

IL SISMA DELL'AQUILA DEL 6 APRILE 2009: QUALI NOVITÀ IN CAMPO GEOLOGICO?

di PAOLO DI MARCANTONIO¹ E ROMOLO DI FRANCESCO²

¹Geologo libero professionista, Segretario dell'Ordine dei Geologi della Regione Abruzzo

²Geologo libero professionista, autore di pubblicazioni tecnico-scientifiche su meccanica e dinamica delle terre, geotecnica, geofisica, scienza dei materiali e geologia

Introduzione

Apoco più di due mesi dal terremoto aquilano del 6 aprile 2009 vogliamo, senza pretesa di esaustività né di alti contenuti scientifici, fare una breve descrizione di quanto accaduto cercando di evidenziare quelle situazioni che, da geologi, ci sono sembrate particolarmente interessanti.

L'evento principale ha avuto una magnitudo momento di 6.3, seguito da numerosi aftershock importanti e preceduto da uno sciame sismico di almeno due mesi. Ha colpito un territorio la cui sismicità è ampiamente nota, tanto che in passato vi sono state installate numerose stazioni sismiche anche in forma di array.

Numerosi studi hanno individuato le strutture sismogenetiche ed è stata anche valutata l'occorrenza di rilevanti effetti di amplificazione per caratteristiche locali, che si sono puntualmente verificati.

In effetti, oggi sappiamo che le onde sismiche nascono con un determinato contenuto spettrale; il treno di onde viene poi distorto ed attenuato durante la propagazione dall'ipocentro attraverso la crosta terrestre, tanto che le componenti di più alta frequenza vengono smorzate più rapidamente dalla funzione di filtro passa-basso esercitata dalle

rocce. Ma nel momento in cui le onde intercettano la superficie terrestre il problema si complica, dal momento che le stesse subiscono un'ulteriore modifica, consistente in una distorsione delle frequenze ed in una variazione di forma delle ampiezze in funzione delle caratteristiche dei terreni del sito.

L'area colpita, non particolarmente estesa, si colloca nella catena abruzzese, costituita da rilievi prevalentemente carbonatici e da conche intramontane colmate da sedimenti fluvio-lacustri. Gli elevati spessori, che nella valle dell'Aterno interessata dal sisma sono in vari tratti dell'ordine delle centinaia di metri, sono dovuti al ribassamento tettonico dei bacini sotto l'azione di faglie dirette che bordano i rilievi prospicienti le conche stesse.

Rilevato di circa 50 metri sull'attuale corso del fiume Aterno sorge il centro storico de l'Aquila, ubicato su una superficie a morfologia terrazzata su depositi definiti come "megabrecce", riferibili al Quaternario antico, e costituite da un insieme di clasti calcarei eterometrici (da centimetri a diversi metri cubi). Si tratta di depositi frequenti lungo molti versanti dell'Appennino abruzzese, riferibili verosimilmente ad episodi alluvionali di tipo catastrofico associati a movimenti in massa, legati a condizioni climatiche sub-aride e ad una contemporanea vivace attività tettonica. Le "megabrecce" hanno uno spessore di alcune decine di metri, sono variamente cementate ed al loro interno si rinvencono lenti limoso-argillose e frequenti cavità. Al di sotto vi sono spessori rilevanti di sedimenti limosi di origine lacustre.

Il sisma ha avuto come epicentro un tratto centrale dell'alta valle dell'Aterno ed è stato generato da una struttura distensiva ad andamento appenninico nota come "Faglia di Paganica". L'interpretazione è confermata da dati interferometrici, come dimostrato dalla Figura 2 la quale mostra un interferogramma calcolato a partire dalla coppia di immagini 1 Febbraio 2009 – 12 Aprile 2009.

Le frange definiscono il campo di spostamento (quasi verticale) indotto dal terremoto.



Fig. 1 - Il crollo emblematico del Palazzo del Governo, riconosciuto nel 2008 sismicamente vulnerabile

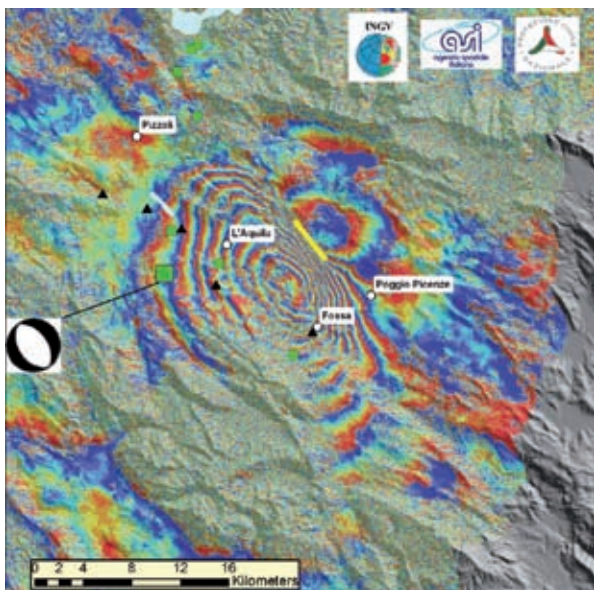


Fig. 2 - Interferogramma ENVISAT (Fonte: INGV)

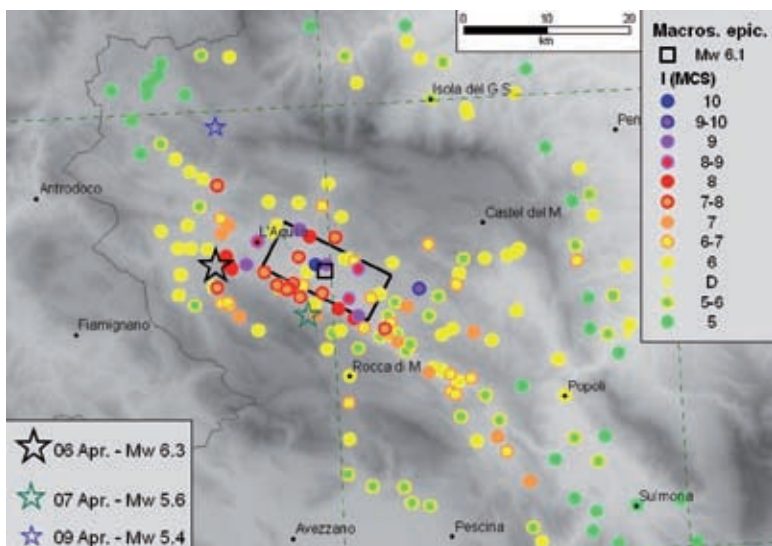


Fig. 3 - Carta delle intensità macrosismiche (Fonte: INGV)

Il Massimo abbassamento è di circa 25 cm tra L'Aquila e Fossa (ogni frangia corrisponde a circa 2.5 cm). I quadratini verdi indicano il mainshock e gli aftershocks con Mw > 5; la linea gialla indica le fratture superficiali osservate; i triangoli infine

marcano la posizione dei capisaldi GPS utilizzati per il confronto con il SAR (Fonte: INGV). Già dalle prime ore successive alla scossa del 6 aprile ci si è resi conto di come i danneggiamenti fossero estremamente differenziati all'interno della stessa area epicentrale, la cui conferma è arrivata con la successiva elaborazione della carta delle intensità macrosismiche (Figura 3).

Dalla figura si nota immediatamente, al centro del rettangolo in nero la presenza di tre località pressoché adiacenti ma con attribuzione di intensità MCS molto differenti. Il pallino blu (I=X MCS) individua l'abitato di Onna, quasi interamente raso al suolo; immediatamente a Sud-Ovest la carta riporta un grado VI MCS, corrispondente all'abitato di Monticchio, distante da Onna circa 1km. Ad Est di Onna è poi presente un IX MCS relativo all'abitato di San Gregorio.

La figura 4 mostra un'elaborazione 3D dell'area tratta da GoogleEarth dalla quale si ha un'immediata percezione del contesto geologico e geomorfologico. Ci troviamo in un tratto abbastanza ampio della valle del Fiume Aterno al centro della quale sorge l'abitato di Onna mentre Monticchio e San Gregorio sono ubicati sui primi rilievi rispettivamente in destra ed in sinistra idrografica. Nel caso dell'abitato di Onna, che si ricorda essere costruito su depositi di chiusura di un antico lago ed oggi ridotto ad un cumulo di macerie, il passaggio delle onde dal substrato ai terreni soffici ha determinato

un brusco rallentamento della loro propagazione; poiché però le stesse devono sottostare alle leggi di conservazione dell'energia, la trasmissione lungo un'interfaccia di spessore infinitesimo ed in un tempo trascurabile può essere compensata solo da un aumento della loro ampiezza; a questi si sommano, poi, ulteriori effetti di focalizzazione delle onde verso il centro valle e riflessione di onde di superficie dai bordi verso il centro.

Quello di Onna è probabilmente l'effetto più evidente di amplificazione locale ma non è certo l'unico, come confermato dai dati della Rete Accelerometrica Nazionale (RAN) presente con un Array a Pettino (Nord-Ovest dell'Aquila)

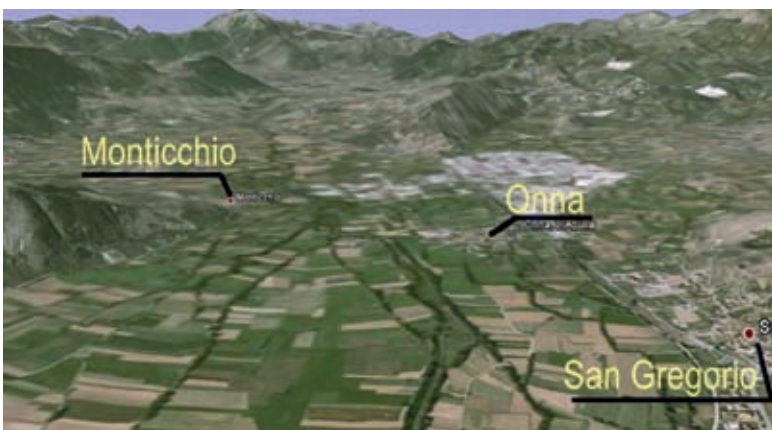


Fig. 4 - Immagine 3D ottenuta da GoogleEarth dalla quale si apprezza la vicinanza tra i siti di Monticchio, Onna e San Gregorio. In primo piano la pianura alluvionale del Fiume Aterno al centro della quale sorge Onna.



Fig. 5 - Localizzazione Array della RAN (Fonte: INGV)

ed una stazione singola nel centro storico dell'Aquila (Figura 5).

L'elaborazione spettrale dei dati accelerometrici dell'evento principale (Figura 6) mostra accelerazioni che per ampi tratti di periodi superano il valore di 1g (accelerazione di gravità). È stato quindi calcolato, secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni del 2009, lo spettro di risposta elastico per il sito AQV utilizzando il foglio di calcolo disponibile sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, per suolo di categoria B privo di amplificazioni per caratteristiche topografiche, ottenendo le forme spettrali riportate in Figura 7, dalla quale si evince come lo spettro di normativa, anche per tempi di ritorno di 975 anni, sia abbondantemente al di sotto di quanto registrato.

Anche per il centro storico dell'Aquila si può ipotizzare la concomitanza di effetti di sito, anche se attualmente non sono disponibili dati certi. La maggiore concentrazione di danni, con l'ormai tristemente nota "Casa dello studente", si è avuta in via

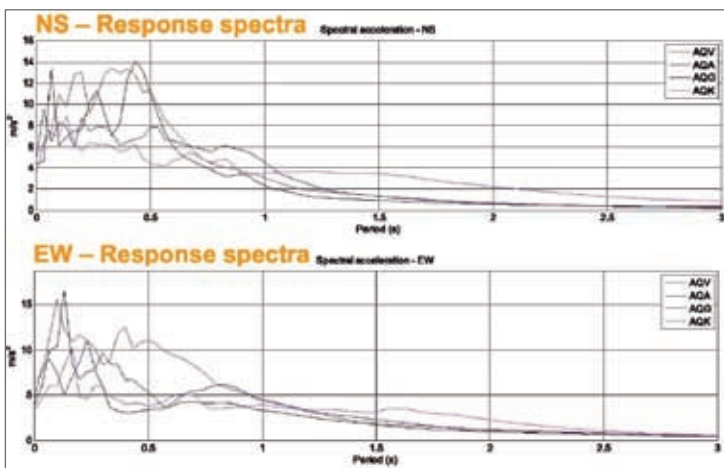


Fig. 6 - Spettri di risposta elastica delle registrazioni della RAN dell'evento del 6 aprile (Fonte: Roberto Paolucci, Politecnico di Milano)

XX Settembre, ossia sul bordo della scarpata che delimita il terrazzo delle Megabrecce sulla prospiciente valle del fiume Aterno (Figura 8). La stessa presenza dei limi lacustri, secondo alcune ipotesi in corso di verifica, potrebbe essere responsabile di effetti di amplificazione.

Livelli di danneggiamento strutturale

Era il 2 febbraio 1703 allorché 800 fedeli che festeggiavano la ricorrenza della Presentazione di Gesù al Tempio rimasero sepolti sotto le macerie della Chiesa di San Do-

menico. Ma la stessa sorte toccò anche alla Chiesa di San Bernardino, alla Cattedrale di San Massimo ed alla maggior parte dei palazzi del centro storico dell'Aquila, tanto che si contarono complessivamente circa 3000 vittime.

A distanza di tre secoli il capoluogo abruzzese, che non mostrava più alcun segno di quell'evento nefasto grazie alla caparbietà ed alla fierezza di un popolo che fu capace di reagire con forza e coraggio, sembra essere tornato indietro nel tempo, sotto l'azione di un terremoto che, originato dalle medesime faglie appartenenti ad una delle strutture sismogenetiche più attive in Italia, ha colpito con la violenza di un maglio.

Nell'ottica dello studio degli effetti indotti sulle strutture dal terremoto del 6 aprile è stato possibile

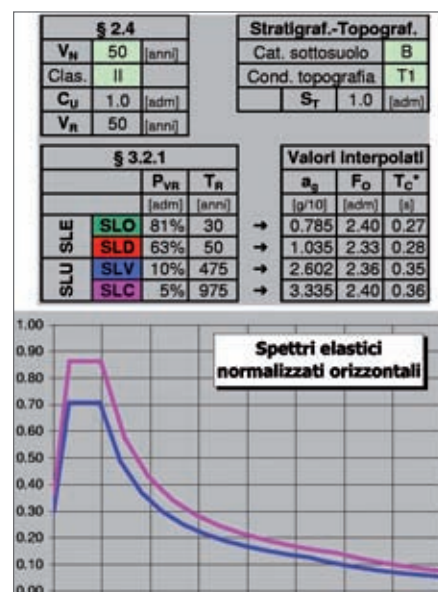
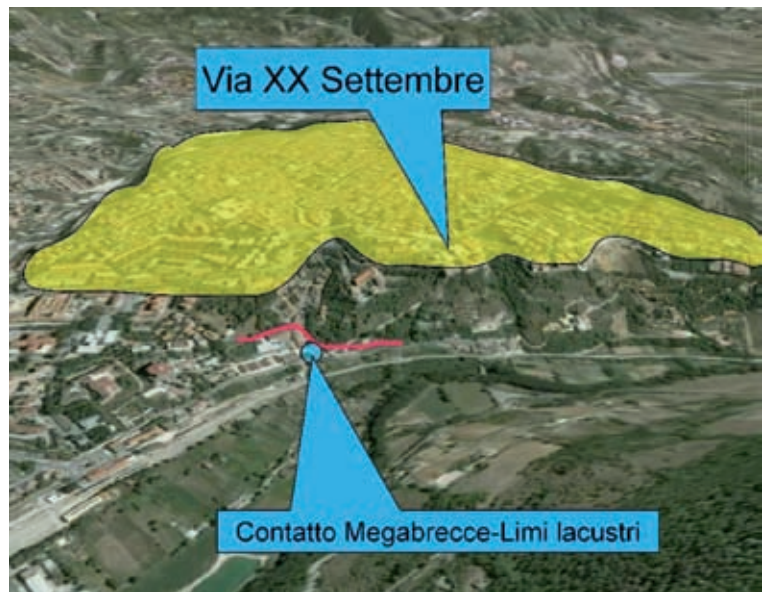


Fig. 7 - Spettri elastici calcolati per il sito AQV attenendosi alle NTC del 2009

Fig. 8 - Schematizzazione su base GoogleEarth delle caratteristiche geologiche dell'area del centro storico dell'Aquila; in giallo il ripiano delle Megabrecce.

riconoscere almeno 6 differenti livelli di danneggiamento, salvo maggiori approfondimenti che potranno in futuro scaturire da rilievi di maggiore dettaglio e che potranno associare le singole problematiche non a problemi di carattere puramente ingegneristico quanto piuttosto a processi di interazione con le strutture geologiche. Ragionando in questo modo, e con l'ausilio della Figura 9, è quindi possibile distinguere:



I livello di danneggiamento: è limitato alla formazione delle classiche lesioni con direttrice a 45°, note anche come “croci di S.Andrea”, la cui formazione è da ricondurre all'inversione ciclica del taglio sismico; una peculiarità di tali quadri fessurativi risiede nella collocazione ristretta ai soli piani terra e primo, raramente coinvolgente il secondo livello, in funzione dell'azione dei tipici meccanismi di piano particolarmente evidenti nelle strutture intelaiate.

II livello di danneggiamento: riguarda l'evoluzione consequenziale del caso precedente che, per condizioni di particolare vulnerabilità, conduce alla distruzione parziale delle tamponature quale risposta delle strutture alla deflessione di taglio sismicamente indotta; anche in questo caso si assiste alla concentrazione del danneggiamento presso i livelli inferiori, dovuta ad esempio a variazione di rigidezza e ad effetti torsionali.

III livello di danneggiamento: appartengono a tale categoria le lesioni gravi nelle murature portanti, che possono evolvere fino a collassi localizzati e/o all'espulsione di materiale dalle strutture.

IV livello di danneggiamento: le lesioni sono talmente sviluppate da risultare deleterie per l'integrità strutturale, con distacchi di intere sezioni talora evolvendo verso meccanismi di ribaltamento flessionale;

V livello di danneggiamento: in questo caso non è più possibile parlare di strutture recuperabili se non a costi esorbitanti, a causa dello sviluppo di crolli importanti che hanno interessato gran parte delle strutture soprattutto in muratura portante.

VI livello di danneggiamento: riguarda la distruzione totale o comunque molto avanzata, come dimostrano le due ultime foto che rappresentano due collassi davvero drammatici.

Ovviamente, oltre ai fenomeni descritti sono stati rilevati anche processi del tutto particolari, come lo sviluppo di lesioni associate a scorrimento relativo tra porzioni dello stesso immobile dotate di differente rigidezza sulla stessa verticale; oppure danneggiamenti di alcuni marciapiedi ora deformati quasi a seguire le onde sismiche che li hanno investiti.



Fig. 9 - Classificazione sistematica dei livelli di danneggiamento strutturale

Effetti sull'idrogeologia

Ovviamente gli effetti del sisma non si sono limitati al danneggiamento del patrimonio edilizio e monumentale, ma si sono espressi anche attraverso ulteriori manifestazioni che, per il loro carattere puramente geologico, non hanno potuto ottenere l'adeguato effetto mediatico.

In effetti, se si analizza il grafico di destra della Figura 10 si scopre che in occasione dell'evento principale (freccia di sinistra) alcune sorgenti, ubicate nel territorio teramano e drenate dal massiccio carbonatico del Gran Sasso, hanno subito un'impennta tanto nella portata quanto nella pressione, con repliche successive associate ad ulteriori eventi sismici importanti (freccia di destra).

Per comprendere tali effetti, seppur in via preliminare ed a carattere qualitativo, occorre innanzitutto riferirsi alla sezione geologica schematica del massiccio carbonatico del Gran Sasso, il quale rappresenta non solo la vetta più alta dell'intero Appennino, ma costituisce anche la principale riserva idropotabile drenata sia verso il territorio l'aquilano (a sx della sezione) e sia verso quello teramano.

Il massiccio del Gran Sasso è noto per essere parte di una catena strutturata con pieghe e sovrascorrimenti la quale, impostata a partire dal Messiniano, appartiene al classico sistema geodinamico di catena – avanfossa il cui avampese è costituito dal bacino adriatico. Ragionando dal solo punto di vista idrogeologico l'intera struttura può allora essere suddivisa in due grandi unità stratigrafiche sovrapposte in relazione all'azione di sovrascorrimenti nord-vergenti ed est-vergenti:

Unità del Gran Sasso: costituita da una successione carbonatica di scarpata continentale, di età giurassico – eocenica, caratterizzata da una permeabilità per fratturazione e carsismo tanto da essere sede dell'acquifero principale;

Unità della Laga: rappresentata dal riem-

pimento, con terreni torbiditici, dell'avanfossa strutturatasi nel Miocene superiore lungo il settore adriatico ovvero lungo il fronte della catena appenninica. La presenza di alternanze di litotipi arenacei e marnosi consentono a quest'ultima unità di rappresentare contestualmente sia l'acquicluda rispetto al massiccio calcareo, in funzione della sovrapposizione tettonica delle unità carbonatiche su quelle terrigene, e sia l'acquifero rispetto alle acque di infiltrazione interna.

Orduque, per una corretta lettura, seppur semplificata, dell'andamento delle pressioni e delle portate occorre precisare che il grafico rappresentato in Figura 10 è relativo ad una captazione delle acque drenate dalle gallerie gemelle del Gran Sasso, ubicata all'incirca 2700 metri all'interno del massiccio calcareo, laddove i flussi idrici sono guidati dalla presenza di un complesso sistema di faglie principali e di fratture secondarie.

Ragionando in questo modo risulta scontata l'associazione del repentino incremento della portata all'azione del sistema strutturale descritto, dal momento che gli eventi sismici principali devono aver aumentato l'apertura di alcuni di tali elementi tettonici e/o indotto la genesi di ulteriori fratture tale da consentire la connessione idraulica tra settori idrogeologici originariamente compartimentali.

A conferma di tali ipotesi possono essere addotti due elementi probanti:

- la permanenza, a due mesi dagli eventi del 6 aprile, degli effetti descritti, con le portate che dagli iniziali valori di 730 l/s sembrano essersi attestate a valori poco superiori agli 800 l/s, depurati dal contributo derivante dallo scioglimento delle nevi;
- il prosciugamento di alcune sorgenti ubicate nel territorio aquilano, a denotare ulteriormente la complessità del sistema idrogeologico del Gran Sasso il quale non deve essere considerato come indipendente rispetto alle strutture limitrofe.

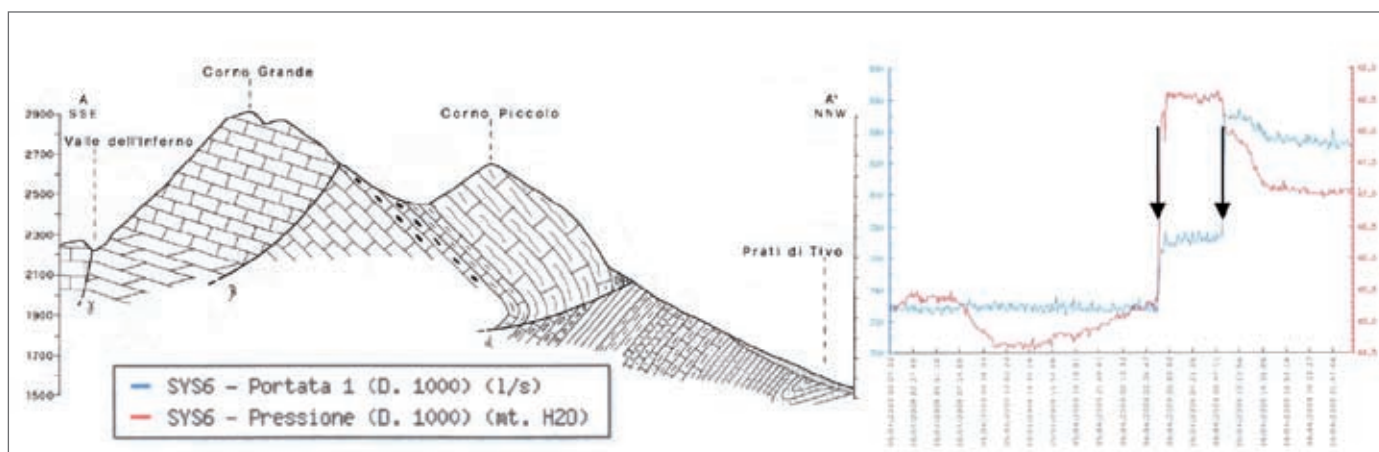


Fig. 10 - A sinistra: sezione geologica schematica del Gran Sasso; a destra: variazione nella portata e nella pressione indotta dal sisma in alcune sorgenti idropotabili captate nel massiccio carbonatico.

Se lo studio della variazione delle portate risulta di (apparente) facile comprensione, l'andamento della pressione nelle condotte di captazione e drenaggio manifesta invece alcune irregolarità apparentemente inspiegabili, tanto che i due parametri risultano solo parzialmente sovrapponibili.

In effetti, se le oscillazioni della pressione nelle ore immediatamente antecedenti l'evento sismico principale possono essere ricondotte al normale regime di esercizio delle sorgenti (con valori max di 0.07 Atm), l'incremento co-sismico è stato tale da aver superato il livello degli sfioratoi, come denotato dall'andamento pressoché orizzontale della traccia nelle ore immediatamente successive alle 3.32; ciò comporta anche che l'incremento di pressione è stato superiore al valore di 0.35 Atm desumibile dall'analisi del grafico.

Concludendo, appare evidente che tali manifestazioni, seppur praticamente scontate vista l'entità della magnitudo espressa dal sisma del 6 aprile, hanno repentinamente condotto ad un nuovo regime idrogeologico del complesso carbonatico del Gran Sasso, con evidenti ripercussioni sul piano degli approvvigionamenti idropotabili a scapito del territorio aquilano ed a favore di quello teramano; tutti elementi che trovano ampia spiegazione anche in analoghe manifestazioni associate ad ulteriori sorgenti teramane ubicate lungo il principale fronte di sovrascorrimento del Gran Sasso.

Considerazioni sugli effetti di sito

L'esistenza di numerose misure di moto vibratorio in superficie e sul substrato, effettuate in occasione di diversi terremoti in tutto il mondo ed ora anche a L'Aquila, hanno consentito di valutare l'importanza e l'influenza dei numerosi fattori che concorrono nella valutazione del rischio sismico, quale base fondamentale per operazioni di progettazione antisismica e di pianificazione territoriale.

In tale ambito la conoscenza del moto vibratorio del terreno in superficie a seguito di un terremoto è di fondamentale importanza, laddove i fattori che concorrono alla sua definizione sono fortemente condizionati dalla complessità geologica del sottosuolo, dalla morfologia e morfometria dei terreni di copertura ed anche dalle proprietà dinamiche del sito.

La combinazione di tali elementi genera di conseguenza un insieme di fenomeni molto complessi che a loro volta possono essere raggruppati in tre categorie fondamentali:

- meccanismo di sorgente;
- propagazione delle onde sismiche dalla sorgente al sito;
- risposta sismica locale.

Lo studio dei processi di generazione e propagazione porta alla definizione di un moto sismico di ingresso al sito, altresì definito come "segnale di ingresso". L'insieme delle modifiche apportate al moto sismico di ingresso dalle particolari caratteristiche del sito costituisce il problema della "risposta sismica locale", intesa come l'insieme delle modifiche, in termini di ampiezza, durata e contenuto in frequenza, che un moto sismico $uB(t)$ al bedrock subisce attraversando i depositi soffici sovrastanti fino alla superficie, ove assume il valore $uS(t)$.

Il problema fondamentale insito in tale trattazione deriva ora dalla necessità di dover relazionare gli effetti di sito sia alle nuove normative antisismiche e sia ad una corretta formulazione del fenomeno, entrambe obbligate non solo a dover fornire risposte esaurienti ai fenomeni riscontrati nell'aquilano ma anche e forse soprattutto a quelli attesi, stante la presenza di strutture sismogenetiche molto attive e pericolose.

Nel primo caso occorre rilevare che, pur adottando tutti i coefficienti previsti dalle normative in materia antisismica per casi come quelli di Onna, la massima accelerazione al suolo potrebbe approssimare valori comunque molto inferiori a quella strumentale, che nel caso dell'evento dello scorso 6 aprile ha raggiunto il ragguardevole valore di circa 0.67 g.

Ciò implica che in realtà gli effetti di sito, costituenti l'ossatura della risposta sismica locale e sostanzialmente di una corretta progettazione antisismica, non possono essere ricondotti a metodologie schematiche, le quali, seppur complesse, non potranno mai tenere conto dell'estrema variabilità della geologia della nostra penisola. Tale argomento, però, non fa altro che spostare l'attenzione dalle normative ai metodi di rilevamento ed analisi ai quali i geologi devono fare riferimento, al fine di fornire una risposta univocamente percepibile dai tecnici progettisti.

Per concludere il discorso, lo studio della risposta sismica locale, pertinente la ricostruzione degli abitati danneggiati da un sisma o la costruzione di nuovi edifici, dovrebbe tenere conto della reale struttura geologica del sito sintetizzabile nell'espressione della più appropriata funzione di trasferimento, capace a sua volta di manifestare il comportamento sotto sisma indipendentemente dal contenuto spettrale di quest'ultimo e dipendente dai soli modi di vibrazione delle progettande strutture; ciò però impone che i progettisti debbano in sequenza adottare una strategia progettuale basata sulla generazione stocastica di un numero elevato di terremoti di progetto, ognuno dei quali caratterizzato da un diverso contenuto in frequenza.

Conclusioni

La nostra penisola per collocazione geografica e conformazione orografica può essere considerata di diritto una vera e propria palestra per gli studiosi di Scienze della Terra, con terremoti, eruzioni vulcaniche, inondazioni e frane che flagellano quotidianamente un territorio densamente antropizzato.

Negli ultimi anni molti progressi sono stati compiuti nello studio di tali fenomeni, anche se in realtà ancora molto c'è da fare sul piano della prevenzione e della pianificazione territoriale, attualmente considerabili come le uniche strade re-

almente percorribili in funzione della salvaguardia del patrimonio non solo storico, artistico e monumentale, ma anche residenziale e commerciale; senza ovviamente dimenticare il valore inestimabile delle vite umane.

Purtroppo, come sempre accade al manifestarsi di eventi come il sisma che il 6 aprile 2009 ha colpito il territorio aquilano, si assiste da un lato a fenomenologie oramai attese e dall'altro allo sviluppo di una retorica mediatica affatto costruttiva.

Di fatti, analizzando gli effetti del sisma dell'Aquila si scopre innanzitutto che tutti i siti realizzati su terreni soffici, come il paese di Onna costruito su depositi lacustri, hanno palesato l'amplificazione sismica, tanto da risultare seriamente danneggiati se non praticamente rasi al suolo.

Ovviamente gli effetti del sisma non si sono limitati ai soli danneggiamenti del patrimonio edilizio, dal momento che mentre alcune sorgenti hanno subito un incremento dapprima repentino e poi stazionario della portata, altre sono risultate completamente prosciugate; nel contempo nei pressi degli alvei di alcuni fiumi sono comparsi i classici vulcanelli, i quali, se per i geologi sono chiaro indice dell'avvenuta liquefazione delle sabbie sotto sollecitazione ciclica e/o dinamica, per l'opinione pubblica sono apparsi come una collera divina.

In definitiva, occorrerebbe che i geologi non fossero considerati come l'ultimo anello di un processo produttivo, laddove la loro funzione è ricondotta ad una mera imposizione normativa senza alcuna capacità prescrittiva ma solo consultiva, ma sarebbe auspicabile che assumessero una posizione preminente in un paese ad elevata vulnerabilità geologica; in realtà già le stesse Scienze Geologiche appaiono come la Cenerentola tra le facoltà tecniche e scientifiche.

Resta da rispondere alla domanda contenuta nel titolo: quale novità in campo geologico? Nessuna, davvero nessuna.