

Sisma dell'Aquila ed effetti locali: dove finisce la natura comincia la mano dell'uomo

Franco Ortolani, Ordinario di Geologia, Università Federico II di Napoli

Silvana Pagliuca, ISAFOM-CNR, Ercolano (NA)

Angelo Spizuoco, Ingegnere, Centro Studi Strutture Geologia Geotecnica, S. Vitaliano (NA),
www.spizuoco.it

Sintesi della relazione tenuta nel Workshop dal titolo "Il terremoto Aquilano dell'aprile 2009: primi risultati e strategie future" svolto il 4 giugno 2009 presso l'Università "G. d'Annunzio" di Chieti-Pescara.

Premessa

Il terremoto del 6 aprile 2009 (Mw 6,3) seguito da centinaia di repliche è stato provocato dalla riattivazione di più faglie crostali presenti nel sottosuolo dell'Aquila a profondità di circa 9 chilometri. Il sisma aquilano si inserisce tra quelli originati da varie faglie sismogenetiche note nell'Appennino umbro, laziale e abruzzese (figura 1). Il meccanismo focale è di tipo faglia normale con direzione parallela all'asse della catena immergente verso il Tirreno o verso l'Adriatico. Nella figura 2 sono rappresentati gli epicentri degli eventi più significativi a partire dal 6 aprile 2009 con i relativi meccanismi focali. E' ubicato anche l'epicentro del mainshock come indicato da INGV e come, invece, proposto dagli autori della presente nota sulla scorta dei risultati delle indagini geoambientali effettuate nell'area epicentrale. La direzione di propagazione è stata verso SE. L'area maggiormente danneggiata comprende il capoluogo abruzzese e i centri abitati circostanti ed è allungata in direzione NW-SE per circa 14 km per una lunghezza variabile da circa 2 a 5-6 km (figura 3).

Dopo il sisma sono stati effettuati rilievi sul campo da parte di vari ricercatori italiani e stranieri. Numerose relazioni sono disponibili in vari siti internet e i risultati delle indagini sono stati illustrati in convegni e workshop come quello tenutosi a Chieti il 4 giugno 2009 presso Università "G. d'Annunzio" di Chieti-Pescara, dal titolo "Il terremoto Aquilano dell'aprile 2009: primi risultati e strategie future" durante il quale gli scriventi hanno presentato i dati sintetizzati nella presente nota.

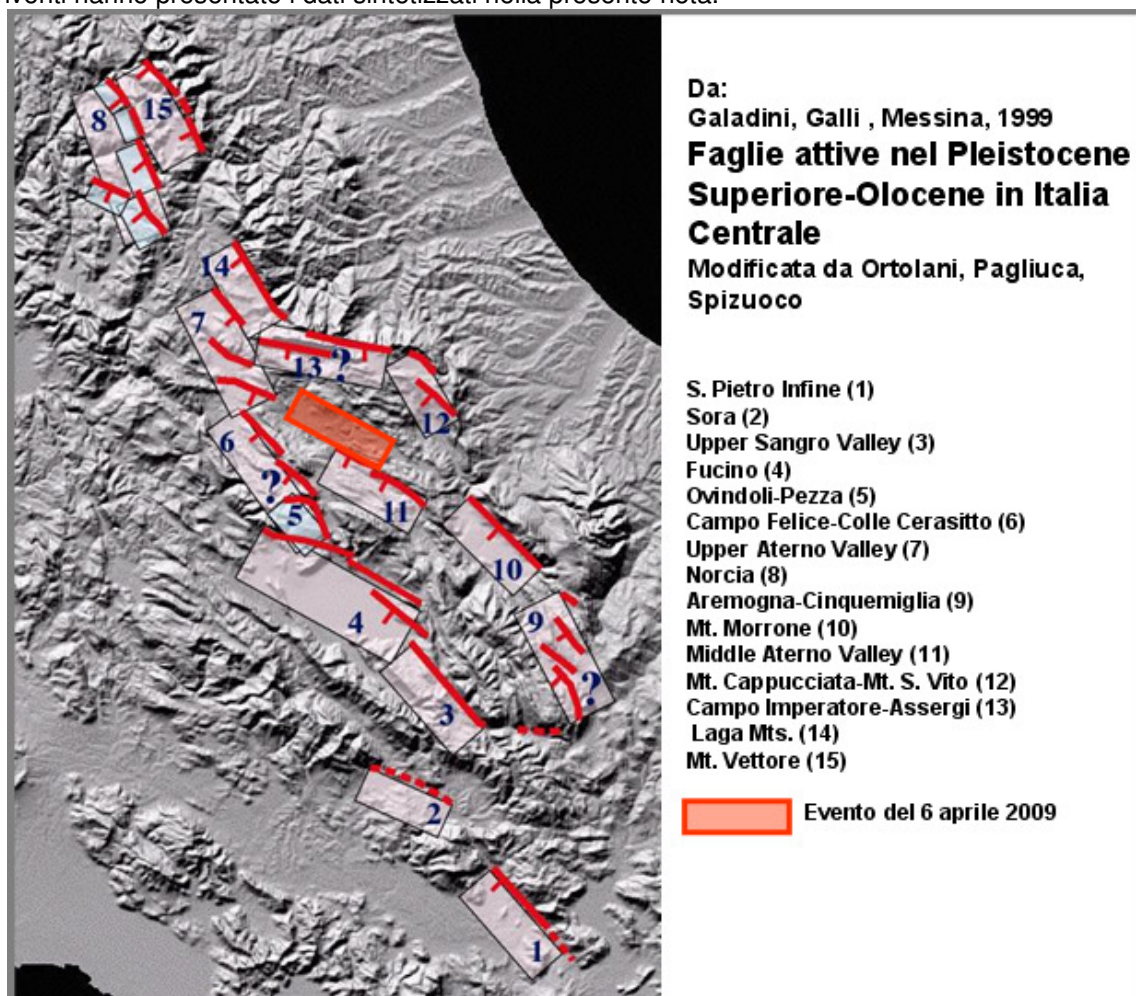


Figura 1: L'area interessata dal sisma del 6 aprile 2009 nel quadro della tettonica attiva sismogenetica dell'Appennino umbro-abruzzese-laziale.

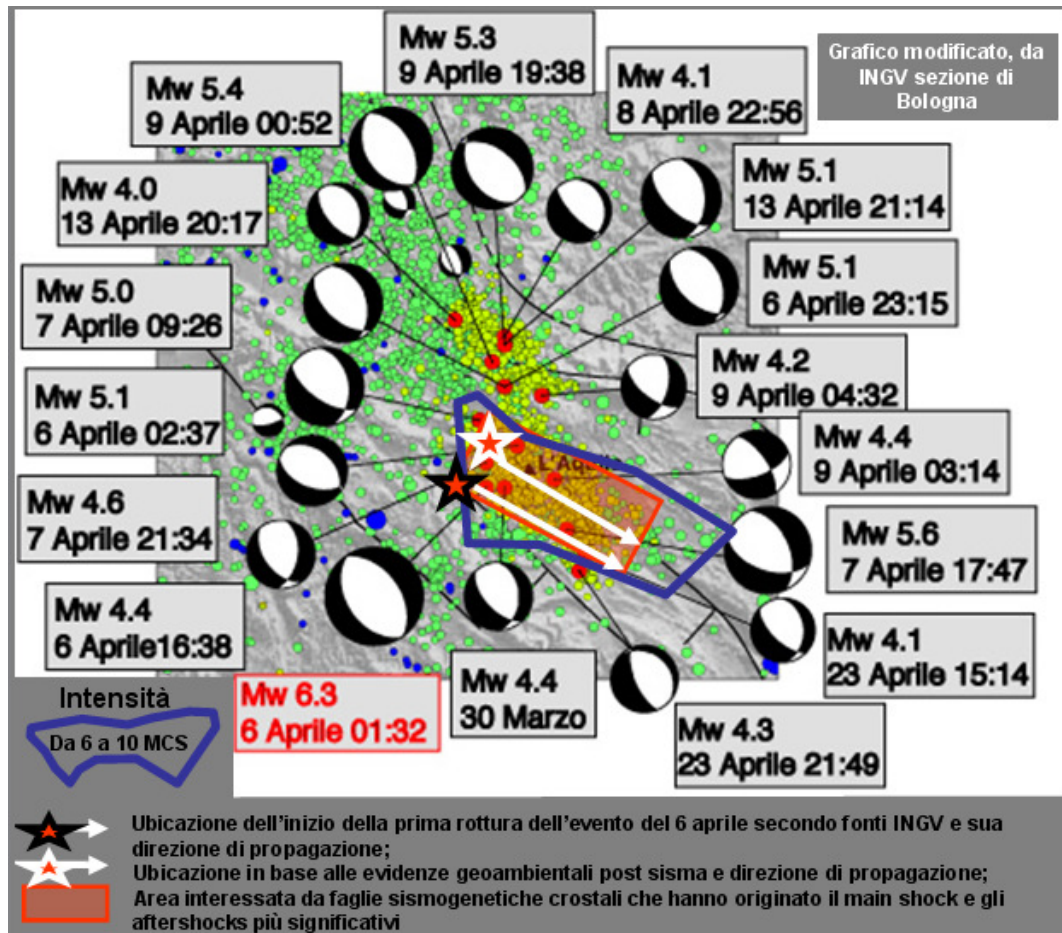


Figura 2: Ubicazione e meccanismi focali dei più significativi eventi sismici succedutisi dal 6 aprile 2009; con la linea blu è delimitata l'area interessata dai principali effetti rilevati in superficie. La linea rossa racchiude l'area interessata dal mainshock e dalla maggior parte degli aftershocks dell'area epicentrale.



Figura 3: Inquadramento dell'area interessata dal sisma del 6 aprile 2009. I numeri nel cerchio bianco indicano i siti più significativi discussi nel lavoro.

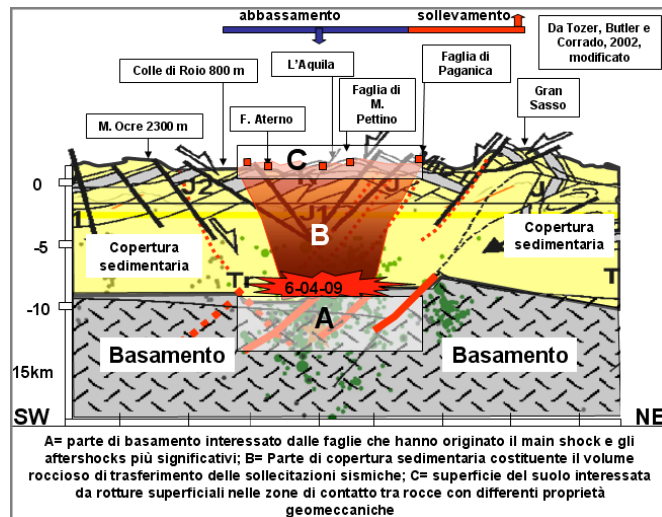


Figura 4: Schema strutturale, che mette in relazione gli effetti di superficie del sisma del 6 aprile 2009 con la struttura profonda, elaborato in base all'interpretazione della struttura profonda fino a circa 5 km di Tozer et al., 2002 e all'interpretazione dei dati sismologici resi noti da INGV (2009). Nel basamento è stata distinta la zona A, interessata dalla faglia che ha originato il mainshock e da quelle responsabili dei numerosi aftershocks. La zona B rappresenta la parte di copertura sedimentaria, interessata da abbassamento, costituita da significative discontinuità geomeccaniche sub orizzontali e sub verticali, rappresentante il volume di rocce entro il quale si sono trasferite le sollecitazioni sismiche indotte dalle rotture crostali che in superficie (zona C) hanno originato i più significativi e dannosi effetti locali compresa la rottura lungo la faglia di Paganica.

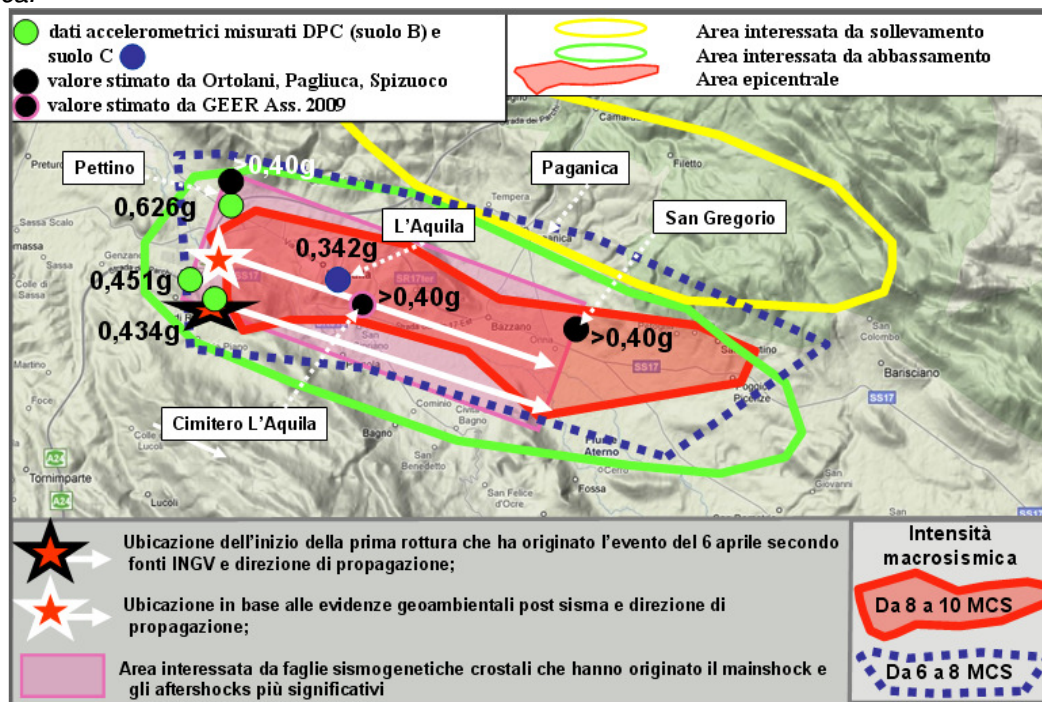


Figura 5: Principali effetti, registrati, misurati e stimati, del sisma del 6 aprile 2009. L'intensità macrosismica MCS è tratta dal rilievo coordinato da Galli e Camassi, 2009. I valori di accelerazione al suolo, misurata dalla rete DPC, sono integrati da tre valori valutati a Pettino e a San Gregorio da Ortolani, Pagliuca e Spizuoco e da GEER Association, 2009, nel Cimitero dell'Aquila, in base a significativi effetti sui manufatti. E' rappresentata (con la stella bianca) la più probabile ubicazione dell'inizio della faglia del mainshock e la sua direzione di propagazione verso Monticchio, Onna e San Gregorio per circa 14 km. Spicca la bassa accelerazione che ha interessato il suolo del centro abitato di Monticchio. I valori più elevati di accelerazione sono stati misurati in corrispondenza dell'inizio della rottura del mainshock, all'estremità nord occidentale della faglia sismogenetica crostale ubicata intorno a 9 km di profondità. Gli effetti di valori elevati di accelerazione al suolo sono evidenti lungo la direzione di propagazione della frattura fino a San Gregorio. E' evidente che i valori elevati di accelerazione al suolo si rinvenivano solo nei siti dove le caratteristiche geotecniche dei sedimenti presenti nel sottosuolo hanno determinato significativi effetti di amplificazione delle onde S.

La geologia dell'area interessata dal sisma del 6 aprile 2009 nell'alta valle del F. Aterno nei dintorni dell'Aquila è rappresentata nella carta geologica in scala 1:50.000 (Carta Geologica d'Italia, Foglio L'Aquila n. 349, progetto CARG, 2005). La carta evidenzia che in affioramento si riscontrano varie unità carbonatiche di età Mesozoico-cenozoica con copertura terrigena miocenica costituenti prismi accavallati vergenti verso l'Adriatico. Anche questa parte di catena appenninica è stata interessata da tettonica quaternaria che ha individuato vari prismi sollevati e abbassati da faglie ad andamento sub verticale. Nelle aree strutturalmente depresse si sono accumulati sedimenti alluvionali costituiti da detriti carbonatici e livelli sabbioso-limoso-argillosi. Coperture detritiche carbonatiche si rinvengono dislocate a varie quote e alla base dei rilievi carbonatici. L'area interessata dal sisma del 6 aprile 2009 è caratterizzata dall'affioramento di rilievi carbonatici dislocati da faglie sub verticali, da coperture detritiche di versante e dai sedimenti accumulatisi nella depressione strutturale della valle del Fiume Aterno. Numerosi studi geologici hanno evidenziato che lungo le faglie che mettono a contatto i rilievi carbonatici con le coperture detritiche si sono verificati vari spostamenti verticali nelle ultime migliaia di anni provocati da eventi sismici; tali evidenze si rinvengono dal Gran Sasso, ad est, fino alla valle del fiume Salto, ad ovest (figura 1). L'area in esame è caratterizzata dalla testimonianza morfologica di elementi strutturali che interessano il basamento localizzato a circa 9 km di profondità: si tratta di numerosi sinkholes (ampi sprofondamenti circolari "tipo dolina") presenti lungo allineamenti appenninici ed antiappenninici diffusi in gran parte dell'area epicentrale dai rilievi di Roio fino a Fossa e San Demetrio ne' Vestini (figura 3). Questi sprofondamenti sono da attribuire all'azione di dissoluzione, dal basso verso l'alto, su rocce carbonatiche operata da fluidi aggressivi risaliti attraverso fratture crostali, come si verifica in altre aree dell'Appennino. Le varie unità sedimentarie che costituiscono la catena appenninica rappresentano prismi, sovrapposti e a contatto laterale, di rocce con differenti proprietà geomeccaniche per uno spessore stimato variabile all'incirca da 6 a 9 km (figura 4).

Gli accelerometri della rete DPC (Dipartimento della Protezione Civile) hanno rilevato valori elevati dell'accelerazione al suolo nei dintorni dell'Aquila (figura 5). Valori di accelerazione superiori a 0,40 g sono stati stimati dagli scriventi, immediatamente dopo l'evento sismico principale, per alcune zone della località "Pettino", nonché per un sito a San Gregorio ubicato a circa 14 km di distanza dall'inizio della rottura del 6 aprile; agli stessi valori di accelerazione sono giunti i ricercatori della GEER Association (2009) con il calcolo condotto per il Cimitero dell'Aquila.

L'analisi ed elaborazione dei dati geofisici relativi all'ubicazione del mainshock e degli aftershocks, finora resi disponibili, alla luce dei dati geoambientali rilevati sul territorio (effetti su edifici che testimoniano una elevata accelerazione al suolo, di seguito descritti) dopo l'evento lasciano intravedere alcuni problemi circa l'ubicazione della faglia sismogenetica crostale proposta da INGV che secondo gli autori della presente nota si troverebbe più vicino all'Aquila (figure 3 e 5).

In seguito al sisma la superficie del suolo (IREA-CNR 2009) è stata interessata da spostamenti verticali (massimo circa 25 cm) con abbassamenti (zona a) e sollevamenti (zona b) (figure 4, 6, 7). Una frattura lineare del suolo (INGV Emergeo, 2009) evidenziatasi a Paganica (Rottura di Paganica in figura 6, ubicata lungo la fascia di transizione tra la parte abbassata e quella sollevata) è stata interpretata da vari autori come l'affioramento del prolungamento attraverso la copertura sedimentaria (PFCS) della faglia sismogenetica crostale (FCS1) (figura 7). Sulla superficie di faglia crostale FCS1, all'estremità nordoccidentale, è ubicata indicativamente la zona dove è avvenuta la prima rottura (ir) del main shock e la sua propagazione verso SE (pr) (figura 7). Ad est di FCS1 sono schematicamente indicate le altre faglie crostali che hanno originato numerosi aftershocks il cui prolungamento in superficie non ha provocato effetti rilevabili (figura 7). Ad ovest di FCS1 sono stati rilevati, stranamente, pochissimi aftershocks. Tale dato conferma la proposta degli autori della presente nota che ubicano la faglia sismogenetica crostale alcuni chilometri più ad est della ubicazione INGV e più vicino alla città dell'Aquila.

Tra gli elementi geoambientali più significativi si ricordano le fratture al suolo rilevate nell'abitato di Paganica (figura 8) e altre evidenze di movimenti relativi tra rocce carbonatiche e coperture detritiche segnalate lungo varie faglie (INGV Emergeo, 2009). La struttura profonda (figura 4) ricostruita da Tozer et al., 2002, mette in evidenza l'improbabilità che la faglia crostale responsabile dell'evento del 6 aprile 2009 possa prolungarsi come tale attraverso le significative discontinuità geomeccaniche sub orizzontali e sub verticali che interessano la copertura sedimentaria. La rottura di Paganica è interpretabile come una risposta di superficie alle sollecitazioni cosismiche nella fascia di passaggio tra la parte ribassata e quella rialzata; tale rottura, come accaduto frequentemente lungo faglie dell'Appennino umbro-laziale-abruzzese, si è rimobilizzata e si rimobilizzerà in seguito ad eventi sismici crostali originati da faglie presenti nel basamento in una fascia ampia mediamente circa 10 km (5 km ad ovest e 5 km ad est delle rotture di superficie come quella di Paganica).

Nella pianura alluvionale del Fiume Aterno, nei pressi di Onna, sono state osservate varie fratture del suolo (figura 8) con locali fenomeni di costipamento che hanno interessato anche vari rilevati stradali. I versanti impostati su rocce carbonatiche sono stati interessati da fenomeni di crollo di prismi rocciosi di varie dimensioni (INGV Emergeo, 2009).

Gli scriventi hanno concentrato i rilevamenti nell'area epicentrale in siti (Pettino, Monticchio, Onna e San Gregorio) che hanno fornito evidenze verificabili e documentate di tipo geologico, geotecnico e

ingegneristiche di comportamento sostanzialmente differente dell'insieme sottosuolo-manufatti: vale a dire siti dove vi sono state marcate amplificazioni delle sollecitazioni sismiche orizzontali e siti dove le sollecitazioni orizzontali sono state insignificanti, come illustrato in seguito.

Alla luce delle esperienze maturate con i rilievi eseguiti in aree interessate da eventi sismici disastrosi non molto urbanizzati si è ritenuto importante effettuare rilievi interdisciplinari "mirati" tesi a valutare i problemi più significativi che devono essere conosciuti, mitigati e superati per garantire la sicurezza dei cittadini e dei manufatti presenti in aree potenzialmente epicentrali iniziando con una adeguata classificazione sismica del territorio.

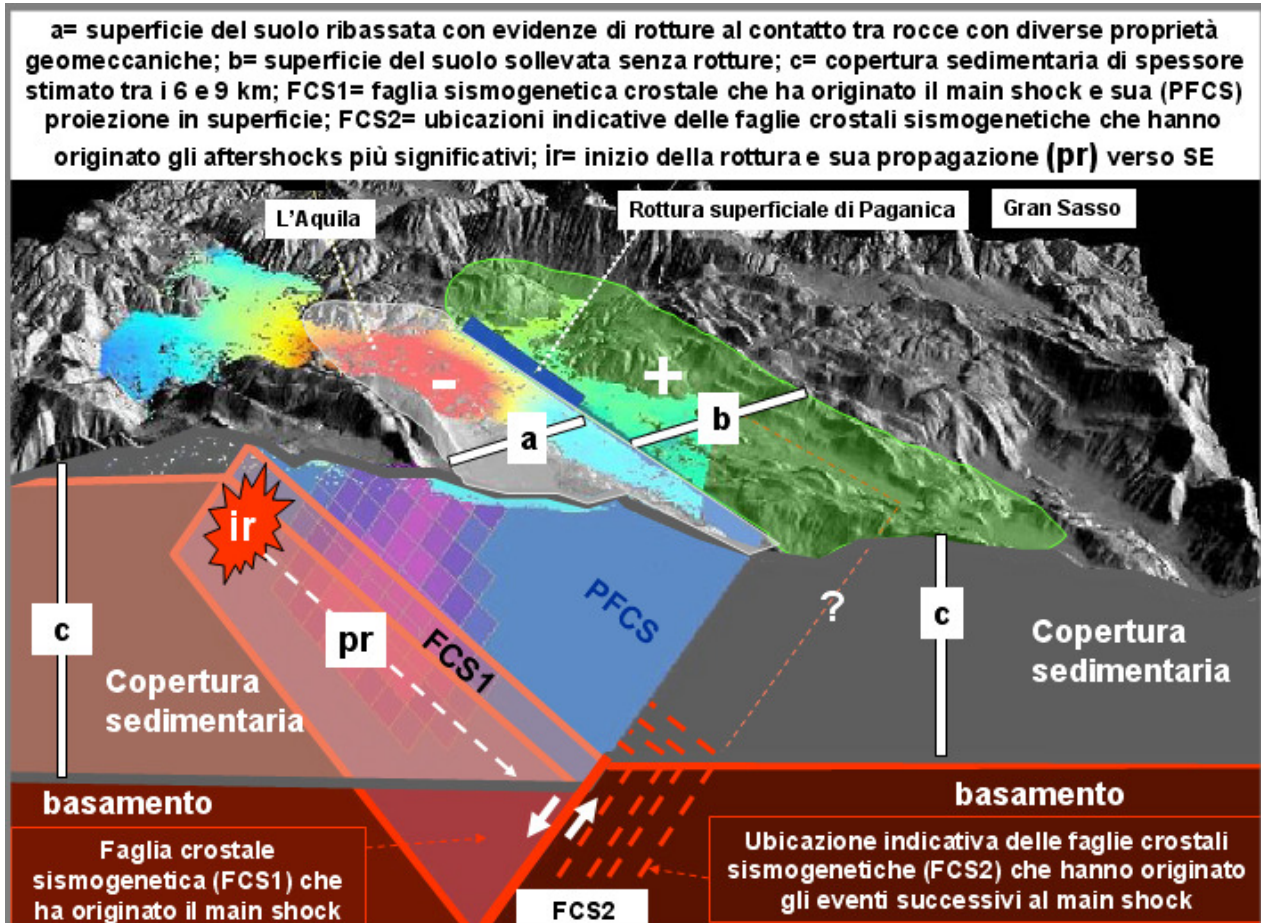


Figura 6: Schema morfostrutturale (elaborato da Ortolani, Pagliuca, Spizuoco su una interpretazione INGV, 2009, della struttura profonda) che mette in relazione gli effetti di superficie del sisma del 6 aprile 2009 con la struttura profonda elaborato in base ai dati sismologici resi noti da INGV (2009). In seguito al sisma la superficie del suolo è stata interessata da spostamenti verticali (massimo circa 25 cm) con abbassamenti (zona a) e sollevamenti (zona b). Una frattura lineare del suolo evidenziatasi a Paganica (Rottura di Paganica) è stata interpretata come l'affioramento del prolungamento attraverso la copertura sedimentaria (PFCS) della faglia sismogenetica crostale (FCS1). Sulla superficie di faglia crostale FCS1, all'estremità nordoccidentale, è ubicata indicativamente la zona dove è avvenuta la prima rottura (ir) del main shock e la sua propagazione verso SE (pr). Ad est di FCS1 sono schematicamente indicate le altre faglie crostali che hanno originato numerosi aftershocks il cui prolungamento in superficie non ha provocato effetti rilevabili. Ad ovest di FCS1 sono stati rilevati, stranamente, pochissimi aftershocks.

Le conoscenze scientifiche relative alle diversificate problematiche delle aree sismiche, con le quali deve fare i conti l'urbanizzazione, devono supportare una corretta classificazione sismica del territorio e scongiurare gli errori commessi finora in Irpinia e nell'aquilano.

L'elaborazione dei dati macrostrutturali pubblicati consente di ragionare criticamente sui rapporti esistenti tra strutture crostali sismogenetiche, deformazioni della superficie del suolo e rimobilizzazione di superfici di discontinuità tettoniche sub verticali affioranti.

Particolare importanza, assume la caratterizzazione del corpo geologico interposto tra fonte energetica ipocentrale e superficie urbanizzata di interesse. Corpo geologico che, nella fattispecie, è da ritenersi come volume di trasferimento delle onde sismiche dalla sorgente alla superficie del suolo e ai sovrastanti manufatti.

Risulta, perciò, fondamentale la modellazione geometrica e parametrica di tale volume di trasferimento, al fine di rappresentare gli aspetti del fenomeno di generazione e propagazione delle onde sismiche con un affidabile modello strutturale.

Modello strutturale teso a consentire una idonea valutazione della più probabile accelerazione di base da utilizzare come parametro d'ingresso per aree omogenee di zonazione sismica, da individuare e riportare nei piani geologici a supporto della pianificazione urbanistica.

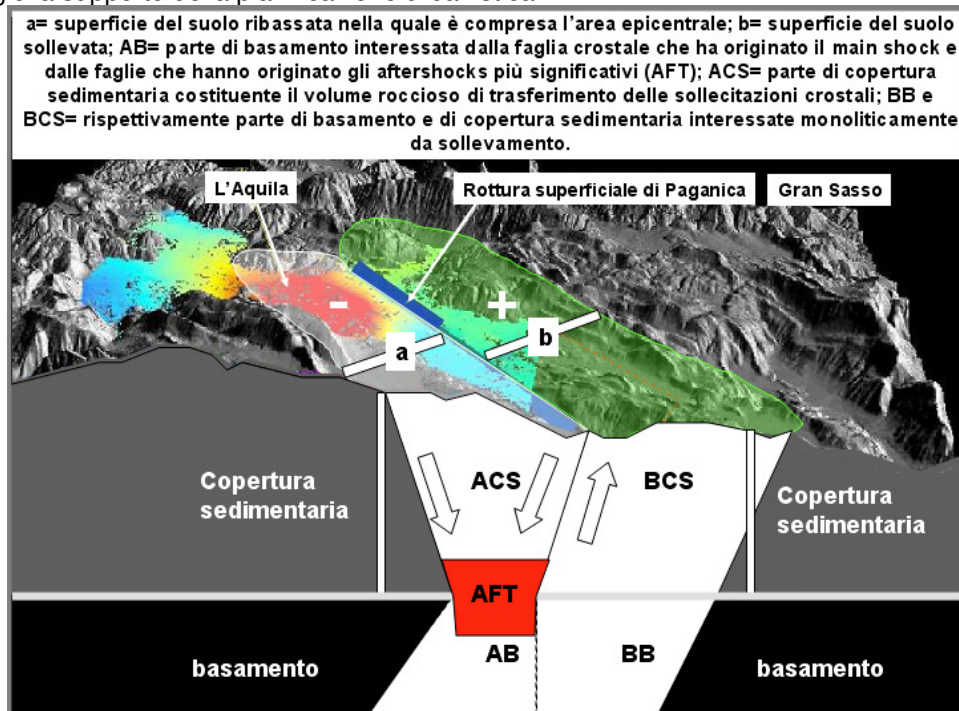


Figura 7: Schema morfostrutturale tridimensionale che mette in relazione gli effetti di superficie del sisma del 6 aprile 2009 con la struttura profonda elaborato da Ortolani, Pagliuca, Spizzuoco in base all'interpretazione dei dati resi noti da INGV (2009). Nel basamento sono state distinte due parti: la zona AB è interessata dalla faglia che ha originato il main shock e da quelle responsabili dei numerosi aftershocks; la zona BB rappresenta la parte di basamento interessata monoliticamente da sollevamento. La zona AFT comprendente la sommità del basamento e parte della copertura sedimentaria delimita l'area nella quale si sono concentrati i più significativi aftershocks. ACS rappresenta la parte di copertura sedimentaria interessata da abbassamento, costituita da significative discontinuità geomeccaniche suborizzontali e sub verticali, rappresentante il volume di rocce entro il quale si sono trasferite le sollecitazioni sismiche indotte dalle rotture crostali che in superficie hanno originato i più significativi e dannosi effetti locali. BCS individua la parte di copertura sedimentaria interessata da sollevamento che è stata monoliticamente sollevata con conseguenti scarsi effetti di superficie.

Nella figura 7 (elaborata su una interpretazione INGV, 2009, della struttura profonda) sono schematizzati i macro elementi strutturali che caratterizzano il sottosuolo dell'area interessata dal sisma del 6 aprile 2009. La rottura superficiale di Paganica delimita ad est la zona di crosta interessata dalla maggior parte di aftershocks con ipocentro nel basamento e l'area di superficie interessata da spostamenti relativi tra blocchi in corrispondenza di preesistenti contatti tettonici sub verticali. Ad ovest di tale faglia, nel basamento, sono stati registrati pochissimi aftershocks che invece si sono concentrati ad est della faglia nell'area indicata con AFT nella figura 7. Nel basamento si possono distinguere due parti: la AB interessata da faglie che si sono riattivate dal 6 aprile 2009 e la BB nella quale non si sono riattivate nemmeno le faglie che si sono rimobilizzate con eventi sismici del passato (figura 1). Nella copertura sedimentaria si distinguono la parte ACS, interessata da abbassamento, che comprende il volume di rocce attraverso il quale è avvenuto il trasferimento delle sollecitazioni sismiche fino a raggiungere la superficie del suolo dell'area maggiormente e più disastrosamente interessata dagli effetti locali; la parte BCS, ad est della rottura di Paganica, comprende le rocce che sono state sollevate monoliticamente.

Risultati dei rilevamenti

In una prima fase del rilevamento sono stati individuati i siti più significativi per valutare gli effetti del sisma in base ai dati morfologici, geologici ed ingegneristici. Nelle aree scelte sono state effettuate osservazioni morfologiche e geologiche anche sulla base delle conoscenze disponibili in bibliografia (GEER Association,

2009; INGV Emergeo, 2009; DST Working Group – UniCH, 2009; Agosta F., Pierantoni P., Tondi E., 2009; Berlusconi A., Livio F., Michetti A.M., Sileo G., 2009; Gruppo di Lavoro UNISANNIO – CIMA – DIGA, 2009). Nei siti studiati sono state rilevate e misurate eventuali fratture al suolo imputabili ad effetti cosismici. I rilievi ingegneristici hanno permesso di usare come elementi di riferimento gli edifici non antisismici in muratura con le più scadenti proprietà strutturali e alcuni edifici in c.a., isolati rispetto ad altri manufatti, che presentavano danni strutturali particolarmente significativi.

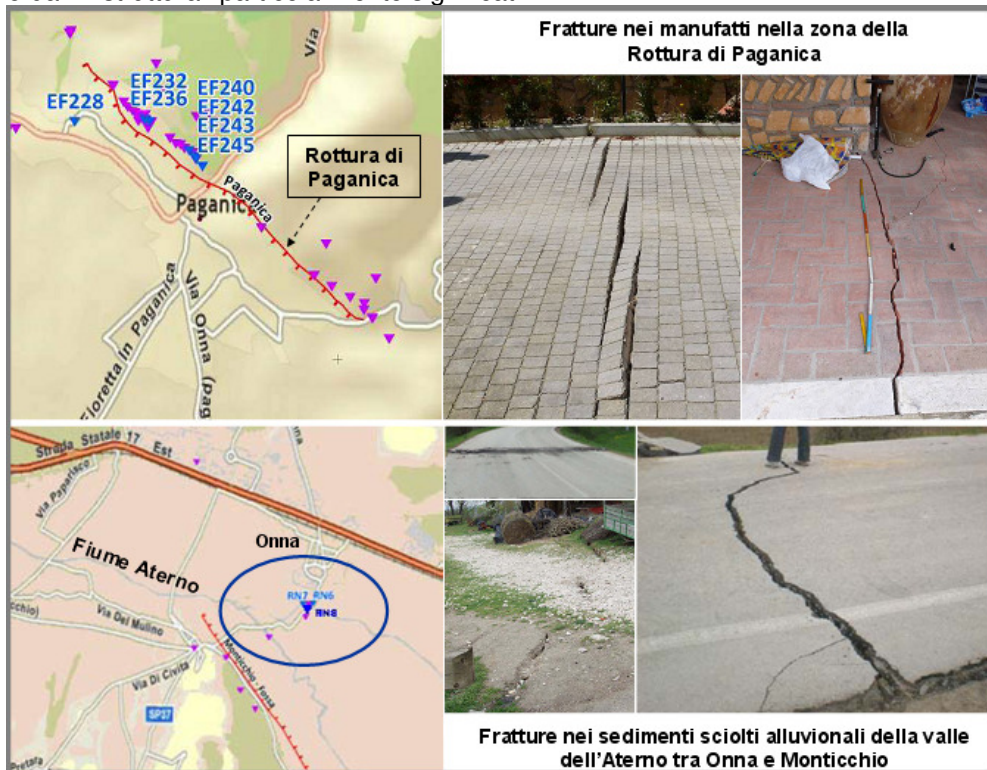


Figura 8: La rottura di Paganica (in alto) e fratture al suolo che interessano vari manufatti nella pianura alluvionale del Fiume Aterno (in basso) da INGV Emergeo, 2009.

I rilievi multidisciplinari eseguiti nell'area epicentrale hanno evidenziato, ancora una volta, il ruolo significativo delle caratteristiche geologiche e geotecniche delle rocce costituenti il substrato degli edifici nel determinare una accentuata amplificazione delle oscillazioni orizzontali o una loro non amplificazione.



Figura 9: Zona di Onna nella pianura alluvionale del fiume Aterno. Le scadenti proprietà geotecniche dei sedimenti interessati da falda superficiale hanno determinato sensibili fenomeni di amplificazione sismica.

L'esempio più significativo è rappresentato dagli abitati di Onna e di Monticchio ubicati a circa 1300 m di distanza. Come è noto l'abitato di Onna gravemente danneggiato è ubicato nella pianura alluvionale caratterizzata da falda superficiale (la profondità misurata in vari pozzi è variabile da circa 5 a circa 7 m dal piano campagna) e da una copertura di vari metri di sedimenti sciolti olocenici con scadenti caratteristiche geotecniche (figura 9) di tipo limoso-argilloso-sabbioso (GEER Association, 2009). La superficie del suolo della pianura alluvionale è stata interessata da fratture e costipamenti differenziati (INGV Emergeo, 2009). I tetti spingenti, le murature in pietrame spesso con ciottoli arrotondati e generalizzata presenza di malta

degradata hanno costituito alcuni degli elementi scatenanti che hanno provocato una diffusa distruzione e danneggiamento.

Gli stessi tipi di edifici presenti nell'abitato di Monticchio, ubicato in parte su rocce carbonati che e in parte su copertura detritica compatta con caratteristiche geotecniche simili a quelle del substrato, sono stati poco sollecitati da oscillazioni orizzontali in quanto poco o niente danneggiati dal sisma. Addirittura si notano pietre arrotondate appoggiate sulle file dei coppi più bassi (per evitarne l'asportazione da parte del vento) ancora allineate così come sono state originariamente sistemate (10 e 11).

La figura 12 sintetizza le diverse risposte locali dipendenti solo da fenomeni di amplificazione sismica connessa alla presenza di sedimenti con scadenti caratteristiche geotecniche (Onna e San Gregorio).



Figura 10: Zona di Monticchio centro abitato distante circa 1300 metri da Onna. Gli edifici ubicati in parte su substrato carbonatico compatto e in parte su copertura detritica compatta con caratteristiche geotecniche simili a quelle del substrato sono stati sottoposti a insignificanti sollecitazioni orizzontali come evidenziato dai lievi danni riscontrabili anche dalle due foto in alto della figura 11.

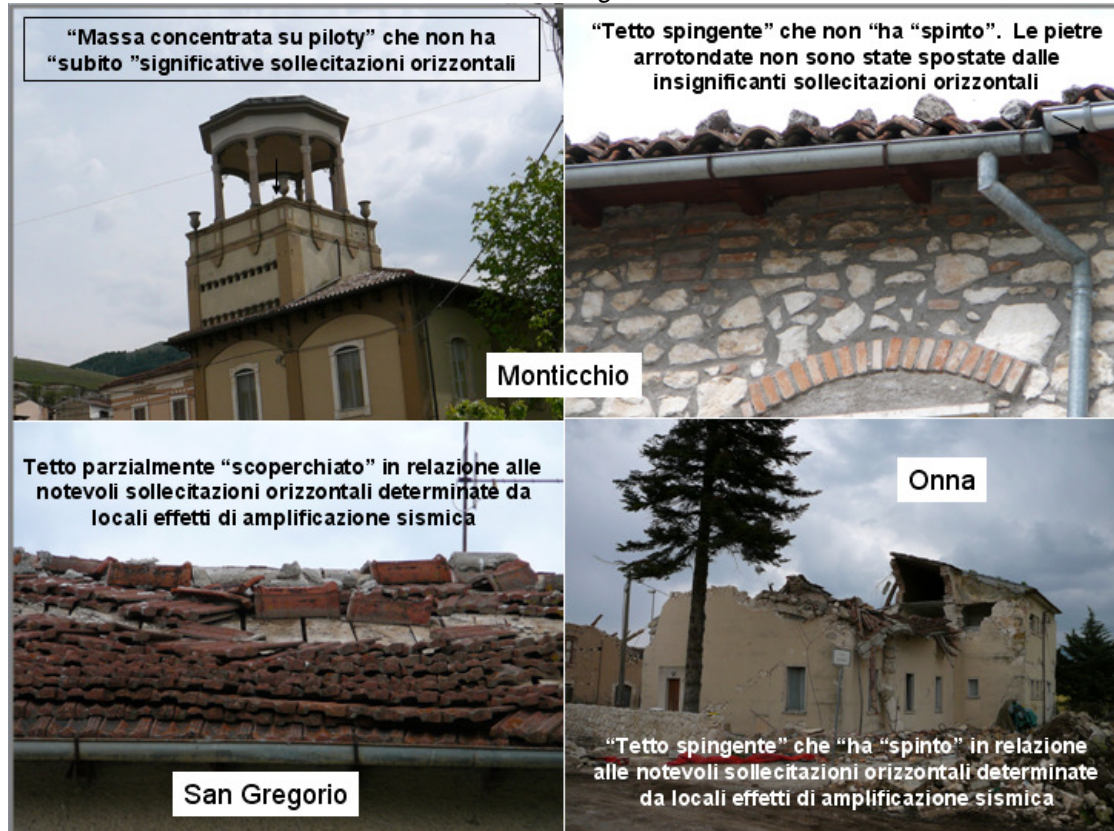


Figura 11: Zona di Monticchio centro abitato (foto in alto), di San Gregorio (foto in basso a sinistra) e di Onna (foto in basso a destra). Evidenze di lievi (a Monticchio) e di intense sollecitazioni orizzontali (a San Gregorio e Onna) in relazione alle caratteristiche geotecniche del substrato che non ha amplificato (a Monticchio) e ha sensibilmente amplificato (San Gregorio e Onna) le sollecitazioni sismiche.



Figura 12: Esempi di effetti locali differenziati in relazione alle caratteristiche geotecniche del substrato a san Gregorio, Onna e Monticchio, centri abitati in zona epicentrale e a breve distanza gli uni dagli altri.

Altri rilievi significativi sono stati eseguiti in edifici in calcestruzzo armato nel quartiere Pettino e a San Gregorio (figure da 13 a 19).

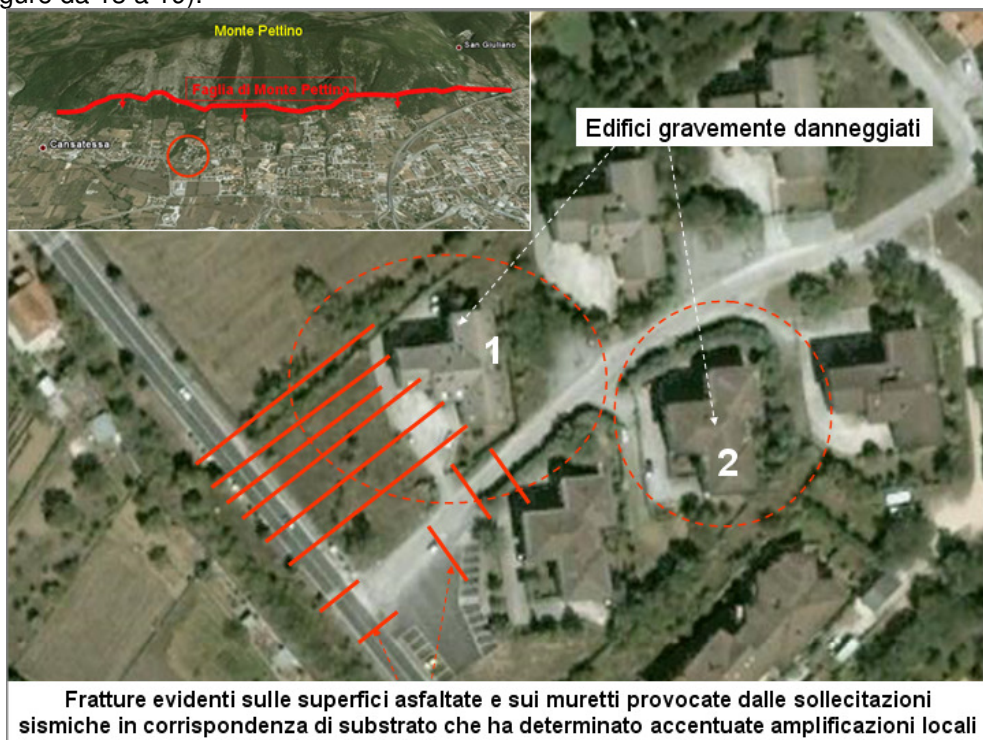


Figura 13: Zona di Pettino all'estremità nordoccidentale della faglia sismogenetica del 6 aprile 2009. Effetto di convergenza di onde S a forte amplificazione sismica (evidenziata da numerose fratture, localizzate in area ristretta, rilevate nell'asfalto stradale e sui manufatti) che ha provocato gravi danni agli edifici in c.a. indicati con 1 e 2 ubicati a sud ovest della faglia di Monte Pettino indicata nel riquadro in alto a sinistra. La distanza tra le fratture al suolo variava da 7 a 15 m.

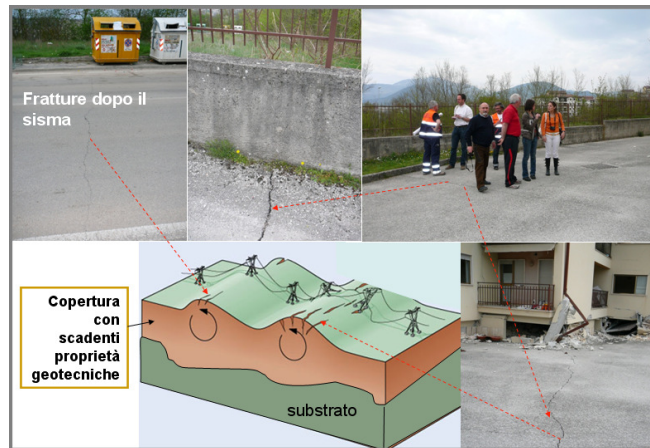


Figura 14: Zona dell'edificio 1 di Pettino. Forte amplificazione sismica determinata da una marcata discontinuità delle caratteristiche stratigrafiche (verticalmente e lateralmente) e dalle scadenti proprietà geotecniche dei sedimenti superficiali poggianti su substrato compatto. E' evidente la frattura che interessa direttamente l'edificio.



Figura 15: Zona dell'edificio 1 di Pettino. Effetti della forte amplificazione sismica connessa ad oscillazioni orizzontali orientate SW-NE e NW-SE. I riquadri indicati nell'immagine a destra (prima del sisma) con linea gialla continua e tratteggiata individuano le aree rappresentate nelle foto a sinistra dopo il sisma. Il pilastro del cancello indicato con il triangolino verde è stato spostato da SW a NE mentre i pilastri individuati con il triangolino giallo sono stati abbattuti da NW a SE dalle sollecitazioni sismiche che hanno originato le fratture del suolo e il tranciamento dei pilastri dell'edificio 1.



Fig.16: Zona dell'edificio 2 di Pettino. Effetti della forte amplificazione sismica connessa ad oscillazioni orizzontali orientate SW-NE e NW-SE. Le foto in alto illustrano l'edificio prima del sisma e quelle in basso dopo l'evento. In alto a destra la linea (a) bianca tratteggiata evidenzia l'abbassamento dell'edificio in seguito al tranciamento dei pilastri (b) avvenuto per effetto di oscillazioni orizzontali orientate SW-NE. La foto in basso a sinistra evidenzia il distacco dei parapetti dei balconi sottoposti ad oscillazioni orientate NW-SE.



Figura 17: Zona di San Gregorio all'estremità sudorientale della faglia che ha originato l'evento del 6 aprile 2009, a circa 14 km di distanza da Pettino. La zona circostante l'edificio individuato con il cerchio rosso nella foto a sinistra in basso) è interessata da fratture (foto al centro in basso) perpendicolari tra loro (come verificato a Pettino). I pilastri dell'edificio in c.a. evidenziato nella foto a destra (analogamente come avvenuto a Pettino) sono stati tranciati di netto e il manufatto è stato spostato verso SE.

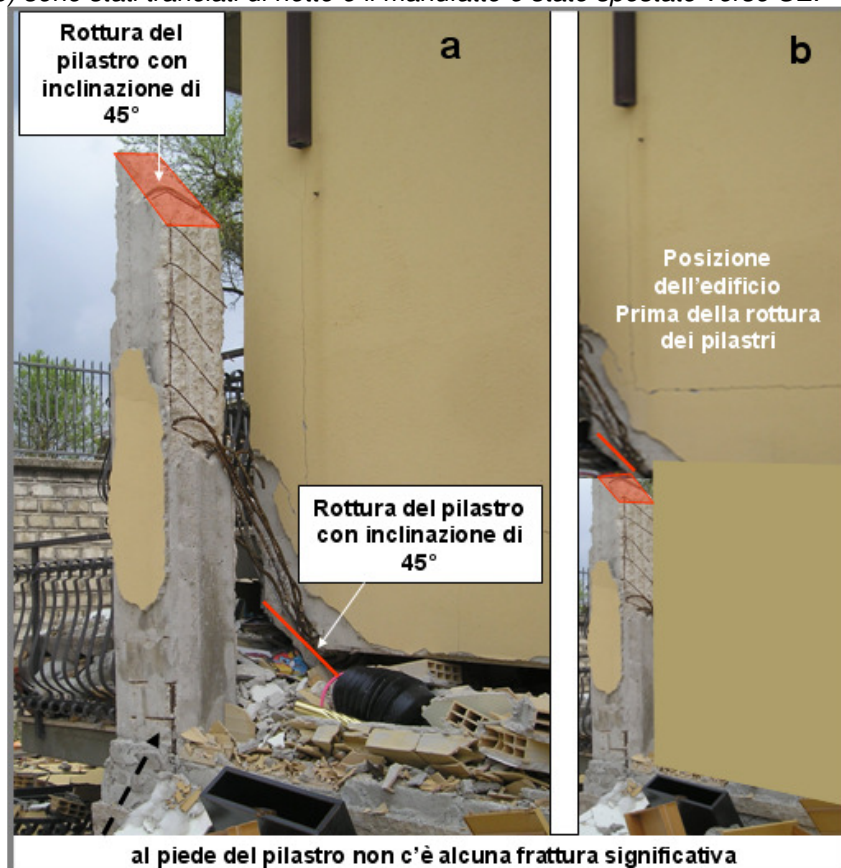


Figura 18: Zona di San Gregorio. La foto (a), a sinistra, evidenzia la superficie di rottura inclinata di 45° e immergente verso SE di uno dei pilastri tranciati e l'edificio sbalzato ad alcune decine di cm più a SE. La foto (b), a destra, ricostruisce l'originaria posizione dell'edificio.

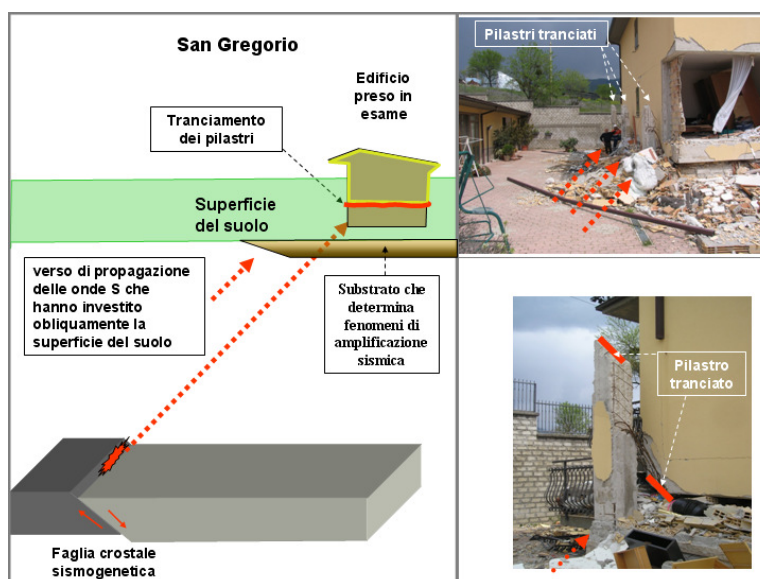


Figura 19: Zona di San Gregorio. La foto in alto a destra evidenzia i tre pilastrì tranciati e l'edificio spostato di alcune decine di cm verso SE rispetto all'originaria posizione. La foto in basso a destra illustra uno dei pilastrì tranciati e la posizione finale dell'edificio. Lo schema a sinistra sintetizza i principali elementi geoambientali e geotecnici che caratterizzano l'area in cui è ubicato l'edificio. Le fratture del suolo indicano la presenza di un substrato con scadenti proprietà geotecniche, "mobilizzabile" dalle onde sismiche e che determina fenomeni di amplificazione sismica locale, poggiante su un substrato compatto. Il tranciamento dei pilastrì richiede l'azione di forti sollecitazioni (in particolari di taglio) derivanti dalla simultanea applicazione di azioni sismiche verticali ed orizzontali frutto di amplificazioni abnormi. Il tranciamento istantaneo dei pilastrì che non hanno avuto il tempo di essere sottoposti alle usuali deformazioni cicliche orizzontali è da attribuire nella fattispecie a violente sollecitazioni derivanti dalla convergenza di onde S (amplificate ad alta frequenza) che hanno impattato obliquamente con la superficie.

Sono state rilevate sistematiche carenze costruttive specialmente per quanto riguarda la posa in opera delle staffe nei pilastrì ed in corrispondenza dei nodi trave-pilastrò. In tutti gli edifici esaminati, le staffe erano disposte con passo diradato, privi di uncini terminali, con legature sul medesimo spigolo del pilastrò ed i nodi trave-pilastrò si presentavano non confinati.

Le numerose fratture rilevate in superficie testimoniano che al passaggio delle onde sismiche si è avuta una evidente repentina deformazione dei terreni di fondazione costituiti da sedimenti sciolti con scadenti caratteristiche geotecniche (figure 13, 14 e 17) la cui presenza nel sottosuolo si evince anche da GEER Association, 2009. In base ai rilievi effettuati nei siti e ai dati bibliografici (GEER Association, 2009) il substrato di fondazione degli edifici in c.a. è rappresentato da sedimenti sciolti limoso argillosi alterati di spessore variabile da 1 m ad alcuni metri poggianti su detriti carbonatici di falda sciolti con livelli lenticolari limosi aventi uno spessore variabile da circa 7 m a circa 15 m; tali depositi di copertura giacciono su substrato compatto e/o litoide rappresentato da detriti di falda cementati e da rocce carbonatiche.

Si è avuto modo di osservare che là dove le onde sismiche avevano generato in superficie evidenti fratture al suolo, gli edifici prossimi e/o direttamente interessati dal fenomeno hanno subito un violento e quasi istantaneo tranciamento dei pilastrì del primo ordine all'intradosso delle travi del primo impalcato (fig. 13, 14 e 17). Nella fattispecie, oltre agli errori costruttivi riscontrati (e/o eventuali carenze progettuali), per quanto è stato possibile "leggere" sul territorio, un ruolo fondamentale è stato assunto dall'esaltazione locale che il sisma ha subito per effetto delle condizioni geoambientali e geotecniche del sito.

Si è rilevato che là dove gli edifici hanno patito lo scalzamento dei piani superiori rispetto al piano terra, a poche decine di metri di distanza, edifici aventi le stesse caratteristiche tipologiche ubicati in aree che non sono state interessate da fratture al suolo non hanno subito alcun danno.

Nel caso specifico, un ruolo fondamentale hanno assunto la morfologia della struttura tridimensionale e le proprietà geotecniche del volume sismico significativo che hanno indotto brusche ed intense variazioni spaziali del moto sismico producendo istantanei e devastanti effetti distruttivi "localizzati" (figura 19) derivanti dalla convergenza delle onde S di cui innanzi.

Per quanto riguarda l'edificio in calcestruzzo armato di San Gregorio (figure da 17 a 19) sono state rilevate sistematiche carenze costruttive specialmente per quanto riguarda la posa in opera delle staffe nei pilastrì, il confinamento dei nodi e la sovrapposizione di armature tra un piano e l'altro.

Le figure 17 e 18 evidenziano che: - i tre pilastrì rispettano l'originaria verticalità; - le staffe non presentano uncini terminali risvoltati all'interno della massa di calcestruzzo e le legature sono disposte sul medesimo spigolo del pilastrò. Ciò ha determinato la mancanza di tenuta di tutta l'armatura longitudinale; - in tutti i

pilastrì è venuto meno il contributo della resistenza al sisma da parte delle armature longitudinali per mancanza di tenuta delle staffe; - in tutti i pilastrì si è verificato un istantaneo tranciamento del calcestruzzo ma non delle armature perché queste ultime non hanno offerto alcun contributo per contrastare il fenomeno; - si è verificato un tranciamento dei pilastrì del primo ordine con conseguente scalzamento di tutto il blocco superiore rispetto al piano inferiore.

Nella fattispecie non si è avuta formazione di cerniere plastiche in testa e al piede dei pilastrì per il verificarsi dell'istantaneità delle forze applicate e della loro abnorme intensità che è stata stimata nell'ordine di una decina di volte superiore a quanto normalmente riscontrabile nelle zone di elevata sismicità.



Figura 20: Ubicazione dei siti, caratterizzati da substrato che ha amplificato le sollecitazioni sismiche delle onde S che hanno investito obliquamente la superficie del suolo, nei quali sono stati rilevati effetti locali particolarmente significativi per la comprensione degli effetti che si possono verificare in area epicentrale "near fault". La distanza tra Pettino e San Gregorio è di circa 14 chilometri. Gli effetti locali rilevati a Pettino sono attribuibili all'incidenza delle onde S amplificate diramatesi in direzione normale a quella della faglia sismogenetica; quelli del Cimitero dell'Aquila e di San Gregorio sono riferibili alle onde S amplificate che si sono diffuse lungo la direzione di propagazione della frattura sismogenetica verso SE. I valori più elevati di accelerazione al suolo registrati strumentalmente (0,62g) dalla rete DPC sono stati rilevati nei pressi dell'inizio della rottura all'estremità nordoccidentale, che ha originato il sisma del 6 aprile 2009. Valori elevati (>0,40 g) sono stati calcolati nel Cimitero dell'Aquila, a San Gregorio e a Pettino, vale a dire in tutta l'area epicentrale "near fault".

Tale fenomeno è da attribuire ad una eccezionale esaltazione locale del sisma per effetto delle caratteristiche geologico-tecniche del sottosuolo interagente con le fondazioni del fabbricato (figura 19).

Nella figura 19 si propone l'interpretazione degli eccezionali effetti locali rilevati a San Gregorio che si trova lungo la direzione di propagazione della rottura che ha originato il mainshock ed in particolare alla sua terminazione sudorientale (figura 20). Gli effetti rilevati sono da attribuire all'azione delle onde S (amplificate) che hanno investito la superficie del suolo obliquamente e che per convergenza si sono concentrate nella zona esaminata. Lo schema tridimensionale a sinistra (figura 19) sintetizza i principali elementi geoambientali e geotecnici che caratterizzano l'area in cui è ubicato l'edificio. Le fratture del suolo indicano la presenza di un substrato con scadenti proprietà geotecniche, "mobilizzabile" dalle onde sismiche e che determina fenomeni di amplificazione sismica locale, poggiante su un substrato compatto.



Figura 21: Schema delle relazioni tra caratteristiche geotecniche del substrato ed effetti locali differenziati nell'area epicentrale.

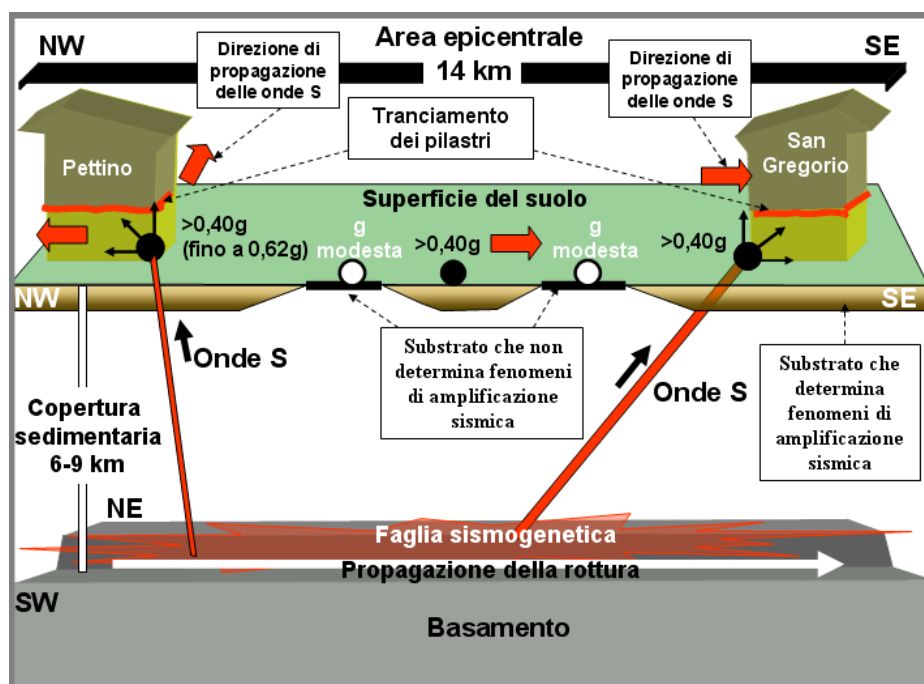


Figura 22: Schema tridimensionale che illustra i principali effetti locali di superficie nell'area epicentrale interessata dalla faglia crostale sismogenetica orientata NW-SE la cui riattivazione si è propagata rapidamente, in pochi secondi, da NW a SE. Si sono registrati elevati valori di accelerazione al suolo ed effetti distruttivi dove il substrato ha determinato amplificazione sismica. Nei siti caratterizzati da substrato che non amplifica le sollecitazioni sismiche, come nel centro abitato di Monticchio, gli effetti del sisma sono stati trascurabili. Sono state rilevate numerose evidenze di amplificazione in tutta l'area epicentrale "near fault", attribuite all'impatto obliquo di onde S dotate di altissima frequenza e grande ampiezza.

Il tranciamento istantaneo dei pilastri che non hanno avuto il tempo di essere sottoposti alle usuali deformazioni cicliche orizzontali è da attribuire nella fattispecie a violente sollecitazioni (prevalentemente taglianti) derivanti dall'impatto di onde S (amplificate) con la superficie. L'edificio in definitiva è stato sottoposto alla simultanea applicazione di azioni sismiche verticali ed orizzontali, frutto di amplificazione abnorme, derivanti in particolar modo dalla convergenza di onde S (ad altissima frequenza e grande ampiezza) che impattanti obliquamente in modo localizzato sulla superficie di terreno includente l'area di sedime del fabbricato hanno generato in questa sede ulteriori onde di taglio a periodo più lungo.

I dati relativi alle differenti risposte di sito finora rilevati dagli autori della presente nota e i dati pubblicati finora da vari autori mettono in evidenza che numerosi effetti locali sono correlabili con quelli studiati nell'area interessata dal sisma del 1980 in Irpinia.

Nelle figure 20, 21 e 22, in relazione alle caratteristiche geotecniche del substrato, è illustrata una sintesi schematica degli effetti più significativi che hanno interessato l'area epicentrale del sisma del 6 aprile 2009.

Gli effetti locali rilevati sul terreno evidenziano una stretta relazione tra scadenti caratteristiche geotecniche del substrato di fondazione (almeno 20 metri di spessore), fratture cosismiche del suolo e significativa amplificazione delle onde S.

Evidenti effetti di convergenza delle onde S che hanno investito obliquamente la superficie del suolo si trovano a Pettino e lungo la direzione di propagazione della rottura fino a San Gregorio; si deve tenere presente che tali effetti si sono verificati solo dove vi è un substrato che ha amplificato le sollecitazioni sismiche. Le costruzioni non antisismiche di Monticchio, infatti, pur trovandosi sulla direzione di propagazione, non hanno risentito di significative sollecitazioni orizzontali.

La figura 21 sintetizza schematicamente il differente comportamento del substrato e i suoi effetti sui manufatti.

Nella figura 22 sono schematizzati gli elementi più significativi e originali emersi dalle ricerche condotte nell'area epicentrale "near fault" del sisma del 6 aprile 2009.

Lo studio della copiosa bibliografia geologica, geofisica e ingegneristica ha messo in evidenza che in varie aree del globo (ad esempio in California, Giappone, Turchia) interessate da violenti sismi sono stati osservati effetti locali eccezionali, che hanno messo in crisi manufatti realizzati con le norme antisismiche vigenti. Negli Stati Uniti sono state proposte, conseguentemente, norme particolari da applicare nelle aree sismiche "near fault".

Le ricerche eseguite nell'aquilano hanno permesso di rinvenire, forse per la prima volta, dati geologici, geotecnici e ingegneristici significativi che hanno evidenziato gli effetti di sollecitazioni sismiche convergenti

e non che hanno interessato obliquamente la superficie del suolo determinando contemporaneamente sollecitazioni orizzontali di taglio e verticali sui manufatti. Secondo gli autori della presente nota, queste violente sollecitazioni oblique sono da attribuire ad onde S convergenti amplificate sensibilmente (figura 22).

Classificazione sismica del territorio

I dati di ricerche paleosismologiche da molti anni hanno messo in luce che l'aquilano può essere interessato da eventi di elevata magnitudo (figura 1). Ciò nonostante, come è noto, L'Aquila è inserita nella fascia di media sismicità.

Va evidenziato che attualmente la classificazione vigente non è adeguata ai risultati noti delle ricerche anche in altre aree. Vi sono almeno 3 altri "macro casi" in Puglia, Calabria e Sicilia (figura 23).

La figura 24 illustra l' "anomalia" emergente dalla classificazione "statale" e regionale in Puglia.

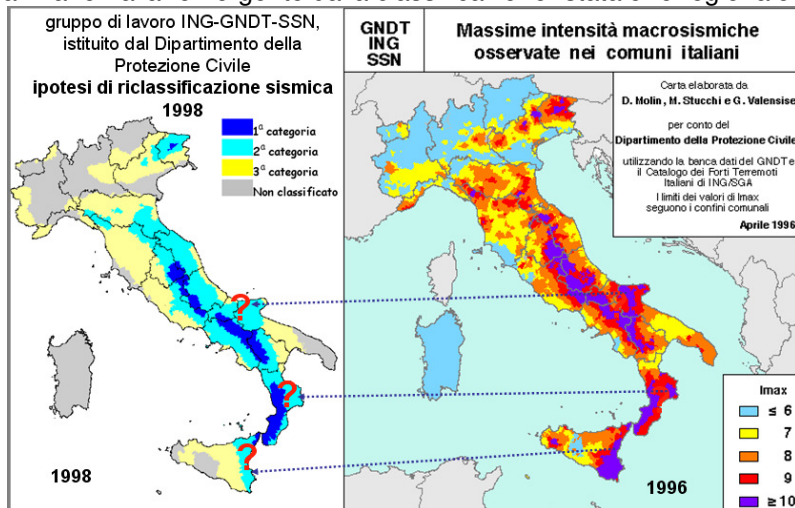


Figura 23: La figura a destra evidenzia le massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani in relazione alla sismicità recente e storica. Tale elaborato redatto nel 1996 a cura del Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti, Istituto Nazionale di Geofisica e Servizio Sismico Nazionale deve rappresentare la base per una corretta classificazione sismica del territorio. La figura a sinistra illustra l'ipotesi di riclassificazione sismica ed è stato elaborato nel 1998 dal gruppo di lavoro istituito dal Dipartimento della Protezione Civile di cui fanno parte le stesse istituzioni che avevano redatto la figura a destra. Nell'elaborato del 1998 si riscontrano incomprensibili divergenze dall'elaborato del 1996, come evidenziato dai punti interrogativi rossi, in Puglia, Calabria settentrionale ionica e Sicilia Orientale e centro-occidentale. I punti interrogativi nella figura a sinistra evidenziano aree interessate da sismi del 9-10 grado MCS (vedi figura a destra) che si propone di classificare come "seconda categoria" sismica invece di "prima categoria" sismica.

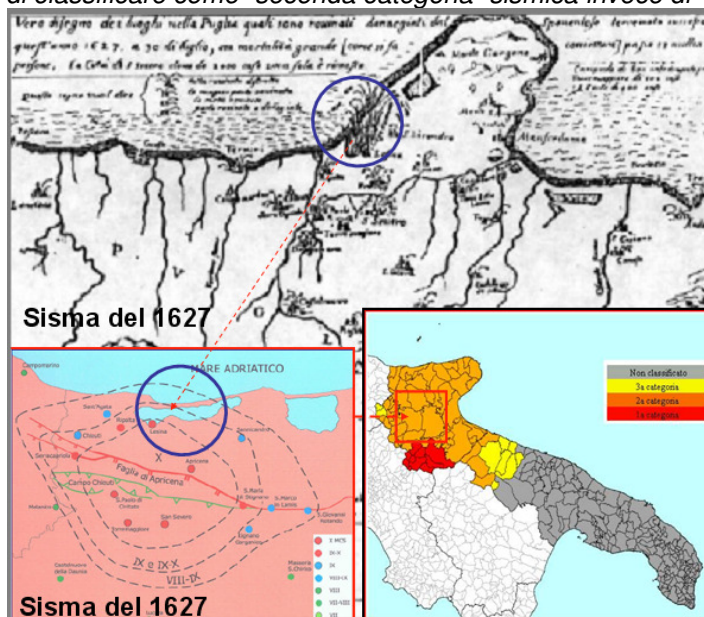


Figura 24: Esempio di incomprensibile sottovalutazione nella classificazione sismica del territorio pugliese interessato dal disastroso evento del 1627 (cfr le isosiste nella figura in basso a sinistra) che ha originato anche il più violento maremoto che abbia interessato il Mare Adriatico (vedi disegno storico in alto, delimitato dal cerchio blu, nel quale si notano masse d'acqua e pesci espulsi dal lago di Lesina).

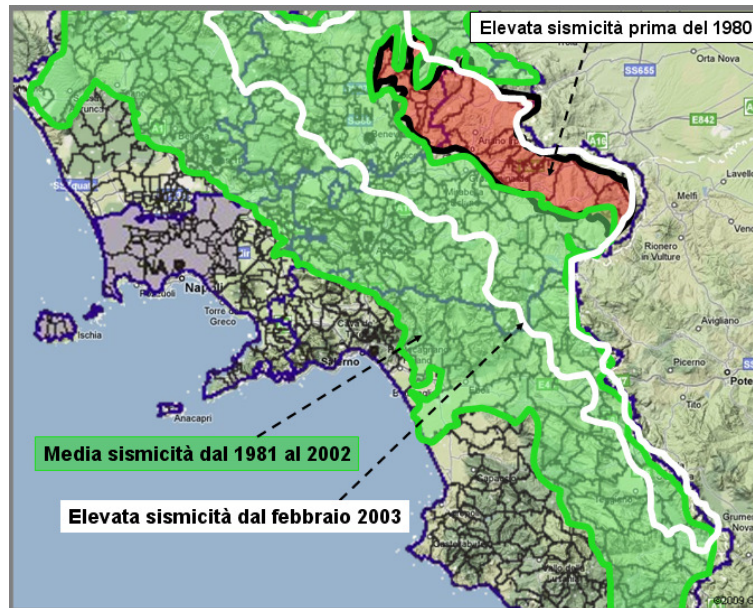


Figura 25: Esempio della inadeguata classificazione sismica del territorio della Regione Campania dopo il sisma del 1980, tra il 1981 e il 1992, periodo nel quale è stata effettuata la ricostruzione degli edifici applicando le norme relative alla media sismicità anche nell'area epicentrale successivamente classificata in elevata sismicità, a ricostruzione finita.

La Campania (figura 25) rappresenta un caso emblematico e preoccupante per come le pubbliche istituzioni abbiano classificato sismicamente il territorio. Subito dopo il sisma del 1980 i comuni dell'area epicentrale variamente colpiti furono classificati con intervento legislativo statale come zona di media sismicità; anche quelli epicentrali come Lioni, S. Angelo dei Lombardi e Conza dove era stata valutata una intensità MCS 10, che confinavano con quelli inseriti in elevata sismicità in seguito all'evento del 1930, che fu meno distruttivo. Era evidente l'anomalia. In vano fu sollecitata una rapida correzione per evitare che la ricostruzione venisse attuata realizzando edifici strutturati per una sollecitazione sismica inferiore (media sismicità) a quella cui potevano essere sottoposti (relativa alla elevata sismicità).

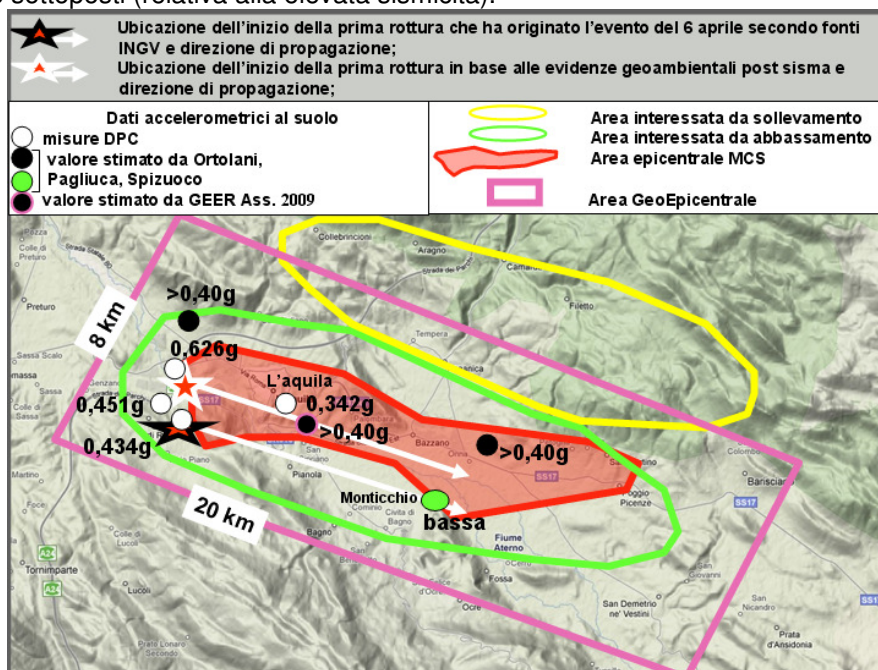


Figura 26: Principali e più significativi effetti geoambientali determinati dal sisma del 6 aprile 2009.

La ricostruzione degli edifici è stata realizzata, pertanto, anche nell'area epicentrale del 1980 e in quelle che sono state epicentrali di altri eventi disastrosi tra le Province di Salerno, Avellino e Benevento, applicando le norme costruttive antisismiche della media sismicità (mentre invece dovevano essere costruiti con le norme della elevata sismicità così come successivamente e tardivamente indicato dalle istituzioni competenti).

Solo dopo il sisma molisano di San Giuliano di Puglia del 2002, nel febbraio 2003 la Regione Campania, finalmente ma con eccessivo ritardo, ha riclassificato sismicamente il territorio regionale attribuendo una adeguata categoria sismica ai comuni che erano già stati classificati, in maniera non adeguata, dallo Stato dopo l'evento del 1980.

La riclassificazione regionale dovrebbe essere rivista inserendo nella elevata sismicità anche i Comuni di Casamiciola, Lacco Ameno e Forio nell'Isola d'Ischia disastriati dall'evento del 1883 e alcuni altri comuni delle province di Salerno, Avellino (es. Nusco) e Benevento.

Conclusioni

I rilievi multidisciplinari eseguiti nell'area epicentrale hanno evidenziato il ruolo significativo delle caratteristiche geologiche e geotecniche delle rocce costituenti il substrato degli edifici nel determinare una accentuata amplificazione delle oscillazioni orizzontali o una loro non amplificazione. L'intensità macrosismica MCS, a parità di caratteristiche strutturali degli edifici, è variata anche di 3 gradi. In prossimità di edifici gravemente danneggiati caratterizzati dal tranciamento dei pilastri si sono rilevate numerose fratture al suolo che testimoniano una evidente deformazione dei terreni di fondazione costituiti da sedimenti sciolti con scadenti caratteristiche geotecniche.

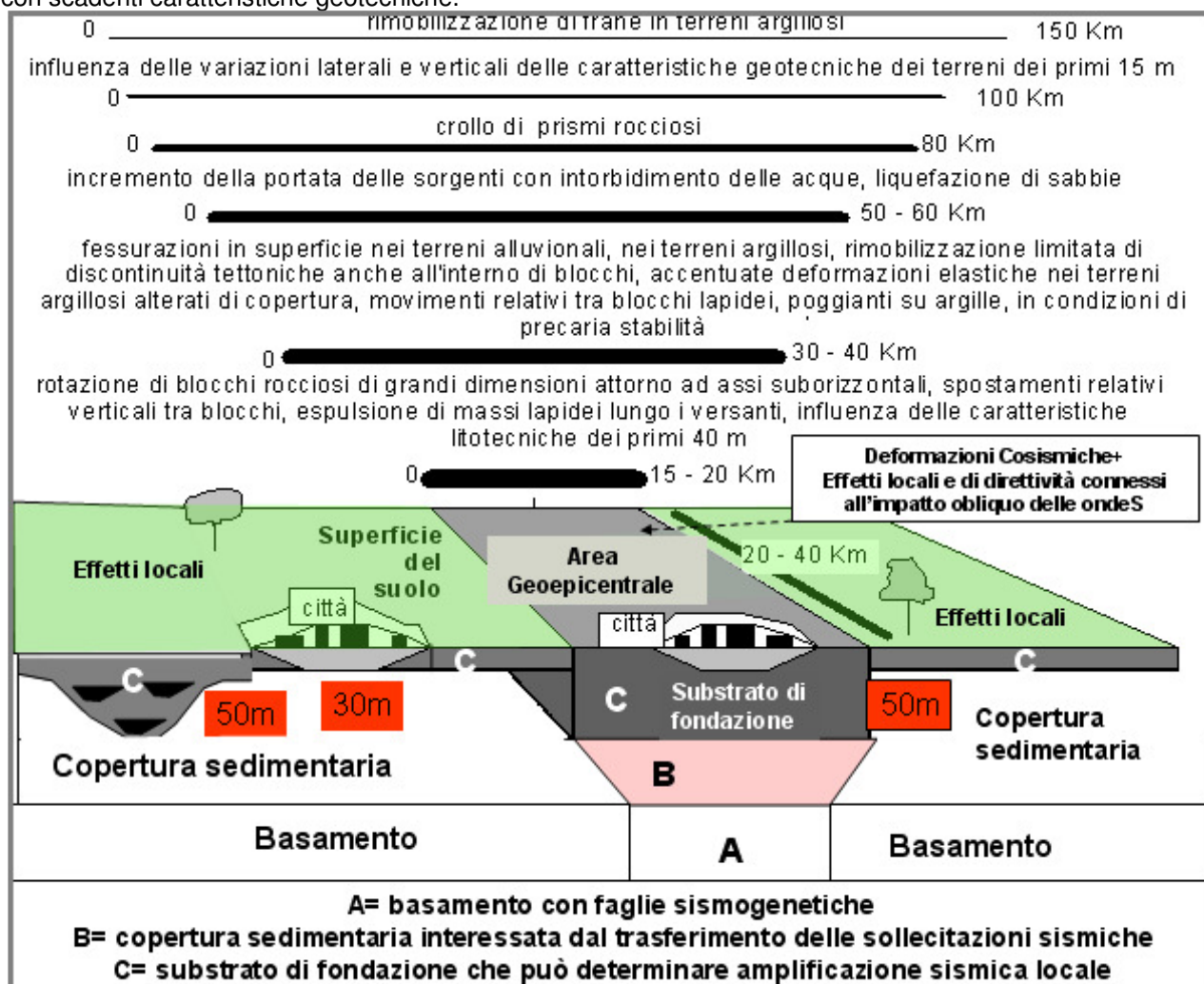


Figura 27: Principali e più significativi effetti geoambientali che possono essere determinati sul territorio da un violento sisma in relazione alle caratteristiche geologiche delle aree interessate e alla magnitudo.

I rilievi ingegneristici hanno permesso di usare come elementi di riferimento gli edifici non antisismici in muratura con scadenti proprietà strutturali. Altri rilievi sono stati eseguiti in edifici in calcestruzzo armato nel quartiere Pettino e a San Gregorio. Sono state rilevate sistematiche carenze costruttive specialmente per quanto riguarda la posa in opera delle staffe in corrispondenza dei nodi travi-pilastri.

In corrispondenza di un "substrato amplificante" vari edifici in c.a. sono stati investiti da sollecitazioni violentissime che hanno provocato il tranciamento dei pilastri al primo impatto impedendo la classica oscillazione delle strutture in elevazione che, di norma per sismi di elevata potenza, produce la formazione di cerniere plastiche con particolare riferimento a piani "deboli".

Le evidenze indicano che nei pilastri, relativamente agli edifici analizzati, è venuto completamente meno il contributo della resistenza al sisma da parte delle armature longitudinali per mancanza di tenuta delle staffe. Non si è avuta formazione di cerniere plastiche in testa e al piede dei pilastri a causa dell'istantaneità delle forze applicate e della loro abnorme intensità che immediatamente dopo il sisma è stata valutata dagli scriventi nell'ordine di circa dieci volte superiore a quanto normalmente quantizzabile nelle zone di elevata sismicità dalla obsoleta normativa sismica vigente alla data dell'evento sismico (6 aprile 2009); Subito dopo il sisma gli scriventi hanno stimato che, nelle zone di cui innanzi ove si è avuto il tranciamento dei pilastri, il valore dell'accelerazione delle masse strutturali è stato prossimo all'accelerazione di gravità e che l'accelerazione al suolo nella fattispecie è risultata non meno di 0,40 g (figura 26).

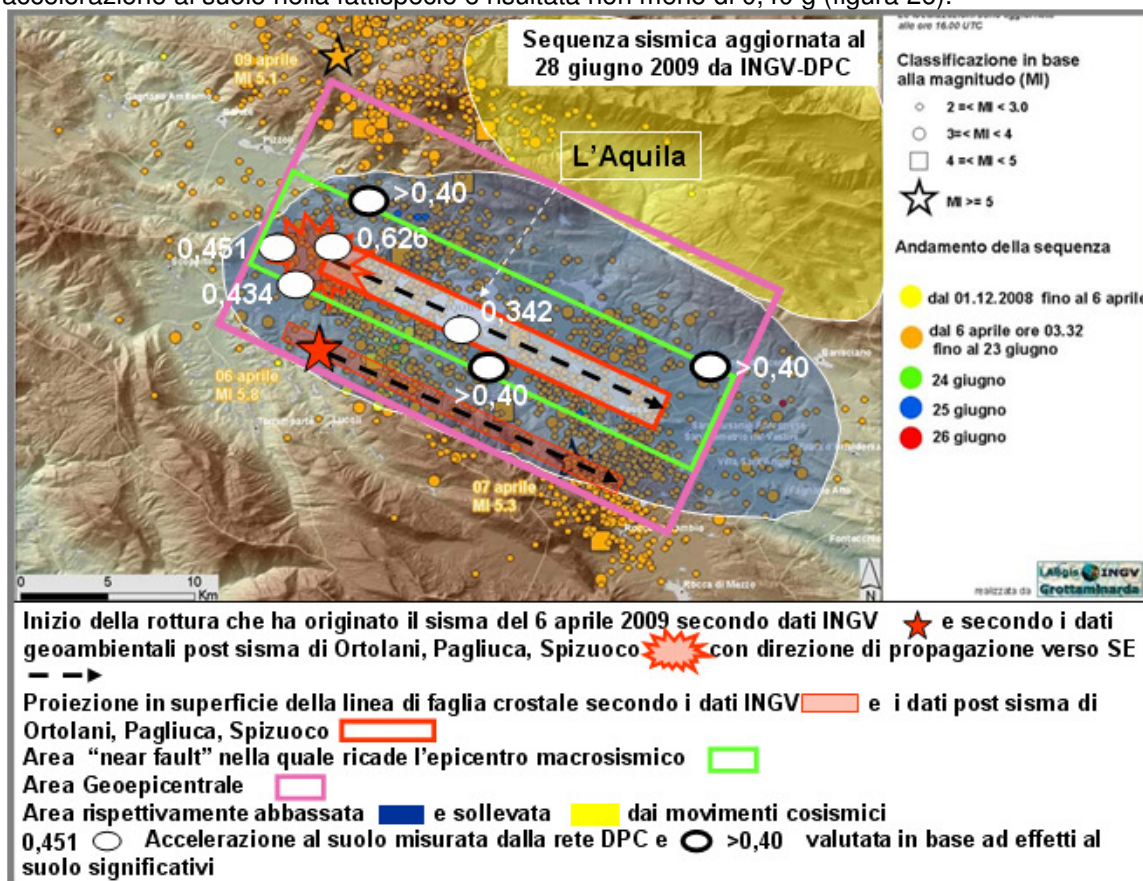


Figura 28: Principali e più significativi effetti geoambientali che sono stati registrati nell'area interessata dal sisma del 6 aprile 2009.

Tale fenomeno è da attribuire ad una abnorme esaltazione locale del sisma per effetto delle caratteristiche geologico-tecniche del volume sismico significativo interagente con le fondazioni del fabbricato.

Per quanto riguarda, invece, un eventuale riferimento alla nuova normativa sismica, va precisato che il valore minimo di 0,40g stimato dagli scriventi per la zona di Pettino (ove si è verificato lo scalzamento dei piani superiori di alcuni fabbricati in c.a.) è comunque superiore a quello quantizzabile anche dalla nuova normativa per tali edifici calcolato tenendo conto della posizione geografica, della configurazione topografica e del tipo di sottosuolo coinvolto assimilato al tipo B (così come riportato da DPC,2009) per uno stato limite di salvaguardia della Vita (SLV) con $T_R = 475$ anni.

Valore questo, si ribadisce, decisamente superiore a quanto previsto dalla normativa sismica vigente all'atto dell'evento sismico e comunque superiore a quanto previsto anche dalla nuova normativa per la zona di specifico interesse.

I rilievi originali eseguiti da Ortolani, Pagliuca e Spizuoco nelle aree caratterizzate da un substrato che ha amplificato le azioni sismiche hanno consentito di riscontrare gli effetti di sollecitazioni di taglio che hanno interessato le fondazioni degli edifici in c.a., connesse ad onde S convergenti che hanno investito obliquamente la superficie del suolo determinando lo scuotimento del terreno perpendicolarmente e trasversalmente alla loro direzione di propagazione, generando a loro volta (con l'impatto in superficie) ulteriori onde di taglio a propagazione esclusivamente superficiale.

Tali onde S di volume unitamente alle onde di volume P precedentemente generate dalla rimobilizzazione della faglia crostale, ubicata a circa 9 chilometri di profondità, si sono propagate attraverso le varie unità sedimentarie della catena ed hanno rapidamente interessato le fondazioni degli edifici dopo aver subito un processo di evidente amplificazione. In particolare le onde più pericolose e catastrofiche sono state le onde

S amplificate (nella fattispecie caratterizzate da altissima frequenza e grande ampiezza) che “colpendo” violentemente ed obliquamente la superficie del suolo dal basso verso l’alto in modo convergente hanno determinato il crollo degli edifici oggetto di studio perché (fermo restando le carenze costruttive e/o progettuali riscontrate) rientranti nell’area di pertinenza del fenomeno. Naturalmente all’impatto delle onde S con la superficie, si sono generate ulteriori onde superficiali di taglio a più lungo periodo. Contrariamente a quanto usualmente affermato, va precisato però che a parere degli scriventi, le onde superficiali di taglio sono le meno pericolose, perché la loro ampiezza raggiunge valori significativi ai fini geofisici soltanto a diverse decine di chilometri dall’epicentro. A tali distanze, però, pur essendo l’ampiezza di queste onde grande, essendo esse caratterizzate da un lungo periodo (20 sec – 60 sec), la pendenza è talmente piccola che gli spostamenti prodotti non possono produrre energia tale da comportare rotture significative ai fini ingegneristici. L’area epicentrale, invece, è stata caratterizzata dalle onde P usualmente ad alta frequenza e cariche d’energia nonché da onde S anch’esse ad alta frequenza ed amplificate e giacché l’energia di un’onda è proporzionale al quadrato dell’ampiezza d’onda e al quadrato della frequenza, nella fattispecie là ove nell’area epicentrale si è verificato la convergenza delle onde S l’energia complessivamente sviluppata è stata enormemente esagerata e tale da ritenersi fuori da ogni usuale fenomeno sismico che normalmente viene osservato.

Conseguentemente per gli edifici coinvolti dal fenomeno i piani terra sono stati scalzati dai piani superiori che hanno assunto un comportamento a “monoblocco”, esaltando le diffuse carenze costruttive e facendo registrare l’istantaneo tranciamento dei pilastri.

E’ la prima volta che in un’area epicentrale si trovano le evidenze documentate di effetti sui manufatti provocati dalla convergenza di violente onde S che investono obliquamente la superficie del suolo.

I dati raccolti, riscontrabili in sito, pongono seri problemi alla verifica sismica degli edifici (specie di quelli di importanza strategica) già realizzati o da costruire in aree “near fault” potenzialmente epicentrali ubicate sopra faglie sismogenetiche crostali.

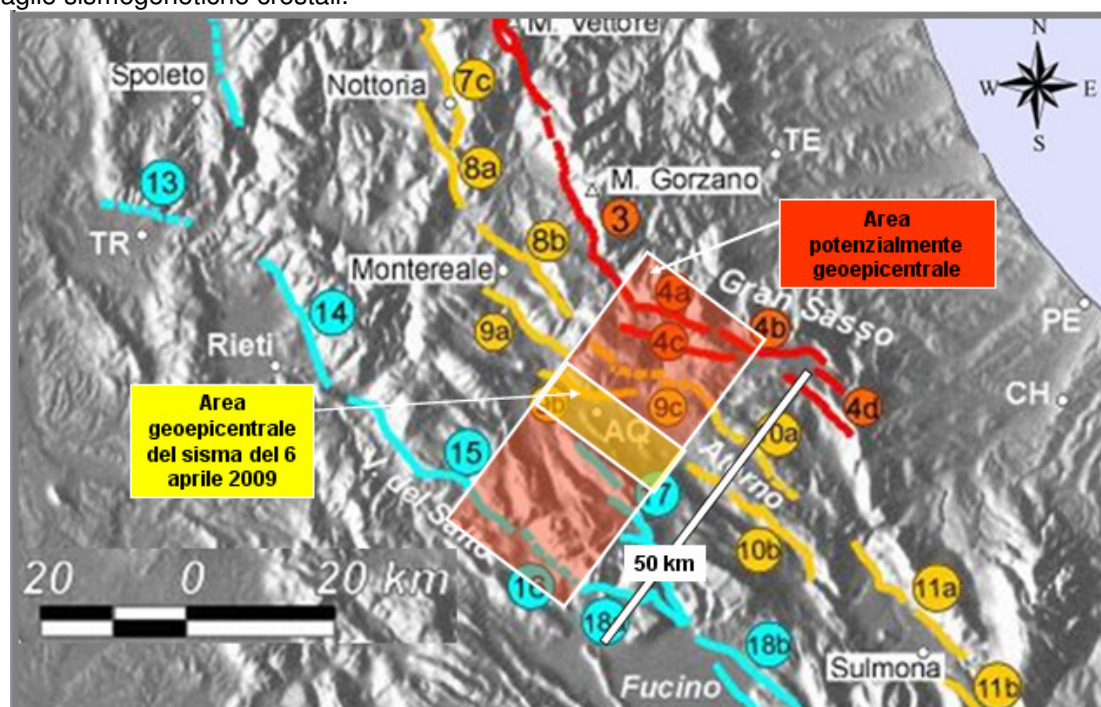


Figura 29: Esempio di individuazione delle aree potenzialmente geoepicentrali lungo il transetto Valle del Salto-Gran Sasso caratterizzato da faglie attive sismogenetiche individuate con le linee azzurre, gialle e rosse (da Boncio et al. 1999, modificato).

Differentemente da quanto avviene con le onde superficiali a cui in pratica sono connesse unicamente sollecitazioni orizzontali, per le verifiche sismiche da eseguire per manufatti ricadenti in aree epicentrali, la normativa sismica dovrebbe imporre di tenere adeguatamente conto anche della simultaneità di onde P ed S. Ciò ponendo particolare attenzione alle sollecitazioni delle onde S giacché queste investendo obliquamente e violentemente la superficie del suolo comportano sollecitazioni zenitali ed orizzontali applicate simultaneamente che se derivanti da un processo di amplificazione sismica, unitamente alle onde P, producono effetti catastrofici. Ovviamente una nuova normativa dovrebbe anche obbligare i progettisti a porre particolare attenzione a edifici e/o manufatti caratterizzati da area di sedime molto estesa. Ciò perché in zone ove nel volume sismico significativo sono presenti sedimenti a bassa velocità, giacché in aree epicentrali il periodo delle onde è usualmente “corto”, per uno stesso edificio se abbastanza esteso si può avere che lo stesso è sollecitato in modo non uniforme perché la lunghezza dell’onda che produce le

sollecitazioni risulta inferiore all'area d'impronta del manufatto. Tale condizione risulta ancora più grave se l'area d'impronta della struttura è interessata da formazioni geologiche caratterizzate da diverse velocità. Specialmente in quest'ultimo caso la normativa dovrebbe fornire tassative indicazioni perché per un edificio "esteso" si avrebbe un comportamento differenziato da un punto di vista sismico ancora più accentuato del caso precedente. Il medesimo edificio per l'azione di un medesimo terremoto sarebbe sollecitato in maniera decisamente differente tra una zona e l'altra quindi costretto ad una risposta sismica non usuale che se non adeguatamente prevista in fase di progettazione, produrrebbe indiscutibilmente effetti catastrofici immediati.

I rilievi geoambientali hanno consentito di sintetizzare i più significativi effetti locali (figura 26) che hanno caratterizzato l'area più consistentemente interessata dal sisma del 6 aprile 2009. Gli effetti più disastrosi si sono verificati nella parte di territorio interessato da abbassamento cosismico. In particolare si riscontra un'area epicentrale in base ai danni agli edifici che si ubica in corrispondenza della faglia sismogenetica in una fascia definibile "near fault". I rilievi eseguiti da vari ricercatori hanno evidenziato che vi è un'area di maggiori dimensioni interessata da effetti significativi e potenzialmente molto dannosi, per i manufatti in generale, quali le riattivazioni di movimenti verticali differenziati. Quest'ultima area comprende la zona cosismicamente ribassata entro la quale è ubicata l'area epicentrale "near fault" e viene provvisoriamente definita Area Geoepicentrale: vale a dire l'area che è stata e può essere interessata da effetti geoambientali pericolosi per i manufatti e le attività umane in un territorio ubicato in zona sismica. Tale area geoepicentrale si ubica a cavallo della faglia sismogenetica con una ampiezza di almeno 5 chilometri sui due lati della faglia. In tal modo si può delimitare l'area geoepicentrale di sismi avvenuti in passato (nelle ultime migliaia di anni) partendo dal ritrovamento di evidenze stratigrafiche di rimobilizzazioni datate lungo le faglie.

Nell'area geoepicentrale (figure 27 e 28) gli effetti locali potenziali non sono adeguatamente superabili e/o mitigabili con la "normativa antisismica" che consente di realizzare edifici in grado di resistere alle sollecitazioni orizzontali ma, difficilmente, agli spostamenti cosismici del suolo e alle sollecitazioni derivanti dalle onde S oblique che determinano oscillazioni verticali e orizzontali contemporaneamente.

E' parere degli scriventi che per le aree geoepicentrali, nelle quali ricadono numerosi centri abitati e capoluoghi (come ad esempio Reggio Calabria, Messina, Benevento ecc.) e infrastrutture di importanza strategica realizzate in superficie, in galleria e su lunghi viadotti, debbano essere messe a punto più adeguate norme tecniche.

Le aree potenzialmente geoepicentrali possono essere individuate, ad esempio, come proposto schematicamente in figura 29 per un transetto tra Lazio e Abruzzo.

Si sottolinea l'importanza dei risultati acquisiti con le ricerche multidisciplinari nell'area aquilana che hanno messo in particolare risalto l'importanza delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche delle rocce che rappresentano il substrato di fondazione dei manufatti nell'amplificare o meno le sollecitazioni sismiche relative alle onde S che incidono obliquamente sulla superficie del suolo. La sicurezza dei cittadini e dei manufatti richiede una attenta e adeguata classificazione sismica del territorio e una idonea indagine geologica, geotecnica e geofisica per la individuazione e delimitazione delle aree nelle quali si possono o meno verificare fenomeni di amplificazione sismica. Tali indagini multidisciplinari devono prevedere la individuazione di evidenze stratigrafiche e strutturali di movimenti cosismici verificatisi nelle ultime migliaia di anni al fine di ubicare e fondare adeguatamente i vari manufatti e di fornire idonei parametri ai progettisti per garantire sicurezza ai manufatti da realizzare o mettere in sicurezza nelle aree geoepicentrali.

Sulla base di corrette ed adeguate conoscenze delle caratteristiche geologiche e geotecniche tridimensionali il piano urbanistico assume un ruolo ben più importante del semplice strumento urbanistico, diventando un vero e proprio strumento di supporto per la progettazione strutturale al fine di prevenire possibili irregolarità nel comportamento delle strutture, riconducibili a fattori geoambientali.

Sisma, Volume Geologico di attraversamento, Sito e Costruzione sono da intendersi come un unico sistema composto da quattro indissolubili componenti tese alla mitigazione del rischio sismico. La componente Costruzione, però, sicuramente merita una rivisitazione radicale, così ad es. in materia di competenze professionali si dovrebbe vietare ad ingegneri non civili di trattare costruzioni, si dovrebbero mettere dei "paletti" nel rapporto tra Imprese e Direzione Lavori, pretendere la qualificazione professionale per ogni Direttore di cantiere, rivedere le modalità di qualificazione dei Direttori tecnici di impresa, prevedere il coinvolgimento delle Centrali di betonaggio nell'attestazione di regolarità del getto, prevedere appositi corsi di formazione introducendo la qualificazione specialistica del capo carpentiere/ferraio, rendere obbligatoria la progettazione del piano di manutenzione della struttura, prevedere il collaudo periodico delle strutture, introdurre l'istituzione del Libretto del fabbricato, pretendere l'uso di programmi di calcolo licenziati obbligando i progettisti strutturali ad allegare ai calcoli la fattura d'acquisto del software, ecc..

Il sisma dell'Aquila, oltre ad essere l'occasione per poter correggere molte storture che da sempre sono presenti nel delicato processo di mitigazione del rischio sismico, ha offerto l'opportunità, in base all'attività di ricerca multidisciplinare svolta sul "campo" dagli autori della presente nota, di introdurre tematiche innovative finora mai trattate e di poter ragionare criticamente, sempre in base ai dati finora disponibili, sulle relazioni esistenti tra tettonica attiva, tettonica sismogenetica e attività umane sul territorio.

Bibliografia

AGOSTA F., PIERANTONI P., TONDI E. (2009) - *IL TERREMOTO DI L'AQUILA DEL 6 APRILE 2009, ABRUZZO. RAPPORTO DEL 10 APRILE 2009.*

AMBRASEYS N., SMIT, P., BERARDI R., RINALDIS D., COTTON F., BERGE C. (2000) - *DISSEMINATION OF EUROPEAN STRONG-MOTION DATA (CD-ROM COLLECTION). EUROPEAN COMMISSION, DGXII, SCIENCE, RESEARCH AND DEVELOPMENT, BRUXELLES.*

AMBRASEYS N.N., DOUGLAS J., RINALDIS D., BERGE-THIERRY C., SUHADOLC P., COSTA G., SIGBJORNSSON R., SMIT P. (2004) - *DISSEMINATION OF EUROPEAN STRONG-MOTION DATA, VOL. 2, CD-ROM COLLECTION, ENGINEERING AND PHYSICAL SCIENCES RESEARCH COUNCIL, UK.*

AMERI G., AUGLIERA P., BUNDI D., D'ALEMA E., LADINA C., LOVATI S., LUZI L., MARZORATI S., MASSA M., PACOR F., PUGLIA R. (2009) - *STRONG-MOTION PARAMETERS FOR THE MW=6,3 ABRUZZO (CENTRAL ITALY) EARTHQUAKE. INGV MILANO-PAVIA, ITALY.*

APAT (2006) - *CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000 - FOGLIO N. 359 "L'AQUILA". S.EL.CA. FIRENZE.*

BAGNAIA, R., A. ET AL. (1992) - *AQUILA AND SUBAEQUAN BASINS: AN EXAMPLE OF QUATERNARY EVOLUTION IN CENTRAL APENNINES, ITALY. QUATERNARIA NOVA, II, 187-209.*

BERLUSCONI A., LIVIO F., MICHETTI A.M., SILEO G. (2009) - *EFFETTI AMBIENTALI DEL TERREMOTO DEL 6/4/2009 A L'AQUILA: RAPPORTO PRELIMINARE. UNIVERSITÀ DELL'INSUBRIA, DIPARTIMENTO DI SCIENZE CHIMICHE E AMBIENTALI.*

BERTINI, T. ET AL. (1989) - *LA CONCA DI FOSSA-S. DEMETRIO DEI VESTINI. IN: CNR, CENTRO DI STUDIO PER LA GEOLOGIA TECNICA.*

BONCIO P., BROZZETTI F. E LAVECCHIA G. (1999) - *CARTA DEGLI ALLINEAMENTI DI FAGLIE QUATERNARIE OVEST-IMMERGENTI RILEVANTI DAL PUNTO DI VISTA SISMO GENETICO (AREA INTRA-APPENNINICA UMBRO-MARCHIGIANO-ABRUZZESE). UR UNIVERSITÀ DI CHIETI.*

BONCIO, P., LAVECCHIA G., PACE B. (2004) - *DEFINING A MODEL OF 3D SEISMOGENIC SOURCES FOR SEISMIC HAZARD ASSESSMENT APPLICATIONS: THE CASE OF CENTRAL APENNINES (ITALY). JOURNAL OF SEISMOLOGY, 8, 407-425.*

BOSI, C. & T. BERTINI (1970) - *GEOLOGIA DELLA MEDIA VALLE DELL'ATERNO. MEMORIE DELLA SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA, IX, 719-777.*

BURSI O. S., DUSATTI T., PUCINOTTI R. (2009) - *A RECONNAISSANCE REPORT: THE APRIL 6, 2009, L'AQUILA EARTHQUAKE. ITALY. HTTP://WWW.RELUIS.IT.*

CALAMITA F., ESESTIME P., PALTRINIERI W., SATOLLI S., SCISCIANI V., VIANDANTE M.G. (2004) - *ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE E STILE TETTONICO DELLA CATENA CENTRO APPENNINICA. CORSO DOTTORATO IN "GEOLOGIA ED EVOLUZIONE DELLA LITOSFERA" INCONTRO ANNUALE, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI G. D'ANNUNZIO.*

CALDERONI B., CORDASCO E. A., GIUBILEO C., MIGLIACCIO L. (2009) - *PRELIMINARY REPORT ON DAMAGES SUFFERED BY MASONRY BUILDINGS IN CONSEQUENCE OF THE L'AQUILA EARTHQUAKE OF 6TH APRIL. HTTP://WWW.RELUIS.IT.*

CARTA GEOLOGICA D'ITALIA (2005) - *FOGLIO L'AQUILA N. 349, PROGETTO CARG, 2005*

CEN EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION (2003) - *EUROCODE 8: DESIGN PROVISIONS FOR EARTHQUAKE RESISTANCE OF STRUCTURES, PART 1.1: GENERAL RULES, SEISMIC ACTIONS AND RULES FOR BUILDINGS. PREN1998-1.*

CHIOCCARELLI E., DE LUCA F., IERVOLINO I. (2009) - *PRELIMINARY STUDY OF L'AQUILA EARTHQUAKE GROUND MOTION RECORDS V5.10*. [HTTP://WWW.RELUIS.IT](http://www.reluis.it).

COSENZA, E. (2007) - *NORMATIVA E PROGETTAZIONE SISMICA: C'È DEL NUOVO IN ITALIA? ATTI DEL WORKSHOP MATERIALI ED APPROCCI INNOVATIVI PER IL PROGETTO IN ZONA SISMICA E LA MITIGAZIONE DELLA VULNERABILITÀ DELLE STRUTTURE*, SALERNO, C. FAELLA, G. MANFREDI, V. PILUSO, R. REALFONZO EDITORS, POLIMETRICA INTERNATIONAL SCIENTIFIC PUBLISHER.

DECANINI, L. ET AL. (1995) - *PROPOSTA DI DEFINIZIONE DELLE RELAZIONI TRA INTENSITÀ MACROSISMICA E PARAMETRI DEL MOTO DEL SUOLO*. 7° CONVEGNO NAZIONALE: L'INGEGNERIA SISMICA IN ITALIA, SIENA, 25-28 SETTEMBRE 1995, PP. 63-72.

DE LUCA, G. ET AL. (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, 95.

DST WORKING GROUP - UNICH (2009) - *THE L'AQUILA EARTHQUAKE OF APRIL 2009 (CENTRAL ITALY): SEISMOTECTONIC FRAMEWORK AND COSEISMIC GROUND FEATURES. PRELIMINARY REPORT*.

D'AGOSTINO G., ORTOLANI F., PAGLIUCA S. (2005) - *RELATIONSHIPS BETWEEN ACTIVE TECTONICS, SEISMICITY, SUBMARINE LANDSLIDES AND LAST MILLENNIUM TSUNAMIS AFFECTING THE ITALIAN COAST*. MAEGS 14° MEETING ASSOCIATION OF EUROPEAN GEOLOGICAL SOCIETIES, TURIN (ITALY) – SEPTEMBER 19 – 23, 2005, PP 54-55. ED. MAEGS.

EEFIT (2009) - *THE L'AQUILA, ITALY EARTHQUAKE OF 6 APRIL 2009. A PRELIMINARY FIELD REPORT*.

EERI (2009) - *THE MW 6.3 ABRUZZO, ITALY, EARTHQUAKE OF APRIL 6, 2009. SPECIAL EARTHQUAKE REPORT, JUNE 2009*.

ENEA, P.A.S. (2006) - *ELEMENTI DI TETTONICA PLIOCENICO-QUATERNARIA ED INDIZI DI SISMICITÀ OLOCENICA NELL'APPENNINO LAZIALE-ABRUZZESE*. SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA, 26-58.

FANALE L., LEPIDI M., GATTULLI V., POTENZA F. (2009) - *ANALISI DI EFIDICI DANNEGGIATI DALL'EVENTO SISMICO DELL'APRILE 2009 NELLA CITTÀ DELL'AQUILA E IN ALCUNI CENTRI MINORI LIMITROFI*. DISAT – UOIS, UNITÀ OPERATIVA DI INGEGNERIA SISMICA.

GALADINI F., GALLI P. (2000) - *ACTIVE TECTONICS IN THE CENTRAL APENNINES (ITALY) - INPUT DATA FOR SEISMIC HAZARD ASSESSMENT*. NATURAL HAZARDS 22: 225-270.

GALADINI F., MESSINA P. (2001) - *PLIO-QUATERNARY CHANGES OF THE NORMAL FAULT ARCHITECTURE IN THE CENTRAL APENNINES (ITALY)*. GEODINAMICA ACTA, 14: 321-344.

GALADINI F., GALLI P. (2000) - *ACTIVE TECTONICS IN THE CENTRAL APENNINES (ITALY) – INPUT DATA FOR SEISMIC HAZARD ASSESSMENT*, NAT. HAZARDS, 22, 225-270.

GALADINI F., GALLI P. (2003) - *PALEOSEISMOLOGY OF SILENT FAULTS IN THE CENTRAL APENNINES (ITALY): THE MT. VETTORE AND LAGA MTS. FAULTS*. ANNALS OF GEOPHYSICS, VOL. 46, 5

GALLI P., CAMASSI E. R. (2009) - *RAPPORTO SUGLI EFFETTI DEL TERREMOTO AQUILANO DEL 6 APRILE 2009*. RPT03 – 20.04.2009

GEER ASSOCIATION (2009) - *PRELIMINARY REPORT ON THE SEISMOLOGICAL AND GEOTECHNICAL ASPECTS OF THE APRIL 6 2009 L'AQUILA EARTHQUAKE IN CENTRAL ITALY* ([HTTP://RESEARCH.EERC.BERKELEY.EDU/PROJECTS/GEER](http://research.eerc.berkeley.edu/projects/geer)).

GHISETTI, F. & L. VEZZANI (2002) - *NORMAL FAULTING, TRANSCRUSTAL PERMEABILITÀ AND SEISMOGENESIS IN THE APENNINES (ITALY)*. *TECTONOPHYSICS*, 348: 155-168.

GIULIANI R., GALADINI F. (1999) - *CARATTERISTICHE CINEMATICHE DELL'ATTIVITÀ TETTONICA RECENTE DELL'AREA AQUILANA (APPENNINO CENTRALE)*. *GNGTS – ATTI DEL 17° CONVEGNO NAZIONALE*.

GRUPPO DI LAVORO UNISANNIO – CIMA – DIGA (2009) - *RAPPORTO PRELIMINARE SUGLI EFFETTI INDOTTI SULL'AMBIENTE FISICO DALLA SEQUENZA SISMICA DELL'AQUILANO. VER.1.5.* [HTTP://WWW.RELUIS.IT](http://www.reluis.it)

IERVOLINO I., GALASSO C., COSENZA E. (2008) - *SELEZIONE ASSISTITA DELL'INPUT SISMICO E NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI. VALUTAZIONE E RIDUZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA DI EDIFICI ESISTENTI IN C.A., ROMA, 29-30 MAGGIO 2008.*

IERVOLINO I. AND CORNELL C. A. (2008) - *PROBABILITY OF OCCURRENCE OF VELOCITY PULSES IN NEAR-SOURCE GROUND MOTIONS. BULLETIN OF THE SEISMOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA, VOL. 98, NO. 5, PP. 2262–2277.*

INGV (2009) - *MEASUREMENT AND MODELING OF CO-SEISMIC DEFORMATION DURING THE L'AQUILA EARTHQUAKE. PRELIMINARY RESULTS.*

INGV EMERGEO WORKING GROUP (2009) - *RILIEVI GEOLOGICI DI TERRENO EFFETTUATI NELL'AREA EPICENTRALE DELLA SEQUENZA SISMICA DELL'AQUILANO DEL 6 APRILE 2009. ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA CON LA COLLABORAZIONE DI CNR-IGAG, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA TRE, DIMSAT- UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CASSINO. INTERNATIONAL CONFERENCE OF BUILDING OFFICIALS (ICBO) (1997) - UNIFORM BUILDING CODE –1997 EDITION, WHITTIER, CALIFORNIA, USA.*

INTERNATIONAL CODE COUNCIL (ICC) (2003) - *INTERNATIONAL BUILDING CODE, FALLS CHURCH, VIRGINIA, USA.*

IREA-CNR (2009) - *TERREMOTO DELL'ABRUZZO: INTERFEROGRAMMA ENVISAT COSISMICO. NAPOLI, 12 APRILE 2009.*

MANFREDI G., POLESE M., COSENZA E. (1998) - *STRUCTURAL DAMAGE IN THE NEAR-FAULT. 12TH EUROPEAN CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING, ELSEVIER SCIENCE .*

MELETTI C., MONTALDO V. (2007) - *STIME DI PERICOLOSITÀ SISMICA PER DIVERSE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO IN 50 ANNI: VALORI DI AG. PROGETTO DPC-INGV S1, DELIVERABLE D2.* [HTTP://ESSE1.MI.INGV.IT/D2.HTML](http://esse1.mi.ingv.it/D2.HTML).

MONTALDO V., MELETTI C., MARTINELLI F., STUCCHI M., LOCATI M. (2007) - *ON-LINE SEISMIC HAZARD DATA FOR THE NEW ITALIAN BUILDING CODE. JOURNAL OF EARTHQUAKE ENGINEERING, 11(1): 119–132.*

ORTOLANI F., PAGLIUCA S. (2005) - *RELAZIONI TRA FAGLIE SISMOGENETICHE CROSTALI, DEFORMAZIONI DELLA SUPERFICIE DEL SUOLO E DEL SOTTOSUOLO E ANTROPIZZAZIONE DEL TERRITORIO. 24° CONVEGNO NAZIONALE GNGTS, CNR ROMA 15-17 NOVEMBRE 2005. ED. GNGTS.*

ORTOLANI F., PAGLIUCA S. (2005) - *TETTONICA OLOCENICA E DEFORMAZIONI RECENTI DELLA FASCIA COSTIERA CAMPANA COMPRESA TRA I MONTI LATTARI ED IL FIUME VOLTURNO. IMPATTO SULL'AMBIENTE ANTROPIZZATO. 24° CONVEGNO NAZIONALE GNGTS, CNR ROMA 15-17 NOVEMBRE 2005. ED. GNGTS.*

ORTOLANI F., PAGLIUCA S., D'AGOSTINO G. (2005) - *TERREMOTI, FRANE SOTTOMARINE E TSUNAMI LUNGO LE COSTE ITALIANE: L'ESEMPIO DI MESSINA-REGGIO CALABRIA DEL 1908. 24° CONVEGNO NAZIONALE GNGTS, CNR ROMA 15-17 NOVEMBRE 2005. ED. GNGTS.*

ORTOLANI F., PAGLIUCA S., SERVA L. (2005) - *COSEISMIC DEFORMATION AND RELATED ENVIRONMENTAL HAZARDS. MAEGS 14° MEETING ASSOCIATION OF EUROPEAN GEOLOGICAL SOCIETIES, TURIN (ITALY) – SEPTEMBER 19 – 23, 2005, ED. MAEGS.*

ORTOLANI F., PAGLIUCA S. (2006) - *EVIDENZE MORFOSTRUTTURALI DI DEFORMAZIONI CROSTALI ATTIVE NELL'APPENNINO MERIDIONALE: RELAZIONI CON LA SISMICITÀ E LA TETTONICA PLEISTOCENICA. GNGTS 25° CONVEGNO NAZIONALE, 28-30 NOVEMBRE 2006, ROMA.*

ORTOLANI F., PAGLIUCA S., TOCCACELI R. M. (2007) - *ACTIVE TECTONICS IN WESTERN CAMPANIA. GEOITALIA 2007, RIMINI, SETTEMBRE 2007.*

ORTOLANI F., PAGLIUCA S., SPIZUOCO A. (1991) - *GEOLOGIA TECNICA TERRITORIALE IN AREE SISMICHE: PROBLEMATICHE CONNESSE ALLA VALUTAZIONE DELL'AMPLIFICAZIONE SISMICA LOCALE. (1991) DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA UNIVERSITÀ DI NAPOLI FEDERICO II.*

ORTOLANI F., PAGLIUCA S., SPIZUOCO A. (1991) - *GEOLOGIA TECNICA TERRITORIALE FINALIZZATA AD UN CORRETTO RAPPORTO UOMO-AMBIENTE IN AREE A SVILUPPO METROPOLITANO. (1991) DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA UNIVERSITÀ DI NAPOLI FEDERICO II.*

ORTOLANI F., SPIZUOCO A. (1991) - *DISPENSE DI "GEOLOGIA APPLICATA" - DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA UNIVERSITÀ DI NAPOLI - ANNO ACCADEMICO 1990/91 PRIMA PARTE PAGG. 107.*

ORTOLANI F., SPIZUOCO A. (1991) - *DISPENSE DI "GEOLOGIA APPLICATA" - DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA UNIVERSITÀ DI NAPOLI - ANNO ACCADEMICO 1990/91 SECONDA PARTE PAGG. 191.*

ORTOLANI F., SPIZUOCO A. (1995) - *DISPENSE RELATIVE AL CORSO "AMBIENTE FISICO DEL SOTTOSUOLO DELLE PIANURE" - UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA - ANNO 1994/95 - PAGG.310.*

ORTOLANI F., PAGLIUCA S., SPIZUOCO A. (2009) - *ELEMENTI STRUTTURALI, EFFETTI LOCALI E DANNI AI MANUFATTI NELL'AREA ABRUZZESE INTERESSATA DAL SISMA DEL 6 APRILE 2009. WORKSHOP "IL TERREMOTO AQUILANO DELL'APRILE 2009: PRIMI RISULTATI E STRATEGIE FUTURE", UNIVERSITÀ "G. D'ANNUNZIO" DI CHIETI-PESCARA, CHIETI SCALO 4 GIUGNO 2009.*

PIATANESI A., CIRELLA A. (2009) - *RUPTURE PROCESS OF THE 2009 MW=6.3 L'AQUILA (CENTRAL ITALY) EARTHQUAKE FROM NON LINEAR INVERSION OF STRONG MOTION AND GPS DATA. INGV REPORT.*

QUEST (2009) - *RAPPORTO SUGLI EFFETTI DEL TERREMOTO AQUILANO DEL 6 APRILE 2009. RAPPORTO INGV ([HTTP://WWW.MI.INGV.IT/EQ/090406/QUEST.HTML](http://www.mi.ingv.it/EQ/090406/QUEST.HTML)).*

ROVIDA, A. ET AL. (2009) - *TERREMOTI STORICI NELL'AREA COLPITA DAGLI EVENTI SISMICI DELL'APRILE 2009. INGV REPORT ([HTTP://WWW.MI.INGV.IT/EQ/090406/STORIA.HTML](http://www.mi.ingv.it/EQ/090406/STORIA.HTML)).*

SMIT P. (2004) - *DISSEMINATION OF EUROPEAN STRONG-MOTION DATA. VOL. 2, CD-ROM COLLECTION, ENGINEERING AND PHYSICAL SCIENCES RESEARCH COUNCIL, UNITED KINGDOM.*

SOMERVILLE P. G. (2003) - *MAGNITUDE SCALING OF THE NEAR FAULT RUPTURE DIRECTIVITY PULSE. PHYSICS OF THE EARTH AND PLANETARY INTERIORS 137, 201-212.*

SOMERVILLE P. G. (2005) - *ENGINEERING CHARACTERIZATION OF NEAR-FAULT GROUND MOTIONS. PROCEEDING OF 2005 NZSEE CONFERENCE, WAIRAKEI, NZ.*

SOMERVILLE P. G. SMITH N. F., GRAVES R. W., ABRAHAMSON N. A. (1997) - *MODIFICATION OF EMPIRICAL STRONG MOTION ATTENUATION RELATIONS TO INCLUDE THE AMPLITUDE AND DURATION EFFECT OF RUPTURE DIRECTIVITY. SEISM. RES. LETT. 68 (1).*

SPIZUOCO A. (1995) - *DISPENSE DI "GEOLOGIA AMBIENTALE E DIFESA DEL SUOLO" PRODOTTE PER IL CORSO POST-DIPLOMA TECNICO DELL'AMBIENTE PER LA GESTIONE DEGLI IMPIANTI - ISTITUTO TECNICO PER GEOMETRI DI MARIGLIANO (NA) - ANNO 1994/95 - PAGG. 385.- WWW.SPIZUOCO.IT*

SPIZUOCO A. (2000) - *DISPENSE MODULO DI "GEOTECNICA" PER IL CORSO IN "RESTAURO E RECUPERO DEI CENTRI STORICI" SU AUTORIZZAZIONE DEL MINISTERO DELLA PUBBLICA ISTRUZIONE ED IN COLLABORAZIONE CON L'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II- WWW.SPIZUOCO.IT*

SPIZUOCO A. (1988) - *DISPENSE DI "LEZIONI DI COSTRUZIONI I PARTE" - ISTITUTO TECNICO PER GEOMETRI DI MARIGLIANO (NA) PAGG. 121.- WWW.SPIZUOCO.IT*

SPIZUOCO A. (1989) - *DISPENSE "LEZIONI DI COSTRUZIONI II PARTE" - ISTITUTO TECNICO PER GEOMETRI DI MARIGLIANO (NA) PAGG. 272. - WWW.SPIZUOCO.IT*

SPIZUOCO A. (1992) - *ELEMENTI DI STATICA E DI MECCANICA DEL CONTINUO - EDIZIONI LER NAPOLI – ROMA – WWW.SPIZUOCO.IT*

SPIZUOCO A. (1993) - *CALCOLO DELLE DEFORMAZIONI NELLE STRUTTURE ISOSTATICHE - EDIZIONI LER NAPOLI – ROMA – WWW.SPIZUOCO.IT*

SPIZUOCO A. (1994) - *STRUTTURE IPERSTATICHE - EDIZIONI LER NAPOLI – ROMA – WWW.SPIZUOCO.IT*

SPIZUOCO A. (1998) - *LEZIONI SUL C.A. - EDIZIONI LER NAPOLI – ROMA – WWW.SPIZUOCO.IT*

TOZER R. S. J. , BUTLER R.W. H. , CORRADO S. (2002) - *COMPARING THIN- AND THICK-SKINNED THRUST TECTONIC MODELS OF THE CENTRAL APENNINES, ITALY. EGU STEPHAN MUELLER SPECIAL PUBLICATION SERIES, 1, 181–194, 2002.*

VALENSISE G. (2009) - *ALCUNE CONSIDERAZIONI SULLA SISMOTETTONICA DEL TERREMOTO DEL 6 APRILE. INGV REPORT.*

VERDERAME G.M., IERVOLINO I., RICCI P. (2009) - *REPORT ON THE DAMAGES ON BUILDINGS FOLLOWING THE SEISMIC EVENT OF 6TH OF APRIL 2009, V1.20, HTTP://WWW.RELUI.IT.*