

SISMICITA' STORICA DELL'ITALIA DI NORD-EST  
IL TERREMOTO DI VERONA DEL 1117 E LA SISMICITA' DELL'ITALIA NORD  
ORIENTALE

Verona, 11, 12 e 13 settembre 2008

# **Rivalutazione del terremoto del 1117 mediante simulazioni del moto del suolo vincolate dai dati storici**

di

*G.F. Panza, A. Peresan, E. Zuccolo*

Relazione ad invito presentata da

**Giuliano F. Panza**



SISMICITA' STORICA DELL'ITALIA DI NORD-EST

IL TERREMOTO DI VERONA DEL 1117 E LA SISMICITA' DELL'ITALIA NORD  
ORIENTALE

Verona, 11, 12 e 13 settembre 2008

# Sulla forma delle Isosisme

Approcci formali innovativi

# Forma delle isosisme

- La definizione della forma delle isosisme è un problema difficile e quindi viene affrontato su due fronti (**probabilmente per la prima volta**):
  - **generalizzazione** dei dati macrosismici (MCS) (discreti) **ad isosisme** (continue), e
  - **modellazione.**

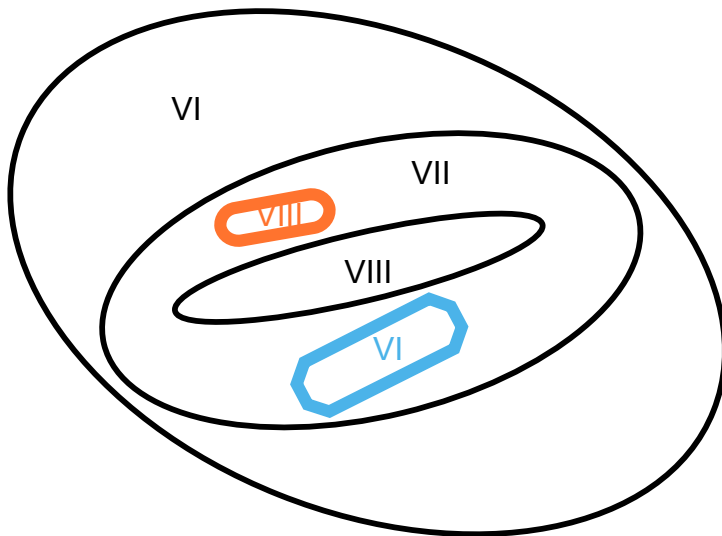
Molchan et al. (2002) hanno sviluppato due metodi per la generalizzazione dei dati macrosismici a forma di isosisme:

- (1) Tecnica di filtraggio polinomiale (MPF);
- (2) Linee di confine diffuse (DB), con visualizzazione della incertezze.

Entrambe le tecniche hanno lo scopo di esaminare la forma dell'area delle isosisme e quindi sono determinanti nella soluzione del problema del confronto della distribuzione spaziale della intensità macrosismica,  $I$ , e dei valori di picco del moto del suolo.

Le due tecniche si basano sulle seguenti ipotesi:

- i dati relativi ad un evento sono rappresentati come un insieme di punti  $(g_k, I_k)$  (sito, intensità);
- la scala  $I$  è discreta ed i punti  $g_k$  sono distribuiti nello spazio in modo irregolare;
- le zone isosismiche sono solitamente connesse ed una all'interno dell'altra;
- le misure di intensità,  $I_k$ , sono affette da un certo rumore.



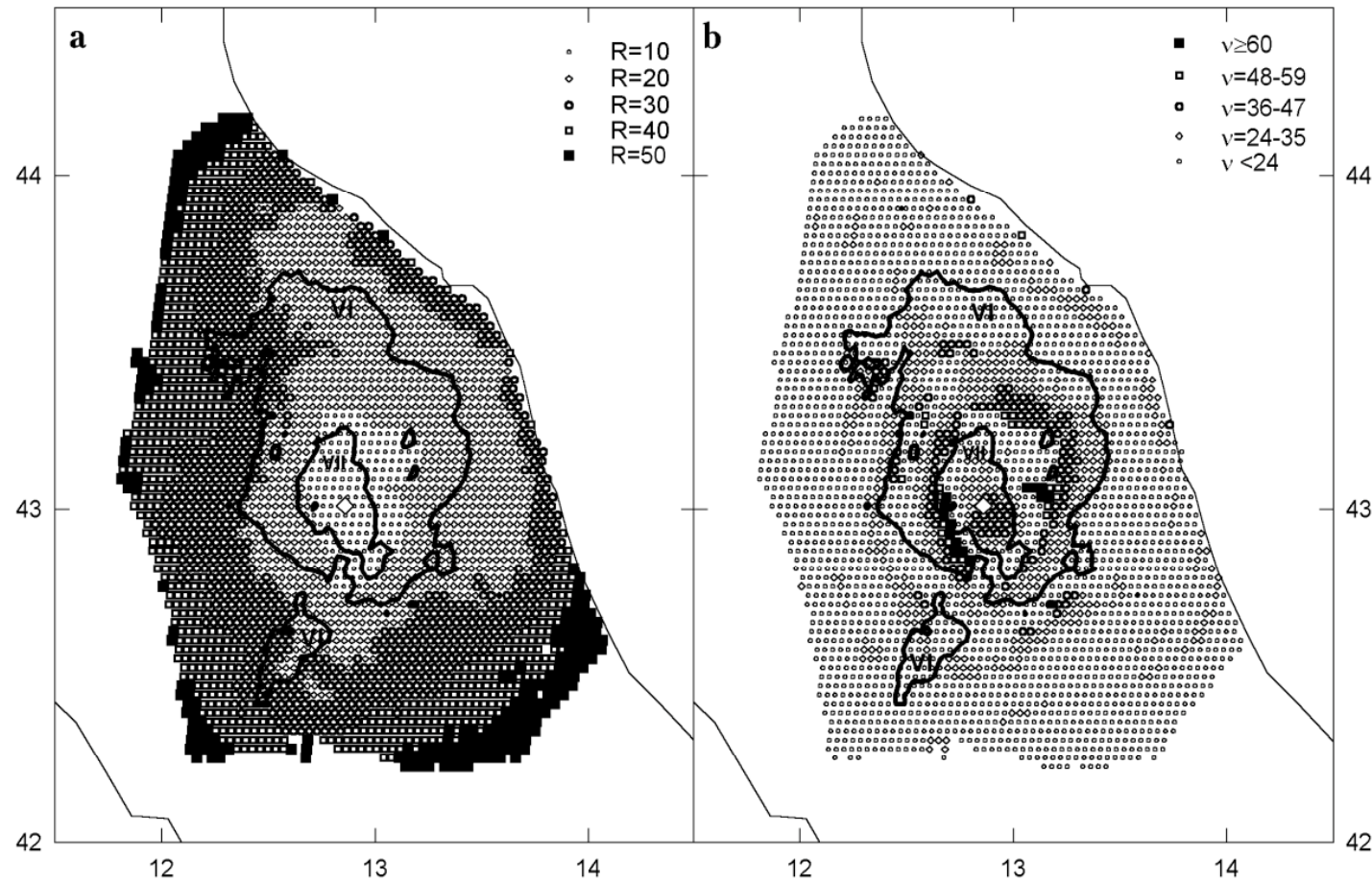
Rappresentazione schematica di isosime non semplicemente connesse (disconnesse). In colore le parti secondarie "anomale"

***Il Metodo MPF.*** Lo scopo del metodo è quello di ridurre il rumore contenuto nei dati. Un cerchio  $B_R(g_0)$  di raggio  $R$  è centrato su un punto  $g_0$  di una griglia regolare. Il raggio è scelto in modo che almeno  $n_p(g_k, I_k)$  punti di osservazione cadano nel cerchio. I dati all'interno del cerchio sono interpolati con una superficie di grado 2,  $P_2(g)$ , mediante il metodo dei minimi quadrati. Il valore assunto da  $P_2(g)$  al centro,  $g_0$ , del cerchio viene assunto come stima  $(g_0)$  di  $I$  nel punto  $g_0$ .

Dato che  $l$  è una quantità intera e quindi discreta, il raggio  $R$  può essere scelto in modo che il numero di diversi valori di intensità in  $B_R(g)$  superi un certo valore  $n_l$ . Valori tipici di  $n_l$  ed  $R_0$  per i dati italiani sono

$$n_l = 3, R_0 = \min(70 \text{ km}, D/4),$$

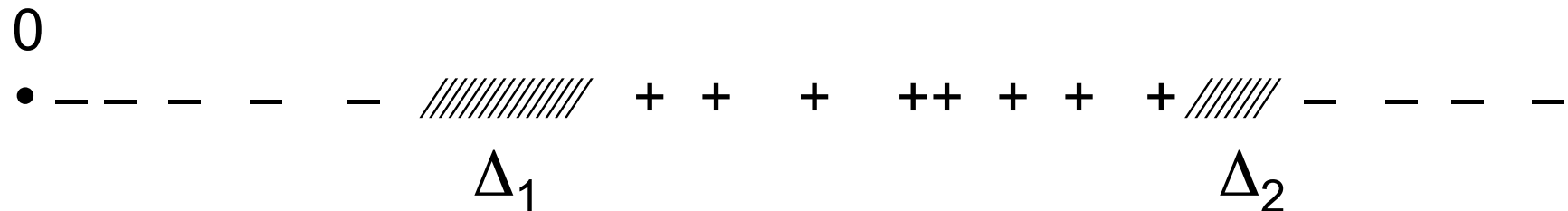
dove  $D$  è il diametro che racchiude tutti i “punti” di misura  $\{g_k\}$ .



Terremoto di Colfiorito (26.09.1997). Isolinee ottenute col metodo MPF (Modified Polynomial Filtering) per I=VI e VII; (a) raggio del filtraggio,  $R$ ; (b) numero di siti,  $n_i$ , contenuti nel cerchio di raggio  $R$  usato per il filtraggio.

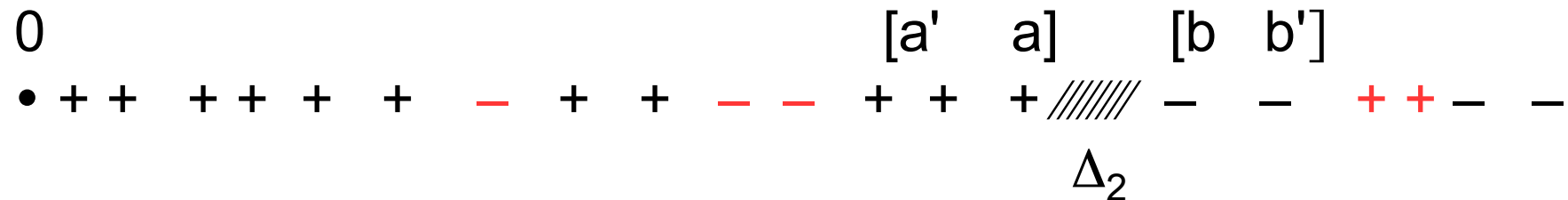
- Siccome la mappa dei dati di intensità macrosismica è unica, mentre il numero di isosisme compatibile con la mappa è infinito, abbiamo sviluppato il metodo delle linee di confine diffuse (DB - Diffused Boundary) anche per visualizzare l'incertezza nelle isosisme.

**Metodo DB.** Come esempio consideriamo il caso di osservazioni  $(g_k, l_k)$  monodimensionali. Supponiamo che si debbano separare  $l_k \geq J$  punti (indicati con '+') da  $l_k < J$  punti (indicati con '-') giacenti su di una linea. In generale, in assenza di rumore, si osserva un gruppo di '+' delimitato da due gruppi di '-':

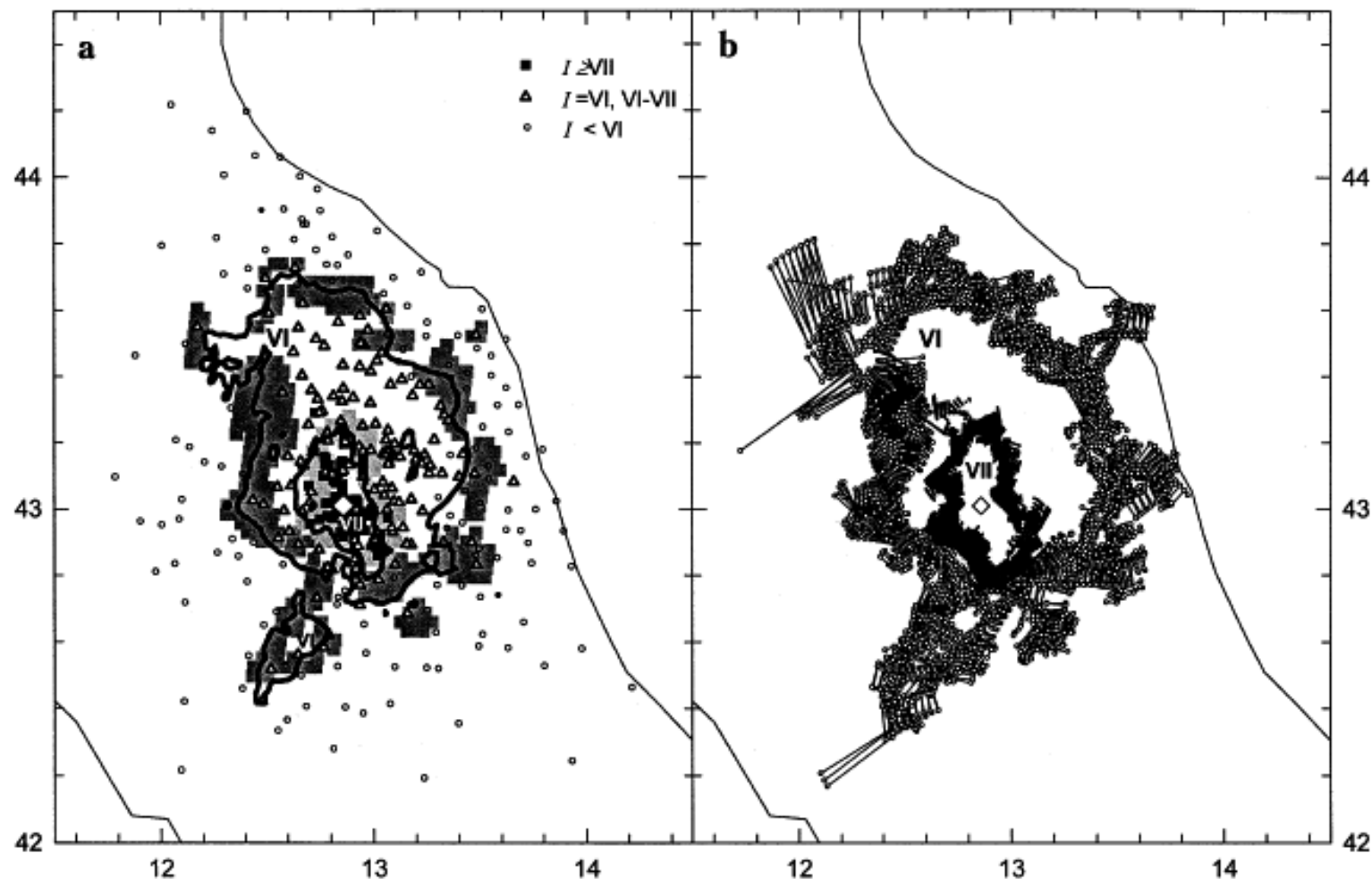


Gli intervalli vuoti  $\Delta_1$  e  $\Delta_2$  che separano i '+' dai '-' definiscono la reale zona di confine e sono utilizzati per delimitare le linee di confine diffuse (DB) di livello  $J_1$  e  $J_2$ .

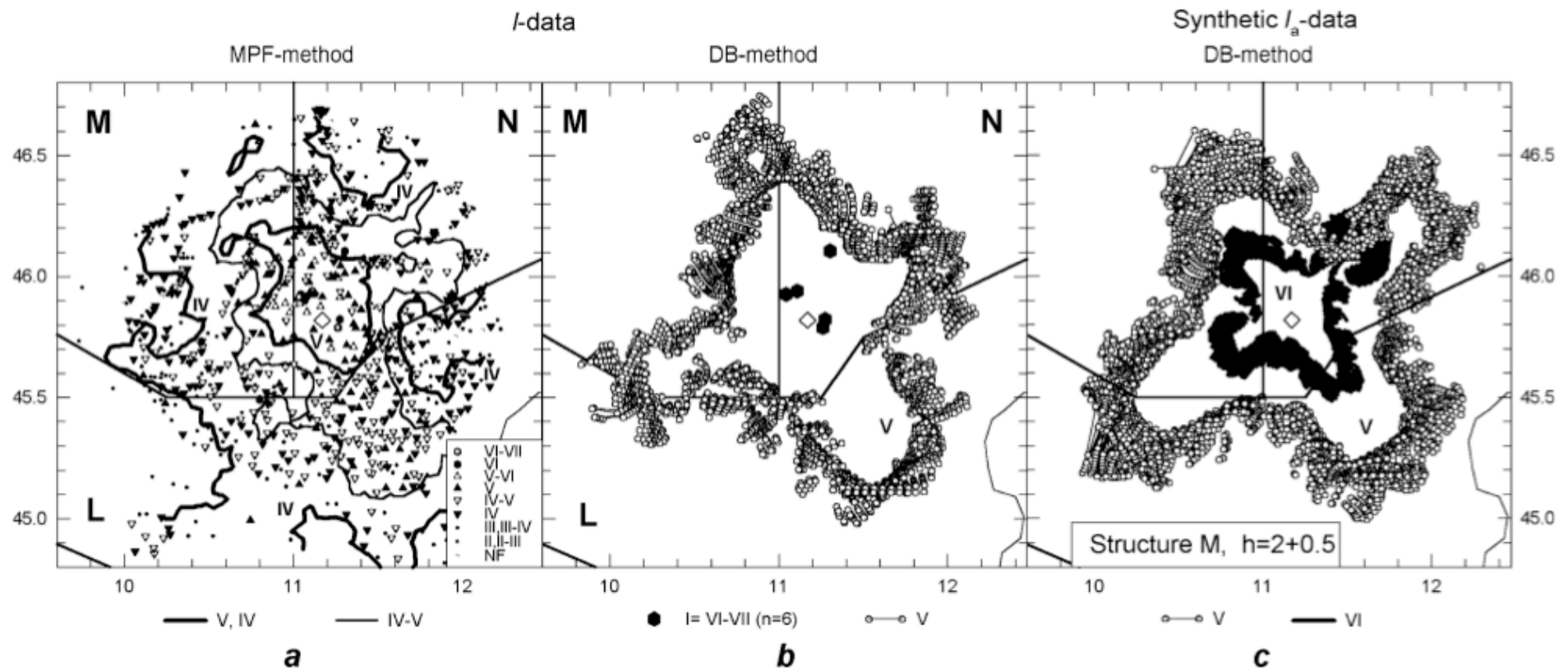
Se i dati contengono rumore una situazione tipica può essere la seguente:



E' naturale assumere che i '+' attornati da '-', all'estremità destra della figura, siano erronei. Pertanto, si può definire un intervallo  $\Delta_2 = (a, b)$  che separa il gruppo di '+'  $[a', a]$  dal gruppo di '-'  $[b, b']$  e che ha la seguente proprietà: il numero di '+' nell'intervallo  $(a, \infty)$  è  $< \varepsilon \cdot 100\%$  del numero totale di '+' nell'intervallo  $(0, \infty)$ , mentre il numero di '+' nell'intervallo  $[a', \infty)$  è  $> \varepsilon \cdot 100\%$ . In tal caso  $\Delta_2$  definisce l'estremo destro della linea di confine diffusa (DB) fra '+' e '-'.



Terremoto di Colfiorito (26.09.1997,  $M_w=6.0$ ): (a) 40% DB per  $I=VI$  and  $I=VII$  (*zone ombreggiate*) ed isolinee MPF; (b) rappresentazione a segmenti di DB per  $I=VI$  e  $I=VII$ .



13/09/1989 Terremoto del Pasubio:

epicentro (45.86, 11.17; rombo);  $h=2$  [17]; FPS=(145°, 85°, -180°) by A. Frepoli (class A);  $M_L=5.1$  (NEIC), 4.4.

a) Isosisme MPF e osservazioni (simboli); b) dati grezzi (simboli) ed isosisma DB di livello  $I=V$ ; c) isosisme DB teoriche di livello  $I_a=V, VI$ .

# Il terremoto del 1117 in Valle Padana

- Le strutture tettoniche responsabili del terremoto del 1117 attendono ancora di essere chiaramente identificate e caratterizzate.
- È necessario calcolare degli scenari sintetici variando alcuni parametri della possibile sorgente sismica in modo da individuare la configurazione che permette di riprodurre al meglio le osservazioni macrosismiche .

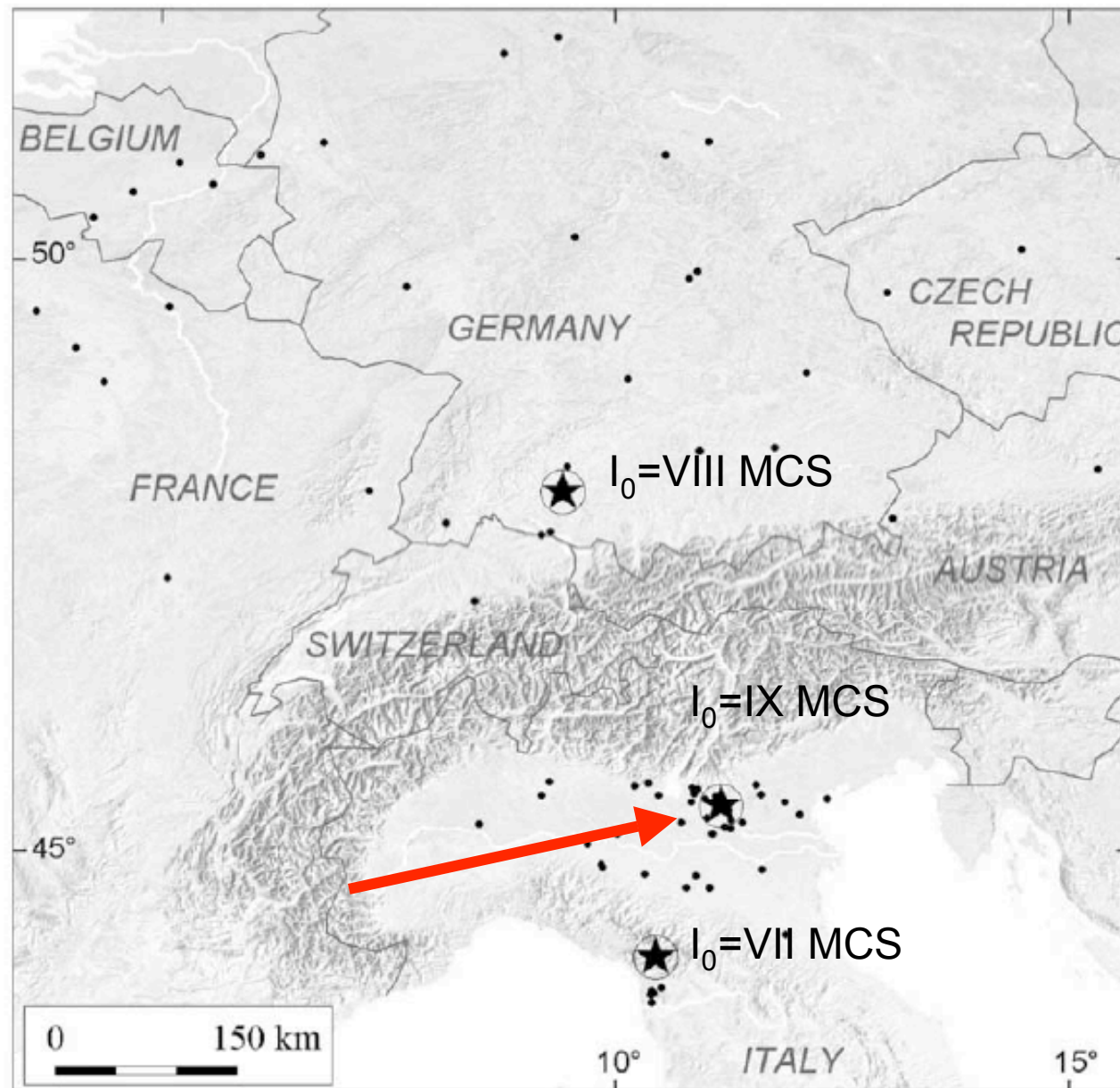
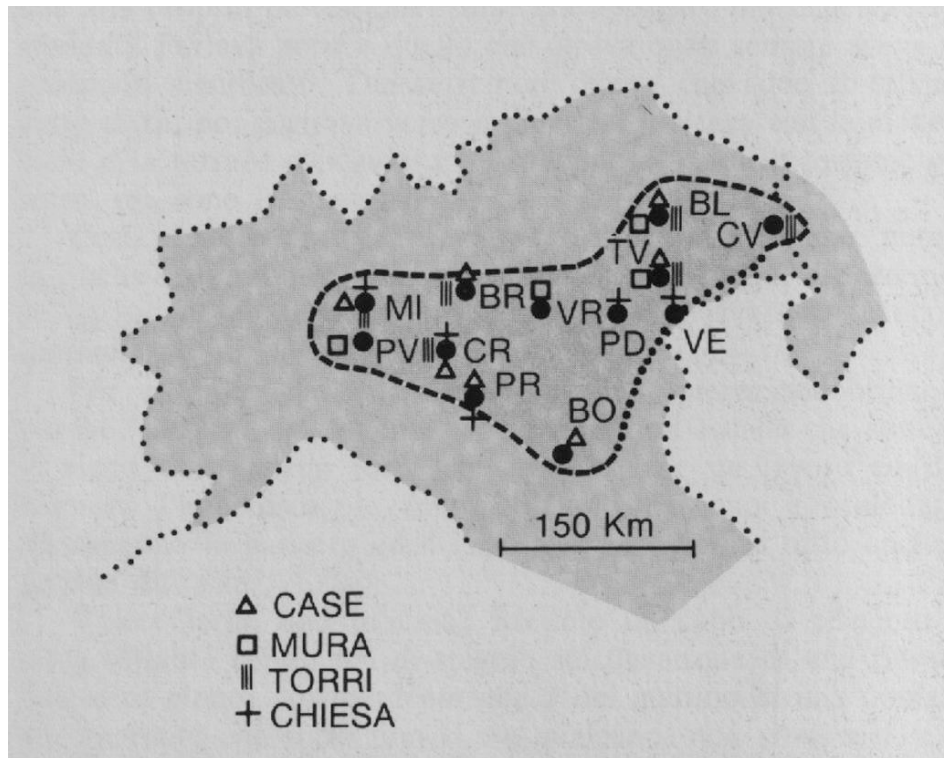


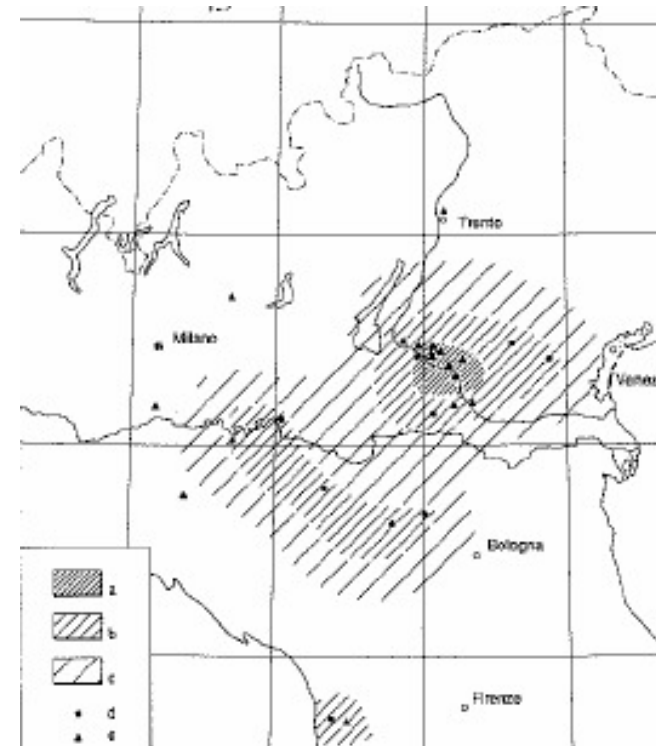
Figure 7. General map of all three earthquakes.

Osservazioni  
macrosismiche  
relative al terremoto  
del 1117 in Valle  
Padana

## Osservazioni macrosismiche - Isosisme osservate



Isosisma di intensità IX (MCS)  
riportata in **Caputo** (1987);



Campo macrosismico riportato in **Serva** (1990) – intensità (MCS) stimate: a) IX , b) VIII, c) VII, d) località con segnalazione di danni (da fonti narrative e documentarie coeve o posteriori autorevoli e da lapidi facenti riferimento diretto al terremoto), e) località con ipotesi di danneggiamento (solo sulla base di informazioni archeologiche relative ad edifici romani).

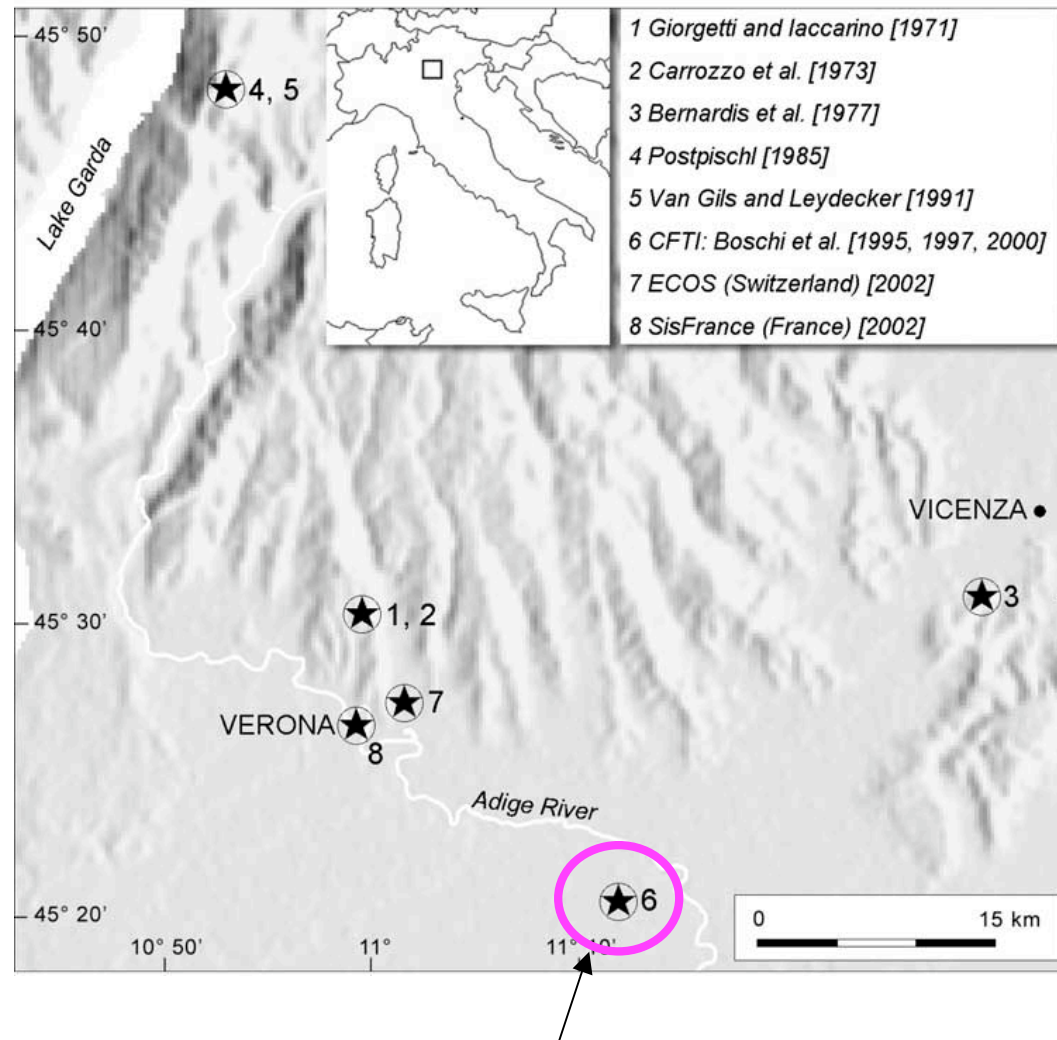
Il metodo MPF è stato applicato  
a tutti i dati macrosismici  
disponibili, la cui quantità non  
è sufficiente per l'applicazione  
del metodo DB

## Confronto tra le isosime osservate

- Il valore dell'isosisma di Caputo, stimato in IX (MCS), risulta elevato sia rispetto alle isosime ipotizzate da Serva (1990) che a quelle calcolate con MPF.
- Per quanto riguarda il campo macrosismico proposto in Serva (1990), va osservato che l'intensità epicentrale (IX MCS) e la localizzazione (epicentro ubicato a 10-15 km a SE di Verona) sono in buon accordo con quanto dedotto con MPF.
- La forma del campo macrosismico calcolato con MPF, col data base massimizzato, è la più simile a quella proposta da Serva (1990), nel quale si può notare una ripresa dell'energia sismica a SW dell'epicentro.

Modellazione delle  
osservazioni  
macrosismiche relative  
al terremoto del 1117  
in Valle Padana

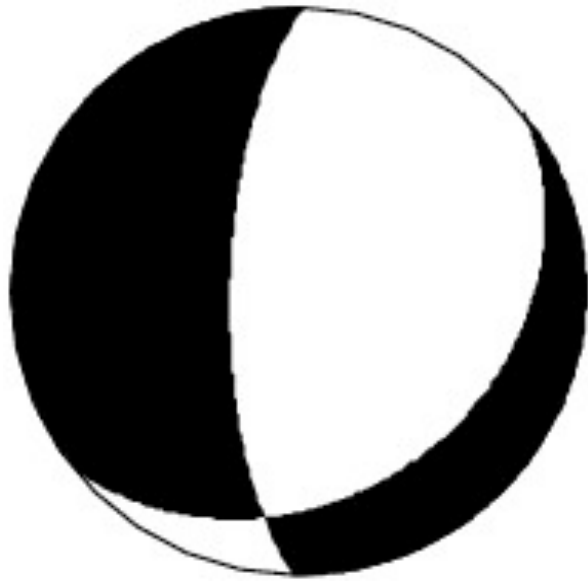
## Parametri della sorgente sismica - Localizzazione



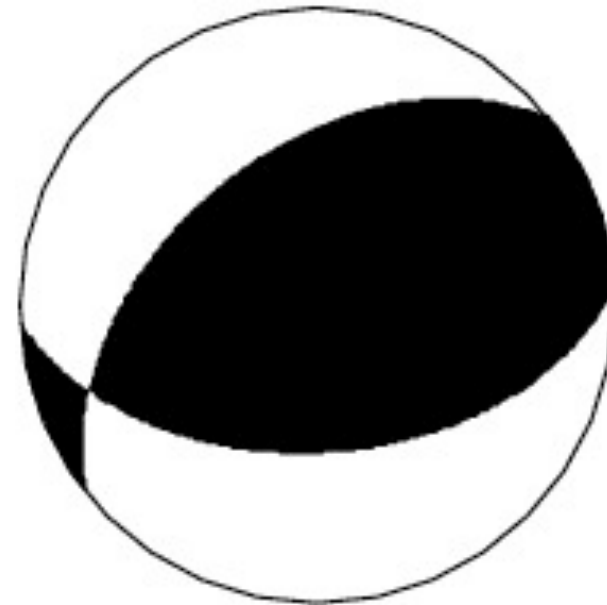
**Epicentri  
proposti per il  
terremoto del  
1117  
in vari cataloghi  
parametrici**  
(Guidoboni et al., 2005)

Localizzazione epicentrale che corrisponde al migliore accordo tra l'isosima di intensità IX (MCS) di Serva (1990) e quella ottenuta con MPF.

## Parametri della sorgente sismica – Meccanismo focale



Zona sismogenetica  
ZS906 (Meletti &  
Valensise, 2004)



Terremoto di Salò del  
24.11.2004 (Guidarelli &  
Panza, 2006).

# Parametri della sorgente sismica

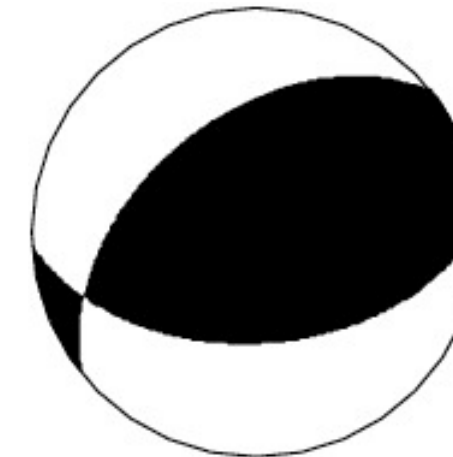
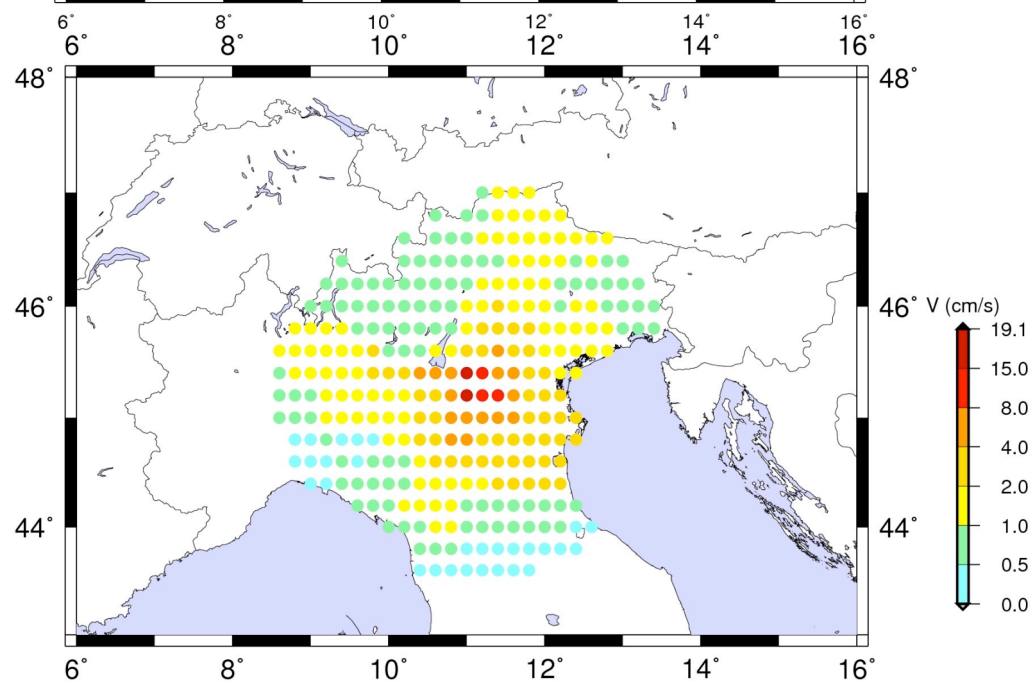
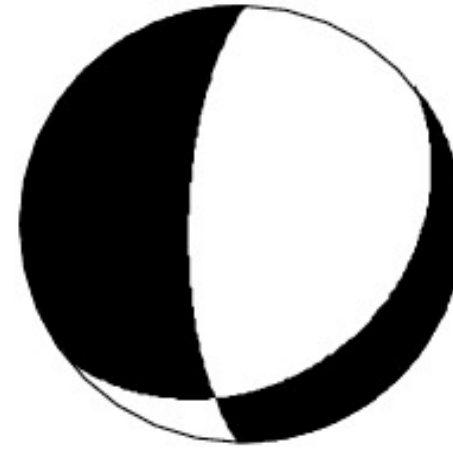
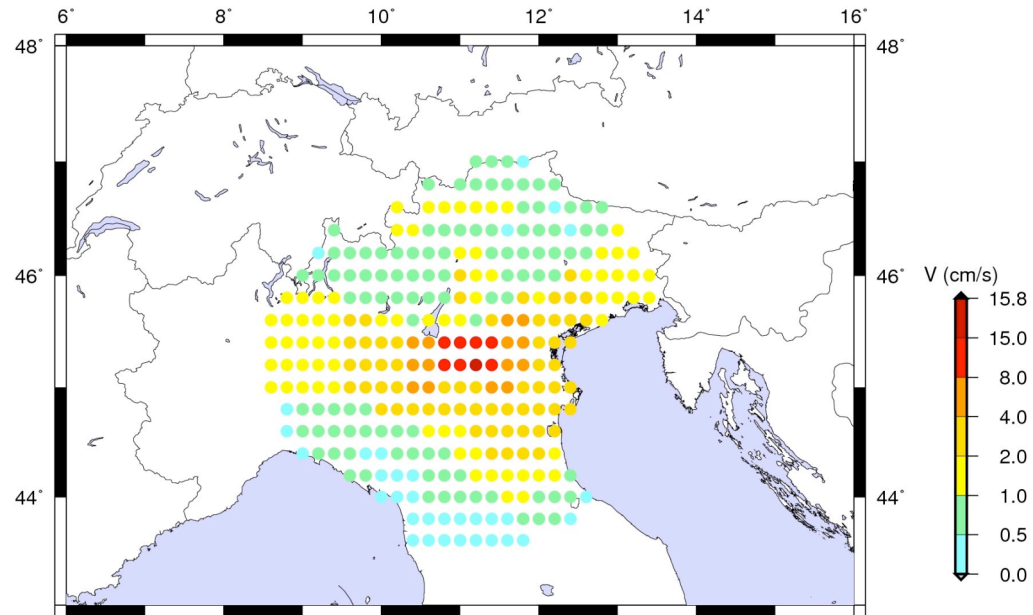
## Magnitudo e Profondità ipocentrale

- $M=6.5$   $h=10$  km catalogo di terremoti CPTI04
- $M=7.0$   $h=15$  km Guidoboni et al. (2005)
- $M=6.8$   $h=10$  km potenziale sismico del sistema di faglie che caratterizzano il margine pedealpino (Serva, 1990)

I segnali sintetici con cui sono costruiti gli scenari sono completi delle principali onde di corpo dirette, riflesse, rifratte e di superficie (quelle che sono responsabili della maggior parte dei danni), quindi sono realistici.

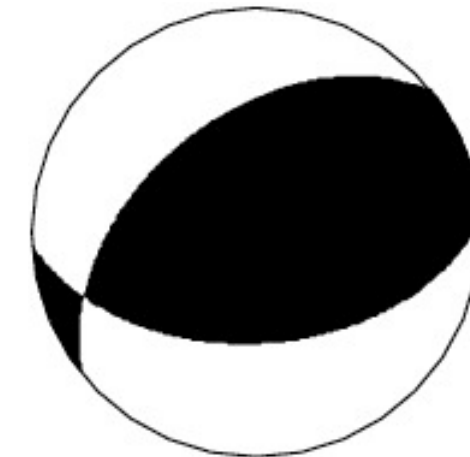
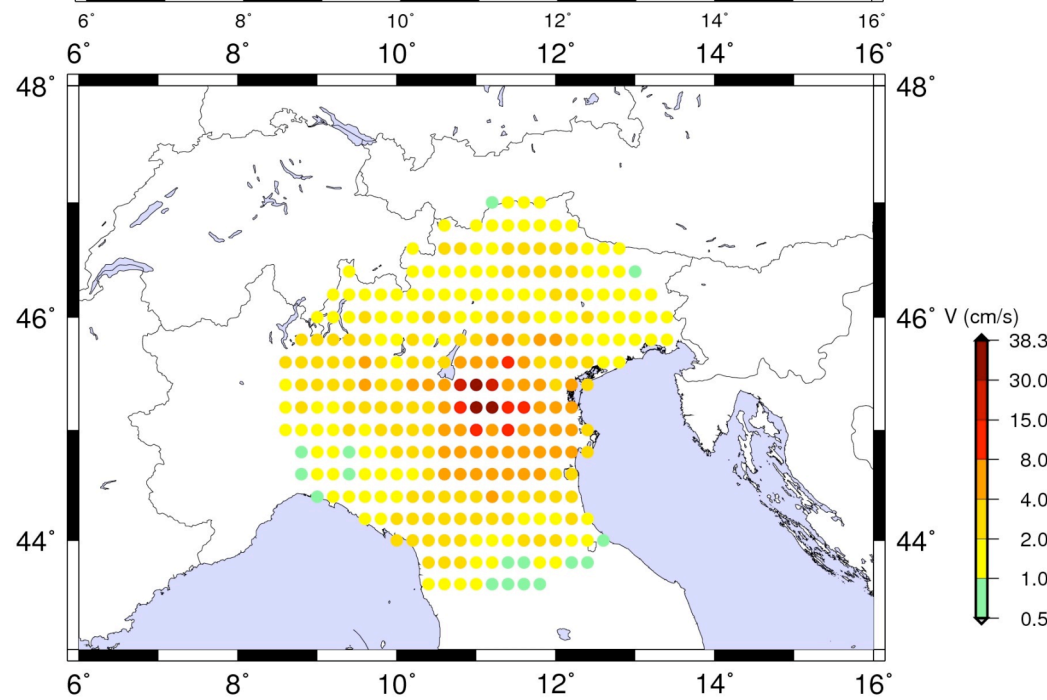
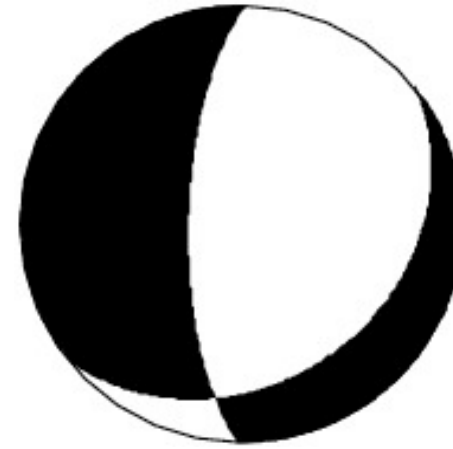
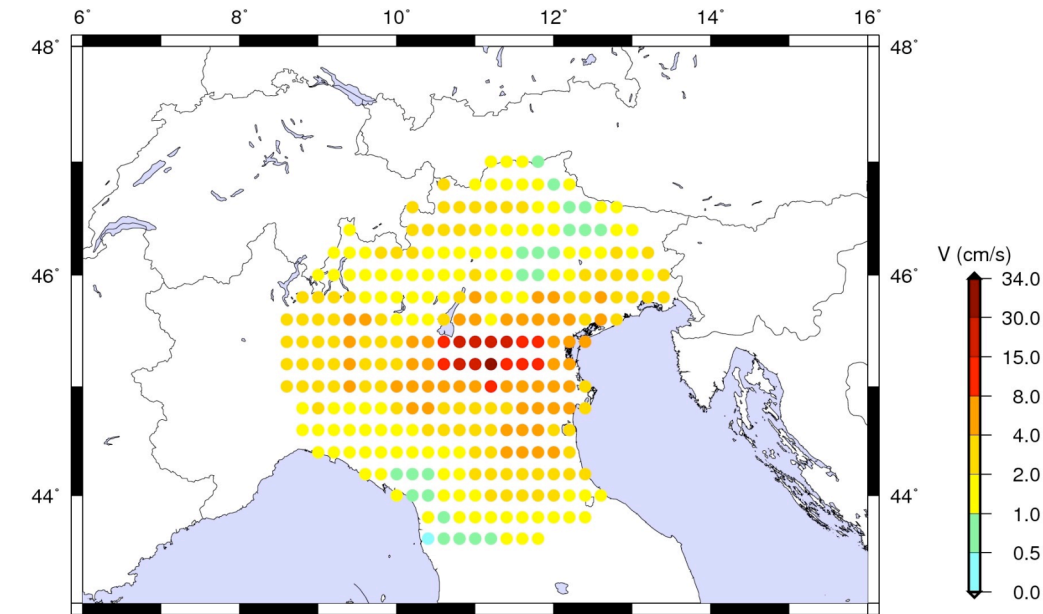
# Scenario

**M=6.5, h=10 km**



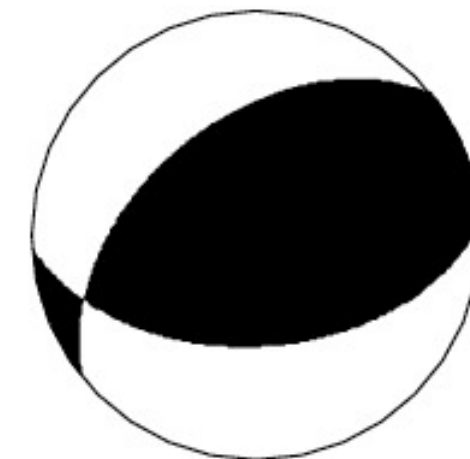
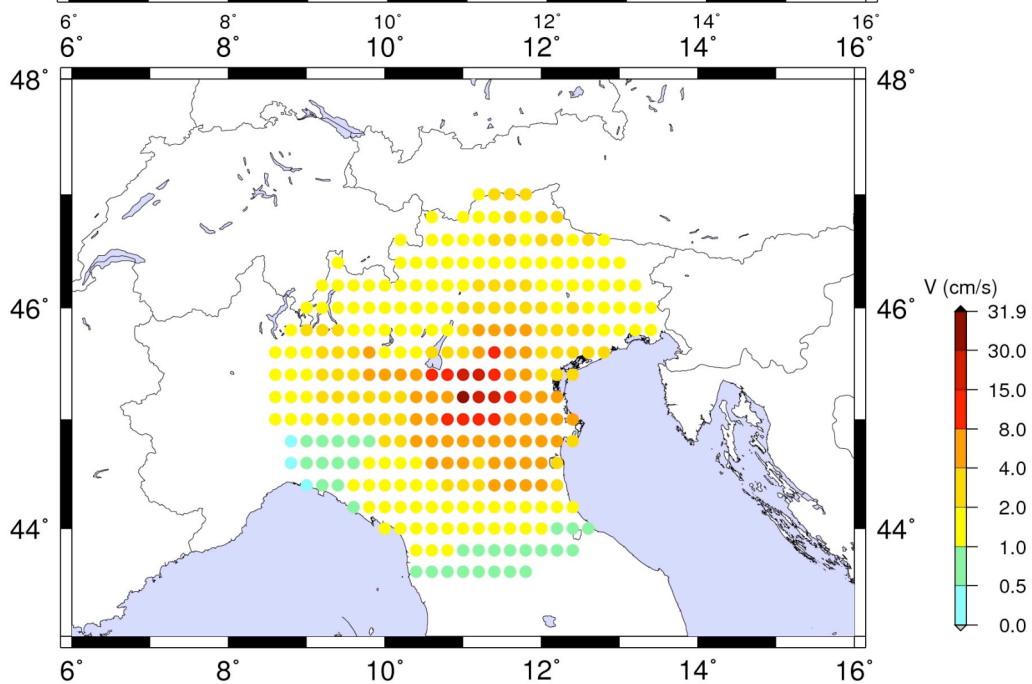
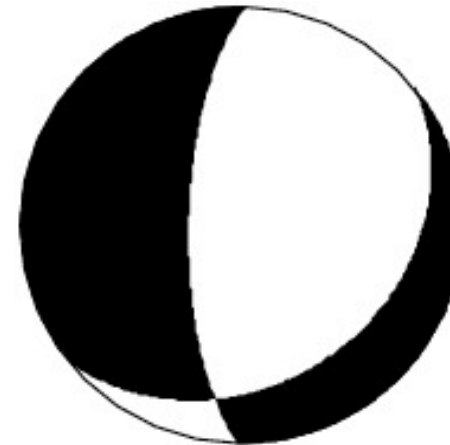
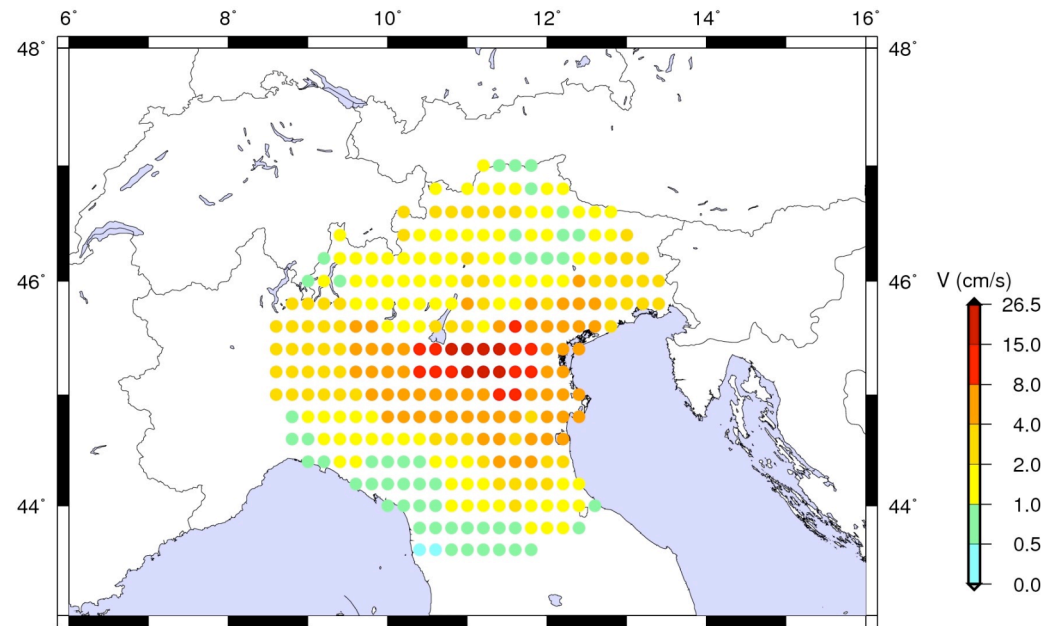
# Scenari

**M=7.0, h=15 km**



# Scenario

**M=6.8, h=10 km**



# Conclusioni

- La modellazione effettuata ha consentito di confermare la **localizzazione epicentrale** proposta da **Guidoboni et al. (2005)**.
- Molto probabilmente la **magnitudo** del terremoto del 1117 è stata prossima al potenziale sismogenetico del sistema di faglie presente nella zona di Verona, valutato in **6.8** (Serva, 1990).
- Per quanto riguarda il meccanismo focale, si propende per un **meccanismo inverso simile a quello del terremoto di Salò del 24.11.2004** (Guidarelli & Panza, 2006).
- Un **meccanismo di rottura alla sorgente** di tipo **bilaterale** è quello che **meglio riproduce i dati di intensità osservati**.

# Riferimenti bibliografici (1)

- Caputo M. (1987) - *Sismologia e segnali precursori dei terremoti*. Calderini, Bologna.
- Gasperini P., Camassi R., Mirto C. & Stucchi M. (2004) - *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04)*. INGV, Bologna.
- Guidarelli M. & Panza G.F. (2006) - *INPAR, CMT and RCMT seismic moment solutions compared for the strongest damaging events ( $M \geq 4.8$ ) occurred in the Italian region in the last decade*. Rendiconti Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. Memorie di Scienze Fisiche e Naturali 124°, Vol. XXX, P. II, pp. 81-98.
- Guidoboni E., Comastri A. & Boschi E. (2005) - *The “exceptional” earthquake of 3 January 1117 in the Verona area (northern Italy): A critical time review and detection of two lost earthquakes (lower Germany and Tuscany)*. Journal of geophysical research, 110, B12309.
- Meletti C. & Valensise G. (2004) - *Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto Conclusivo*. In: Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 allegati.
- Serva L. (1990) - *Il ruolo delle scienze della terra nelle analisi di sicurezza di un sito per alcune tipologie di impianti industriali: il terremoto di riferimento per il sito di Viadana (MN)*. Boll. Soc. Geol. It., 109, 375-411.

# Riferimenti bibliografici (2)

- Kronrod T.L., Molchan G.M. & Panza G.F. (1999) – *Atlas of isoseismals maps for italian earthquakes 1400-1997*. ICTP IC/IR/99/15.
- Molchan G., Kronrod T. & Panza G.F. (2002) – *Shape analysis of isoseismals based on empirical and synthetic data*. Pure Appl. Geophys., 159, 1229-1251.
- Molchan G., Kronrod T. & Panza G.F. (2004) – *Shape of empirical and synthetic isoseismals: comparison for Italian  $M \leq 6.0$  earthquakes*. Pure Appl. Geophys., 161, 1725-1747.
- Klügel J.-U, Mualchin L. & Panza G.F., (2006) - *A scenario-based procedure for seismic risk analysis*, Engineering Geology, 88, 1-22.
- Panza G.F., Craglietto A. & Suhadolc P. (1991) – *Source geometry of historical events retrieved by synthetic isoseismals*. Tectonophysics, 193, 173-184.
- Panza G.F., Vaccari F. & Cazzaro R. (1997). *Correlation between macroseismic intensities and seismic ground motion parameters*. Annali di geofisica, 15, 1371-1382.
- Panza G.F., Romanelli F. & Vaccari F. (2001) - *Seismic wave propagation in laterally heterogeneous anelastic media: theory and applications to seismic zonation*. Advances in Geophysics, 43, 1-95.
- Zuccolo E., Vaccari F., Peresan A., Dusi A., Martelli A., Panza G.F., (2008) - *Neo-deterministic definition of seismic input for residential seismically isolated buildings*. Engineering Geology, 101, 89–95.