

Progetto S4: BANCA DATI ACCELEROMETRICA

*Coordinatori: Francesca Pacor, INGV Milano – Pavia
e Roberto Paolucci, Politecnico Milano*

<http://esse4.mi.ingv.it>

**Caratteristiche geologiche e classificazione di sito delle stazioni
accelerometriche della RAN ubicate a L'Aquila**

Giugno 2009

a cura di:

*Di Capua Giuseppe¹, Lanzo Giuseppe², Luzi Lucia³, Pacor Francesca³, Paolucci
Roberto⁴, Peppoloni Silvia¹, Scasserra Giuseppe², Puglia Rodolfo³*

¹ *INGV-Roma*

² *Sapienza Università di Roma*

³ *INGV – Milano - Pavia*

⁴ *Politecnico di Milano*

Sommario

1. Introduzione.....	3
2. Inquadramento geologico dell'area aquilana	4
3. Le stazioni accelerometriche nella Valle del Fiume Aterno	7
4. Classificazione di sito	27
5. Bibliografia.....	28

1. Introduzione

L'evento sismico del 6 aprile 2009 è stato registrato da 57 stazioni accelerometriche delle RAN (Rete Accelerometrica Nazionale, gestita dal Dipartimento della Protezione Civile), alcune delle quali ubicate nella città di L'Aquila (stazione AQK) o nella porzione della Valle dell'Aterno a NW della città (AQA, AQF, AQG, AQM, AQP, AQV).

Uno degli obiettivi del Progetto S4, finanziato nell'ambito della Convenzione 2007-2009 tra l'Istituto Nazionale di Geofisica e il Dipartimento della Protezione Civile, consiste nella classificazione dei siti di ubicazione delle postazioni accelerometriche utilizzando le categorie di sottosuolo previste nell'EC8-NTC2008. Nell'ambito del Task 2 è stata rilasciata una versione preliminare di tale classificazione (vers. 1.0), ottenuta soltanto su base litologica, utilizzando una mappa prodotta dall'INGV in un precedente progetto sismologico (Progetto S6 della Convenzione DPC-INGV 2005-2007). Questa mappa litologica deriva dalla Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, mediante l'accorpamento in classi delle Formazioni Geologiche secondo un criterio litologico e di età del deposito. Alle varie classi litologiche ottenute è stata quindi attribuita una delle cinque categorie di sottosuolo (A, B, C, D, E) dell'EC8-NTC2008.

Per le stazioni per le quali sono disponibili i profili di velocità delle onde di taglio V_s , la categoria di sottosuolo è stata eventualmente corretta, scegliendo la classificazione ottenuta dal profilo di velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri.

Nei giorni successivi all'evento del 6 aprile 2009, i ricercatori dell'UR2 e dell'UR6 del Progetto S4, impegnati nel Task 2, hanno effettuato sopralluoghi finalizzati alla verifica della localizzazione geografica, delle condizioni morfologiche e geologiche locali di alcune stazioni di registrazione ubicate nell'area aquilana.

Sulla base delle informazioni raccolte e dei dati acquisiti, è stata prodotta una versione aggiornata (vers. 1.1) della classificazione di sito per le suddette stazioni, attualmente disponibile sul sito web del Progetto S4 (<http://esse4.mi.ingv.it>).

2. Inquadramento geologico dell'area aquilana

Le stazioni accelerometriche analizzate sono ubicate nella Valle del Fiume Aterno (appennino Centrale), incassata tra i rilievi del Gran Sasso (ad est e nord-est) e i rilievi del gruppo Velino-Sirente (a sud-ovest) (figura 1).

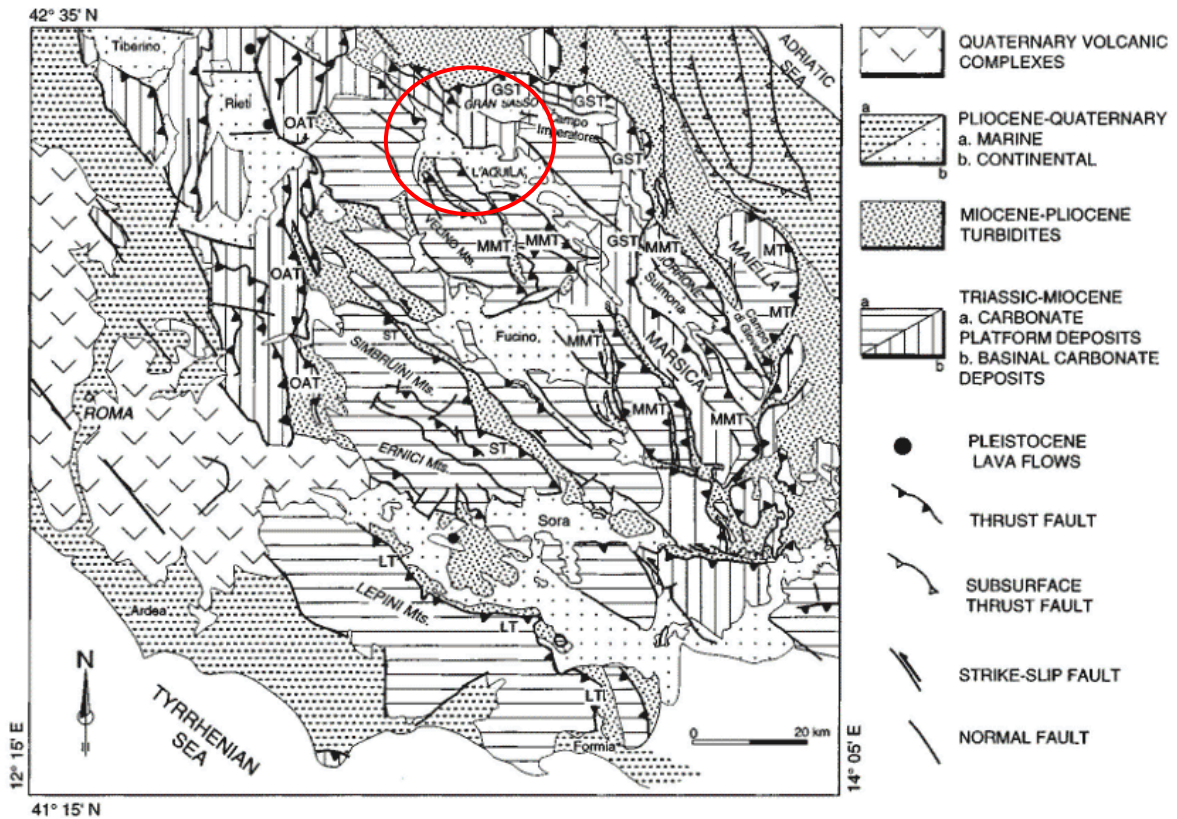


Figura 1. Schema geologico-strutturale dell'Appennino centrale (Cavinato & De Celles, 1999). Nel cerchio rosso la Valle del Fiume Aterno dove è ubicata la città di L'Aquila e dove sono installate le stazioni accelerometriche che hanno registrato i valori massimi del picco di accelerazione (PGA) per l'evento del 6 aprile 2009.

Schematicamente, nell'Appennino centrale abruzzese sono riconoscibili due grandi sistemi deposizionali meso-cenozoici. Il primo è rappresentato dalle piattaforme carbonatiche mesozoiche (calcari e dolomie) con evoluzione verso ambienti di rampa carbonatica e di bacino (calcareniti e marne), che ha agito fino al Miocene medio. Il secondo è costituito da potenti depositi silico-clastici (argille ed arenarie) di avanfossa, databili all'intervallo Miocene superiore-Pliocene. L'emersione della catena ha determinato successivamente un'intensa fase erosiva Plio-Pleistocenica. I cicli sedimentari erosivo-deposizionali hanno prodotto depositi di versante ed estesi depositi lacustri ed alluvionali che hanno colmato i bacini intrappenninici. Le fasi glaciali pleistoceniche hanno interagito con la dinamica a controllo tettonico, attraverso oscillazioni del livello di base fluviale e variazioni del regime morfo-

dinamico predominante. Nella figura 2 è riportata una distribuzione dei depositi quaternari presenti all'interno della Valle del Fiume Aterno, che costituisce l'elemento idrografico principale di quest'area.

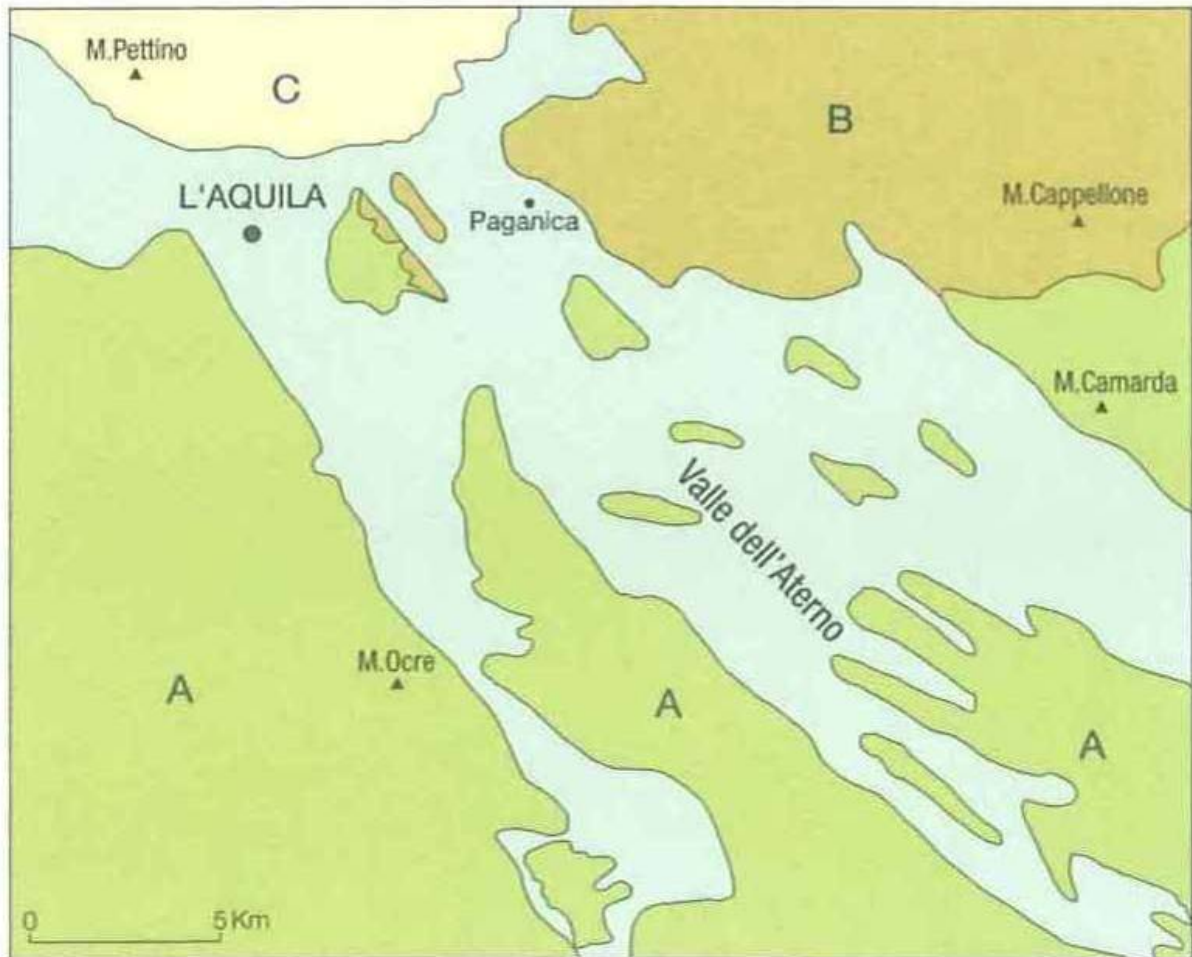


Figura 2. Distribuzione dei depositi quaternari (in celeste) e meso-cenozoici (in altri colori) nella conca aquilana e nella Valle dell'Aterno (tratta dal Foglio n. 359 "L'Aquila" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - APAT, 2006).

Si può notare l'allungamento in direzione NW-SE di questo bacino all'interno del quale sono ubicate le località, tra cui la città di L'Aquila, e le stazioni accelerometriche interessate dal terremoto del 6 aprile.

I rilievi dell'area aquilana sono costituiti da depositi carbonatici e solo in piccola parte marnoso-arenacei meso-cenozoici (subito ad est della città di L'Aquila). I depositi quaternari occupano invece le aree più depresse e nella figura 2 sono distinti nella porzione pleistocenica (beige) ed in quella olocenica (celeste).

Nella zona del centro abitato di L'Aquila sono presenti estesi depositi di breccie eterometriche pleistoceniche denominate "Megabreccie", a vario grado di cementazione, talora di notevoli dimensioni (anche di alcuni metri cubi), con

elementi principalmente calcarei immersi in matrice sabbioso-limosa (Blumetti et al., 2002)

Nella Valle dell'Aterno affiorano invece depositi lacustri che formano una complessa sequenza deposizionale di unità limose e sabbioso-conglomeratiche, con frequenti variazioni laterali, soprastanti il substrato calcareo (Bosi e Bertini, 1970 e Bertini et al., 1989). I depositi più recenti (Olocene), che si rinvengono al di sopra dei terreni meso-cenozoici e Pleistocenici, sono invece costituiti da alluvioni ciottoloso-sabbiose e subordinatamente sabbioso-limose, da depositi detritici di versante, da depositi eluvio-colluviali con detriti immersi in matrice limoso-argillosa (Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 – foglio 359 "L'Aquila").

3. Le stazioni accelerometriche nella Valle del Fiume Aterno

La geologia dei siti di ubicazione delle stazioni accelerometriche presenti nella Valle dell'Aterno è indicata nella figura 3. Le informazioni geologiche sono tratte dalla Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 – Foglio n. 139 L'Aquila e sono state utilizzate per redigere la versione 1.0 della classificazione di sito, proposta nell'ambito del Progetto S4.

Nella figura 3 si nota che la stazione AQK, nei pressi del centro storico di L'Aquila, è ubicata sui depositi inferiori lacustri, costituiti da sabbie e conglomerati (q1-l).

Le stazioni che si trovano invece a NW del centro abitato sono posizionate lungo un transetto che attraversa da SW a NE la Valle dell'Aterno e pertanto risultano ubicate in condizioni morfologiche e litologiche differenti.

Le stazioni AQG e AQP sono su roccia, costituita da depositi prevalentemente calcarei e calcareo-marnosi. Le stazioni AQA, AQV, AQM e AQF sono invece poste su terreni alluvionali recenti, prevalentemente sabbioso-conglomeratici.

Nella figura 3 è riportata anche la traccia della ben conosciuta faglia di Pettino (a NNW di L'Aquila), orientata in direzione NW-SE. In questo tratto della Valle dell'Aterno, questo elemento tettonico borda il lato orientale della piana. A seguito dell'evento sismico del 6 aprile lungo la faglia sono stati osservati fenomeni di mobilitazione co-sismica dell'ordine di alcuni cm (EMERGEO Working Group, 2009).

Sono stati effettuati sopralluoghi nelle stazioni AQK, AQV, AQG e AQA (le fotografie delle postazioni sono riportate nelle figure 4, 5, 6, 7 e 8). I rilievi di campagna sono stati effettuati utilizzando la nuova Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 – Foglio n. 359 "L'Aquila" e alcune cartografie di dettaglio della Regione Abruzzo in scala 1:25.000.

La stazione AQK è ubicata all'imbocco della galleria pedonale che consente l'accesso al centro storico della città dal parcheggio del terminal delle autolinee regionali (Figura 4). La Figura 5 illustra gli affioramenti presenti nelle vicinanze della postazione accelerometrica, costituiti da breccie ad elementi eterometrici di natura calcarea, ben cementate, di età pleistocenica.

Nella figura 8 è riportata una fotografia scattata dalla sommità di Colle Grilli (in destra idrografica del Fiume Aterno) che mostra l'allineamento delle stazioni presenti nel transetto della Valle del Fiume Aterno (soltanto il sito di ubicazione della postazione accelerometrica AQP, ubicata sulla sommità del Monte Pettino, non è visibile).



Figura 4. Postazione accelerometrica AQK (nel cerchio rosso).

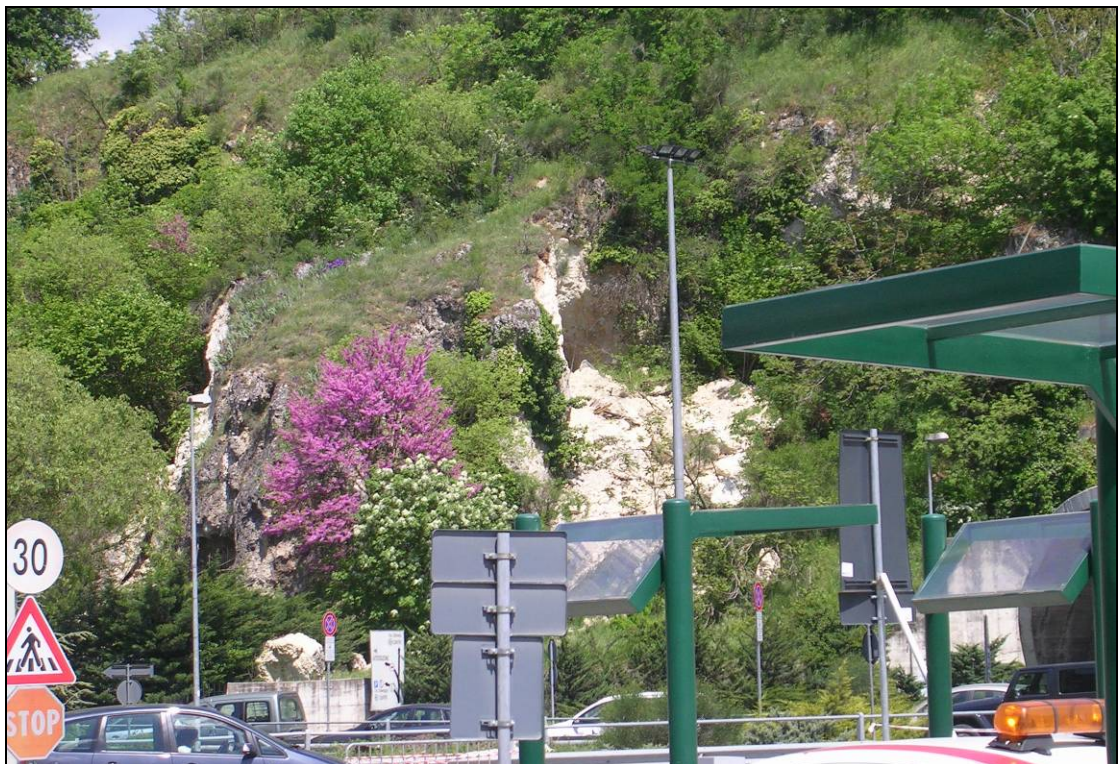


Figura 5. Affioramenti nelle vicinanze della postazione accelerometrica AQK.

La stazione AQV è ubicata al centro della Valle dell'Aterno, nei pressi di un edificio in c.a. a 2 piani fuori terra, che non ha subito nessun danneggiamento in occasione del terremoto del 6 aprile 2009 (figura 6)

La stazione AQG è invece ubicata su Colle Grilli, in destra idrografica del Fiume Aterno (figura 7)

La postazione AQA è sita sulla sponda del Fiume Aterno, in destra idrografica (figura 9).



Figura 6. Postazione accelerometrica AQV (nel cerchio rosso):



Figura 7. Postazione accelerometrica **AQG** su Colle Grilli. In basso sono visibili i calcari che costituiscono il rilievo.

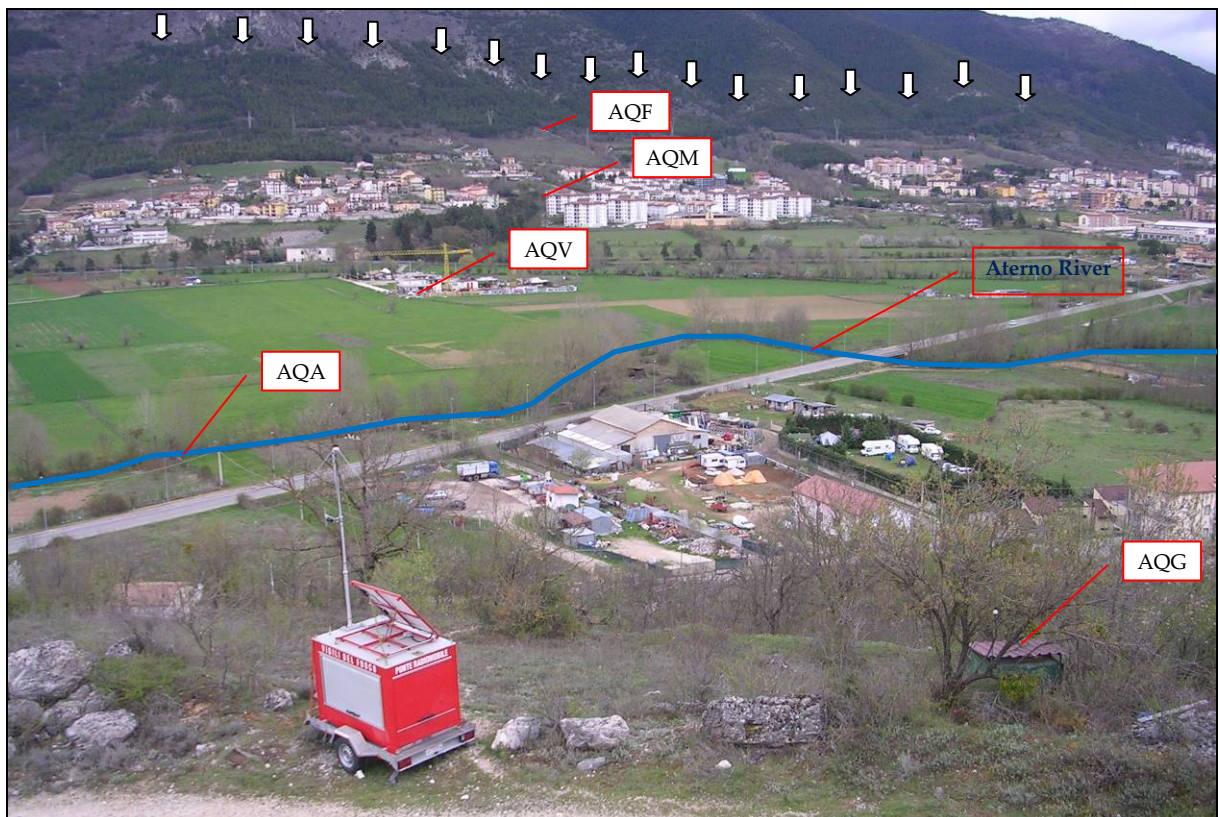


Figura 8. Postazioni accelerometriche **AQA**, **AQF**, **AQG**, **AQM** e **AQV** nella Valle dell'Aterno. Le frecce indicano il tracciato della Faglia di Pettino. Il verso di scorrimento del Fiume Aterno è da sinistra verso destra.



Figura 9. Postazione accelerometrica **AQA** (nel cerchio rosso).

Nelle pagine seguenti sono indicate le caratteristiche morfologiche e geologiche per ciascuno dei siti di ubicazione delle postazioni esaminate. I dati geologici sono tratti dalla Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 – Foglio n. 359 "L'Aquila".

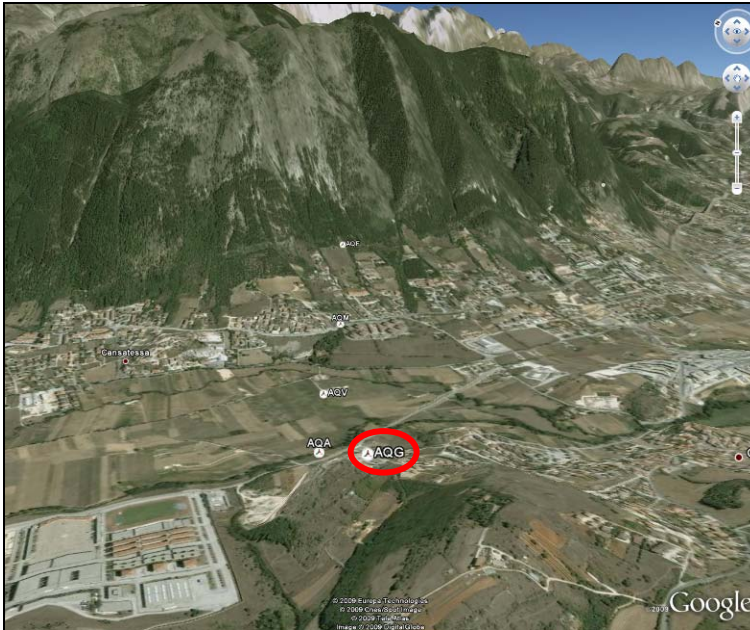
Per AQA e AQV sono disponibili le stratigrafie di sondaggi geognostici.

Per AQV è riportato il profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) ricavato da una prova cross-hole.

Inoltre, per ciascuna stazione sono riportati i rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e la componente verticale (HVSR) dei 12 aftershocks della sequenza de L'Aquila, con $M_l \geq 4$ e, nel caso in cui la stazione avesse registrato il mainshock, l'HVSR relativo all'evento principale. Vengono anche riportati gli HVSR relativi ad eventi avvenuti antecedentemente alla sequenza. È possibile notare che fatta eccezione per la postazione AQM, tutti i siti sembrano amplificare il moto sismico. In particolare, il sito della postazione AQK mostra un evidente picco di amplificazione intorno a 0,6 Hz, come del resto già evidenziato in De Luca et al. (2005).

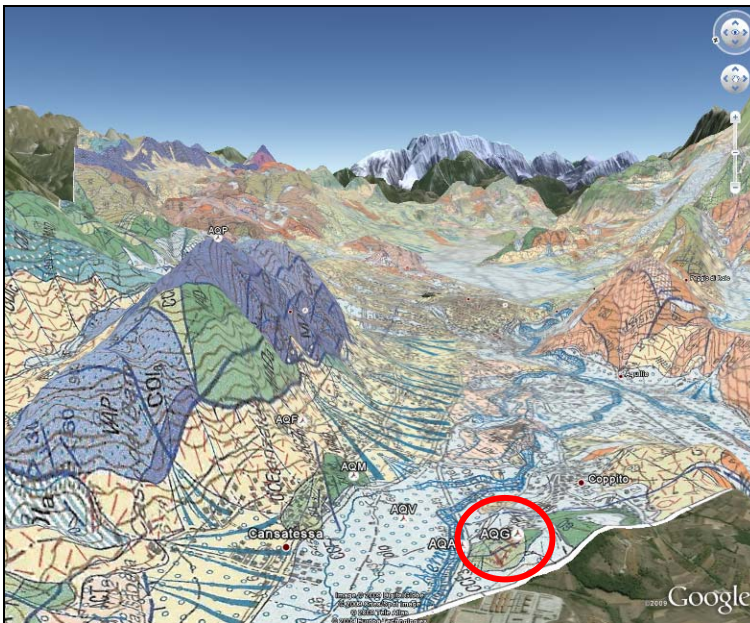
AQG

(Lat. N 42,37347 – Lon. E 13,33703)

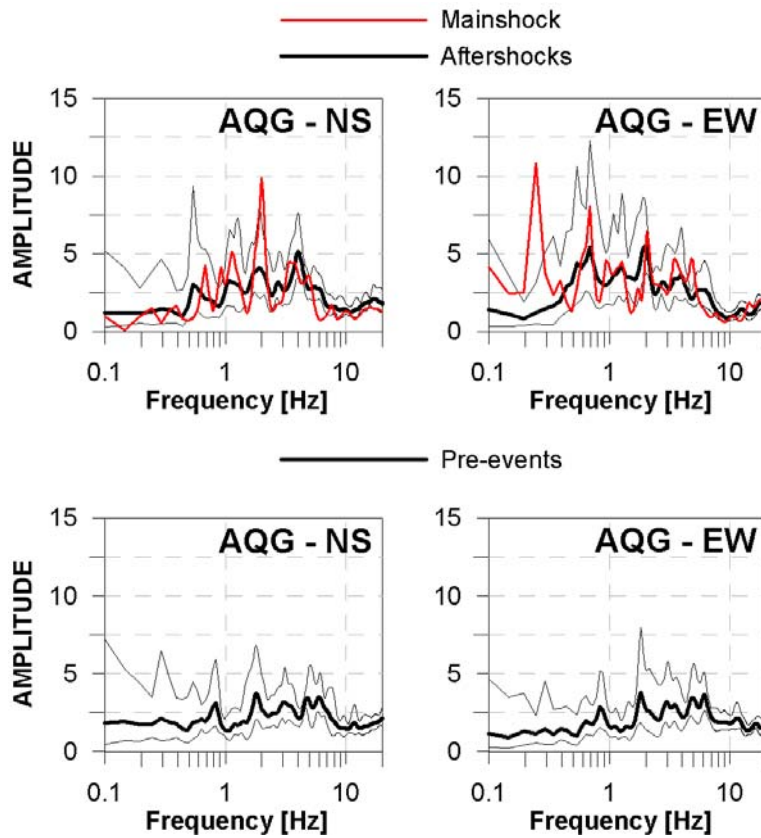


Morfologia: cresta.

La stazione è ubicata sulla sommità di Colle Grilli, in destra idrografica del Fiume Aterno, ad una quota di 721 m s.l.m.



Geologia: calcareniti-calciruditi bioclastiche in strati spessi (Cretacico)



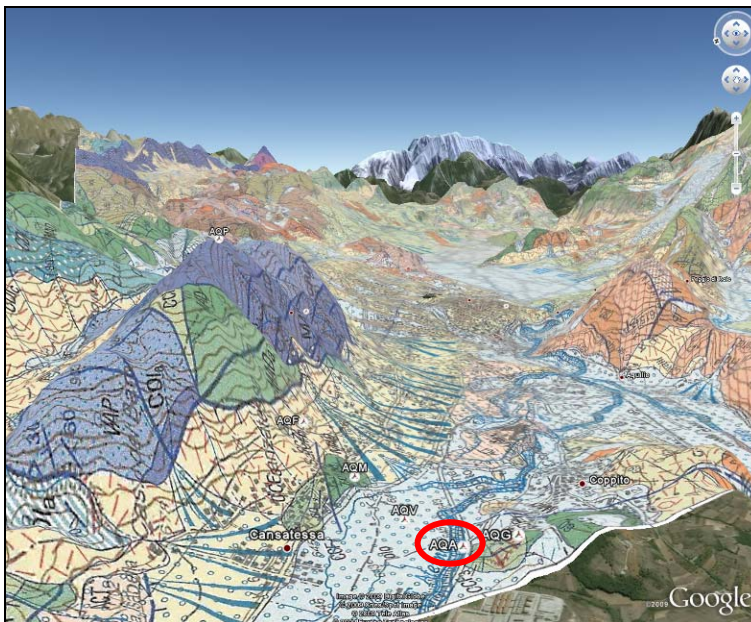
Rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e la componente verticale (HVSR) per la stazione AQG: in alto media \pm una deviazione standard degli HVSR relativi ai 12 aftershocks con $M_l \geq 4$ (nero) e l'HVSR relativo al mainshock. In basso media \pm una deviazione standard degli HVSR relativi agli eventi antecedenti la sequenza. Le media eseguita sugli eventi della sequenza è equivalente alla media eseguita sugli eventi antecedenti la sequenza. L'HVSR relativo al mainshock segue l'andamento medio per la stazione, con l'eccezione del picco di elevata ampiezza che appare sulla componente EW, nell'intervallo di frequenze tra 0,2 - 0,3 Hz.

AQA

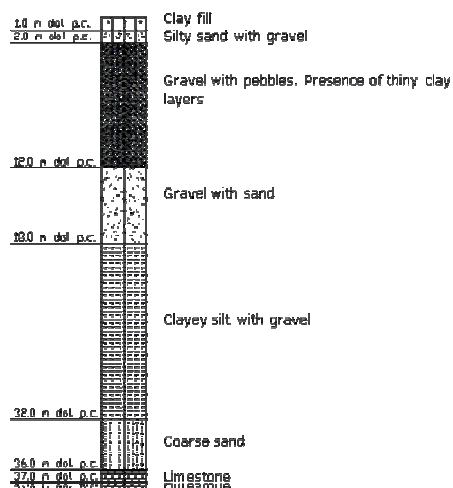
(Lat. N 42,37553 – Lon. E 13,33930)



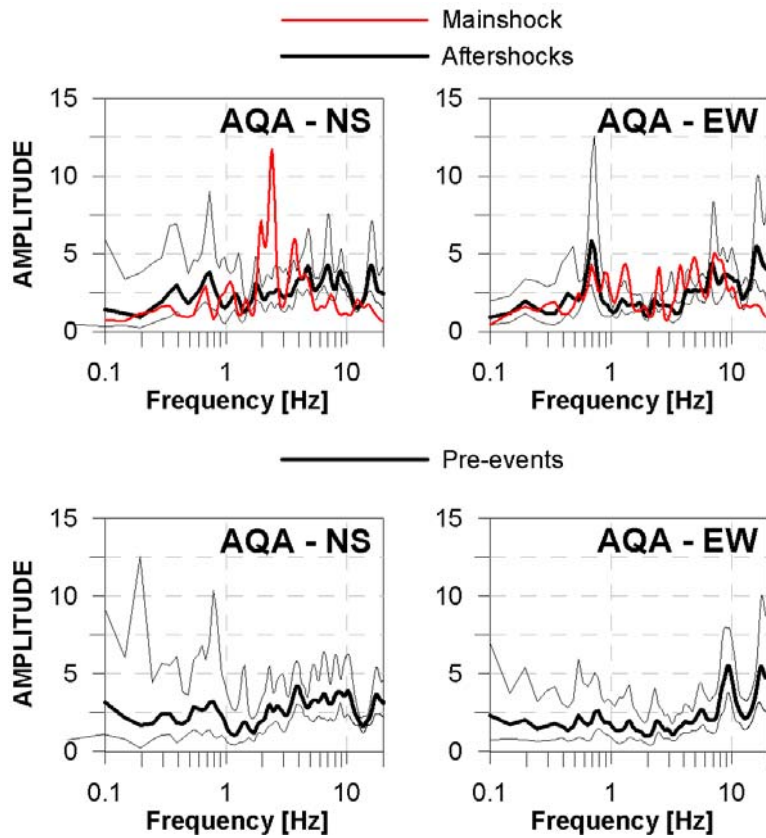
Morfologia: valle (bordo).
La stazione è ubicata sulla sponda destra del Fiume Aterno, ad una quota di 693 m s.l.m.



Geologia: depositi alluvionali prevalentemente ciottoloso-sabbiosi e subordinatamente sabbioso-limosi (Olocene-Attuale)



Sondaggio: a carotaggio continuo, fino ad una profondità di 37 m dal p.c. eseguito nei pressi della postazione accelerometrica.
Possibile bedrock a 36 m dal p.c.



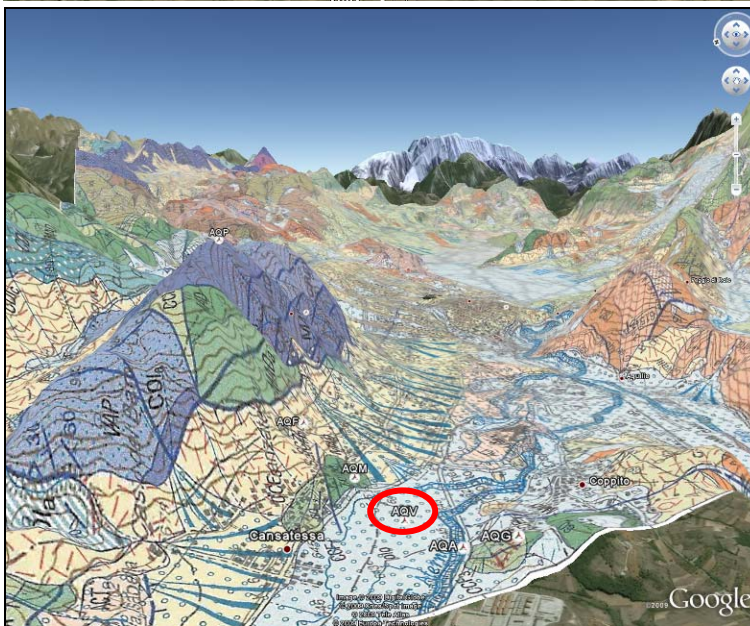
Rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e la componente verticale (HVSR) per la stazione AQA: in alto media \pm una deviazione standard degli HVSR relativi ai 12 aftershocks con $M_l \geq 4$ (nero) e l'HVSR relativo al mainshock. In basso media \pm una deviazione standard degli HVSR relativi agli eventi antecedenti la sequenza. Le media eseguita sugli eventi della sequenza è equivalente alla media eseguita sugli eventi antecedenti la sequenza, tranne per la componente EW, in cui è evidente un picco a 0,7 Hz. L'HVSR relativo al mainshock segue l'andamento medio per la stazione per la componente EW, mentre mostra una marcata amplificazione a 2 Hz.

AQV

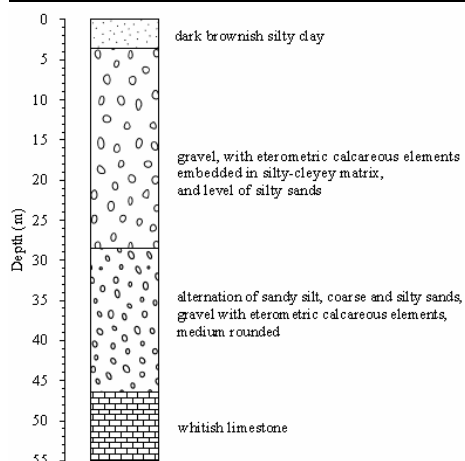
(Lat. N 42,37722 – Lon. E 13,34389)



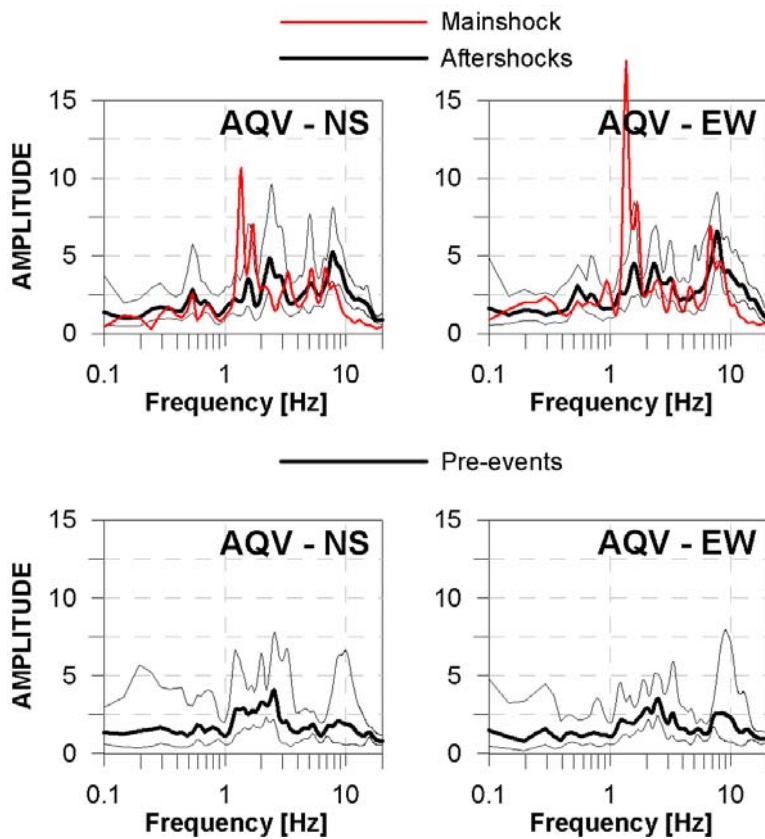
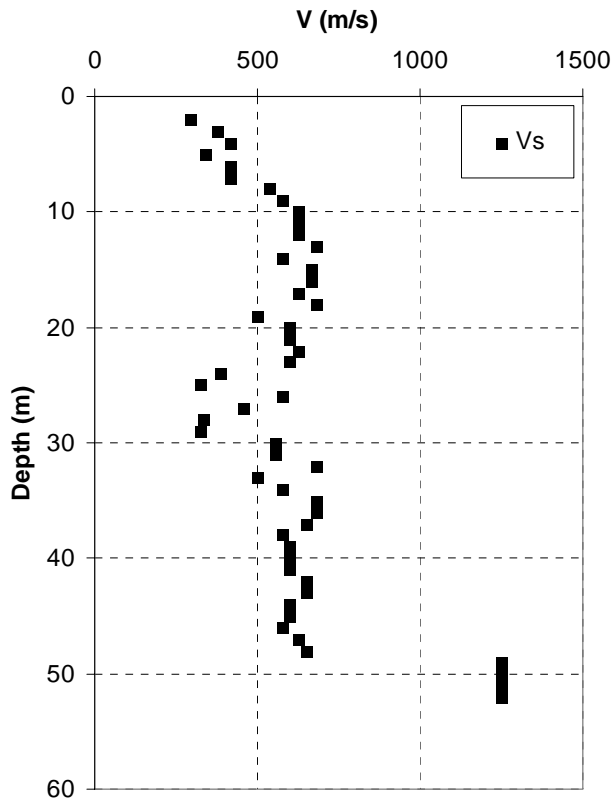
Morfologia: valle (centro).
La stazione è ubicata in sinistra idrografica del Fiume Aterno, ad una quota di 692 m s.l.m.



Geologia: depositi alluvionali prevalentemente ciottoloso-sabbiosi e subordinatamente sabbioso-limosi (Olocene-Attuale)



Sondaggio: a carotaggio continuo, fino ad una profondità di 55 m dal p.c. eseguito nei pressi della postazione accelerometrica. Possibile bedrock a circa 46 m dal p.c.



Cross-hole.

Il bedrock è presente a 49 m dal p.c. e consiste in un livello di calcare fratturato di colore biancastro

Rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e la componente verticale (HVSR) per la stazione AQV: in alto media +/- una deviazione standard degli HVSR relativi ai 12 aftershocks con $M_l \geq 4$ (nero) e l'HVSR relativo al mainshock. In basso media +/- una deviazione standard degli HVSR relativi agli eventi antecedenti la sequenza. Le medie eseguite sugli eventi della sequenza è equivalente alla media eseguita sugli eventi antecedenti la sequenza, L'HVSR relativo al mainshock mostra dei picchi significativi (maggiori della media + una deviazione standard) in corrispondenza di quanto evidenziato dalle medie degli aftershocks.

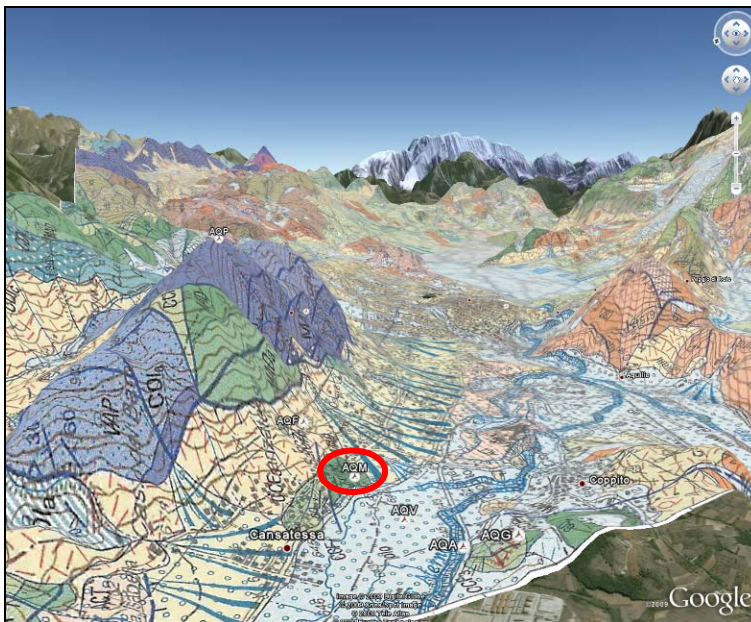
AQM

(Lat. N 42,37864 – Lon. E 13,34926)



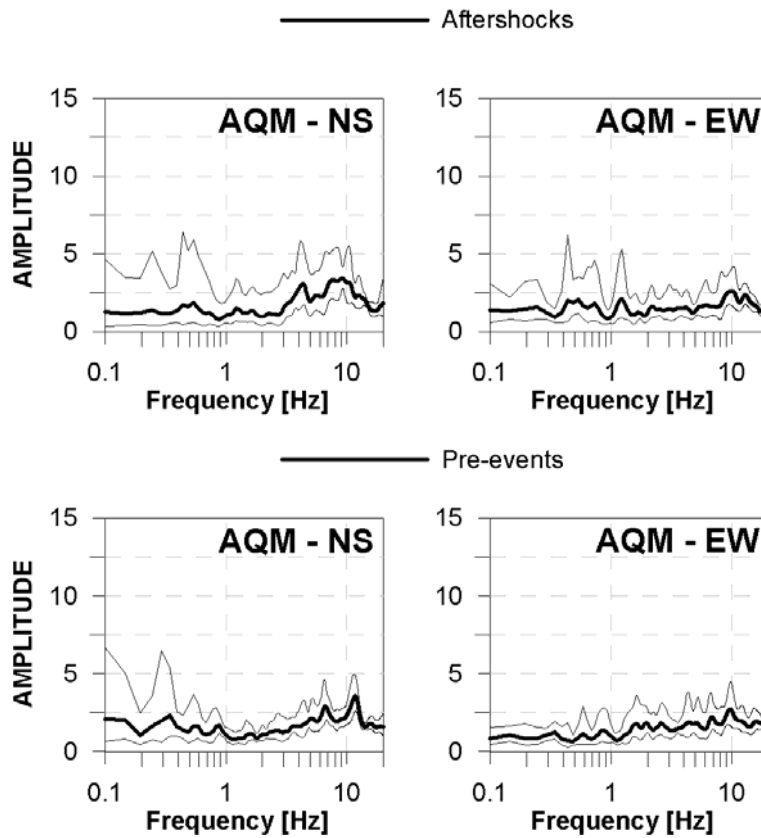
Morfologia: versante.

La stazione è ubicata in sinistra idrografica del Fiume Aterno, ad una quota di 724 m s.l.m.



Geologia: calcari micritici

biancastri e grigi, in strati sottili e medi, con selce nera e frequenti orizzonti biodetritici (Giurassico superiore-Cretacico inferiore)



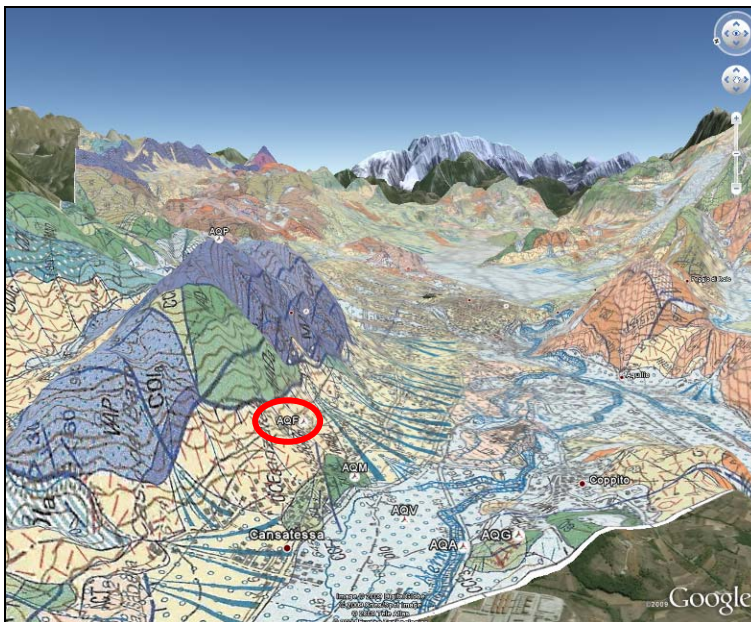
Rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e la componente verticale (HVSR) per la stazione AQM: in alto media \pm una deviazione standard degli HVSR relativi ai 12 aftershocks con $M_l \geq 4$ (nero). In basso media \pm una deviazione standard degli HVSR relativi agli eventi antecedenti la sequenza. Le media eseguita sugli eventi della sequenza è equivalente alla media eseguita sugli eventi antecedenti la sequenza. Non ci sono evidenze di amplificazione, per cui la stazione può essere considerata come sito di riferimento.

AQF

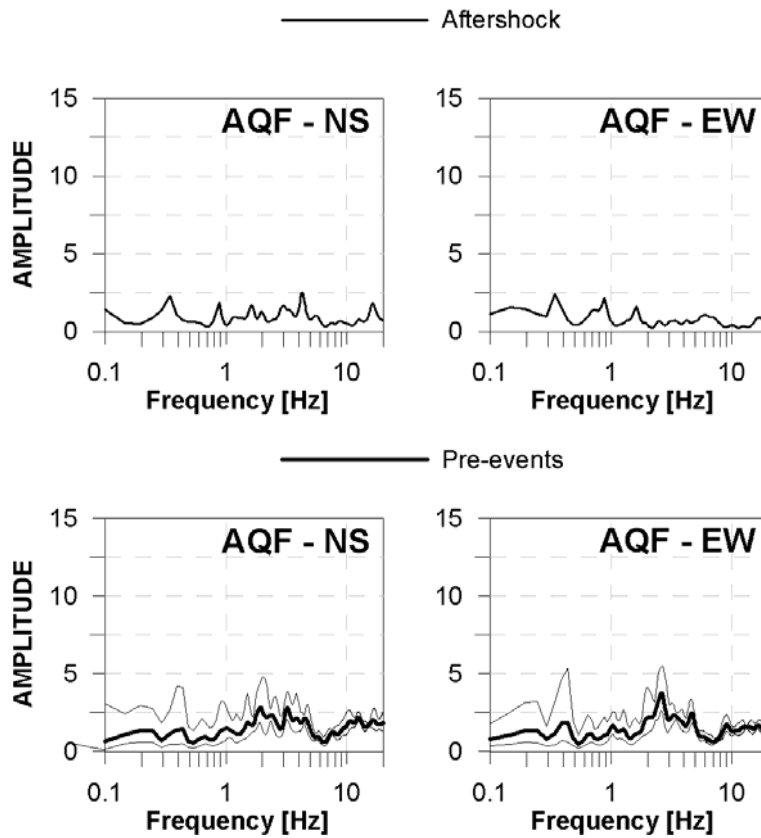
(Lat. N 42,38054 – Lon. E 13,3547)



Morfologia: versante.
La stazione è ubicata in sinistra idrografica del Fiume Aterno, ad una quota di 836 m s.l.m.



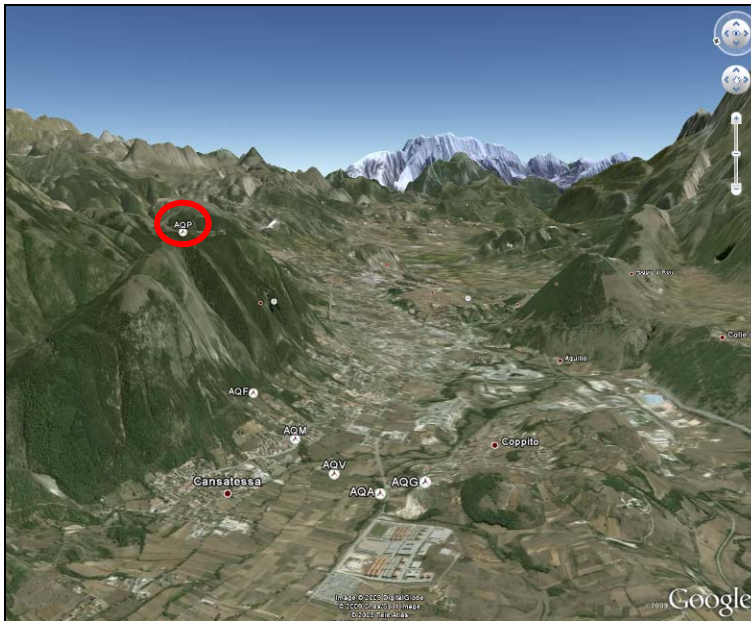
Geologia: depositi detritici di versante con tessitura medio-fine (Pleistocene superiore)



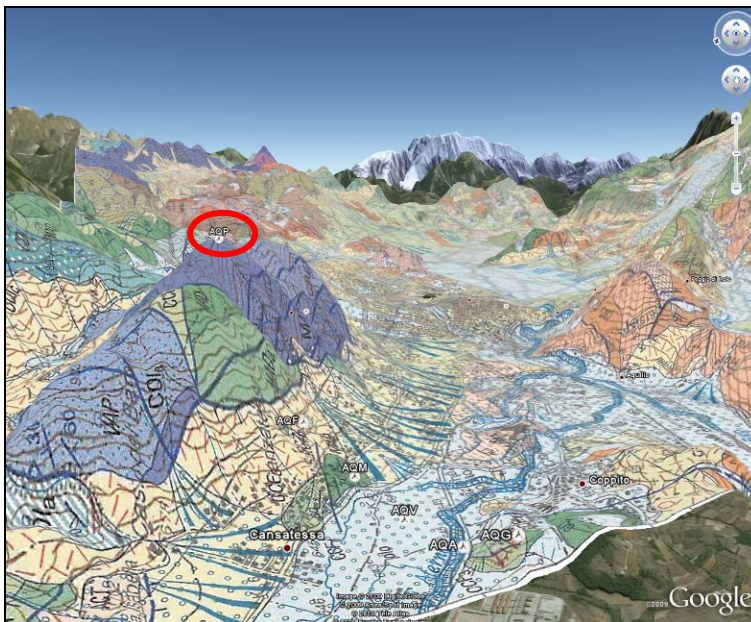
Rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e la componente verticale (HVSR) per la stazione AQF: in alto l'HVSR relativo ad un evento della sequenza. In basso media +/- una deviazione standard degli HVSR relativi agli eventi antecedenti la sequenza. La stazione mostra un'amplificazione di larga banda nell'intervallo di frequenza 2-6Hz per entrambe le componenti.

AQP

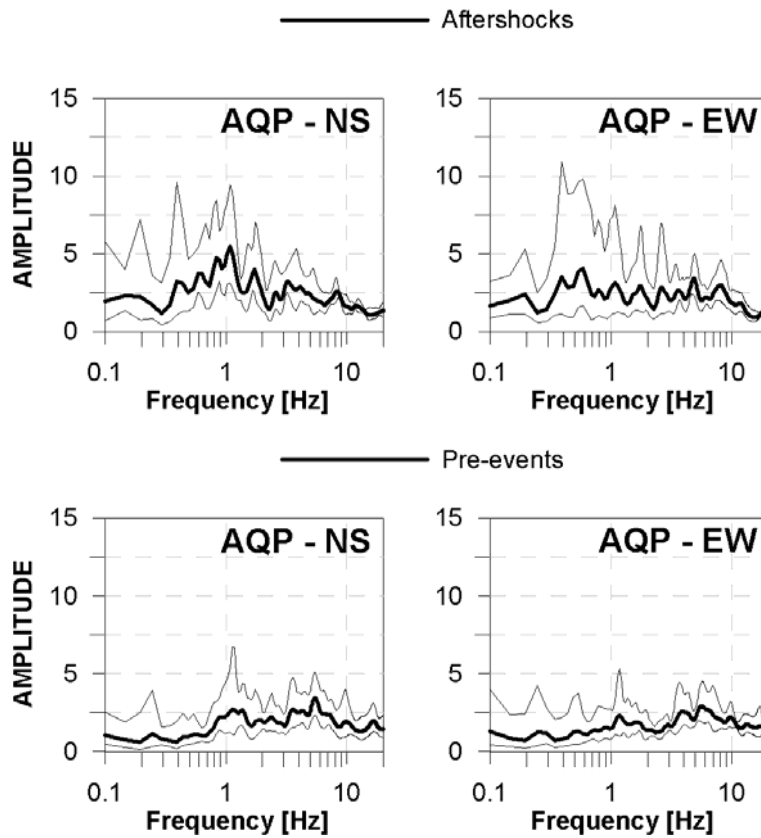
(Lat. N 42,38369 – Lon. E 13,36860)



Morfologia: cresta.
La stazione è ubicata sulla sommità del Monte Pettino, ad una quota di 1.193 m s.l.m.



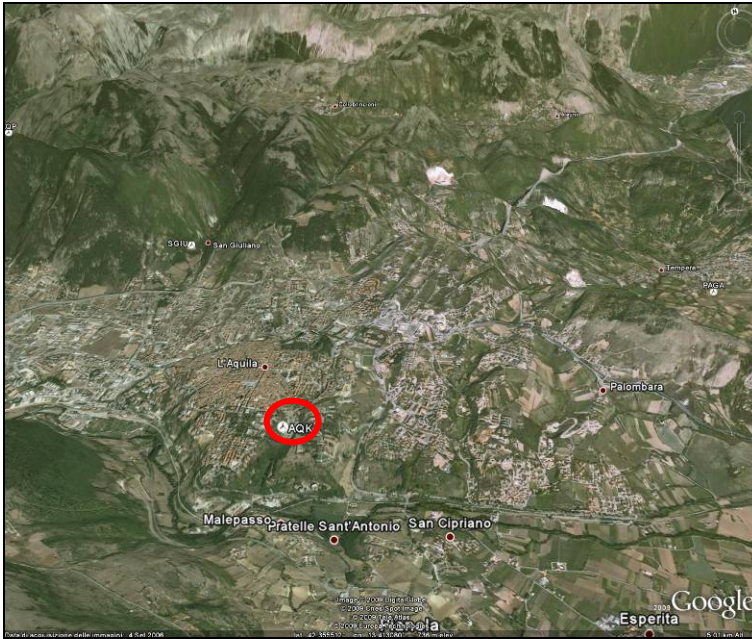
Geologia: calcari micritici in strati sottili, con frequenti liste di selce, intercalazioni calcarenitiche, e rari livelli di marne bituminose, in gran parte dolomitizzati (Giurassico)



Rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e la componente verticale (HVSR) per la stazione AQP: in alto media +/- una deviazione standard degli HVSR relativi ai 12 aftershocks con $M_l \geq 4$. In basso media +/- una deviazione standard degli HVSR relativi agli eventi antecedenti la sequenza. Le media eseguita sugli eventi della sequenza mostra una più marcata amplificazione per entrambe le componenti, in una banda di frequenza piuttosto ampia (0.3-2 Hz), che viene segnalata come anomalia. Pertanto questo sito merita indagini ed approfondimenti.

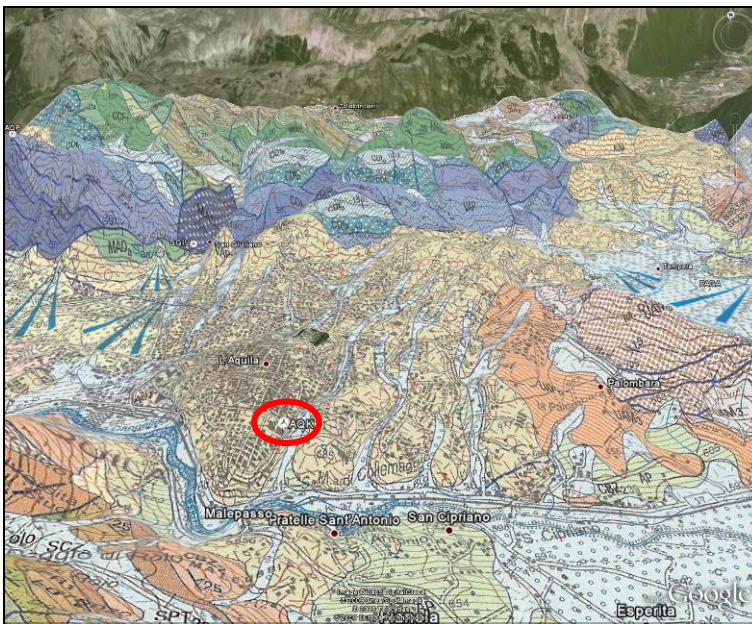
AQK

(Lat. N 42,34497 – Lon. E 13,40095)

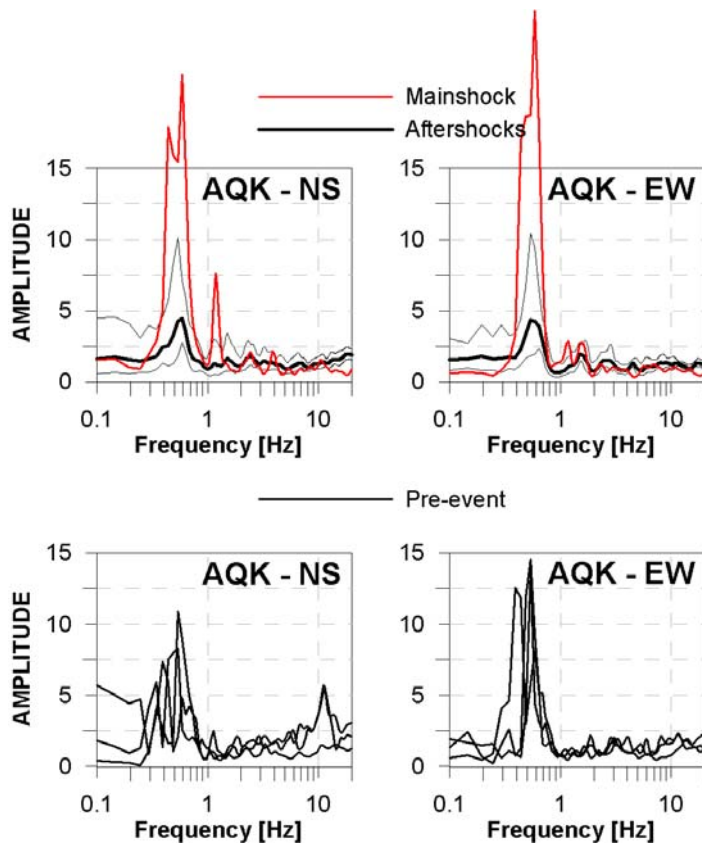


Morfologia: versante (subverticale).

La stazione è ubicata in sinistra idrografica del Fiume Aterno, ad una quota di 726 m s.l.m.



Geologia: depositi alluvionali prevalentemente ciottoloso-sabbiosi e sabbioso-siltosi, anche poco elaborati, alternati a depositi detritici di versante, anche molto grossolani. Si intercalano a depositi lacustri sabbioso-siltosi anche a composizione prevalentemente carbonatica ed a depositi palustri siltosi e argillosi. Giacciono in discordanza angolare sul substrato (Pliocene ? – Pleistocene medio)



Rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e la componente verticale (HVSR) per la stazione AQK: in alto media +/- una deviazione standard degli HVSR relativi ai 12 aftershocks con $M_l \geq 4$ (nero) e l'HVSR relativo al mainshock (rosso). In basso HVSR relativi a tre eventi antecedenti la sequenza. L'evidente picco compreso tra 0,5 e 0,6 Hz è costante sia per gli eventi antecedenti la sequenza, che per gli aftershock della sequenza. L'HVSR relativo all'evento principale presenta una marcata amplificazione alla frequenza fondamentale, molto più elevata della media + una deviazione standard.

4. Classificazione di sito

Sulla base delle caratteristiche geologiche di ciascun sito di ubicazione delle postazioni accelerometriche, dei rapporti H/V ottenuti dalle registrazioni degli eventi della sequenza sismica e del profilo di velocità V_s disponibile per la stazione AQV, vengono proposte le seguenti categorie di sottosuolo (EC8-NTC2008) per le stazioni accelerometriche esaminate:

Codice stazione	Latitudine (N)	Longitudine (E)	Denominazione stazione	Quota (m s.l.m.)	Categoria sottosuolo
AQA	42,37553	13,33930	L'AQUILA - V. ATERNO - F. ATERNO	693	B*
AQF	42,38054	13,35474	L'AQUILA - V. ATERNO - FERRIERA	836	B*
AQG	42,37347	13,33703	L'AQUILA - V. ATERNO - COLLE GRILLI	721	A*
AQK	42,34497	13,40095	L'AQUILA - V. ATERNO - AQUIL PARK IN	726	B*
AQM	42,37864	13,34926	L'AQUILA - V. ATERNO - IL MORO	724	A*
AQP	42,38369	13,36860	L'AQUILA - V. ATERNO - M. PETTINO	1.193	A*
AQV	42,37722	13,34389	L'AQUILA - V. ATERNO - CENTRO VALLE	692	B

Con l'eccezione del sito della postazione AQV, le varie categorie di sottosuolo risultano asteriscate quando la classificazione di sito è stata effettuata in assenza del valore di V_{s30} .

5. Bibliografia

- APAT (2006). Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Foglio n. 359 "L'Aquila". S.EL.CA. – Firenze.
- Bertini T., Bosi C., and Galadini F. (1989). La conca di Fossa-S. Demetrio dei Vestini. In: CNR, Centro di Studio per la Geologia Tecnica, ENEA, P.A.S.: "Elementi di tettonica pliocenico-quadernaria ed indizi di sismicità olocenica nell'Appennino laziale-abruzzese". Società Geologica Italiana, L'Aquila, 26-58.
- Bosi C. and Bertini T. (1970). Geologia della Media Valle dell'Aterno. Memorie della Società Geologica Italiana, Volume IX, 719-777.
- Blumetti A.M., Di Filippo M., Zaffiro P., Marsan P. and Toro B. (2002). Seismic hazard characterization of the city of L'Aquila (Abruzzo, Central Italy): new data from geological, morphotectonic and gravity prospecting analyses. In "Large-scale vertical movements and related gravitational processes" (Dramis, F., Farabollini, P. and Molin, P. Eds), Studi Geologici Camerti, Special Volume, Int. Workshop Camerino-Rome, 21-26 Giugno 1999, 7-18.
- Cavinato G.P. and De Celles P.G. (1999). Extensional basins in the tectonically bimodal central Apennines fold-thrust belt, Italy: response to corner flow above a subducting slab in retrograde motion. *Geology*, 27, 955-958.
- De Luca G., Marcucci S., Milana G. and Sanò T. (2005). Evidence of Low-Frequency Amplification in the City of L'Aquila, Central Italy, through a Multidisciplinary Approach Including Strong- and Weak-Motion Data, Ambient Noise, and Numerical Modeling. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 95, No. 4, pp. 1469–1481, doi: 10.1785/0120030253
- EC8 (2003). ENV 1998-1-1, EUROCODE 8 - Design of Structures for Earthquake Resistance, December, 2003.
- EMERGEIO Team (2009). INGV Report (<http://portale.ingv.it/real-time-monitoring/emergeio/>).
- NTC (2008). Norme Tecniche per le Costruzioni. DM 14 gennaio 2008, Gazzetta Ufficiale, n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma (www.cslp.it).
- SIG (1955). Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 – Foglio n. 139 L'Aquila. Servizio Geologico d'Italia.