

Relazione finale 1° anno
Task 4 – Scenari di validazione, area 2 - Garda

a cura di
Vera Pessina, Gianlorenzo Franceschina e Sara Lovati (INGV-MI)

4.1 Descrizione del terremoto del Bresciano del 24 novembre 2004

Il 24 novembre 2004 alle 23.59, ora locale, la zona W del Lago di Garda è stata interessata da un terremoto di magnitudo $M_I = 5.2$ ($M_w = 5.0$), con epicentro localizzato a 45.685 N e 10.521 E (INGV-CNT Bollettino sismico) e profondo circa 10 km (Augliera et al., 2006).

I comuni maggiormente colpiti sono stati quelli di Vobarno, Salò, Gardone Riviera e Toscolano Maderno (QUEST, 2005), ma ben 66 sono quelli che hanno registrato intensità I_{MCS} da V a VII – VIII; i danni, che si aggirano a circa 215 milioni di euro (<http://www.provincia.brescia.it/protezione-civile/terremoto>) sono dovuti a 3700 edifici danneggiati e 300 chiese.

4.2 Dati di danneggiamento e dati di intensità

Le osservazioni effettuate a seguito dell'evento (Dimova et al, 2004) segnalano che i danni si sono concentrati nei centri storici e sono imputabili prevalentemente ad edifici di due (tre) piani, in muratura, costruiti prima della guerra, spesso modificati senza criteri sismici. La presenza di questa tipologia edilizia risulta essere costante, eppure il danneggiamento dei centri storici non è stato generalmente diffuso. Analizzando infatti la distribuzione dell'intensità macrosismica I_{MCS} (Fig. 1), si nota come i massimi valori di intensità non siano simmetricamente distribuite attorno all'epicentro, ma siano concentrati in un'area di 100 km², in direzione S e SO (intensità osservata: VII e VII-VIII). A parità di distanza epicentrale (10-15 km), in direzione opposta (N e NE), la registrazione di pochi e bassi valori di intensità (V e V-VI) non si può spiegare con la sola scarsità di centri abitati.

4.3 Geologia dei siti

In alcuni casi il danneggiamento agli edifici non è stato diffuso, ma risulta concentrato in aree probabilmente affette da amplificazione locale (ad es. gli edifici posti lungo il fiume Chiese, a Vobarno). Per questa ragione si sono indagate, ad una scala coerente con le analisi sub-regionali, le condizioni di sito delle località macrosismiche. E' stata considerata, in prima battuta, una classificazione geologica a scala 500.000 che divide le tipologie del terreno in suolo con capacità/possibilità amplificative e non. In Fig. 2 si riportano le osservazioni macrosismiche, differenziando quelle poste su suolo (+) e quelle localizzate a contatto di formazioni geologiche diverse (triangolo).

Successivamente i siti entro i 30 km di distanza epicentrale sono stati caratterizzati attraverso le informazioni dei Fogli Geologici al 100.000, e su questa classificazione si è provveduto a fare i successivi confronti. Non si sono invece potute utilizzare le informazioni a scala 1:10.000 in quanto esse ricoprono una zona piuttosto limitata.

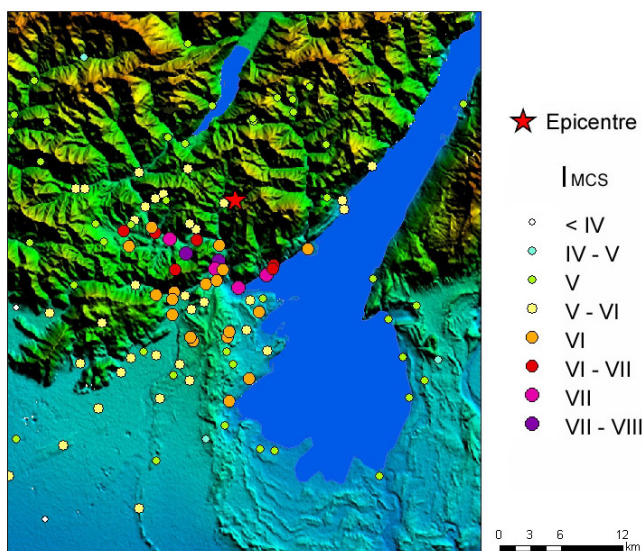


Fig. 1: Campo macrosismico dell'evento del 24 Novembre 2004 ($M_l = 5.2$)

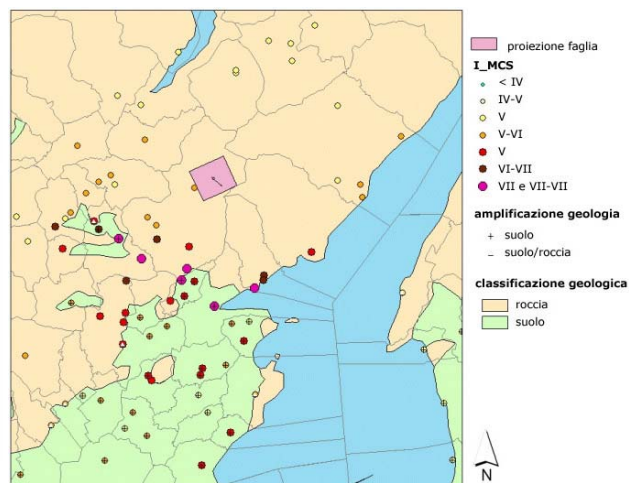


Fig. 2: Caratterizzazione geologica (scala 1:500.000) delle osservazioni macrosismiche

4.4 Studi esistenti sui dati di vulnerabilità e microzonazione

I dati di vulnerabilità derivano da uno precedente studio condotto in collaborazione da Regione Lombardia e CNR (1996): essi però, non essendo informatizzati, non sono stati utilizzati puntualmente all'interno di questo lavoro, ma sono invece stati impiegati per caratterizzare la vulnerabilità media delle località abitate. In Tab. 1 si riportano i risultati dell'indagine di vulnerabilità, per le sole località con $I_{MCS} \geq VI - VII$, accorpati secondo 3 classi (A = bassa, B = media e C = alta). I valori, raccolti attraverso un opportuno censimento, avvalorano le stime di vulnerabilità a base nazionale realizzate all'interno di un progetto GNDT (Bernardini, 2000).

Tab. 1: Caratterizzazione geologica e livello di vulnerabilità per le località con intensità $\geq VI - VII$

#	Comune - Frazione	I_{MCS}	Caratter. geologica	Vulnerabilità	Note
1	Sabbio Chiese - Cabbio	VII-VIII	suolo		not classified
2	Vobarno - Pompegnino	VII-VIII	suolo		not classified. Indicative municipality's value: <i>medium</i> , moderate quality data.
3	Gardone Riviera - Morgnaga	VII	roccia	B, C	moderate quality data
4	Sabbio Chiese - Pavone	VII	suolo	A	moderate quality data
5	Roè Volciano	VII	roccia	A, B, C	moderate quality data, high vulnerability in historical centres
6	Salò	VII	suolo	A, B	low quality data, partial classification
7	Vobarno - Carpeneda	VI-VII	suolo	A	moderate quality data
8	Preseglie - Gazzane	VI-VII	roccia	A, B	low quality data
9	Gardone Riviera - Il Vittoriale	VI-VII	roccia		not classified
10	Villanuova sul Clisi - Prandaglio	VI-VII	roccia	A, B	
11	Sabbio Chiese - Sabbio	VI-VII	suolo	A, B	moderate quality data
14	Gardone Riviera	VI-VII	roccia	A, B, C	moderate quality data

4.5 Simulazione dell'evento principale attraverso il metodo DSM

In Tab. 2 si riportano i parametri di sorgente utilizzati nelle simulazioni. Si sono considerati diversi punti di nucleazione localizzati nella metà più profonda di faglia, e rappresentati schematicamente in Fig. 3 (in alto a destra, casi da A ad E). La velocità di rottura è stata assunta costante (pari a 2.5 km/s) e la distribuzione di slip omogenea. Il fattore $Q(f)$ è stato posto uguale a $58.3 f^{0.86}$ e il parametro k di diminuzione dell'alta frequenza è stato assunto pari a 0.04 s, e dedotto utilizzando le componenti orizzontali della registrazione di Vallio Terme (GVD).

Tab.2: Parametri geometrici e cinematici della sorgente sismogenetica dell'evento del 24/11/2004 (Pessina et al, 2006)

Parametro	Valore
Latitudine	45.683
Longitudine	10.529
Lunghezza	2.6 km
Ampiezza	2.5 km
Profondità minima	10.0 km
Profondità massima	11.0 km
Strike	246°
Dip	24°
Rake	113°
Slip medio	0.3 m

Le mappe sono state calcolate con una risoluzione di 2x2 km, fino a 35 km di distanza.

In Fig. 3 si confronta lo spettro di Fourier della componente orizzontale della registrazione con quello della media delle simulazioni effettuate. I casi B e D riproducono meglio il dato disponibile: infatti si sono calcolati valori di a_{max} pari a of 47.9 (caso A), 69.9 (B), 42.9 (C), 105.0 (D) e 210.8 (E) gal, da confrontarsi con i valori registrati di 69.6 e 41.0 gal, rispettivamente per le componenti NS and EO.

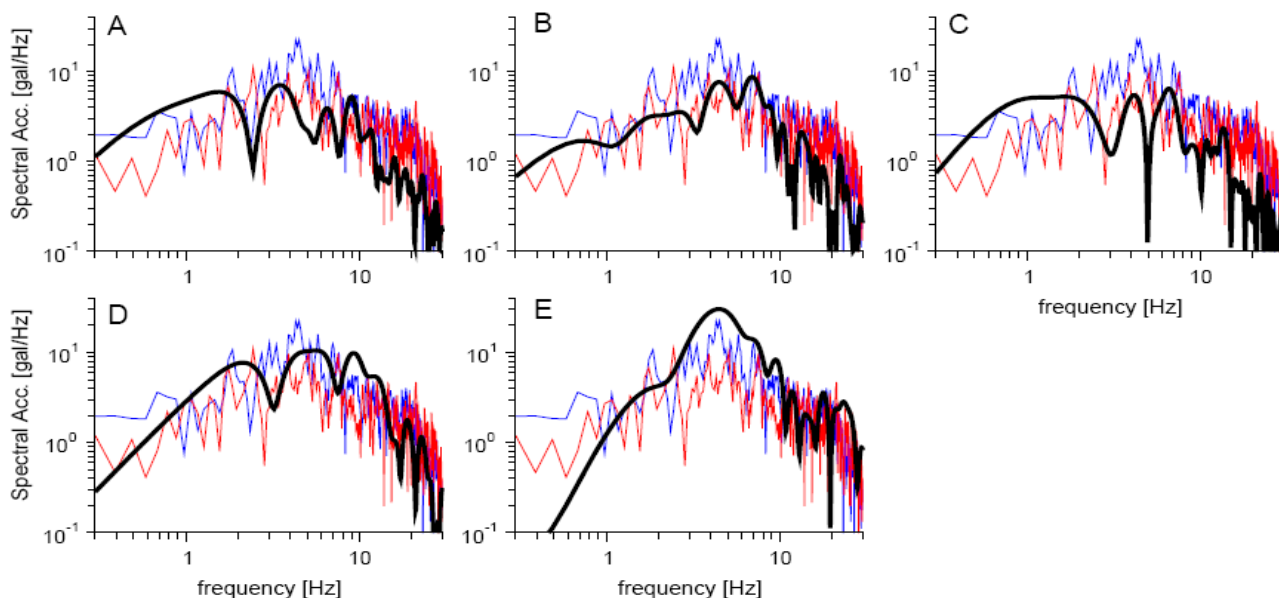


Fig. 3: Confronto tra gli spettri di accelerazione dei sintetici DSM (linea nera) e le registrazioni (linea blue = componente NS, rossa = EO) per l'evento di Salò, alla stazione GVD.

In Fig. 4 si illustrano i valori calcolati di a_{max} per i diversi modelli di rottura: nonostante la moderata magnitudo dell'evento, il basso valore dell'angolo di immersione della faglia implica una grande variabilità nello scuotimento, con valori massimi non sempre coincidenti o vicini all'epicentro. A meno di eterogeneicità a piccola scala (effetti di suolo, vulnerabilità locale), gli scenari B e D meglio si accordano con la distribuzione del campo macrosismico.

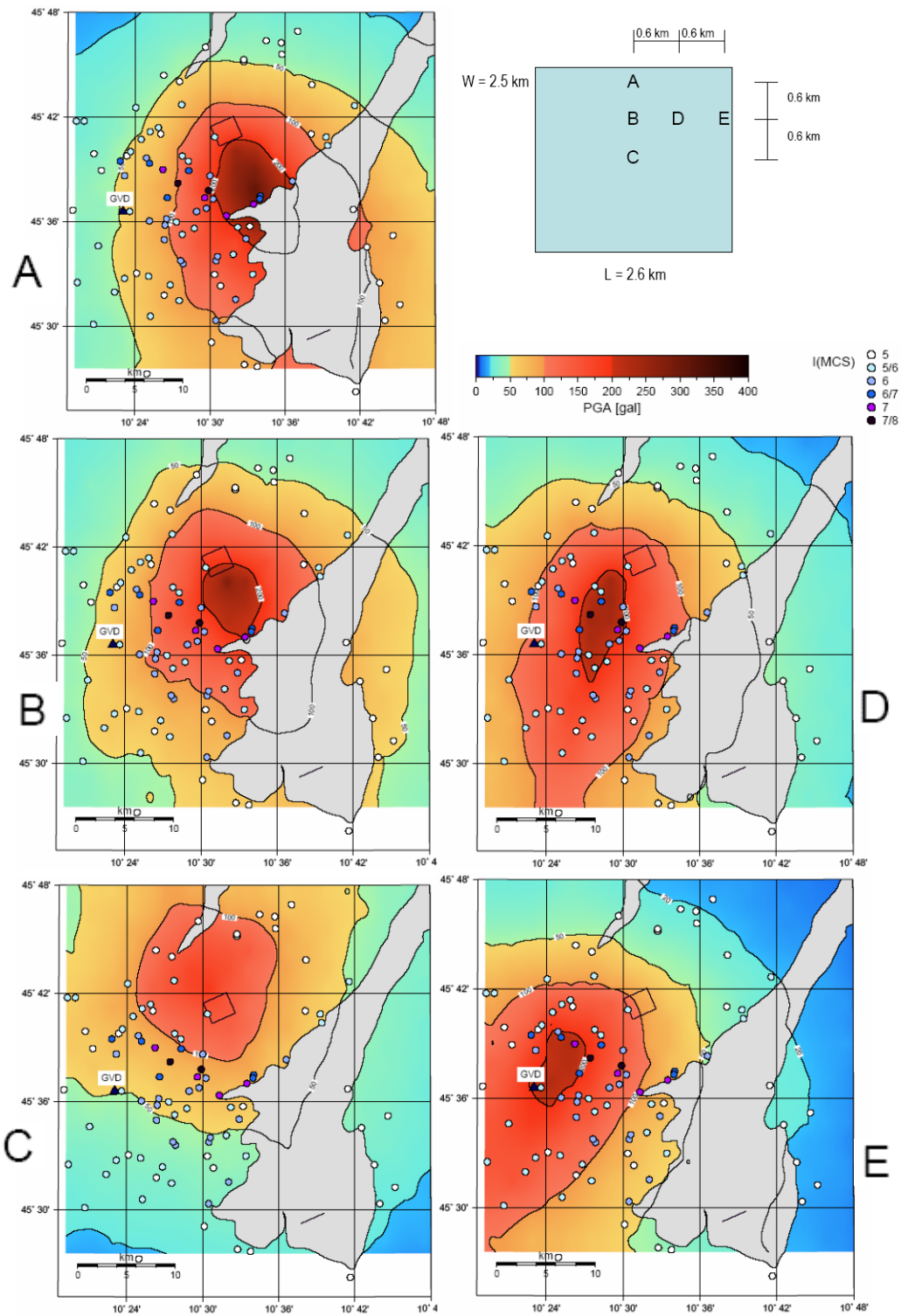


Fig. 4: Valori sintetici di a_{max} ottenuti con la simulazione DSM per differenti scenari di rottura, e schema geometrico della faglia assunta (con punti di nucleazione A, B, C, D, E). Vengono indicate anche le località delle osservazioni macrosismiche e la localizzazione della stazione GVD.

4.6 Scenari

Si sono prodotti scenari a diverso livello di complessità:

Livello 0: sono state utilizzate le leggi di attenuazione isotrope, in intensità, basate su dati Italiani, di Grandori et al. (1991), di seguito indicata come Gr91 (Fig. 5), e di Faccioli e Cauzzi (2005), denominata Fa05. La grande dispersione dei valori di intensità è illustrata in Fig. 6: è soprattutto nei primi 10 km dall'epicentro che i valori osservati variano da V a VII-VIII. L'analisi effettuata è stata limitata con la distanza perché oltre i 60 km si hanno solo osservazioni localizzate su suolo (in pianura Padana). Considerando gli scarti tra i valori di intensità osservati e quelli stimati ($I_{MCS}-I_{est}$), si ottiene una media pari a $-0.1 (\pm 0.7)$ con la relazione Fa05, e una media pari a $-0.6 (\pm 0.8)$ con la relazione Gr91, nei primi 100 km di distanza epicentrale.

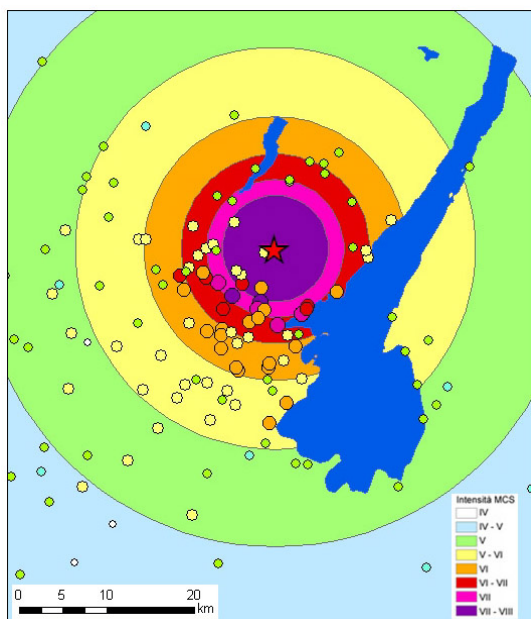


Fig. 5: Scenario di intensità predetto con la relazione Gr91 e valori di intensità I_{MCS} osservati

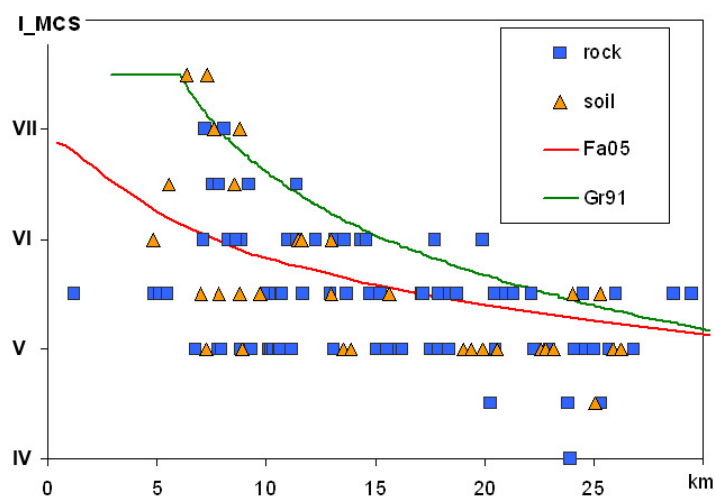


Fig. 6: Distribuzione delle intensità osservate in funzione della distanza epicentrale e confronto con i valori predetti dalle leggi di attenuazione Fa05 e Gr91. Le intensità osservate sono differenziate attraverso una classificazione geologica semplificata

Livello 1: gli scenari prodotti con il metodo DSM sono stati convertiti in valori di intensità attraverso diverse relazioni di conversione: la consapevolezza dei limiti insiti nella conversione ha indotto a verificare e confrontare più di una legge di conversione. Quelle utilizzate sono:

- **Ma92** (Margottini et al., 1992): basata su dati Italiani e valida generalmente fino a intensità VII,
- **RS04** (Rebez e Slejko, 2004): calibrata sulle osservazioni di danno storiche e le registrazioni accelerometriche dell'evento del Friuli del 1976, e adatta per l'Italia Nord Orientale.
- **Fa05_ a_{max}** e **Fa05_ v_{max}** (Faccioli e Cauzzi, 2005): basate sulla stessa base dati di Ma92, allargata ad eventi di intensità maggiore di VIII, che calcola l'intensità in funzione di a_{max} e v_{max} .

In Fig. 7 si mostra il confronto tra gli scarti ($I_{MCS}-I_{est}$), in funzione della distanza epicentrale (a destra) e dell'angolo (calcolato in senso orario dalla direzione di strike). Si è adottato lo scenario sintetico D; le stime fatte con Ma92 e RS04 (rispettivamente eqs. (2) e (5) in Fig. 7) mostrano un comportamento simile, ma con scarti maggiori delle altre due relazioni, soprattutto a grande distanza.

La media degli scarti calcolata con **Fa05_ a_{max}** è di $-0.73 (\pm 0.62)$, quella calcolata con **Fa05_ v_{ma}** è pari a $-0.51 (\pm 0.53)$. Questi valori sono da confrontarsi con quelli degli scenari di livello 0.

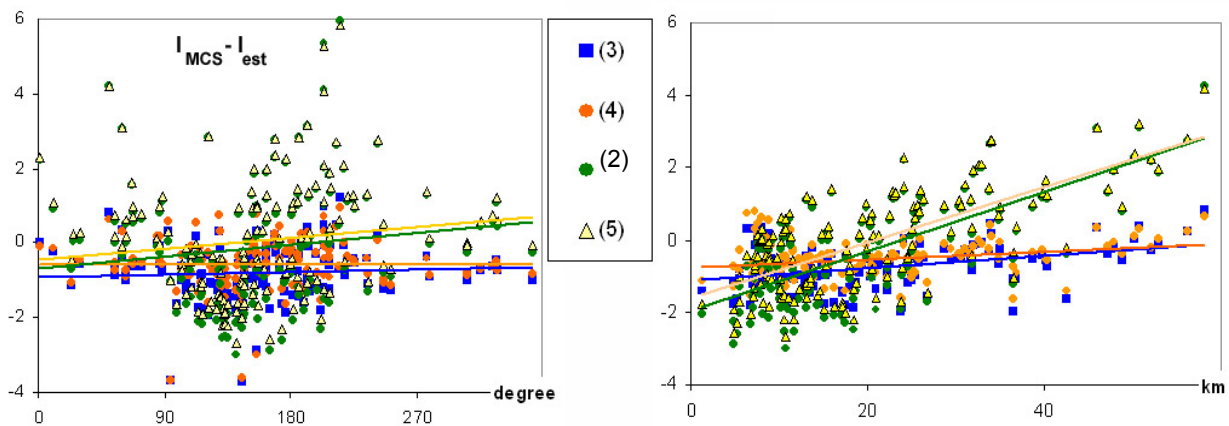


Fig. 7: Distribuzione degli scarti ($I_{MCS} - I_{est}$) in funzione della distanza epicentrale (destra) e dell'azimuth (sinistra): i punti colorati rappresentano gli scarti ottenuti attraverso le equazioni (2) = Ma92, (3) = Fa05_ a_{max} , (4) = Fa05_ v_{max} e (5) = RS04; le rette sono le rispettive regressioni lineari

4.7 Valutazione degli effetti di sito

Le località con intensità massima (VII- VIII) sono localizzate su depositi fluvioglaciali e sono state oggetto di studio per la valutazione di possibili effetti di sito. Utilizzando gli accelerogrammi sintetici come input calcolato per condizioni di roccia, e attraverso un'analisi semplificata monodimensionale realizzata con il

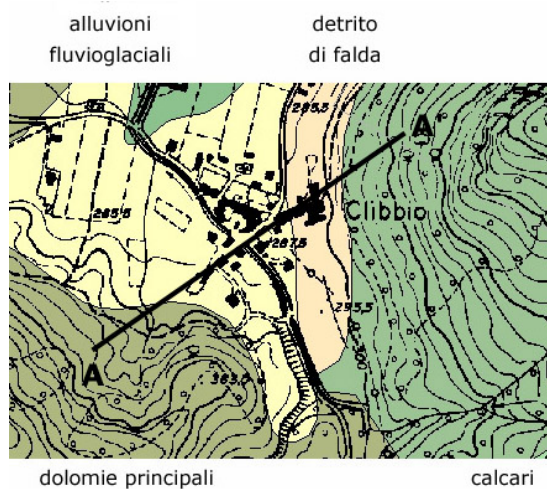


Fig. 8: Traccia della sezione del profilo stratigrafico di Clibbio ($I_{MCS} = VII-VIII$)

codice EERA (Bardet et al., 2000), si sono calcolati i valori di scuotimento in superficie in termini di accelerazione, velocità e spostamento massimo.

Il fattore di scuotimento (valore su suolo/valore su roccia) varia nell'intervallo $1.2 \div 1.6$ in termini di a_{max} , e tra $1.6 \div 2.3$ in termini di v_{max} . Utilizzando le relazioni Fa05_ a_{max} e Fa05_ v_{max} , l'incremento di intensità tra i valori calcolati al suolo, rispetto a quelli sintetici su roccia, varia tra 0.4 e 0.59, e risulta compatibile con le assunzioni operative solitamente adottate (Bard, 1998).

In Fig. 8 si riporta la traccia della sezione utilizzata per le analisi 1D per la frazione di Clibbio. Le informazioni circa il profilo stratigrafico di Pompeggino (Vobarno) sono invece state estrapolate da lavori precedenti (Regione Lombardia e CNR, 1996).

4.8 Attività prevista per il II anno

- Dal momento che i dati di danneggiamento recuperati finora (forniti prevalentemente da UR4) sono a livello comunale e non localizzabili puntualmente, si proseguirà nella ricerca di dati di danneggiamento a miglior risoluzione informatizzati e/o informatizzabili.
- Si aggiorneranno gli scenari di livello 0 con leggi di attenuazione in intensità più recenti (Faccioli e Cauzzi, 2006)
- Si procederà alla validazione degli scenari di I livello (DSM) con parametri alternativi a quelli di picco utilizzati finora.

- Augliera P., D'Alema E., Marzorati S., Massa M., De Gori P., Marchetti A., Cimini G., Colasanti G., Chiarabba C., Vallocchia M. (2006). Data set Garda 2004, INGV, only CD-ROM.
- Bardet, J.P., Ichiil, K., Lin, C.H. (2000). *EERA A Computer Program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits*. Univ. of Southern California Department of Civil Engineering
- Bernardini, A., (a cura di) (2000). *La vulnerabilità degli edifici: valutazione a scala nazionale della vulnerabilità sismica degli edifici ordinari*. CNR-GNDT, Roma, 175 pp. + CDROM
- Dimova S., Mola E., Negro P., Pinto A. V., Colombo A. (2004) The Garda Area (Italy) Earthquake of 24 November 2004: A Field Report. *Internal Report* Joint Research Centre (ELSA)
- Faccioli, E., Cauzzi, C. (2005). An attempt at improving felt intensity assessment of historical earthquakes by means of instrumentally based correlations. *Proceedings of Luis Esteva Symposium - Earthquake Engineering Challenges and Trends* - Mexico City, September 12, CD-ROM
- Faccioli, E., Cauzzi, C. (2006). Macroseismic intensities for seismic scenarios, estimated from instrumentally based correlations, 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, September 3-8, 2006, Geneva, Switzerland.
- Grandori, G., Drei, A., Perotti, F., Tagliani, A. (1991). Macroseismic intensity versus epicentral distance: the case of central Italy. *Tectonophysics*, **193**, 165-171.
- INGV-Centro Nazionale Terremoti (2006). Seismic Bulletin. <http://www.ingv.it/~roma/reti/rms/bollettino>
- Margottini C., Molin D., Narcisi B., Serva L. (1992). Intensity versus ground motion: a new approach using Italian data. *Engineering Geology*, **33**, 45-58.
- Pessina V., Franceschina G., Vannoli P., Luzi L., Pacor F. (2006). Damage distribution and seismological model of the November 2004, Salò (Northern Italy) earthquake. 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, September 3-8, 2006, Geneva, Switzerland. Paper N. 1371
- QUEST (QUick Earthquake Survey Team) (2005). Rilievo macrosismico del terremoto del Garda del 24 novembre 2004, *Ingegneria Sismica*, Anno XXII - N.2, 44-59.
- Rebez A., Slejko D. (2004) Relazioni di conversione fra a_{max} e intensità, *Int. Report OGS-17/04/OGA-8*, 8pp.
- Regione Lombardia e CNR (1996). *Determinazione del rischio sismico a fini urbanistici in Lombardia*.