

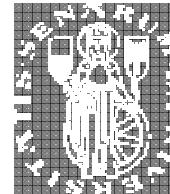
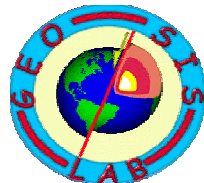
Input sismico per la microzonazione dell'area interessata dal terremoto de L'Aquila del 6 Aprile 2009

*Dario Albarello¹, Paolo Boncio², Mauro Dolce³, Paolo Galli³, Paolo Messina⁴
Bruno Pace², Laura Peruzza⁵, Fabio Sabetta³, Tito Sanò³, Francesco Visini²*

¹ Univ. Siena, ² Univ. Chieti, ³ DPC, ⁴ CNR-IGAG, ⁵ OGS

Su iniziativa del DPC è stato costituito un G.d.L. per concordare la metodologia da utilizzare e definire l'input sismico finalizzato alle simulazioni numeriche per la microzonazione sismica dell'area colpita dal terremoto del 6 Aprile 2009.

Le conoscenze sulla fagliazione attiva, l'abbondanza di informazioni sismologiche storiche e strumentali, e la nuova disponibilità di registrazioni strong-motion in campo vicino, permettono un dettaglio in questo limitato settore della catena appenninica che non ha confronti sul territorio nazionale.

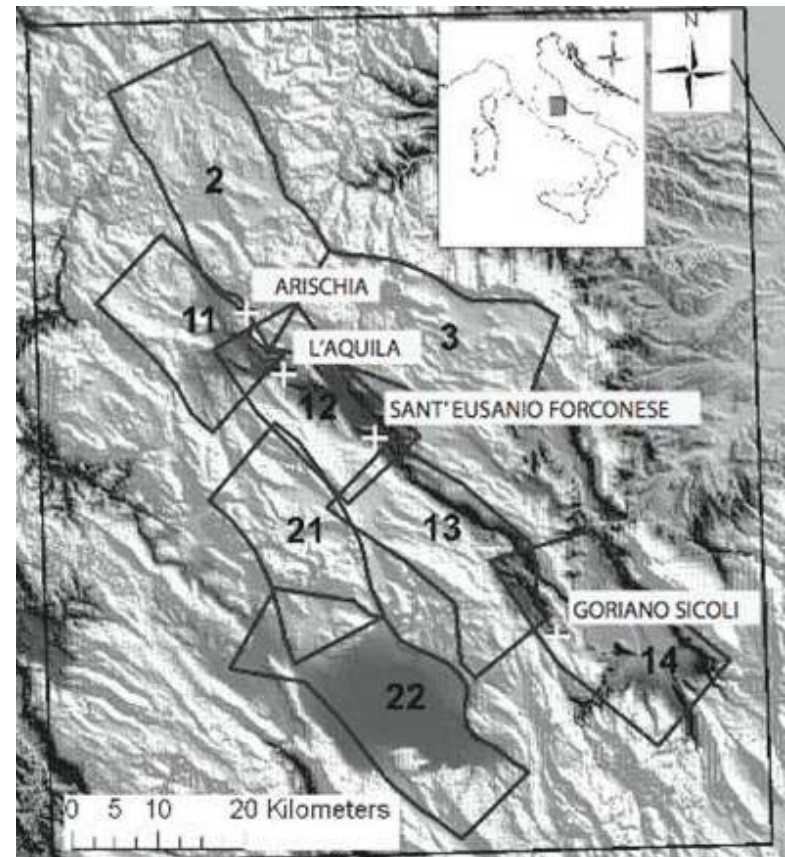


Sono stati selezionati quattro siti considerati rappresentativi delle aree oggetto di studio della microzonazione e per i quali sono state sviluppate le analisi

- | | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| 1) L'Aquila | (Lat. 42.357 N, Lon. 13.396 E) |
| 2) Arischia | (Lat. 42.419 N, Lon. 13.342 E) |
| 3) Sant'Eusanio Forconese | (Lat. 42.289 N, Lon. 13.525 E) |
| 4) Goriano Sicoli | (Lat. 42.081 N, Lon. 13.775 E) |

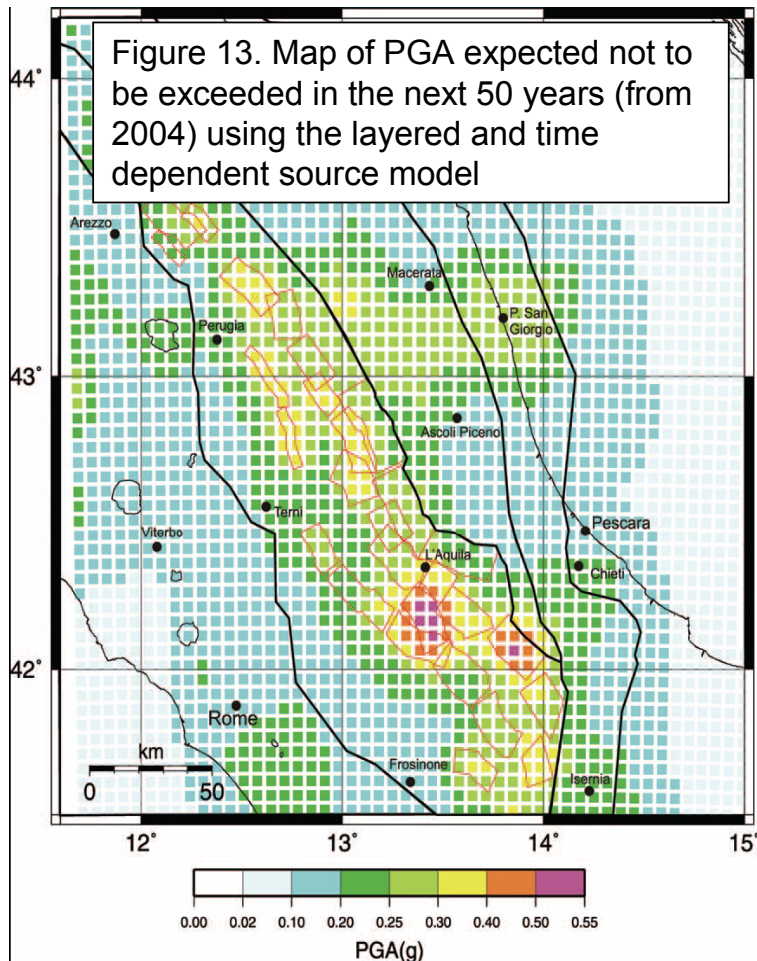
Sono stati utilizzati diversi approcci:

- 1) **Probabilistico**, PSHA dell'area aquilana, aggiornato con i più recenti sviluppi metodologici per spettro a pericolosità uniforme.
- 2) **Deterministico**, terremoto di scenario per la definizione di spettri ed accelerogrammi ricavati da relazioni di attenuazione del moto del terreno :
 - disaggregazione della pericolosità
 - storie sismiche al sito ricostruite da dati macrosismici
 - registrazioni acquisite durante la recente sequenza sismica.



1. Probabilismo sismotettonico con sorgenti individuali e dipendenza temporale

Valutazione probabilistica di pericolosità per l'area aquilana utilizzando il modello di sorgenti noto con l'acronimo di LASSCI (LAYERed Seismogenic Source Model for Central Italy, **Pace et al., 2006**) recentemente sottoposto a validazione nell'ambito delle iniziative internazionali dell'*earthquake forecasting* (<http://eu.cseptestesting.org/>).



Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 96, No. 1, pp. 107–132, February 2006, doi: 10.1785/0120040231
Layered Seismogenic Source Model and Probabilistic Seismic-Hazard Analyses in Central Italy
 by Bruno Pace, Laura Peruzza, Giusy Lavecchia, and Paolo Boncio

Pag 7. “L’Aquila becomes the most hazardous city in the study area as a consequence of the probable activity on the southernmost structure of Campo Felice-Ovindoli (SB 21) in the time-dependent model.”

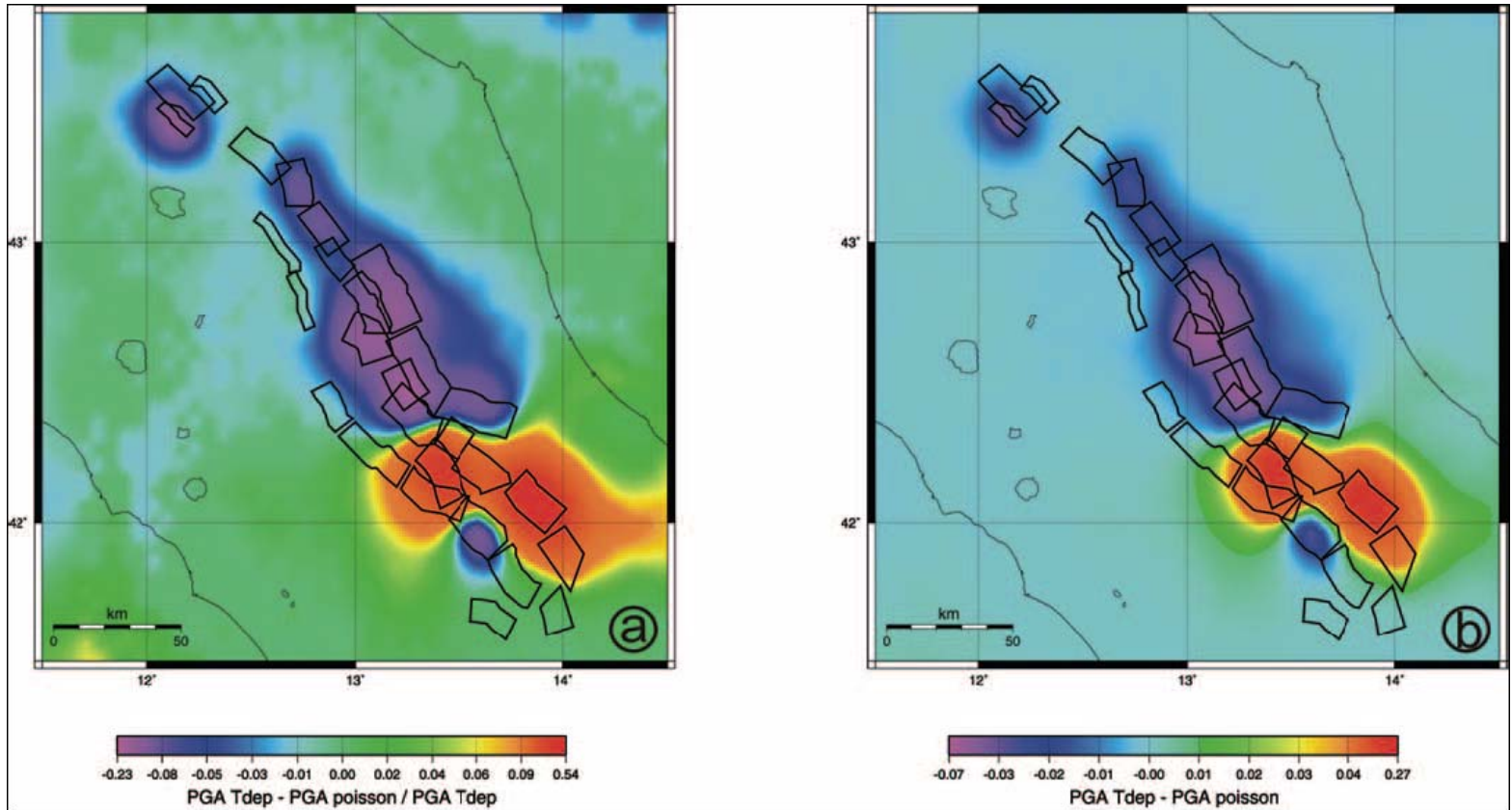
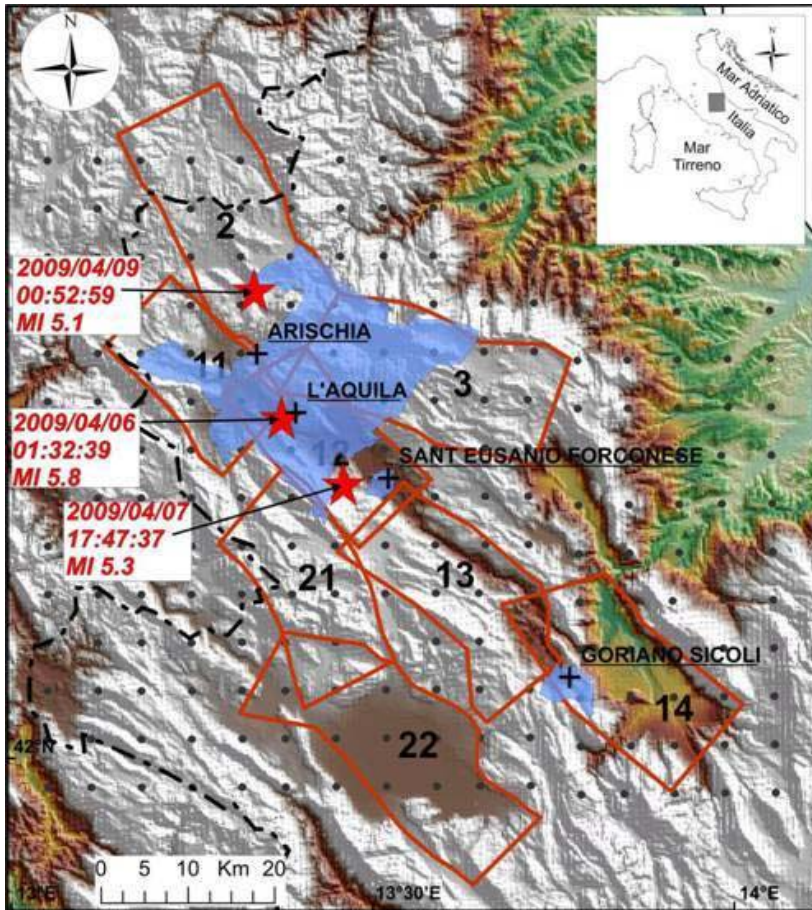
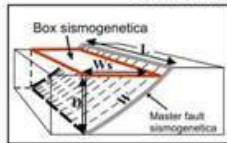


Figure 14. Comparison of Poisson and time-dependent results: (a) relative differences expressed in percentage of PGA; (b) absolute differences in g.

The differences between stationary and nonstationary maps are illustrated in Figure 14; in the area where we have an increasing of hazard in the time-dependent map (area between Campo Felice-Ovindoli and Sulmona), the PGA values are about 50% higher (Fig. 14a) than the Poissonian ones, with a maximum increase up to 0.25g



2 Box sismogenetica con numero identificativo



+ Siti di interesse descritti nella relazione e limiti comunali

--- Limite Regione Abruzzo

Box sismogenetiche:
 2-Gorzano
 3-Gran Sasso
 11-Pizzoli-Pettino
 12-Paganica
 13-Media V. Aterno
 14-Sulmona
 21-Campo Felice-Ovindoli
 22- Fucino

Eventi principali della sequenza aquilana

★ 2009/04/06 anno/mese/giorno
 01:32:39 UTC orario
 MI 5.8 magnitudo locale

il modello di Pace et al. (2006) è stato parzialmente revisionato dal gruppo di lavoro, alla luce dei nuovi dati acquisiti con la sequenza sismica del 2009 e prevede 8 sorgenti individuali nell'intorno dell'area aquilana

Tre livelli di sorgenti:

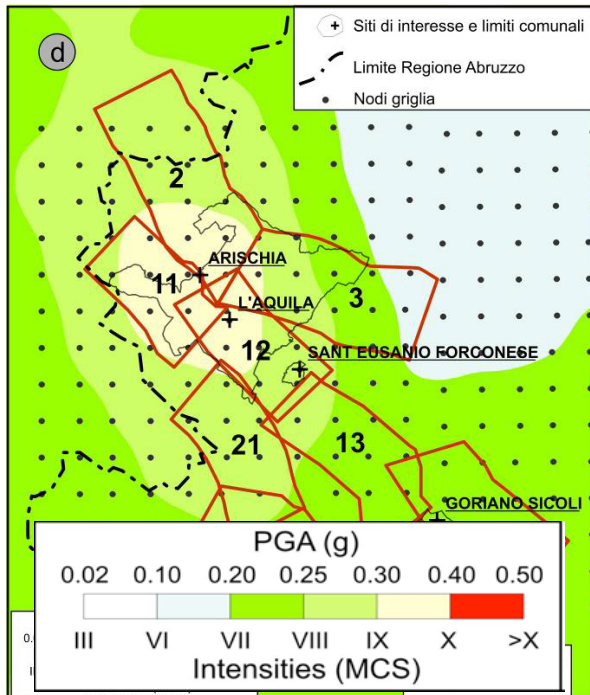
1. sorgenti individuali- proiezione in pianta delle faglie attive ("Box sismogenetiche")
2. provincie sismotettoniche a sismicità omogeneamente distribuita e stazionaria
3. sismicità di background (celle regolari di dimensione $0.1^\circ \times 0.1^\circ$, parametrizzate mediante una G-R troncata a $M=5.3$).

Sorgenti individuali di tipo caratteristico (rilascio energetico in un intervallo di magnitudo rappresentato tramite una distribuzione gaussiana), sulla base delle osservazioni storiche e strumentali disponibili, e sulle associazioni terremoti-struttura.

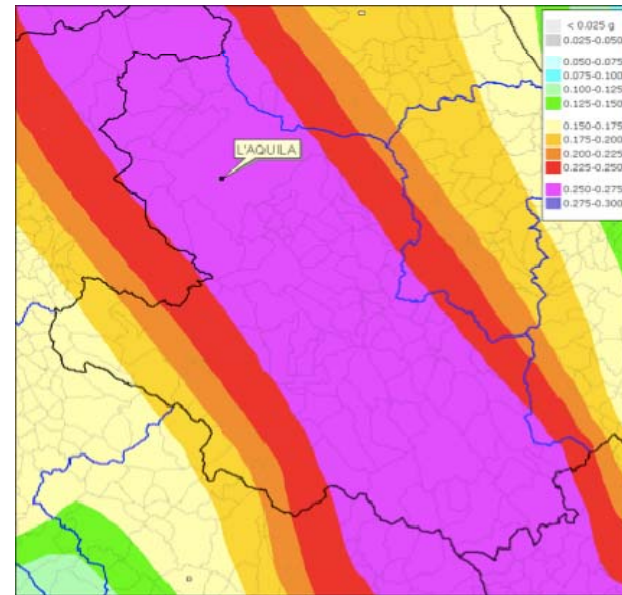
Quattro diversi modelli di riferimento (dall'ipotesi più aderente alla carta di pericolosità sismica a scala nazionale, all'applicazione integrale di un approccio *time-dependent* prima e dopo il terremoto del 6 aprile 2009):

- 1. POIS:** tutte le sorgenti individuali trattate nell'ipotesi stazionaria "poissoniana"; ipotesi più vicina ai principi della normativa, con la differenza di considerare sorgenti individuali (box) al posto dell'ampia zonazione proposta da ZS9 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004).
- 2. LADE** (LAyered Design Earthquake): viene introdotta la dipendenza temporale utilizzando un modello *renewal*, con una distribuzione *Brownian Passage Time* (BPT) condizionata al **tempo trascorso dall'ultimo evento caratteristico**; il modello è retrospettivamente applicato alla data del 30 marzo 2009, rappresentando pertanto la **sorgente 12-Paganica prima dell'evento del 6 Aprile 2009**.
- 3. LADE1:** stesse assunzioni di LADE, azzerando il tempo trascorso dall'ultimo evento sulla sorgente 12 per l'accadimento dell'evento del 6 Aprile; **la sorgente 12-Paganica risulta pertanto "spenta"**.
- 4. LADE2:** ipotesi cautelativa, con le sorgenti attivatesi storicamente in tempi relativamente brevi (**11-Pizzoli-Pettino, 12-Paganica e 22-Fucino**) trattate come "**poissoniane**" e le altre trattate come *time-dependent*.

Confronto tra i due approcci “poissoniani” con diversa modellazione delle sorgenti



Relazione di attenuazione di Ambraseys et al. (1996)



Mapa di pericolosità sismica MPS04 adottata da Ord. 3519.

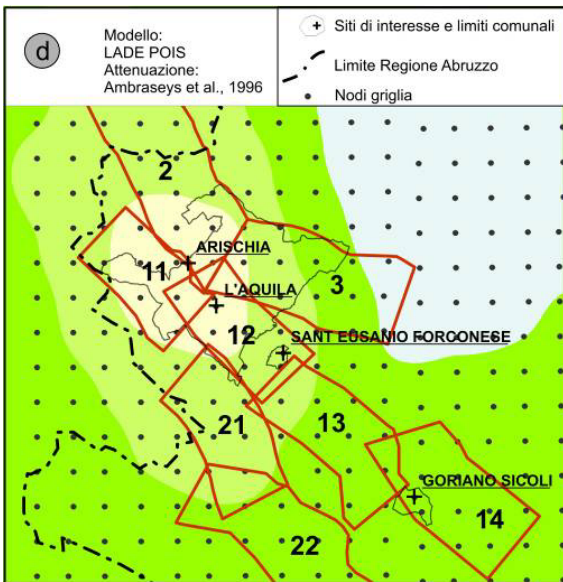
L'Aquila classificata in zona 2 dal 07/02/1915

PGA = 0.26 g (475 anni)

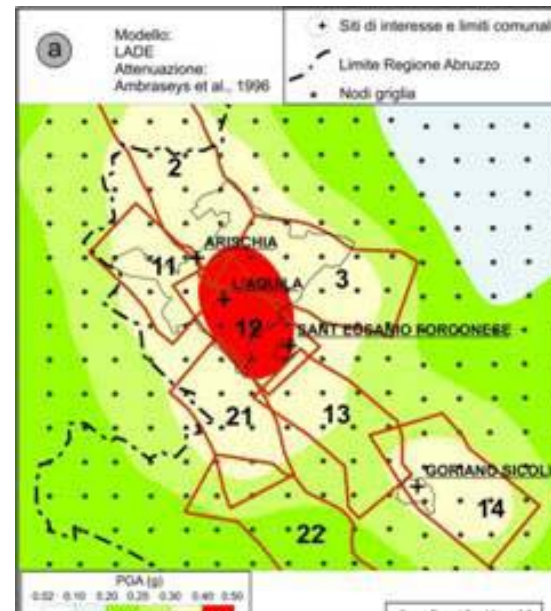
Indice di rischio sismico = 0.26

(media Italia = 0.11)

1081° posto su 8100 comuni italiani



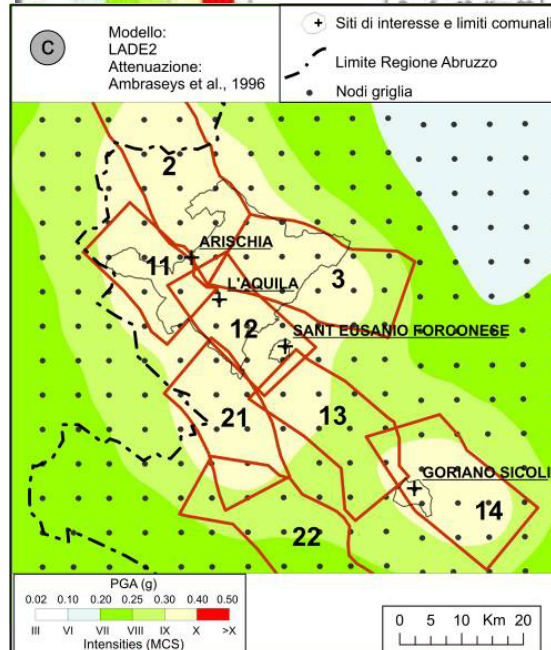
POIS



LADE
Prima
dell'evento
del 6 aprile



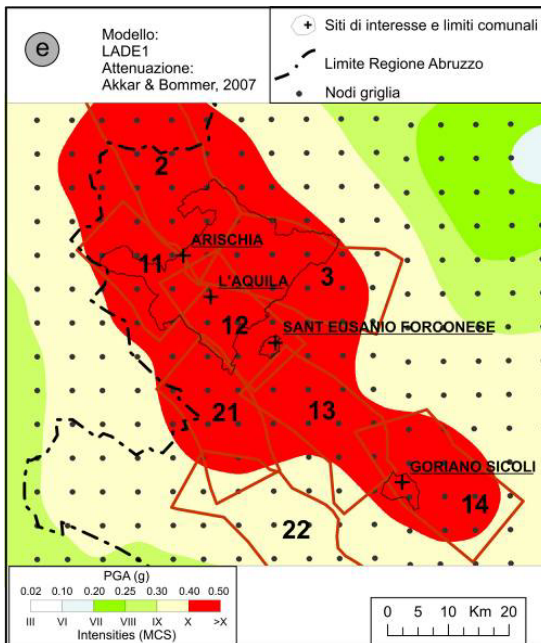
LADE1
dopo
l'evento del
6 aprile



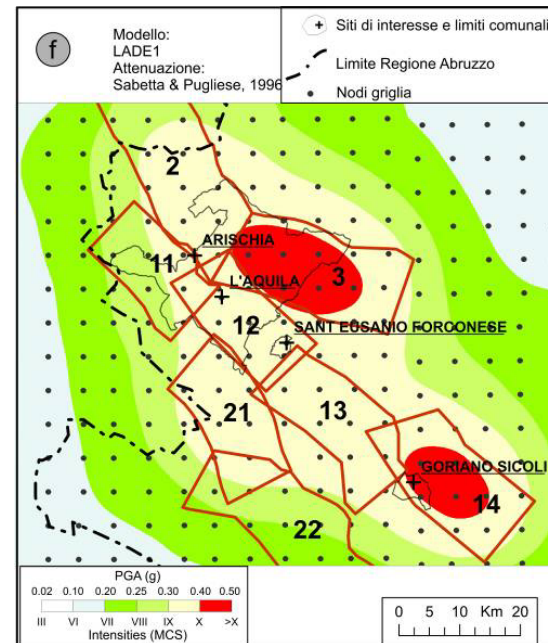
LADE2
cautelativo

I valori ottenuti ai 4 siti sono, per tutti i modelli, sensibilmente maggiori di quelli che si ricavano dalla mappa di pericolosità sismica a scala nazionale e più prossimi a quelli registrati per il terremoto dell'Aquila: variano fra 0.3 e 0.5 g per un periodo di ritorno di 475 anni.

Il modello LADE1 è stato consensualmente individuato dal G.d.L. come riferimento per la definizione del moto sismico per fini di microzonazione



LADE1 con attenuazione di Akkar e Bommer (2007)



LADE1 con attenuazione di Sabetta e Pugliese (1996)

Selezione relazioni di attenuazione

Dopo un esame accurato delle più recenti relazioni applicabili al caso aquilano (Douglas, 2008) si sono selezionate:

1. Sabetta e Pugliese, 1996 (**SP96**): basata sull'analisi di 95 accelerogrammi italiani relativi a 17 eventi con $4.6 \leq M \leq 6.8$ in funzione della distanza epicentrale (R_{epi}); fa riferimento anche alla metodologia selezionata dal G.d.L. per la simulazione di accelerogrammi sintetici in funzione di M e R.
2. Akkar e Bommer, 2007 (**AB07**): basata sull'analisi di 532 accelerogrammi relativi a 132 eventi europei (più della metà italiani) con $5.0 \leq M_w \leq 7.6$. Utilizza la distanza "Joyner-Boore" (R_{jb}) corrispondente alla distanza dal punto più vicino della proiezione in superficie della faglia.

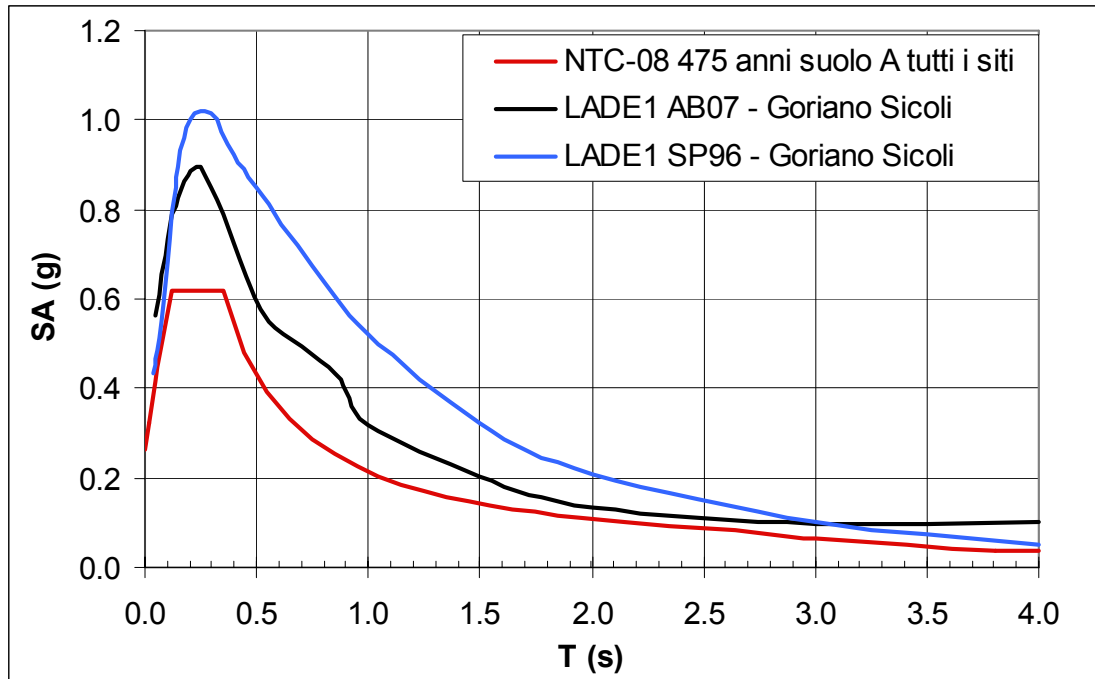
Le relazioni sono riferite a condizioni di **faglia normale e sito rigido**.

Per motivi legati alla definizione delle distanze, agli effetti della deviazione standard nel calcolo della pericolosità e all'andamento degli spettri a lunghi periodi, si è optato, sia nell'approccio probabilistico che in quello deterministico, per la **scelta di SP96** come relazione di attenuazione

Spettri a pericolosità uniforme (UHS)

Gli spettri UHS che si ottengono per i quattro siti selezionati sono quasi identici e vengono confrontati per il sito di Goriano Sicoli, con lo spettro UHS della normativa italiana NTC-08, calcolato in base ai parametri a_g , F_0 , T^*_C , anch'essi praticamente identici per i diversi siti.

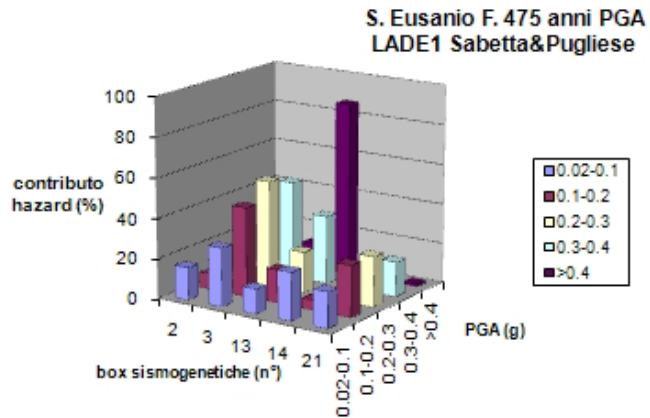
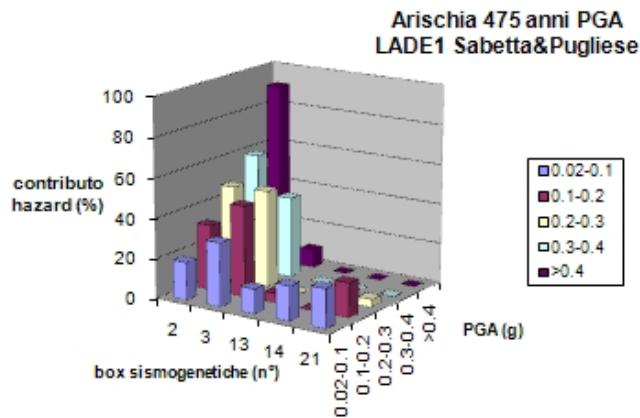
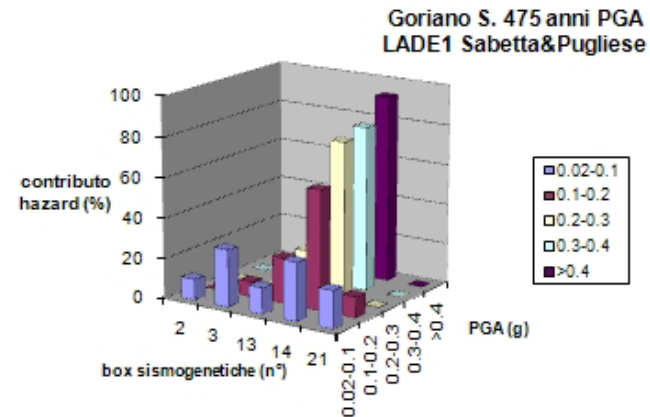
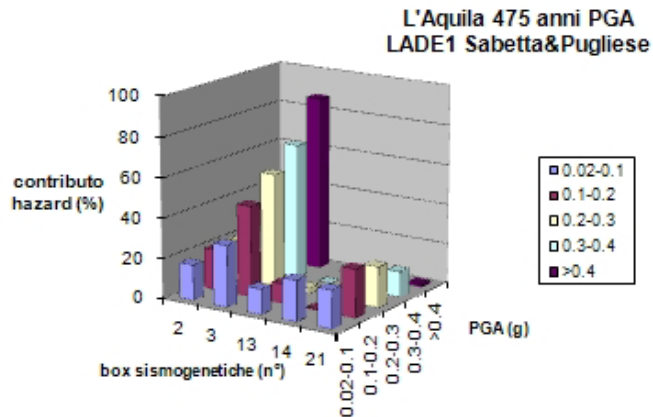
Con entrambe le relazioni di attenuazione, gli spettri ricavati dal nuovo studio di pericolosità sono notevolmente superiori a quello previsto dalla normativa. Questo è essenzialmente dovuto all'uso di sorgenti più dettagliate e di dimensioni minori rispetto all'unica sorgente (923) della zonazione ZS9 e all'utilizzo di modelli dipendenti dal tempo non poissoniani.



	a_g	F_0	T^*c
Aquila 475 anni	0.261	2.364	0.347
Aquila 975 anni	0.334	2.400	0.364
Aquila 2475 anni	0.452	2.458	0.384
Goriano Sicoli 475	0.260	2.367	0.348
Goriano Sicoli 975	0.333	2.403	0.365
Goriano Sicoli 2475	0.451	2.460	0.384

Disaggregazione della pericolosità

Le sorgenti che forniscono il contributo principale alla pericolosità sono: per il sito de **L'Aquila** la sorgente **3-Gran Sasso**; per il sito **Arischia** la sorgente **2-Gorzano**; per **Goriano Sicoli** la sorgente **14-Sulmona**; per **Sant'Eusanio Forconese** la sorgente **13-Media Valle dell'Aterno**. Sono tutte sorgenti il cui terremoto caratteristico è stimato di **M~6.6-6.7**



Disaggregazione della pericolosità

Coppie magnitudo distanza dei terremoti con più alto contributo percentuale alla pericolosità per 2 differenti classi di PGA

Mw= magnitudo momento calcolata in base alla geometria della sorgente e ai terremoti osservati; **Rjb**= Distanza Joyner & Boore, dal sito al punto più vicino della proiezione in superficie della faglia; **Repi***= distanza calcolata utilizzando conversioni geometriche (Scherbaum et al., 2004)

Sito	classi di PGA	sorgenti	contributo hazard (%)	Mw	Rjb(km)	Repi* (km)
L'Aquila	0.30-0.38	Gran sasso	>65	6.7	2	9.1
L'Aquila	0.40-0.60	Gran sasso	>85	6.7	2	9.1
Arischia	0.30-0.38	Gorzano	>55	6.7	0	4.9
Arischia	0.40-0.60	Gorzano	>90	6.7	0	4.9
Sant'Eusanio Forconese	0.30-0.38	Gran Sasso	>45	6.7	1.6	8.7
Sant'Eusanio Forconese	0.40-0.60	M.V.Aterno	>85	6.7	1.6	8.7
Goriano Sicoli	0.30-0.38	Sulmona	>80	6.6	0	6.3
Goriano Sicoli	0.40-0.60	Sulmona	>90	6.6	0	6.3

2. Analisi statistico-probabilistica delle storie sismiche al sito da dati macrosismici

A partire da una analisi di tipo statistico dei dati macrosismici storici disponibili per le località di interesse, sono state identificate le coppie magnitudo distanza più rappresentative per la pericolosità sismica delle quattro località selezionate.

Per ciascuna località è stato determinato il valore *Iref* di intensità macrosismica (MCS) caratterizzato da una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. A partire da *Iref* sono state costruite delle tabelle di disaggregazione per ciascuna località ed individuate le coppie magnitudo/distanza più rilevanti, dedotte dal catalogo di riferimento CPTI04.

I dati ottenuti sono analoghi a quelli di LADE1 e identificano come più rappresentativi eventi di magnitudo compresa fra 6 e 7 con distanze epicentrali che variano da qualche km a qualche decina di km.

	Mw	Repi (km)
Arischia	7.0	10
L'Aquila	6.5	10
Sant'Eusanio Forconese	6.5	5
Goriano Sicoli	6.5	10

Coppie magnitudo distanza epicentrale ottenute dall'analisi delle storie sismiche al sito ricostruite da dati macrosismici

3. RegISTRAZIONI della scossa principale del 6 aprile e definizione di un moto sismico compatibile

Date 04/06/09 Region CENTRAL ITALY MI 6.2 Mw 6.3
Centroid Location:
Or. Time 1:32:47.2 Lat. 42.32 N Long. 13.32 E Dep 12. fixed

Best Double Couple M0: 3.7*10**25
P1 str: 147 dip: 43 slip: -88
P2 324 47 -92

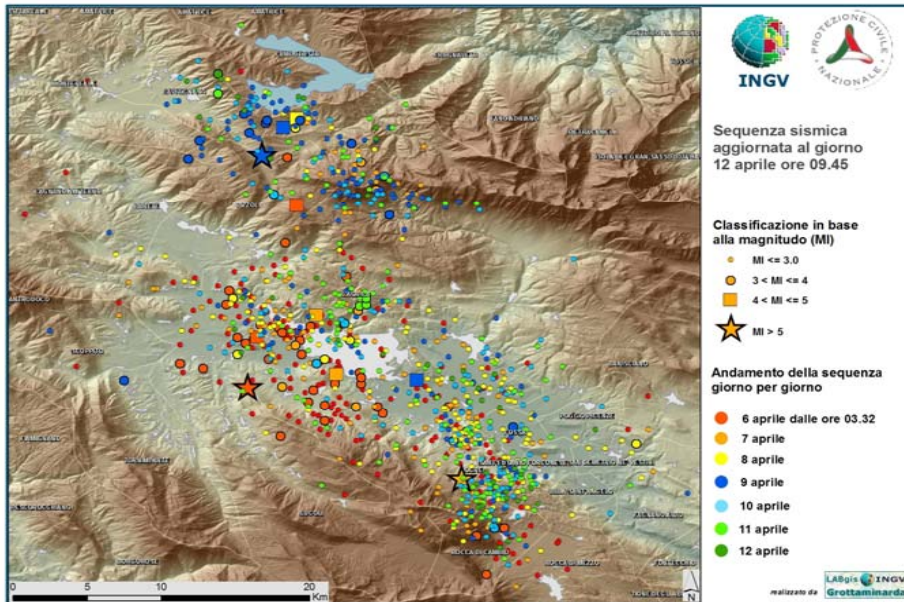
Moment Tensor (10**25 dyn-cm)
mrr: -3.75 mlt: 1.22 mff: 2.53
mrt: 0.23 mrf: -0.16 mlf: -1.71

Principal Axes

T val: 3.72 plg: 2 az: 55
N 0.05 1 325
P -3.76 88 200

DATA USED: MEDNET
AUTHOR: INGVO

040609A



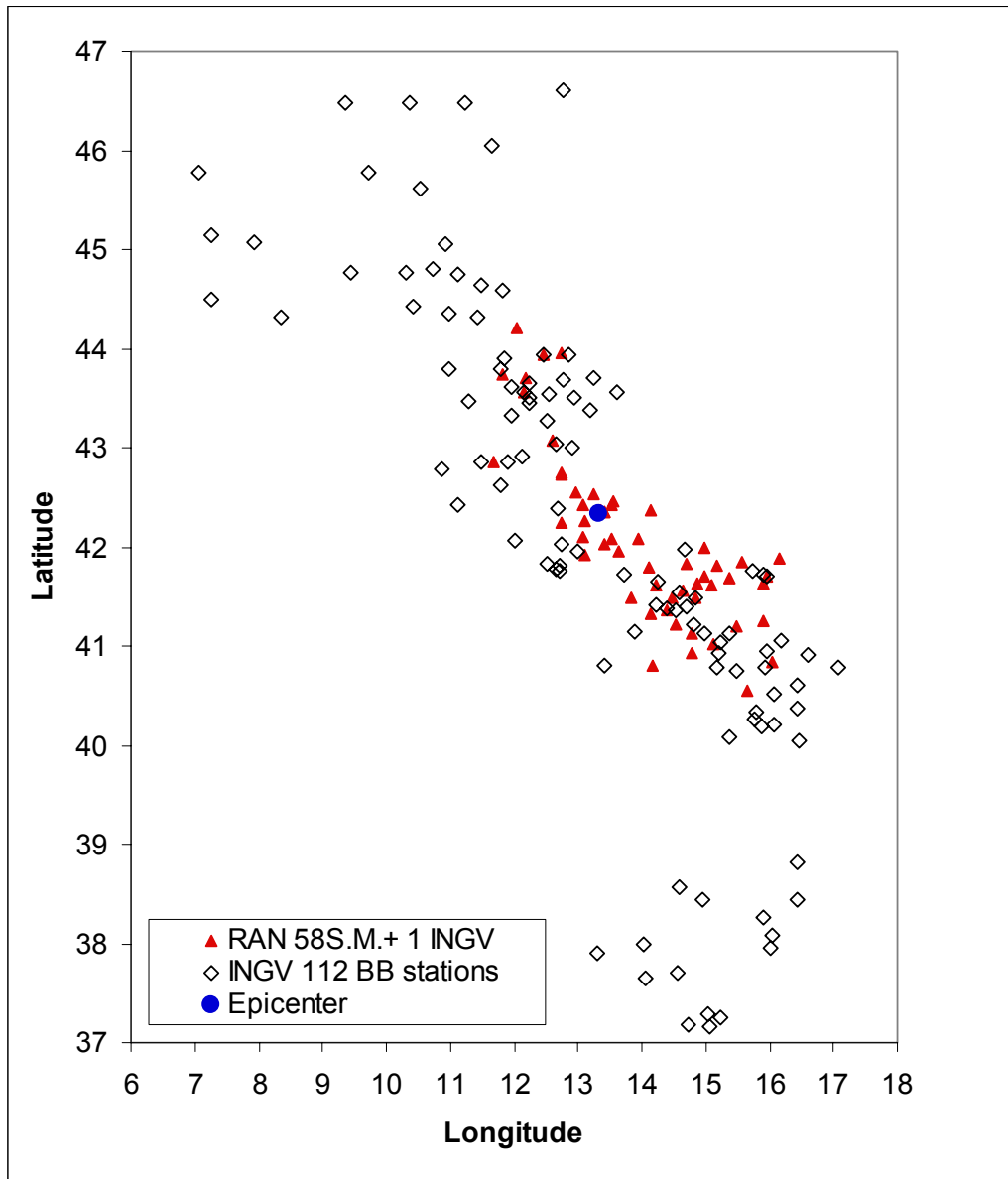
L'Aquila 6 aprile 2009

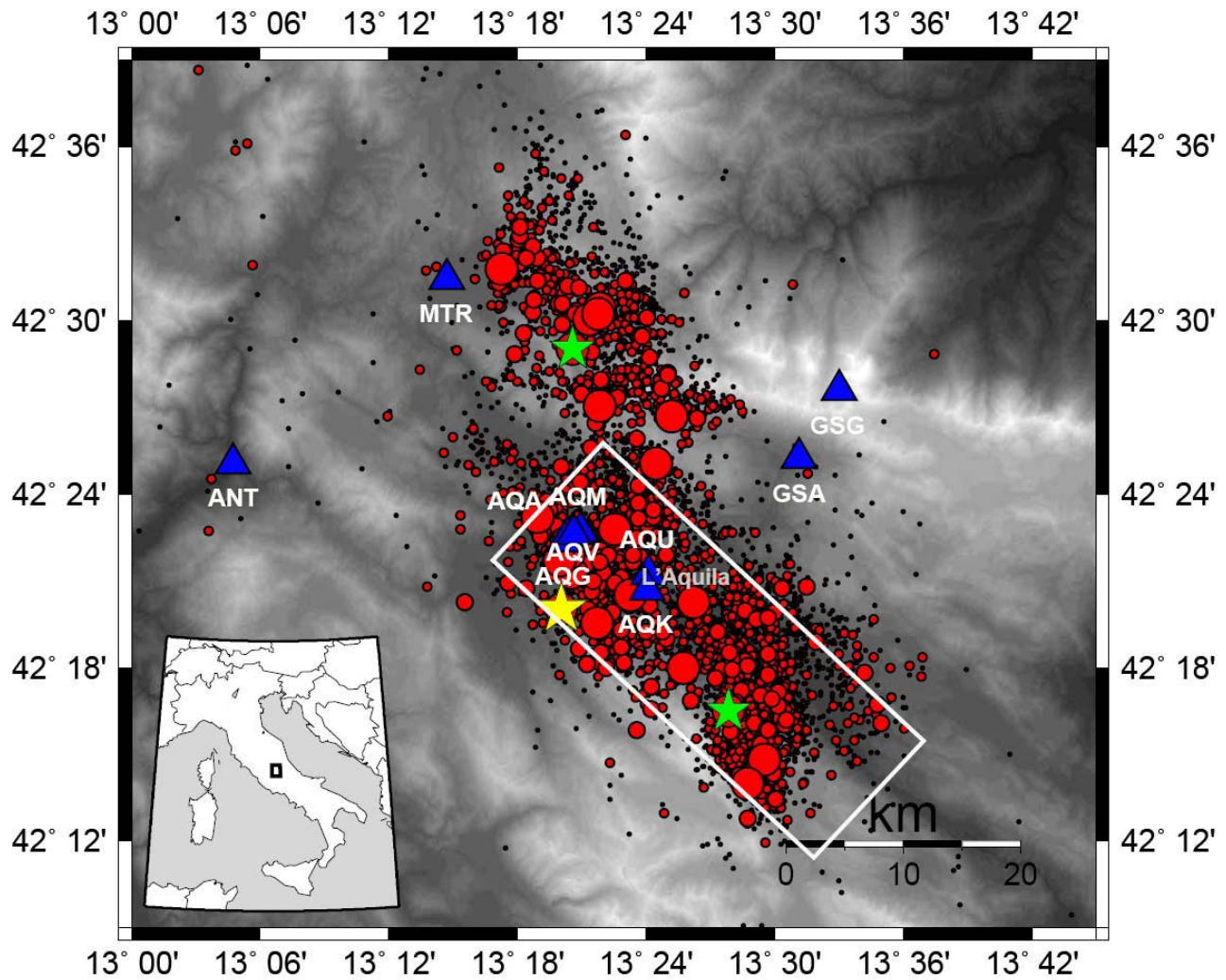
L'evento di **Mw=6.3** e **profondità 9 km**, si è verificato alle ore 03:33 locali a circa 5 km a sud-est della città dell'Aquila su di una faglia normale con orientamento NW-SE ed immersione di circa 45° verso SW.

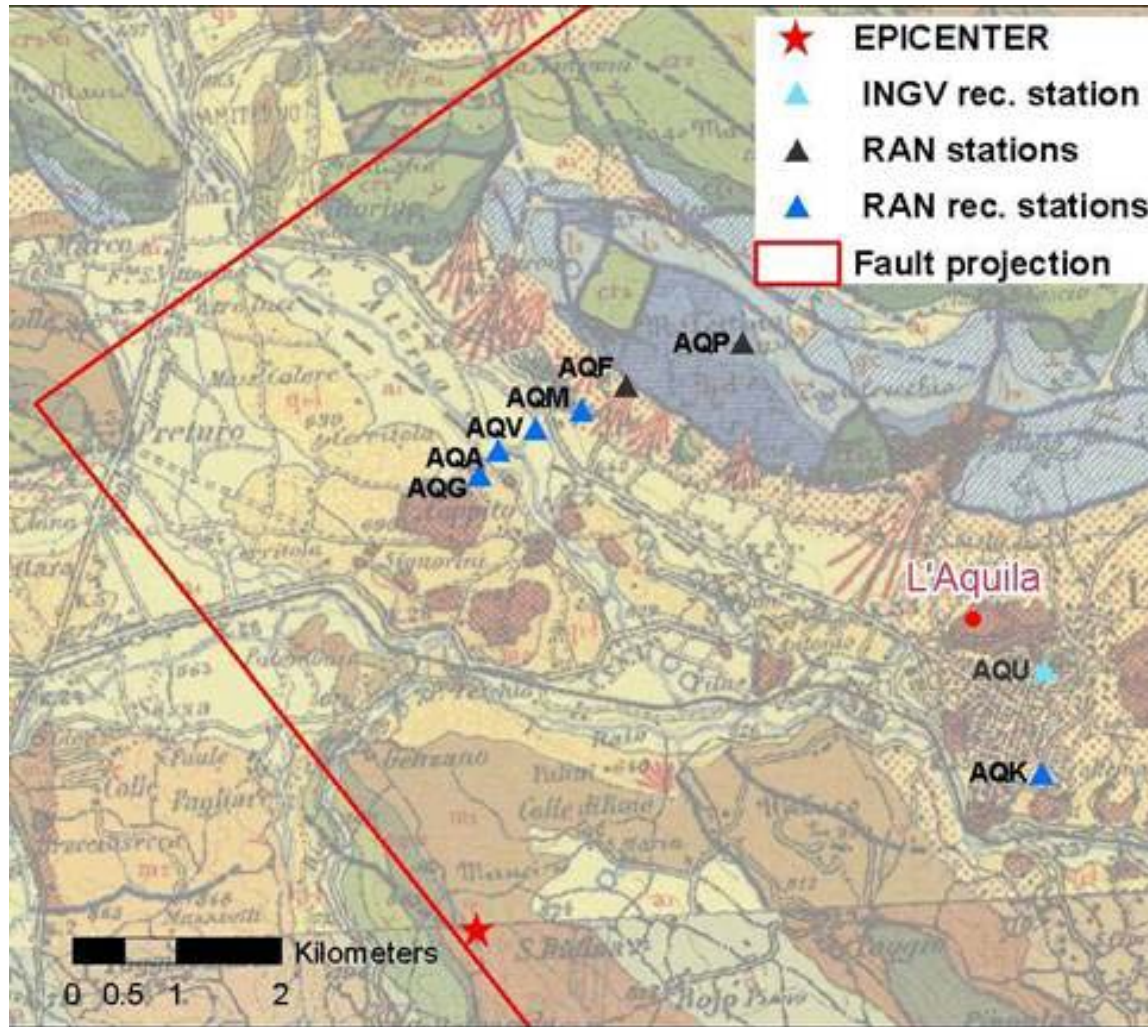
Questo terremoto ha generato, considerando anche le numerose repliche, la più grande e completa mole di dati sperimentali mai ottenuta in Italia per un singolo evento (registrazioni accelerometriche e sismometriche a larga-banda, interferometria, GPS, rilievi macrosismici e di danno, etc.)

Stazioni della rete accelerometrica RAN (DPC) e stazioni “Broad-Band” (INGV) che hanno registrato la scossa principale del 6 aprile 2009.

La scossa principale è stata registrata da 58 stazioni accelerometriche della RAN-DPC (4-280 Km) e da un accelerometro dell’INGV installato presso il castello dell’Aquila. A queste sono da aggiungere 112 stazioni a larga banda della rete sismometrica dell’INGV (6 -720 Km; segnali non saturati a distanze superiori a 50 km).







Le stazioni accelerometriche più vicine all'epicentro e anche al centro dell'Aquila si trovano tutte all'interno della proiezione in superficie della geometria della faglia (distanza "Joyner-Boore" = 0)

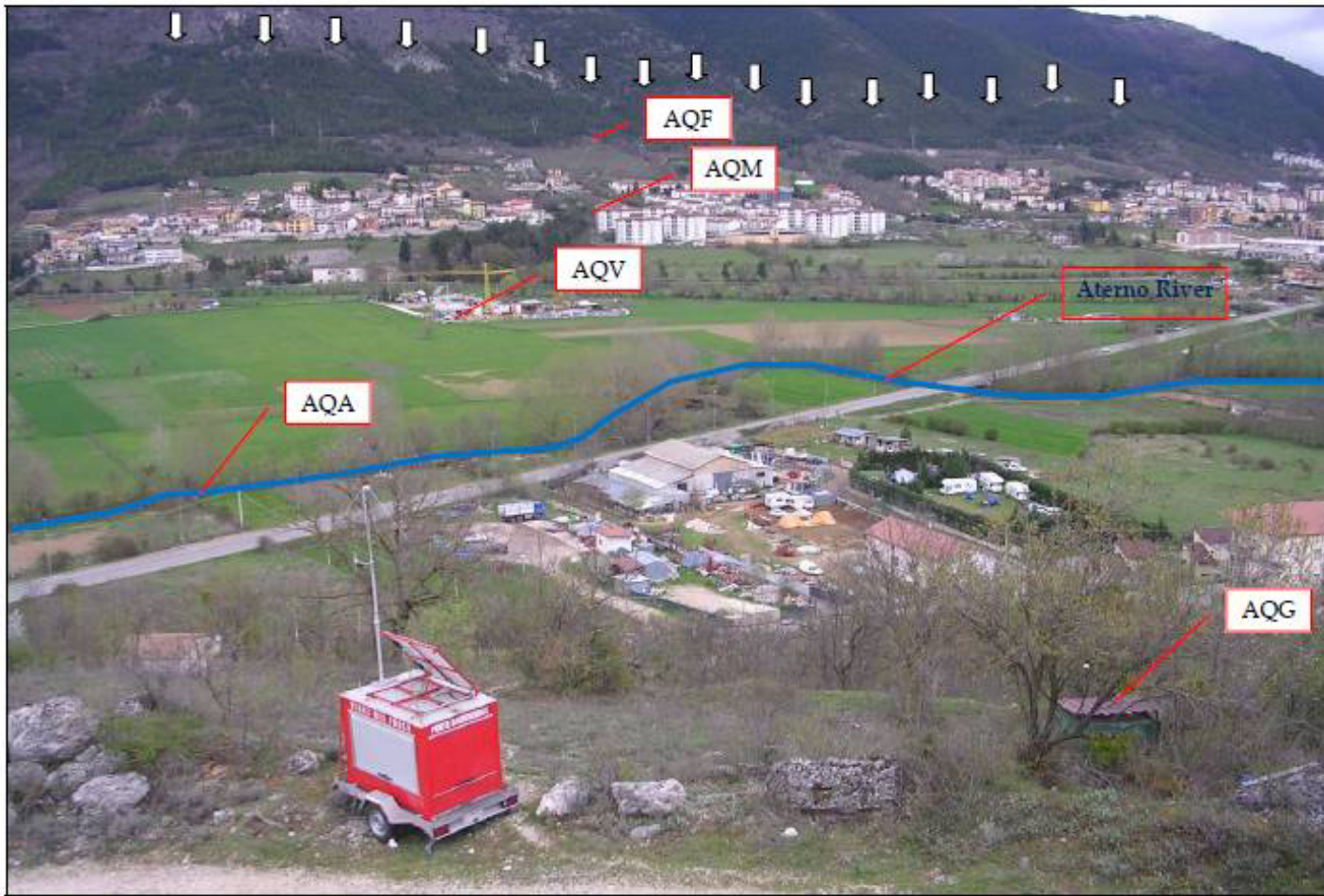
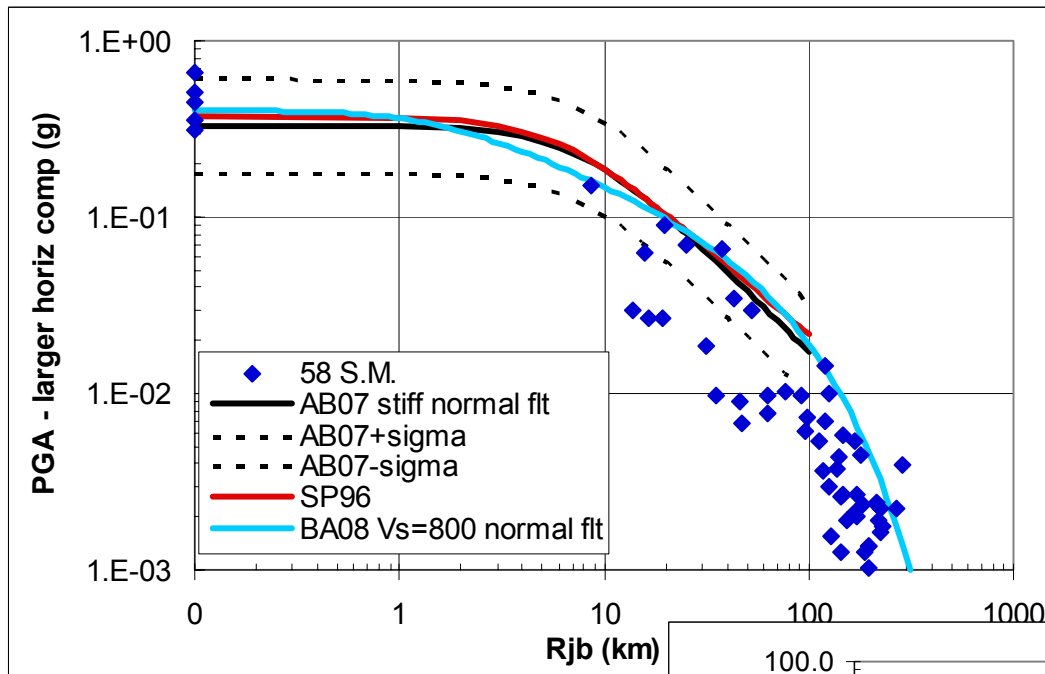


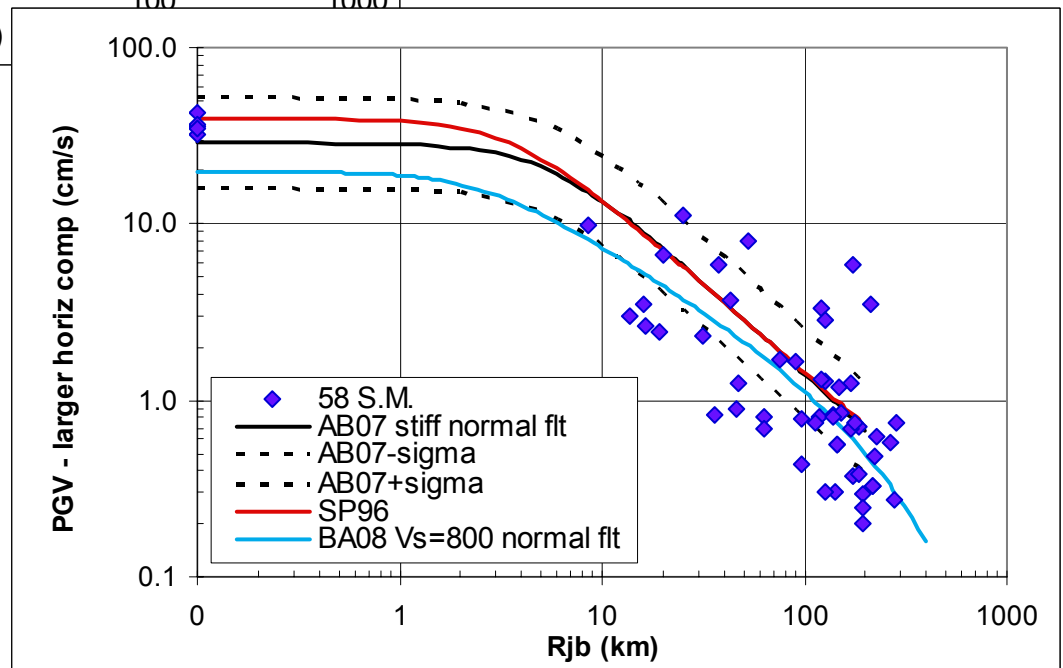
Figura 8. Postazioni accelerometriche AQA, AQF, AQG, AQM e AQV nella Valle dell'Aterno. Le frecce indicano il tracciato della Faglia di Pettino. Il verso di scorrimento del Fiume Aterno è da sinistra verso destra.

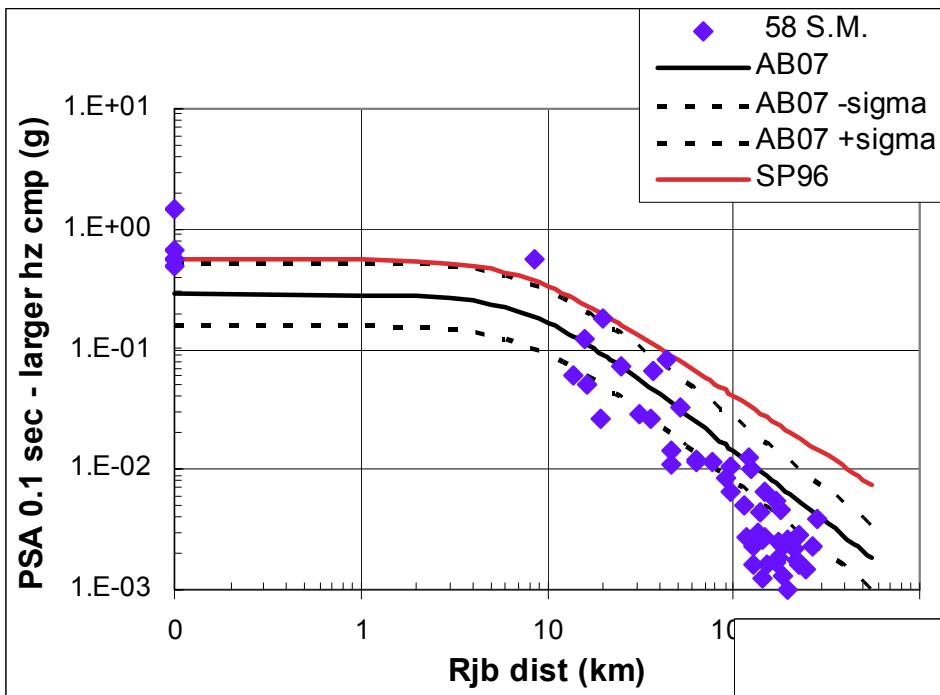
Parametri strong-motion della maggiore delle componenti orizzontali delle 16 registrazioni con $PGA > 25 \text{ cm/s}^2$ ordinate per PGA decrescente

Station Name	Station code	Rjb distance (Km)	Epic. distance (Km)	EC8 site class	PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Intensity (cm/s)	Housner Intensity (cm)	Duration Vanm. (s)	Duration Trif. (s)
V. Aterno Moro	AQM	0	5.2	A	1000 (saturated)	42.18	435.4	90.1	2.1	7.0
V. Aterno - Centro Valle	AQV	0	4.9	B	646.1	42.83	285.7	94.5	3.1	7.8
V. Aterno - Colle Grilli	AQG	0	4.4	A	506.9	35.54	137.0	92.2	2.9	8.6
V. Aterno - fiume Aterno	AQA	0	4.6	B	435.6	32.03	175.0	86.1	4.8	7.7
Aquila parcheggio	AQK	0	5.6	B	347.2	36.21	128.9	68.1	4.8	15.5
Aquila Castello (INGV)	AQU	0	5.8	B	309.5	35.00	71.0	78.0	5.0	7.5
Gran Sasso (Assergi)	GSA	8.6	18.0	A	148.2	9.84	44.0	17.8	3.6	8.9
Celano	CLN	20	31.6	A	89.1	6.64	9.5	14.3	3.9	7.7
Avezzano	AVZ	25.1	34.9	C	67.7	11.28	9.7	27.3	6.5	19.0
Ortucchio	ORC	37.3	49.3	A	64.2	5.86	7.4	17.8	5.2	12.3
Monte Reale	MTR	15.9	22.4	C	61.6	3.53	5.8	9.7	6.9	15.4
Sulmona	SUL	43.4	56.4	A	33.6	3.73	1.0	7.0	6.7	17.7
Chieti	CHT	52.2	67.0	A	29.4	7.91	3.8	10.3	9.5	31.7
Gran Sasso (Lab. INFN)	GSG	13.7	22.6	C	29.4	3.04	0.9	4.9	4.9	11.7
Famignano	FMG	16.6	19.3	A	26.3	2.61	1.2	6.4	8.4	21.0
Antrodoco	ANT	19.3	23.0	A	26.0	2.47	1.8	6.9	8.9	22.7



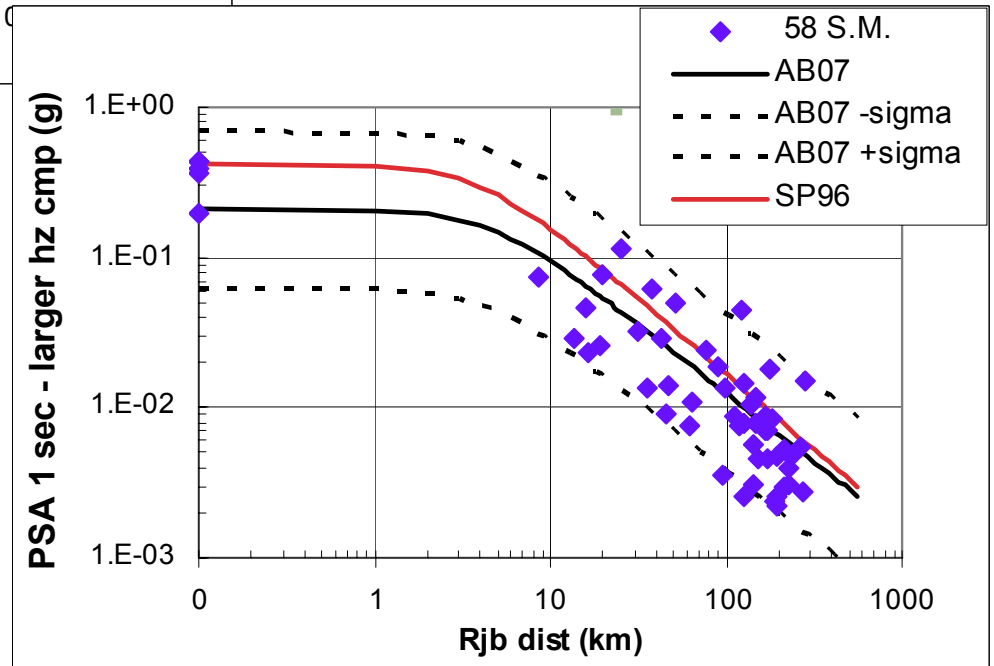
PGA e PGV del main shock in funzione della distanza dalla faglia (R_{jb}) a confronto con alcune relazioni di attenuazione (**AB07** = Akkar e Bommer, 2007; **SP96** Sabetta e Pugliese, 1996; **BA08** Boore e Atkinson, 2008)

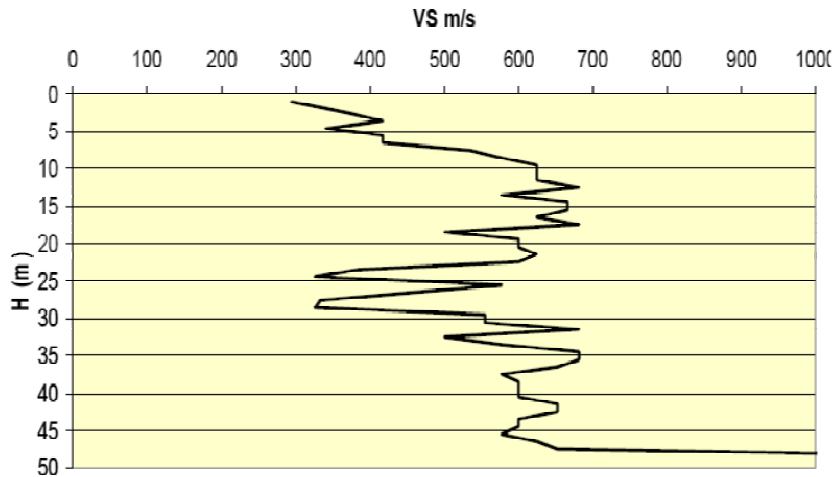




Valori dello spettro di risposta in accelerazione (5% smorz.) a **0.1 sec.** e relazioni di attenuazione

Valori dello spettro di risposta in accelerazione (5% smorz.) a **1 sec.** e relazioni di attenuazione

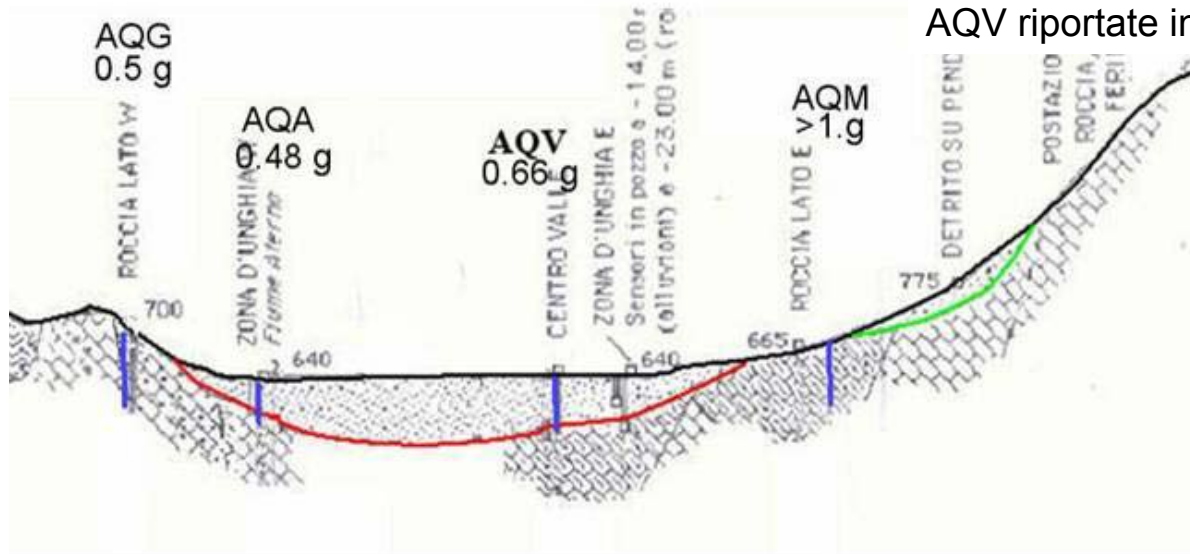




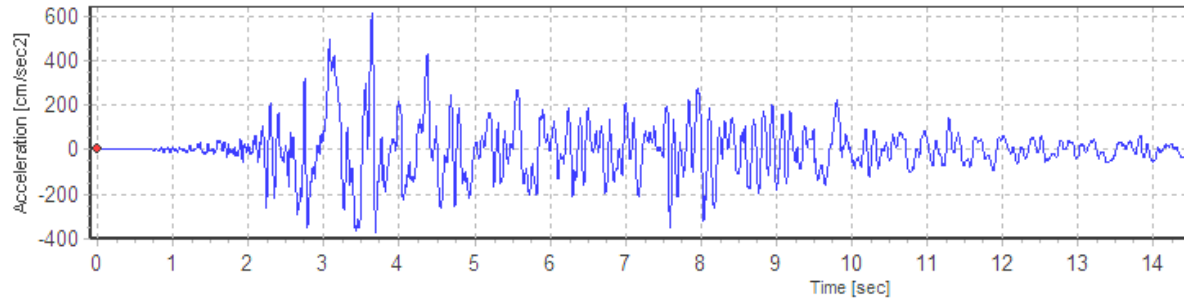
Determinazione del moto di riferimento su roccia affiorante compatibile con le registrazioni della scossa principale.

La stazione AQV è l'unica di cui si conosce il profilo delle velocità delle onde di taglio (V_s).

L'analisi di deconvoluzione per passare dal moto in superficie a quello sulla roccia rigida affiorante è stata effettuata con uno schema 1D mediante il programma di calcolo SHAKE utilizzando curve di decadimento del terreno ghiaioso sotto AQV riportate in letteratura.

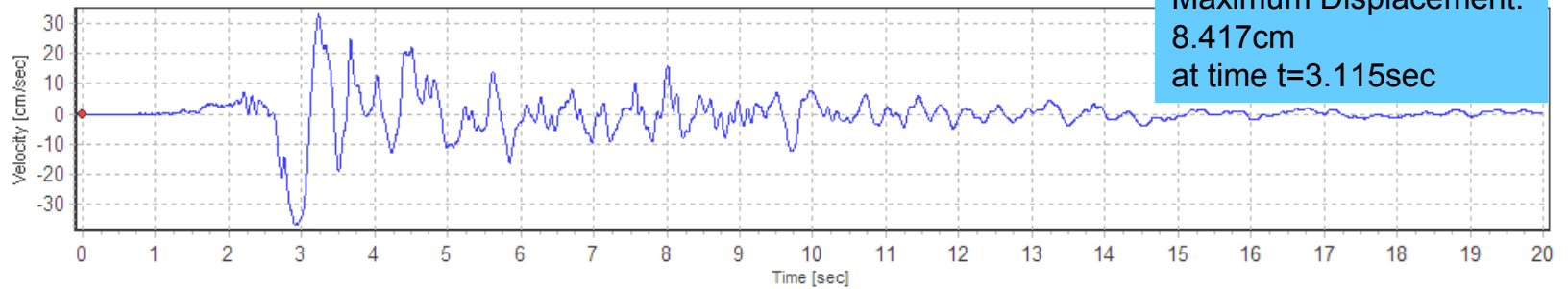


AQV main shock - Mw = 6.3, Repi =4.9 km, comp EW

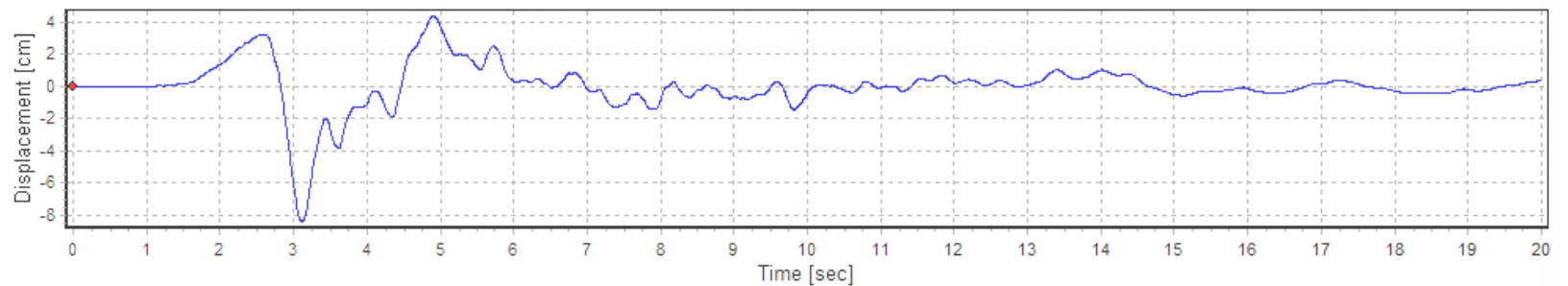


Maximum Acceleration:
614.591cm/sec²
at time t=3.645sec

Maximum Velocity:
36.589cm/sec
at time t=2.905sec

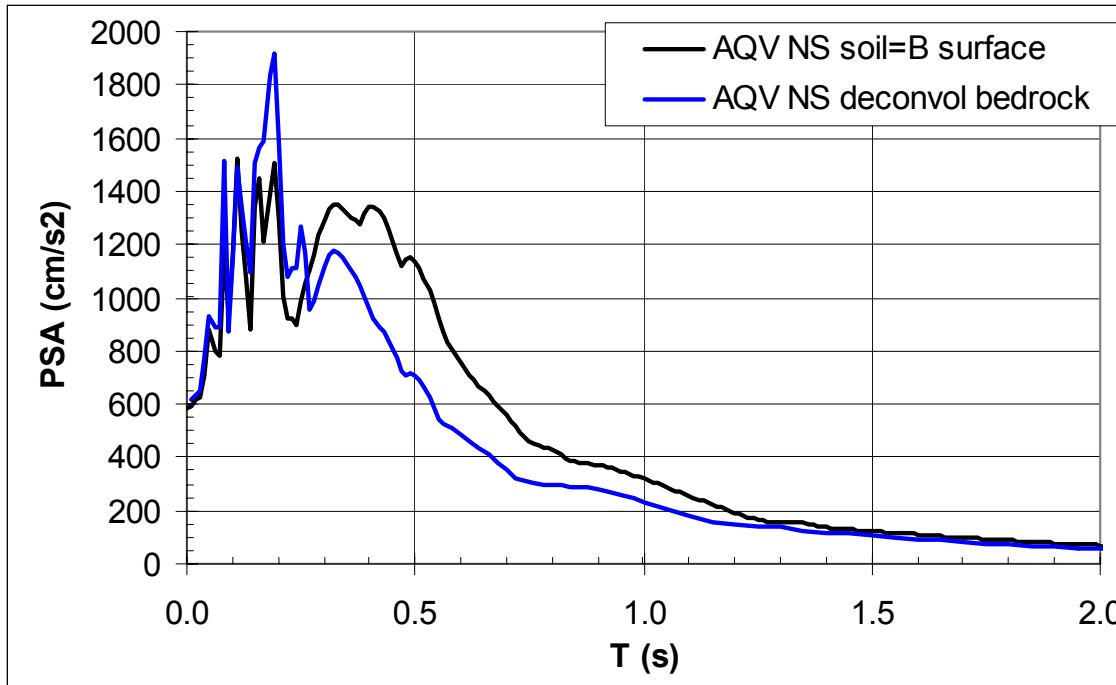


Maximum Displacement:
8.417cm
at time t=3.115sec



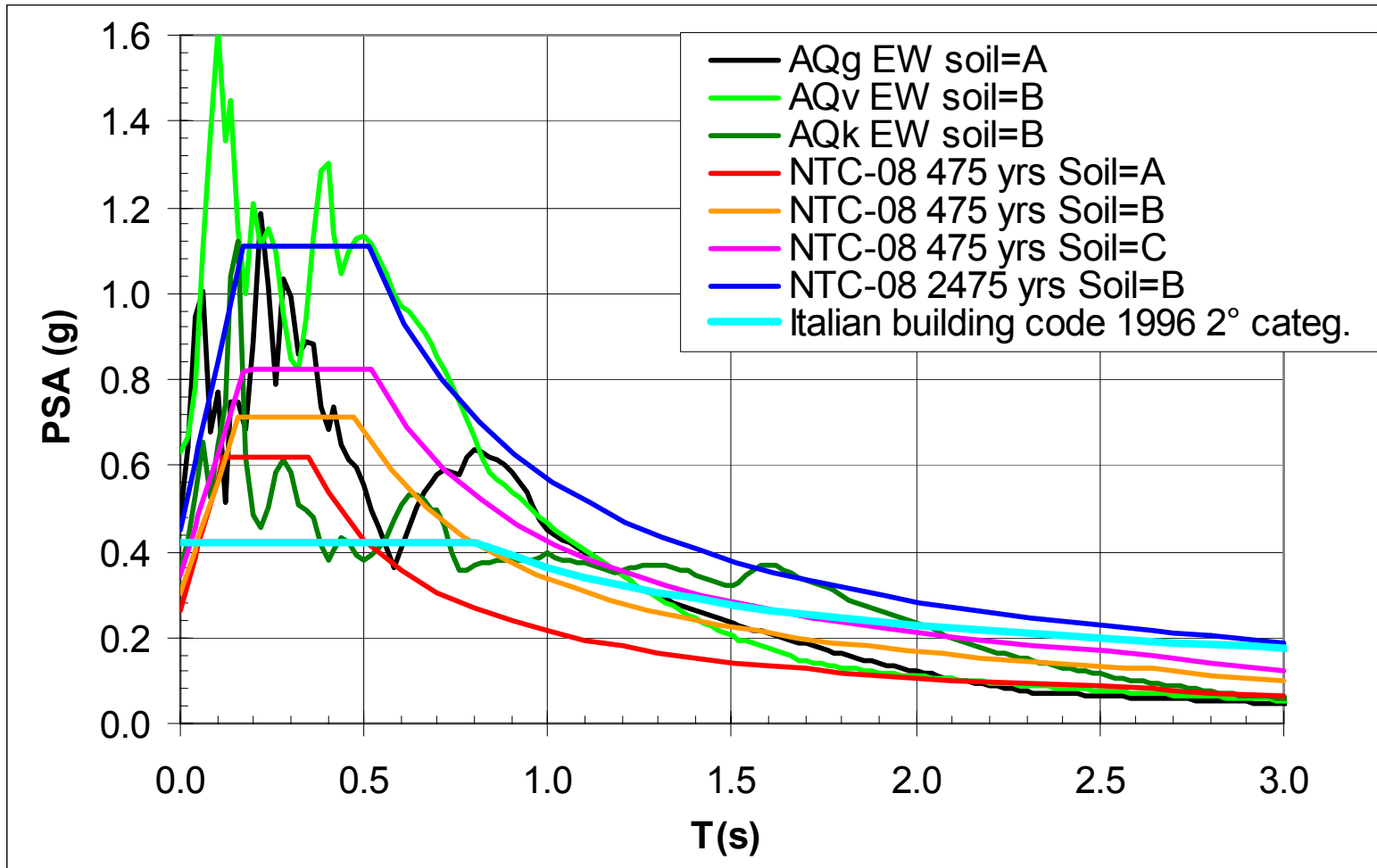
Spettro di risposta “deconvoluto” per la stazione AQV

A bassi periodi, il moto non solo non è stato amplificato dal terreno più soffice ma è stato leggermente de-amplificato (curva in nero). A periodi più lunghi invece si rileva l'amplificazione del terreno ghiaioso. Tale risultato è la conseguenza di due effetti contrastanti: il primo di amplificazione dovuta alla presenza del terreno soffice ed il secondo alla deamplificazione per effetto della non linearità evidenziata dall'alto livello di eccitazione e per l'inversione di velocità.

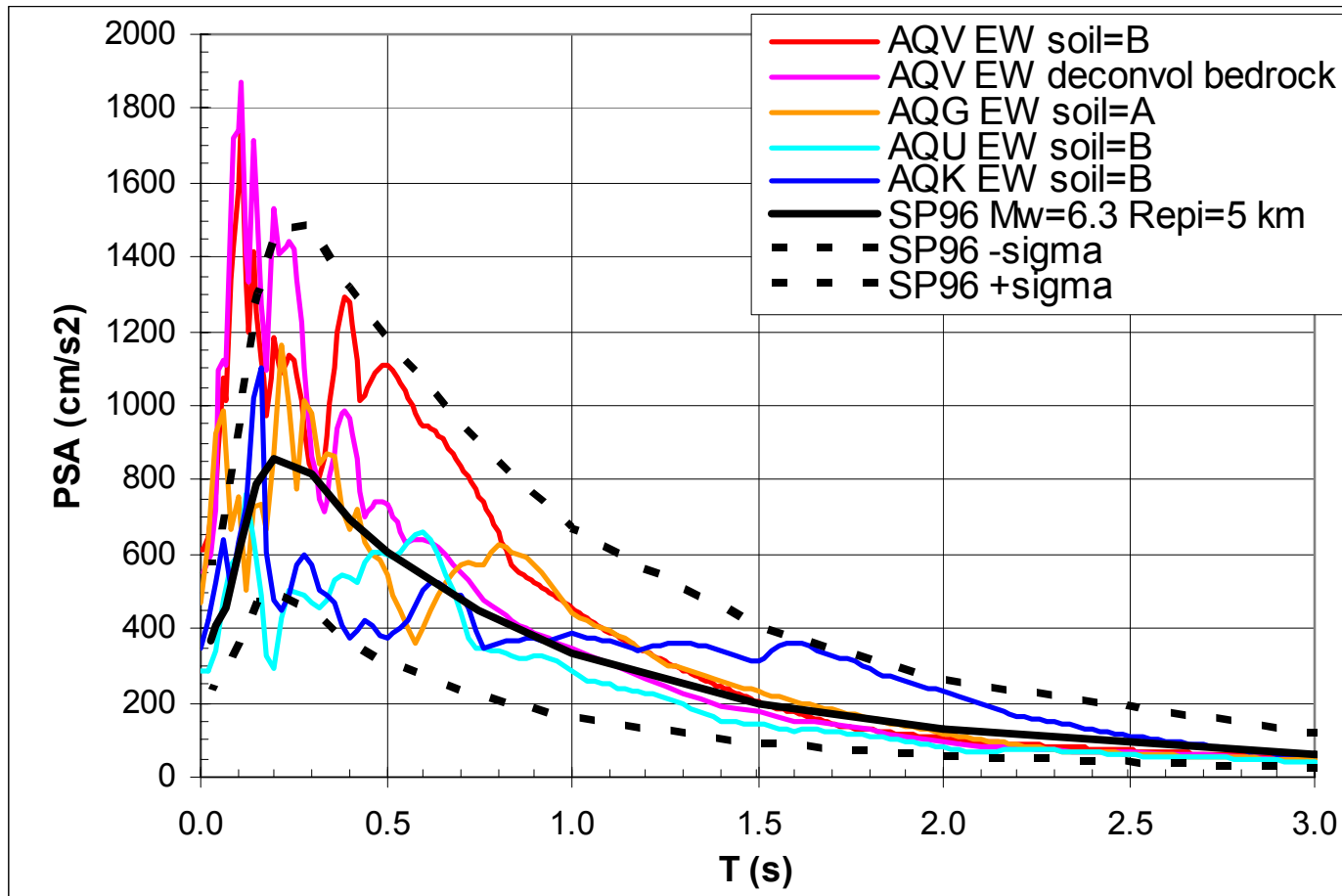


Il risultato è stato confermato da analisi effettuate con indicazioni di prima approssimazione sulle caratteristiche delle stazioni AQK ed AQU nel centro della città, che sono su uno strato di “megabrecce” dello spessore di qualche decina di metri, che sovrasta dei sedimenti lacustri, limosi e sabbiosi di 100-150 metri circa.

Utilizzando come input il moto deconvoluto di AQV, i risultati mostrano una drastica riduzione del moto per l'effetto filtrante dello strato profondo di limi, giustificando valori i relativamente bassi registrati in tali stazioni.



Spettri di risposta delle stazioni che forniscono i valori più elevati a confronto con la normativa italiana del 1996 per la 2a categoria e delle norme tecniche del 2008 (NTC-08) per diversi tipi di terreno e periodi di ritorno



Spettri di pseudo-accelerazione al 5% di smorzamento registrati nelle stazioni più vicine all'epicentro. In figura è riportato anche lo spettro (curva viola) "deconvoluto al bedrock" della stazione AQV e lo spettro che si ottiene, per magnitudo e distanze equivalenti, dalla relazione di attenuazione Sabetta e Pugliese 1996, insieme ai limiti di confidenza di ± 1 deviazione standard (curve tratteggiate).

In merito all'utilizzo, come input sismico di riferimento, delle registrazioni della scossa principale del 6 aprile vanno tuttavia fatte le seguenti considerazioni:

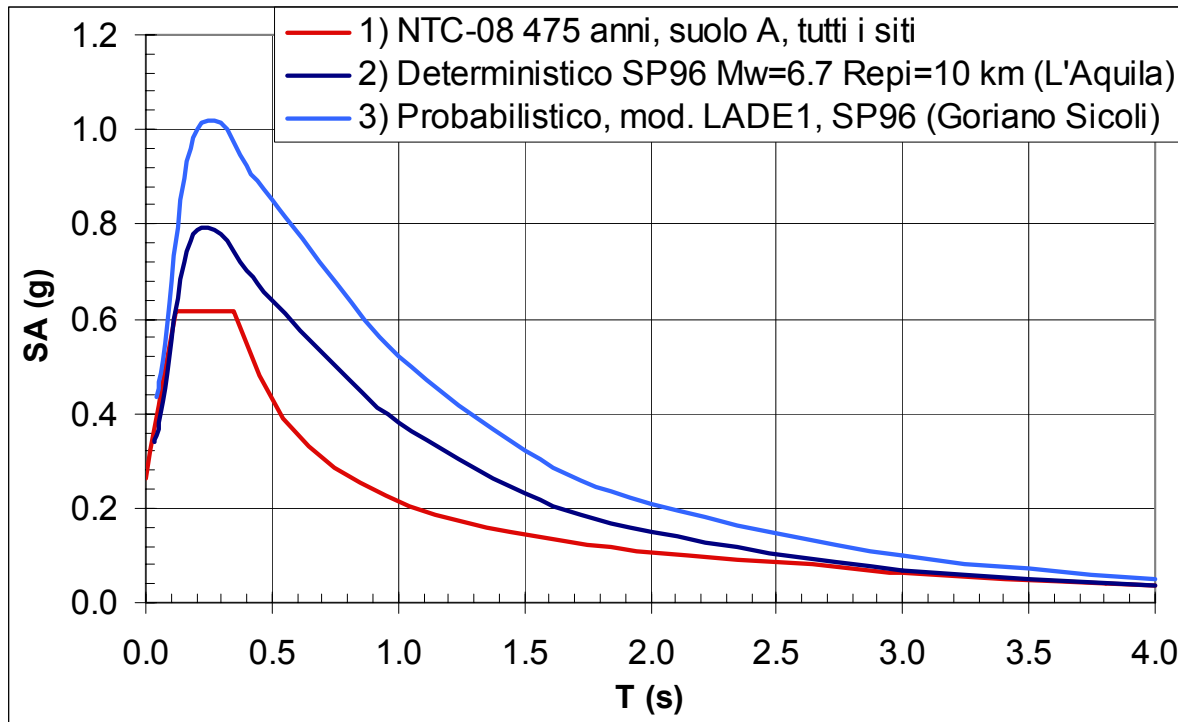
- ❑ è più appropriato basarsi su statistiche più ampie, quali quelle ricavabili da valutazioni probabilistiche della pericolosità o da relazioni di attenuazione mediate su centinaia di registrazioni, che non su di un singolo terremoto;
- ❑ le registrazioni in *near-field* e in particolare quelle della valle dell'Aterno risentono pesantemente di effetti di sorgente che invece non si rilevano negli aftershocks successivi della sequenza aquilana;
- ❑ gli accelerogrammi sono caratterizzati da valori di accelerazione molto elevati solo ad alta frequenza e da una durata della “fase forte” molto breve (2-4 secondi) che ha evitato un danneggiamento più grave, quale quello che si sarebbe avuto se livelli di accelerazione superiori a 0,4-0,6 g si fossero mantenuti per molti cicli.

4. Selezione del moto input da utilizzare nelle simulazioni numeriche per la microzonazione sismica

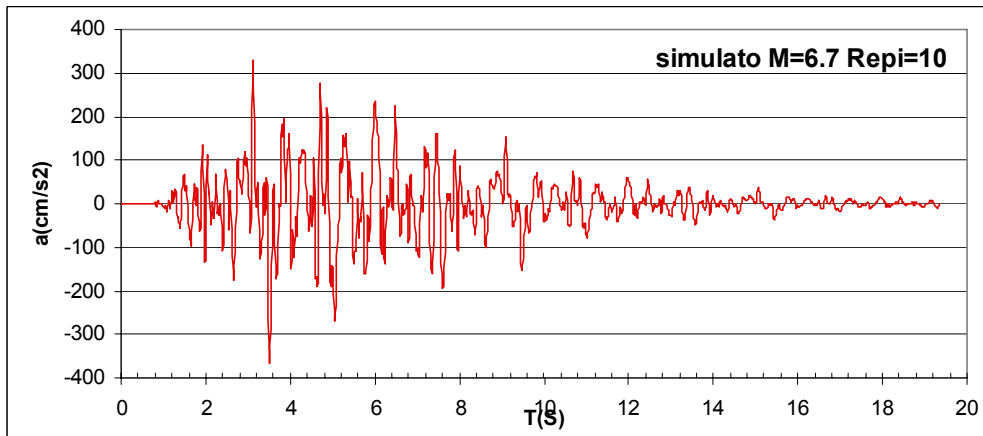
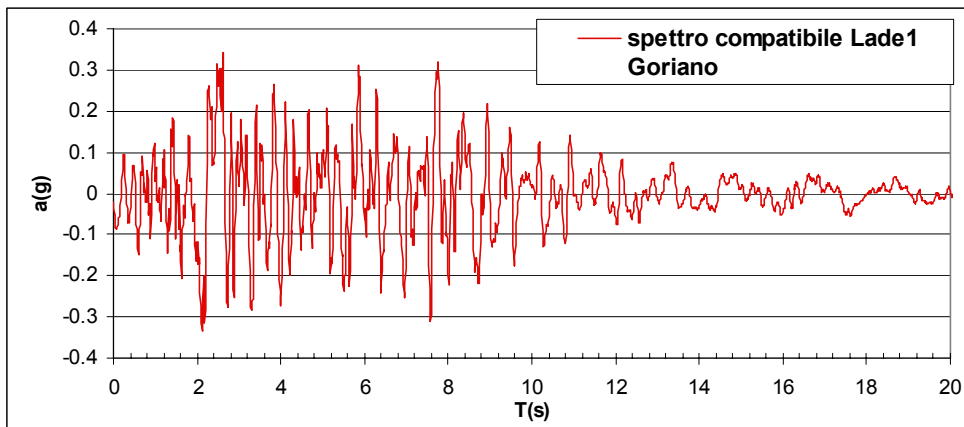
Il G.d.L. ha consensualmente individuato, come input da utilizzare nelle simulazioni numeriche per la microzonazione sismica, tre diversi spettri :

1. Spettro UHS della normativa NTC-08 calcolato in base ai parametri a_g , F_0 , T^*_C che risultano uguali per i 4 siti considerati.

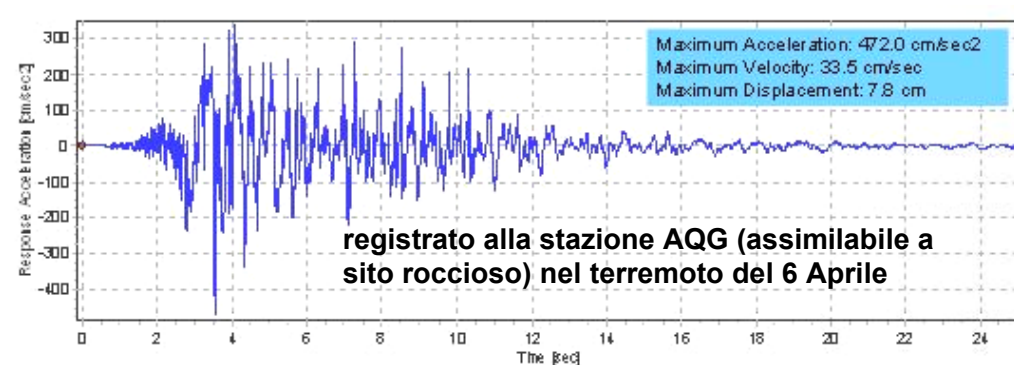
2. Spettro deterministico, ottenuto dalla relazione di attenuazione SP96, per una coppia di magnitudo e distanza ($M_w=6.7$, $Repi=10\text{km}$) ricavata dalle analisi di disaggregazione. Anche in questo caso non si rilevano differenze significative per i 4 siti.



3. Spettro UHS ottenuto con il modello LADE1 e l'attenuazione SP96, per il sito di Goriano Sicoli (non si rilevano differenze significative negli spettri probabilistici ottenuti per i 4 siti).



Accelerogrammi simulati in base alle selezioni di input



Accelerogramma registrato all'Aquila

BIBLIOGRAFIA

Pericolosità

Bommer, J.J., F. Scherbaum, H. Bungum, F. Cotton, F. Sabetta & N.A. Abrahamson (2005). On the use of logic trees for ground-motion prediction equations in Seismic Hazard Analysis *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol.95, N° 2, 377-389.

Faccioli E., Paolucci R. (2005) Elementi di Sismologia applicata all'Ingegneria. *Pitagora Editrice, Bologna*.

Romeo, R.W. (2007) La risposta sismica locale per la progettazione strutturale. *International Centre for Mechanical Sciences - CISM e-book*.

Douglas, J. (2003). Earthquake ground motion estimation using strong-motion records: a review of equations for the estimation of peak ground acceleration and spectral ordinates. *Earth Science Reviews* 61, 43-104.

Stucchi et al. (2004). Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. Rapporto Conclusivo. <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>.

Input sismico L'Aquila

D'Amico V., and D. Albarello (2008) - SASHA: a computer program to assess seismic hazard from intensity data. *Seism. Res. Lett.*, 79, 5, 633-671

Decreto (2008). "Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni", Gazzetta Ufficiale, n. 29 del 4.2.2008.

Pace B., Peruzza L., Lavecchia G. and Boncio P. (2006) - Layered Seismogenic Source Model and Probabilistic Seismic-Hazard Analyses in Central Italy. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 96, 107-132

Sabetta, F. and A. Pugliese (1996). Estimation of response spectra and simulation of non-stationary earthquake ground motions. *Bulletin of Seismological Society of America*, 86(2), 337-352