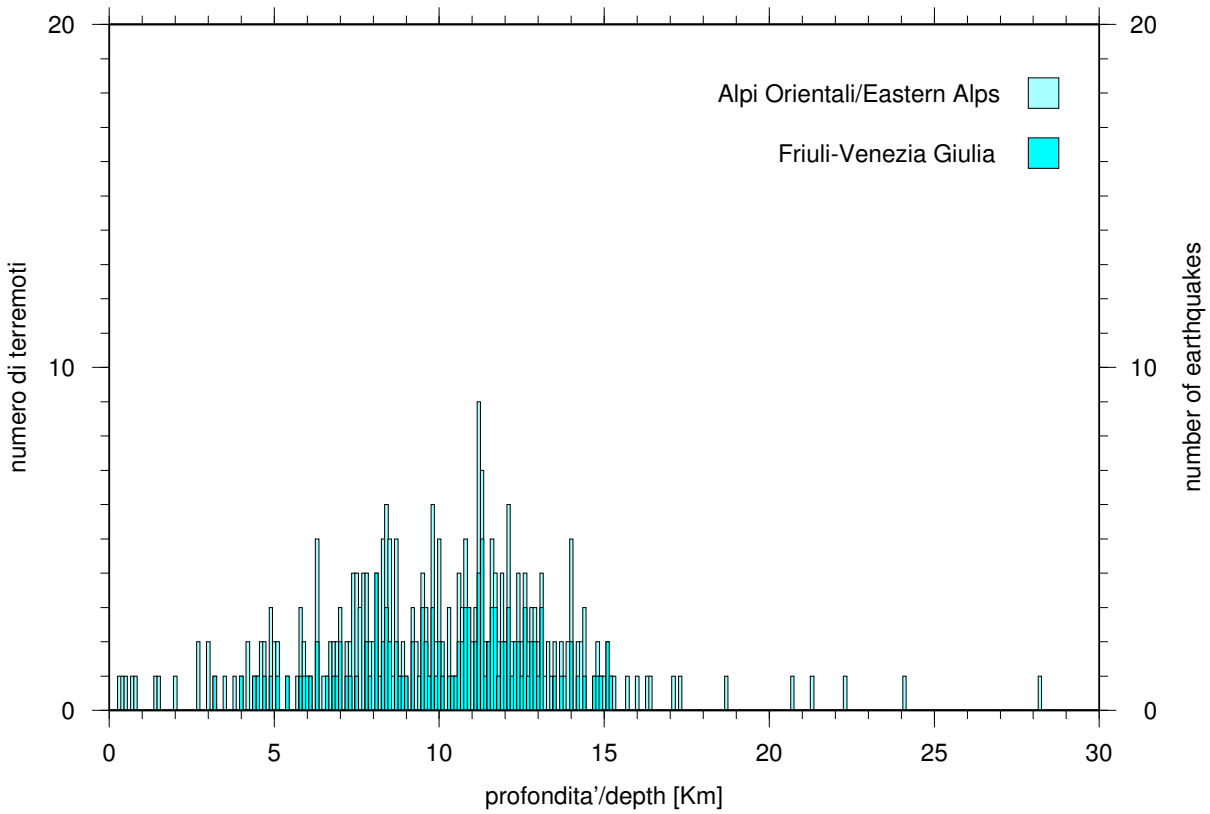


Figura 4.10: Numero di terremoti localizzati in funzione della profondità nelle Alpi Orientali ed in Friuli-Venezia Giulia.

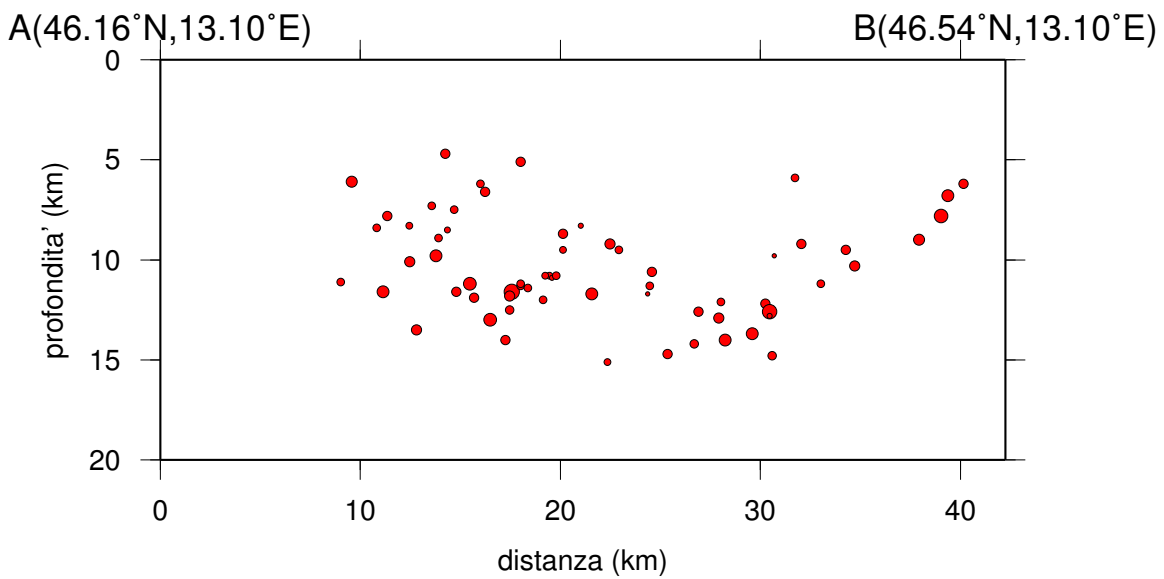


Figura 4.11: Sezione sud-nord relativa alla zona tra Trasaghis e Gemona

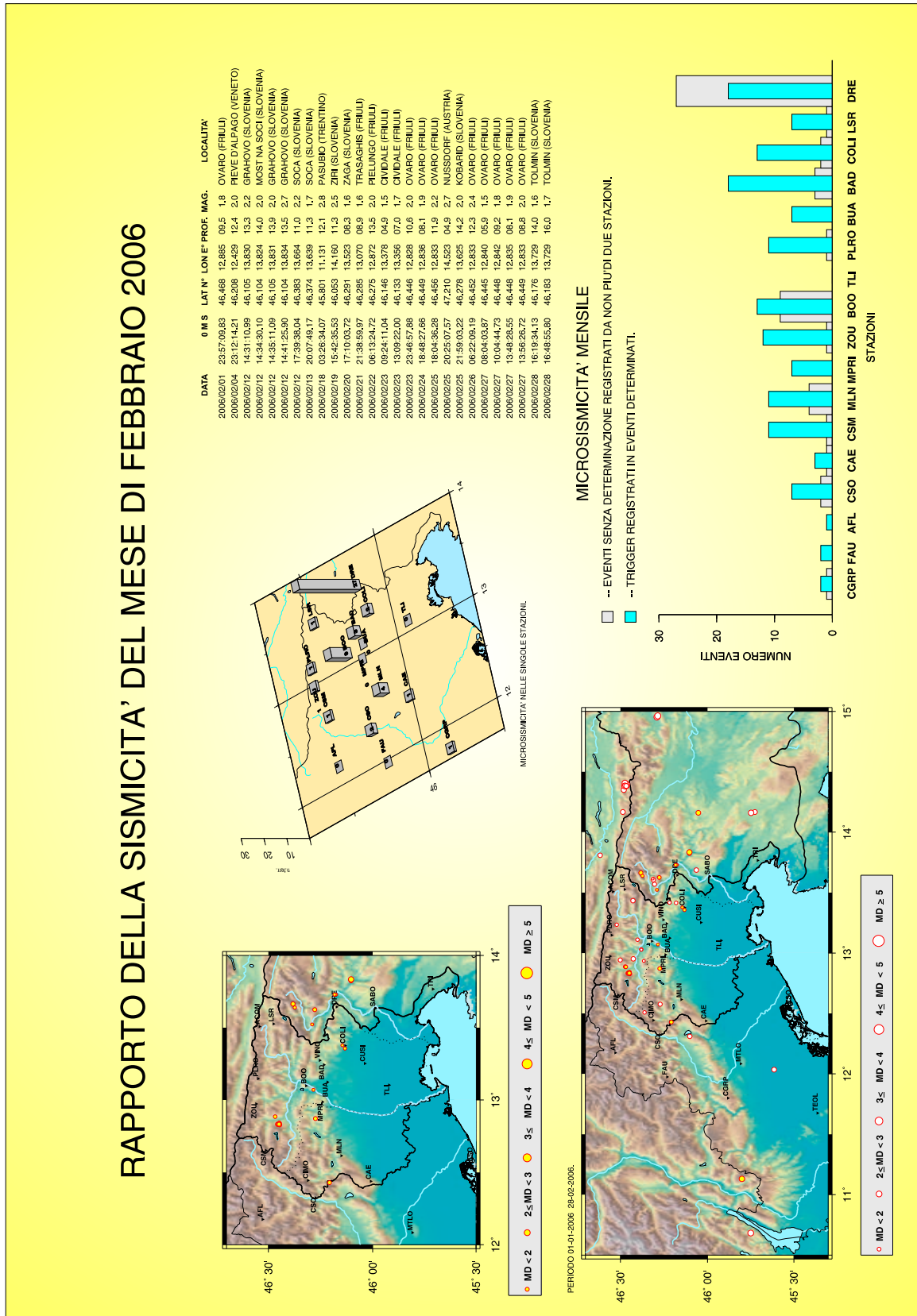


Figura 4.13: Rapporto della sismicità del mese di febbraio 2006

RAPPORTO DELLA SISMICITÀ DEL MESE DI MARZO 2006

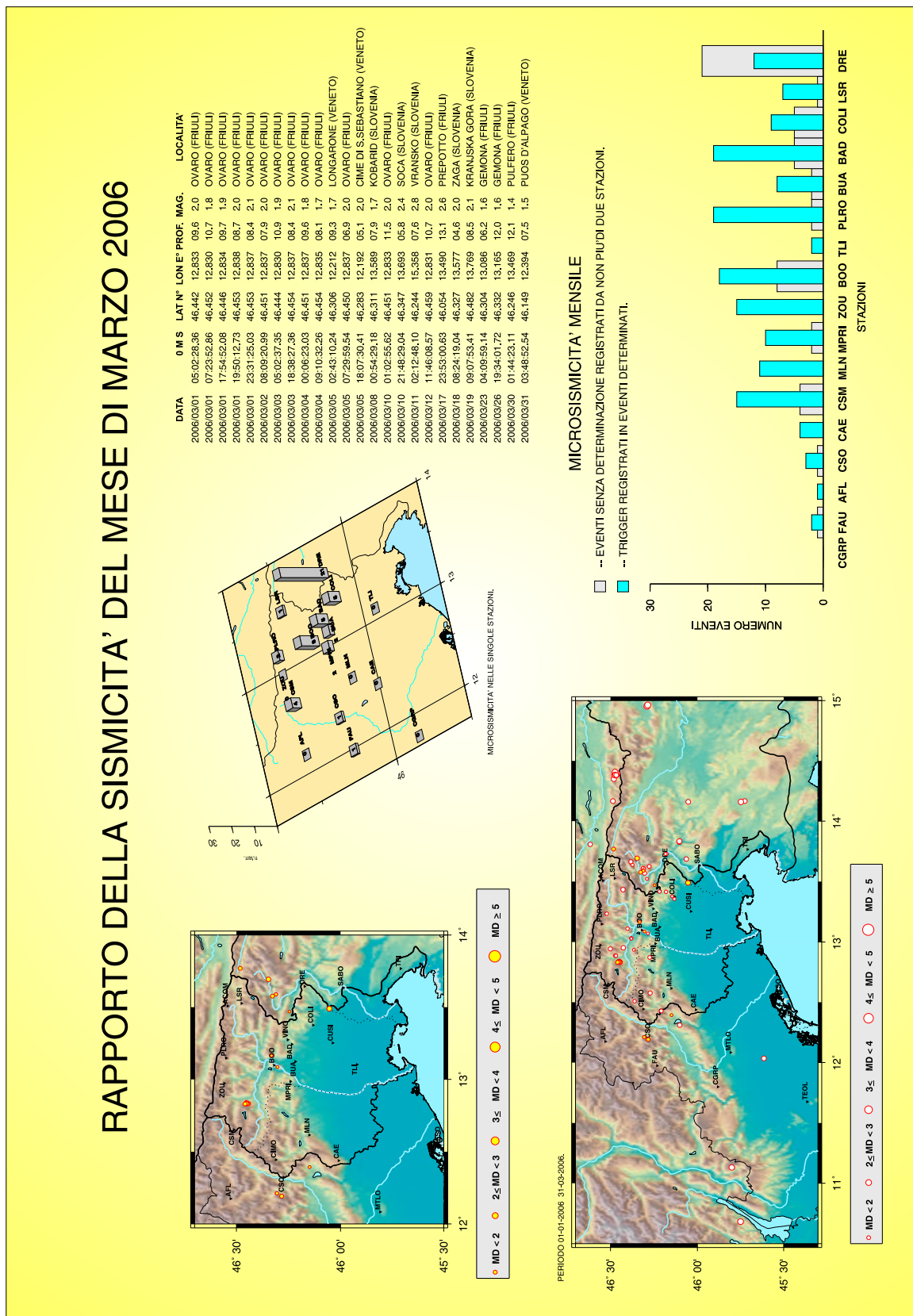
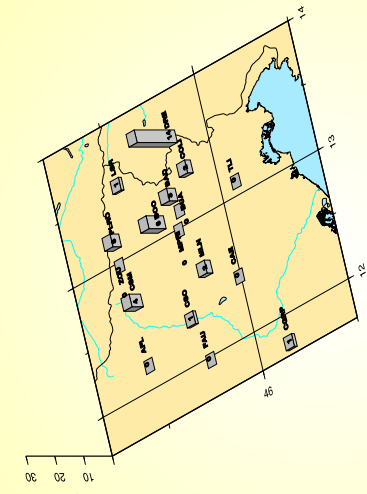


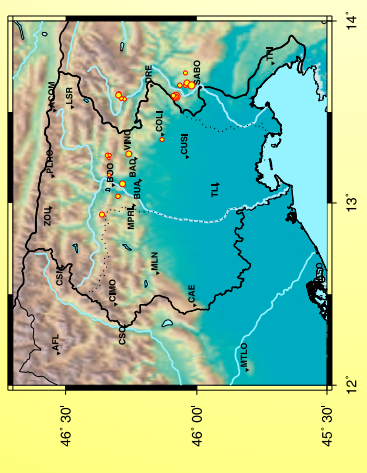
Figura 4.14: Rapporto della sismicità del mese di marzo 2006

RAPPORTO DELLA SISMICITA' DEL MESE DI APRILE 2006

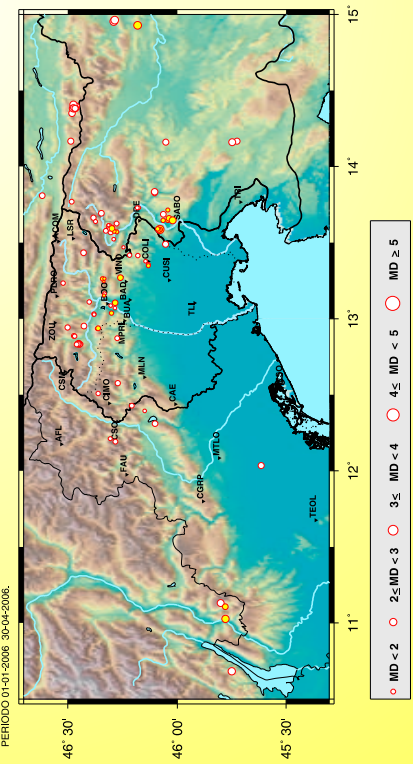
DATA	0 MS	LAT° N	LONG° E	PROF. MAG.	LOCALITA'	
2006/04/01	17:31:20.28	46.044	13.647	14.4	1.9	PLAVE (SLOVENIA)
2006/04/01	19:08:36.69	46.038	13.660	14.8	2.3	PLAVE (SLOVENIA)
2006/04/01	19:11:02.31	46.021	13.646	12.5	2.9	PLAVE (SLOVENIA)
2006/04/02	13:18:35.08	46.382	12.357	89.2	2.0	VILLA SINTINA (FRULI)
2006/04/02	13:18:35.08	46.382	12.357	89.2	2.0	VILLA SINTINA (FRULI)
2006/04/07	02:20:34.33	46.397	12.403	85.3	1.7	KOSARBO (SLOVENIA)
2006/04/07	02:20:34.33	46.397	12.403	85.3	1.7	KOSARBO (SLOVENIA)
2006/04/07	04:56:14.72	45.790	11.107	15.0	2.3	PASUBIO (TRENTO)
2006/04/08	21:03:34.36	46.294	13.105	89.8	2.3	GEMONA (FRULI)
2006/04/10	09:35:21.82	46.212	15.424	88.5	2.8	VRANSKO (SLOVENIA)
2006/04/11	14:08:34.68	46.335	13.153	10.8	1.3	MOGGIO UDINESE (FRULI)
2006/04/12	22:24:53.06	46.260	10.301	80.3	3.3	ACQUA DEL GALLO (LOMBARDIA)
2006/04/15	11:23:06.61	46.260	10.370	11.6	2.3	LUSEVERA (FRULI)
2006/04/16	21:15:02.36	44.088	11.903	20.7	4.0	DOVADOLA (ROMAGNA)
2006/04/16	23:08:02.15	46.301	13.037	11.9	1.8	TRASAGHIS (FRULI)
2006/04/18	11:58:09.90	46.085	13.646	11.1	1.9	PLAVE (SLOVENIA)
2006/04/18	11:58:09.90	46.085	13.646	11.1	1.9	PLAVE (SLOVENIA)
2006/04/20	19:40:30.16	46.277	13.341	89.3	1.7	PLAVE (SLOVENIA)
2006/04/20	19:40:30.16	46.277	13.341	89.3	1.7	PLAVE (SLOVENIA)
2006/04/20	19:28:30.34	46.289	13.575	95.3	1.7	CUPI (FRULI)
2006/04/20	19:28:30.34	46.289	13.575	95.3	1.7	CUPI (FRULI)
2006/04/20	09:55:13.61	46.289	13.593	87.4	2.3	KOBARID (SLOVENIA)
2006/04/22	16:48:17.61	45.779	11.027	12.7	3.0	ALA (TRENTO)
2006/04/23	16:21:37.28	46.080	13.586	13.0	3.4	PLAVE (SLOVENIA)
2006/04/24	11:26:23.46	46.341	13.262	88.7	1.8	CHUSAFORTE (FRULI)
2006/04/24	11:26:23.46	46.341	13.262	88.7	1.8	CHUSAFORTE (FRULI)
2006/04/24	11:26:05.11	46.336	13.245	10.9	1.1	CHUSAFORTE (FRULI)
2006/04/24	11:46:51.42	46.333	13.263	10.8	1.3	LUSEVERA (FRULI)
2006/04/26	14:16:18.58	46.079	13.585	13.2	2.0	PLAVE (SLOVENIA)
2006/04/26	14:16:18.58	46.079	13.585	13.2	2.0	PLAVE (SLOVENIA)
2006/04/26	21:57:20.37	46.084	13.583	12.6	1.8	STREGNA (FRULI)
2006/04/26	21:57:20.37	46.084	13.583	12.6	1.8	STREGNA (FRULI)
2006/04/29	10:35:12.07	46.080	13.580	15.1	1.8	STREGNA (FRULI)
2006/04/29	10:35:12.07	46.080	13.580	15.1	1.8	STREGNA (FRULI)
2006/04/29	12:07:46.77	46.080	13.580	15.1	1.8	STREGNA (FRULI)
2006/04/29	12:07:46.77	46.080	13.580	15.1	1.8	STREGNA (FRULI)
2006/04/29	12:58:03.63	44.886	12.012	28.2	3.2	PAROZZE (VENETO)



MICROSISMICITA' NELLE SINGOLE STAZIONI.



● MD < 2 ● 2 ≤ MD < 3 ● 3 ≤ MD < 4 ● 4 ≤ MD < 5 ● MD ≥ 5



PERIODO 01-01-2006 30-04-2006.

MICROSISMICITA' MENSILE
 - EVENTI SENZA DETERMINAZIONE REGISTRATI DA NON PIU' DI DUE STAZIONI.
 - TRIGGER REGISTRATI IN EVENTI DETERMINATI.

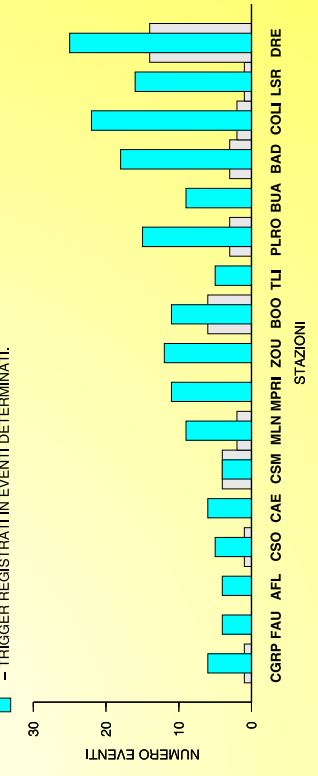


Figura 4.15: Rapporto della sismicità del mese di aprile 2006

RAPPORTO DELLA SISMICITÀ DEL MESE DI MAGGIO 2006

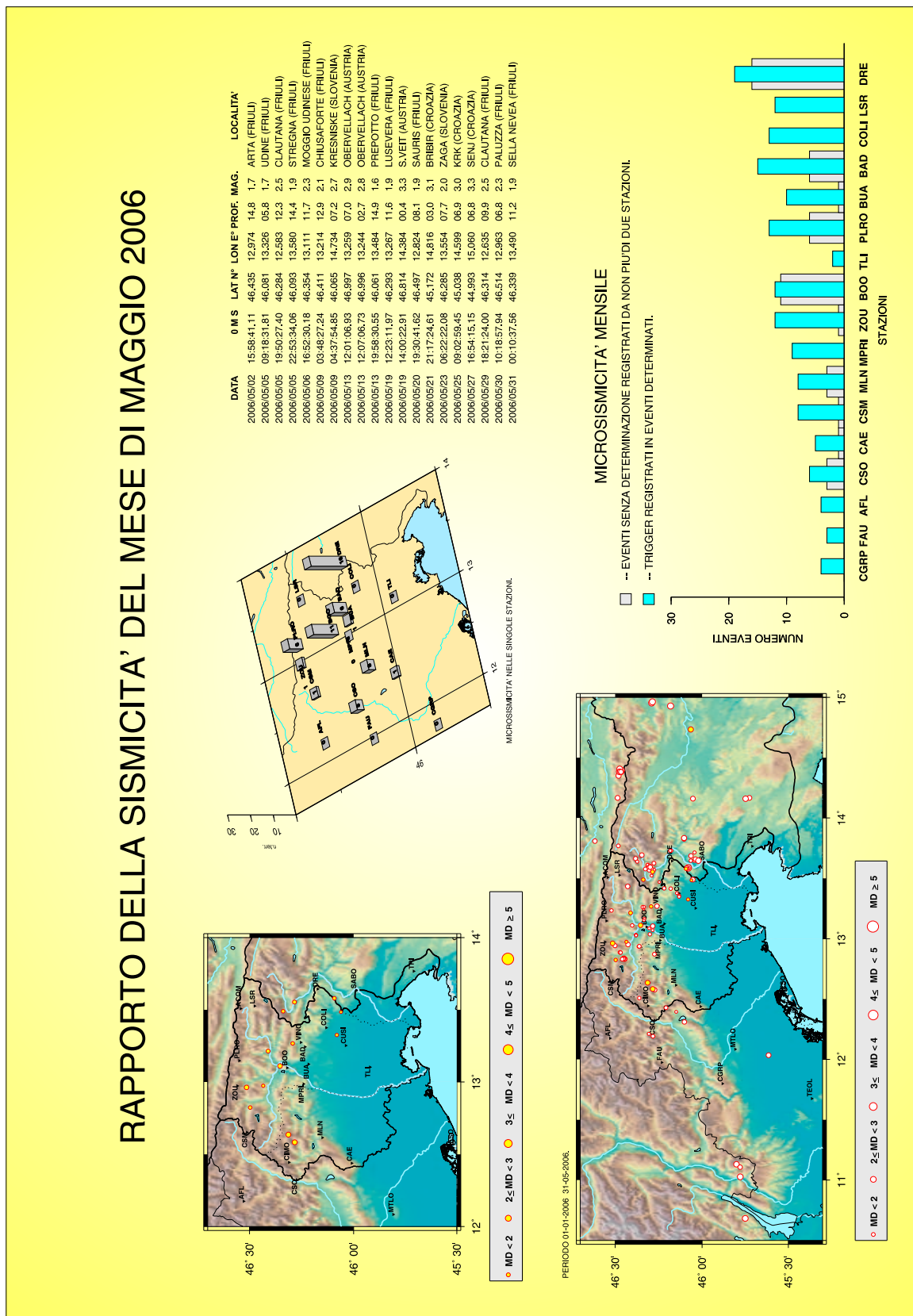


Figura 4.16: Rapporto della sismicità del mese di maggio 2006

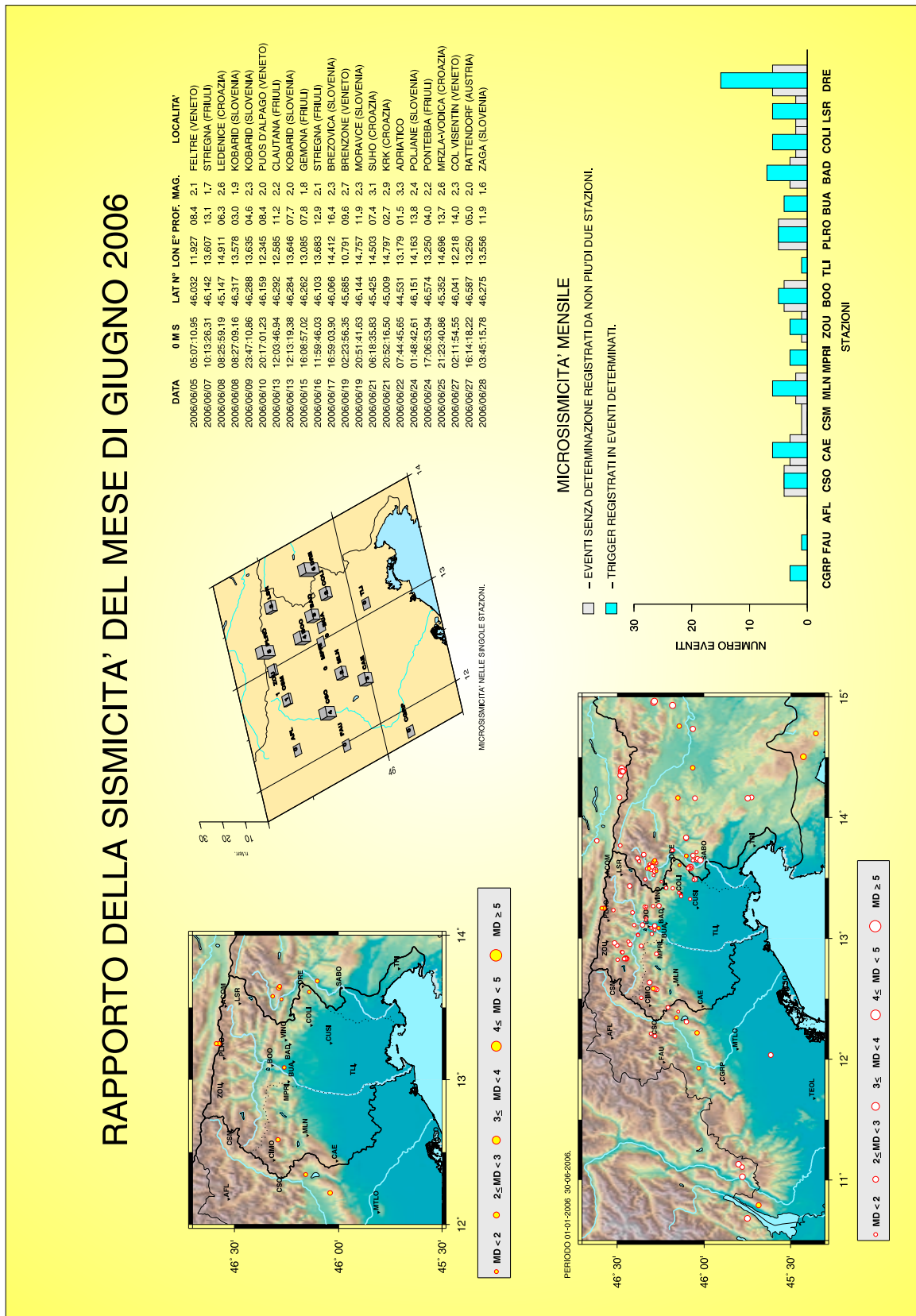
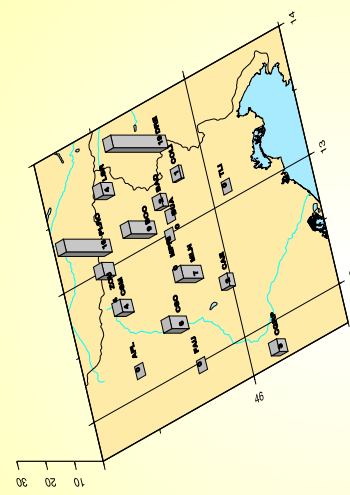


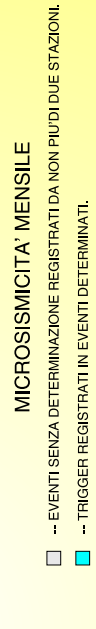
Figura 4.17: Rapporto della sismicità del mese di giugno 2006

RAPPORTO DELLA SISMICITÀ DEL MESE DI LUGLIO 2006

DATA	0 MS	LAT° N'	LON° E'	PROF.	MAG.	LOCALITÀ
2006/07/03	00:26:20,78	46.238	12.583	10,0	2,3	ANDREIS (FRIULI)
2006/07/05	17:24:11,13	46.576	13.256	03,2	1,8	PONTEBBA (FRIULI)
2006/07/07	18:43:56,47	46.573	13.229	05,4	1,9	PONTEBBA (FRIULI)
2006/07/09	11:57:41,36	46.586	13.236	04,7	1,8	RAITENDORF (AUSTRIA)
2006/07/09	22:58:44,48	44.929	14.777	08,0	2,8	KRK (CROAZIA)
2006/07/10	01:54:04,41	46.459	12.755	07,2	1,8	SAURIS (FRIULI)
2006/07/14	10:38:55,07	46.432	12.969	12,2	1,8	ARTÀ (FRIULI)
2006/07/14	15:08:34,33	45.977	14.797	13,9	2,7	VIŠNJA (SLOVENIA)
2006/07/18	23:01:03,75	46.414	13.079	14,0	2,3	MOGGIO UDINESE (FRIULI)
2006/07/19	17:42:26,23	46.598	13.216	06,5	2,1	POLJANE (SLOVENIA)
2006/07/20	02:34:06,75	45.702	15.590	05,7	3,5	MOGGIO UDINESE (FRIULI)
2006/07/20	22:47:56,02	45.702	15.590	05,7	3,5	MOGGIO UDINESE (FRIULI)
2006/07/21	07:08:49,97	45.772	10.988	09,5	2,9	ALA (TRENTINO)
2006/07/21	12:48:15,39	46.316	12.581	12,6	2,5	CLAUTANA (FRIULI)
2006/07/24	10:36:46,77	46.304	13.522	11,6	1,5	ZAGA (SLOVENIA)
2006/07/25	01:38:36,03	46.434	13.054	12,6	2,9	ARTÀ (FRIULI)
2006/07/25	01:39:27,08	46.436	13.036	09,8	0,9	ARTÀ (FRIULI)
2006/07/25	01:41:05,26	46.434	13.044	12,8	1,0	ARTÀ (FRIULI)
2006/07/25	05:14:37,59	46.457	13.189	11,2	1,5	MSEERIO (FRIULI)
2006/07/26	07:39:58,63	46.316	13.622	06,7	1,4	KOBARID (SLOVENIA)
2006/07/27	10:10:28,93	45.090	11.341	10,0	2,2	CASTAGNARO (VENETO)
2006/07/28	10:15:54,93	46.185	12.302	10,1	2,2	PONTE NELLE ALPI (VENETO)
2006/07/30	10:51:16,56	46.511	13.014	07,8	2,7	PALUZZA (FRIULI)
2006/07/31	14:15:26,45	46.031	10.712	00,6	2,7	TIONE (TRENTINO)



MICROSISMICITÀ NELLE SINGOLE STAZIONI



MICROSISMICITÀ MENSILE

-- EVENTI SENZA DETERMINAZIONE REGISTRATI DA NON PIÙ DI DUE STAZIONI.
 -- TRIGGER REGISTRATI IN EVENTI DETERMINATI.

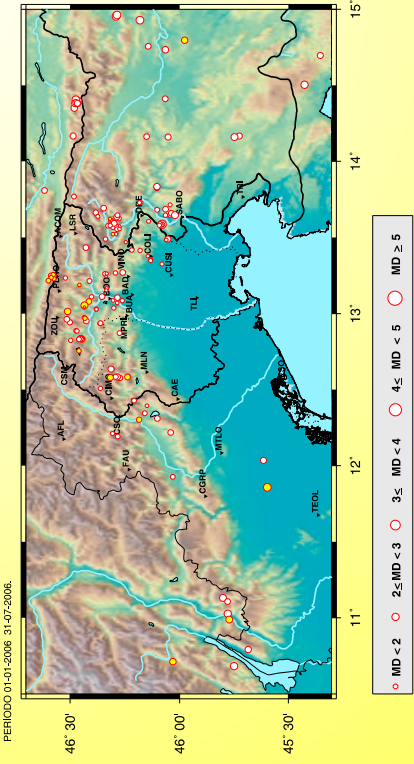


Figura 4.18: Rapporto della sismicità del mese di luglio 2006.

RAPPORTO DELLA SISMICITA' DEL MESE DI AGOSTO 2006

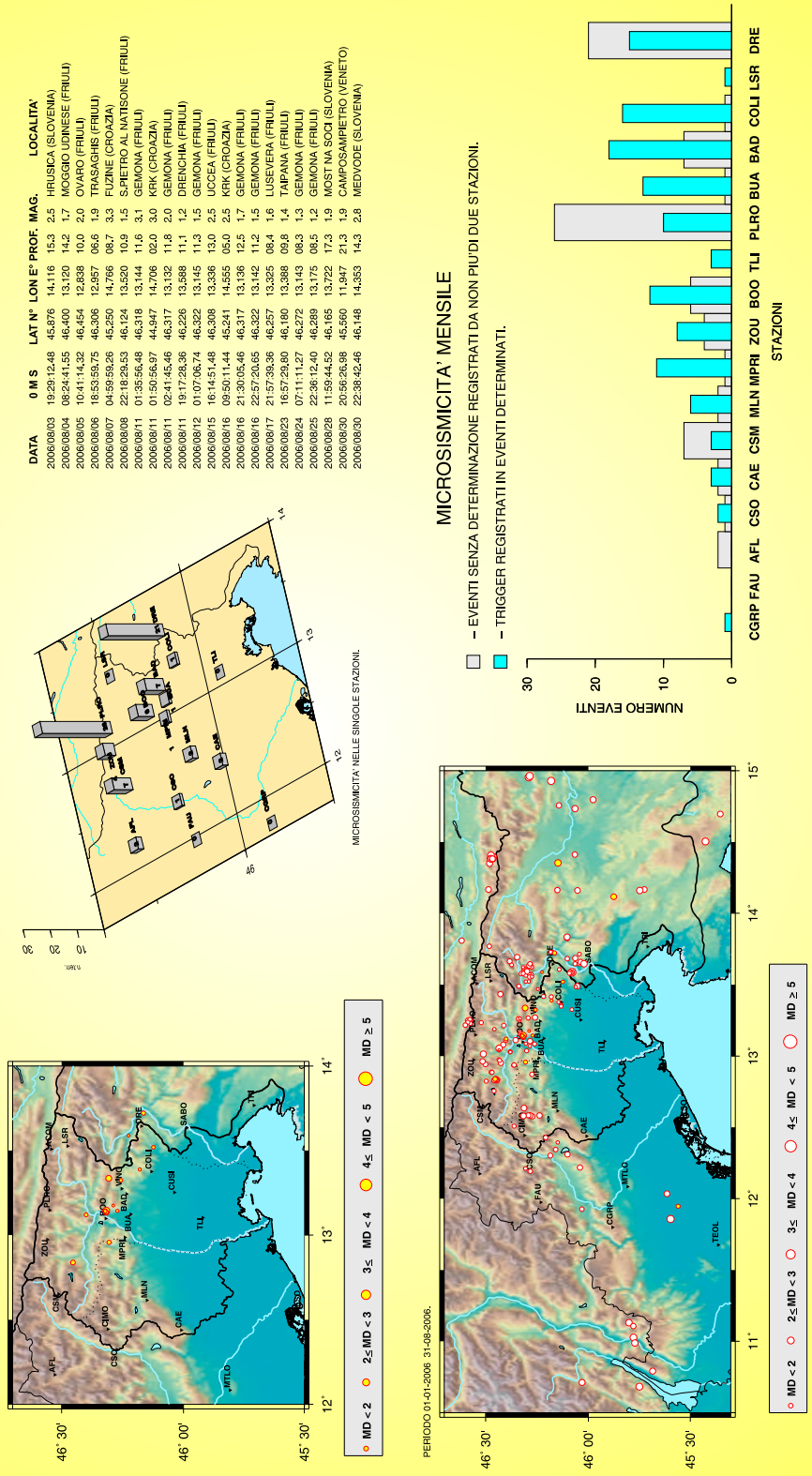


Figura 4.19: Rapporto della sismicità del mese di agosto 2006

RAPPORTO DELLA SISMICITA' DEL MESE DI SETTEMBRE 2006

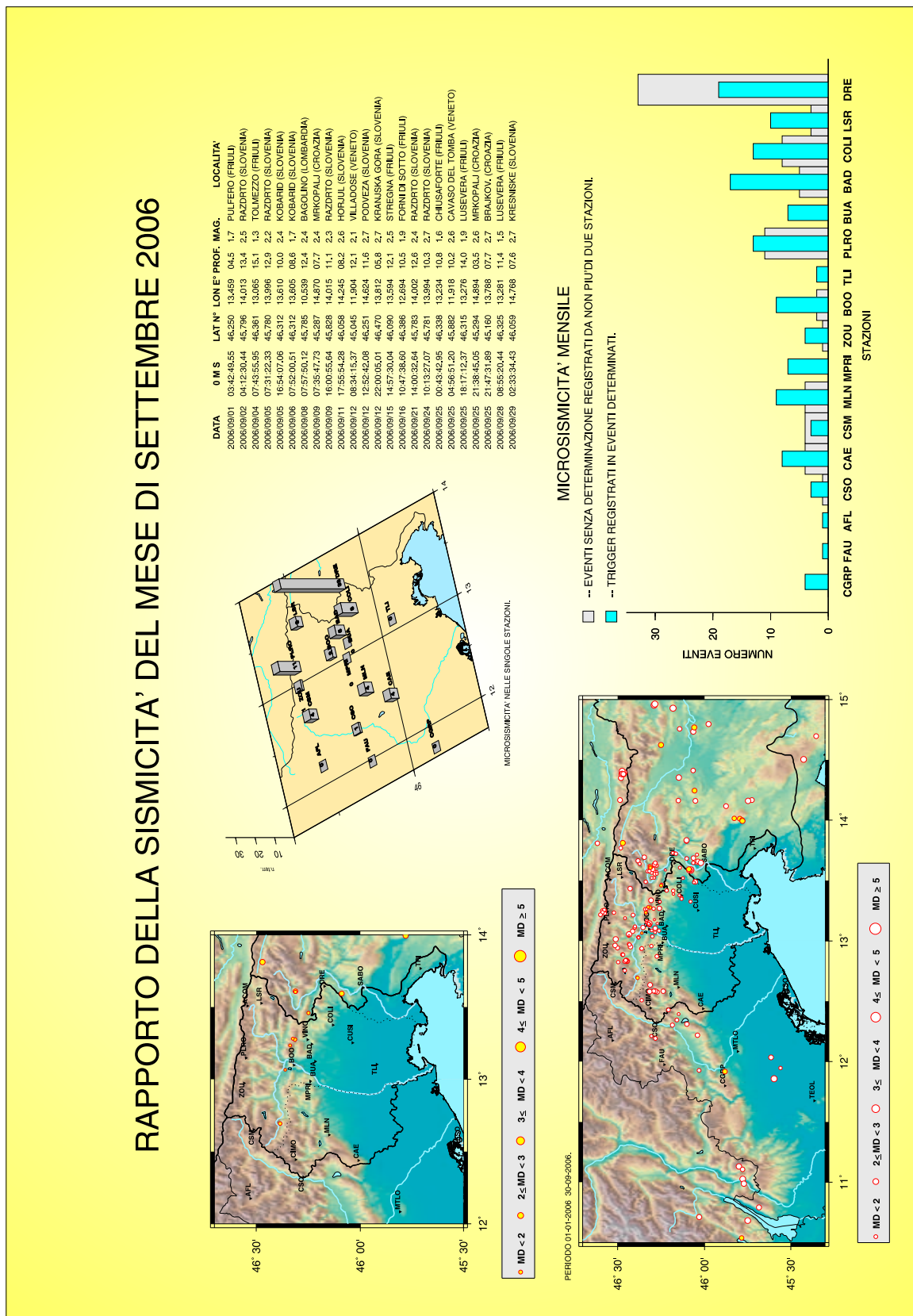


Figura 4.20: Rapporto della sismicità del mese di settembre 2006

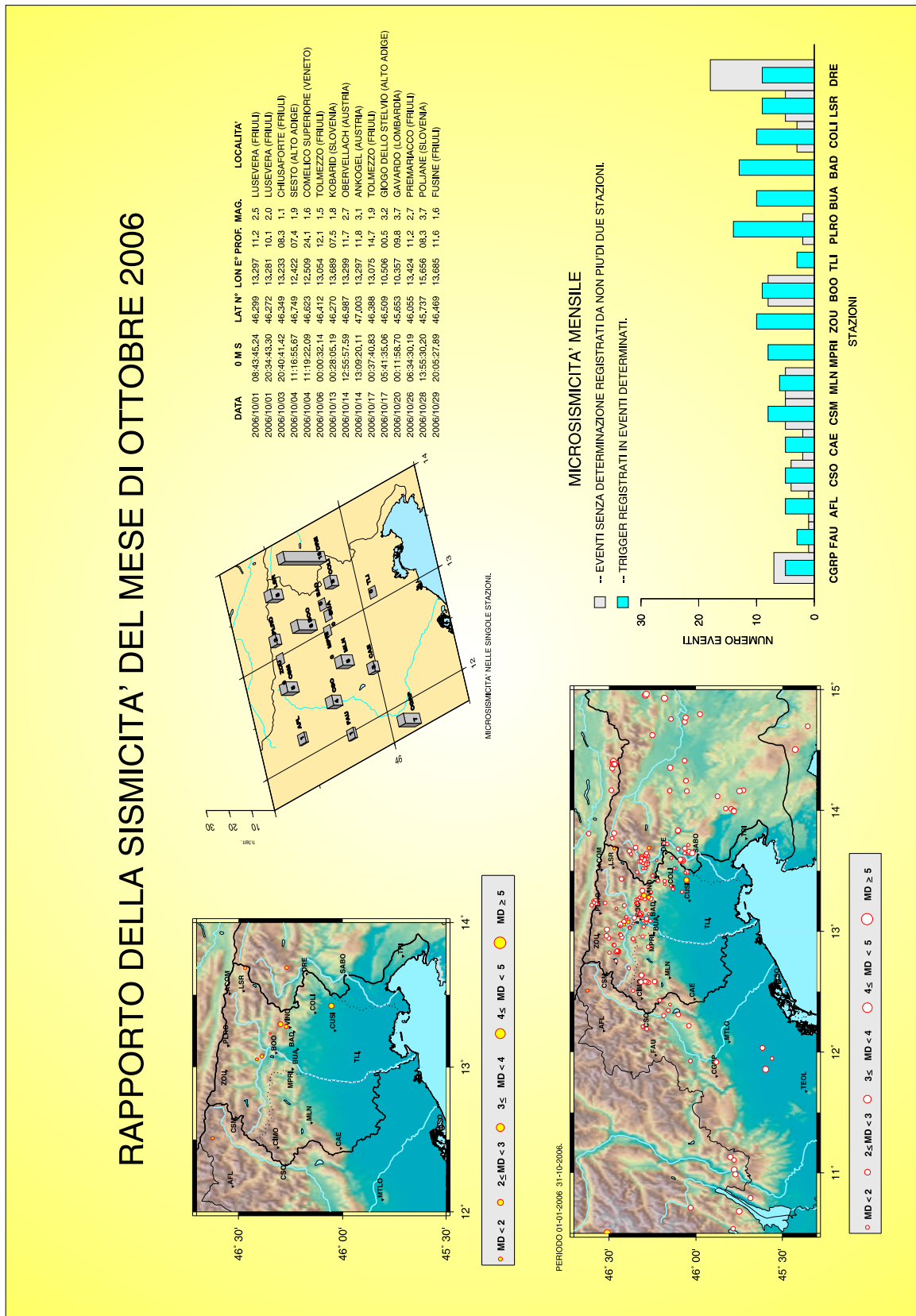


Figura 4.21: Rapporto della sismicità del mese di ottobre 2006

RAPPORTO DELLA SISMICITÀ DEL MESE DI NOVEMBRE 2006

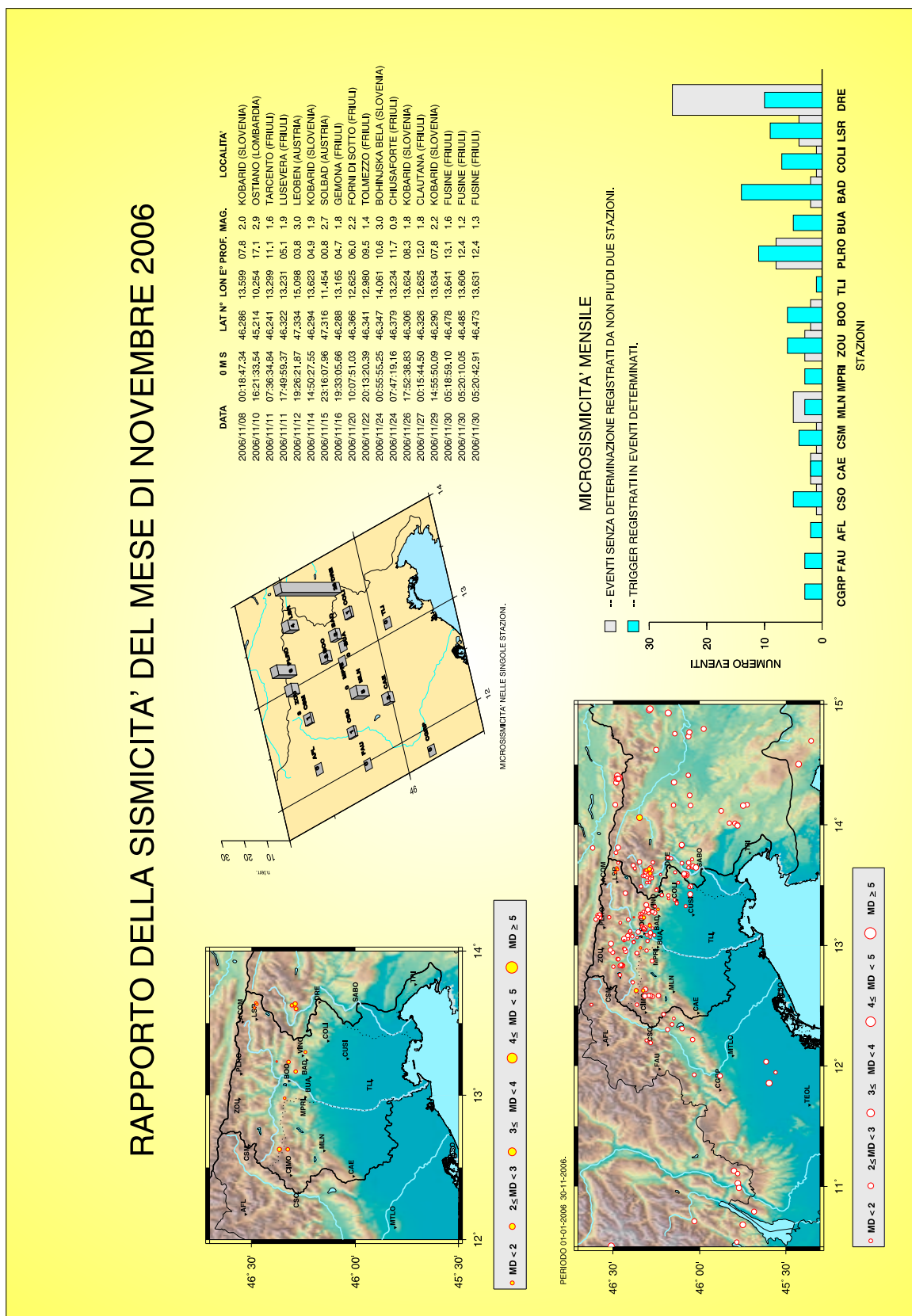


Figura 4.22: Rapporto della sismicità del mese di novembre 2006

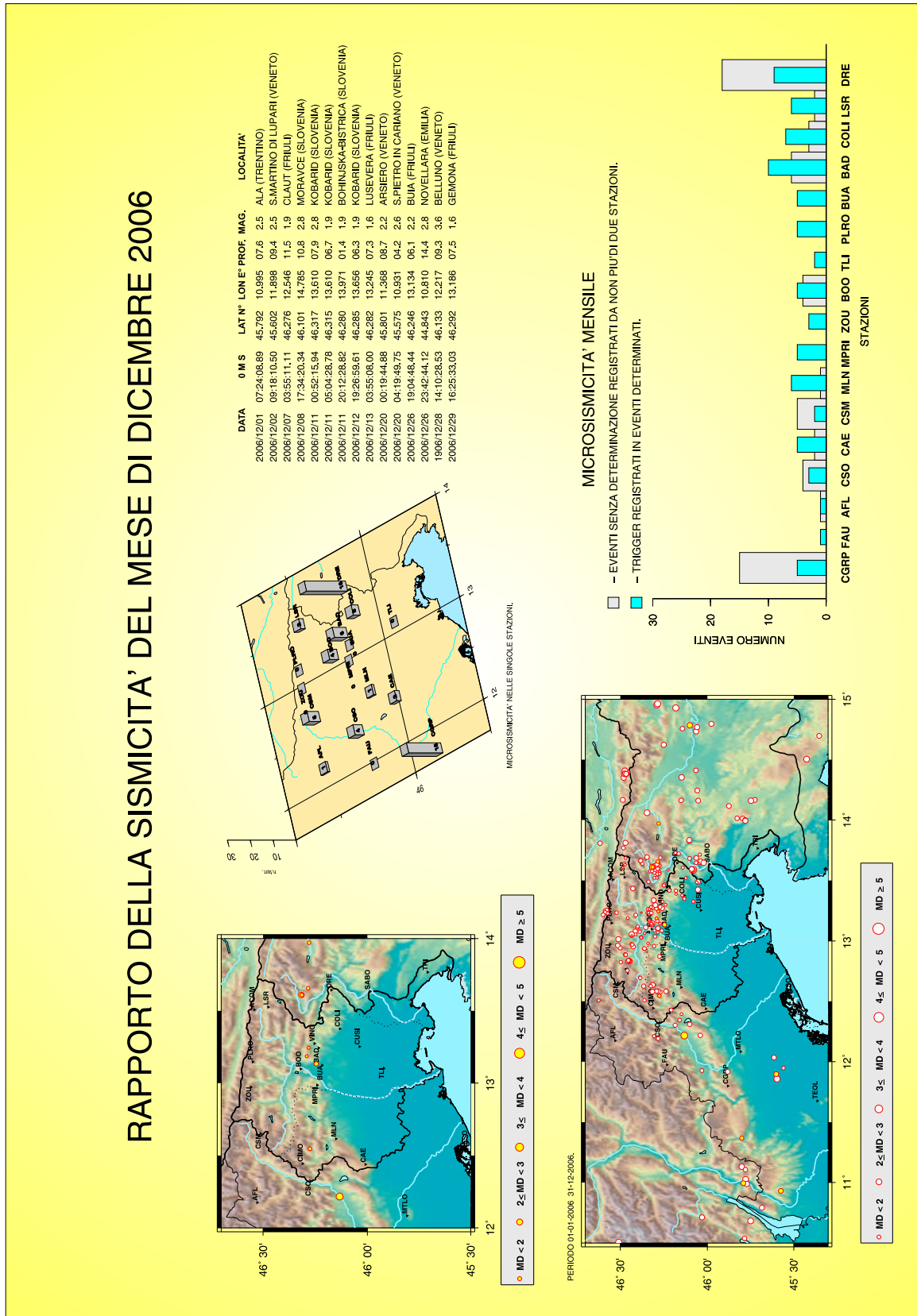


Figura 4.23: Rapporto della sismicità del mese di dicembre 2006

data	ora UTC0	lat. °N	long. °E	prof. (km)	M _D	località	regione
02-01-2006	02:43:03.68	45.615	12.034	11.2	2.6	Piombino Dese	Veneto
02-01-2006	09:20:48.37	46.472	12.887	10.3	2.0	Ovaro	Friuli
02-01-2006	14:23:04.72	46.366	12.934	9.5	1.5	Villa Santina	Friuli
02-01-2006	17:53:46.26	45.912	15.339	4.2	3.0	Trebnje	Slovenia
03-01-2006	07:00:23.59	46.426	12.952	13.7	2.3	Ovaro	Friuli
06-01-2006	07:59:43.20	46.997	13.279	8.7	2.5	Obervellach	Austria
08-01-2006	15:35:08.99	46.428	13.434	12.8	2.3	Jof di Montasio	Friuli
08-01-2006	22:07:02.46	44.802	13.268	11.4	2.9	Adriatico	
10-01-2006	13:05:13.84	46.064	13.686	18.6	2.4	Plave	Slovenia
11-01-2006	10:01:53.15	46.312	13.607	7.3	2.3	Kobarid	Slovenia
12-01-2006	05:32:52.17	45.750	10.683	9.2	3.0	Gargnano	Lombardia
12-01-2006	20:01:02.26	46.486	14.167	12.8	2.5	Stol	Austria
13-01-2006	12:55:08.25	46.181	13.415	11.3	1.8	Taipana	Friuli
14-01-2006	20:53:01.85	45.365	15.060	7.4	2.9	Gomirje	Croazia
15-01-2006	02:10:11.79	46.219	13.417	4.3	1.9	Taipana	Friuli
15-01-2006	02:34:48.27	46.291	14.954	11.2	3.2	S.Rupert	Slovenia
15-01-2006	02:41:50.74	46.286	14.963	10.0	3.3	S.Rupert	Slovenia
16-01-2006	03:10:52.57	46.304	13.569	7.4	2.2	Zaga	Slovenia
16-01-2006	03:12:54.52	46.315	13.614	11.2	1.4	Kobarid	Slovenia
17-01-2006	20:05:46.44	46.521	13.234	6.2	1.8	Pontebba	Friuli
18-01-2006	00:16:46.13	46.999	13.280	13.1	2.7	Obervellach	Austria
18-01-2006	00:24:07.05	46.993	13.296	12.2	2.7	Obervellach	Austria
20-01-2006	23:41:18.62	46.381	13.030	10.6	1.8	Tolmezzo	Friuli
21-01-2006	06:19:59.33	46.463	14.395	9.8	3.1	Koschutnik	Austria
22-01-2006	17:24:51.13	46.362	12.508	8.4	1.9	M.Pramaggiore	Friuli
23-01-2006	21:29:04.96	45.786	15.701	8.4	3.3	Dvor	Slovenia
24-01-2006	15:45:22.61	46.380	13.027	11.3	1.6	Tolmezzo	Friuli
26-01-2006	04:52:17.21	46.465	14.382	9.9	2.7	Koschutnik	Austria
26-01-2006	04:58:14.94	46.615	13.809	13.3	2.3	Bleiberg	Austria
26-01-2006	12:25:24.27	46.480	14.350	8.4	2.7	Koschutnik	Austria
26-01-2006	13:59:50.65	46.471	14.380	11.0	2.7	Koschutnik	Austria
26-01-2006	14:15:53.19	46.102	12.310	11.2	2.3	Belluno	Veneto
26-01-2006	15:42:26.28	46.474	14.406	10.6	3.0	Koschutnik	Austria
26-01-2006	16:50:16.11	46.477	14.383	8.9	2.8	Koschutnik	Austria
26-01-2006	18:19:44.95	46.473	14.387	15.7	2.6	Koschutnik	Austria
26-01-2006	20:23:05.59	46.467	14.382	12.1	2.5	Koschutnik	Austria
26-01-2006	21:15:03.53	46.272	12.577	10.4	2.2	Claut	Friuli
29-01-2006	21:04:12.71	46.402	13.110	12.6	1.9	Moggio Udinese	Friuli
30-01-2006	05:25:20.90	46.501	12.943	9.0	2.2	Comeglians	Friuli
30-01-2006	14:06:26.07	45.726	14.167	10.8	2.6	Pivka	Slovenia
30-01-2006	16:44:35.17	45.748	14.160	10.7	2.8	Pivka	Slovenia
01-02-2006	23:57:09.83	46.468	12.885	9.5	1.8	Ovaro	Friuli
04-02-2006	23:12:14.21	46.208	12.429	12.4	2.0	Pieve d'Alpago	Veneto
12-02-2006	14:31:10.99	46.105	13.830	13.3	2.2	Grahovo	Slovenia
12-02-2006	14:34:30.10	46.104	13.824	14.0	2.0	Most Na Soci	Slovenia
12-02-2006	14:35:11.09	46.105	13.831	13.9	2.0	Grahovo	Slovenia
12-02-2006	14:41:25.90	46.104	13.834	13.5	2.7	Grahovo	Slovenia
12-02-2006	17:39:38.04	46.383	13.664	11.0	2.2	Soca	Slovenia
13-02-2006	20:07:49.17	46.374	13.639	11.3	1.7	Soca	Slovenia
18-02-2006	03:26:34.07	45.801	11.131	12.1	2.8	Pasubio	Trentino
19-02-2006	15:42:35.53	46.053	14.160	11.3	2.5	Ziri	Slovenia
20-02-2006	17:10:03.72	46.291	13.523	8.3	1.6	Zaga	Slovenia
21-02-2006	21:38:59.97	46.285	13.070	8.9	1.6	Trasaghis	Friuli

Tabella 4.2: Terremoti localizzati dalla RSFVG nel 2006.

data	ora UTC0	lat. °N	long. °E	prof. (km)	M_D	località	regione
22-02-2006	06:13:24.72	46.275	12.872	13.5	2.0	Pielungo	Friuli
23-02-2006	09:24:11.04	46.146	13.378	4.9	1.5	Cividale	Friuli
23-02-2006	13:09:22.00	46.133	13.356	7.0	1.7	Cividale	Friuli
23-02-2006	23:46:57.88	46.446	12.828	10.6	2.0	Ovaro	Friuli
24-02-2006	18:48:27.66	46.449	12.836	8.1	1.9	Ovaro	Friuli
25-02-2006	18:04:36.28	46.456	12.833	11.9	2.2	Ovaro	Friuli
25-02-2006	20:25:07.57	47.210	14.523	4.9	2.7	Nussdorf	Austria
25-02-2006	21:59:03.22	46.278	13.625	14.2	2.0	Kobarid	Slovenia
26-02-2006	06:22:09.19	46.452	12.833	12.3	2.4	Ovaro	Friuli
27-02-2006	08:04:03.87	46.445	12.840	5.9	1.5	Ovaro	Friuli
27-02-2006	10:04:44.73	46.448	12.842	9.2	1.8	Ovaro	Friuli
27-02-2006	13:48:28.55	46.448	12.835	8.1	1.9	Ovaro	Friuli
27-02-2006	13:56:26.72	46.449	12.833	8.8	2.0	Ovaro	Friuli
28-02-2006	16:19:34.13	46.176	13.729	14.0	1.6	Tolmin	Slovenia
28-02-2006	16:48:55.80	46.183	13.729	16.0	1.7	Tolmin	Slovenia
01-03-2006	05:02:28.36	46.442	12.833	9.6	2.0	Ovaro	Friuli
01-03-2006	07:23:52.86	46.452	12.830	10.7	1.8	Ovaro	Friuli
01-03-2006	17:54:52.08	46.446	12.834	9.7	1.9	Ovaro	Friuli
01-03-2006	19:50:12.73	46.453	12.838	8.7	2.0	Ovaro	Friuli
01-03-2006	23:31:25.03	46.453	12.837	8.4	2.1	Ovaro	Friuli
02-03-2006	08:09:20.99	46.451	12.837	7.9	2.0	Ovaro	Friuli
03-03-2006	05:02:37.35	46.444	12.830	10.9	1.9	Ovaro	Friuli
03-03-2006	18:38:27.36	46.454	12.837	8.4	2.1	Ovaro	Friuli
04-03-2006	00:06:23.03	46.451	12.837	9.6	1.8	Ovaro	Friuli
04-03-2006	09:10:32.26	46.454	12.835	8.1	1.7	Ovaro	Friuli
05-03-2006	02:43:10.24	46.306	12.212	9.3	1.7	Longarone	Veneto
05-03-2006	07:29:59.54	46.450	12.837	6.9	2.0	Ovaro	Friuli
05-03-2006	18:07:30.41	46.283	12.192	5.1	2.0	Cime di S.Sebastiano	Veneto
08-03-2006	00:54:29.18	46.311	13.589	7.9	1.7	Kobarid	Slovenia
10-03-2006	01:02:55.62	46.451	12.833	11.5	2.0	Ovaro	Friuli
10-03-2006	21:48:29.04	46.347	13.693	5.8	2.4	Soca	Slovenia
11-03-2006	02:12:48.10	46.244	15.358	7.6	2.8	Vransko	Slovenia
12-03-2006	11:46:08.57	46.459	12.831	10.7	2.0	Ovaro	Friuli
17-03-2006	23:53:00.63	46.054	13.490	13.1	2.6	Prepotto	Friuli
18-03-2006	08:24:19.04	46.327	13.577	4.6	2.0	Zaga	Slovenia
19-03-2006	09:07:53.41	46.482	13.769	8.5	2.1	Kranjska Gora	Slovenia
23-03-2006	04:09:59.14	46.304	13.086	6.2	1.6	Gemona	Friuli
26-03-2006	19:34:01.72	46.332	13.165	12.0	1.6	Gemona	Friuli
30-03-2006	01:44:23.11	46.246	13.469	12.1	1.4	Pulfero	Friuli
31-03-2006	03:48:52.54	46.149	12.394	7.5	1.5	Puos d'Alpago	Veneto
01-04-2006	17:31:20.28	46.044	13.647	14.4	1.9	Plave	Slovenia
01-04-2006	19:08:36.69	46.038	13.660	14.8	2.3	Plave	Slovenia
01-04-2006	19:11:02.31	46.021	13.646	12.5	2.9	Plave	Slovenia
02-04-2006	13:18:35.08	46.362	12.937	9.2	2.0	Villa Santina	Friuli
04-04-2006	12:53:50.38	46.044	13.715	22.3	1.7	Cepovan	Slovenia
07-04-2006	03:20:48.13	46.297	13.602	5.9	1.6	Kobarid	Slovenia
07-04-2006	04:56:14.72	45.780	11.107	15.0	2.3	Pasubio	Trentino
08-04-2006	21:03:34.36	46.284	13.105	9.8	2.3	Gemona	Friuli
10-04-2006	08:35:21.82	46.212	15.424	8.5	2.8	Vransko	Slovenia
11-04-2006	14:08:34.68	46.335	13.153	10.8	1.3	Moggio Udinese	Friuli
12-04-2006	22:24:53.06	46.620	10.301	0.3	3.3	Acqua del Gallo	Lombardia
15-04-2006	11:23:06.61	46.260	13.270	11.6	2.3	Lusevera	Friuli
16-04-2006	21:15:02.36	44.098	11.903	20.7	4.0	Dovadola	Romagna

Tabella 4.2: Terremoti localizzati dalla RSFVG nel 2006.

data	ora UTC0	lat. °N	long. °E	prof. (km)	M _D	località	regione
16-04-2006	23:08:02.15	46.301	13.037	11.9	1.8	Trasaghis	Friuli
18-04-2006	11:59:09.90	46.065	13.646	11.1	1.9	Plave	Slovenia
20-04-2006	06:34:36.06	46.277	13.571	9.3	1.7	Zaga	Slovenia
20-04-2006	10:19:00.19	46.133	13.348	7.0	1.7	Cividale	Friuli
20-04-2006	16:26:30.94	46.289	13.575	6.3	1.7	Zaga	Slovenia
21-04-2006	00:55:13.61	46.299	13.593	7.4	2.3	Kobarid	Slovenia
22-04-2006	16:48:17.61	45.779	11.027	12.7	3.0	Ala	Trentino
23-04-2006	16:21:37.28	46.080	13.586	13.0	3.4	Plave	Slovenia
24-04-2006	11:26:23.46	46.341	13.262	8.7	1.8	Chiusaforte	Friuli
24-04-2006	11:28:05.11	46.336	13.245	10.9	1.1	Chiusaforte	Friuli
24-04-2006	11:46:51.42	46.333	13.263	10.8	1.3	Lusevera	Friuli
26-04-2006	14:16:18.58	46.079	13.585	13.2	2.0	Plave	Slovenia
26-04-2006	21:57:20.97	46.084	13.583	12.6	1.8	Stregna	Friuli
27-04-2006	12:38:12.07	46.090	13.590	15.1	1.8	Stregna	Friuli
28-04-2006	10:47:57.70	46.182	14.928	9.8	3.2	Trojane	Slovenia
29-04-2006	12:58:03.63	44.926	12.012	28.2	3.2	Papozze	Veneto
02-05-2006	15:58:41.11	46.435	12.974	14.8	1.7	Arta	Friuli
05-05-2006	09:18:31.81	46.081	13.326	5.8	1.7	Udine	Friuli
05-05-2006	19:50:27.40	46.284	12.583	12.3	2.5	Clautana	Friuli
05-05-2006	22:53:34.06	46.093	13.580	14.4	1.9	Stregna	Friuli
06-05-2006	16:52:30.18	46.354	13.111	11.7	2.3	Moggio Udinese	Friuli
09-05-2006	03:48:27.24	46.411	13.214	12.9	2.1	Chiusaforte	Friuli
09-05-2006	04:37:54.85	46.065	14.734	7.2	2.7	Kresniske	Slovenia
13-05-2006	12:01:06.93	46.997	13.259	7.0	2.9	Obervellach	Austria
13-05-2006	12:07:06.73	46.996	13.244	2.7	2.8	Obervellach	Austria
13-05-2006	19:58:30.55	46.061	13.484	14.9	1.6	Prepotto	Friuli
19-05-2006	12:23:11.97	46.293	13.267	11.6	1.9	Lusevera	Friuli
19-05-2006	14:00:22.91	46.814	14.384	0.4	3.3	S.Veit	Austria
20-05-2006	19:30:41.62	46.497	12.824	8.1	1.9	Sauris	Friuli
21-05-2006	21:17:24.61	45.172	14.816	3.0	3.1	Bribir	Croazia
23-05-2006	06:22:22.08	46.285	13.554	7.7	2.0	Zaga	Slovenia
25-05-2006	09:02:59.45	45.038	14.599	6.9	3.0	Krk	Croazia
27-05-2006	16:54:15.15	44.993	15.060	6.8	3.3	Senj	Croazia
29-05-2006	18:21:24.00	46.314	12.635	9.9	2.5	Clautana	Friuli
30-05-2006	10:18:57.94	46.514	12.963	6.8	2.3	Paluzza	Friuli
31-05-2006	00:10:37.56	46.339	13.490	11.2	1.9	Sella Nevea	Friuli
05-06-2006	05:07:10.95	46.032	11.927	8.4	2.1	Feltre	Veneto
07-06-2006	10:13:26.31	46.142	13.607	13.1	1.7	Stregna	Friuli
08-06-2006	08:25:59.19	45.147	14.911	6.3	2.6	Ledenice	Croazia
08-06-2006	08:27:09.16	46.317	13.578	3.0	1.9	Kobarid	Slovenia
09-06-2006	23:47:10.86	46.288	13.635	4.6	2.3	Kobarid	Slovenia
10-06-2006	20:17:01.23	46.159	12.345	8.4	2.0	Puos d'Alpago	Veneto
13-06-2006	12:03:46.94	46.292	12.585	11.2	2.2	Clautana	Friuli
13-06-2006	12:13:19.38	46.284	13.646	7.7	2.0	Kobarid	Slovenia
15-06-2006	16:08:57.02	46.262	13.085	7.8	1.8	Gemona	Friuli
16-06-2006	11:59:46.03	46.103	13.683	12.9	2.1	Stregna	Friuli
17-06-2006	16:59:03.90	46.066	14.412	16.4	2.3	Brezovica	Slovenia
19-06-2006	02:23:56.35	45.685	10.791	9.6	2.7	Brenzzone	Veneto
19-06-2006	20:51:41.63	46.144	14.757	11.9	2.3	Moravce	Slovenia
21-06-2006	06:18:35.83	45.425	14.503	7.4	3.1	Suho	Croazia
21-06-2006	20:52:16.50	45.009	14.797	2.7	2.9	Krk	Croazia
22-06-2006	07:44:45.65	44.531	13.179	1.5	3.3	Adriatico	
24-06-2006	01:48:42.61	46.151	14.163	13.8	2.4	Poljane	Slovenia

Tabella 4.2: Terremoti localizzati dalla RSFVG nel 2006.

data	ora UTC0	lat. °N	long. °E	prof. (km)	M_D	località	regione
24-06-2006	17:06:53.94	46.574	13.250	4.0	2.2	Pontebba	Friuli
25-06-2006	21:23:40.86	45.352	14.696	13.7	2.6	Mrzla-Vodica	Croazia
27-06-2006	02:11:54.55	46.041	12.218	14.0	2.3	Col Visentin	Veneto
27-06-2006	16:14:18.22	46.587	13.250	5.0	2.0	Rattendorf	Austria
28-06-2006	03:45:15.78	46.275	13.556	11.9	1.6	Zaga	Slovenia
03-07-2006	00:26:20.78	46.238	12.583	10.0	2.3	Andreis	Friuli
05-07-2006	17:24:11.13	46.576	13.256	3.2	1.8	Pontebba	Friuli
07-07-2006	18:43:56.47	46.573	13.229	5.4	1.9	Pontebba	Friuli
09-07-2006	11:57:41.36	46.586	13.236	4.7	1.8	Rattendorf	Austria
09-07-2006	22:58:44.48	44.929	14.777	8.0	2.8	Krk	Croazia
10-07-2006	01:54:04.41	46.459	12.755	7.2	1.8	Sauris	Friuli
14-07-2006	10:33:55.07	46.432	12.969	12.2	1.8	Arta	Friuli
14-07-2006	15:08:34.33	45.977	14.797	13.9	2.7	Visnja	Slovenia
18-07-2006	23:01:03.75	46.414	13.079	14.0	2.3	Moggio Udinese	Friuli
19-07-2006	02:34:06.75	45.702	15.590	5.7	3.5	Poljane	Slovenia
19-07-2006	17:42:26.23	46.598	13.216	6.5	2.1	Rattendorf	Austria
20-07-2006	22:47:56.02	45.597	11.857	14.2	3.2	S.Martino di Lupari	Veneto
21-07-2006	07:08:49.97	45.772	10.988	9.5	2.9	Ala	Trentino
23-07-2006	12:48:15.39	46.316	12.581	12.6	2.5	Clautana	Friuli
24-07-2006	10:36:48.77	46.304	13.522	11.6	1.5	Zaga	Slovenia
25-07-2006	01:38:36.03	46.434	13.054	12.6	2.9	Arta	Friuli
25-07-2006	01:39:27.08	46.436	13.036	9.8	0.9	Arta	Friuli
25-07-2006	01:41:05.26	46.434	13.044	12.8	1.0	Arta	Friuli
25-07-2006	05:14:37.59	46.457	13.189	11.2	1.5	M.Sernio	Friuli
26-07-2006	07:39:59.63	46.318	13.622	6.7	1.4	Kobarid	Slovenia
27-07-2006	10:10:28.93	45.090	11.341	10.0	2.8	Castagnaro	Veneto
28-07-2006	10:13:54.93	46.185	12.302	10.1	2.2	Ponte Nelle Alpi	Veneto
30-07-2006	10:51:16.56	46.511	13.014	7.8	2.6	Paluzza	Friuli
31-07-2006	14:15:26.45	46.031	10.712	0.6	2.7	Tione	Trentino
03-08-2006	19:29:12.48	45.876	14.116	15.3	2.5	Hrusica	Slovenia
04-08-2006	08:24:41.55	46.400	13.120	14.2	1.7	Moggio Udinese	Friuli
05-08-2006	10:41:14.32	46.454	12.838	10.0	2.0	Ovaro	Friuli
06-08-2006	18:53:59.75	46.306	12.957	6.6	1.9	Trasaghis	Friuli
07-08-2006	04:59:59.26	45.250	14.766	8.7	3.3	Fuzine	Croazia
08-08-2006	22:18:29.53	46.124	13.520	10.9	1.5	S.Pietro al Natisone	Friuli
11-08-2006	01:35:56.48	46.318	13.144	11.6	3.1	Gemona	Friuli
11-08-2006	01:50:56.97	44.947	14.706	2.0	3.0	Krk	Croazia
11-08-2006	02:41:45.46	46.317	13.132	11.8	2.0	Gemona	Friuli
11-08-2006	19:17:28.36	46.226	13.588	11.1	1.2	Drenchia	Friuli
12-08-2006	01:07:06.74	46.322	13.145	11.3	1.5	Gemona	Friuli
15-08-2006	16:14:51.48	46.308	13.336	13.0	2.5	Uccea	Friuli
16-08-2006	09:50:11.44	45.241	14.555	5.0	2.5	Krk	Croazia
16-08-2006	21:30:05.46	46.317	13.136	12.5	1.7	Gemona	Friuli
16-08-2006	22:57:20.65	46.322	13.142	11.2	1.5	Gemona	Friuli
17-08-2006	21:57:39.36	46.257	13.325	8.4	1.6	Lusevera	Friuli
23-08-2006	16:57:29.80	46.180	13.388	9.8	1.4	Taipana	Friuli
24-08-2006	07:11:11.27	46.272	13.143	8.3	1.3	Gemona	Friuli
25-08-2006	22:36:12.40	46.289	13.175	8.5	1.2	Gemona	Friuli
28-08-2006	11:59:44.52	46.165	13.722	17.3	1.9	Most Na Soci	Slovenia
30-08-2006	20:56:26.98	45.560	11.947	21.3	1.9	Camposampietro	Veneto
30-08-2006	22:38:42.46	46.148	14.353	14.3	2.8	Medvode	Slovenia
01-09-2006	03:42:49.55	46.250	13.459	4.5	1.7	Pulfero	Friuli
02-09-2006	04:12:30.44	45.796	14.013	13.4	2.5	Razdrto	Slovenia

Tabella 4.2: Terremoti localizzati dalla RSFVG nel 2006.

data	ora UTC0	lat. °N	long. °E	prof. (km)	M _D	località	regione
04-09-2006	07:43:55.95	46.361	13.065	15.1	1.3	Tolmezzo	Friuli
05-09-2006	07:31:22.33	45.780	13.996	12.9	2.2	Razdrto	Slovenia
05-09-2006	16:54:07.06	46.312	13.610	10.0	2.4	Kobarid	Slovenia
06-09-2006	07:52:00.51	46.312	13.605	8.6	1.7	Kobarid	Slovenia
08-09-2006	07:57:50.12	45.785	10.539	12.4	2.4	Bagolino	Lombardia
09-09-2006	07:35:47.73	45.287	14.870	7.7	2.4	Mrkopalj	Croazia
09-09-2006	16:00:55.64	45.828	14.015	11.1	2.3	Razdrto	Slovenia
11-09-2006	17:55:54.28	46.058	14.245	8.2	2.6	Horjul	Slovenia
12-09-2006	08:34:15.37	45.045	11.904	12.1	2.1	Villadose	Veneto
12-09-2006	12:52:42.08	46.251	14.624	11.6	2.7	Podveza	Slovenia
12-09-2006	22:00:05.01	46.470	13.812	5.8	2.7	Kranjska Gora	Slovenia
15-09-2006	14:57:30.04	46.090	13.594	12.1	2.5	Stregna	Friuli
16-09-2006	10:47:38.60	46.386	12.694	10.5	1.9	Forni di Sotto	Friuli
21-09-2006	14:00:32.64	45.783	14.002	12.6	2.4	Razdrto	Slovenia
24-09-2006	10:13:27.07	45.781	13.994	10.3	2.7	Razdrto	Slovenia
25-09-2006	00:43:42.95	46.338	13.234	10.8	1.6	Chiusaforte	Friuli
25-09-2006	04:56:51.20	45.882	11.918	10.2	2.6	Cavaso del Tomba	Veneto
25-09-2006	18:17:12.37	46.315	13.276	14.0	1.9	Lusevera	Friuli
25-09-2006	21:38:45.05	45.294	14.894	3.5	2.6	Mrkopalj	Croazia
25-09-2006	21:47:31.89	45.160	13.788	7.7	2.7	Brajkov.	Croazia
28-09-2006	08:55:20.44	46.325	13.281	11.4	1.5	Lusevera	Friuli
29-09-2006	02:33:34.43	46.059	14.768	7.6	2.7	Kresniske	Slovenia
01-10-2006	08:43:45.24	46.299	13.297	11.2	2.5	Lusevera	Friuli
01-10-2006	20:34:43.30	46.272	13.281	10.1	2.0	Lusevera	Friuli
03-10-2006	20:40:41.42	46.349	13.233	8.3	1.1	Chiusaforte	Friuli
04-10-2006	11:16:55.67	46.749	12.422	7.4	1.9	Sesto	Alto Adige
04-10-2006	11:19:22.09	46.623	12.509	24.1	1.6	Comelico Superiore	Veneto
06-10-2006	00:00:32.14	46.412	13.054	12.1	1.5	Tolmezzo	Friuli
13-10-2006	00:28:05.19	46.270	13.689	7.5	1.8	Kobarid	Slovenia
14-10-2006	12:55:57.59	46.987	13.299	11.7	2.7	Obervellach	Austria
14-10-2006	13:09:20.11	47.003	13.297	11.8	3.1	Ankogel	Austria
17-10-2006	00:37:40.83	46.388	13.075	14.7	1.9	Tolmezzo	Friuli
17-10-2006	05:41:35.06	46.509	10.506	0.5	3.2	Giogo Dello Stelvio	Alto Adige
20-10-2006	00:11:58.70	45.653	10.357	9.8	3.7	Gavardo	Lombardia
26-10-2006	06:34:30.19	46.055	13.424	11.2	2.7	Premariacco	Friuli
28-10-2006	13:55:30.20	45.737	15.656	8.3	3.7	Poljane	Slovenia
29-10-2006	20:05:27.89	46.469	13.685	11.6	1.6	Fusine	Friuli
08-11-2006	00:18:47.34	46.286	13.599	7.8	2.0	Kobarid	Slovenia
10-11-2006	16:21:33.54	45.214	10.254	17.1	2.9	Ostiano	Lombardia
11-11-2006	07:36:34.84	46.241	13.299	11.1	1.6	Tarcento	Friuli
11-11-2006	17:49:59.37	46.322	13.231	5.1	1.9	Lusevera	Friuli
12-11-2006	19:26:21.87	47.334	15.098	3.8	3.0	Leoben	Austria
14-11-2006	14:50:27.55	46.294	13.623	4.9	1.9	Kobarid	Slovenia
15-11-2006	23:16:07.96	47.316	11.454	0.8	2.7	Solbad	Austria
16-11-2006	19:33:05.66	46.288	13.165	4.7	1.8	Gemona	Friuli
20-11-2006	10:07:51.03	46.366	12.625	6.0	2.2	Forni di Sotto	Friuli
22-11-2006	20:13:20.39	46.341	12.980	9.5	1.4	Tolmezzo	Friuli
24-11-2006	00:55:55.25	46.347	14.061	10.6	3.0	Bohinjska Bela	Slovenia
24-11-2006	07:47:19.16	46.379	13.234	11.7	0.9	Chiusaforte	Friuli
26-11-2006	17:52:38.83	46.306	13.624	8.3	1.8	Kobarid	Slovenia
27-11-2006	00:15:44.50	46.326	12.625	12.0	1.8	Clautana	Friuli
29-11-2006	14:55:50.09	46.290	13.634	7.8	2.2	Kobarid	Slovenia
30-11-2006	05:18:59.10	46.478	13.641	13.1	1.6	Fusine	Friuli

Tabella 4.2: Terremoti localizzati dalla RSFVG nel 2006.

data	ora UTC0	lat. °N	long. °E	prof. (km)	M_D	località	regione
30-11-2006	05:20:10.05	46.485	13.606	12.4	1.2	Fusine	Friuli
30-11-2006	05:20:42.91	46.473	13.631	12.4	1.3	Fusine	Friuli
01-12-2006	07:24:08.89	45.792	10.995	7.6	2.5	Ala	Trentino
02-12-2006	09:18:10.50	45.602	11.898	9.4	2.5	S.Martino di Lupari	Veneto
07-12-2006	03:55:11.11	46.276	12.546	11.5	1.9	Claut	Friuli
08-12-2006	17:34:20.34	46.101	14.785	10.8	2.8	Moravce	Slovenia
11-12-2006	00:52:15.94	46.317	13.610	7.9	2.8	Kobarid	Slovenia
11-12-2006	05:04:28.78	46.315	13.610	6.7	1.9	Kobarid	Slovenia
11-12-2006	20:12:28.82	46.280	13.971	1.4	1.9	Bohinjska-Bistrica	Slovenia
12-12-2006	19:26:59.61	46.285	13.656	6.3	1.9	Kobarid	Slovenia
13-12-2006	03:55:08.00	46.282	13.245	7.3	1.6	Lusevera	Friuli
20-12-2006	00:19:44.88	45.801	11.368	8.7	2.2	Arsiero	Veneto
20-12-2006	04:19:49.75	45.575	10.931	4.2	2.6	S.Pietro In Cariano	Veneto
26-12-2006	19:04:48.44	46.246	13.134	6.1	2.2	Buia	Friuli
26-12-2006	23:42:44.12	44.843	10.810	14.4	2.8	Novellara	Emilia
28-12-1906	14:10:28.53	46.133	12.217	9.3	3.6	Belluno	Veneto
29-12-2006	16:25:33.03	46.292	13.186	7.5	1.6	Gemona	Friuli

Tabella 4.2: Terremoti localizzati dalla RSFVG nel 2006.

5 Attività di ricerca

Le principali attività di ricerca effettuate dal CRS durante il 2006, ed inerenti alla Convenzione, hanno riguardato:

- la determinazione dei meccanismi focali dei principali terremoti verificatisi nel corso dell'anno ed il loro inquadramento nel contesto sismotettonico regionale;
- l'analisi delle principali sequenze sismiche verificatesi in Friuli-Venezia Giulia e nella Slovenia occidentale a partire dal 1977, con la messa a punto di relazioni per la stima statistica di alcuni parametri di interesse, quali la magnitudo della replica più forte o il numero di repliche in un dato intervallo di tempo, il tutto in funzione delle caratteristiche della scossa principale;
- la messa a punto di tecniche automatiche di zonazione sismica che possono essere utilmente impiegate nelle stime di pericolosità.

5.1 Meccanismi focali

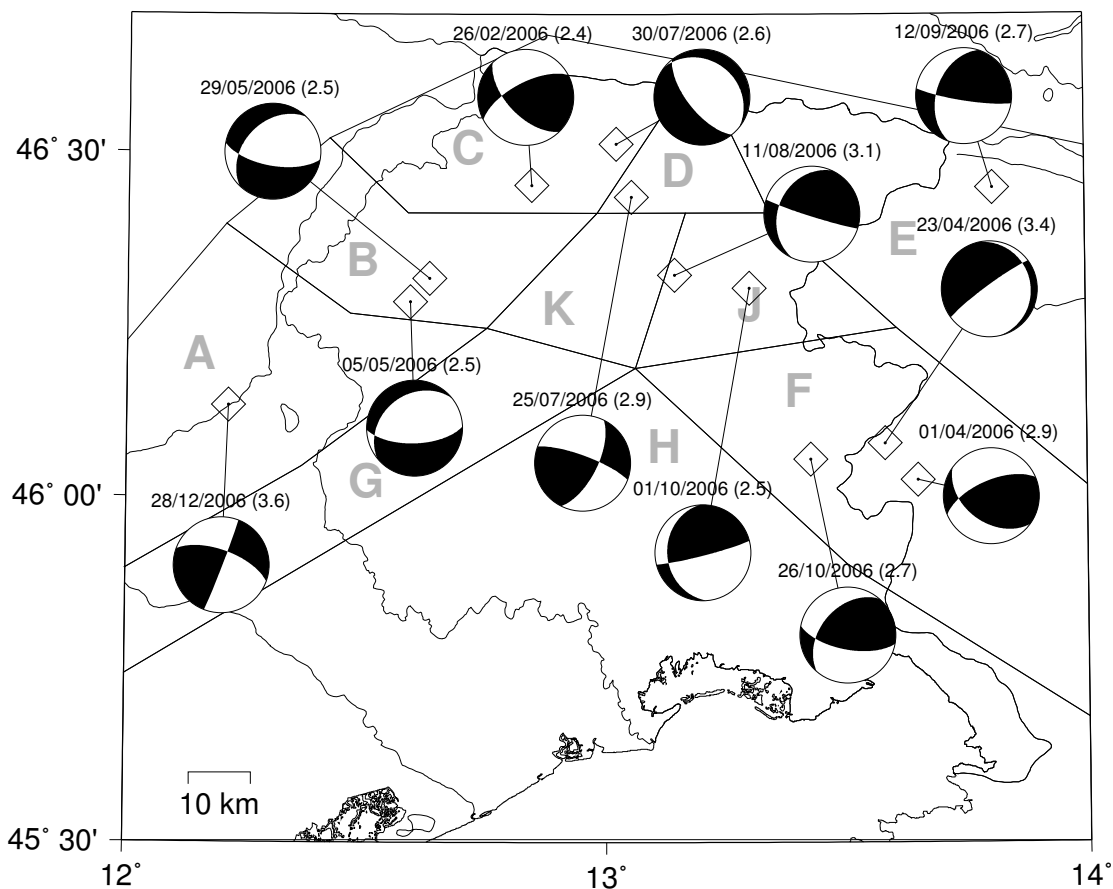


Figura 5.1: Meccanismi focali dei principali eventi localizzati nell'area regionale nel 2006. Accanto a ciascun meccanismo è riportata la data e tra parentesi la magnitudo locale. Sono riportate anche le principali zone sismotettoniche (Bressan et al., 2003).

La mappa rappresentata in Fig. 5.1 riporta le zone sismotettoniche (Bressan et al., 2003) dell'area regionale e zone contermini assieme ai meccanismi focali degli eventi più rilevanti avvenuti nel corso del 2006.

L'evento più significativo che ha caratterizzato il 2006 si è verificato il 28 dicembre nel bellunese con magnitudo pari a 3.6. L'area sismotettonica interessata è la zona A, caratterizzata da un campo di sforzi prevalentemente compressivo, con asse di compressione massima orientato NNW-SSE. Il meccanismo focale è trascorrente ed è associato al sistema di faglie sub-verticali ad andamento variabile da NNE-SSW a N-S, presente in questo settore. I principali eventi localizzati nell'area B si sono verificati il 5 e il 29 maggio, entrambi con magnitudo pari a 2.5. I meccanismi focali dei due eventi sono di tipo normale e sono associati a episodi minori di fagliamento. Anche in passato questo settore, posto tra la Val Tramontina e l'area di Claut, è stato interessato da eventi di bassa magnitudo con simile tipologia di meccanismo focale. Le principali strutture sismogenetiche presenti in quest'area sono rappresentate da sovrascorrimenti orientati N80°- 90°E, con angolo di immersione verso nord variabile da 40° a 60°.

Gli eventi più importanti localizzati all'interno della zona sismotettonica C, sono avvenuti il 26 febbraio con magnitudo 2.4 e il 30 luglio con magnitudo 2.6. Il primo presenta un meccanismo

trascorrente con componente compressiva e appare collegato al sistema di faglie trascorrenti orientate N140°- 150°E. L'evento di magnitudo 2.6 è caratterizzato invece da meccanismo di tipo normale e riflette un movimento distensivo lungo piano minore. Si ricorda che il campo di sforzi agente nell'area è prevalentemente di carattere trascorrente, con asse di compressione massima orientato NNW-SSE.

Il principale evento localizzato nell'area D, il 25 luglio con magnitudo 2.9, ha meccanismo di tipo trascorrente. Tale meccanismo è in accordo con il campo di sforzi agente in quest'area, prevalentemente compressivo con marcata componente trascorrente e asse di compressione massima orientato N-S. Tale evento è legato al sistema di faglie trascorrenti minori presenti nell'area del Tolmezzino.

L'evento maggiormente significativo localizzato all'interno della zona sismotettonica E si è verificato il 12 settembre con magnitudo 2.7. Il meccanismo focale è di tipo trascorrente con marcata componente compressiva. Esso è associabile ai sistemi minori di faglie trascorrenti orientate NNE-SSW, che dislocano i principali lineamenti tettonici costituiti da sistemi di faglie inverse, con orientazione E-W, immergenti a sud con alto angolo.

Nella zona sismotettonica J sono localizzati 2 eventi maggiormente significativi del 2006, uno avvenuto l'11 agosto con magnitudo 3.1, l'altro il primo giorno di ottobre con magnitudo 2.5. Entrambi sono caratterizzati dalla stessa tipologia di meccanismo focale, compressivo con componente trascorrente e attribuibile a fagliazione inversa su piani ad alto angolo. Si ritiene che si tratti di episodi di rottura su piani minori rispetto alle principali faglie sismogenetiche che interessano questa zona sismotettonica, orientate E-W e immergenti con angoli di 40°- 60° verso nord.

Gli eventi più importanti avvenuti nella zona sismotettonica F sono stati: 1 aprile con magnitudo 2.9, 23 aprile con magnitudo 3.4 e 26 ottobre con magnitudo 2.7. Gli eventi dell'1 aprile e del 26 ottobre presentano meccanismo focale molto simile, di tipo inverso con marcata componente trascorrente, associabili ai principali lineamenti tettonici che interessano quest'area. Essi sono costituiti da faglie trascorrenti e faglie inverse orientate NW-SE e immergenti a NE con angoli compresi tra 50° e 60°. L'evento più forte, con magnitudo 3.4 avvenuto il 23 aprile, è invece caratterizzato da meccanismo focale distensivo, associabile a faglia normale sub-verticale, orientata NE-SW. Il campo di sforzi che interessa questa zona sismotettonica è di tipo trascorrente, con asse di compressione massima orientato NNE-SSW.

sequenza	M_{Dm}	Data _m	lat	lon	A	b	K	c	p	a
K98	5.6	04/12/1998	46.324	13.678	5.1	1.1	41.0	0.01	0.8	-2.3
T77	5.2	09/16/1977	46.268	13.016	3.2	0.8	31.4	0.29	1.0	-2.1
K04	5.1	07/12/2004	46.306	13.641	4.3	1.1	26.3	0.21	1.0	-2.0
S02	4.9	02/14/2002	46.439	13.107	2.7	0.8	2.4	0.18	0.8	-
C96	4.3	04/13/1996	46.312	12.558	3.1	0.9	3.8	0.00	0.9	-1.8
M88	4.1	02/01/1988	46.347	13.076	3.3	0.9	20.0	0.19	1.0	-1.4
Tar91	3.8	10/05/1991	46.243	13.343	2.8	0.8	3.4	0.00	1.0	-1.3
C94	3.7	04/20/1994	46.339	12.538	3.2	1.0	1.8	0.05	0.8	-

Tabella 5.1: Sequenze analizzate. M_{Dm} : magnitudo di durata della scossa principale; Data_m: data della scossa principale; lat e lon: latitudine e longitudine della scossa principale; A, b: parametri della legge di Gutenberg-Richter; K, c, p: parametri della legge di Omori modificata; a: parametro della legge di Reasenberg e Jones.

5.2 Analisi delle sequenze sismiche in Friuli

Durante il 2006, è stato effettuato uno studio in dettaglio delle principali sequenze sismiche verificatesi in Friuli Venezia Giulia e nella parte più a ovest della Slovenia, a partire da quando la rete sismica del Friuli Venezia Giulia ha iniziato a operare (7 maggio 1977). Per sequenza sismica si intende un gruppo di terremoti vicini nel tempo e nello spazio, caratterizzati da una scossa principale e una serie di scosse secondarie, di minore entità. Le scosse secondarie seguono nel tempo la scossa principale (aftershock) e in alcuni casi la precedono (foreshock). In particolare, sono state analizzate 8 sequenze generate da terremoti di bassa o moderata intensità (magnitudo di durata da 3.7 a 5.6).

Per le sequenze sismiche valgono due leggi parametriche, con i parametri che variano a seconda della regione studiata. La prima è la legge di Gutenberg-Richter (Gutenberg and Richter, 1954), valida per i terremoti in generale, che lega il numero di terremoti alla loro magnitudo:

$$\log N(M_c) = A - bM_c \quad (5.1)$$

dove $N(M_c)$ è il numero di terremoti con magnitudo maggiore di M_c , A è una misura del livello di sismicità regionale e b dipende dalla proporzione di terremoti grandi e piccoli. La seconda legge è la legge di Omori modificata (Utsu, 1961) che lega la frequenza degli aftershock di magnitudo maggiore di M_c a una funzione del tempo t trascorso dalla scossa principale:

$$\lambda(t, M_c) = \frac{K(M_c)}{(t+c)^p} \quad (5.2)$$

dove $K(M_c)$ dipende dal numero di terremoti, c dipende dall'attività sismica nella prima parte della sequenza e p è collegato alla diminuzione nel tempo del numero di aftershock.

Dalle due leggi discende la legge di Reasenberg and Jones (1989), che descrive la frequenza di terremoti con magnitudo maggiore di M_c in funzione del tempo e della magnitudo della scossa principale:

$$\lambda(t, M_c) = \frac{10^{a+b(M_m-M_c)}}{(t+c)^p} \quad (5.3)$$

dove M_m è la magnitudo della scossa principale e a è un parametro chiamato "produttività".

I parametri trovati per il Friuli Venezia Giulia sono riportati in Tab. 5.1. I valori relativamente bassi del parametro p rispetto ai valori di letteratura (Utsu, 1995) sono da imputarsi al basso valore del flusso di calore nella nostra regione - 50-60 mW m⁻² (Cataldi et al., 1995). Secondo le teorie di Kisslinger and Jones (1991), infatti, gli aftershock sono un processo di rilassamento di sforzo. Poiché questo fenomeno è influenzato dalla temperatura, la diminuzione nel tempo del numero di

aftershock è collegato alla temperatura della crosta. Kisslinger and Jones (1991) hanno verificato che ad alti valori di p si verificano per alti flussi di calore, e bassi valori di p per bassi flussi di calore.

Utilizzando l'approccio di Lolli and Gasperini (2003) e i valori di Tab. 5.1 sono state effettuate due stime statistiche del verificarsi di aftershock. La prima (Fig. 5.2) fornisce, per un dato tempo t trascorso dall'evento principale, il numero di scosse con magnitudo superiore ad una data soglia attese nelle 24 ore successive. Per esempio, nel corso del decimo giorno successivo ad un terremoto di magnitudo 5, sono attese circa 10 scosse di magnitudo maggiore o uguale a 1 ($M \geq M_m - 4$) e tra 1 e 2 scosse di magnitudo maggiore o uguale a 2 ($M \geq M_m - 3$). La seconda (Fig. 5.3) fornisce, sempre per un dato tempo t successivo all'evento principale, la probabilità che si verifichi un forte terremoto ($M \geq M_m - 1$) nel giro di un giorno, 7 giorni, 30 giorni, ecc. Per esempio, utilizzando la curva più in basso di Fig. 5.3, si può stimare che, per un evento principale di magnitudo 5, la probabilità di osservare un terremoto di magnitudo 4 nel corso di una giornata sia circa 0.08 il giorno successivo alla scossa principale e si riduca a circa 0.01 dopo 10 giorni.

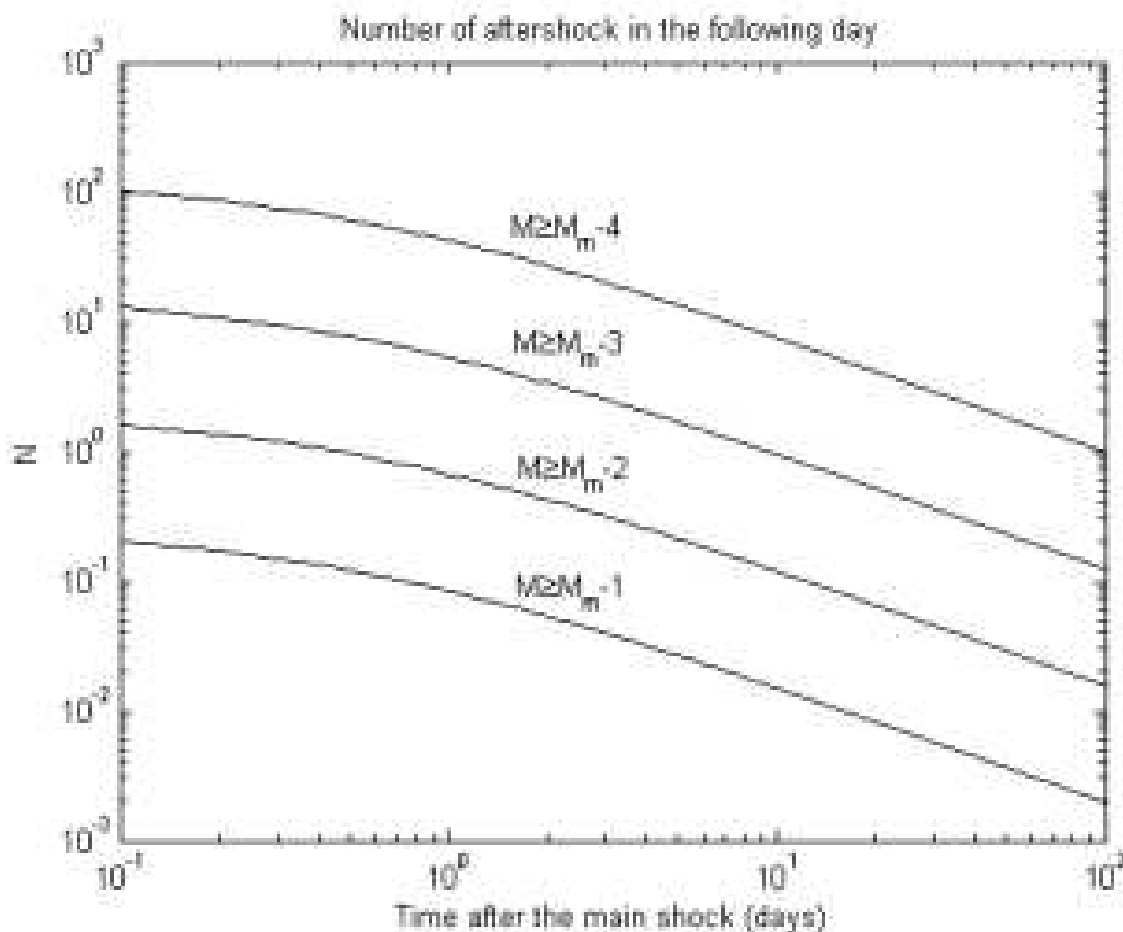


Figura 5.2: Stima del numero di scosse di magnitudo maggiore di $M_m - \Delta M$ attese nelle 24 ore successive al tempo t (t tempo trascorso dall'evento principale) per diversi valori di ΔM (1, 2, 3, 4).

I risultati precedenti permettono di compiere valutazioni statistiche sul comportamento di sequenze future, nei limiti della variabilità dei parametri da una sequenza all'altra.

Un altro campo di studi sulle sequenze di grande interesse è la stima del più forte aftershock atteso. Se infatti la scossa principale può essere di per sé causa di danni a cose e persone, l'aftershock più forte si presenta su strutture già lesionate, quindi sensibili a effetti di terremoti anche di

minore entità. Secondo legge di Bath modificata (Shcherbakov and Turcotte, 2004) vale la seguente equazione:

$$m^* = \frac{A}{b} \quad (5.4)$$

dove m^* è la magnitudo dell'evento più forte e A e b sono i parametri della Gutenberg-Richter (equazione 5.1). Dati i parametri A e b trovati precedentemente (si veda Tabella 1), si è stimata l'entità della scossa secondaria utilizzando l'equazione (5.4). I valori ottenuti teoricamente sono stati confrontati con i dati reali, da cui differiscono in alcuni casi. In particolare, i valori di magnitudo ottenuti risultano in media più bassi di -0.02, con una deviazione standard di 0.24.

L'ultimo studio effettuato sulle sequenze del Friuli Venezia Giulia consiste nell'analisi della partizione dell'energia fra scossa principale e gli aftershock. La partizione dell'energia presenta un ruolo rilevante nell'evoluzione delle sequenze. È stata trovata (Bressan et al., 2007) una relazione fra la caduta di sforzo di Brune, un parametro di sorgente che misura lo sforzo rilasciato dalla scossa principale, e il rapporto fra l'energia irradiata dalla scossa principale e quella degli aftershock (R_{ES}). I risultati, relativi alle sole sequenze in cui la caduta di sforzo di Brune è stata calcolata con un'analisi spettrale, è riportata in Fig. 5.4.

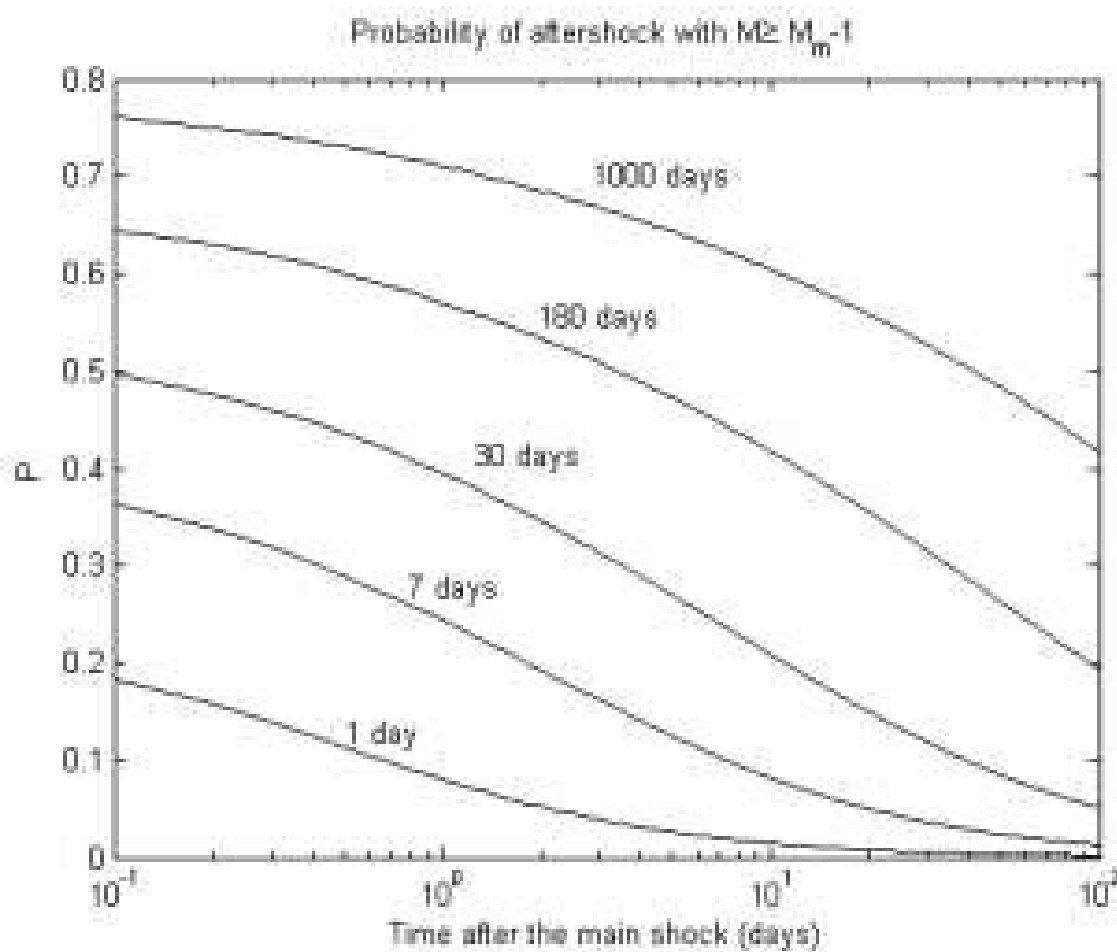


Figura 5.3: Probabilità di un aftershock con magnitudo $M \geq M_m - 1$ nell'intervallo di tempo $[t, t + \Delta t]$ (t tempo dall'evento principale) per diversi valori di Δt (1 giorno, 7 giorni, ecc.)

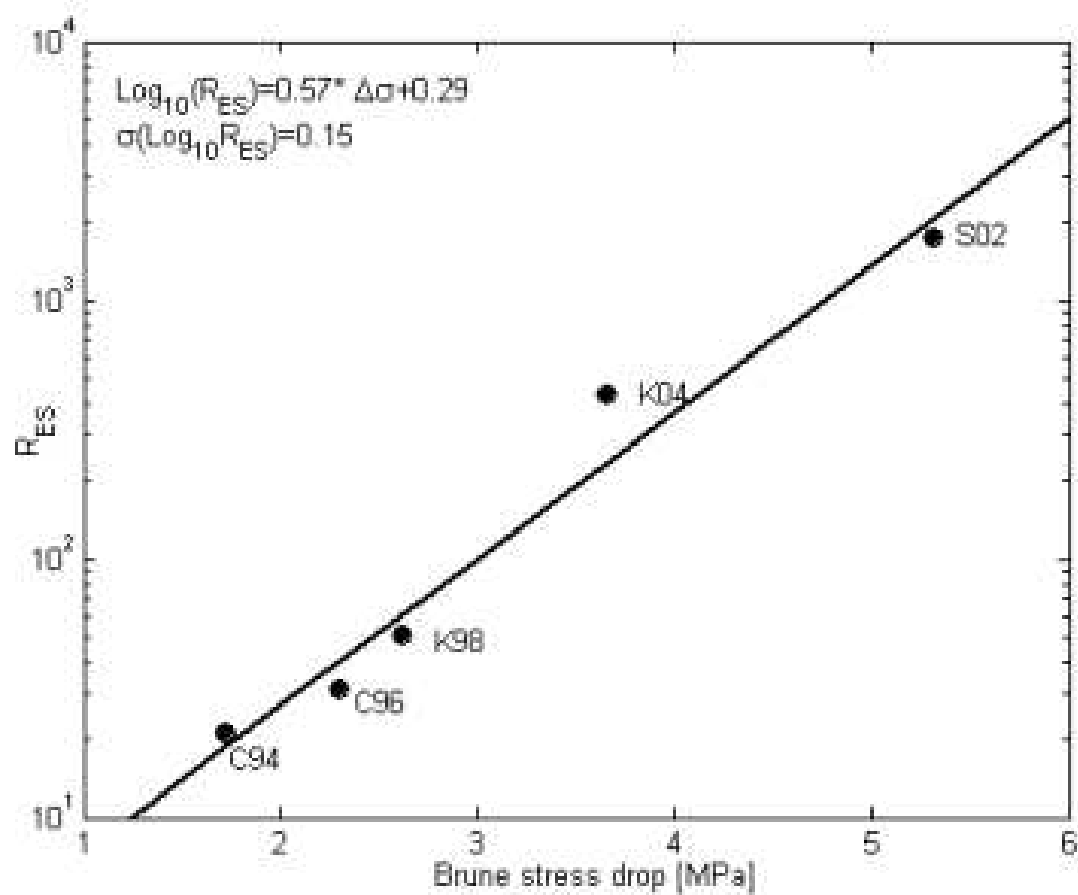


Figura 5.4: R_{ES} (rapporto fra l'energia irradiata dalla scossa principale e quella degli aftershock) in funzione della caduta di sforzo di Brune $\Delta\sigma$.

5.3 Tecniche di zonazione sismica automatica

Molti tipi di analisi sismologica, come ad esempio le valutazioni di pericolosità, richiedono come passo preliminare una zonazione, ossia la suddivisione del territorio in aree omogenee secondo un qualche criterio (p.e., per tasso di sismicità, per relazione tra magnitudo e frequenza dei terremoti, per similarità dei meccanismi di rottura). Una zonazione sismica, pur tenendo in considerazione una serie di dati quantitativi, ha spesso un carattere qualitativo e soggettivo, essendo legata a valutazioni effettuate dal sismologo sulla base di informazione incompleta o incerta.

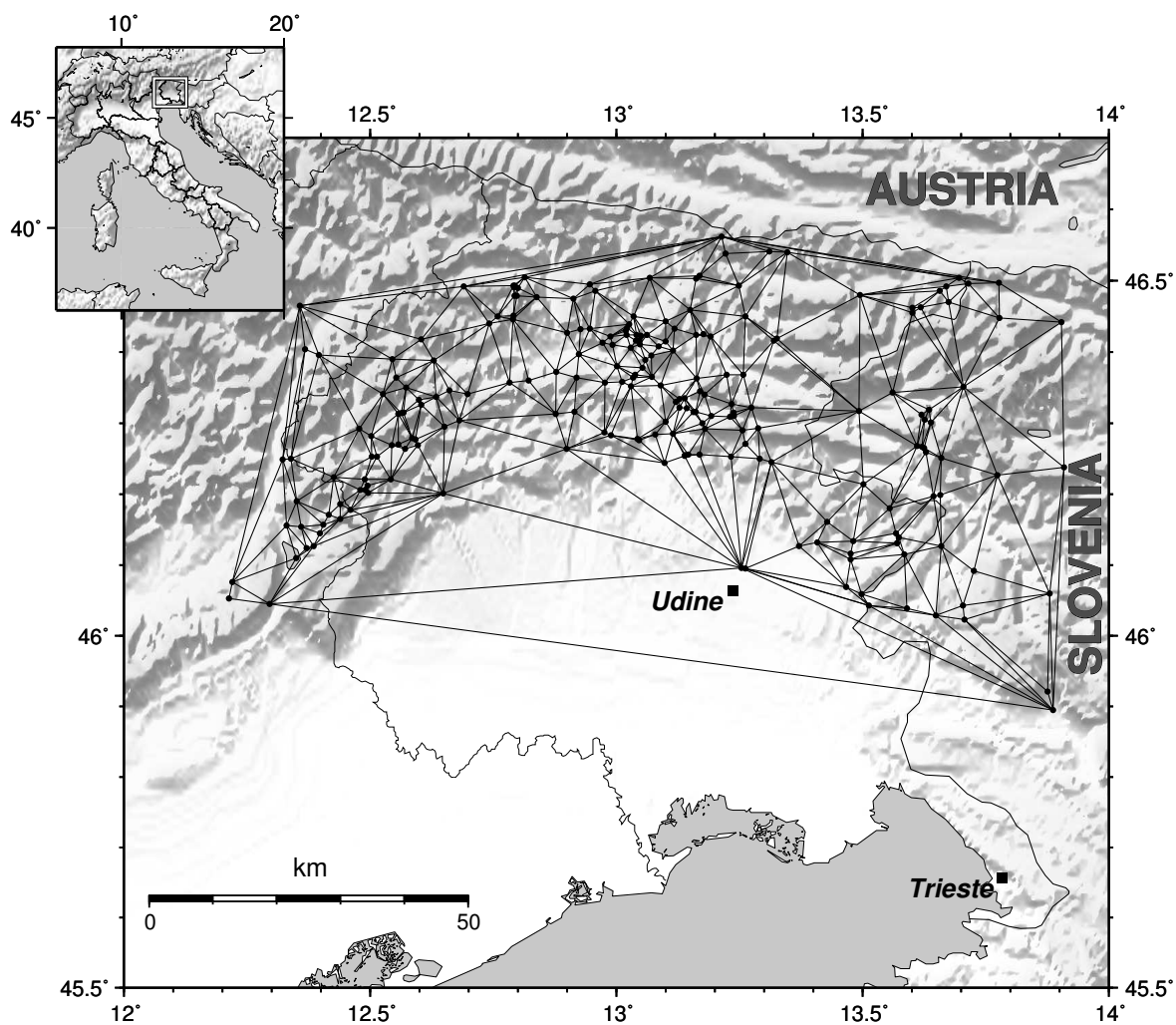


Figura 5.5: Epicentri dei terremoti e relativa triangolazione di Delaunay utilizzati per la zonazione automatica dell'area friulana basata sull'uniformità del tensore di stress (da Bragato and Bressan (2006)).

Presso il CRS sono state sviluppate tecniche di zonazione automatica che si propongono di fornire un supporto oggettivo a tali valutazioni. Partendo da un insieme di misure puntuali o associate ad aree elementari e definita una misura di omogeneità per le aree complesse date dall'aggregazione di punti o aree elementari, le suddette tecniche consentono di stimare la migliore partizione del territorio che massimizza l'omogeneità interna di ciascuna zona utilizzandone il minor numero possibile.

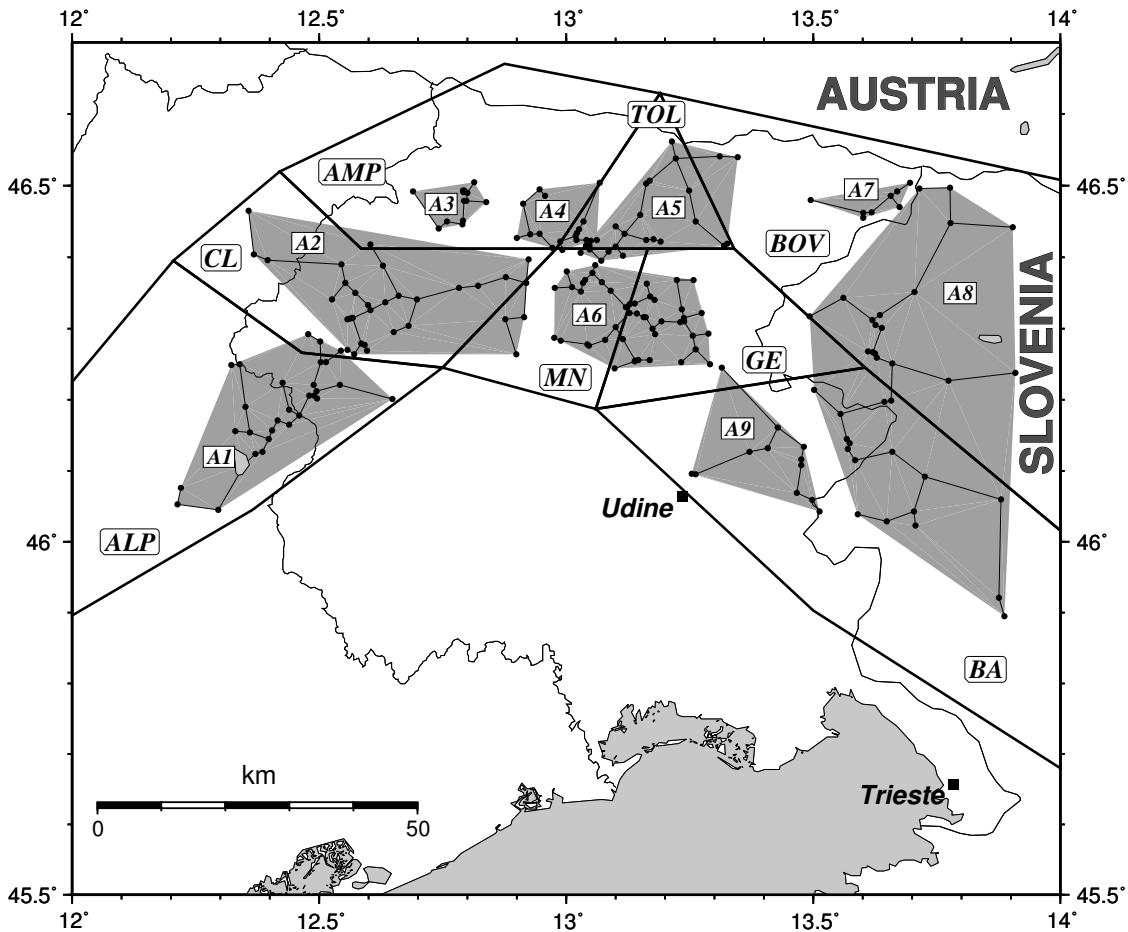


Figura 5.6: Zonazione automatica dell'area friulana basata sull'uniformità del tensore di stress (in grigio) confrontata con quella adottata da (Bressan et al., 2003) (poligoni con linee spesse) (da Bragato and Bressan (2006)).

Tecnicamente, si tratta di una cluster analysis con vincoli di connettività geometrica che opera nei seguenti passi:

- i punti di misura vengono collegati tramite una maglia (p.e. con una triangolazione di Delaunay nel caso di griglia irregolare, si veda Fig. 5.5);
- rimuovendo una serie di collegamenti della maglia vengono generate le sue partizioni connesse, ossia suddivisioni in sottoinsiemi di punti tra loro collegati (Fig. 5.6);
- per ciascuna delle possibili partizioni viene calcolata l'omogeneità complessiva, somma dei valori di omogeneità dei suoi sottoinsiemi;
- la partizione ottimale che costituisce il risultato finale della zonazione, è quella che realizza il miglior compromesso tra elevata omogeneità e basso numero di sottoinsiemi.

Attualmente sono state sviluppate due applicazioni del metodo, che differiscono per il tipo di dato osservato, per la definizione della misura di omogeneità e per il criterio ottimalità adottato. La

prima applicazione (Bragato and Bressan, 2006) riguarda la zonazione dell'area friulana sulla base dell'omogeneità degli sforzi crostali stimata dai meccanismi focali dei terremoti (si veda p.e. la sezione 5.1 di questa relazione). In questo caso i punti di misura corrispondono agli epicentri dei terremoti (Fig. 5.5), mentre la misura di omogeneità ed il criterio di ottimalità sono entrambi basati su di un test statistico (Albarello, 2000) che considera l'orientazione dei meccanismi di rottura e l'incertezza associata. Il risultato della zonazione automatica è mostrato in Fig. 5.6

La seconda applicazione (Bragato et al., 2006) riguarda la suddivisione dell'area di Vittorio Veneto sulla base di misure di rumore sismico per scopi di microzonazione. Le misure di rumore sismico, ed in particolare i rapporti spettrali tra le componenti orizzontale e verticale del segnale (rapporti spettrali H/V) forniscono utili indicazioni sul livello di amplificazione del sito. L'applicazione di Vittorio Veneto mirava ad individuare aree con rapporti H/V simili sulle quali focalizzare ulteriori indagini geofisiche e geologiche. Nella formalizzazione del problema, a ciascun punto di misura corrisponde un vettore di rapporti spettrali H/V calcolati per un dato numero di frequenze. L'omogeneità complessiva di una partizione in N zone ciascuna comprendente M_i vettori H/V $\mathbf{X}_{i1}, \dots, \mathbf{X}_{iM_i}$ è data dall'inverso della *Residual sum of squares*

$$RSS = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} (\mathbf{X}_{ij} - \mathbf{X}_{c_i})^2 \quad (5.5)$$

dove \mathbf{X}_{c_i} è il centroide dei vettori appartenenti all'area i -esima.

$$\mathbf{X}_{c_i} = \frac{1}{M_i} \sum_{j=1}^{M_i} \mathbf{X}_{ij} \quad (5.6)$$

Seguendo la soluzione adottata in molte applicazioni di cluster analysis, la zonazione ottima è definita come quella che minimizza il Bayesian Information Criterion

$$BIC = N_{HV} \ln \frac{RSS}{N_{HV}} + (N - 1) \ln N_{HV} \quad (5.7)$$

dove N_{HV} è il numero di misure H/V ed N il numero di zone.

Per l'area di Vittorio Veneto sono stati utilizzati gli H/V relativi a 102 punti di misura (Fig. 5.7) calcolati per 85 frequenze tra 0.5 e 24 Hz. Il risultato della zonazione automatica è mostrato in Fig. 5.8, mentre in figura Fig. 5.9 sono riportati i rapporti spettrali corrispondenti a ciascuna area con l'indicazione del valore medio e della deviazione standard del rapporto H/V per ciascuna frequenza considerata.

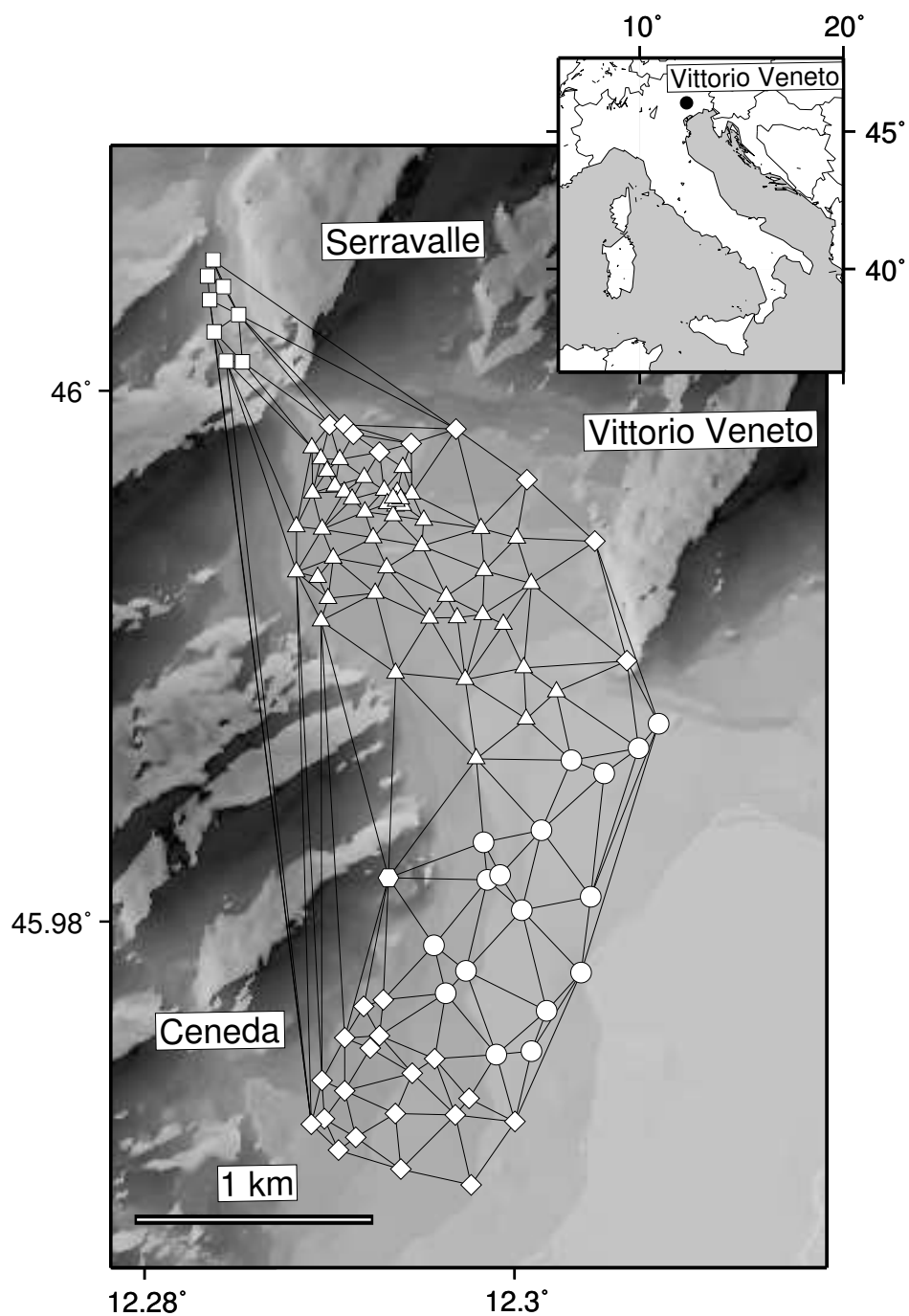


Figura 5.7: Punti di misura di rumore sismico nell'area di Vittorio Veneto e relativa triangolazione di Delaunay.

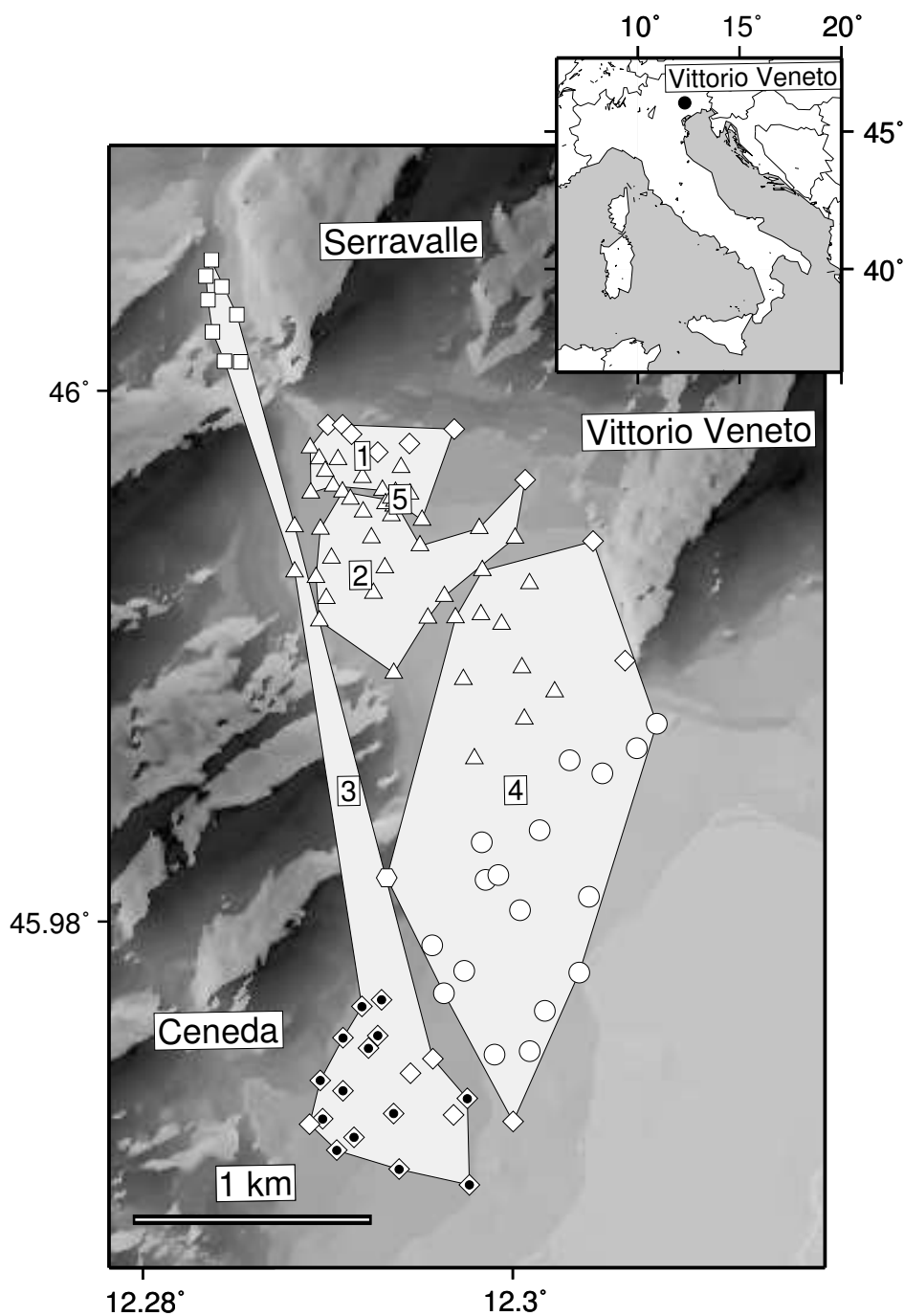


Figura 5.8: Zonazione automatica dell'area di Vittorio Veneto basata sull'omogeneità dei rapporti spettrali H/V.

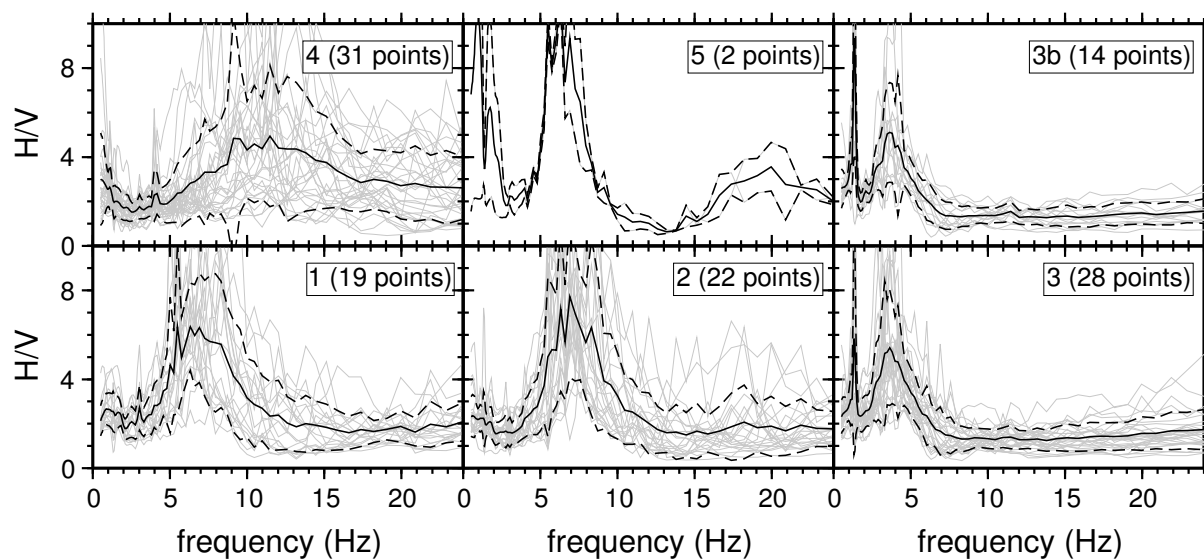


Figura 5.9: Rapporti spettrali per ciascuna delle zone in Fig. 5.8 con l'indicazione del valore medio +/- una deviazione standard.

6 Attività didattico-divulgativa

Durante il 2006 è proseguita l'attività didattica a scopo d'informazione tecnico-scientifica e di prevenzione in caso di sismi a favore di istituzioni pubbliche e scuole di ogni ordine e grado, sia presso la propria Sede, che presso altre Istituzioni. Questa iniziativa si inserisce coerentemente tra le finalità istituzionali dell'OGS. Lo scopo è quello di migliorare le conoscenze di chi opera nell'ambito della protezione civile e di preparare le popolazioni insediate in aree sismiche a sostenere gli effetti di un sisma. In particolare, l'attività è concentrata su:

- le cause geologiche che danno origine al fenomeno sismico;
- gli effetti del sisma del 1976 che ha colpito la regione FVG;
- l'attività di monitoraggio sismico tramite reti sismometriche e sistemi automatici di allertamento;
- l'attività di ricerca di base ed applicata svolta presso il CRS;
- le norme comportamentali da tenere in caso di evento distruttivo.

Tra gli altri, nel corso del 2006, sono stati ospiti del CRS: alunni del Liceo Scientifico Statale "Nicolò Copernico" di Udine; studenti del corso di Sismologia dell'Università di Udine (Docente Prof. Ruscetti). Inoltre, presso la scuola elementare di Rigolato si è tenuta una lezione atta ad illustrare il fenomeno terremoto e le sue implicazioni nel corso delle ricorrenze a trent'anni del sisma del 1976.

In occasione del trentesimo anniversario del terremoto del Friuli, l'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale ha organizzato, nei giorni 26-27-28 aprile, degli incontri didattici dedicati agli alunni della scuola primaria e secondaria di Artegna, Forgaria del Friuli ed Artegna, comuni duramente colpiti dal sisma del 1976. Gli interventi dei ricercatori dell'OGS si sono suddivisi in una parte di conferenza-lezione sul cos'è il terremoto, come localizzarlo, il concetto di faglia e tipi di faglie, la differenza fra materiali duttili e fragili, il concetto di onde sismiche, e di una seconda parte che riguardava il funzionamento di una stazione sismometrica.

Il 29 aprile -1 maggio 2006 si è svolta presso il Centro Ricerche Sismologiche la manifestazione *Porte Aperte* che ha visto oltre 450 persone visitare il Centro al fine di conoscere meglio le tematiche inerenti il fenomeno terremoto. L'idea di aprire al pubblico la sede ed i laboratori del CRS è nata dall'esigenza di rispondere alle domande che la comunità regionale, particolarmente sensibile ai temi della sismicità, si pone con curiosità e preoccupazione ogni volta che avviene un terremoto, anche di modesta entità. Domande quali: perchè la terra trema? E' possibile difendersi dai terremoti, limitare i danni, convivere con essi? Quali sono gli studi che vengono effettuati per una migliore conoscenza del fenomeno? In che cosa consiste il lavoro di sorveglianza e cosa ci dà in termini di conoscenza? Domande semplici, dirette e ricorrenti alle quali i ricercatori e tecnici del CRS hanno cercato di rispondere attraverso un percorso a tappe presso il comprensorio di via Treviso.



7 Commenti conclusivi

Come per gli anni precedenti, l'attività dell'OGS svolta nell'ambito della convenzione ha coniugato la parte di ricerca con quella di servizio. Il sistema di monitoraggio sismico del CRS si è rivelato affidabile assicurando quel controllo sismico del territorio indispensabile a fini di Protezione Civile. L'attività sismica del 2006 è stata caratterizzata da una sismicità moderata con eventi di magnitudo modesta. Gli eventi di magnitudo maggiore (inferiore a 4) si sono verificati in Slovenia a distanza di circa 10 km dal confine italiano e in Veneto in prossimità di Belluno a circa 20 km dal confine del Friuli Venezia Giulia.

L'attività di maggiore sviluppo tecnologico della rete sismica e del sistema di monitoraggio è legata al Progetto Interreg III A *Reti sismologiche senza frontiere*, e può essere riassunta nei seguenti punti: 1) il completamento dell'ultima stazione a banda larga (per quanto riguarda il CRS) presso il Monte Sabotino (GO); 2) il miglioramento del sistema di trasmissione della rete con tecnologia spread-spectrum, sia per le stazioni a banda larga che per quelle a corto periodo della RSFVG; 3) l'ulteriore sperimentazione del sistema Antelope, al quale sono attualmente collegate tutte le stazioni della rete velocimetrica e di quella a banda larga.

L'attività di ricerca svolta durante il 2006 ha riguardato sia temi classici, come il calcolo dei meccanismi focali degli eventi principali verificatisi nel corso dell'anno ed il loro inquadramento nel contesto sismotettonico regionale, sia temi nuovi come lo studio dell'evoluzione delle sequenze sismiche e lo sviluppo di tecniche di zonazione automatica di dati quantitativi.

In conclusione, il programma di attività del CRS si è articolato durante il 2006 lungo diverse linee che garantiscono nel presente l'efficienza del sistema di monitoraggio ed allerta sismica e la qualificazione e l'analisi del dato raccolto, e danno nel contempo garanzia di miglioramento in prospettiva futura.

Bibliografia

- Albarelo, D. (2000). A resampling approach to test stress-field uniformity from fault data. *Geophys. Journ. Int.*, 140:535–542.
- Bragato, P. L. and Bressan, G. (2006). Automatic seismic zonation based on stress-field uniformity assessed from focal mechanisms. *BSSA*, 96:2050–2058.
- Bragato, P. L. and Govoni, A. (2000). The Friuli automatic earthquake alert system. *BGTA*, 41:59–77.
- Bragato, P. L., Laurenzano, G., and Barnaba, C. (2006). Automatic zonation of urban areas based on the similarity of H/V spectral ratios. *BSSA*, submitted.
- Bressan, G., Bragato, P. L., and Venturini, C. (2003). Stress and strain tensors based on focal mechanisms in the seismotectonic framework of the Friuli-Venezia Giulia region (Northeastern Italy). *BSSA*, 93:1280–1297.
- Bressan, G., Kravanja, S., and Franceschina, G. (2007). Source parameters and stress release of seismic sequences occurred in the Friuli-Venezia Giulia region (Northeastern Italy) and in Western Slovenia. *Phys. Earth Planet. Interiors*, 160:192–214.
- Bulfon, A., Duri, G., and Ponton, F. (1992). *Calibrazione dei geofoni della rete sismometrica del Friuli: procedimento e risultati*. Rapporto interno OGS Rel.92-21/CRS-8, Udine Italy.
- Bulfon, A. and Ponton, F. (1992). *Geofono: modello matematico calibrazione*. Rapporto interno OGS Rel.92-13/CRS-5, Udine Italy.
- Cataldi, R., Mongelli, F., Squarci, P., Taffi, L., Zito, G., and Calore, C. (1995). Geothermal ranking of Italian territory. *Geothermics*, 24:115–129.
- Gutenberg, B. and Richter, C. F. (1954). *Seismicity of the Earth and associated phenomena*. Princeton Univ. Press, Princeton, New Jersey.
- Kisslinger, C. and Jones, L. M. (1991). Properties of aftershock sequences in Southern California. *J. Geophys. Res.*, 96:11947–11958.
- Lee, W. H. K. and Lahr, J. C. (1975). *Hypo 71 (revised): a computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquakes*. USGS Open File Report 75-311, Menlo Park.
- Lolli, B. and Gasperini, P. (2003). Aftershock hazard in Italy Part I: Estimation of time-magnitude distribution model parameters and computation of probabilities of occurrence. *Journal of Seismology*, 7:235–257.

- Lomax, A. (2004). SeisGram2K – Seismogram visualization and analysis software for the Internet – Ver.3.1.1. Sito internet. <http://alomax.free.fr/seisgram/SeisGram2K.html>.
- Reasenbergh, P. A. and Jones, L. M. (1989). Earthquake hazard after the mainshock in California. *Science*, 243:1173–1176.
- Rebez, A. and Renner, G. (1991). Duration magnitude for the northeastern Italy seismometric network. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 33:177–186.
- Scherbaum, F. and Johnson, J. (1993). *Programmable interactive toolbox for seismological analysis (PITSA)*. User Manual, Ver. 4.0.
- Shcherbakov, R. and Turcotte, D. L. (2004). A modified form of Bath's law. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 94:1968–1975.
- Slejko, D., Carulli, G. B., Nicolich, R., Rebez, A., Zanferrari, A., Cavallin, A., Doglioni, C., Carraro, F., Castaldini, D., Iliceto, V., Semenza, E., and Zanolli, C. (1989). Seismotectonics of the eastern Southern-Alps: a review. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 31:109–136.
- Utsu, T. (1961). A statistical study on the occurrence of aftershocks. *Geophys. Mag.*, 30:521–605.
- Utsu, T. (1995). The centenary of the Omori formula for a decay law of aftershock activity. *J. Phys. Earth*, 43:1–33.