

COMITATO 'TerraNostra-2016'

**AZIONI URGENTI
PROPEDEUTICHE ALLA
RICOSTRUZIONE**



**T E R R E M O T I in I T A L I A
C E N T R A L E 2 0 1 6**

(24 agosto- 26 ottobre-30 ottobre 2016)

Autori

D'OFFIZI Sergio (Geologo,ex-dirigente ENEL, già Docente di Sismotettonica università di Perugia e Roma 3)

DURANTE Raul (Ingegnere, ex-dipendente ENEA, specialista in Dinamica delle Strutture)

ROSSI Sabatino (Ingegnere Strutturista, libero Professionista)

A) SOMMARIO

I disastrosi terremoti della sequenza di agosto-ottobre 2016 in Italia centrale ripropongono domande e argomenti già dibattuti in occasione di precedenti eventi sismici che hanno colpito il nostro Paese in questi decenni. Si va dalla prevedibilità o meno dei terremoti, alla necessità di un'azione di prevenzione che dovrebbe riguardare gran parte del territorio nazionale e infine alla ricostruzione dei paesi colpiti. Il presente documento, redatto per conto del Comitato "Terra Nostra" di Accumoli, pone dei punti fermi sulla prevedibilità dei terremoti, sull'importanza delle conoscenze attuali che ci consentono di sapere dove e con quale forza essi colpiranno anche senza sapere esattamente in quale giorno e in quale ora lo faranno, sulle indagini e gli studi urgenti da avviare per comprendere compiutamente le cause dei terremoti avutisi durante la recente sequenza sismica e sull'importanza fondamentale di arrivare a definire sia un modello strutturale e cinematico che sismotettonico delle faglie da cui sono stati generati, per poter definire il futuro massimo terremoto potenziale che potrà essere da queste rilasciato in futuro. Si sottolinea anche l'importanza fondamentale di ricostruire le situazioni peculiari del territorio con un'accurata microzonazione dello stesso che consenta al progettista di adottare l'input sismico più sito-specifico atto a definire i moti sismici che il terremoto potenziale suddetto potrà dare nei vari luoghi da ricostruire in dipendenza della distanza dall'ipocentro, delle caratteristiche elastiche delle rocce che attraverserà per arrivare al sito in esame e delle condizioni peculiari morfologiche, stratigrafiche e petrografiche del sito stesso sul quale si sta per adeguare sismicamente o riedificare, l'abitazione, l'edificio o l'opera previsti.

B) PREMESSA

Dopo i terribili giorni della distruzione provocata dai vari terremoti verificatisi dal 24 agosto alla fine di ottobre 2016 e che hanno colpito numerose località dell'Italia centrale (Accumoli, Amatrice, Arquata, Cascia, Castelsantangelo sul Nera, Norcia, Visso, Visso, Ussita...), è ora il momento di ricostruire le abitazioni, gli edifici pubblici e di culto, le infrastrutture, le aziende e porre decisamente mano al recupero del patrimonio culturale e artistico duramente toccati dagli ultimi eventi sismici. Ma per farlo è indispensabile sapere da quale terremoto futuro vorremo difendere le nuove costruzioni e fino a quale livello di difesa le dovremo portare; è un dato fondamentale per i progettisti che peraltro si trovano nella situazione di non poter applicare, se non si apportassero gli opportuni adeguamenti, la normativa sismica esistente che gli eventi di agosto e ottobre hanno reso non conservativa, dato che in diversi casi le accelerazioni misurate sul terreno hanno superato anche di molto quelle di riferimento stabilite dalla normativa stessa.

Per fornire ai progettisti le informazioni necessarie sui moti sismici attesi è quindi necessario ed urgente avviare studi ed indagini che non potranno che essere paragonabili per impostazione a quelli utilizzati per valutare l'input sismico per la progettazione di grossi impianti di grande valore economico/strategico o ad alto rischio. Questo perché riteniamo che la sicurezza delle popolazioni non abbia prezzo e quindi non vale certamente meno di detti impianti, per non parlare del valore delle attività produttive e del patrimonio culturale e artistico.

Il procedimento da seguire per raggiungere tale scopo andrà articolato nelle 5 seguenti **FASI PRINCIPALI**:

- 1) Rimuovere una sorta di fatalismo che si intuisce dalla risposta continuamente ripetuta, quasi per paura di non essere convincenti, che viene data in ogni occasione da Protezione Civile e INGV: TERREMOTI NON SI POSSONO PREVEDERE. Vedremo in seguito qual è la risposta che sarebbe più corretto dare e, soprattutto, qual è quella che può essere maggiormente d'aiuto per chi vive in zone sismiche.
- 2) Fissare, anche con l'aiuto della comunità scientifica, un **MODELLO GEODINAMICO** o, più correttamente, **CINEMATICO** di riferimento dell'Italia, compresa l'intera area circum-Mediterranea

nella quale ricade il nostro Paese, che dia una risposta organica e complessivamente coerente, alle strutture crostali presenti, alle deformazioni in atto, agli spostamenti orizzontali e verticali misurati dalle reti GPS installate ed alla sismicità nota nell'area, sia essa storica che strumentale.

- 3) Ricostruire, per una zona significativa colpita dai recenti terremoti, **UN MODELLO SISMOTETTONICO COMPLESSIVO IN 3D**, aiutandosi con più sezioni geologiche mediante le quali, mettendo organicamente insieme tutte le informazioni geologiche, geofisiche e sismologiche rilevanti esistenti e/o appositamente raccolte, poter dare finalmente completa e provata spiegazione sia delle faglie o fratture (o sistemi di esse) che hanno generato le scosse principali e le repliche, sia di quelle potenzialmente in grado di generare futuri terremoti distruttivi.
- 4) Sulla base delle ricostruzioni cinematiche e sismotettoniche effettuate nelle Fasi 2) e 3) nonché dei dati sismicità della zona ottenibili dal Catalogo dei Terremoti INGV, siano essi storici che strumentali, definire il **MASSIMO TERREMOTO POTENZIALE** di riferimento per l'area con il patrimonio edificativo da ricostruire e, unitamente a questo, delimitare accuratamente in essa le microzone a comportamento sismico anomalo (detta attività di **MICROZONAZIONE**): zone ristrette, cioè, dove gli scuotimenti indotti in superficie dal terremoto atteso potrebbero essere amplificati sia per motivi topografici che per la presenza di depositi con terreno soffice di spessore tale da far entrare in risonanza le onde sismiche generate dal massimo terremoto potenziale sopra detto.
- 5) Definire, infine, per ciascuna delle microzone individuate, sia lo **SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICA** previsto dalla N.T.C. 2008, che i progettisti dovranno poi utilizzare per mettere in atto le contromisure più efficaci per consentire a fabbricati e opere di resistere ai terremoti che verranno, sia se esiste o meno la possibilità che in occasione di un futuro forte terremoto possano aversi fenomeni di fagliazione superficiale o franamenti di interi versanti.

C) FASE 1 – Prevedibilità dei terremoti

Lo scopo principale di questa prima fase è quello innanzitutto di convincere/convincerci che dai terremoti è possibile, oltre che naturalmente doveroso, difendersi ed è importante ed utile studiarli a questo scopo: lo dimostrano le esperienze maturate in California e in Giappone dove si registrano terremoti anche centinaia di volte più grandi dal punto di vista dell'energia rilasciata di quelli che abbiamo in Italia ma con vittime e danni sempre minori. Dire che i terremoti non si possono prevedere non predispone bene e non è neanche del tutto vero.

Non si comprende perché usare un'affermazione così netta come "I TERREMOTI NON SI POSSONO PREVEDERE" quando ormai sappiamo benissimo che quello che ad oggi non si riesce veramente a prevedere è in quale giorno e a quale ora potrà aversi un terremoto in una certa località, mentre possiamo sapere con ottima approssimazione dove, con quale potenza si potrà scatenare e con quali caratteristiche fisiche si potrà presentare.

Ad esempio, dire che ad Amatrice (o negli altri luoghi colpiti da terremoti in Italia negli ultimi 40 anni: dal Friuli nel 1976 all'Aquila nel 2009, passando per l'Irpinia nel 1980, Umbria 1997, S. Giuliano nel 2002...) non si poteva prevedere il rilascio di un terremoto distruttivo non è facile da comprendere se si esamina la Fig. 1) seguente (tratta dal sito dell'INGV), nella quale i ricercatori dell'Istituto hanno riportato tutti i forti terremoti storici registrati in una vasta area intorno ad Amatrice e Norcia che vanno dal terremoto ad Ovest di Camerino del 1279 (angolo NO della figura), a quello dell'Aquila del 2009 (estremità SE della stessa figura). Terremoti che, come si vede, stanno alle due estremità di una lunga fascia abbastanza netta di eventi sismici distruttivi avutisi negli ultimi 700 anni e quindi rappresentanti un lasso di tempo abbastanza significativo, se lo rapportiamo alla durata della vita umana.

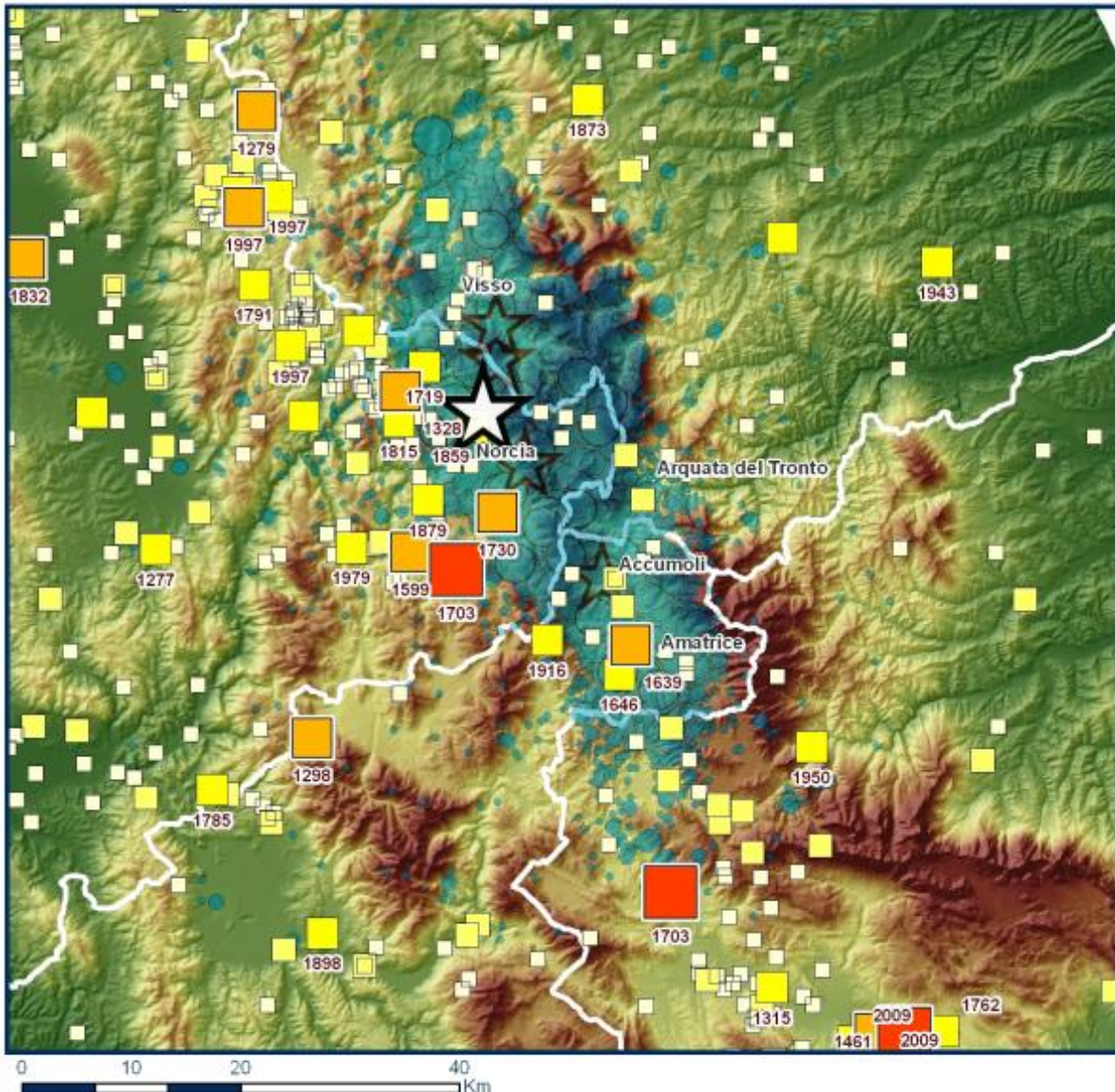


Fig. 1) I terremoti storici estratti dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI 15) nell'area della sequenza (la stella bianca è l'evento del 30 ottobre, M 6.5) (Fonte: INGV).

Relativamente a questa fascia, pur avendo a disposizione tutti i dati sismici di Fig. 1, certo nessuno avrebbe potuto prevedere il giorno e l'ora di occorrenza dei tre terremoti distruttivi della sequenza 24 agosto-30 ottobre. Non ci sono ancora ad oggi le conoscenze per farlo. Ma potevamo sapere però, con discreta certezza, che prima o poi si sarebbe scatenato un forte terremoto con $M > 6$ perché i fenomeni geologici che sono alla base dei terremoti hanno durate dell'ordine del milione di anni e quindi, dove è stato registrato un evento sismico, sappiamo che ce ne sarà un altro e poi un altro ancora, e così via per migliaia di anni. In questa fascia avremmo anche potuto azzardare qualcosa sul quando si sarebbe potuto verificare un terremoto distruttivo, sia pure con una precisione poco significativa, e quindi che ci sarebbe potuto essere una o due volte in questo secolo. Infatti, dal catalogo, in buona parte redatto da Enel negli anni '80 durante gli studi per la localizzazione di nuovi impianti nucleari in Italia e poi ceduto all'INGV che lo ha completato e reso disponibile a chiunque, si ricava che:

- nel '200 ci sono stati 2 terremoti rispettivamente di M 6.3 e M 5.9;
- nel '300 ce ne sono stati 4 con M compresa tra 6.0 e 6.3;
- nel '400 se ne sono avuti 2 (o forse 3) con M 5.8 e 6.4;
- nel '500 se n'è avuto uno con M 5.8;
- nel '600 uno di M 5.9 (è quello più volte richiamato in questi due mesi del 1639 che distrusse Amatrice e Accumoli);
- nel '700 se ne sono avuti addirittura 9, con M compresa tra 5.8 e 6.9, che hanno provocato migliaia di vittime e danni ingenti in tutta la fascia in figura 1) che va da Camerino all'Aquila (città, questa, che venne temporaneamente abbandonata per l'alto numero di edifici distrutti), con danni diffusi e paesi come Norcia e Accumoli rasi completamente al suolo
- nell'800 ce ne sono stati 2, uno di M 5.9 e uno con M 6.1
- nel '900 se ne registrano 8 con M compresa tra 5.6 e 6.0
- e nel secolo attuale abbiamo Aquila con M 6.3 e la sequenza attuale tra M 5,9 e M 6.5.

Quindi sarebbe bene ed opportuno abituarsi in futuro ad essere più precisi e non dire più che “**i terremoti non si possono prevedere**”, punto, ma sostituire questa affermazione con un più corretto (e utile per le popolazioni) “**i terremoti non si possono predire**”, oppure dirla in maniera completa e cioè che “**ad oggi non si può prevedere la data e l'ora di occorrenza dei terremoti ma si può sapere con buona precisione dove e con quale forza possono colpire il territorio italiano**” e, se ci si pensa bene, non è poco, anzi.

Infatti, a parte la data e l'ora di occorrenza, per il resto possiamo fare ottime previsioni e soprattutto possiamo sapere quanto serve per fare una prevenzione come si deve, che è poi l'unico vero modo per difendersi dai terremoti. Se si potesse riuscire un domani ad avvisare in tempo le popolazioni dell'arrivo di un terremoto, potremmo metterle in salvo ottenendo un grandissimo risultato, ma non basterebbe, perché senza prevenzione non salveremmo anche i patrimoni, abitativo, produttivo e storico-culturale che non possono essere allontanati, se non in minima parte, prima dell'arrivo di un evento distruttivo.

D) FASE 2 - Modellazione cinematica

Sappiamo che i terremoti sono causati da movimenti della crosta terrestre che si inquadrano, per la situazione in cui si colloca il nostro Paese, nel più generale movimento di convergenza tra la placca Africana a sud e la placca “stabile” Euroasiatica a nord.

Ed è quanto dopo ogni terremoto viene ripetuto in risposta alle domande dei giornalisti dagli esperti dell'INGV: la risposta che viene data è condivisibile, ma solo in parte, perché troppo generica e purtroppo sostanzialmente inutile o addirittura fuorviante se non si provvede ad arricchirla con altri elementi indispensabili per capire il fenomeno della sismicità esistente in tutta l'area circum-Mediterranea, nel bel mezzo della quale si inserisce la nostra penisola.

Se si osservano, infatti, i numerosi elementi che possono giocare un ruolo fondamentale nella generazione e distribuzione della sismicità in questa ampia area, se ne ricava che la situazione è alquanto complessa e non spiegabile solo con la spinta dell'Africa, come troppo semplicisticamente viene detto ogni volta (Fig. 2). Andrebbe pertanto definito un modello cinematico di riferimento più articolato e completo nel quale collocare organicamente il movimento di avvicinamento dell'Africa e dell'Arabia al blocco stabile dell'Eurasia, quello di estrusione verso ovest della microplacca turca ed il ruolo non ben chiarito dei “corpi anomali” tra esse interposti. Corpi che per posizione e comportamento reologico potrebbero giocare ruoli non marginali nell'ostacolare i suddetti movimenti o nel ridistribuirne gli stress da questi generati quando si

scontrano; per non parlare dell'eventuale ruolo che essi potrebbero assumere di "motori" locali capaci di guidare altri tipi di cinematismi distinti da quello a tutti noto dell'Africa. Qualcosa di analogo a quanto proposto da uno degli autori del presente documento per spiegare la distribuzione degli stress lungo la ultra nota faglia di S. Andrea in California che, per la presenza di un corpo reologicamente diverso e di grandi dimensioni (il batolite della Sierra Nevada), provoca la generazione lungo la stessa, genericamente definita trascorrente, terremoti distensivi a sud, compressivi al centro e transpressivi a nord (v. D'OFFIZI 1994, Boll. Geof. Teor. Ed Appl. – Vol. XXXVI – N. 141-144). Considerazioni, queste, dalle conseguenze importantissime per la California, perché consente di mettere in dubbio la reale possibilità che, una volta frammentata in tre settori cinematicamente distinti, la faglia di S. Andrea possa essere capace di generare il terremoto mostruoso (il famoso, anche cinematograficamente, Big One) che tutti nella West Coast si attendono. Questo a dimostrazione dell'importanza sopra detta della necessità di definire di un modello cinematico di riferimento per l'area circum-Mediterranea e per il territorio italiano in particolare.

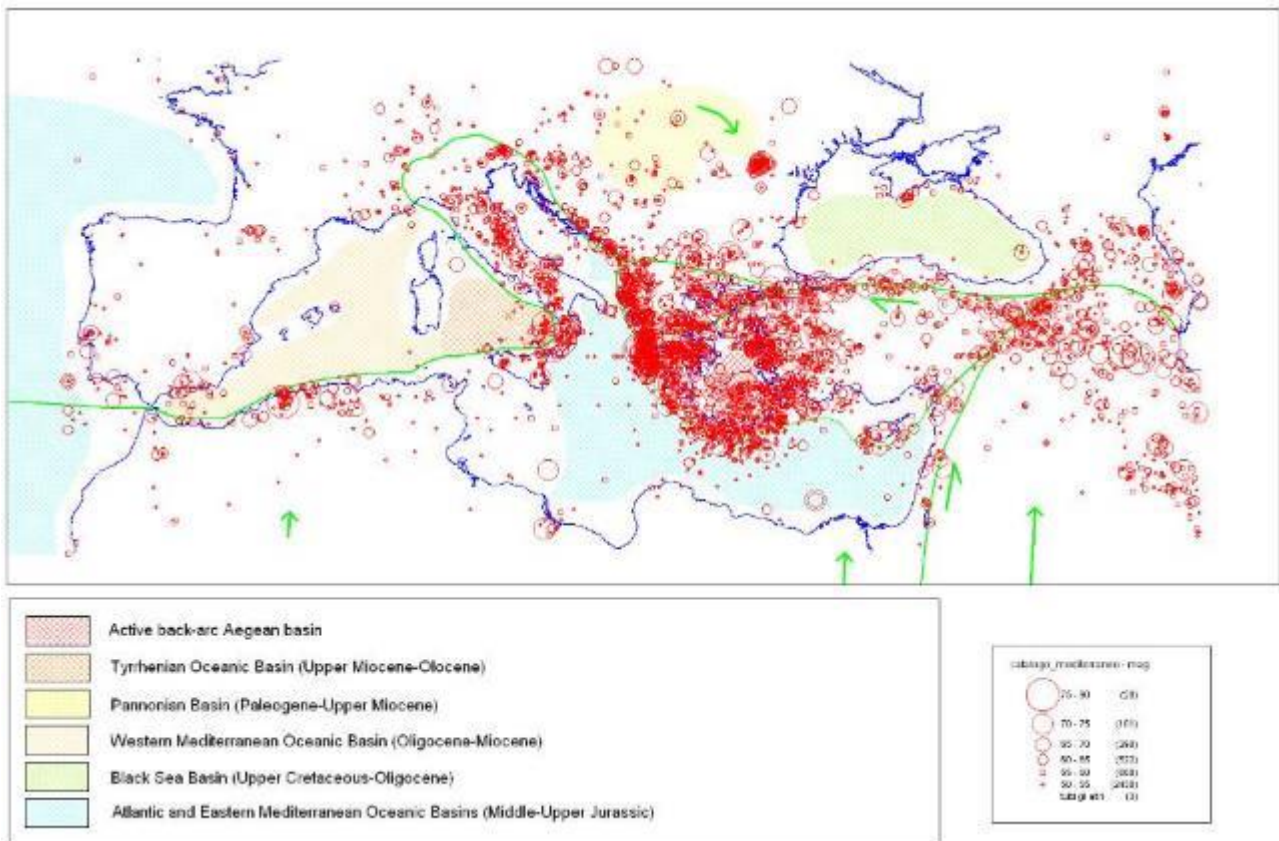


Fig. 2) Cinematica delle placche Eurasiatrica, Africana, Araba e Turca, corpi reologicamente anomali e distribuzione della sismicità storica nell'area circum Mediterranea

Un buon modello cinematico di riferimento, nel quale tenere conto oltre che delle masse in movimento anche di quelle che oppongono resistenza a tale movimento (ad es. i corpi reologicamente anomali delineati in Fig. 2), è indispensabile per arrivare a comprendere (e in futuro, chissà, anche a predire) la sismicità dell'Italia e dell'area tra Norcia e Amatrice che ora ci interessa. Modello che dovrebbe anche essere sottoposto a verifica mediante modellazione matematica a 3D per verificare la correttezza delle ipotesi assunte confrontando le zone di maggior stress calcolate con quelle a più alto rilascio di terremoti effettivamente osservabili.

Presentarne però, uno come quello di Fig. 3), visto in televisione poco dopo l'evento di Amatrice, da parte dell'INGV, è sostanzialmente poco utile per spiegare il movimento distensivo con piano immergente verso il

Tirreno della faglia NNO-SSE di monte Vettoreto, vicino ad Accumoli; faglia che poi viene data dagli esperti dell'INGV come quella sulla quale porre ad una decina di km di profondità l'ipocentro dell'evento. Per di più tale modello di Fig. 3) è poco comprensibile proprio nella zona riguardante l'Adriatico centrale (diciamo all'altezza di S. Benedetto del Tronto, a poca distanza da Arquata del Tronto) nella quale si vede la placca Africana che viene fatta muovere verso il Tirreno ed allo stesso tempo sia verso l'Austria che, come se non bastasse, anche verso la Bosnia! Il movimento della zona adriatica suggerito dal ricercatore dell'INGV che l'ha presentata è difficile da comprendere, anche se ne volessimo fare una microplacca svincolata dalla Placca Africana, perché dovrebbe prevedere una profonda lacerazione infraplacca così da consentire alla stessa microplacca di spingere contemporaneamente in tre direzioni diverse: verso SO per giustificare la catena Appenninica a falde NE vergenti, verso NE per corrugare le Alpi Dinariche SO vergenti e verso N per deformare la catena alpina vera e propria. Cose evidentemente impossibili da farsi contemporaneamente.



Fig. 3) *Schema cinematico dell'avvicinamento della Placca Africana a quella euroasiatica presentato in televisione dal dott. Amato il 25.8.2016 con frecce di movimento incongruenti nell'area adriatica.*

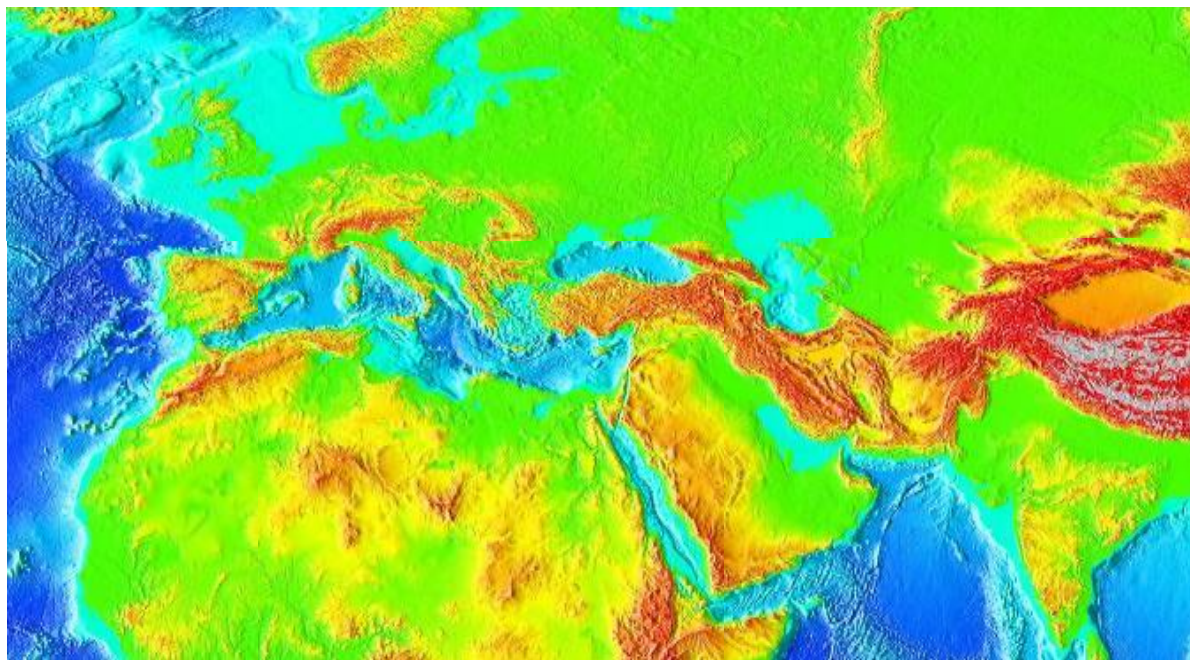


Fig. 4) *Zone corrugate della catena alpino-himalaiana generata dalla collisione del supercontinente Eurasia a N e di Africa/Arabia/India a S. Si nota come la collisione sia sempre più pervasiva andando ad est del M. Nero, mentre sia alquanto frammentata/discontinua e meno pervasiva nella restante porzione occidentale della catena alpino-himalaiana.*

Può sembrare una questione di poco conto ma, se si arriva a dover escludere che una eventuale microplacca adriatica, tra l'altro tutta da definire, possa andare anche verso il Tirreno, bisognerebbe cercare un altro "motore" per spiegare la genesi dell'Appennino a falde vergenti verso l'Adriatico che costituisce la spina dorsale del nostro Paese. Motore che l'attuale presidente dell'INGV, il prof. Carlo Doglioni, ha peraltro già proposto da qualche anno nelle numerose pubblicazioni di elevato valore scientifico da egli presentate anche a livello internazionale.

C'è poi un problema di ben più vasta dimensione a monte: si dà normalmente per assodato il movimento della Placca Africana verso quella Euroasiatica ma non si tiene conto delle seguenti evidenze e tantomeno ne tiene conto il già richiamato modello INGV di Fig. 3):

- Le due placche sono andate in collisione intorno ai 30 milioni di anni fa, durante la formazione della catena alpino-himalaiana ma, mentre dal Caucaso all'Himalaya la catena è ben formata, suturata e continua, dall'estremità occidentale del Caucaso allo stretto di Gibilterra la catena "collisionale" mostra delle discontinuità rilevanti (Fig. 4) e un deciso minor ispessimento, sia verticale che orizzontale (meno falde accavallate fra loro).

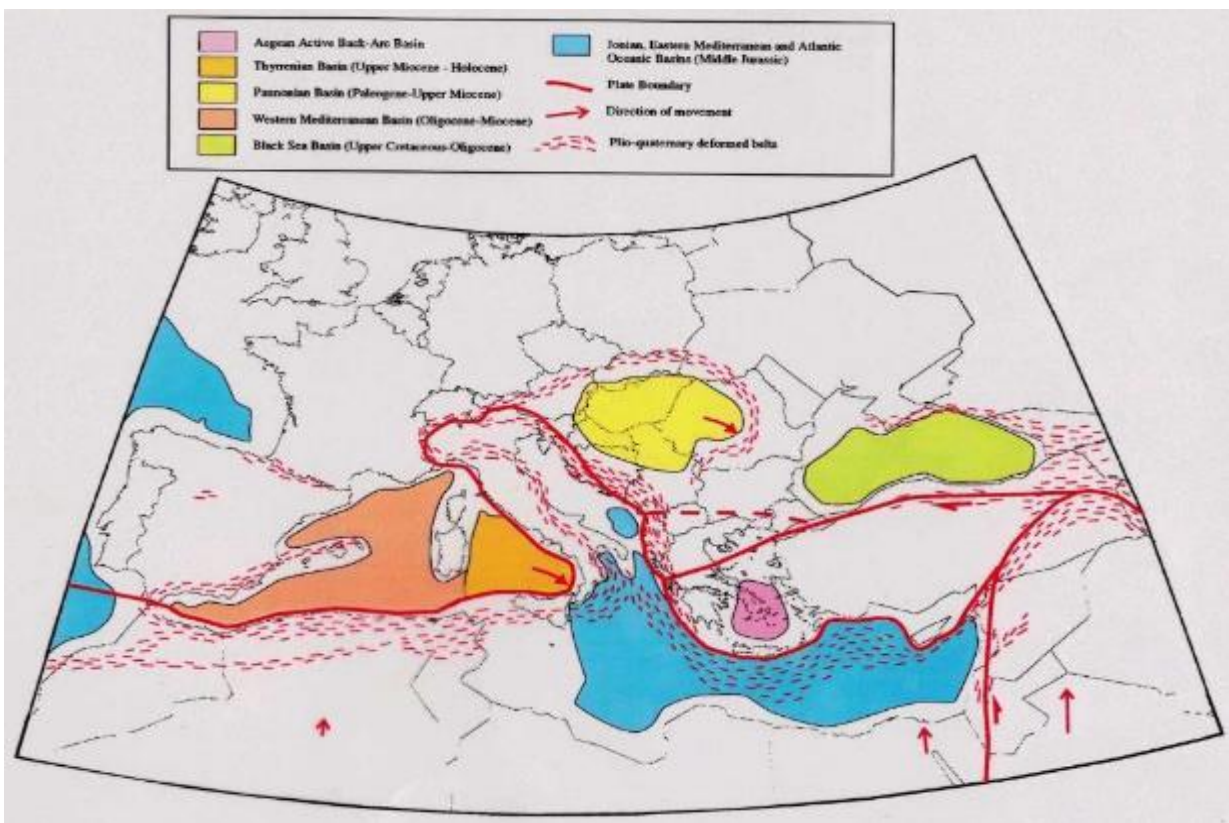


Fig. 5) Placche oceaniche o semi-oceaniche e bacini di retroarco attivi o abortiti presenti nell'area di "collisione" circum-mediterranea tra le placche Africana ed Araba a S e quella Euroasiatica a N. Le aree tratteggiate indicano le deformazioni recenti/attuali

- Si rinvergono nel tracciato di catena in esame (Fig. 5) bacini oceanici non ben formati come quello del Cretaceo superiore-Oligocene del Mar Nero, un bacino oceanico semi abortito del Paleogene-Miocene superiore come il Pannonico, un bacino oceanico tardo giurassico (residuo della vecchia Tetide che divideva i due supercontinenti Eurasia a N e Africa/Arabia/India a S prima della collisione alpino-himalaiana) nel Mediterraneo sud-orientale, un bacino oceanico a crosta sottile in corso di

formazione nel Tirreno a partire dal Miocene superiore e un bacino oceanico a crosta semi ispessita (ma ancora immatura) del Mediterraneo Occidentale (Balearico) di età Oligo-miocenica. Come se non bastasse la litosfera a crosta oceanica del Mediterraneo sud-orientale è attualmente in subduzione al di sotto dell'arco egeo (di cui ne alimenta così il relativo bacino di retroarco) e al di sotto della catena calabra, dove va ad alimentare il plutone caldo del Tirreno meridionale da cui spuntano, unitamente ai vulcani delle Eolie, i mega-vulcani sottomarini del Marsili, Vavilov e Magnaghi. Tutto ciò può complicare molto la distribuzione degli stress nell'area in quanto fra le due masse continentali a N e a S del Mediterraneo ci sono corpi a comportamento meccanico molto diverso che possono anche generare gobbe quasi insormontabili sulla sommità del mantello, sul quale si sposta scivolandogli sopra la litosfera in avvicinamento all'Europa della placca Africana (Fig. 6). Nella sezione di questa figura, che va dal golfo di Biscaglia all'Algeria, si vede come per spostarsi da S verso N la placca Africana se la deve vedere con la forte risalita del mantello astenosferico al di sotto del bacino post-tetideo del Mediterraneo Occidentale (Balearico). Tanto per avere un'idea delle forze in gioco va detto che la viscosità del mantello a quelle profondità è simile a quella del vetro delle nostre finestre di casa a temperatura ambiente. Fatto questo da considerare attentamente nel modello di riferimento che si ritiene necessario vada quanto prima definito.

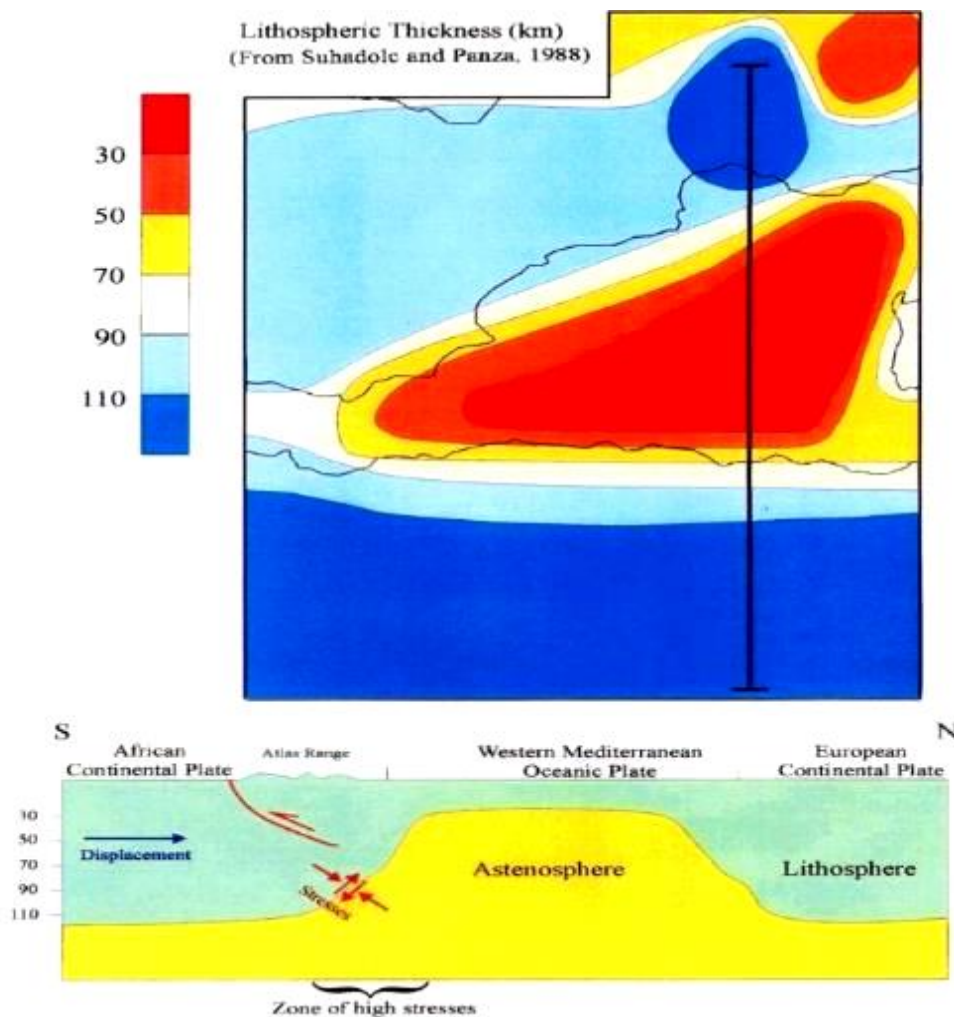


Fig. 6) Sezione litosferica tra la placca africana a S e quella europea a N dove si vedono i rapporti tra le due litosfere e quella interposta a crosta oceanica non completamente formata e fredda sotto il Mediterraneo occidentale. E' difficile pensare che il bubbone del mantello alto 70 km sotto la crosta oceanica non costituisca una sorta di freno al movimento verso l'Europa dell'Africa.

E) FASE 3 – Modellazione sismotettonica

Una volta ricostruito con l'aiuto della comunità scientifica un modello cinematico/reologico generale che chiarisca i problemi e le incongruenze accennati nella FASE 2), ci si deve calare nella situazione italiana e in particolare in quella della sua area centrale. E' necessario a questo punto utilizzare i metodi di indagine geologica e geofisica più adatti, intendendo con ciò in particolare al rilevamento geologico, a quello gravimetrico/geotermico e a quello sismico esplorativo (a rifrazione, per la definizione delle rugosità della Moho o della sommità dell'astenosfera, ed a riflessione, per definire strutture e gli elementi tettonici nell'intervallo Moho-superficie del terreno). In sostanza integrare con dati di sismica esplorativa e sismologici il modello di Figg. 4 e 6 della pubblicazione Doglioni, 1991 (A proposal for the kinematic modelling of W-dipping subductions – possible applications to the Thyrrenian-Appennines system – Terra Nova, 3, 423, 434) sull'applicazione della sua ipotesi al sistema Tirreno - Appennini che, assieme all'immersione dello slab adriatico in direzione non favorevole alla subduzione, cioè verso ovest, ha dato luogo alla progressiva migrazione verso NE del fronte delle falde della catena appenninica settentrionale e delle contemporanee distensioni sul retro.

Non è opportuno mettere sul sito dell'INGV (accessibile a chiunque ed in particolare agli esperti del settore di tutto il mondo), come fatto dal gruppo EMERGEO dell'Istituto, la sezione geologico interpretativa solo in minima parte interpretata che possiamo vedere in Fig. 7) avente lo scopo di fornire un quadro sismotettonico sia pure preliminare che spieghi la sequenza sismica di Amatrice Norcia degli ultimi due mesi. Forse il gruppo avrebbe potuto prendere utili suggerimenti dalla letteratura esistente, dai dati prodotti dalla linea Crop 03, poco a N dell'area, e magari, sul tema della distensione che insegue il fronte dell'Appennino settentrionale, dalle pubblicazioni di rilievo internazionale del prof. Doglioni come ad es. quella del 1991 già dianzi richiamata.

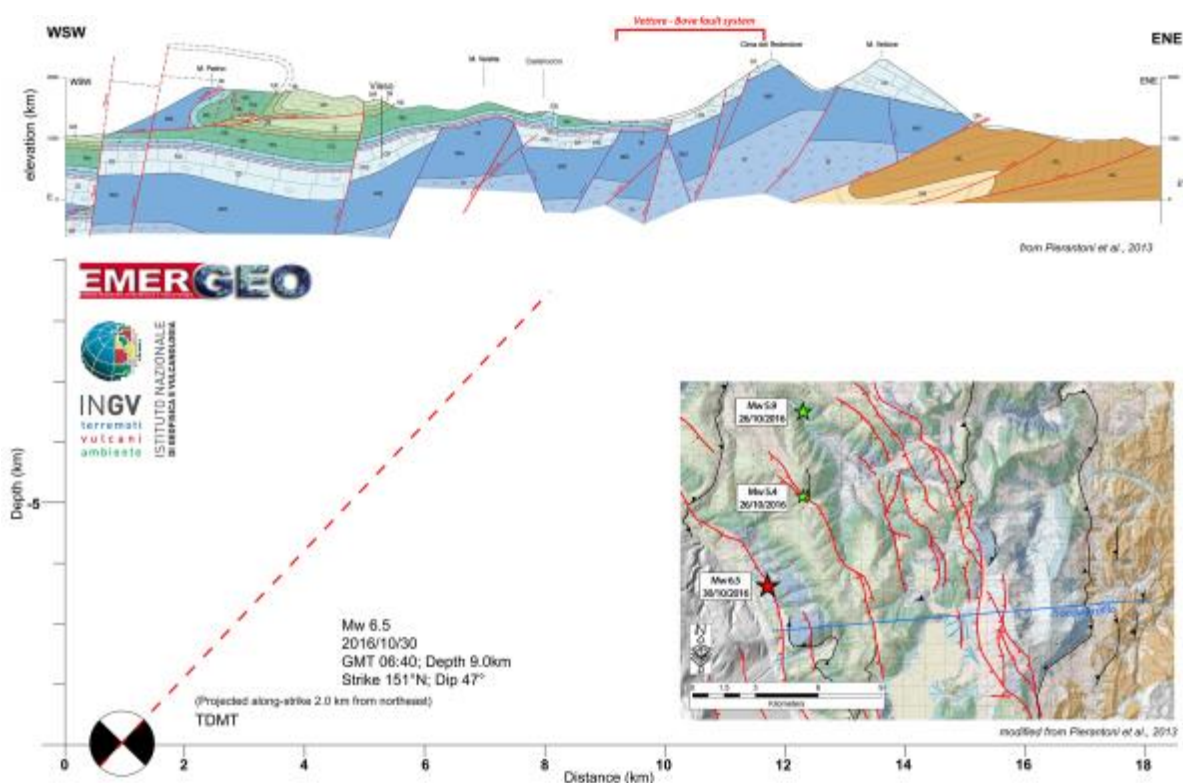


Fig. 7) Sezione geologica interpretativa presentata dal gruppo Emergeo dell'INGV che "collega" la fagliazione di superficie della carta nel riquadro in basso a destra con la posizione ipocentrale del terremoto di M 6.5 del 30.10.16 tenendo conto del suo meccanismo focale (distensivo), della direzione della faglia generatrice, della sua inclinazione e dell'immersione. L'ampio gap (ben 8

km su 9,5) senza alcun dato né interpretazioni di tipo geologico-strutturale rende la sezione poco utile e non rende merito del gran lavoro, sia pure incompleto, di raccolta dati dell'Istituto.

Sezione, quella di EMERGEO-INGV che vorrebbe giustamente correlare le tracce di fagliazione di superficie generatesi al seguito delle scosse più forti della sequenza (v. foto di Fig. 8) con la situazione a 9,5 km di profondità in zona ipocentrale. Purtroppo lo fa senza utilizzare alcuna informazione proveniente dalla geofisica di esplorazione e basandosi unicamente su una sezione geologica classica “pellicolare” alla quale sono stati sovrapposti i dati di direzione e inclinazione della faglia che si presuppone abbia generato l'evento principale. Il risultato è sicuramente inferiore alle attese perché nel mondo, sia della sismologia che della ricerca esplorativa (mineraria, petrolifera...) riescono a fare molto di più.



Fig. 8) Piani di faglia su M. Vettoretto con evidenza di riattivazione a seguito del terremoto del 24 10.16

E di più bisogna assolutamente fare e meglio, vista la posta in gioco (vite umane e notevoli patrimoni abitativi, culturali, industriali in gioco). Bisognerebbe innanzitutto lavorare non con una sezione sola ma in 3D con più sezioni, almeno una per ciascuno dei tre forti eventi e integrandole anche con i dati interferometrici di Fig. 9. Inoltre, dette sezioni andrebbero portate al giusto livello scientifico e messe in linea con lo stato dell'arte dell'esplorazione crostale nel mondo, sostanzialmente come si fa quando si localizzano impianti nucleari o si cercano giacimenti petroliferi o minerari in genere.

Quindi, oltre al classico rilevamento geologico di superficie, alle analisi degli eventi più forti e delle repliche, alla valutazione degli spostamenti GPS e di quelli interferometrici, bisogna utilizzare tutte le indagini geofisiche, siano esse gravimetriche, di flusso termico, di sismica a rifrazione ed in particolare di sismica a riflessione, che sono universalmente ritenute le indagini regine per ricostruire strutture geologiche fino a 10 -20 km di profondità. Se non già esistenti per la zona in esame, ne vanno urgentemente eseguite di apposite allo scopo di definire la natura delle strutture tettoniche ivi presenti, indispensabili per l'argomento terremoto, per delineare la posizione e l'andamento delle faglie che intersecano dette strutture (che poi è sostanzialmente quanto è stato fatto con il progetto esplorativo CROP, al quale l'INGV

ritenne di non partecipare, da Enel-CNR e Agip negli anni '80-90) e, se possibile, definire lo stato di stress a cui sono sottoposte con apposite modellazioni matematiche.

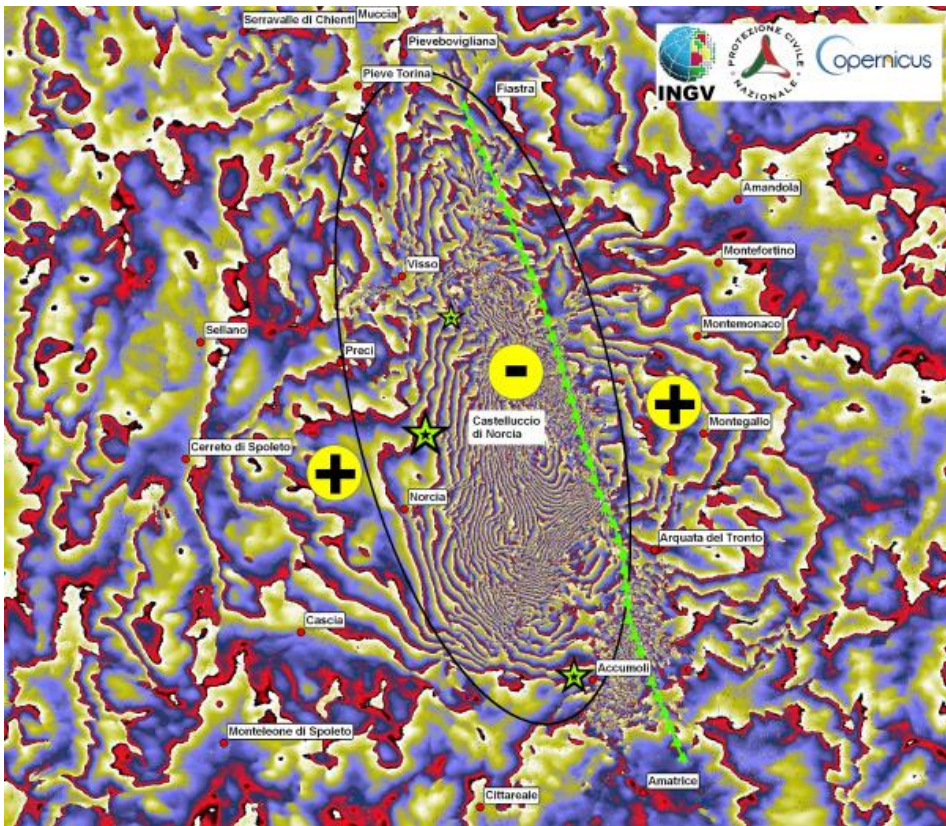


Fig. 9) *Interferogramma differenziale da dati radar del satellite europeo Sentinel-1 indicante la zona lunga circa 40 km e larga mediamente 15 nella quale si sono verificati i massimi abbassamenti del terreno che, in prossimità di Castelluccio di Norcia hanno raggiunto i 70 cm. Gli asterischi indicano i tre terremoti della sequenza (24.8 M6.0, 30.10 M5.9 e 30.10 M6.5); la linea verde il sistema di faglia che l'ha causata, i triangoli verdi il lato ribassato. Tenere presente che fuori dell'ellisse nera, sia ad E che ad O, il terreno ha avuto innalzamenti di qualche cm.*

Qui di seguito, nelle figure da 10/1 a 10/6 sono riportati alcuni esempi di indagini sismiche a riflessione nel mondo dalle quali chiunque può vedere quali informazioni strutturali (e con quale dettaglio) sarebbe così possibile ricavare. Si vedano in particolare le figure 10/4 e 10/5 perché riportano linee sismiche a riflessione registrate specificamente per studiare faglie capaci di generare terremoti (siamo sulla faglia di S. Andrea, in prossimità di S. Francisco dove nel 1906 un evento sismico di M 8.3 fece migliaia di vittime).

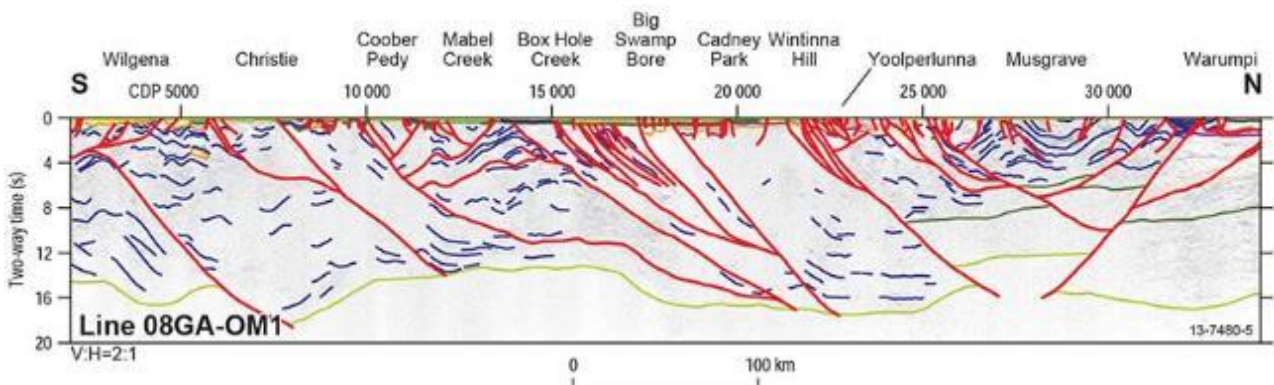


Fig. 10/1) *Transetto sismico australiano simile alle linee CROP fatte negli anni '80 da ENEL-CNR-AGIP*

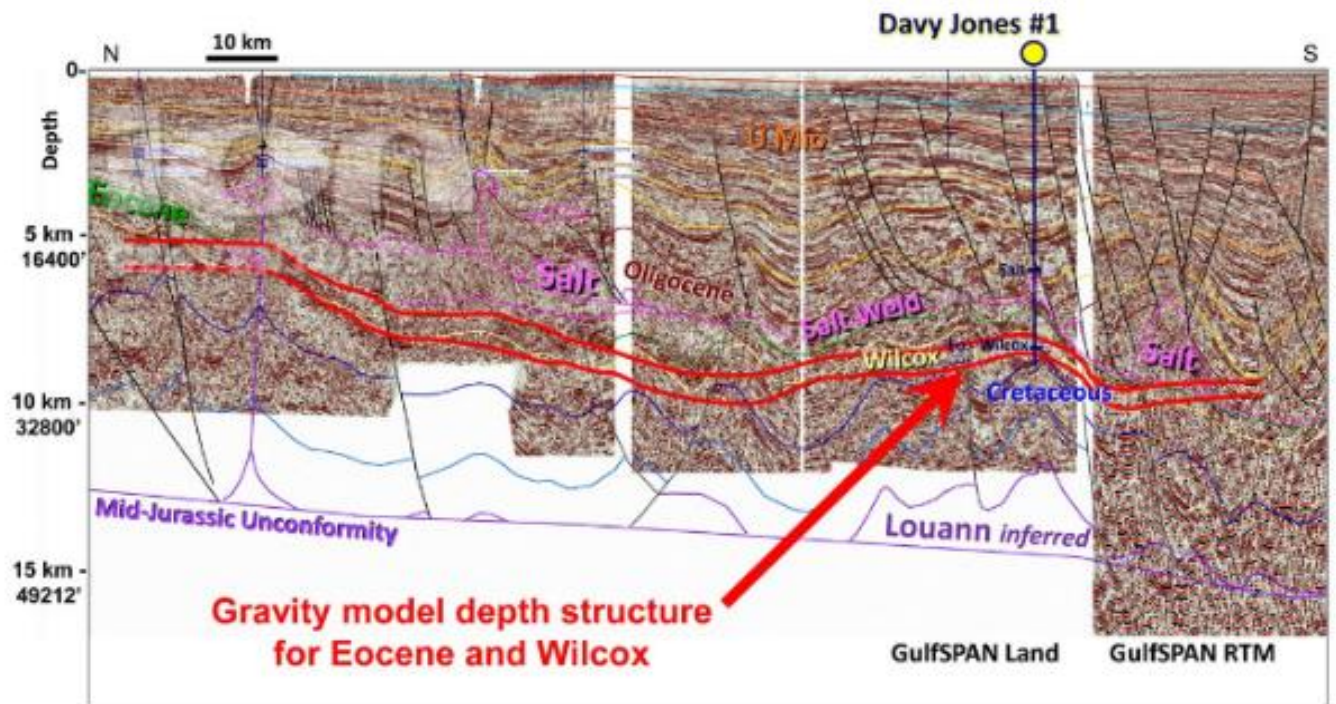


Fig. 10/2) Sezione sismica integrata da indagini gravimetriche per l'individuazione del giacimento di gas profondo di Davy Jones, nel Golfo del Messico, al largo delle coste della Luisiana

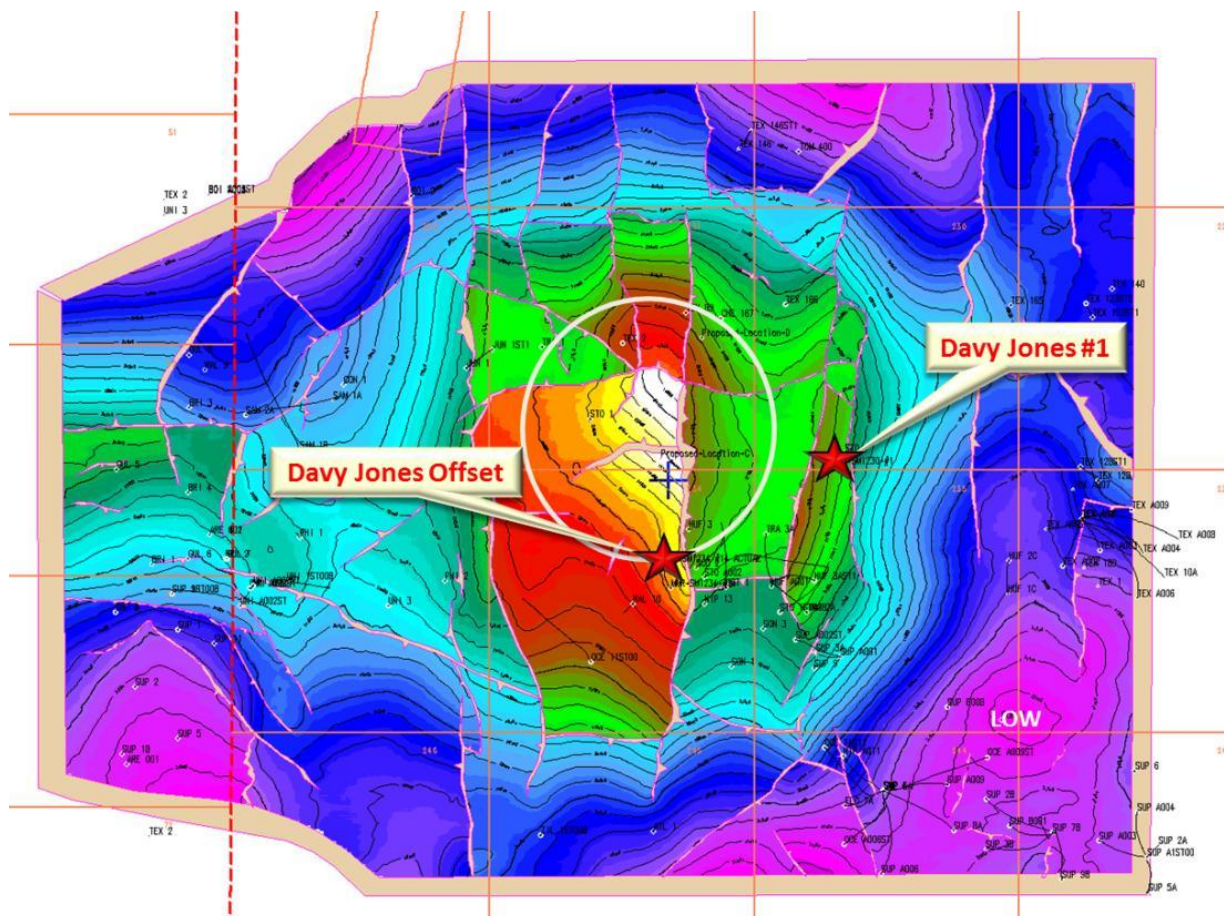


Fig. 10/3) Lo stesso campo di Fig. 10/2 definito con estremo dettaglio in 3D

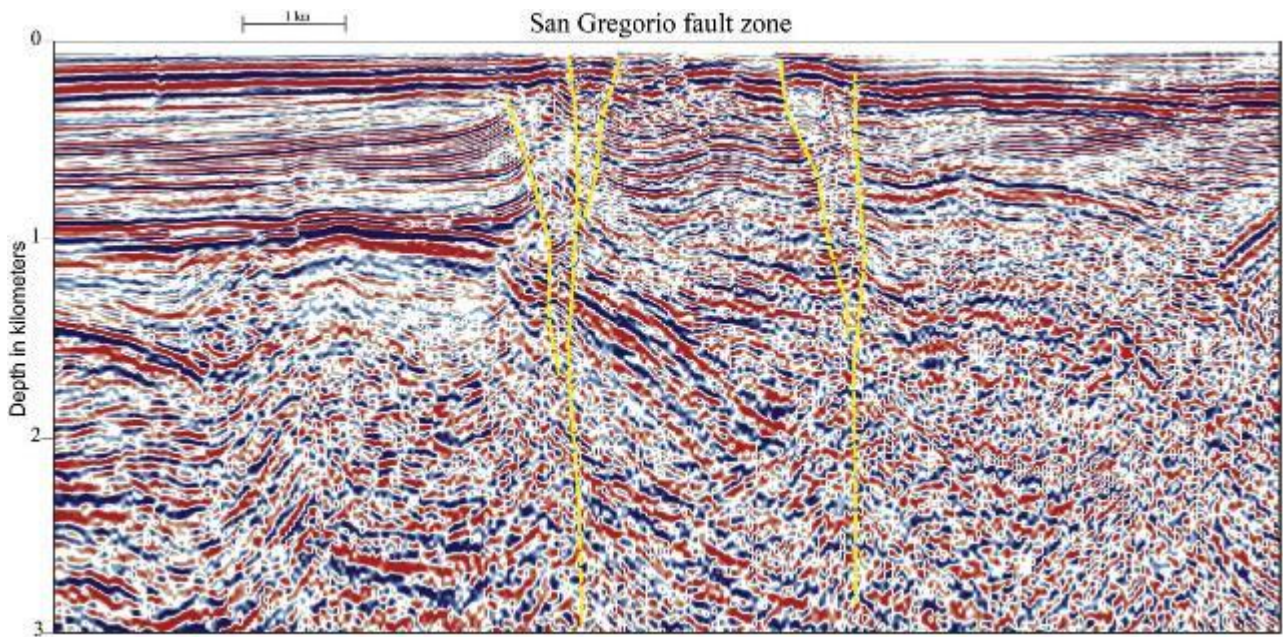


Fig. 10/4) (v. spiegazione in Fig. 10/4). Molto importante per l'argomento qui trattato.

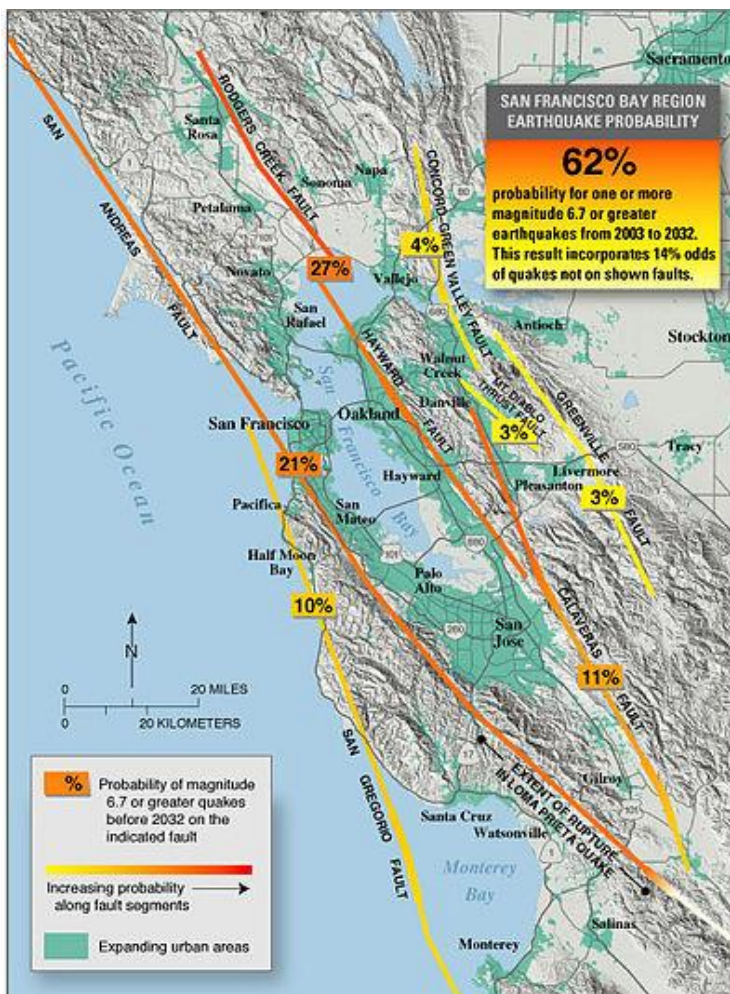


Fig. 10/5) La S. Gregorio fault è una delle faglie parallele alla faglia di S. Andrea ed è studiata con sismica a riflessione dato che i sismologi californiani ritengono che abbia la possibilità di rilasciare entro il 2032 terremoti di $M > 6.7$

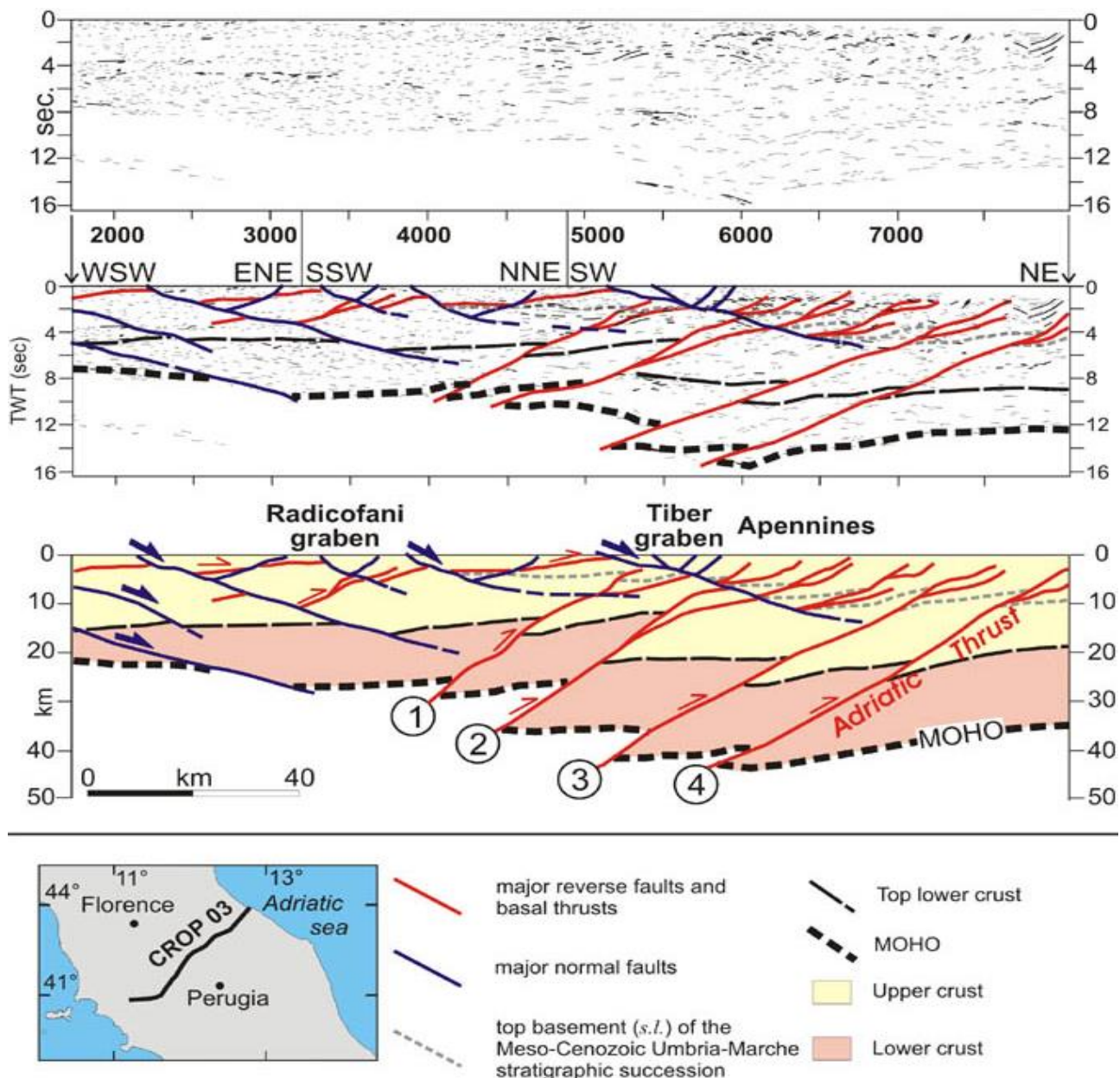


Fig. 10/6) CROP 03 - Linea sismica a riflessione profonda acquisita nell'ambito del programma congiunto Enel- Agip-CNR interpretata da ricercatori dell'università di Perugia che passa poco a N della zona Norcia-Amatrice

Giungere ad un modello sismotettonico completo è fondamentale per vari aspetti sui quali sventa lo scopo della sismotettonica: quello di unire le informazioni geologico strutturali e geofisiche a quelle sismologiche per stabilire se il più forte dei terremoti a catalogo che storicamente hanno colpito la struttura individuata sia o no il massimo possibile rilasciabile da questa. (v. Fase 4 seguente) o se invece ci si deve cautelare prevedendone anche di magnitudo superiore. Nel caso in esame della zona di Amatrice – Norcia, è indispensabile stabilire se la profondità (9,5 km) del terremoto del 30.10.16 corrisponde o meno a quella della superficie di scollamento basale delle faglie listriche che accomodano la distensione della catena appenninica settentrionale. Perché in caso contrario si deve adottare un margine di conservativismo adeguato dato che il massimo terremoto potenziale non potrà che essere determinato dalla rottura dell'intera sequenza attualmente in distensione. Approccio del tutto simile a quello adottato in Enel per valutare il massimo terremoto potenziale di Montalto di Castro che ha considerato la situazione più gravosa

possibile per il sito: cioè la fagliazione istantanea dell'intero spessore di crosta elastica posta al di sotto di esso (tenendo anche conto dell'alto flusso di calore che ne riduce lo spessore).

Per spiegare meglio il concetto si vedano le due figure seguenti (Fig. 11 e 12) riferite a situazioni molto prossime all'area della sequenza sismica di agosto-ottobre 2016 riprese da Balocchi, 2011 (Modello Sismotettonico delle strutture profonde dell'Appennino settentrionale - GeoResearch Center Italy - GeoBlog, pub. n° 3 (2011), ISSN: 2240-7847.).

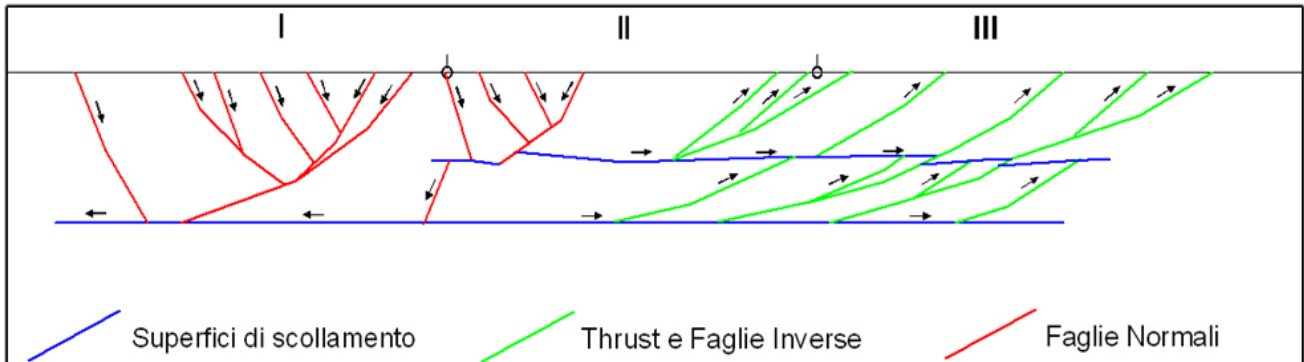


Fig. 11) Rappresentazione schematica delle strutture sismogenetiche principali nell'Appennino settentrionale (da Balocchi, 2011). La sezione va da Tirreno a sin all'Adriatico a destra: I) Internal Belt; II) Main Belt; III) Buried Belt (Balocchi, 2011).

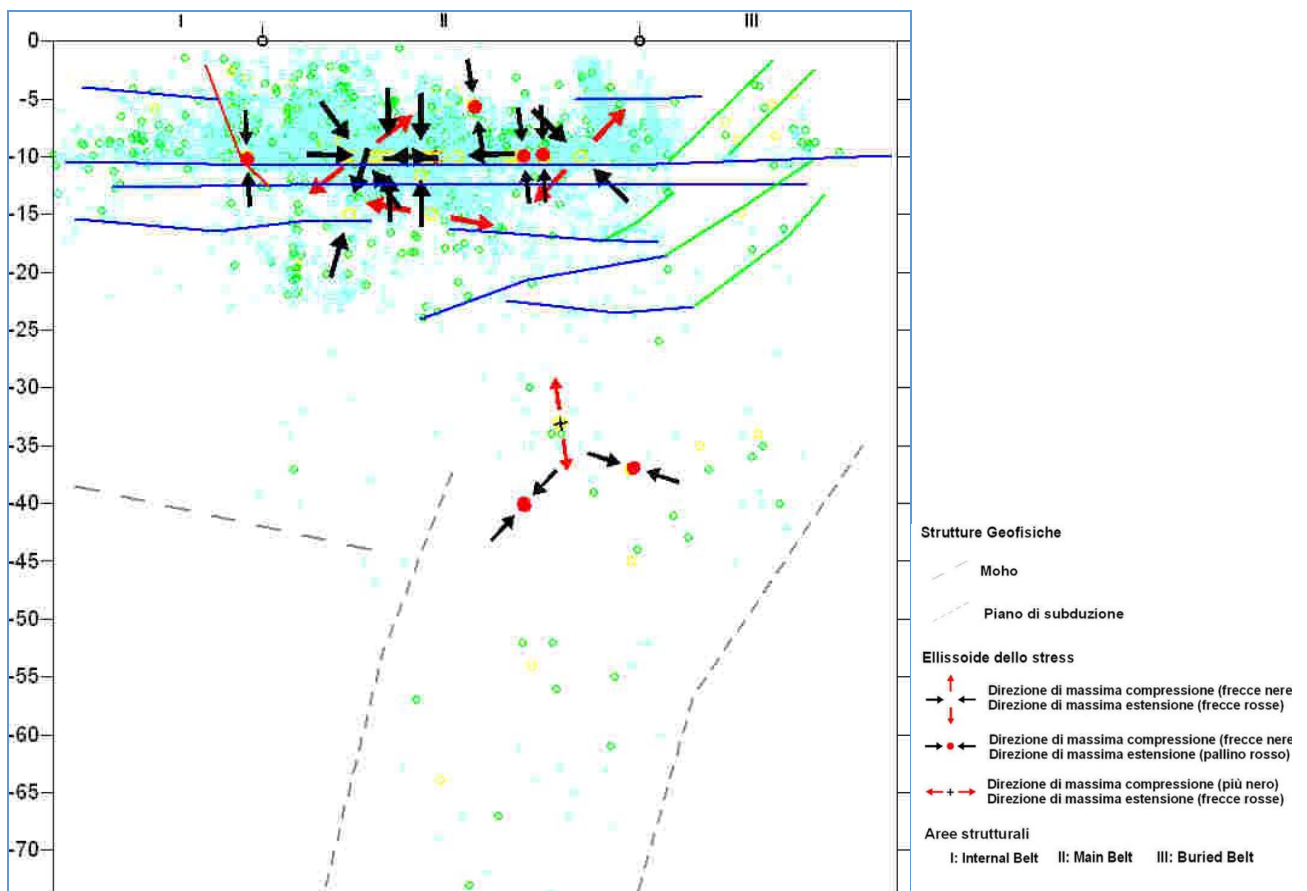


Fig. 12) Piani di scollamento, terremoti associati (rossi $M > 5$, gialli M da 3 a 5, verdi M da 2 a 3 e celesti $M < 2$) e posizione dello slab adriatico sotto la catena appenninica (Balocchi, 2011)

F) FASE 4 – Massimo Terremoto Potenziale e Microzonazione sismica

A questo punto si può passare ad associare gli eventi sismici noti alle faglie individuate con le indagini di fase 3) e a definire il **MASSIMO TERREMOTO POTENZIALE** di tali faglie (o insieme strutturale omogeneo di esse) tenendo conto di tutte le strutture tettoniche presenti, geometrie e caratteristiche litologiche comprese, anche se non associate a terremoti noti, alle quali andrà assegnato un potenziale sismico per confronto con quelle vicine o con altre a caratteristiche simili in Italia e nel mondo. Il massimo terremoto potenziale dovrà evidentemente essere maggiore del massimo terremoto registrato nell'area in esame; naturalmente sarà buona prassi prendersi un margine di sicurezza adeguato. Definito il massimo terremoto potenziale generabile dalle strutture tettoniche individuate, si procede a valutare i risentimenti che un tale terremoto potrebbe dare nei luoghi da ricostruire. Tale valutazione dovrà tenere conto del complesso assetto geologico dell'area appenninica, che rende necessario il ricorso a modelli tridimensionali e a tecniche di simulazione numerica per valutare gli effetti di propagazione delle onde sismiche, in luogo delle tradizionali formule empiriche (le cosiddette leggi di attenuazione, basate il gran parte su dati registrati in contesti sismotettonici anche profondamente diversi).

Non è altrimenti possibile spiegare in un modello coerente, ad esempio le accelerazioni orizzontali di picco registrate nell'evento del 24 agosto, con differenze di un fattore 10, a parità di distanza dalla sorgente ed anche di classe di terreno (Fig. 13), senza prendere in considerazione le eterogeneità della crosta ed i conseguenti effetti di propagazione.

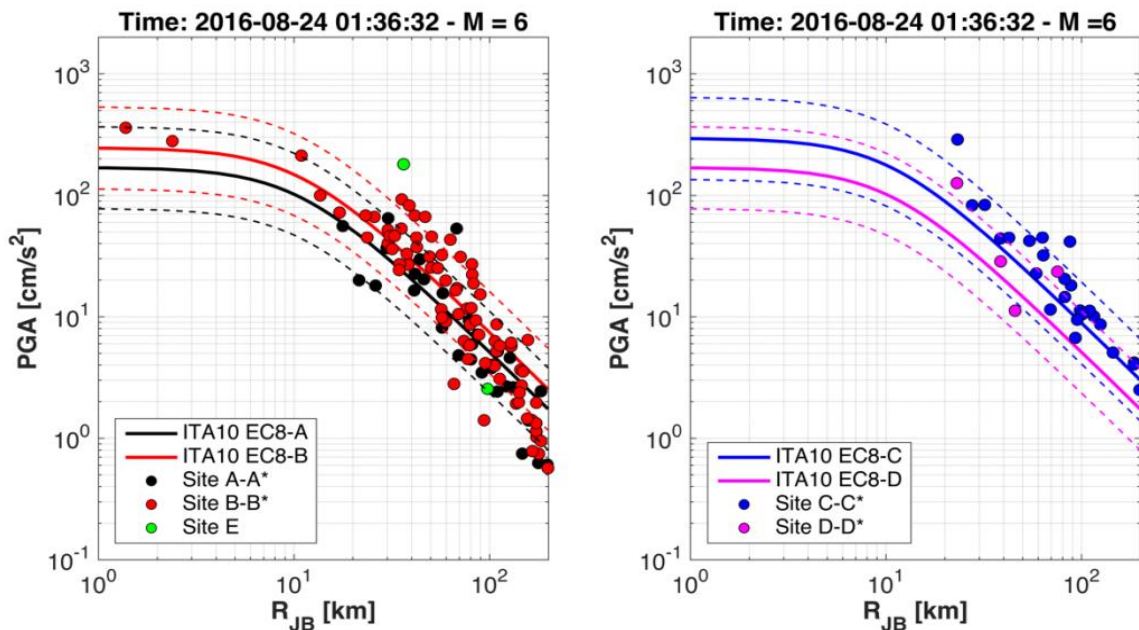


Fig. 13) Accelerazioni di picco registrate alle varie stazioni accelerometriche in occasione dell'evento del 24 agosto per varie categorie di terreno, confrontate i valori predetti dalla legge di attenuazione ITA10. (da ReLUI-INGV Workgroup (2016), Preliminary study of Rieti earthquake ground motion records V5)

Tali metodologie sono ormai utilizzate in varie parti del mondo per meglio definire gli scuotimenti attesi in aree ad elevata sismicità: ad esempio gli studi condotti nel bacino di Los Angeles (figura 14) mettono in evidenza quali differenze laterali ci siano negli scuotimenti passando da un semplice modello 1D ad uno 3D,

prendendo quindi in considerazione i rapporti geometrici tra basamento cristallino antico e sovrastante serie sedimentaria.

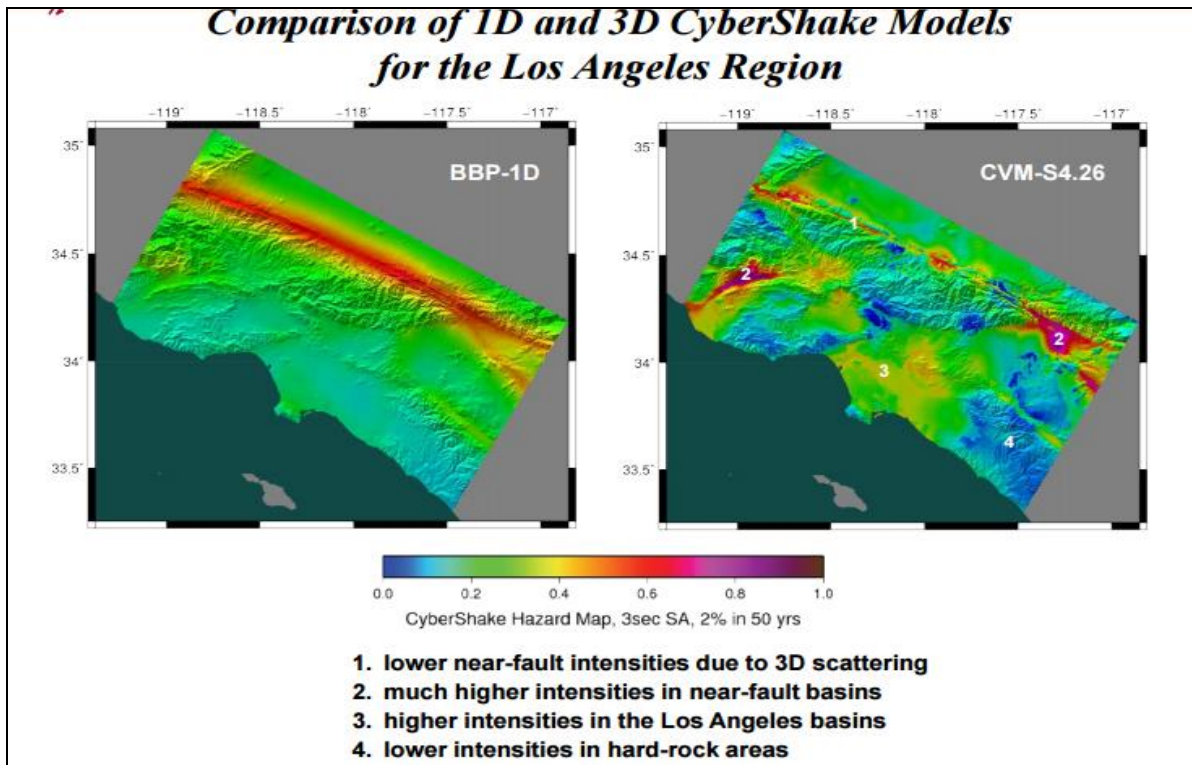


Fig. 14) Confronto fra le accelerazioni spettrali nell'area metropolitana di Los Angeles utilizzando un modello geologico monodimensionale (a sinistra) e tridimensionale (a destra). (SCEC CyberShake Collaboration, 2015)

Questa fase sarà accompagnata, da accurati studi ed indagini di **MICROZONAZIONE** dell'intero territorio interessato dalla ricostruzione così da mettere in luce eventuali situazioni particolari dove gli scuotimenti indotti in superficie dai terremoti potrebbero essere amplificati sia per motivi topografici che per la presenza di depositi con terreno soffice di spessore capace di far entrare in risonanza le onde sismiche generate dal massimo terremoto potenziale.

Importante in questa fase (dato che non ci sono contromisure ingegneristiche, fattibili sia dal punto di vista tecnico che economico, atte a contrastarne gli effetti su abitazioni, edifici ed opere) è l'individuazione di tutte le zone di frana già esistenti o attivate dalla sequenza sismica del 24 agosto-30 novembre, unitamente alla possibile esistenza di condizioni locali che possano, in caso di futuri forti terremoti, portare a fenomeni di liquefazione del terreno o di fagliazione superficiale (Figg. 15 e 16), o di ulteriori franamenti o smottamenti.

Per quanto riguarda in particolare le frane già innescate dalla sequenza sismica, dovranno essere attentamente monitorate e, dove possibile, si dovranno urgentemente mettere in atto le contromisure più adatte per evitare che i fenomeni franosi finiscano accentuarsi con l'approssimarsi della vicina stagione invernale e provocare così danni ulteriori ai già profondamente colpiti patrimoni edilizio e storico-culturale.



Fig. 15) Fenomeni di fagliazione superficiale verificatisi con il terremoto del 30.10.2016



Fig. 16) Zone collassate per frana ad Arquata del Tronto

Gli effetti indotti dalla geologia locale sulle diverse ordinate spettrali assumono spesso connotazioni complesse e non facilmente prevedibili. Spessori elevati di sedimenti non consolidati presentano spesso effetti di amplificazione sui lunghi periodi e, contemporaneamente, elevato smorzamento anelastico ai periodi più corti e conseguente riduzione delle PGA rispetto a siti posti su roccia. Non ha quindi grande utilità pratica (o, spesso, è fuorviante) semplificare l'effetto di sito attraverso l'uso del Vs30 o, peggio ancora, della categoria di terreno, come permesso dalla attuale normativa. Una progettazione adeguata richiede quindi una analisi ad hoc della risposta sismica locale o, in termini di microzonazione, un terzo livello, con le reali caratteristiche del terreno desunte da prove geofisiche in situ. In molte parti del mondo il ricorso al semplice Vs30 come stimatore dell'effetto di sito è in via di abbandono perché non affidabile.

G) FASE 5 – Spettro di risposta elastica per la progettazione antisismica

Quest'ultima fase è necessaria per a definire l'input sismico indispensabile per la progettazione esecutiva strutturale di edifici privati o pubblici, ordinari o strategici e anche per il recupero degli edifici esistenti. E' noto infatti, come, fabbricati diversi per forma, dimensioni, massa, materiali e tipologia strutturale, se

soggetti alla stessa sollecitazione di scuotimento, rispondano in maniera molto diversa tra loro, talvolta con significative amplificazioni dell'accelerazione sismica trasmessa dal terreno. Tale comportamento, specifico di ogni edificio, dipende in gran parte da una caratteristica peculiare che è rappresentata dal proprio periodo fondamentale di oscillazione, parametro che rimane costante, in quanto intrinseco alla struttura, al variare delle potenziali sollecitazioni sismiche.

Per quanto detto, per ciascuna delle microzone individuate in Fase 4), si dovrà passare a definire lo **SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICA**, $S_e(T)$, come previsto dalle N.T.C. 2008, in modo da tener conto della specifica risposta all'azione sismica dei possibili fabbricati, aventi periodi fondamentali di oscillazione e fattori di smorzamento diversi tra loro. Lo spettro suddetto sarà la "base" a disposizione dei tecnici per la corretta progettazione antisismica e quindi per mettere in atto quelle misure che consentiranno alle costruzioni di resistere, in varia misura, all'eventuale futuro massimo terremoto di progetto. Come previsto dalle N.T.C. 2008, gli spettri così definiti possono essere utilizzati per strutture con periodo fondamentale minore o uguale a 4,0 s mentre per strutture con periodi fondamentali superiori o in presenza di sottosuoli particolari di categoria "S1" o "S2", lo spettro dovrà essere definito attraverso ulteriori specifiche indagini.

Per la puntuale definizione degli spettri di progetto, in funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento considerato, dovrà definirsi puntualmente la pericolosità sismica in termini di accelerazioni attese al suolo a_g (o, PGA). A tale riguardo, è necessario osservare come, dato che nelle aree interessate dalla recente crisi sismica in Italia centrale i valori previsti dall'attuale normativa si siano rivelati particolarmente sottostimati, debba ritenersi assolutamente prioritario, oltre che doveroso, procedere con la massima celerità ad adeguare tali valori di a_g , in modo da tenere conto in modo realistico dell'effettiva pericolosità sismica dell'area.

Solo a titolo di esempio si riportano le accelerazioni a_g previste dalla NTC 2008 per i comuni di Amatrice, Accumoli e Norcia, al variare del tempo di ritorno e i valori effettivamente misurati durante le tre principali scosse del 24 agosto, del 26 e del 30 ottobre 2016.

	Tempo di ritorno TR			
	50 anni	475 anni	975 anni	2465 anni
Amatrice	0,103	0,259	0,332	0,449
Accumoli	0,102	0,257	0,330	0,448
Norcia	0,103	0,255	0,327	0,446

Tabella 1 – Accelerazione a_g al suolo prevista dalle NTC 2008 in funzione del tempo di ritorno

	24/08/2016			30/10/2016		
	N-S	E-W	Vert	N-S	E-W	Vert
Amatrice	0.224	0.461	0.201	0.483	0.346	0.234
Accumoli	n.d.	n.d.	n.d.	0.392	0.434	0.557
Arquata	n.d.	0.457	0.404	0.192	0.286	0.354
Norcia	0.373	0.359	0.216	0.372	0.485	0.375

Tabella 2 – Accelerazione a_g (in g) registrate durante le due principali scosse del 24 agosto e del 30 ottobre

Il confronto è ancora più evidente passando dalle accelerazioni di picco agli spettri di risposta, che sono più direttamente correlati ai danni agli edifici, prendendo in considerazione i moti propri di vibrazione e di conseguenza la differente sensibilità dei manufatti alle diverse frequenze presenti nel moto del terreno. Come riportato in Fig. 17 gli spettri registrati il 24 agosto ad Amatrice e Norcia sono evidentemente sottostimati dai valori adottati nella normativa edilizia.

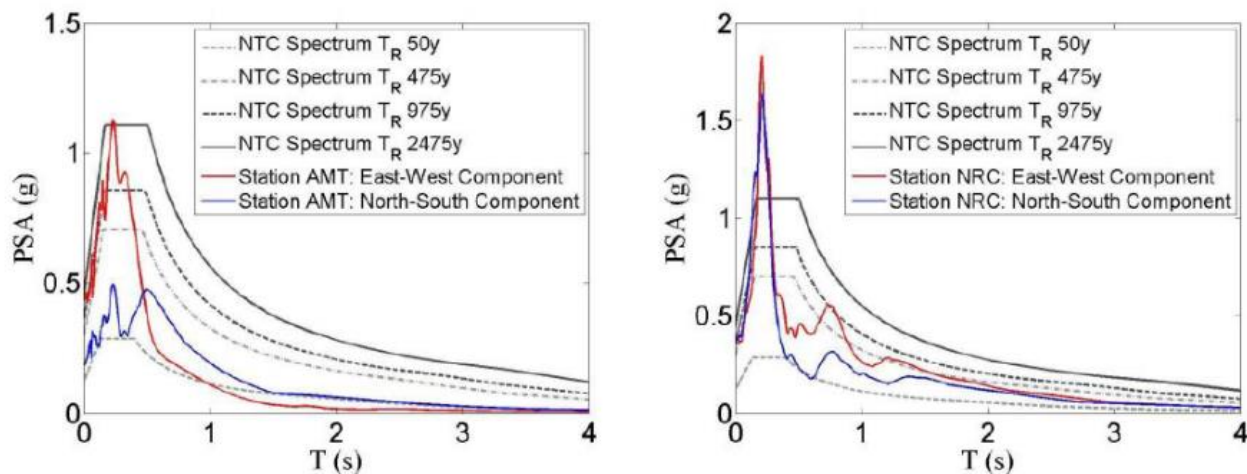


Fig. 17) Confronto fra gli spettri di risposta registrati ad Amatrice (a sinistra) e a Norcia (a destra) il 24 agosto 2016 e le forme spettrali riportate nelle Norme Tecniche. (da ReLUIS-INGV Workgroup (2016), Preliminary study of Rieti earthquake ground motion records V5)

Dalla consultazione dei dati sopra riportati, si osserva, come, nei tre eventi occorsi, in un lasso di tempo di circa due mesi, siano stati ripetutamente superati i valori di accelerazione previsti dalla normativa con un tempo di ritorno di 975 anni e almeno una volta addirittura i valori di accelerazione previsti dalla normativa con un tempo di ritorno di ben 2475 anni.

Da ciò si evince come sia necessaria, da parte del Legislatore, una tempestiva revisione della normativa stessa, con particolare riferimento ai valori delle accelerazioni sismiche attese al suolo, almeno per le aree interessate dai recenti eventi sismici. Ma se ciò non dovesse avvenire, ci troveremmo nella inaccettabile e paradossale situazione, sotto il profilo logico oltre che normativo, di lasciare a disposizione dei progettisti Norme Tecniche inadeguate, carenti rispetto alle reali sollecitazioni sismiche prevedibili, e quindi non in grado di poter garantire una progettazione strutturale rispondente a requisiti minimi di sicurezza, con potenziale grave danno per l'integrità delle strutture e l'incolumità delle popolazioni interessate.

Solo una volta che saranno stati chiariti tutti gli aspetti sopra descritti, sarà possibile definire le tecnologie antisismiche più appropriate, peraltro tutte già disponibili anche in Italia, per ricostruire in modo sicuro il tessuto edilizio, come e dove ciò risulterà possibile.