

[colloqui amatriciani]

Cosa abbiamo sotto i piedi? L'importanza di una super-microzonazione 3D

Amatrice, sabato 29 luglio 2017

Andrea Tertulliani e Giuliano Milana

{Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia}



Figura 1 - La faglia di Sant'Andrea in California

Andrea Tertulliani ha innanzitutto illustrato il concetto di faglia, mostrando la più famosa del mondo, quella di San Andreas (Figura 1), che taglia tutta la California, e probabilmente separerà la California meridionale dal resto del Continente.

Le faglie si trovano in tutto il mondo, e contribuiscono alla modellazione del paesaggio, producendo deformazioni evidenti nel corso del tempo. La fascia gialla in Figura 2 evidenzia l'area appenninica, caratterizzata da faglie che hanno un comportamento *distensivo*. L'Appennino, infatti, è sottoposto a una progressiva distensione est-ovest.

Recenti ricerche hanno evidenziato faglie attive nell'Appennino centrale come, ad esempio, quella del Vettore, sopra Castelluccio, e quella dei Monti della Laga.

Alcune faglie attive sono riconoscibili sul terreno attraverso una traccia morfologica (*scarpata di faglia*), ma in alcuni casi non hanno espressioni superficiali, quindi non le riconosciamo fino a quando non si evidenziano tramite fenomeni sismici.

La faglia del Vettore, nel corso del tempo, ha permesso la formazione del bacino di Castelluccio; altrettanto è avvenuto con altre faglie con la creazione di bacini in tutta l'area appenninica.

Dopo il sisma del 24 agosto 2016 la faglia del Vettore è scivolata di circa 25 centimetri; successivamente, dopo il terremoto del 30 ottobre, che è stato molto più intenso, il movimento nello stesso punto è stato di quasi 10 volte più ampio, raggiungendo oltre i 2 metri, come si vede in Figura 3. Questo del Vettore è il tipico caso di evidenza di una faglia attiva.



Figura 3 - La faglia del Vettore dopo il sisma del 30 ottobre 2016

Conoscere il comportamento delle faglie ci permette di avere una maggiore conoscenza del territorio in chiave sismica, e insieme ad altri elementi, di compilare le *mappe di pericolosità sismica*, con le quali si cerca di caratterizzare sismicamente il territorio.

Un altro elemento di conoscenza del territorio è la sua *sismicità*, ovvero quanti terremoti sono avvenuti recentemente o nel lontano passato.

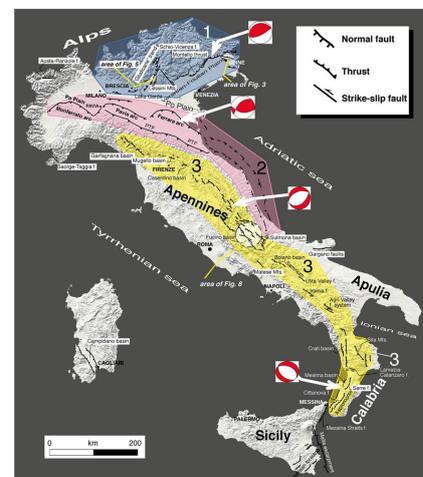


Figura 2 - da Galadini et al., 2012

La memoria storica dei passati eventi, quindi, è un altro degli ingredienti per determinare la pericolosità sismica di una regione. Ad esempio il terremoto del Molise del 2002 sorprese la comunità sismologica perché, tra le altre cose, non erano stati descritti in epoca storica eventi sismici simili in quell'area.

La conoscenza della *storia sismica* passa attraverso l'analisi di documenti antichi che descrivono gli eventi del passato come, per il nostro territorio, quello del 1639, riportato nella relazione di Carlo Tiberi sugli effetti nell'area di Accumoli ed Amatrice (Figura 4). Da questi documenti gli studiosi cercano di ottenere quelle informazioni che possono consentire una quantificazione degli effetti dei terremoti del passato, per capire quanto siano stati forti, quanto siano stati estesi e dove abbiano provocato più o meno danni. Una cosa comunque è certa: dove c'è stato un terremoto in passato, ce ne saranno altri.

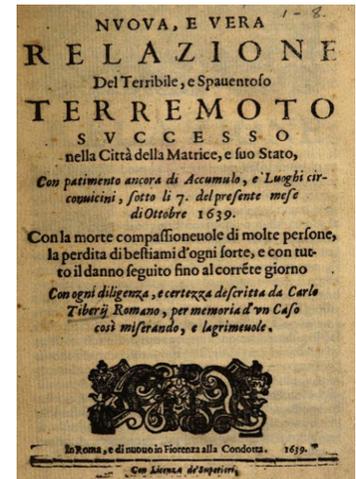


Figura 4 – La relazione del Tiberi sul terremoto del 1639

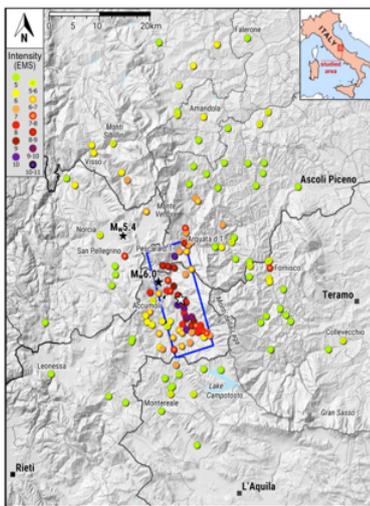


Figura 5 - intensità macrosismica del terremoto del 24 agosto 2016

I dati raccolti e analizzati vengono tradotti in valori di *intensità macrosismica* o intensità della *scala Mercalli*, che va dal I al XII grado, e che fornisce la sintesi dello scenario degli effetti.

Per l'evento del 24 agosto sono stati evidenziati i valori d'intensità della scala Mercalli mostrati in Figura 5: i puntini di colore viola scuro indicano una intensità del X grado per Amatrice, addirittura incrementato al grado XI dopo l'evento del 30 ottobre.

Il campo macrosismico del terremoto del 1639, paragonato con quello del 24 agosto 2016, indica che i due terremoti si assomigliano. Probabilmente quello del 24 agosto è stato più forte, ma non sappiamo se la faglia interessata sia stata la stessa nei due eventi. Il sisma del 1703 ha avuto un comportamento simile a quello del 2016-2017, interessando un'area parzialmente sovrapponibile a quella interessata dal sisma attuale (Figura 6).

Una importante differenza è che all'epoca fu pesantemente coinvolta anche L'Aquila.

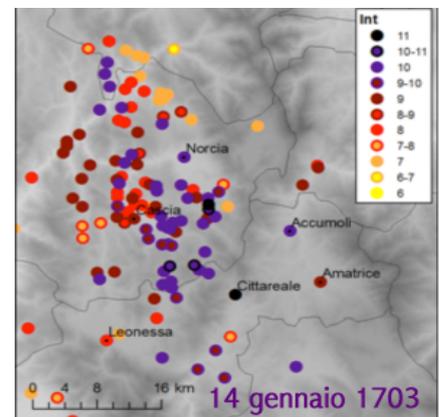
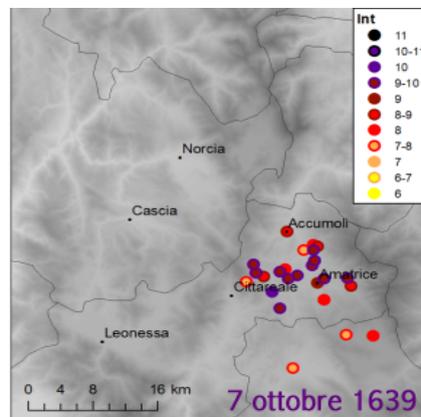
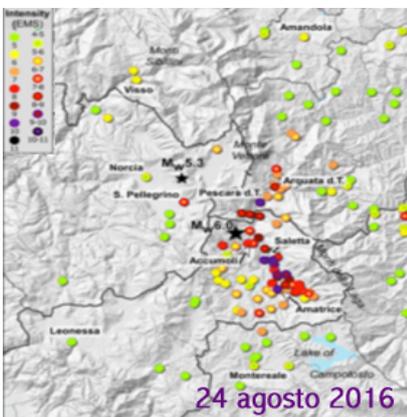


Figura 6 - Confronto dei campi macrosismici per i terremoti del 2016, del 1639 e del 1703

La *mappa di pericolosità* del territorio è di dominio pubblico ed evolve nel tempo: man mano che avvengono nuovi eventi sismici, la conoscenza di questi ultimi fornisce nuovi elementi utili all'aggiornamento delle mappe di pericolosità.

La conoscenza della pericolosità del territorio è importantissima soprattutto per gestire attività di pianificazione, più che di previsione. Ad esempio, anche se conosciamo dove sono collocate le

faglie attive, anche se non tutte, non siamo in grado di prevedere, qualora una faglia si attiverà, con quali modalità lo farà. In ogni caso sappiamo che quel territorio è potenzialmente a rischio terremoto, e siamo in grado di prendere tutte le precauzioni necessarie dal punto di vista della pianificazione urbana.

Per quanto riguarda la conoscenza del fenomeno terremoto siamo purtroppo limitati dal fatto che il fenomeno avviene molto in profondità dove non abbiamo possibilità di collocare strumenti di osservazione. Si lavora quindi sulla base di modelli fisico-matematici, condivisi dal mondo scientifico, che vengono comunque continuamente aggiornati e rivisti alla luce dei nuovi eventi sismici osservati.

Tutti gli elementi macroscopici finora descritti sono, insieme ad altri ancora, utili per la *microzonazione di livello 1*.

Giuliano Milana entra nel dettaglio della microzonazione illustrando le due principali categorie di onde sismiche, quelle di volume e quelle superficiali.

Le *onde di volume* (Figura 8) si dividono in *onde P*, o *onde di compressione*, e *onde S*, o *onde di taglio*.

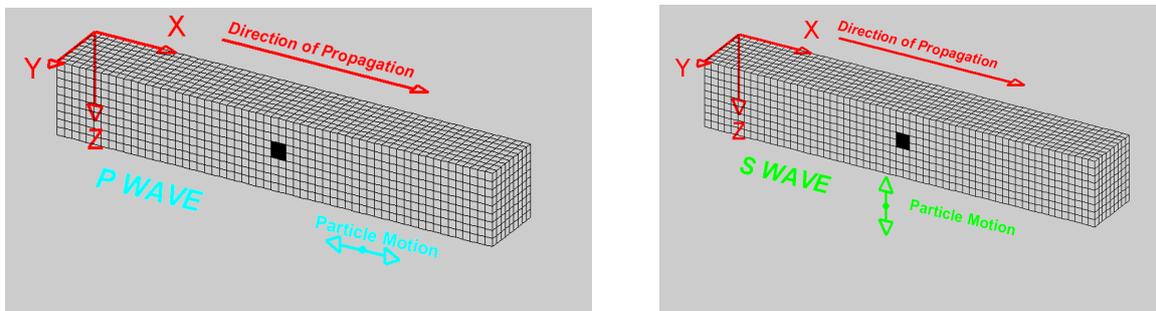


Figura 8 - Propagazione delle onde di volume

Le onde P sono quelle che viaggiano più velocemente, con un moto compressivo del terreno, e producono un movimento prevalentemente verticale (percepito come *sussultorio*).

Le onde S sono più lente, quindi arrivano dopo le P e producono un movimento perpendicolare alla direzione del moto principalmente nel piano orizzontale (percepito come *ondulatorio*). Sono queste ultime che, quando arrivano sotto gli edifici, tendono a tagliare i pilastri e provocano gravi danni.

In Giappone, dove i terremoti sono molto più intensi che da noi, e si propagano a grande distanza, le onde P, quelle che arrivano prima, vengono utilizzate come sistemi di allerta veloce: se viene rilevata una onda P di forte intensità vengono disattivate le linee dei treni veloci, con anticipo di alcuni secondi prima dell'arrivo delle successive e più distruttive onde S.

Ma se siamo molto vicini alla faglia, come avviene nel caso di Amatrice, e dell'Italia in generale, le due onde arrivano a distanza molto breve (anche di 1 – 2 secondi), quindi i due moti, sussultorio e ondulatorio, arrivano insieme.

Le *onde superficiali* viaggiano invece sulla superficie terrestre, e hanno impatto poco significativo se propagate nella roccia, e più forte in terreni molli. A Città del Messico, ad esempio, i danni provocati dal terremoto del 1985 con epicentro a 400 km sono stati devastanti proprio a causa delle onde superficiali amplificate dai terreni soffici di origine lacustre su cui è edificata la città.

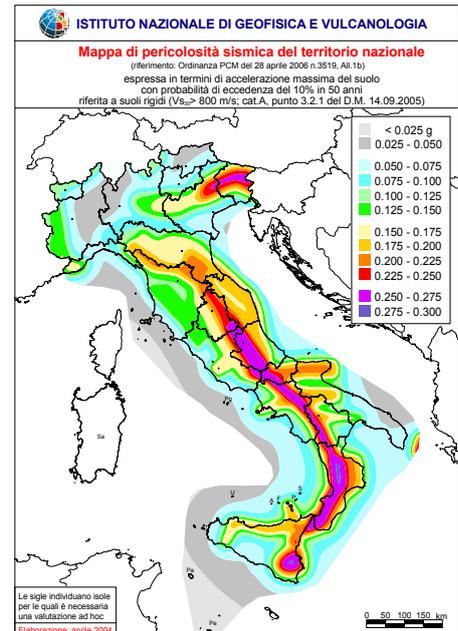


Figura 7 - Mappa di pericolosità sismica del territorio italiano

Le onde superficiali arrivano più tardi di quelle di volume, possono compiere lunghe distanze prima di estinguersi, dare scuotimenti molto prolungati nel tempo e restare intrappolate nei bacini, come nel tipico esempio di Città del Messico. La componente con oscillazione orizzontale prevale quanto più sono soffici i terreni. Generalmente, se il terreno è rigido, i danni provocati dal sisma si attenuano all'aumentare della distanza dall'epicentro, ma su terreni molli avremo danni molto gravi anche a grandi distanze (Figura 9).

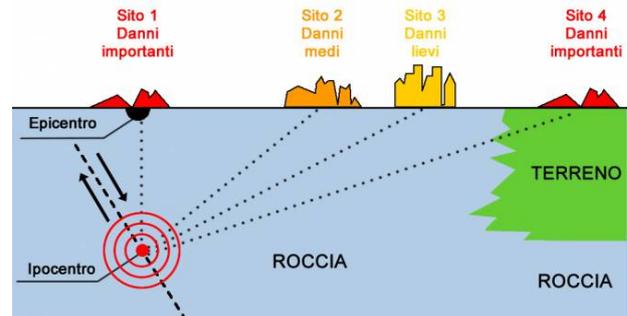


Figura 9 - Importanza della composizione del terreno sottostante negli effetti di un sisma in superficie

La Rete Accelerometrica Nazionale (RAN) ha fornito le accelerazioni rilevate durante i terremoti del 2016 dalle stazioni di Amatrice e Norcia (Figura 10). Il 24 agosto ad Amatrice si è avuto un impulso d'intensità quasi pari all'accelerazione di gravità. Il 30 ottobre Amatrice era più lontana dall'epicentro ma le accelerazioni massime sono state comunque paragonabili con quelle avute a Norcia in prossimità dell'epicentro, confermando che le caratteristiche locali svolgono un ruolo molto importante.

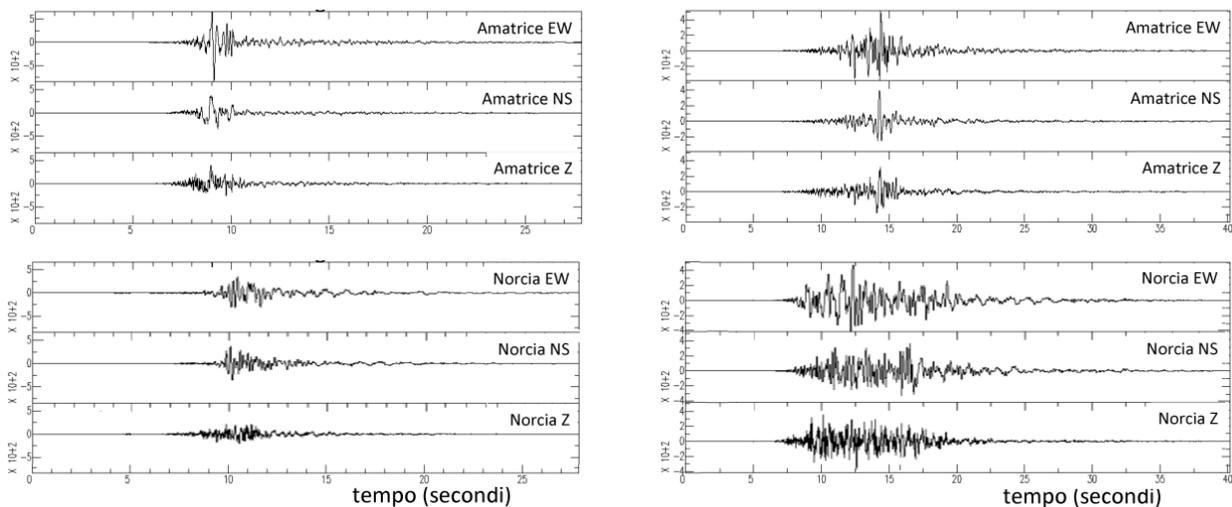


Figura 10 - Sinistra: accelerazioni misurate nel terremoto del 24 agosto 2016 a Amatrice (8.5 km dall'epicentro) e Norcia (15 km). Destra: accelerazioni misurate nel terremoto del 30 ottobre 2016 a Amatrice (26 km dall'epicentro) e Norcia (5 km)

Vista l'importanza degli *effetti di sito* è necessario investigare l'influenza degli strati superficiali di terreno sul moto atteso. In questo contesto si inseriscono gli studi di *microzonazione sismica*.

Si individuano *tre livelli di analisi*, via via più dettagliati.

Livello 1: è un livello preparatorio alla vera microzonazione, e consiste nella raccolta dei dati preesistenti, mediante analisi della cartografia esistente, eventualmente rielaborati con l'ausilio di qualche piccolo rilievo, al fine di classificare il territorio in microzone almeno qualitativamente omogenee; il risultato del livello 1 è la *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)*.

La carta delle MOPS di Amatrice e dintorni è mostrata in Figura 12. Ad eccezione di una zona stabile (in celeste), per il resto la gran parte del territorio comprende un'area costituita da *flysch*, una roccia sedimentaria costituita da alternanze cicliche di strati di materiali di natura diversa, con rocce tenere che possono avere fenomeni di amplificazione e zone con depositi di conglomerati

che formano grossi terrazzi piatti su cui sono costruiti i paesi). La faglia di monte Gorzano è quella che ha generato il bacino di Amatrice.

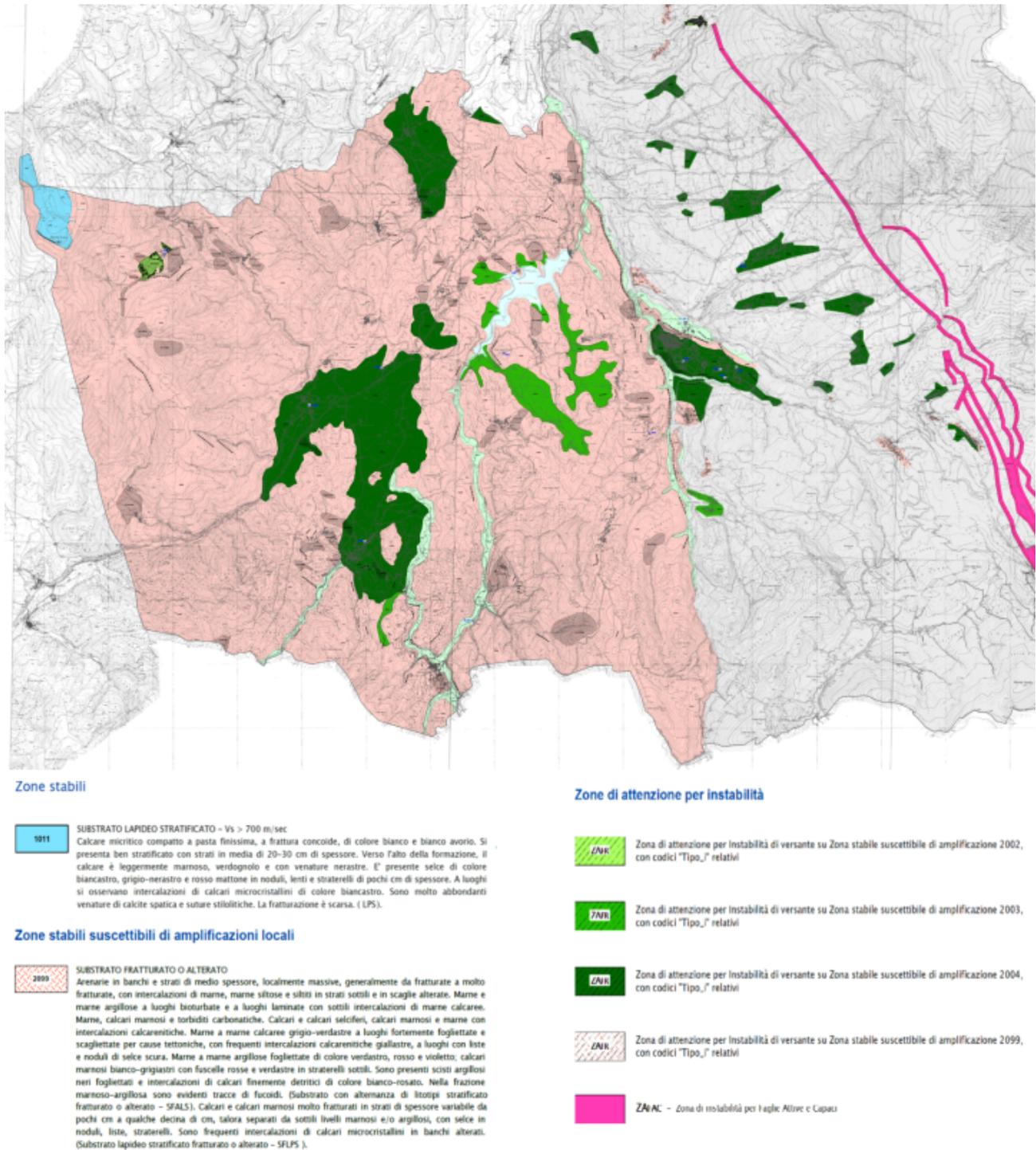


Figura 12 - MOPS del territorio di Amatrice

Livello 2: in questo livello vengono condotti degli approfondimenti conoscitivi per le incertezze individuate nel livello 1 e viene associato alle microzone omogenee l'elemento *fattore di amplificazione (Fa)*, con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche). Il risultato di questo livello di approfondimento è la *Carta di microzonazione sismica*.

Livello 3: il livello di maggiore approfondimento che viene realizzato nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nei casi di situazioni geologiche e geotecniche complesse. I risultati sono di tipo quantitativo. Il prodotto di questo livello è la *Carta di microzonazione sismica con approfondimenti su tematiche o aree particolari*.

La microzonazione sismica di livello 3, i cui criteri di indirizzo sono stati diffusi nel 2008 dal Dipartimento della Protezione Civile, ha come obiettivi identificare e delimitare aree con diverso *hazard sismico* (microzone di dimensioni superiori ad alcuni ettari, comunque più estese rispetto ai tipici isolati urbani), e assegnare una risposta sismica a ognuna delle aree fornendo elementi conoscitivi utili per migliorare la programmazione territoriale e la progettazione, in modo da rendere la progettazione degli edifici compatibile con i livelli di rischio attesi.

La microzonazione di livello 3 è utile per pianificare il territorio e decidere se e dove spostare un insediamento individuando un posto più sicuro. Ad esempio, dopo il terremoto della Marsica del 1915, Avezzano fu ricostruita più a valle, dove però il terreno è molle e le abitazioni sono in una posizione potenzialmente più pericolosa; avendo dati di microzonazione sismica si può invece pianificare individuando le aree più adeguate.

Nella microzonazione vengono individuate:

- a. zone stabili, dove non ci aspettiamo amplificazioni del moto sismico;
- b. zone stabili ma suscettibili di amplificazione;
- c. zone instabili soggette a fenomeni di scivolamenti, liquefazione o frane.

Nelle zone instabili, qualora non siano presenti costruzioni, non andrà in futuro costruito e qualora invece esistano già centri abitati, come ad esempio nel caso di Pescara del Tronto, bisognerà pensare a una possibile delocalizzazione.

Recentemente è stata realizzata e pubblicata sul sito della Regione Lazio la carta geologico-tecnica del Comune di Amatrice limitatamente alle aree costruite, mostrata in Figura 13.

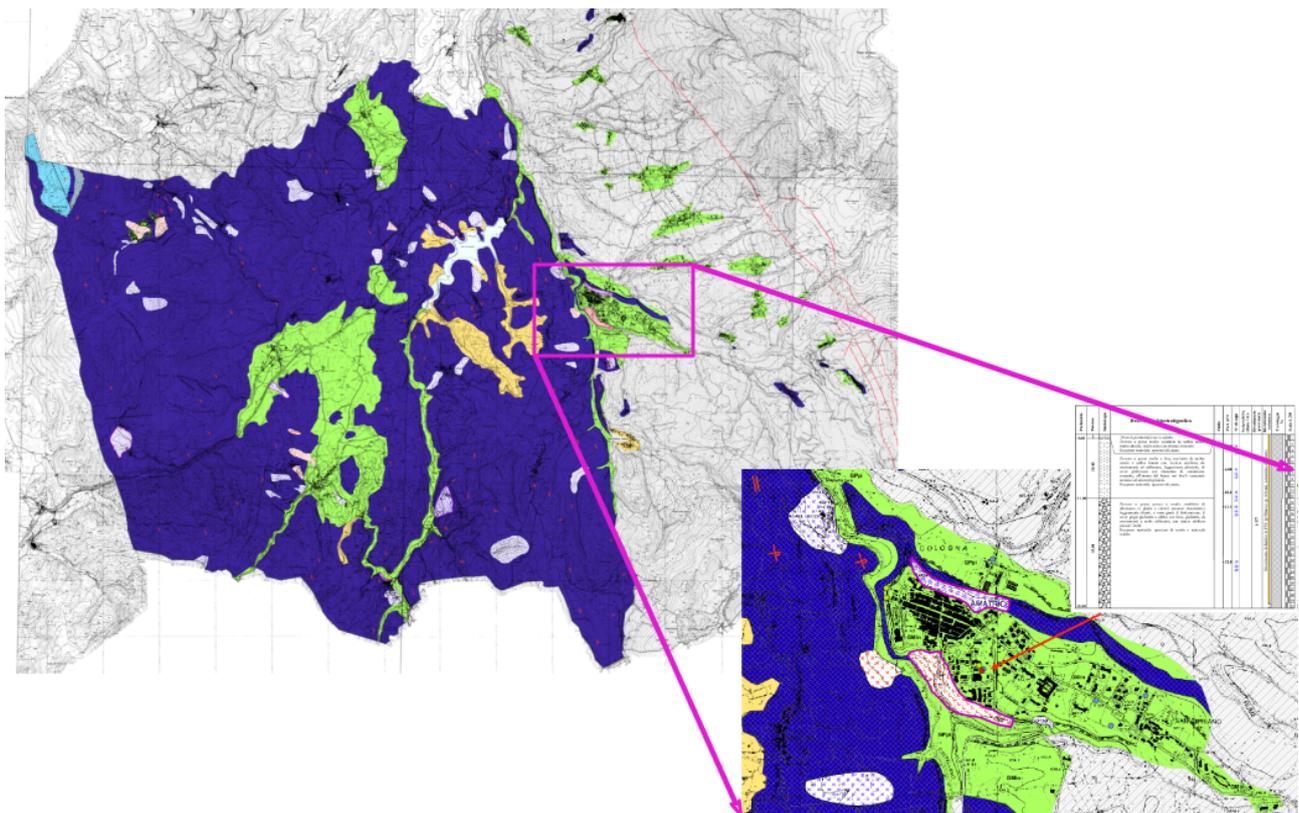


Figura 13 - Carta geologico-tecnica della microzonazione di livello 1 per il territorio di Amatrice

Della microzonazione di livello 3 si parla nella ordinanza commissariale di settembre 2016, e lo studio è partito il 12 settembre per Amatrice e per le 18 frazioni che hanno avuto danni maggiori. I risultati verranno consegnati alla metà di settembre 2017.

In questa campagna di misure sono stati fatti dei sondaggi a 30 metri di profondità. Questa profondità potrebbe però non essere sempre sufficiente ed è quindi stata portata a 40-50 metri.

La microzonazione di livello 3, a meno che non ci si trovi in una zona instabile, dove non si potrà più ricostruire, ci dirà invece quanto cemento e ferro in più andrà utilizzato per costruire case in sicurezza.

Domanda: cosa avverrà in zona rossa, sarà possibile ricostruire?

Risposta: non c'è relazione tra zone rosse e zone instabili, anche nella zona rossa con grossi danni, dove non sono presenti zone con frane sarà possibile ricostruire. Anche all'interno di una Frazione, la mappa di zonazione di terzo livello farà vedere le zone instabili, e permetterà di avere indicazioni sul come sarà possibile intervenire. Probabilmente Pescara del Tronto dovrà essere delocalizzata ma casi come questo saranno casi ragionevolmente molto limitati. Bisogna comunque attendere i risultati di settembre.

Domanda: come mai a distanza di poche centinaia di metri ci siano stati danni diversi ad esempio Colli?

Risposta: il *flysch* della Laga presenta una costituzione molto variabile e quindi a distanza molto ravvicinata possono essere presenti situazioni diverse.

Domanda: che prove vengono fatte per la Microzonazione di livello 3?

Risposta: la prima prova consiste nel mettere dei sismografi per misurare le vibrazioni ambientali. 60 punti diversi di Amatrice sono stati misurati per 2 – 3 ore. Se osserviamo un moto prevalentemente orizzontale possiamo immaginare che il terreno sia soffice, la frequenza della vibrazione indica la profondità del terreno. Vicino alla Chiesa di Sant'Agostino e in altri luoghi di Amatrice sono state installate 7 stazioni sismiche che hanno registrato il terremoto del 30 ottobre. Vengono fatte poi delle perforazioni, con carotaggi fino a 30 – 50 metri e nel foro viene calato un sismografo. Si batte in superficie e si misurano le velocità di propagazione nel terreno stimando la risposta del terreno.

Domanda: le analisi sono state fatte per tutte le Frazioni di Amatrice?

Risposta: sono in corso analisi solo su 15 frazioni, oltre ad Amatrice centro. Dopo il 24 agosto le analisi si sono concentrate sui 6 comuni maggiormente colpiti dal sisma. Dopo il sisma del 30 ottobre e l'allargamento a oltre 130 comuni gli studi di microzonazione di livello 3 sono stati finanziati con un budget ripartito su tutti i comuni del cratere. Il lavoro programmato nel comune di Amatrice è stato concentrato sul centro di Amatrice e solo su alcune delle frazioni maggiormente danneggiate. Lo studio è in corso e sarà consegnato a settembre. Sul sito della regione Lazio possiamo trovare le carte di microzonazione pubblicate finora.

Sarebbe auspicabile avere maggiori fondi per estendere questi studi anche alle altre frazioni.

Domanda: La frazione di Villa San Lorenzo e Rio è stata sottoposta a microzonazione di livello 3 ?

Risposta: Sì, avendo avuto danni importanti.

[Le frazioni in cui effettuare gli studi di microzonazione sono state individuate con le determinazioni del Comune di Amatrice n. 35 e 36 del 9/6/2017, e sono Capricchia, Cascello, Cornillo Vecchio, Cossito, Moletano, Retrosi, Rocchetta, Saletta, San Capone, San Lorenzo e Flaviano/Rio, Sant'Angelo, Scai, Sommati, Torrita e Voceto].

Domanda: ho visto delle crepe sul terreno vicino alla frazione di Cornillo Nuovo; devo avvisare qualcuno?

Risposta: qualora siano osservati dai cittadini dei fenomeni particolari, tipo fessure nel terreno, si suggerisce di avvisare il Comune di Amatrice che informerà il geologo incaricato.

Domanda: come sarà possibile ricostruire le nostre case nel rispetto della conservazione del borgo e della sicurezza?

Risposta: si porta l'esempio della cittadina di Venzone ricostruita dopo il terremoto del 1976 con tecniche rispettose della vecchia città, tanto che è stata recentemente eletta uno dei borghi più belli d'Italia e recuperata, come anche Gemona. A livello strutturale gli ingegneri dal punto di vista tecnico e gli architetti potranno dare indicazioni utili, basta volerlo fare.



Andrea Tertulliani è responsabile dell'organizzazione delle campagne di macrosismica per l'INGV. Ha coordinato l'attività di rilievi macrosismici post terremoto dell'Aquila, e fa parte dell'unità di crisi dell'INGV per la sequenza sismica in Centro Italia del 24 agosto 2016. È curatore e consulente scientifico di mostre ed eventi di formazione e divulgazione scientifica e trasmissioni televisive.



Giuliano Milana svolge attività di sismologo specializzato nell'analisi di dati provenienti da stazioni sismiche per la valutazione degli effetti di amplificazione sismica locale, ed è uno dei massimi esperti italiani di microzonazione. Fa parte del gruppo di analisi dei dati provenienti dal Cratere per l'elaborazione della microzonazione 3D propedeutica alla ricostruzione dei territori colpiti dal sisma del 24 agosto 2016, che per disposizione del Commissario straordinario Vasco Errani è affidata al CNR e appunto all'INGV.

[colloqui amatriciani]

UNA SERIE DI INCONTRI PUBBLICI CON E PER I CITTADINI
che vogliono servire da strumento di confronto, informazione e discussione
su temi legati al terremoto, alla gestione dell'emergenza e alla ricostruzione

Martedì 11 luglio 2017 ore 10.30

La ricostruzione muove i primi passi: aiutiamola a non inciampare
NICOLA ZINGARETTI, presidente della Regione Lazio

Venerdì 14 luglio 2017 ore 16.30

Amatrice nella storia.
Un bellissimo racconto per non dimenticare
ALESSANDRO VISCOGLIOSI, storico dell'Architettura, Sapienza Università di Roma

Sabato 22 luglio 2017 ore 10.30

Che aria tira dopo il terremoto?
Prevenzione e analisi del rischio ambientale nel Cratere
MASSIMO ANDRETTA, docente di Scienze Ambientali, Università di Bologna

Sabato 29 luglio 2017 ore 10.30

Cosa abbiamo sotto i piedi?
L'importanza di una super-microzonazione 3D
ANDREA TERTULLIANI e GIULIANO MILANA, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Venerdì 4 agosto 2017 ore 16.30

La fortuna di vivere in un Parco Nazionale: la Natura come risorsa
DOMENICO NICOLETTI, direttore del Parco Nazionale del Gran Sasso
e Monti della Laga

Gli incontri avranno luogo presso la Tenda dello Scoiattolo - Località Ponte a Tre Occhi - AMATRICE