

# GEOLOGI MARCHE

PERIODICO ORDINE DEI GEOLOGI DELLE MARCHE

Spedizione con Posta Target Creative



RISORSE PER IL TERRITORIO  
E LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

N° 1  
2019

# PER NOI LA DIAGNOSTICA STRUTTURALE NON HA SEGRETI



**NOVATEST DA OLTRE 20 ANNI OPERA NELL'INGEGNERIA CIVILE ED INDUSTRIALE, IN PARTICOLARE NEL SETTORE DEI CONTROLLI NON DISTRUTTIVI E DELLA TOPOGRAFIA, SVILUPPANDO PRODOTTI IN-HOUSE E DISTRIBUENDO LE MIGLIORI TECNOLOGIE DISPONIBILI.**

Le competenze specialistiche le hanno permesso di raggiungere risultati di eccellenza negli ambiti dei **controlli non distruttivi, della diagnostica strutturale e dei monitoraggi**, consolidandone il già ampio know how.

Novatest fornisce infine **servizi di consulenza specialistica per ispezioni radiografiche non distruttive** nel mondo delle infrastrutture, in quello dell'Oil&Gas, in quello aerospaziale, quello della cantieristica navale e in quello militare.



## PRODUCT DISTRIBUTION

Novatest ricerca e seleziona le migliori tecnologie disponibili sul mercato globale e, per alcune, sigla accordi di esclusiva per la distribuzione a livello sia italiano che europeo.



## PRODUCT DEVELOPMENT

Novatest sviluppa, ingegnerizza e produce alcune delle tecnologie presenti nel proprio portfolio di vendita, destinate al mondo della diagnostica e dei monitoraggi strutturali.



## PROFESSIONAL CERTIFICATION

Novatest è Centro di Esame RINA perché crede nel valore della formazione continua. Organizza corsi di certificazione su metodologie di indagine nel settore dell'ingegneria civile e industriale.



## PROFESSIONAL ASSISTANCE

Novatest garantisce ai propri clienti servizi di altissima qualità nella progettazione delle fasi di indagine/test, nel corretto utilizzo della strumentazione, nell'esecuzione delle indagini e nell'elaborazione dei dati acquisiti.



INDAGINI SUI MATERIALI



INDAGINI GEOLOGICHE



INDAGINI STRUTTURALI



SOFTWARE PLATFORMS



CONTROLLI NON DISTRUTTIVI

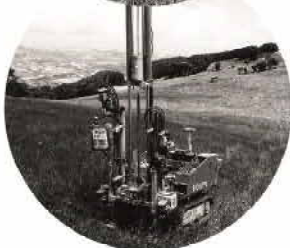


TOPOGRAFIA

# GECEO

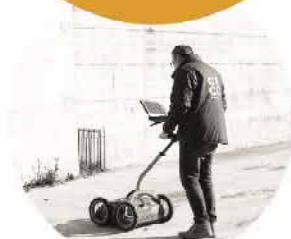
Servizi Geologici & Indagini Sismiche

## Geognostica e prove in sito



- › Sondaggi a carotaggio continuo ed a distruzione di nucleo con prove in foro
- › Indagini Ambientali
- › Prove penetrometriche DPSH-CPT-CPT-CPTE
- › Sondaggi e prelievo di campioni con tecnologia Geoprobe®
- › Prove di emungimento su pozzi e piezometri
- › Prove di carico su pali, micropali
- › Prove di trazione e a sfilamento

## Geofisica e Geoelettrica



- › Sismica a rifrazione, riflessione Down Hole, Cross Hole
- › MASW, SASW
- › Sismica passiva: REMI, HVSR ESAC, SPAC
- › Analisi di risposta sismica locale
- › Geoelettrica SEV, SEO, FLV
- › Tomografia elettrica 2D e 3D
- › Rilievi Georadar
- › Log geofisici in foro

## Monitoraggi



- › Monitoraggio frane e versanti (inclinometri estensimetri, ecc..)
- › Monitoraggi idrogeologici e strumentali (piezometri elettrici, misuratori di portata ecc..)
- › Monitoraggi ambientali (stazioni meteorologiche, sonde soil gas sensori fisico-chimici, campi elettromagnetici)
- › Monitoraggio strutturale (fessurimetri, clinometri, estensimetri, assensimetri, celle di carico ecc..)
- › Sistemi area velocity
- › Videoispezioni di tubature e pozzi



### CTD Logger multiparametrico (conducibilità, temperatura, pressione)

- Precisione / scala di conducibilità del sensore:  
 $\pm 1\%$  max. / 0,2...200 mS/cm
- Precisione / sensore Pt1000 per monitorare la temperatura:  
 $\pm 0,1$  °C / -10...40 °C
- Precisione / campo di pressione (profondità):  
 $\pm 0,02$  %FS max. / 5...200 m
- Applicazioni:  
monitoraggio della qualità dell'acqua e del livello



## Competenza nella idrologia

### Unità di trasmissione dati a distanza GSM

- Logger multiparametrico
- Trasmissione dei dati via e-mail, FTP oppure SMS
- Multifunzionale
- Durata della batteria fino a 10 anni
- Facilità d'installazione
- Software incluso

### Logger di pressione e temperatura

- Autonomo
- Di facile uso
- Durata della batteria fino a 10 anni
- Applicazioni:
  - Acqua dolce
  - Acqua salata
  - Acqua sporca
- Ottenibile in acciaio Inox, Hastelloy oppure in Titanio





**DIRETTORE RESPONSABILE**  
 Daniele Mercuri

**COORDINAMENTO EDITORIALE**  
 Fabio Vita

**REDAZIONE**  
 Daniele Mercuri, Cinzia Marucci,  
 Michele Gliaschera, Fabrizio Bendia,  
 Roberto Ciccioi, Stefano De Angelis,  
 Piero Farabollini, Fabrizio Iolò,  
 Daniele Morganti, Fabio Vita  
 Paola Pia Pino D'Astore

**UFFICIO E SEGRETERIA**  
 Corso Garibaldi n. 28 - 60121 Ancona  
 Tel 071.2070930 / Fax 071.2070716  
 ordine@geologimarche.it  
 geologimarche@epap.sicurezzapostale.it

**GRAFICA, IMPAGINAZIONE  
 E PUBBLICITÀ**  
 Agicom srl  
 Viale Caduti in Guerra, 28 - 00060  
 Castelnuovo di Porto (RM)  
 Tel 06.9078285 / Fax 06.9079256  
 lucamallamo@agicom.it  
 comunicazione@agicom.it

**STAMPA**  
 Spadamedia  
 Viale del Lavoro, 31  
 00043 Ciampino (RM)

Distribuzione ai Geologi iscritti all'Albo  
 delle Marche, al Consiglio Nazionale ed ai  
 Consigli Regionali dei Geologi, agli Ordini  
 e Collegi Professionali delle Marche, agli  
 Enti e Amministrazioni interessati

Gli articoli e le note firmate esprimono  
 l'opinione personale dei loro Autori;  
 gli articoli firmati impegnano pertanto  
 soltanto le responsabilità degli Autori.

In copertina: foto Ordine Geologi Marche  
 Immagini interne: freepik e pexel

Registrato al Tribunale di Ancona  
 con il n° 1564/2008 già 11/08 del 09/05/2008



# GEOLOGI MARCHE

PERIODICO ORDINE DEI GEOLOGI DELLE MARCHE

## Indice

- PAG 5** **Editoriale**  
 DANIELE MERCURI
- PAG 6** **La Mitologia interroga le Pietre**  
 FABIO PALLOTTA
- PAG 8** **Valutazione della pericolosità sismica  
 secondo la normativa del d.M. 17/01/2018**  
 ENZO FRANCHINI
- PAG 18** **Terremoti del 2016 nei Monti Sibillini:  
 un approccio multidisciplinare al rilevamento  
 della fratturazione superficiale cosismica**  
 MARCO MENICHETTI, MATTEO ROCCHEGGIANI,  
 ANDREA TAMBURINI, EMANUELA TIRINCANTI
- PAG 32** **Dubbi Certi**  
 rubrica ironica di recensioni e amenità varie  
 FABIO LATTANZI

## A tutti i lettori:

Un gran saluto a tutti i colleghi,  
 In questa nuova uscita abbiamo coinvolto  
 il Prof. Marco Menichetti dell'Università di  
 Urbino che ci ha proposto un articolo che  
 riguarda l'area segnata dagli eventi sismici  
 del 2016.

Lo scritto del collega Enzo Franchini invece è  
 incentrato sul DM 17/01/2019 con riferimento  
 alla pericolosità Sismica.

Abbiamo reintrodotta la rubrica "Dubbi certi"  
 del Geol. Fabio Lattanzi che ci ripropone,  
 come in passato, degli spunti di lettura e delle  
 pillole di riflessione.

Inoltre abbiamo deciso di attivare una nuova  
 rubrica che non avrà un titolo particolare  
 ma che sarà di volta in volta caratterizzata  
 dal racconto di una "attività" di un collega  
 che non è prettamente legata alla geologia  
 ma che comunque ne parla con un punto  
 di vista originale.

Come primo incontro abbiamo coinvolto il  
 Geol. Fabio Pallotta.

Fabio svolge la professione di geologo  
 dal 1980 ed è stato presidente dell'Ordine  
 dei Geologi delle Marche. Da oltre 20 anni  
 effettua indagini geoaologiche nei più  
 importanti siti storici della Magna Grecia e  
 Libia ed è autore di opere teatrali, fra le quali  
 "Eratosthenes, il volto della Terra" con Michela  
 Costanzi (Monacchi Editore 2011), "Aretusa,  
 Canto delle Acque nelle Metamorfosi  
 (Monacchi Editore 2013), "Altrove" 2015,  
 "Hesperios (Occidentale) (Simple Edizioni ,  
 2018).

Come nella prima uscita desidero sottolineare  
 che la rivista vuole ospitare i contributi dei  
 geologi disponibili a mettere a disposizione  
 la propria esperienza e conoscenza, che  
 vogliono proporre una esperienza lavorativa  
 peculiare, fare una riflessione su un aspetto  
 particolare della nostra professione (sismica,

geotecnica, idrogeologia, geomorfologia,  
 geo-archeologia, ecc) ma potremmo anche  
 pubblicare contributi di chi coltiva passioni  
 geo-escursionistiche, proporre itinerari o solo  
 pubblicare foto con peculiarità geologiche-  
 geomorfologiche con ampie didascalie  
 esplicative.

Per l'invio delle proposte di articoli si prega di  
 far riferimento ai seguenti recapiti:  
 - [ordine@geologimarche.it](mailto:ordine@geologimarche.it)  
 - [geofabiovita@libero.it](mailto:geofabiovita@libero.it)  
 - Geol. Fabio Vita - 339 437 8191

**Fabio Vita**  
 Vice Presidente Ordine dei Geologi delle Marche e  
 Coordinatore Editoriale "Geologi Marche"

Andiamo in profondità, in ogni progetto

## SONDAGGI GEOTECNICI

Carotaggio continuo e prove geognostiche in foro

Prova S.P.T. Standard Penetration Test / Tubo Piezometrico tipo "tubo aperto"  
Tubo Piezometrico tipo "Casagrande" / Tubo inclinometrico / Permeabilità  
(Lefranc) / Down-hole / Misure inclinometriche con Sonda SIGEO



## SONDAGGI AMBIENTALI

Carotaggio continuo a secco, prelievo di campioni  
e messa in opera di strumentazioni in foro

Sondaggi geognostici con carotiere a secco Strumentazione dei  
fori di sondaggio con tubi Piezometrici di vario diametro / Spurghi e prelievi con  
pompa dotata di booster per regolazione di flusso / Installazione di sistemi  
automatici di misura dei livelli piezometrici



## PROVE PENETROMETRICHE

Statiche, dinamiche ed elettriche

Prove penetrometriche statiche con punta meccanica Begemann (CPT)  
Prove penetrometriche dinamiche anche con rivestimento (DPSH)  
Prove penetrometriche elettriche con piezocono (CPTU) / Prelievo di campioni  
indisturbati con campionatore semplice Shelby / Perforazione muratura per  
drenaggi o saggi esplorativi con carotatrice Hilty



## INDAGINI SISMICHE

H.V.S.R. sismica passiva / M.A.S.W.



## INDAGINI CON TERMOCAMERA

Verifiche non distruttive



## Editoriale

a cura di **DANIELE MERCURI**,  
 Presidente Ordine dei Geologi delle Marche  
 e Direttore Responsabile "Geologi Marche"

Bentrovati!

E' per me un grande onore presentarmi ufficialmente in questo nuovo ruolo: quello di Presidente del nostro Ordine, neo eletto dal Consiglio il cui Direttivo è stato così rimodulato:

**Presidente:** Daniele Mercuri

**Vice Presidente:** Fabio Vita

**Segreteria:** Cinzia Marucci

**Tesoriere:** Michele Gliaschera

Raccolgo un'eredità importante, ovvero il lavoro proficuo ed apprezzato di Piero Farabollini, impegnato da quasi un anno in qualità di Commissario Straordinario del Governo per la Ricostruzione nei territori interessati dal sisma del 24 agosto 2016.

La raccolgo in un momento, a mio avviso, importante e cruciale per la nostra amata professione. Come tutte le libere professioni viviamo, da parecchi anni oramai, un periodo difficile dal punto di vista lavorativo ed anche economico; non sempre le nostre competenze sono giustamente valorizzate e la nostra dignità professionale riconosciuta come imprescindibile diritto.

Tuttavia, proprio gli ultimi eventi calamitosi hanno dimostrato che la conoscenza del nostro territorio/sistema è fondamentale per una ricostruzione efficace e più sicura ed in questo contesto il ruolo della Geologia e del Geologo è indispensabile ed imprescindibile.

Dobbiamo però, tutti insieme, contribuire al fine di assicurare un futuro alla nostra professione ritrovando lo spirito, il carisma, la preparazione e la professionalità dei nostri colleghi che negli anni passati hanno 'lottato' affinché fosse ufficialmente riconosciuta la professione del

Geologo. Dobbiamo farlo in ogni ambito ed in ogni momento, quando ci relazioniamo con gli altri professionisti, quando siamo in mezzo alla gente, quando svolgiamo il nostro lavoro e soprattutto quando partecipiamo ai numerosi bandi pubblici, troppo spesso caratterizzati da ribassi imbarazzanti.

L'impegno del Consiglio lo portiamo avanti senza sosta e con determinazione, nei vari tavoli istituzionali e nelle riunioni dove sono presenti i Presidenti di tutti gli Ordini Professionali.

A tal proposito, attualmente siamo impegnati, con il Tesoriere Michele Gliaschera ed il Vice Presidente Fabio Vita, nel Tavolo di lavoro della Regione Marche costituito per la discussione di proposte di legge per il riconoscimento dell'equo compenso e per le norme in materia di tutela delle prestazioni professionali per attività espletate per conto dei committenti privati e di contrasto all'evasione fiscale.

Credo sia importante ribadire non solo l'importanza che ricopre la nostra professione, come sopra scritto, ma anche riscoprirne il fascino e la bellezza che solo la Geologia sa regalare, aspetti questi ultimi non sempre valorizzati ma che riscopriamo vivi ogni qualvolta siamo coinvolti, come Ordine o professionisti, in iniziative presso scuole e/o escursioni, molto partecipate ed apprezzate.

Trasferire le nostre parole su carta stampata, ci rende artefici privilegiati della "creazione" in toto di un prodotto da toccare, conservare e collezionare di altissimo profilo.

Buona lettura dunque con l'auspicio, mio personale, di riuscire ad ascoltare le esigenze di tutti e a veicolarle al meglio nell'interesse del nostro ordine.

**Daniele Mercuri**

### Informazioni utili:



#### ORARIO ESTIVO SEGRETERIA

Si informa che nel periodo estivo la segreteria seguirà il seguente orario:

**martedì e giovedì**  
**ore 10.00 - 12.00**

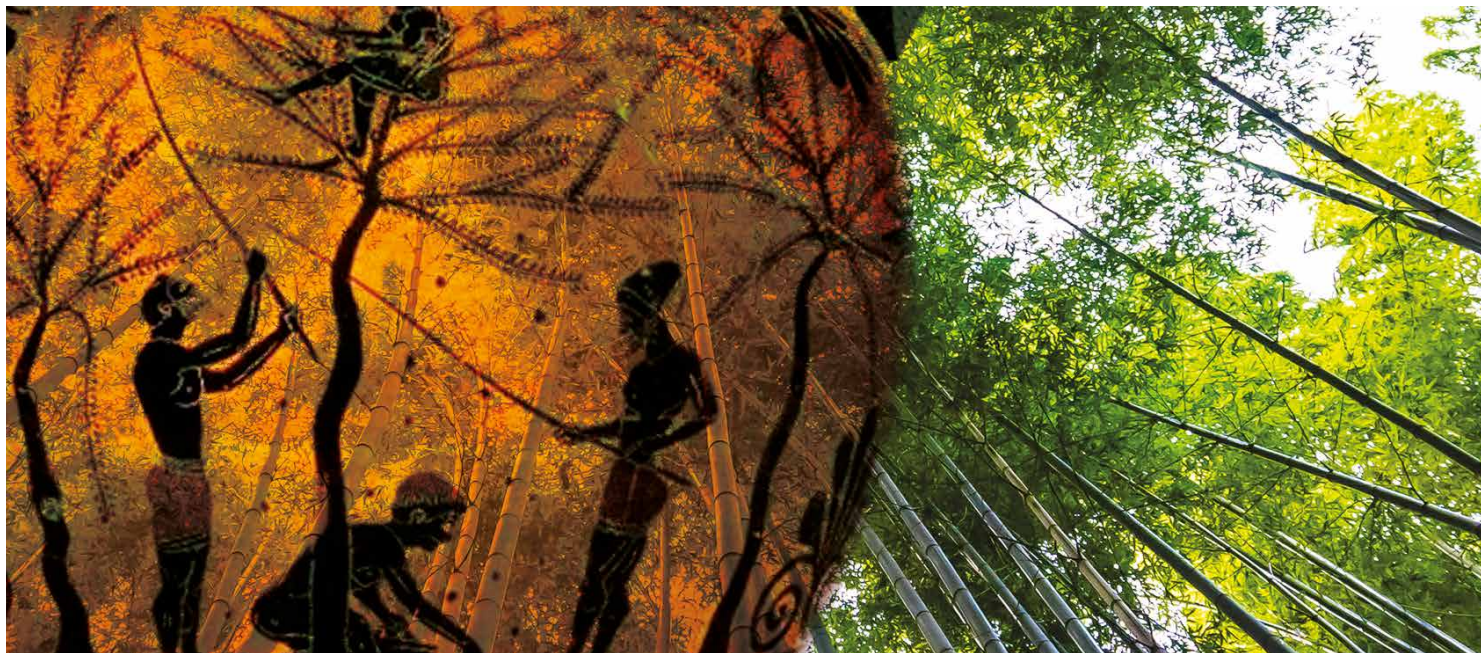
Chiusa il 30 luglio, 13 e 15 agosto 2019



#### ON LINE

L'Ordine dei Geologi delle Marche è lieto di consegnare ai propri iscritti un elenco comprensivo di tutte le informazioni geologiche e cartografiche disponibili online per la gestione del territorio marchigiano. Questo strumento avrà il compito di semplificare le fasi di ricerca bibliografica ed implementare il livello di approfondimento nei vari casi di studio.

[www.geologimarche.it/wp-content/uploads/2019/05/Strumenti-per-la-gestione-del-territorio\\_v1.pdf](http://www.geologimarche.it/wp-content/uploads/2019/05/Strumenti-per-la-gestione-del-territorio_v1.pdf)



## La Mitologia interroga le Pietre

a cura di **FABIO PALLOTTA**, *Geologo*

Ragionando sulla Geologia, penso alla Storia; logicamente anche a quella dell'Uomo.

È la nostra compagna di vita: l'innata ispirazione che ci fa meravigliare ogni giorno dell'Arte della Natura; è sentimento, la consapevolezza avvertita da chi concepisce il mondo come immobile, una proprietà privata.

Sì, come gli antichi Greci ci occupiamo proprio dell'Arte della Natura, adoperando gli strumenti delle "Scienze della Terra"; tutto, per far parlare e talvolta far cantare la poesia nascosta in quella parte muta, la più muta della Storia, sapendo di porre domande alle pietre, alle acque, al paesaggio.

Così la ricerca - nell'incerto - porta dentro sé l'ansia, con la quale conviviamo trasferendola nel fertile impegno e nei tanti stimoli di chi si occupa dei mutamenti della litosfera; e dalla misura del passato cerchiamo di immaginare il futuro in ogni parte del mondo...

Il geologo è, per propria vocazione, un sognatore di suolo e di sottosuolo, di fiume, di dune e lagune, di montagna e di mare. Il "Divenire della Terra" condiziona l'amore per la semplice complessità delle Cose della Natura, che da sempre dominano la Storia degli Uomini; e dal contatto con queste emozioni facilmente nasce il racconto, la musica, il teatro.

Ma come è nato l'interesse per la geo-archeologia?

Nutro grande interesse per l'Antropologia; e proprio la geo-archeologia, che ho praticato nei più importanti siti storici del mediterraneo, rappresenta un valido metodo scientifico per comprendere e definire l'inscindibile legame fra le antiche opere dell'uomo ed il paesaggio storico con le sue geo-risorse.

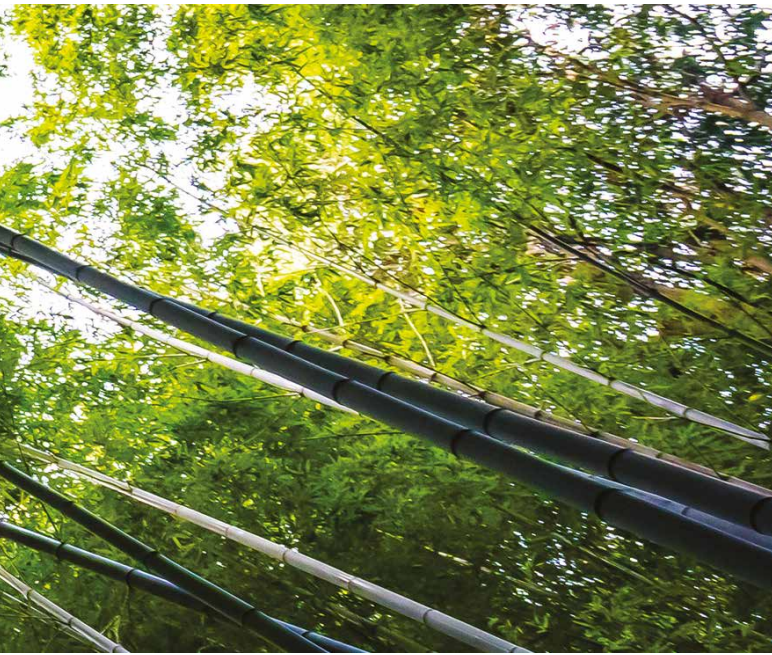
Nello studio dell'Antropogene, ed in particolar modo degli ultimi 50mila anni (cioè dall'avvento delle arti figurative, nella Protostoria), il ruolo del geologo si pone all'avanguardia con metodi di analisi comparativa ed emerge protagonista per il raggiungimento degli obiettivi scientifici.

Sappiamo che gli storici si occupano di Storia acquisendo notizie da fonti storiche, cioè dai testi che trattano i "fatti"; gli archeologi si occupano di Storia attraverso l'analisi diretta delle tracce lasciate dalle civiltà antiche (monumenti, impianti urbanistici, prodotti artistici ed industriali messi alla luce da scavi sistematici); i geologi, invece, si occupano della Grande Storia (quella del pianeta Terra) ma anche, nel particolare, della ricostruzione del paesaggio dove vivevano e prosperavano le civiltà del passato. La geo-archeologia ci permette di individuare quelle anomalie geomorfologiche e geofisiche presenti nel territorio, molto spesso ascrivibili alle antiche opere molto nascoste dell'uomo.

È doverosa una considerazione: sappiamo che la Storia è prodotta da una successione di eventi realmente accaduti. Ora, le testimonianze "umane sul fatto accaduto" riportate da fonti storiche, cioè quelle assunte solo dalla bibliografia, spesso risultano lacunose e parziali, e così la verità potrebbe confondersi o addirittura perdersi per sempre; mentre le testimonianze naturali non mentono! la natura mantiene sempre la traccia, l'indizio del fatto accaduto. Così, proprio la nostra filosofia di studio, attraverso le tecniche di indagine proprie delle Scienze della Terra, ci permette di ottenere incredibili risultati in archeologia.

e l'amore per gli antichi Greci? ....  
proprio dallo studio affascinante dei primi filosofi Greci fiorisce la Geologia!





“COME GLI ANTICHI GRECI  
CI OCCUPIAMO PROPRIO  
DELL'ARTE DELLA NATURA”

Il “logos” degli antichi Greci nacque dall’attenta osservazione dei fenomeni della natura; dalla mitologia, si passa quindi, consapevolmente, alla geologia ed alla cosmologia, per cercare di dare risposte alle regole della natura ed a quelle degli uomini: nasce così nel Mediterraneo il “Pensiero Occidentale”.

“Pitagora di Samo concepì il disco lunare “terroso”, non luminoso ma illuminato che, nell’ordinato orbitare, copre per un momento il sole alla nostra vista e cala improvvisamente la notte, ma quando è giorno! Dal filosofo Talete di Mileto: l’Universo è intelligibile e la Terra dove viviamo è una sfera.

Talete l’osservatore, come Eraclito, si occupò delle scienze naturali, identificando nell’acqua il principio delle cose. Oppure l’astronomia si fonde con la geometria in Aristarco di Samo, detto il Fisico, che sostenne che è il sole al centro del Cosmos e la terra e tutti i pianeti su orbite proprie gli ruotano attorno. Ipotesi sostenuta da Archimede di Siracusa che concepì la sfericità degli astri generata dalla forza di gravità, posta al centro dei corpi; sua è la teoria degli “oceani sul globo” perché è nella sfera che la massa liquida trova riposo; Empedocle interroga l’officina di Efesto..., quindi il fondatore della “Geo-Grafia” e della Climatologia: Eratostene, che esattamente misurò, stando fermo, il cerchio massimo della sfera terrestre! Così, pose sopra la proporzionata sfera il giusto tramaglio delle longitudini e latitudini: ecco, 2300 anni fa, il primo sistema di localizzazione assoluta GPS di tutti i luoghi conosciuti della terra! quindi la mappa dell’ecumene e delle fasce climatiche. Una Carta Geografica unica, in quanto vera e leggibile da tutti.

E questa non è Arte? non è una meravigliosa rappresentazione scenica? Le origini e l’identità del pensiero sulla Geologia! Sono messaggi illuminati da trasmettere ai giovani, anche attraverso

la poesia ed il teatro, come le radici delle parole greche che trasformavano la materia in suono.

Allora, alla classe politica che periodicamente ci pone sempre le stesse domande sui terremoti, sulle glaciazioni, sui vulcani, sulle inondazioni ... risponderemo con le stesse parole adoperate 24 secoli fa dal filosofo Aristotele di Stagira: “Il Divenire della Terra è un eterno ritorno degli stessi fenomeni!” ... Ora, in più, abbiamo i fenomeni umani.



## Valutazione della pericolosità sismica secondo la normativa del d.M. 17/01/2018 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Il presente lavoro è stato approntato nell'estate 2018 e per varie cause è slittato sino ad oggi. Nel frattempo a gennaio è stata pubblicata la circolare esplicativa della quale si è preso brevemente atto, ma sulla quale penso si dovrà ritornare.

a cura di ENZO FRANCHINI, Geologo

Nel 2018 è stato pubblicato l'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni, in base al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17 gennaio 2018, in sostituzione delle precedenti norme del 2008.

Al decreto del 2018 è seguita la Circolare del 21/01/2019 n. 7 del C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 17/1 gennaio/2018, pubblicata sul Supplemento ordinario n. 5 della Gazzetta Ufficiale dell'11/02/2019.

Tale circolare applicativa, successiva a quella del 2009 che si riferiva alle NTC 2008, non cambia l'impianto originario espositivo che rimane conforme alle norme tecniche e si distingue come corpo specifico dalle corrispondenti richiamate, per essere i capitoli e i paragrafi, preceduti dalla sigla C.

Le norme delle NTC 2018 sono composte da due parti: una costituita dal decreto, comprensiva di tre articoli ed un allegato di 12 capitoli, ed una dalla suddetta circolare esplicativa pubblicata di recente.

Nell'applicazione delle norme è stato previsto un periodo transitorio, distinto per opere pubbliche e private.

Secondo gli stati di avanzamento dei progetti, le vecchie norme NTC 2008 sono ancora applicabili alle opere pubbliche solo per quei progetti affidati e contratti firmati che si concludono entro cinque anni dalla data di entrata in vigore delle nuove NTC, cioè entro marzo 2023.

Per le opere private invece, le cui parti strutturali sono ancora in corso di esecuzione o per le quali, prima dell'entrata in vigore delle nuove NTC sia stato depositato il progetto esecutivo, si

possono continuare ad applicare le vecchie NTC 2008 fino alla fine dei lavori e al collaudo statico.

Tra le principali novità introdotte dalle NTC 2018 ci sono le modificazioni per gli interventi di adeguamento sismico degli edifici esistenti, linee guida per l'uso di nuovi materiali e prodotti per utilizzo strutturale, modifiche dei fattori di struttura per gli edifici in muratura; in geotecnica, l'impiego sistematico nelle verifiche di portata di fondazioni superficiali e profonde e dei muri di sostegno, dell'Approccio 2 lasciando l'Approccio 1 per tutte le altre opere interagenti con il terreno (paratie, opere in sotterraneo) <sup>(2)</sup>; Appendici agli Eurocodici (attese) <sup>3</sup>.

Tra le particolarità della Circolare del 21/01/2019 più vicine alle problematiche geologiche va senz'altro segnalato l'ampio spazio dato nel capitolo C6 alla Progettazione Geotecnica che si snoda attraverso la partizione C6.2-Articolazione del progetto, il §C6.2.1-Caratterizzazione e modellazione geologica del sito, il §C6.2.2 Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica, il §C6.2.2.1-Indagini e prove geotecniche in sito, il §C6.2.2.2-Prove geotecniche di laboratorio, il §C6.2.2.3-Caratterizzazione e modellazione geotecnica, il §C6.2.2.4-Valori caratteristici dei parametri Geotecnici, il §C6.2.2.5-Relazione geotecnica.

Va anche segnalato il capitolo C2-Sicurezza e Prestazioni attese che torna sul concetto di vita nominale di progetto di un'opera e di classi d'uso e che riporta al §C2.4.3 la Tab. C2.4.1 riguardante i valori del periodo di riferimento  $V_R$  per l'azione sismica corrispondenti ai valori di vita nominale  $V_N$ .

Il capitolo C7 tratta poi diffusamente la progettazione in presenza di azioni sismiche; il §C7.2.3 approfondisce il quadro delle prescrizioni contenute nelle NTC 2018, in particolare in



“PRINCIPALI NOVITÀ  
 INTRODOTTE DALLE NTC 2018”

merito agli obblighi ed alle responsabilità relativamente alla progettazione degli elementi non strutturali e il §C7.3.1 *Analisi lineare o non lineare* argomenta in particolare in relazione alla correzione alla limitazione delle accelerazioni sismiche di domanda apportate dall'utilizzo di un fattore di comportamento  $q$ ; al §C7.3.3.2, a proposito dell'*analisi lineare statica*, viene proposta la possibilità di utilizzo in prima approssimazione della formulazione per la valutazione del periodo del primo modo di vibrare della struttura già presente nelle NTC 2008, cioè  $T=C_1 \cdot H^{0.4}$ .

Entrando più specificatamente nell'argomento che si vuole trattare, si può iniziare col dire che per pericolosità sismica in un sito possiamo intendere il livello di scuotimento del suolo associato al verificarsi di un terremoto, valutato sulla base di una analisi probabilistica.

Le NTC stabiliscono che è possibile valutare gli effetti che la situazione litostratigrafica e morfologica locale ha sul terremoto, o mediante un modello semplificato monodimensionale - ricorrendo particolari condizioni geofisiche e litostratigrafiche emergenti da una adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni - ovvero con un modello che richiede analisi più rigorose (capitolo 7.11-capitolo C6) e da ritenere prassi preferenziale, qualora sia necessario aumentare il grado di accuratezza con cui definire l'azione sismica in superficie.

La valutazione della pericolosità sismica nell'approccio semplificato costituisce probabilmente l'impegno minimo che si richiede al geologo in campo sismico e di questo si vuole discutere in particolare nel prosieguo.

Nelle NTC 2018 dopo la *Premessa* e l'*Oggetto*, viene subito fatto riferimento nel *Capitolo 2*, alla sicurezza e prestazioni

delle opere, le quali debbono essere valutate in relazione agli *stati limite* che si possono verificare durante la *vita nominale*  $V_N$  di progetto.

Lo *stato limite* è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze che vengono precisate nelle norme in oggetto.

I valori minimi della *vita nominale di progetto*  $V_N$  vengono indicati nella **Tab. 2.4.1**.

Tab. 2.4.1 - Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Al §C2.4.1 la circolare al punto 1 aggiunge ... e quelle in fase di costruzione.

I principali *Stati Limite Ultimi (SLU)* e *Stati Limite di Esercizio (SLE)* sono richiamati ai punti § 2.1, 2.2.1, 2.2.2, 3.2.1, e in relazione alla specificità delle opere in presenza di azioni sismiche, comprendono gli *Stati Limite di salvaguardia della vita (SLV)*, gli *Stati Limite di prevenzione del Collasso (SLC)*, gli *Stati Limite di Operatività (SLO)* e gli *Stati Limite di Danno (SLD)*.

Al *Capitolo 3, Azioni sulle Costruzioni*, § 3.2, *Azione sismica*, viene precisato che le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite, si definiscono a partire dalla "*pericolosità sismica di base*" del sito di costruzione e sono funzione anche delle caratteristiche morfologiche-topografiche e

Tab. 2.4.2 - Classi d'uso

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite

<b>Classe I:</b>	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
<b>Classe II:</b>	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
<b>Classe III:</b>	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricade in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
<b>Classe IV:</b>	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/200, n. 6792, "Norme funzionali geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

stratigrafiche locali in quanto in grado di influire sulla risposta sismica.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero sul sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2) nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$  con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  (§ 3.2.1) nel periodo di riferimento  $V_R$  (§ 2.4).

In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area di costruzione.

Le forme spettrali con cui si rende esplicita la pericolosità sismica in un sito, sono determinabili per ciascuna probabilità di superamento  $P_{VR}$  dell'entità dell'evento sismico nel periodo di tempo di riferimento  $V_R$ , a partire dai valori riscontrabili sul sito di riferimento rigido orizzontale, relativamente ai seguenti parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- $T^*_C$  valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

I valori  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*_C$  sono rintracciabili sulla base della localizzazione geografica del sito espressa in coordinate ED50 (4) possibile tramite la consultazione degli Allegati A e B al D.M. del 14/01/2008 presenti nella vecchia normativa, ovvero come è consuetudine, tramite programmi in internet che li acquisiscono ai nodi di una rete nazionale a maglie di lato circa 5 km, all'interno delle quali ricade il punto del sito e li restituiscono interpolati e ponderati sul punto, con superficie rigata o per media pesata (o coincidenti con i valori del nodo nel caso che il punto coincida con esso!).

La probabilità di superamento  $P_{VR}$  dell'azione sismica nel periodo  $V_R$  è definita dallo stato limite considerato ed è indicata nella tabella Tab. 3.2.1.

<sup>2</sup> L'Approccio 2 consente la verifica sia geotecnica (GEO) che strutturale (STR) in modo unico. La verifica di stabilità globale di muri e di stabilità dei pendii viene eseguita come già nelle NTC 2008, con l'Approccio 1- Combinazione 2 o A2+M2+R2, con i coefficienti parziali riportati in Tab. 6.2.1, 6.5.1.

<sup>3</sup> I DAN (Documento Applicativo Nazionale), appendici nazionali agli eurocodici sono state emanate con Decreto in data 31 luglio 2012, pubblicati in Gazzetta Ufficiale in data 27 marzo 2013, n. 21.

<sup>4</sup> L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, INGV, reperibile all'indirizzo <http://esse1-gis.mi.ingv.it> fornisce la pericolosità sismica di base intesa in senso probabilistico, cioè lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo (o periodo di ritorno). Si può pertanto ricavare l'accelerazione orizzontale massima  $a_g$  nelle condizioni di sito di riferimento rigido con superficie orizzontale (categoria A) e dei parametri associati, sulla base di dati geofisici indicati ai nodi (10.751, escludendo le isole) di un reticolo nazionale di riferimento a maglie di lato minore di 10 km (passo 0,05°; possibile per l'INGV anche di lato circa 5 km con passo 0,02°) fornendo le coordinate ED50 del punto.

<sup>5</sup> Categoria di sottosuoli nelle NTC 2008 (a cui erano aggiunte le categorie S1, S2)

Tab. 3.2.II - Categorie di sottosuolo

Cat.	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa $C_{u,30} > 200$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < kPa$ nei terreni a grana fina).
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $C_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20m, posti sul substrato di riferimento (con $V_S > 800$ m/s).

Tab. 3.2.II - *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
<b>A</b>	<b>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</b> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3m.
<b>B</b>	<b>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</b> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
<b>C</b>	<b>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</b> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
<b>D</b>	<b>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</b> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
<b>E</b>	<b>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</b> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tab. 3.2.I - *Probabilità di superamento  $P_{VR}$  in funzione dello stato limite considerato*

Stati limite di esercizio	$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$	
	SLO	81%
Stati limite ultimi	SLD	63%
	SLV	10%
	SLC	5%

Se la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio è di prioritaria importanza, i valori  $P_{VR}$  forniti in tabella possono venire ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

Il periodo di ritorno  $T_R$  del sisma è valutabile per ciascun stato limite e relativa probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  attraverso la relazione

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) = -C_U / \ln(1 - P_{VR}) \quad (\S 3.2.1)$$

dove  $C_U$  è il coefficiente d'uso associato alla classe d'uso, riportato nella **Tab. 2.4.II**.

Tab. 2.4.II - *Valori del coefficiente d'uso  $C_U$*

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Per costruzioni a servizio di attività a rischio di incidente rilevante si adatteranno valori di  $C_U$  anche superiori a 2 in relazione alle conseguenze sull'ambiente e sulla pubblica incolumità determinate dal raggiungimento dello stato limite.

Le classi d'uso sono definite al § 2.4.2 e al § C2.4.2 (dove per le classi III e IV si richiama anche quanto specificato nel *Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 3685 del 21 ottobre 2003*).

La *circolare del 21/1/2019*, nei riguardi del periodo di riferimento per l'azione sismica  $P_{VR}$ , fornisce al §C2.4.3 la **Tab. C.2.4.I** che individua le "frontiere" di  $V_R$  tra i tre tipi di costruzione in causa come definite alla **Tab.2.4.I** (1-Costruzioni temporanee e provvisorie ...; 2-Costruzioni con livelli di pericolosità ordinari; 3-Costruzioni con livelli di pericolosità elevati).

Tab. C2.4.I - *Intervallo di valori attribuiti a  $V_R$  al variare di  $V_N$  e  $C_U$*

VITA NOMINALE $V_N$	VALORI DI $V_R$			
	CLASSE D'USO			
	I	II	III	IV
$\leq 10$	35	35	35	35
$\geq 50$	$\geq 35$	$\geq 50$	$\geq 75$	$\geq 100$
$\geq 100$	$\geq 70$	$\geq 100$	$\geq 150$	$\geq 200$

Per procedere nella definizione dell'azione sismica di progetto e nella valutazione della risposta sismica locale, le *NTC 2018* fanno presente come si è già accennato, che il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle condizioni stratigrafiche del sottosuolo e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei terreni e degli ammassi rocciosi di cui è costituito.

Si tratta dunque di definire alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, le modifiche che il segnale sismico di ingresso subisce a causa dei suddetti fattori locali, onde per cui è richiesta una adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, le quali vanno determinate mediante specifiche indagini e prove da condurre con modalità indicate, tali da fornire una caratterizzazione geotecnica ai fini sismici che consenta la progettazione, l'analisi e la verifica dell'opera (§ 7.11).

In alternativa (§ 3.2.2), qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie di sottosuolo definite nella **Tab. 3.2.II**, si può fare riferimento ai fini della valutazione dell'azione sismica di progetto, ad un approccio semplificato (quello come detto, di cui ci si sta interessando in modo più diretto) che si basa principalmente sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità delle onde sismiche di taglio  $V_S$ .

La tabella delle categorie di sottosuolo (la cui specificazione delle "Caratteristiche" è chiaramente errata per un refuso) costituisce una delle novità in quanto non coincide con l'omologa tabella riportata nelle *NTC 2008*.<sup>(5)</sup>

Sono scomparse le categorie S1 e S2 e i riferimenti per la classificazione a valori di coesione non drenata  $c_u$  e a prove penetrometriche dinamiche  $N_{SPT}$ ; il solo indicatore caratterizzante il sottosuolo è la velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio  $V_S$  e della velocità equivalente  $V_{s,eq}$ ; scompare l'aggettivo "graduale" che qualificava il "miglioramento" delle proprietà; nella categoria D viene indicato il limite inferiore di velocità di 100 m/s (per terreni con velocità <100 m/s sono necessarie indagini specifiche di risposta locale); la categoria E è presente con una nuova identificazione.

Rimane possibile tuttavia il ricorso in subordine, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, a

correlazioni empiriche “di comprovata affidabilità” (§ 3.2.2) con citazione che le *NTC* limitano a prove penetrometriche dinamiche o statiche e che la circolare esplicativa generalizzando, raccomanda vengano impiegate senza limitarsi comunque all’uso di un singolo modello empirico al fine di consentire una stima dell’incertezza legata al carattere regionale di tali correlazioni e alla conseguente elevata dispersione dei relativi dati sperimentali.

I valori dei parametri meccanici necessari per condurre una analisi di risposta sismica locale o per risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio, debbono derivare dalla caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, intendendo questo come al § 6.2.2, quella parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso.

La velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  si ricava (§ 3.2.2) con una formulazione definita dalla espressione [3.2.1] sotto riportata e che riguardo la profondità  $H$ , va intesa in modo abbastanza diverso rispetto la precedente indicata nelle *NTC 2008*, nella quale era considerata in ogni caso un valore  $H=30\text{ m}$ .

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad (3.2.1)$$

- $h_i$  spessore dell’i-esimo strato;
- $V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;
- $N$  numero di strati;
- $H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s .

<sup>6</sup> La risposta sismica locale di un deposito è in effetti il risultato che si ottiene con le diverse tecniche utilizzate per superare le difficoltà di costruire un modello il più vicino possibile alla situazione reale. Non esiste un modello universalmente valido e sempre applicabile; per cui a seconda delle condizioni di semplificazione adottate si parla di modelli monodimensionali, bidimensionali, tridimensionali, modelli analitici, modelli numerici, modelli lineari, lineari equivalenti, non lineari, elasto-plastici... Tutti i modelli per quanto distinti, intendono risolvere la determinazione di quelle modifiche in termini di ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un segnale sismico (espresso nel dominio del tempo sotto forma di accelerazioni, velocità o spostamenti, o nel dominio della frequenza come spettro di Fourier) in arrivo alla base di un deposito, subisce nel suo attraversamento fino a raggiungere la superficie. Di fatto tuttavia non viene mai utilizzato nei modelli il moto sismico alla base del deposito ma quello sulla medesima roccia o terreno affioranti per cui si dovranno adattare i risultati alle diverse condizioni esistenti al contorno. Se ci si limita ai modelli lineari, per valutare la risposta in superficie si utilizza una funzione di trasferimento (o più impropriamente di amplificazione) di natura molto complessa. Essa serve ad indicare per esempio quali sono le componenti del moto sismico che nell’attraversare il deposito sono maggiormente modificate e in particolare amplificate o attenuate. Assumono importanza in questa operazione le condizioni geotecniche rappresentate dai valori della densità e della velocità delle onde  $S$  caratteristici del terreno e del substrato, rappresentati rispettivamente da  $\rho_s$ ,  $V_{Ss}$ , e da  $\rho_r$ ,  $V_{Sr}$  e dal rapporto di smorzamento  $D$ . Un parametro che riassume sinteticamente per ciascuno strato tali proprietà è l’impedenza sismica, definita come prodotto tra la densità dello strato  $\rho$  e la velocità delle onde  $S$ ,  $V_s$  ed è con essa che si determina il rapporto di impedenza sismica  $Rl$  tra il substrato e il terreno sovrastante, espresso da  $Rl = \rho_r \cdot V_{Sr} / (\rho_s \cdot V_{Ss})$ .

<sup>7</sup> Qualora le verifiche agli stati limite ultimi non vengano effettuate tramite l’uso di opportuni accelerogrammi ed analisi dinamiche al passo, le capacità di dissipazione energetica delle strutture rispetto al sisma possono essere messe in conto in modo semplificato (dovrà risultare comunque  $Se(T) > 0,2a_g$ ) sostituendo nelle formule  $\eta$  con  $1/q$  dove  $q (>1)$  è il fattore di comportamento o di struttura che sintetizza in qualche modo queste capacità (valutato attraverso considerazioni che si sviluppano per tutto il Capitolo 7 e che si aggiungono a quelle dei Capitoli 4, 5, 6, e dove si parla di analisi lineare, analisi non lineare, analisi dinamica, analisi statica, comportamento strutturale statico dissipativo, comportamento statico strutturale non dissipativo...). In questo caso si parla di spettro di progetto che pertanto è quello con il quale si risale a forze sismiche di progetto ridotte, corrispondenti ad un livello di plasticizzazione (e di conseguente duttilità) compatibile con la sopravvivenza della struttura.

Si può notare infatti che la profondità  $H$  del substrato rigido (denominato usualmente anche *bedrock*) viene ora identificata per essere quella oltre la quale si ha “ $V_s$  non inferiore a 800 m/s”, per cui può risultare per il calcolo, un qualunque valore non superiore a 30 m (fermo restando che la categoria *A* può essere assegnata anche quando il *bedrock* sia sottostante ad uno spessore di materiale scadente  $\leq 3m$ ).

Viene chiarito poi al riguardo che se il substrato sismico è a profondità maggiore di 30 m, entrano nella formula solo gli strati che si succedono entro i primi 30 m di spessore e si parla di nuovo di velocità  $V_{s,30}$  con  $H=30\text{ m}$ .

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta della fondazione, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla loro testa; nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell’opera, se invece si tratta di muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione (§ 3.2.2).

Va precisato che l’approccio semplificato richiede per la sua applicazione alcune condizioni, quali uno schema a terreno uniforme o a stratificazione orizzontale, il miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità, che non si verifichino casi di inversione di velocità, che non ci siano contrasti di impedenza significativi e che dal punto di vista delle tipologia delle costruzioni, che appartengano alle classi d’uso I e II (<sup>6</sup>). Nel mentre emerge in ogni caso la necessità di una accurata

conoscenza del modello geologico, si comprende anche la poca flessibilità tutto sommato che si ha nel ricorso al modello semplificato.

Le *NTC 2018* al § 3.2.3.1 fanno presente che l'azione sismica è ritenuta caratterizzata da tre componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da  $X$  e  $Y$  ed una verticale contrassegnata da  $Z$ , da considerare tra loro indipendenti.

Salvo quanto specificato al § 7.11 la componente verticale verrà considerata ove espressamente specificato (*Capitolo 7*) e purché il sito dove sorge la costruzione sia caratterizzato da una accelerazione al suolo come definita al § 3.2.3.2, pari a  $a_g \geq 0,15 g$ .

Le componenti possono essere descritte in funzione del tipo di analisi adottata mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- accelerazione massima in superficie
- accelerazione massima e relativo spettro di risposta in superficie
- storia temporale del moto di terreno.

Le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale sono caratterizzate dallo stesso spettro di risposta o dalle componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico.

La componente che descrive il moto verticale è caratterizzata dal suo spettro di risposta o dalla componente accelerometrica verticale.

In mancanza di documentata informazione specifica, in via semplificata, l'accelerazione massima e lo spettro di risposta della componente verticale attesa in superficie possono essere determinati sulla base dell'accelerazione massima e dello spettro di risposta delle due componenti orizzontali.

La componente accelerometrica verticale può essere ricavata correlandola alle componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico.

La definizione degli spettri di risposta elastici e degli spettri di risposta di progetto viene conseguita con modalità che vengono indicate a partire dal § 3.2.2, qui appresso sintetizzate.

Lo *spettro di risposta elastico in accelerazione* del terreno viene espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5% moltiplicata per il valore dell'accelerazione orizzontale massima  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale; sia la forma spettrale che il valore di  $a_g$ , variano al variare delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ .

Lo spettro sismico è una funzione  $S_e(T)$  convenzionalmente definita che rappresenta come varia l'accelerazione spettrale normalizzata al variare del periodo di oscillazione  $T$ .

Gli spettri così definiti possono essere utilizzati per strutture con periodo fondamentale  $T$  minore o uguale a 4 s.

La curva rappresentativa della funzione  $S_e(T)$  è formata da quattro rami.

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti

orizzontali è definito al paragrafo § 3.2.3.2.1 con le seguenti espressioni (alla *Newmark-Hall, 1982*) relative ad ognuno dei rami che lo compongono:

$$\begin{aligned} \text{per } 0 \leq T < T_B &\longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S^* \cdot \eta \cdot F_o \cdot [(T/T_B) + (1 - T/T_B) / (\eta \cdot F_o)] \\ \text{per } T_B \leq T < T_C &\longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S^* \cdot \eta \cdot F_o \\ \text{per } T_C \leq T < T_D &\longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S^* \cdot \eta \cdot F_o \cdot T_C / T \\ \text{per } T_D \leq T (\leq 4 \text{ s}) &\longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S^* \cdot \eta \cdot F_o \cdot (T_C \cdot T_D / T^2) \end{aligned}$$

dove

$a_g$  è l'accelerazione di progetto attesa per il terreno del substrato rigido o categoria di sottosuolo di tipo *A* (già introdotta nella esposizione, come anche  $F_o$  e  $T^*_{c,d}$ )

$S$  è il fattore che tiene conto della categoria del sottosuolo relativamente alla profondità  $H$ , e delle condizioni topografiche (pari a  $S = S_S \cdot S_T$ , con  $S_S$  coefficiente di amplificazione stratigrafica ricavabile dalla tabella 3.2.IV e  $S_T$  coefficiente di amplificazione topografica ricavabile dalle tabelle 3.2.III, 3.2.V)

$F_o$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale ed ha valore minimo pari a 2,2

$T_c$  è il periodo (in s) corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro dato da  $T_c = C_c \cdot T^*_{c,d}$  ( $T^*_{c,d}$  è il valore di riferimento in s per la determinazione di  $T_c$ , e  $C_c$  è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo ricavabile dalla **Tab.3.2.IV**)

$T_B$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante, pari a  $T_c/3$  s

$T_D$  è il periodo a partire dal quale la funzione spettrale è tale da produrre uno spostamento costante, ed è pari a  $T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$  s ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ )

$\eta = [10 / (5 + 100 \xi)]^{0,5} \geq 0,55$  è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali diversi da  $\xi = 5\%$ , impiegabili sulla base dei materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione (<sup>7</sup>)

Lo spettro della componente verticale  $S_{ve}$  si calcola in modo analogo a quello della componente orizzontale, con le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} \text{per } 0 \leq T < T_B &\longrightarrow S_{ve}(T) = a_g \cdot S^* \cdot \eta \cdot F_v \cdot [(T/T_B) + (1 - T/T_B) / (\eta \cdot F_o)] \\ \text{per } T_B \leq T < T_C &\longrightarrow S_{ve}(T) = a_g \cdot S^* \cdot \eta \cdot F_v \\ \text{per } T_C \leq T < T_D &\longrightarrow S_{ve}(T) = a_g \cdot S^* \cdot \eta \cdot F_v \cdot T_C / T \\ \text{per } T_D \leq T (\leq 4 \text{ s}) &\longrightarrow S_{ve}(T) = a_g \cdot S^* \cdot \eta \cdot F_v \cdot (T_C \cdot T_D / T^2) \end{aligned}$$

dove  $T$  è il periodo proprio di vibrazione in direzione verticale,  $F_v$ , il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot (a_g / g)^{0,5}$$

e

$$S = S_S \cdot S_T$$

$$S_S = 1, T_B = 0,05 \text{ s}, T_C = 0,15 \text{ s}, T_D = 1 \text{ s} \text{ (Tab.3.2.VI)}$$

Per le condizioni topografiche, in assenza di specifiche analisi si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati in **Tab. 3.2.V**.

Il coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$  è calcolabile in funzione dei parametri  $F_o$ ,  $a_g$ ,  $g$  e in relazione alla categoria di sottosuolo, secondo la **Tab. 3.2.IV**.

Tab. 3.2.IV – Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  assume valori  $S_T=1$  in zone pianeggianti o poco inclinate e sale per i rilievi con inclinazione del versante superiore a  $15^\circ$ , a  $S_T=1,2$ , e con inclinazioni superiori a  $30^\circ$ , a  $S_T=1,4$ , graduando in proporzione al dislivello il valore sino a  $S_T=1$  al piede, se il sito non è sulla cima o cresta (**Tab. 3.2.III e 3.2.V**) cioè per rilievi di altezza maggiore di 30 m.

Tab. 3.2.III - Categorie topografiche

Ctg.	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superfici e pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i \leq 15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tab. 3.2.V - Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

Ctg.	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a $30^\circ$	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$	1,4

Volendo riepilogare in poche righe gli aspetti essenziali della normativa presi in esame, possiamo dire che poiché l'azione sismica per le costruzioni è valutata a partire da una *pericolosità sismica di base* riferita al substrato esistente nel sito ad una profondità  $H$  (in condizioni ideali di sito di riferimento rigido di categoria  $A$ , con superficie topografica orizzontale, in campo libero) per risalire da essa alle azioni sismiche di progetto in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite, bisogna dotarla di un sufficiente livello di dettaglio in funzione delle caratteristiche morfologico-topografiche e stratigrafiche esistenti nel sito e delle caratteristiche dell'opera in progetto.

<sup>8</sup> Nel § 7.11.3.5.1 a proposito della stabilità dei pendii, viene osservato che in generale l'amplificazione tende a decrescere sotto la superficie del pendio. Pertanto gli effetti topografici tendono ad essere massimi lungo le creste di dorsali e rilievi ma si riducono sensibilmente in frane con superfici di scorrimento profonde per cui nelle analisi pseudo statiche, in tali situazioni, gli effetti dell'amplificazione topografica possono essere trascurati ( $S_T=1$ )



A tal fine occorre stabilire tra i primi elementi, la vita di riferimento  $V_R$  della opera e le probabilità di superamento o eccedenza  $P_{VR}$  nella vita di riferimento, associabili allo stato limite considerato; passare quindi ad individuare la categoria di sottosuolo e i parametri spettrali relativi allo specifico stato limite in esame; precisare i valori dei parametri di amplificazione stratigrafica  $S_S$  e topografica  $S_T$ , e del fattore di sottosuolo  $S=S_S * S_T$ .

Tali elementi sono quelli che caratterizzano la risposta sismica locale.

La procedura descritta è abbastanza articolata, ma cadenzata nei passi precisati è tutto sommato perseguibile senza eccessiva difficoltà.

Quale esempio applicativo possiamo considerare lo sviluppo del calcolo relativamente ad un manufatto che dovrà essere edificato a mezza costa, sulle pendici di un versante alto al ciglio 50 m, inclinato mediamente 20°, su un sito rispondente a definite coordinate geografiche ED50 per esempio di *latitudine* 43,514° e *longitudine* 13,575°, dove l'indagine geologica finalizzata all'opera e alle fondazioni, estesa al volume di terreno significativo, abbia consentito di attribuire al sottosuolo la categoria **C**.

Si può subito evidenziare che senza ulteriori informazioni progettuali sulla struttura, è possibile procedere solo sino ad individuare il campo di valori entro cui è compreso il parametro  $S$  che ingloba gli effetti della situazione litostratigrafica e di quella topografica.

Infatti l'ubicazione del sito a mezza costa di un versante inclinato 20°, consente di definire il parametro  $S_T$  (Tabelle 3.2.III, 3.2.V, con applicazione della riduzione per quota) pari a

$$S_T = 1,2 * 50\% = 1,1$$

con conseguente individuazione dei limiti di accettabilità di  $S=S_S * S_T$  (Tab. 3.2.IV) in

$$1,0 * 1,1 \leq S \leq 1,5 * 1,1 \text{ cioè } 1,1 \leq S \leq 1,65.$$

Per esprimere una valutazione necessariamente più calibrata, bisogna conoscere gli ulteriori elementi relativi all'opera in progetto esaminati nelle pagine precedenti e cioè:

Vita nominale dell'opera  $V_N$

Classe d'uso e coefficiente d'uso  $C_U$

Periodo di riferimento  $V_R$

Stato limite di progettazione (SLO ... SLC)

Probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$

Periodo di ritorno  $T_R$

Facciamo l'ipotesi che i dati pertinenti l'opera in progetto siano del tipo sotto specificato (comuni e di frequente indicazione):

Vita nominale  $V_N = 50$  anni

Classe d'uso=II e  $C_U=1$

(come in Tab. 2.4.II ma se necessario anche incrementabile)

Consequente  $V_R=V_N * C_U=50$  anni (§ 2.4.3)

Stato limite: SLV (salvaguardia della vita)

Consequente probabilità di superamento  $P_{VR}=10\%$

(come in Tab. 3.2.I ma se necessario per la protezione, ulteriormente riducibile)

Consequente tempo di ritorno  $T_R=475$  anni (§ 3.2.1)

A questo punto abbiamo tutti gli elementi per inserirci nel reticolo sismico nazionale.

Infatti per le già stabilite coordinate geografiche di *latitudine* e *longitudine* che individuano il punto, per la classe d'uso II, vita nominale  $V_N=50$  anni, tempo di ritorno  $T_R=475$  anni, la ricerca restituisce una serie di dati finalizzati al sito che per la prosecuzione del calcolo possiamo indicare siano pari a:

$$F_o=2,457$$

$$T^*_c=0,296 \text{ s}$$

$$a_g=1,746 \text{ m/s}^2$$

Il parametro  $S$  può ora essere precisato in quanto (Tab. 3.2.IV)  $SS=1,7-0,6 * F_o * a_g/g \approx 1,438$ ,  $ST=1,1$  e quindi

$$S = S_S * S_T \approx 1,581.$$

Il compito del Geologo a questo punto della procedura, si potrebbe ritenere per certi aspetti giunto ad una fase conclusiva, ma se si vuole procedere nei calcoli di stabilità del pendio, è necessario pervenire anche alla valutazione della massima accelerazione orizzontale al suolo  $a_{max}$  e dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$ .

Nelle verifiche allo stato limite ultimo per la stabilità dei pendii, in mancanza di studi specifici, nei metodi pseudo statici, le componenti orizzontale  $F_h$  e verticale  $F_v$  della forza sismica possono esprimersi come componenti del peso  $W$ , nella forma (§ 7.11.3.5.2)

$$F_h = k_h * W$$

$$F_v = k_v * W$$

$$k_v = \pm 0,5 k_h$$

Sia ne caso di fondazioni che di stabilità del pendio, qualora ci trovassimo nelle condizioni di poter utilizzare i parametri sismici sui quali si è già esemplificato, si otterrebbe ad esempio:

$$a_{max} = S * a_g = 1,581 * 1,746 \approx 2,760 \text{ m/s}^2 \text{ (}^{\circ}\text{)}$$

$$k_h = \beta * a_{max} / g$$

$\beta=0,24$ , coefficiente di riduzione dell'accelerazione orizzontale (Tab. 7.11.I)

**Determinazione di parametri sismici** (secondo Dec.Min.Infr. 17 gennaio 2018)

Vita nominale opera	10, 50, 100	<b>50</b>	VN	<b>50</b>	anni
Classe d'uso	I - II - III - IV		Classe d'uso	<b>II</b>	
Coefficiente d'uso Cu	0,7-1-1,5-2	<b>1,0</b>	Cu	<b>1</b>	
Periodo di riferimento	VN*Cu=VR		VR	<b>50</b>	anni

Stato limite		1	2	3	4	
Probabilità di superamento	PVR	81	63	10	5	%
Periodo di ritorno eventi	TR	30	50	475	975	anni

Stato limite	1/2/3/4 ?	<b>3</b>	→	controllare Fo, T <sup>c</sup> , ag , nel quadro successivo
Stato Limite		<b>SLV stato limite di salvaguardia della vita</b>		
Probabilità di superamento	PVR	<b>10</b>	%	
Periodo di ritorno eventi	TR	<b>475</b>	anni	TR=VR/ln(1-PVR)

Sito	LAT 43	LON 13	← WGS84 Coordinate del sito			
Fattore di amplificazione spettrale	Fo	SLV	SLO	SLD	SLV	SLC
Valore per inizio tratto a velocità costante	T <sup>c</sup> (s)	2,457	2,425	2,569	2,457	2,497
Accelerazione max del terreno	a <sub>g,1</sub> (g)	0,296	0,279	0,277	0,296	0,309
	a <sub>g,2</sub> (m/s <sup>2</sup> )	0,178	0,044	0,058	0,178	0,233
Parametro Cc=f(T <sup>c</sup> , suolo)	Cc	1,5691	1,05T <sup>c</sup> ∧(-0,33)		Tc=	<b>0,4645</b> s
Categoria di sottosuolo	A,B,C,D,E	<b>c</b>	<b>C</b>			

<b>Condizioni topografiche</b>			
Valore per inclinazione topografica ST'	1-1,2-1,4	<b>1,2</b>	T2-T3
Rapporto r=h_sito/H_vetta	0...0,5...1	<b>0,50</b>	mezza costa
Coef. amplif. topog. ST'			<b>1,10</b>

<b>Fattore di sottosuolo S</b>			
Parametro Ss da calcolo Ss=f(Fo*ag) →	Fo*ag,1	<b>0,437346</b>	
Limiti di accettabilità di Ss	Ss	<b>1,4375624</b>	1,7-0,6*Fo*ag
Coef. di amplificazione stratigrafica operativo Ss		<b>1,438</b>	1,5
Fattore di sottosuolo S →	S	<b>1,581</b>	S=Ss*ST

<b>Accelerazione al suolo a_max, coefficienti sismici orizzontale kh e verticale kv</b>			
Fondazioni e pendii (1) - MURI di sostegno (2) ...1 2 ? →	<b>1</b>	ok: FONDAZIONI-PENDII	SLV
Accelerazione max al suolo S ag_2	a_max	<b>2,760</b> m/s <sup>2</sup>	<b>0,2814</b> a_max (g)
Coefficiente di riduzione dell'accelerazione	βs	<b>0,24</b>	
Coefficiente sismico orizzontale βs a_max	kh	<b>0,0675</b>	
Coefficiente sismico verticale kv=0,5*kh	kv	<b>0,0338</b>	

Ideazione: E. Franchini

$$k_h = 0,24 * 0,281 = 0,06744 \approx 6,74 \%$$

$$k_v = \pm 0,5 * k_h \approx \pm 0,0337 \approx \pm 3,37 \%$$

Un foglio di calcolo, analogo a quello allegato, può servire ad organizzare tutta la procedura.

Se poi si vuole costruire per punti lo spettro elastico in accelerazione valido per periodi di oscillazione  $T < 4$  s e per le condizioni sopra precisate (SLV, V<sub>N</sub>, C<sub>U</sub>, S, ...) è possibile richiamando in parte i parametri già rinvenuti

$$a_g, F_o, T^c, S, a_{max} \rightarrow f(T=0 \text{ s}), \eta=1$$

(valore convenzionale del fattore di alterazione  $\eta$  sulla base di un smorzamento viscoso  $\xi=5$  %)

ed integrando per la componente sismica orizzontale con

$$T_C (T_C = T^c * C_C), T_B (T_B = T_C / 3), T_D (T_D = 4a_g / g + 1,6), C_C = 1,05 * T^c \wedge (-0,33)$$

e per la componente verticale con

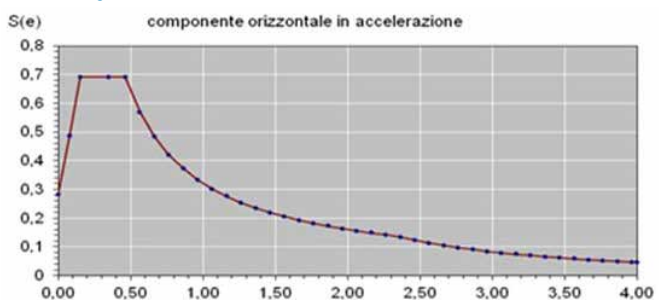
$$T_B = 0,05 \text{ s}, T_C = 0,15 \text{ s}, T_D = 1 \text{ s}, S_S = 1, S = S_S * S_T, F_V (F_V = 1,35 * F_o * (a_g / g)^{0,5})$$

Sono questi i dati parametrici necessari per costruire le curve funzionali  $S_e = f(T)$  dello spettro di risposta elastico in accelerazione per la componente orizzontale (9) e  $S_v = f(T)$  per la componente verticale, sulla base delle formulazioni riportate al *Capitolo 3.2.3* delle *NTC*, in grado di dare i valori massimi di risposta di strutture che si mantengono in campo elastico.

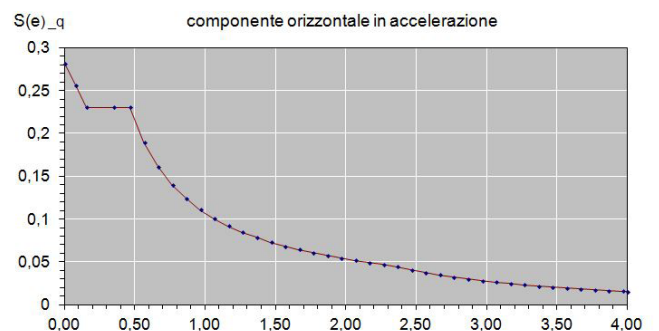
Si è accennato al *fattore di comportamento q* e all'impiego di forze sismiche ridotte collegate alla possibilità del Progettista di determinare le condizioni per una controllata fuoriuscita dal campo elastico che non comporti un collasso ma solo un danneggiamento al sistema sulla base di una corretta valutazione della resistenza e della capacità di dissipazione energetica del sistema strutturale.

Si può costruire il grafico spettrale relativo a tale situazione (*spettro di progetto*), con una procedura del tutto analoga alla precedente, con la sola variante che al posto del *fattore di alterazione η* si pone  $1/q$ .

<sup>9</sup> ag=0,178 g; Fo=2,457; T<sup>c</sup>=0,296; h=1; S=1,581; a\_max=0,281 g Cc=1,569; TB=0,155 s; TC =0,464 s; TD=2,31 s



Spettro di risposta elastico in accelerazione per la componente orizzontale per SLV (Se in g)



Spettro di progetto per q=3 (Se\_q in g)



# GEOIN S.r.l.

INDAGINI E SERVIZI PER LA GEOLOGIA L'INGEGNERIA E L'AMBIENTE



## INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO

- Sondaggi geotecnici ed ambientali a carotaggio continuo
- Prove geotecniche in foro
- Prove di permeabilità
- Prove penetrometriche statiche/dinamiche

Perforazioni di sondaggio a carotaggio continuo, campioni indisturbati (Shelby-Denison), installazione di tubi piezometrici, inclinometrici e per prospezioni sismiche in foro, installazione di strumentazioni in foro per il monitoraggio geotecnico ed ambientale.  
Prove di permeabilità (Lugeon-Lefranc).  
Prove penetrometriche statiche e dinamiche (Pagani TG 63/200kN - Penni DPM30).

## INDAGINI GEOFISICHE

- Sismica a rifrazione
- M.A.S.W.
- Down hole
- Misure H.V.S.R.

Si effettuano prospezioni sismiche per la modellazione bidimensionale e tridimensionale del sottosuolo, per studi geomorfologici, geotecnici e per studi di risposta sismica locale mediante modellazione numerica 1D e 2D.

## PROVE DI CARICO

- Prove di carico statiche e dinamiche su pali e micropali
- Prove di carico su travi e solai
- Prove di carico su tiranti
- Prove di carico su piastra

Si eseguono prove di carico di verifica e di analisi su elementi strutturali quali pali e micropali di fondazione, tiranti, travi, solai e prove su piastra.

## INDAGINI E MONITORAGGI SULLE STRUTTURE

- Indagini soniche e ultrasoniche
- Indagini magnetometriche
- Indagini sclerometriche
- Carotaggi
- Pull-out / pull-off
- Indagini endoscopiche
- Prove con martinetti piatti
- Misure vibrazionali
- Monitoraggi
- Indagini termografiche
- Indagini su legno

Si eseguono indagini non distruttive e monitoraggi sulle strutture in cemento armato, muratura e legno.  
Misure vibrazionali finalizzate alla caratterizzazione dinamica sperimentale delle strutture.  
Personale specializzato e certificato nelle indagini magnetometriche, sclerometriche, ultrasonore, prove di estrazione, monitoraggi strutturali, martinetti piatti, prove di carico su solai e ponti ed indagini termografiche.

**GEOIN SRL - Via Velluti, 100 - Macerata (Mc)**  
website: [www.geoin.in](http://www.geoin.in) mail: [info@geoin.eu](mailto:info@geoin.eu)  
tel: 0733.292819 mob: 345.4864216



Azienda certificata ISO 9001



## Terremoti del 2016 nei Monti Sibillini:

un approccio multidisciplinare a rivelamento della fratturazione superficiale cosismica

a cura di **MARCO MENICETTI, MATTEO ROCHEGGIANI, ANDREA TAMBURINI, EMANUELA TIRINCANTI**  
Dipartimento di Scienze Pure ed Applicate dell'Università di Urbino

### INTRODUZIONE

Un terremoto di una certa intensità, pur costituendo un evento calamitoso per i danni e talvolta le vittime provocate, rappresenta un'importante occasione per la comunità scientifica per acquisire nuovi dati e sperimentare nuove tecnologie. Questo è vero soprattutto per un territorio particolarmente esposto al rischio sismico come quello italiano, dove periodicamente avvengono terremoti che coinvolgono estese porzioni di territorio e mostrano fenomenologie che ci pongono di fronte a nuove problematiche geologiche, anche con importanti risvolti sociali (Boschi & Bordieri, 2009; Massa & Camassi, 2013). Basti ricordare i maggiori eventi sismici degli ultimi dieci anni, dal terremoto dell'Aquila del 2009 a quello della Pianura Padana del 2012 per arrivare a quelli del 2016 in Italia Centrale.

Proprio quest'ultima sequenza sismica, che ha coinvolto l'area dei Monti Sibillini, ha permesso di analizzare in dettaglio quelle che sono le relazioni tra le strutture geologiche e i terremoti (fig. 1) (Lavecchia et al., 1994). Che un sisma sia il risultato di una rottura che avviene su di un piano di faglia, è ormai un dato acquisito dalla comunità scientifica e comunemente insegnato nei corsi di geologia di base (Scholz, 2002). Da alcuni decenni è stato anche dimostrato che esiste una relazione tra la magnitudo di un terremoto e le caratteristiche geometriche (lunghezza, rigetto etc.) della faglia che l'ha generato (Wells & Coppersmith, 1994). Rotture della superficie topografica associate ad eventi sismici da moderati a forti con  $M > 6$ , sono state rilevate e analizzate in molte parti del mondo. In Italia, fratturazioni superficiali del terreno sono meno note, specialmente per gli eventi storici e solo negli ultimi anni sono state riconosciute rotture cosismiche associate agli eventi dell'Irpinia 1980, del Friuli del 1976, di Colfiorito 1997 e dell'Aquila 2009. Una delle problematiche principali per la

valutazione del rischio sismico che rimane ancora aperta riguarda l'associazione dell'evento sismico in profondità con le strutture tettoniche superficiali, questione che l'ambiguità dei meccanismi focali non permette sempre di risolvere.

Un primo importante elemento nella valutazione del rischio, riguarda l'individuazione della faglia principale rispetto alla distribuzione della deformazione su strutture minori (McCalpin J., 2009) (fig. 2). La definizione spaziale e geometrica delle faglie attive è un elemento determinante nella microzonazione sismica (Gruppo di lavoro MS, 2008). In particolare è importante determinare l'ampiezza della zona interessata dalla deformazione tettonica TDZ (fig. 2), rilevabile dalle rotture cosismiche, misurata perpendicolarmente alla direzione della faglia principale (Boncio et al., 2012). L'individuazione sul terreno della reale distribuzione delle fratturazioni superficiali sia in lunghezza che in ampiezza, permette poi di definire la zona di suscettibilità (ZSFAC) e la zona di rispetto (ZRFAC) interessata dalla deformazione cosismica (Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica 2015). L'integrazione dei dati geologici e sismologici rimane quindi uno dei principali obiettivi nell'identificazione e caratterizzazione cinematica e dinamica delle faglie attive e nella valutazione del loro potenziale sismogenetico. La stima della probabile lunghezza e della posizione delle possibili fagliazioni superficiali associate ad un terremoto costituisce uno dei compiti principali negli studi di sismotettonica (Scholz, 2002). Il rilevamento geologico di dettaglio può apportare un contributo determinante per descrivere le geometrie spaziali delle rotture cosismiche superficiali. Relazioni strutturali quali orientazione ed inclinazione dei piani, lunghezza e distribuzione della frattura, rigetto delle faglie, ampiezza della zona di taglio e collegamenti tra le geometrie lungo i sistemi di faglie, forniscono informazioni importanti sulla meccanica della rottura del terremoto (Improta et al., 2019; Valentini et al., 2019). Queste rotture superficiali



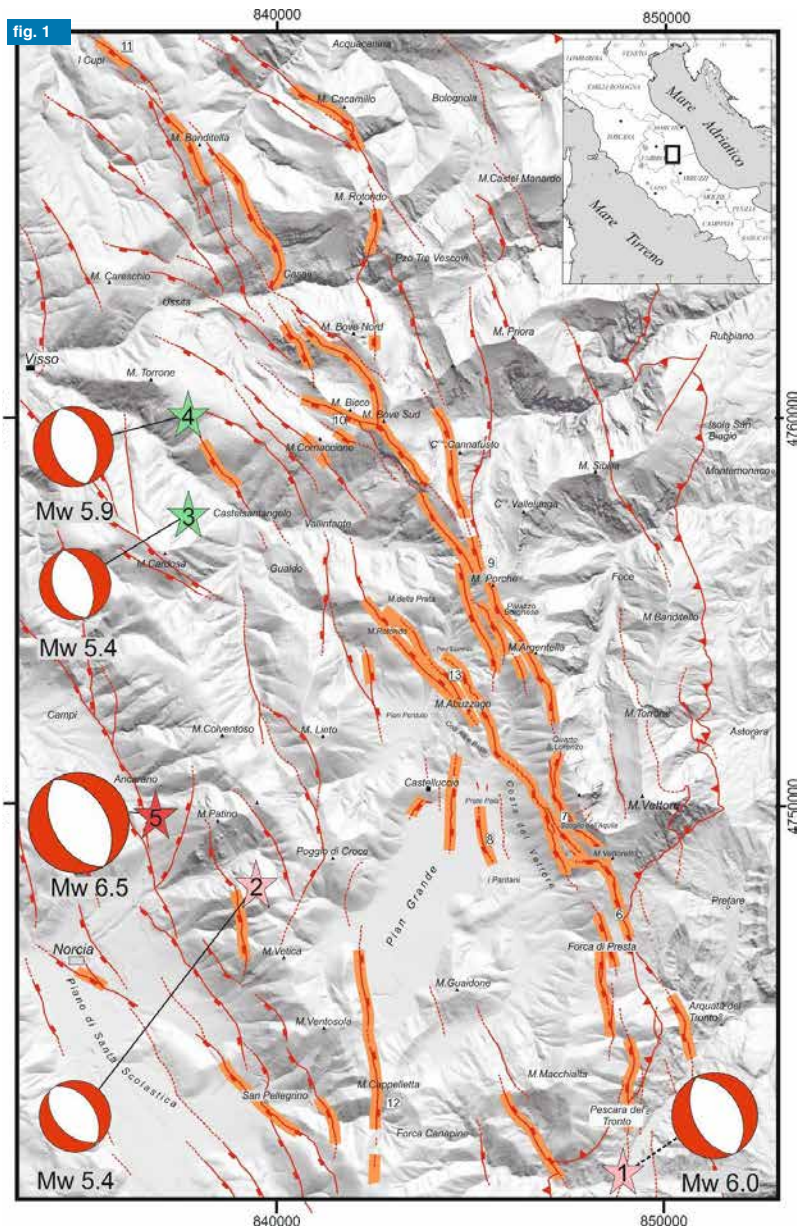
“UN TERREMOTO RAPPRESENTA UN’IMPORTANTE  
OCCASIONE PER LA COMUNITÀ SCIENTIFICA  
PER ACQUISIRE NUOVI DATI E  
SPERIMENTARE NUOVE TECNOLOGIE”

mostrano relazioni strutturali spazio/temporali che costituiscono i dati di base per estrapolare e vincolare la profondità del piano di faglia da un punto di vista cinematico (Brozzetti et al., 2019). Oggi è relativamente facile acquisire grandi quantità di dati strumentali, specialmente con le moderne stazioni sismiche digitali; basti pensare che dall’Agosto 2016 ad oggi sono stati registrati nell’area dei Monti Sibillini circa 100.000 terremoti di tutte le magnitudo (<http://terremoti.ingv.it/>). Per contro, acquisire dati geologici di dettaglio da rilevare direttamente sul campo, rimane un’operazione molto costosa in termini di risorse umane ed economiche, specialmente nelle aree montane e difficilmente accessibili. Tuttavia, le tecnologie geomatiche in continua evoluzione, permettono di acquisire oggi una mole notevole di dati sul terreno, utilizzando soprattutto il telerilevamento satellitare ma anche le riprese aeree a bassissima quota. La quantità di informazioni acquisite in questo modo sono spesso confrontabili con quelle geofisiche (Menichetti et al., 2016). Quello che vedremo in questo articolo, è proprio l’utilizzo di queste tecnologie per acquisire dati sulla geometria delle rotture cosismiche distribuite in un paesaggio morfologicamente complesso come quello della catena dei Monti Sibillini e del massiccio dei Monti della Laga. L’acquisizione di dati sul terreno ha rappresentato una sfida molto importante per il nostro gruppo di ricerca, sia in termini di impegno temporale che di sviluppo di tecnologie di acquisizione, elaborazione ed interpretazione dei dati. L’aspetto dell’impegno temporale ha riguardato soprattutto il fatto che le fratture superficiali cosismiche subiscono un’alterazione erosiva molto rapida. Questo avviene soprattutto nelle zone montuose, dove la copertura nevosa, che può raggiungere diversi metri e le piogge intense, causano il rapido degrado e anche l’obliterazione delle scarpate di faglia.

## GLI EVENTI SISMICI

Da Agosto ad Ottobre 2016, fino a Gennaio 2017, in Italia Centrale, si è verificata una significativa sequenza sismica che ha avuto come area epicentrale i Monti Sibillini. Il 24 Agosto, un terremoto di Mw 6.0 (Chiaraluce et al., 2017) ha colpito l’area compresa tra la città di Amatrice (provincia di Rieti) e Arquata del Tronto (provincia di Ascoli Piceno). Il meccanismo focale di questo evento mostra una cinematica da faglia diretta con direzione 155 N (**fig. 1**). In associazione a questo evento si è generata una serie di rotture superficiali cosismiche, in corrispondenza di alcune strutture estensionali, tra la dorsale nei Monti Sibillini e il Massiccio dei Monti della Laga, note come faglia di M. Gorzano (m 2458 s.l.m.) e M. Vettore (m 2476 s.l.m.) (Lavecchia et al., 2016). In particolare, è avvenuta la riattivazione di una porzione di circa 20 km della faglia diretta immergente a SW e nota come faglia del M. Vettore (**fig. 1**).

Successivamente al terremoto di Agosto 2016 è stata intrapresa una campagna di acquisizione di dati integrando diverse tecnologie a supporto del rilevamento geologico di campagna. In particolare, l’identificazione preliminare delle zone a maggiore deformazione e l’ubicazione delle fratturazioni superficiali, è stata condotta utilizzando dati ricavati dall’interferometria satellitare differenziale InSAR (Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar) utilizzando le immagini della missione Sentinel dell’ESA (European Space Agency). Una volta individuate sul terreno le fratture cosismiche, è stato svolto un rilievo di dettaglio sia topografico che geologico, utilizzando fotogrammetria aerea a bassa quota e/o a terra. Fino ad Ottobre 2016 sono state acquisite nell’area oltre 5.000 immagini georeferenziate aeree e terrestri, zenitali ed oblique e qualche centinaio



**fig. 1**  
Schema strutturale semplificato dei principali sistemi di faglie dirette Plio-Quaternarie (linee rosse con le barrette nella parte ribassata), del fronte di sovrascorrimento dei Monti Sibillini Mio-Pliocenico (linea rossa con i triangolini nella parte sovrascorsa). Sono evidenziate (arancione) le rotture cosismiche. Le stelle indicano gli epicentri degli eventi sismici principali del 2016 con  $M > 5$ , con associati i meccanismi focali TDMT (<http://cnt.rm.ingv.it/tdmt>): 1 – 24/08/2016 Mw 6.0; 2 – 24/08/2016 Mw 5.4; 3 – 26/10/2016 Mw 5.4; 4 – 26/10/2016 Mw 5.9; 5 – 30/10/2016 Mw 6.5. I numeri nei quadrati bianchi sono riferiti alle figure nel testo. La base è un DEM (Tarquini et al., 2007), sistema di riferimento cartografico EPSG 32633.)

**fig. 2**  
Modello schematico della terminologia utilizzata nel rilevamento delle rotture superficiali cosismiche. Il grafico indica la relazione tra lunghezza totale della rottura cosismica e la magnitudo dell'evento connesso (da Wells & Coppersmith, 1994), la stella rossa indica l'evento del 30 ottobre 2016.

**fig. 3**  
Schema delle diverse tipologie delle rotture cosismiche rilevate nell'area.  
a- rottura roccia/roccia;  
b- rottura roccia/detrito-suolo;  
c- rottura su suolo-detrito/suolo-detrito;  
d- rottura cosismica su manufatti;  
e- elementi geometrici principali rilevati sul piano di rottura: Rp rigetto sul piano; Ro rigetto orizzontale; Rv rigetto verticale;  $\alpha$  inclinazione del piano di faglia;  $\beta$  inclinazione del versante.

di dati di campagna, soprattutto lungo i circa 6 km della faglia che interessa i versanti occidentali e orientali della dorsale del M. Vettore.

Il terremoto del 26 Ottobre Mw 5.9 (Chiaraluce et al., 2017), con epicentro nell'area di Visso (provincia di Macerata), a circa 30 km a nord-ovest dell'evento precedente di Agosto, ha attivato un segmento più settentrionale della faglia diretta nell'area del M. Bove. Anche in questo caso la soluzione focale dell'evento mostra una cinematica che indica chiaramente un meccanismo distensivo direzionato  $N 162^\circ$ . Nei giorni successivi a questo evento, i rilevamenti sul terreno hanno permesso di riconoscere alcune fratturazioni superficiali con rigetti verticali dell'ordine di molti centimetri (5-10 cm) nell'area di Frontignano, Ussita e Cupi. Anche in questo caso, sono stati acquisiti molti dati sul terreno e soprattutto riprese aeree zenitali ed oblique a bassa quota. Va comunque precisato che l'estensione e la complessità morfologica dei luoghi non ha permesso di effettuare sopralluoghi in tutte le aree potenzialmente interessate dalle rotture superficiali. L'evento del 30 ottobre Mw 6.5 localizzato nell'area di Norcia (provincia di Perugia), a cavallo tra gli epicentri degli eventi precedenti, ha riattivato le fratture cosismiche preesistenti,

fig. 2

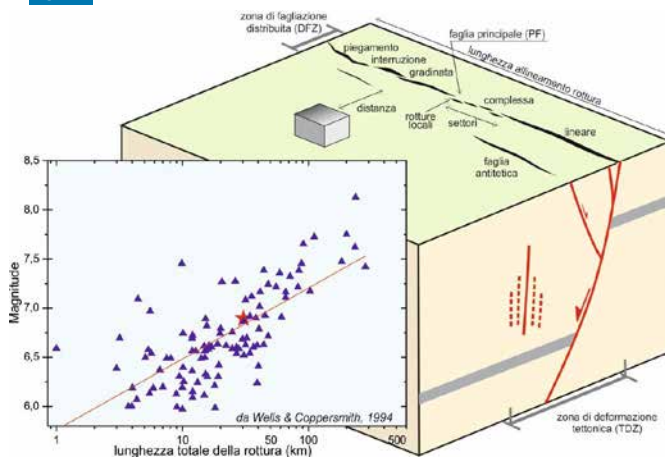
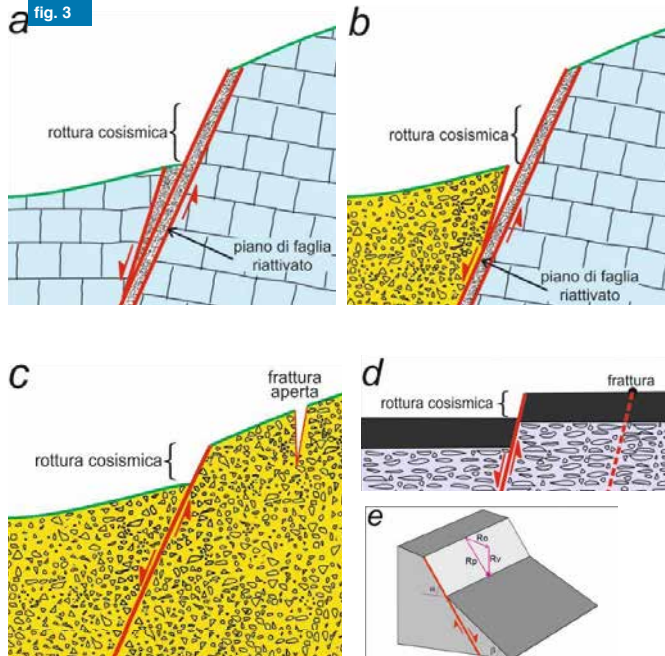


fig. 3



generandone anche di nuove, su di una estensione di oltre 40 km da Accumuli a SE fino a Muccia a NW. Questo evento enucleatosi a circa 7.5 km di profondità, con un rigetto all'ipocentro compreso tra 1.3 e 2.6 m (Chiaraluce et al., 2017), presenta una soluzione focale e una distribuzione delle repliche compatibili con la geometria di una faglia con direzione N 155, immergente a SW e con una inclinazione di circa 60° (Improta et al., 2019) (fig. 1). Questa corrisponde in superficie ad un sistema di faglie dirette dell'allineamento M. Vettore - M. Bove. Queste presentano una notevole espressione morfologica lungo tutti i versanti. La fratturazione superficiale prodottasi con questo evento sismico, si è sovrapposta a quella degli eventi precedenti e in molti casi non è possibile distinguere, soprattutto nell'area settentrionale del M. Bove, le fratture generatesi il 26 da quelle del 30 Ottobre.

Le rotture superficiali associate a questo evento sono state numerose, interessando un territorio molto vasto, che dalla Valle del F. Tronto a sud, raggiunge la Val di Chienti a Nord, estendendosi da Norcia fino ad Acquasanta Terme (Emergeo, 2016). Le fratturazioni superficiali presentano rigetti medi di molti decimetri, che hanno raggiunto valori di oltre 2 m nel versante occidentale del M. Vettore, dove a questi si è sommata

anche una componente gravitativa (Huang, 2017).

Successivamente a questi eventi sismici, la campagna di acquisizione dati è proseguita fino a Dicembre del 2016 e poi, a partire dalla primavera del 2017, ottenendo così, con oltre ventimila riprese aeree a bassa quota, molte migliaia di dati.

## GEOLOGIA DELL'AREA

Le principali strutture geologiche dell'area dei Monti Sibillini, sono costituite da una successione stratigrafica di oltre duemila metri di spessore di calcari e calcari marnosi appartenenti al bacino sedimentario umbro-marchigiano Meso-Cenozoico. Ampie anticlinali asimmetriche sono sovrascorse per alcuni km verso ENE fino ad accavallarsi per alcuni chilometri sui terreni silicoclastici Mio-Pliocenici del Flysch della Laga (Pierantoni et al., 2013). Questo fronte di sovrascorrimento, che costituisce uno degli elementi tettonici più salienti dell'Appennino umbro marchigiano meridionale, si è sviluppato soprattutto alla fine del Miocene riattivando presumibilmente strutture giurassiche (Castellarin et al., 1978). Sul terreno, si presenta come una serie di piani di taglio di molti metri di spessore caratterizzati da una deformazione fragile dove prevalgono breccie cataclastiche nelle litologie calcaree, e strutture con fabric S/C (Cisaillement/ Shistosity) in quelle più marnose. Planimetricamente il sovrascorrimento si sviluppa in forma arcuata allungata lungo diversi segmenti, scalettati e ruotati da NW-SE nel settore settentrionale a N-S in quello centrale fino a NE-SW in quello meridionale. Il massimo raccorciamento, che corrisponde all'area del M. Vettore, raggiunge valori di circa il 35 %. Le strutture plicative, al letto e al tetto del sovrascorrimento, non sono sempre coassiali. La cinematica del sovrascorrimento è caratterizzata da una componente transpressiva destra verso ENE che probabilmente riattiva preesistenti strutture Mesozoiche (Lavecchia, 1985).

Queste strutture compressive, a partire dal tardo Pliocene, vengono tagliate da faglie dirette con direzioni SSE-NNW immergenti prevalentemente a SW generando importanti bacini intramontani come quello del Pian Grande di Castelluccio e quello di S. Scolastica di Norcia. Le faglie normali si sviluppano secondo diversi segmenti generalmente lunghi molti chilometri e con rigetti di centinaia di metri. Tutte queste strutture estensionali sono caratterizzate da una notevole espressione geomorfologica con gradini e versanti che in molti casi corrispondono alla superficie della faglia stessa. La zona di taglio è costituita da piani di faglia principali, con evidenti superfici di scorrimento con strie e altri indicatori cinematici che separano piani minori (Menichetti, 1991). Questi a loro volta isolano cunei a diversa intensità di deformazione, con vari angoli di immersione. Alla mesoscala, le zone di taglio consistono in cataclasiti più o meno cementate di diversi centimetri di spessore con zone a breccie carbonatiche di circa 1 m di spessore dove localmente si possono avere pochi centimetri a maggiore deformazione con un gauge (farina di faglia). Nelle litologie più marnose, le zone di taglio estensionale sono caratterizzate da strutture con fabric S/C fino a 1 m di spessore (Menichetti, 1982).

## METODOLOGIA UTILIZZATA

Il rilevamento dei dati legati alle fratturazioni cosismiche superficiali è stata effettuata integrando metodologie classiche



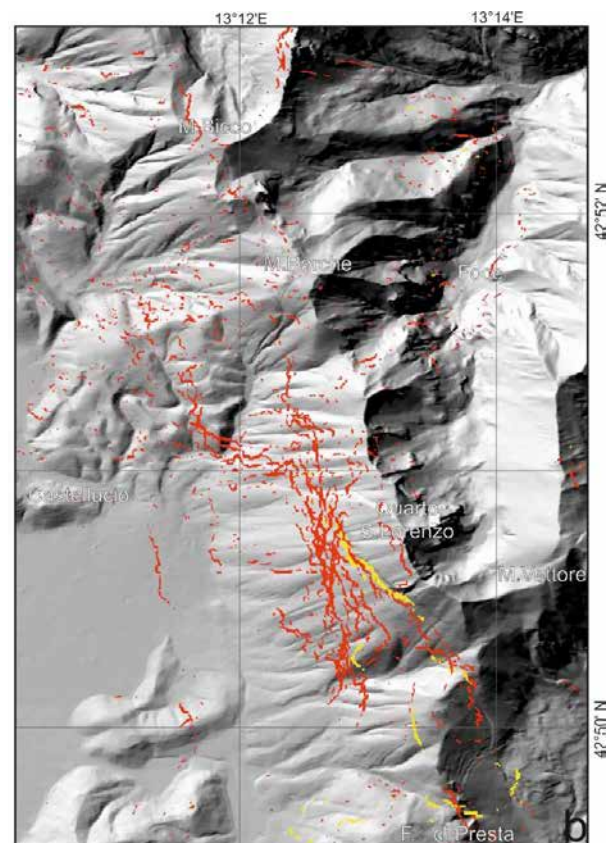
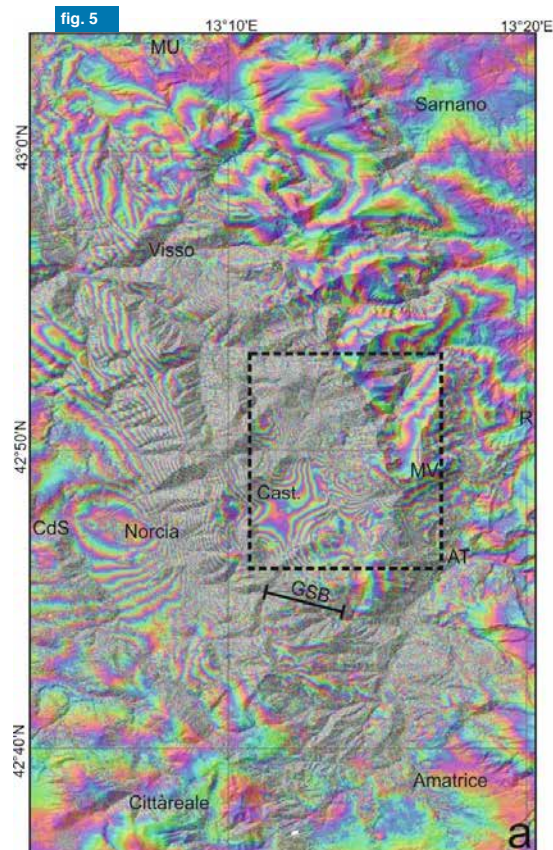
**fig. 4**  
Rotture cosismiche: a- piano di faglia con contatto roccia/detrito di falda; b-b' piano di rottura in roccia prima e dopo l'evento sismico; c- piano di rottura sul suolo; d- frattura del piano stradale lungo la SP 477, 1 km a valle di Forca di Presta, successiva all'evento del 24 Agosto 2016.

**fig. 5**  
a- Interferogramma cosismico del terremoto del 30 ottobre 2016 ricavato dai dati Sentinel-1; b- dettaglio indicato nel rettangolo della figura (a) delle tracce delle principali rotture ricavata dall'analisi del gradiente di fase (tratto rosso) (da Roccheggiani et al., 2018). GSB ubicazione delle Gallerie di San Benedetto lungo la SS 685 (vedi fig. 12). Cast – Castelluccio; MV – Monte Vettore; AT – Arquata del Tronto; CdS – Cerreto di Spoleto; R – Roccafluvione; MU – Muccia.

di rilevamento geologico di terreno, con dati acquisiti in remoto. Per quanto riguarda la terminologia qui adottata abbiamo preferito chiamare fratturazione cosismica tutte le rotture della superficie topografica generiche, riservando il termine fagliazione superficiale ai casi conclamati di spostamento relativo sul piano di faglia preesistente. Nella metodologia di acquisizione, è stato basilare considerare la tipologia della fratturazione in termini di contatti tra litologie/materiali coinvolti nella rottura superficiale. Sono state individuate almeno 4 tipologie di rotture superficiali (**fig. 3**): a) roccia/roccia con il piano di faglia cosismico in roccia, coincidente quasi sempre con faglie preesistenti, caratterizzato da una zona di taglio di qualche dm/m di spessore, costituita da una breccia cataclastica poco cementata (**fig. 3a**; **fig. 4b**); b) roccia/detrito con piano di faglia in roccia a diretto contatto con la coltre detritica, con zona di taglio dello spessore di pochi dm localizzata nel detrito-suolo e che riattiva superfici di faglie preesistenti (**fig. 3b**; **fig. 4a**); c) detrito-suolo/detrito-suolo, generalmente ubicato in corrispondenza di scarpate morfologiche, zone di deformazioni con associate fratture beanti, anche distanti molti metri, sempre nella coltre di suolo o detritica superficiale (**fig. 3c**; **fig. 4c**); d) rotture su manufatti antropici come strade, ponti ed edifici; in questo caso la complessità della rottura è legata alle caratteristiche geomeccaniche dei manufatti interessati dalla deformazione (**fig. 3d**; **fig. 4d**).

Su ciascuna frattura individuata, sono state eseguite direttamente sul terreno misure geologiche relative alla caratterizzazione litologica e strutturale con particolare attenzione alla geometria, misurando lo spostamento (rigetto) verticale, orizzontale (apertura), la giacitura del piano e quando possibile, sui piani di faglia, acquisendo dati sulla cinematica del movimento (**fig. 3e**). Su molte delle fratture cosismiche è stato possibile distinguere la componente del rigetto legata al terremoto del 24 Agosto e quella del 30 Ottobre, per via della





diversa colorazione della superficie legata al diverso grado di alterazione (fig. 4a). Il rilevamento geologico è stato condotto utilizzando strumenti che integrano bussola digitale, macchine fotografiche e cartografia di base, con ricevitori GNSS (Field Move, Mappt, etc) in maniera tale da georiferire tutte le osservazioni sul terreno. Questo approccio ha permesso creare una banca dati su supporto open GIS condivisa in tempo reale con tutti gli operatori del gruppo di ricerca.

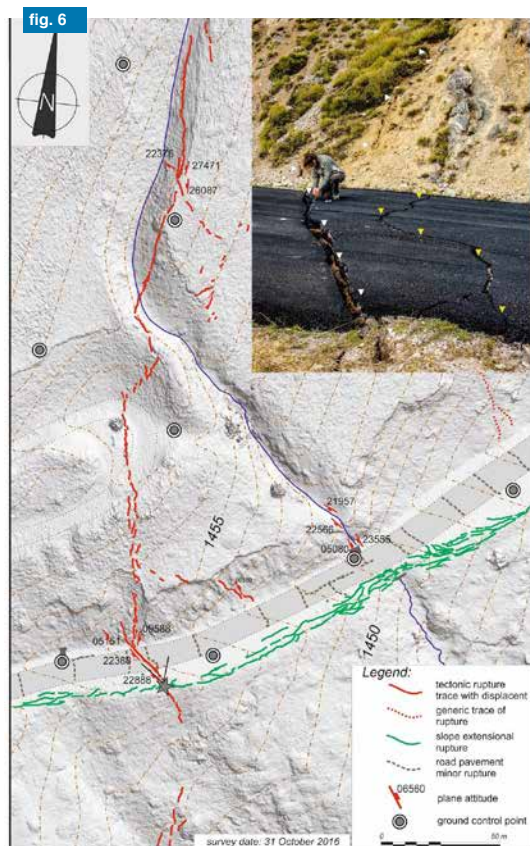
La complessità orografica dell'area interessata dalle deformazioni cosismiche, non ha permesso di individuare tutte le fratturazioni superficiali direttamente sul terreno e soprattutto di distinguere quelle legate agli eventi sismici (fratture tettoniche) rispetto a quelle secondarie (gravitative per esempio). Questo soprattutto sui versanti occidentali del M. Vettore, M. Redentore, M. Porche e M. Bove nella parte più settentrionale. Su questi versanti la zona di deformazione tettonica è distribuita su di una fascia di molte centinaia di metri di ampiezza, dove le misure sulla geometria e cinematica delle fratture non sempre sono agevoli e possibili. Un aiuto importante è venuto quindi sia dall'uso dei dati satellitari che hanno permesso di indirizzare i rilevamenti di dettaglio sul terreno che delle riprese aerofotogrammetriche a bassa quota.

## INTERFEROMETRIA

Negli ultimi decenni l'interferometria radar da piattaforma satellitare o D-InSAR (Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar) è una delle tecniche di telerilevamento più utilizzate per l'individuazione e la misura delle deformazioni prodotte sulla superficie terrestre da eventi naturali e/o antropici. La tecnica D-InSAR consiste nell'elaborazione di due immagini radar, acquisite con geometrie di ripresa simili in tempi successivi. Le immagini radar sono matrici di numeri complessi definiti dalle grandezze di ampiezza e fase. L'ampiezza

individua la quantità di campo elettromagnetico retro-diffuso verso il satellite, mentre la fase dipende da diversi fattori, tra i quali la distanza sensore-target. Attraverso la misura della variazione della fase della radiazione retro-riflessa è possibile ricostruire l'intensità cumulata degli spostamenti avvenuti nel periodo compreso tra le acquisizioni. Le piattaforme Sentinel-1, in modalità TOPS (Terrain Observation by Progressive Scans), sono in grado di acquisire strisciate di terreno larghe oltre 200 km e di misurare, da più di 700 km di altezza, deformazioni della superficie terrestre, o di strutture, con precisione millimetrica. Questa tecnica è stata impiegata con successo nella stima degli spostamenti della crosta terrestre indotti da terremoti, nella misura degli effetti prodotti da subsidenza, versanti instabili o dalla risalita del magma nei vulcani. Un interessante utilizzo dei dati interferometrici riguarda l'analisi della distribuzione della deformazione superficiale (TDZ di fig. 2) rispetto alla zona di fagliazione primaria (PF di fig. 2) ricavabile dall'analisi degli interferogrammi. Questa tecnica è stata utilizzata in molti scenari sismici per determinare i parametri di rischio di strutture strategiche su aree molto vaste (Wei et al., 2011). Osservando gli interferogrammi relativi all'area dei Monti Sibillini interessata dall'evento sismico, la deformazione cosismica risulta distribuita in direzione N-S su di un'area di circa 1300 km<sup>2</sup>, con gli assi maggiori di circa 55 km da Amatrice a Muccia e circa 45 km tra Roccafluvione e Cerreto di Spoleto (fig. 5). Considerando come PF la struttura estensionale immergente a SW del M. Vettore - M. Bove, la deformazione si estende per circa 15 km nel letto e 30 km nel tetto della faglia diretta.

Durante la sequenza sismica che ha colpito l'Italia centrale nel 2016, sono state processate varie coppie interferometriche, utilizzando le immagini della missione Sentinel-1 per ottenere dati interferometrici sulle deformazioni superficiali connesse agli eventi sismici. Inoltre, con procedure ottimizzate,

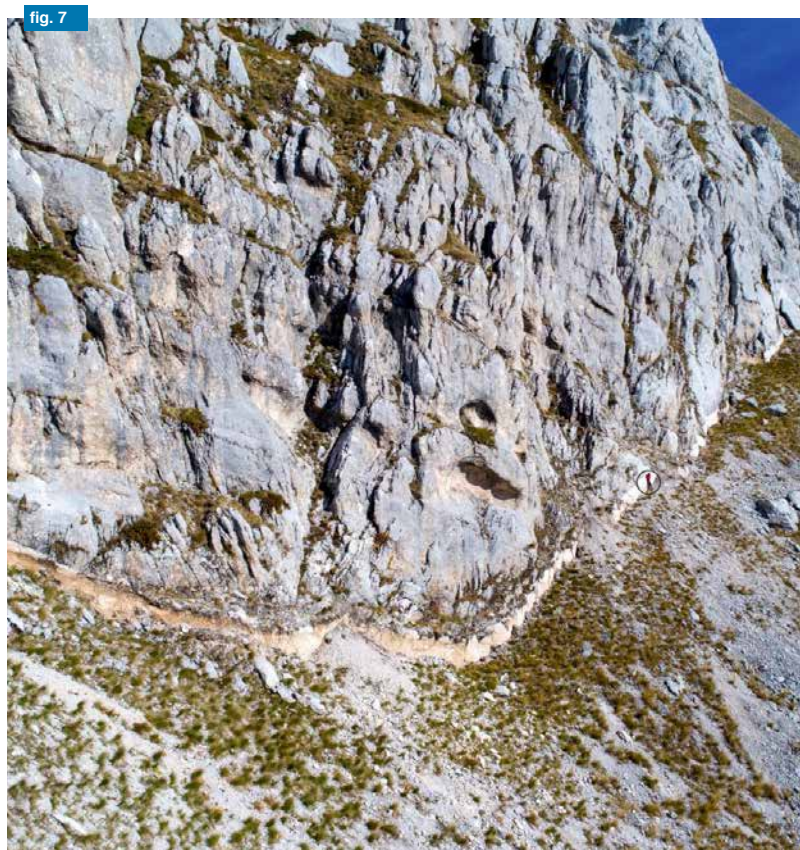


**fig. 6**  
DSM - Modello superficiale del terreno del versante SSE del M. Vettoretto nella zona della SP 477 (ubicazione è riportata in **fig. 1**). Le isoipse sono riferite alla quota ortometrica (EGM96 - H del geoide 47.251 m). La stella indica il punto di ripresa della foto nel riquadro interno. Il rigetto verticale della rottura del pavimento stradale è di circa 13 cm. I triangoli bianchi indicano le rotture del pavimento stradale dopo l'evento del 30 ottobre 2019; i triangoli gialli indicano la rottura che ha riattivato la frattura del 24 Agosto 2016 sul nuovo manto di asfalto (confronta con la **fig. 4d**).

**fig. 7**  
Vista aerea obliqua (Giugno 2017) dello Scoglio dell'Aquila nel versante occidentale del gruppo del M. Vettore (ubicazione in **fig. 1**). E' molto evidente la frattura cosismica che in alcuni punti raggiunge i 2 m di spostamento. Il cerchietto indica una persona.

**fig. 8**  
Modello superficiale del terreno (DSM - EPSG 32633) di un settore della rottura cosismica del terremoto del 30 ottobre 2016 nel Pian Grande (ubicazione in **fig. 1**). Gli istogrammi indicano la distribuzione di frequenza del rigetto e dell'apertura delle fratture. Nella foto, la rottura del pavimento stradale della SS 477.

**fig. 9**  
a- vista aerea obliqua (ripresa del 2017) verso nord di una porzione del versante orientale del M. Porche, con evidenza di rottura superficiale causata dal terremoto del 30 ottobre 2016 (ubicazione in **fig. 1**). b- modello superficiale del terreno (DSM - EPSG 32633) di un settore della stessa frattura. Ubicazione in **fig. 1**.

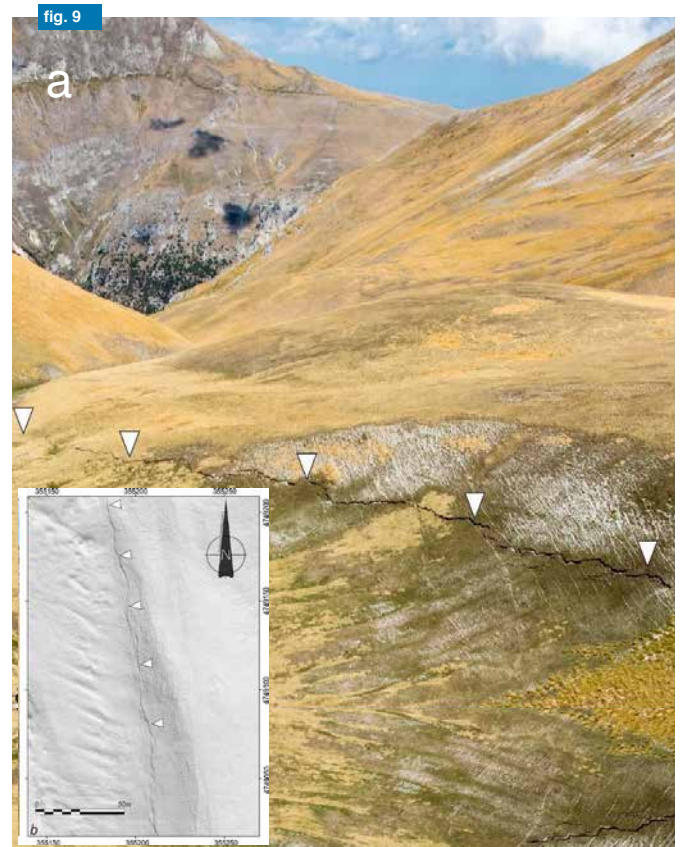
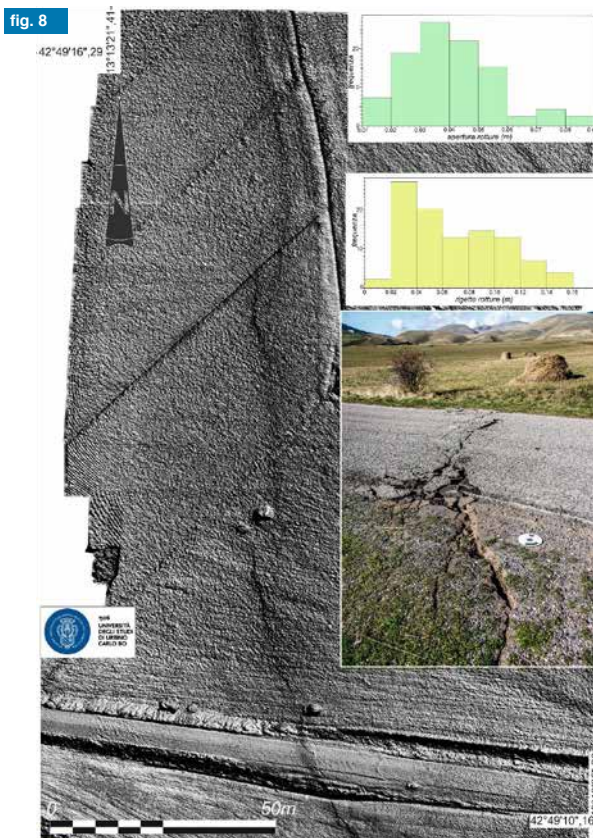


analizzando i gradienti di fase è stato possibile individuare le aree potenzialmente interessate da deformazione superficiale (**fig. 5b**). I risultati prodotti sono stati poi utilizzati per guidare il rilevamento di terreno delle deformazioni cosismiche (Roccheggiani et al., 2018).

### RILEVAMENTO AEROFOTOGRAMMETRICO

Un aiuto determinante nella caratterizzazione della complessità geometrica delle fratture cosismiche è venuto dalla realizzazione di DSM (Digital Surface Models) e ortofotopiani generati integrando sia riprese fotografiche oblique terrestri che riprese aeree zenitali a bassa quota. La fotocamera digitale (SLR) utilizzata per l'acquisizione terrestre dotata di un obiettivo 35 mm f / 1.4 calibrato, ha permesso di acquisire foto georiferite tramite un'unità GNSS standard (precisione metrica) con una risoluzione di 36,3 megapixel (7360 x 4912) in formato RAW. Le riprese aeree a bassa quota (< 100 m) sono state effettuate con l'ausilio di un quadricottero commerciale equipaggiato con una fotocamera dotata di un sensore da 25 mm, un obiettivo FOV 84°, 24 mm f / 2,8 calibrato, montata su di un gimbal con possibilità di acquisizione obliqua o zenitale, che ha permesso di ottenere fotografie con una risoluzione di 20 megapixels (4864 x 3648) in formato RAW. Alcune riprese aeree del 2016 sono state effettuate con fotocamere a 12,76 Mpix.

Ogni foto è stata georeferenziata tramite due unità GNSS (GPS e GLONASS) con precisione decimetrica. Le immagini acquisite sono state poi successivamente calibrate utilizzando diversi punti di controllo a terra (GCP - Ground Control Points) rilevati con un dispositivo GNSS in RTK che ha permesso di ottenere un'accuratezza media di 0,05 m. La produzione di DSM ed ortofotopiani è stata effettuata utilizzando degli



algoritmi Structure from Motion (SfM) disponibili in diversi programmi commerciali (Es. Photoscan, Pix4D, etc.). Di ciascun affioramento rilevato sono state ottenute nuvole di molte decine di milioni di punti che hanno permesso di generare modelli 3D del terreno. L'attitudine delle rotture cosimiche, è stata successivamente misurata direttamente sui modelli 3D. La misura è stata ricavata, utilizzando una combinazione di strumenti GIS, integrati e verificati con rilevamenti sul campo. L'elaborazione finale è stata eseguita tramite i metodi di analisi spaziale e geometrica classici, utilizzando strumenti statistici per l'analisi strutturale (proiezioni stereografiche, istogrammi etc.).

Con questa tecnologia sono state effettuate diverse campagne di acquisizione di dati a terra e immagini, sia successivamente al terremoto del 24 Agosto che dopo quello del 30 Ottobre 2016. Altre riprese aeree a bassa quota sono state effettuate nel 2017 in aree che non era stato possibile raggiungere alla fine del 2016 per l'arrivo della stagione invernale. L'utilizzo di riprese aeree a bassa quota, zenitali ed oblique, per l'analisi delle geometrie delle deformazioni superficiali, è risultato strategico soprattutto per una maggiore precisione nella determinazione dei rigetti verticali e orizzontali. Infatti sul terreno risulta molto difficile e soprattutto estremamente laborioso, misurare questi rigetti quando si è su di un piano inclinato su di un versante. Questo ha permesso di ottenere misure di estremo dettaglio dello spostamento cosismico su porzioni importanti di territorio e non sulla singola frattura. La metodologia utilizzata è stata calibrata in molte situazioni con misure reali sul terreno. Questo ha permesso di stimare nella misura in remoto sul modello, un errore di circa 5%, che generalmente sovrastima il dato di terreno (Menichetti et al., 2016).

## ANALISI DATI

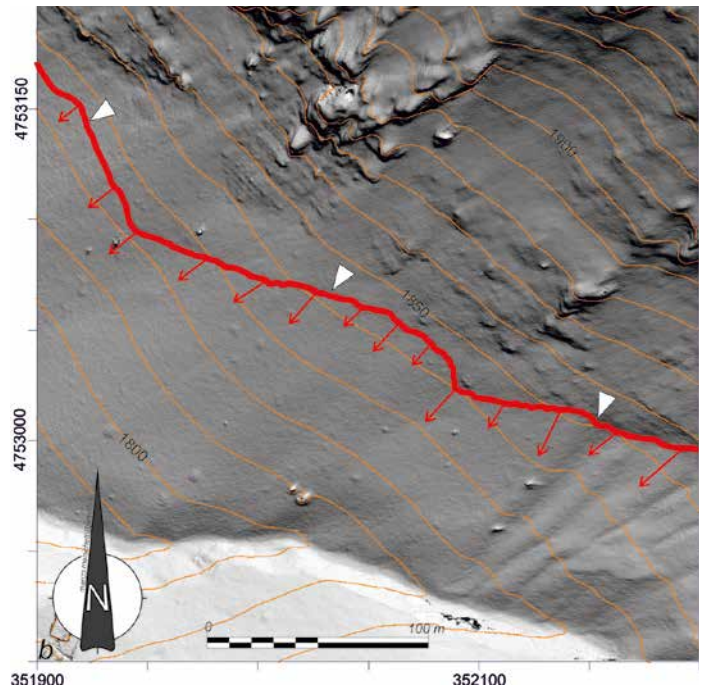
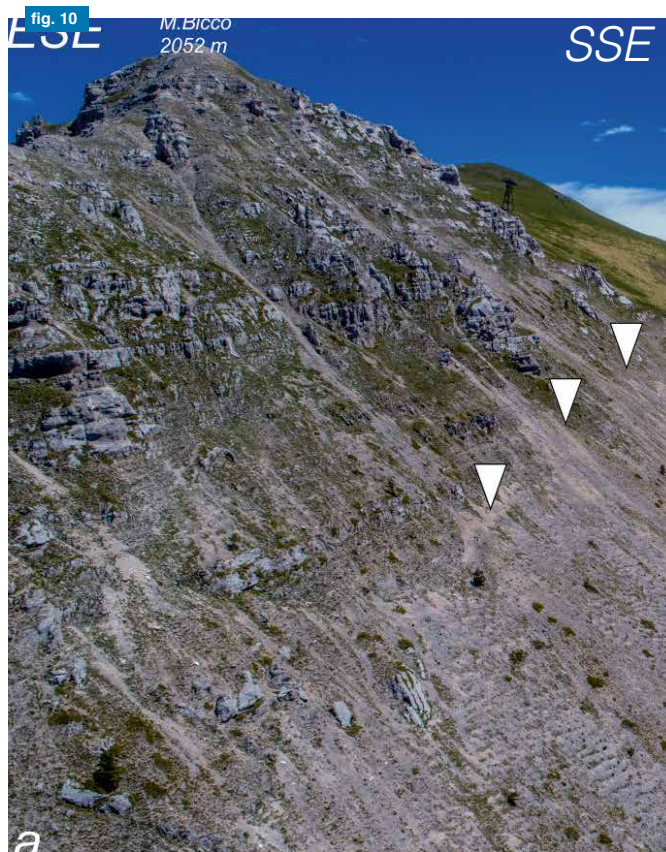
È stata prodotta una serie di mappe delle rotture superficiali cosimiche costituite soprattutto da ortofotopiani e DSM, di estremo dettaglio, con risoluzione a terra di 10 – 30 cm/pix che in molti casi arriva a 0.1 - 0.4 cm/pix. Alcuni di questi ortofotopiani, anche a scala inferiore a 1:500, permettono così di documentare la complessa distribuzione di tutte le fratture con un rigetto verticale > 1 cm. I rilievi sul terreno e l'analisi della cartografia prodotta ha permesso di riconoscere diversi allineamenti di fratture, praticamente dalla valle del F. Tronto a SW fino alla valle del Fiume Chienti a NW, per una estensione di oltre 40 km lungo l'allineamento noto in letteratura come M. Vettore - M. Bove (Brozzetti et al., 2019) (fig. 1).

Le fratturazioni superficiali sono organizzate secondo una struttura gerarchica, costituita da un allineamento generalmente lungo molte centinaia di metri e suddiviso a sua volta in settori, composti da singole rotture locali di dimensioni decametriche. La zona di transizione e di interconnessione tra una singola rottura e l'altra, può essere complessa con dei gradini o con delle curvature mentre la terminazione è generalmente brusca (fig. 2).

Le rotture superficiali principali rilevate nell'area dei Monti Sibillini, sono costituite da almeno sette allineamenti di faglie dirette, già note in affioramento, che immergono a SW e tre allineamenti antitetici immergenti a NE (fig. 1). Partendo da quelle più meridionali si ha:

### i) Pescara del Tronto - Forca di Presta;

si tratta di una faglia diretta immergente a SW con inclinazione di circa 60° e un rigetto geologico di circa 300 metri. Questa corre su diversi allineamenti dalla Valle del F. Tronto, salendo lungo il versante orientale del M. Macchialta (1751 m s.l.m.), fino a Forca di Presta (1536 m s.l.m.) per una lunghezza



complessiva di circa 6 km. Le fratturazioni superficiali legate all'evento del 30 ottobre sono distribuite su tre settori principali disposti a scalinata verso la parte bassa del versante e non interconnessi tra loro. Presentano rigetti verticali medi di 0.1 m ed orizzontali di 0.05 m.

ii) **Arquata del Tronto - M. Vettoretto**; questa struttura estensionale si sviluppa per circa 5,5 km a cavallo dei versanti sud-occidentale e sud-orientale del M. Vettoretto (2052 m s.l.m.) (fig. 1); la fratturazione superficiale di questo settore attraversa la SP 34 dove, sia durante l'evento del 24 Agosto (fig. 4d) che durante quello del 30 Ottobre, ha rotto il piano stradale con rigetti rispettivamente di 0.03 - 0.05 m e 0.12 - 0.15 m. Poco sotto la cima del M. Vettoretto la fratturazione superficiale nell'evento del 30 Ottobre, ha raggiunto anche i 0.7 m di rigetto verticale e 0.3 m di quello orizzontale.

iii) **Scoglio dell'Aquila - Cordone del Vettore e Costa del Vettore - Colli Altissimi e bassi**;

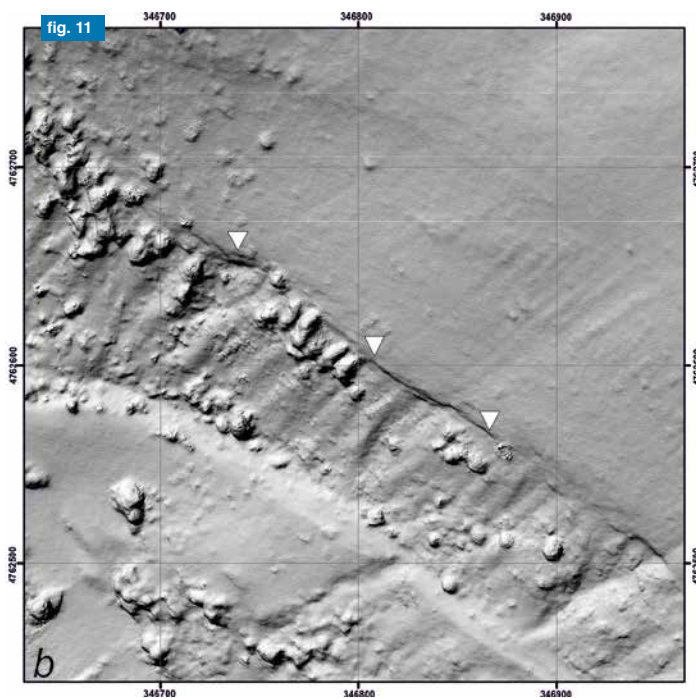
questa struttura costituisce la fratturazione superficiale più spettacolare, avendo riattivato il piano della faglia diretta che attraversa il versante occidentale della dorsale del M. Vettore (fig. 7). Questa faglia, già nota in letteratura e con un rigetto geologico di oltre 1000 m (Lavecchia, 1985), presenta una notevole espressione morfologica con una scarpata di molti metri di altezza su di un versante molto inclinato. Si sviluppa per oltre 3 km nella formazione della Corniola ed è costituita da due allineamenti principali. Il primo, più in alto, parte dal versante NW del M. Vettoretto, passa alla base dello Scoglio dell'Aquila e raggiunge Quarto San Lorenzo. Il secondo allineamento orientato N-S corre più in basso, al tetto della faglia diretta, sempre sul versante della Costa del Vettore (fig. 1) ed è costituito da almeno tre settori. Di questa zona sono stati eseguiti rilievi aerofotogrammetrici a bassa quota, a Settembre e Novembre 2016, rendendo possibili confronti di dettaglio sullo spostamento cosismico. Questi hanno permesso di verificare una maggiore direttività N-S dell'ultimo evento sismico. Il rigetto cosismico medio relativo all'evento del 24 Agosto raggiunge i 0.4 m con un valore medio calcolato

fig. 10

a - vista aerea obliqua verso sud, del versante sud-occidentale del M. Biccio - M. Bove Sud; sullo sfondo sono visibili il M. delle Porche (MP) il M. Vettore (MV) e il M. Macera della Morte (MdM) nei Monti della Laga;  
b - modello superficiale del terreno, (DSM - EPSG 32633) di una porzione dello stesso versante con la traccia delle rotture cosismiche (linea rossa) con i vettori indicanti le aperture variabili da 10 a 35 cm (vettori). I triangoli bianchi indicano i punti in comune tra le due immagini. Ubicazione in fig. 1.

fig. 11

a- vista aerea obliqua verso nord, di una parte del versante a monte di Cupi;  
b- modello superficiale del terreno, (DSM - EPSG 32633) di una porzione dello stesso versante con la traccia delle rotture cosismiche. I triangoli bianchi indicano i punti in comune tra le due immagini. Ubicazione in fig. 1.



nel settore centrale dello Scoglio dell'Aquila di 0.15 m. Il rigetto verticale massimo relativo all'ultimo evento del 30 Ottobre, supera invece in alcuni punti i 2 m (**fig. 7**). Il valore medio cumulativo è di 0.91 m, mentre quello orizzontale raggiunge 0.33 m, mentre il piano della rottura immerge a SW di circa 65° con una cinematica diretta e una leggerissima componente trascorrente sinistra. Nella parte meridionale del versante sono state rilevate anche alcune rotture antitetiche immergenti a NE con rigetti di circa 0.1 m.

#### iv) Pian Grande - Prati Pala;

questa rottura si sviluppa nel lato orientale del Pian Grande in una zona sostanzialmente pianeggiante in corrispondenza di un debole gradino morfologico di oltre 1 m di dislivello (**fig. 1**). Si sviluppa lungo un allineamento di circa 1.5 km in direzione circa N-S attraverso almeno sette rotture locali di forma leggermente arcuata, con numerosi settori di lunghezza media di circa 5 m. La frattura è subverticale, taglia il suolo agrario, ribassando il lato occidentale (**fig. 8**). Nella porzione centrale la frattura ha intercettato il piano stradale della SP 477 (**fig. 8**). Qui il rigetto medio verticale è di 0.06 m con un'apertura media di 0.03 m. Associata a questa rottura ne esistono molte altre, visibili sul piano stradale, con rigetti anche inferiori al cm, ma che complessivamente danno un rigetto del piano stradale a cavallo della rottura, di circa 0.4 m. In corrispondenza di questa zona, alcuni anni fa era stata effettuata una trincea paleosismica (Galadini & Galli, 2003) che aveva evidenziato le potenzialità sismogenetiche per la faglia del M. Vettore per un evento sismico di  $M > 6$ . Di questa zona interessata da questa frattura cosismica sono disponibili riprese aerofotogrammetriche ad alta risoluzione del 29 e del 31 ottobre 2016.

#### v) M. Argentella - M. Porche;

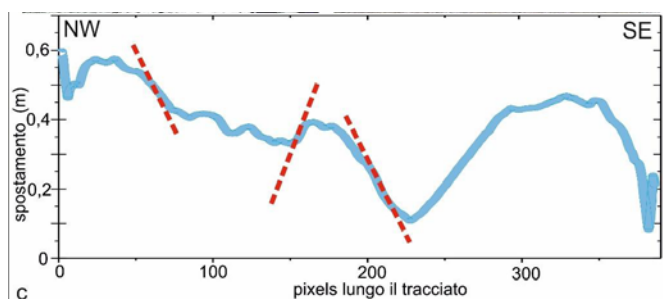
si tratta di una rottura complessa che si sviluppa con andamento NNW-SSE con numerosi settori a cavallo del M. Porche (2233 m s.l.m.) su di una lunghezza di circa 4.3 km (**fig. 1**). In molti punti intercetta una faglia preesistente immergente a SW con un rigetto geologico di alcune centinaia di metri, che



mette a contatto la formazione calcarea della Maiolica con le Marne a Fucoidi. La sua porzione più meridionale su di una lunghezza di circa 0.6 km, interessa il versante nord orientale del M. Argentella (2200 m s.l.m.) fino alla zona sommitale di Palazzo Borghese (2119 m s.l.m.) e raggiunge il versante sud-occidentale del M. Porche per poi proseguire lungo la valle che sale alla Cima Cannafusto (**fig. 9**). Parallelamente a questa, un'altra rottura prosegue poi nella parte alta della Valle Lunga, per poi risalire ed esaurirsi nel versante orientale della Cima Vallinfante (2113 m s.l.m.). Le rotture superficiali, che coinvolgono per gran parte suolo agrario, portano a giorno, in diversi punti, un piano di faglia costituito da una breccia poco cementata in Maiolica e Calcarea Massiccio. Il rigetto verticale medio è di circa 0.6 m, mentre quello orizzontale medio è di circa 0.4 m. Nei versanti più acclivi il rigetto orizzontale può raggiungere il metro. Nella zona della Cima di Passo Cattivo (1869 m s.l.m.) sono presenti alcune fratture di circa 100 m di lunghezza molto probabilmente connesse al rilascio tensionale del versante occidentale.

#### vi) M. Bicco - M. Bove;

lungo questo allineamento sono compresi almeno tre settori subparalleli fra loro che corrono in direzione NW-SE per circa 5 km su tutto il versante occidentale del M. Bicco (2052 m s.l.m.) - M. Bove Sud (2069 m s.l.m.). Altre fratture di alcune decine di metri di lunghezza, sono presenti nelle parti sommitali del M. Bove Nord (2112 m s.l.m.). Alcune di queste rotture, con rigetti di pochi cm, erano state rilevate successivamente all'evento del 26 Ottobre. Le stesse e delle nuove, sono state riattivate dall'evento del 30 Ottobre. Le fratture si sviluppano nella Maiolica e nel Calcarea Massiccio con un rigetto geologico di alcune centinaia di metri (**fig. 10**). La principale, della lunghezza di poco superiore al km è composta da almeno tre settori disposti a scalinata destra con un rigetto verticale medio



**fig. 12**  
Fratture cosismiche all'interno della Galleria di San Benedetto lungo la SS 685 (vedi **fig 5**).  
a-: fratture nella copertura della galleria alla progressiva km 0.970, guardando in direzione Norcia;  
b- fratture cosismiche superficiali sul versante meridionale del M. Cappelletta (ubicazione in **fig. 1**);  
c- profilo interferometrico lungo l'asse della galleria con indicate le principali discontinuità lungo il tracciato.

**fig. 13**  
Vista aerea obliqua della frattura cosismica del 30 ottobre 2016 immergente a NE, tra Portella del Vao e i Piani San Lorenzo (ubicazione in **fig. 1**). Sullo sfondo il Pian Perduto TP è l'ubicazione di una trincea paleosismica.

di 0.3 m ed una apertura media di 0.15 m. Parallela a questa corre un'altra rottura di un centinaio di metri di lunghezza nel versante sud occidentale del M. Cornaccione (1769 m s.l.m.).

**vii) Casali - M. Banditella - Cupi;**

si tratta delle fratture cosismiche più settentrionali rilevate, che si sviluppano per poche centinaia di metri di estensione nel versante occidentale del M. Banditella (1583 m s.l.m.). Le fratture in roccia, interessano la Fm. della Scaglia Rossa, mentre altre sono localizzate nel detrito di falda (**fig.11**). Le fratture corrono a monte dell'abitato di Cupi in corrispondenza di una faglia diretta immergente a SW con un rigetto geologico di molte decine di metri. Le fratture cosismiche hanno un rigetto verticale medio di 0.18 m ed orizzontale di 0.1 m (**fig. 11**). Non è ben chiaro se queste fratture siano connesse all'evento sismico del 26 o del 30 Ottobre, essendo state rilevate solo nei primi mesi del 2017.

Altri allineamenti di fratturazioni superficiali su suolo, con rigetti centimetrici e connesse alla faglia diretta immergente a SW, dell'allineamento Nottoria - Preci, sono noti nella Piana di Norcia a sud del centro abitato (**fig. 1**). A valle dell'abitato di San Pellegrino di Norcia, sono state inoltre rilevate alcune rotture locali allineate NW-SE con rigetti medi di 10 cm. Sempre nell'area del Piano di S. Scolastica di Norcia sono state eseguite delle trincee paleosismiche che hanno permesso di individuare rotture cosismiche in epoche storiche ricollegabili agli eventi del 1703 e del 99 a.C (Galli et al., 2018).

Associate a queste rotture sono stati riconosciuti almeno tre sistemi di fratture cosismiche, antitetiche ed associate a faglie immergenti a NE:

**viii) Forca Canapine - M. Ventosola;**

queste rotture si estendono per circa 3 km in tre settori ad andamento circa N-S (**fig. 1**) riattivando alcune faglie dirette immergenti ad Est che mettono a contatto, con un rigetto geologico di circa 150 m, la Fm. della Corniola con i Calcarei Diasprigni e il Rosso Ammonitico. Il settore più meridionale è costituito da un set di fratture superficiali che intercettano la SP 64 di Forca Canapine, con rigetti verticali medi di circa 0.06 m ed orizzontali di pochi cm (**fig. 12b**). Queste fratture possono essere collegate al sistema di faglie che hanno deformato la galleria di S. Benedetto lungo la SS 685 (**fig. 12a**). Il settore settentrionale di questo allineamento corrisponde ad alcune rotture che si sono generate nel versante orientale del M. Ventosola

fig. 13



(1718 m s.l.m.) riattivando un piano di faglia diretta che borda la piana sottostante (fig. 1).

**ix) Castelluccio - Pian Grande;**

a sud di Castelluccio, si sono generate almeno due rotture cosismiche durante l'evento del 30 Ottobre (fig. 1). La prima della lunghezza di poche decine di metri orientata NE-SW con un rigetto verticale medio di circa 0.15 m nel suolo agrario. L'altra in prossimità dell'incrocio lungo la SP 477 Norcia - Castelluccio, al bivio per Arquata del Tronto, interessa il piano stradale dove sono stati rilevate alcune fratture immergenti ad Est con rigetto medio di pochi cm. Lungo questo allineamento, ma più a Nord, sono stati rilevati almeno tre settori, di alcune centinaia di metri, di una frattura cosismica che interessa il suolo agrario ma anche la Fm. della Maiolica e che coinvolge il margine orientale del rilievo di Castelluccio. Il rigetto verticale medio è di 0.2 m, con aperture medie di 0.07 m. Quest'ultima frattura è responsabile del dissesto del lato orientale della strada che sale a Castelluccio.

**x) M. Abuzago - Piani San Lorenzo - M. delle Prata;**

si tratta di una rottura complessa che si estende per oltre 4 km lungo un allineamento orientato NW-SE e suddivisa in almeno 6 settori che presentano una buona interconnettività tra loro (fig. 1). Quelli più meridionali realizzano una serie di piccole depressioni in corrispondenza del versante nord-orientale del M. Abuzago (1624 m s.l.m.) e nei Piani S. Lorenzo (fig. 13). In quest'ultima località nei mesi invernali del 2016/2017 la frattura cosismica ha realizzato un piccolo sbarramento sulla rete di drenaggio a valle della Fonte di San Lorenzo. Le rotture più settentrionali raggiungono il versante sud-occidentale del M. delle Prata (1800 m s.l.m.) dove intercettano alcuni piani di faglia immergenti a NE inclinati di circa 45°. I piani di taglio sono costituiti per la gran parte da breccie cataclastiche mediamente cementate. I rigetti geologici sono dell'ordine di poche centinaia di metri, mentre gli spostamenti orizzontali e verticali cosismici hanno valori medi rispettivamente di 0.3 m e 0.2 m. Tutte queste strutture cosismiche estensionali, sono un esempio eccezionale della complessa evoluzione geologica di una regione, interessata da almeno tre fasi tettoniche che si sono sovrapposte a partire dal Giurassico. L'ultima fase, estensionale, attiva almeno dal Pleistocene e responsabile della sismicità attuale, si sovrappone sulle strutture compressive del Miocene Sup. e, almeno in superficie, non si evidenziano riattivazioni. Alcuni modelli geologici interpretano queste

rotture cosismiche capaci di riattivare le strutture compressive del fronte di sovrascorrimento (Pucci et al., 2017; Civico et al., 2018). Quello che è possibile osservare sul terreno è che chiaramente le strutture distensive tagliano quelle compressive e trascorrenti. I dati geofisici di sismica a riflessione disponibili (Cooper et al., 1986; Menichetti, 1991; Porreca et al., 2018) non indicano se questo tipo di relazione geometrica persiste anche in profondità.

**DISCUSSIONE**

Il rilievo di dati strutturali delle fratture cosismiche, fornisce dati importanti riguardanti l'assetto sismotettonico di una regione e contribuisce a definire con maggiore precisione il rischio sismico. Gli eventi sismici della seconda metà del 2016 nell'area dei Monti Sibillini, sviluppatasi su di una lunghezza di oltre 30 km indicano che le fratture cosismiche riattivano solo parzialmente la totalità della faglia su cui si verificano. Esiste un rapporto circa 1:3 tra il rigetto della frattura cosismica generata durante l'evento del 24 Agosto 2016 di 0.15 m e i 0.8 m della faglia del 30 ottobre 2016. Il rilievo di dettaglio delle fratture cosismiche mostra una propagazione della rottura da un settore della faglia ad un altro molto complesso, con variazioni rapide, non sempre influenzate dalle condizioni geologiche locali di superficie. I principali fattori che definiscono la geometria e la cinematica della zona di rottura includono: a) la lunghezza e l'architettura della zona di rottura; b) lo spessore del materiale in cui è localizzata la zona di rottura; c) la cinematica e magnitudo dello spostamento cosismico; d) la disposizione geometrica e le relazioni tra i diversi allineamenti di fratture, le rotture locali e il loro grado di interconnessione. Infine, la reologia dei materiali coinvolti nelle fratture cosismiche (roccia, suolo, detriti), lo spessore crostale interessato dalla faglia e l'entità del carico tettonico, sembrano giocare un ruolo importante nell'organizzazione stessa della zona di rottura. I rigetti verticali e orizzontali sono estremamente eterogenei lungo tutta la struttura riattivata, con valori massimi nel settore del M. Vettore. Questo oltre ad indicare la complessità della rottura cosismica, mostra la sua direzionalità nella propagazione, probabilmente controllata dalla enucleazione del sisma in profondità. Anche dal punto di vista geologico questo settore della faglia, in corrispondenza del Pian Grande, rappresenta quello con maggior rigetto geologico verticale, che si è sviluppato nel corso della sua evoluzione sin dal Pleistocene.

Sono molti gli insegnamenti per la comunità scientifica derivanti da questi terremoti del 2016, il primo dei quali è la conferma alla possibilità che si possano attivare nell'area dell'Appennino, con eventi sismici di moderata intensità, importanti segmenti di faglie dirette con rotture significative della superficie topografica. La successione temporale ravvicinata di terremoti, suggerisce che l'eterogeneità dei processi sismogenetici in una regione, come quella appenninica dove l'assetto strutturale è il risultato di una complessa evoluzione geodinamica, devono essere ancora ben compresi e studiati. Ad oggi sono numerosi i lavori pubblicati che hanno analizzato diversi settori delle rotture cosismiche, generatesi con i terremoti del 2016

(Emergeo, 2016; Ferrario & Livio 2018, Villani et al., 2018). I dati acquisiti con le tecnologie qui illustrate e le analisi sviluppate, sia in quantità che in qualità, possono integrare sensibilmente la banca dati geologica che questi eventi sismici ci hanno permesso di osservare. La complessità geologica, nonché l'estensione dell'area, richiedono comunque uno sforzo congiunto di tutti coloro che, ricercatori e professionisti, svolgono studi nel territorio interessato dal terremoto del 2016, per raccogliere e rendere disponibile alla collettività, una banca dati quanto più realistica e attendibile possibile. Questi dati possono essere utili da subito, anche a supporto degli studi di microzonazione sismica.



## Microzonazione sismica

### Sismografi Geometrics

per la sismica professionale

### Sensori sismici Nanometrics

per dati di altissima qualità ed affidabilità

### Software ReMi 6.0 Optim

la nuova release per VS eq  
come da normativa NTC2018

tel. +39 02 4830.2175  
info@codevintec.it  
www.codevintec.it



**CODEVINTEC**  
Tecnologie per le Scienze della Terra



**BIBLIOGRAFIA**

**Boncio, P., Galli, P., Naso, G., Pizzi, A., 2012**  
*Zoning Surface Rupture Hazard along Normal Faults: Insight from the 2009 Mw 6.3 L'Aquila, Central Italy, Earthquake and Other Global Earthquakes.*  
Bulletin of the Seismological Society of America, 102, 918-935, doi: 10.1785/0120100301

**Brozzetti, F., Boncio, P., Cirillo, D., Ferrarini, F., Nardis, R., Testa, A., Liberi, F., Lavecchia, G., 2019**  
*High-resolution field mapping and analysis of the August–October 2016 coseismic surface faulting (central Italy earthquakes): Slip distribution, parameterization, and comparison with global earthquakes.*  
Tectonics, 38, 417-439. <https://doi.org/10.1029/2018TC005305>

**Boschi, E., Bordieri, F., 2009**  
*Il rischio sismico, l'allarme degli scienziati, l'indifferenza del potere.*  
Baldini & Castoldi, p.164, ISBN 8860736196

**Castellarin, A., Colacicchi, R., Praturlon, A., 1978**  
*Fasi distensive, trascorrenze e sovrascorrimenti lungo la linea Ancona-Anzio dal Lias al Pliocene.*  
Geologica Romana 17, 161-89

**Chiaraluce, L., Di Stefano, R., Tinti, E., Scognamiglio, L., Michele, M., Casarotti, E., Cattaneo, M., De Gori, P., Chiarabba, C., Monachesi, G., Lombardi, A., Valoroso, L., Latorre, D., Marzorati, S., 2017**  
*The 2016 Central Italy seismic sequence: a first look at the mainshocks, aftershocks, and source models.*  
Seismol Res Lett 88(3):757–771. doi:10.1785/0220160221

**Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica, 2015**  
*Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), Versione 1.0.*  
Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, Rome, Italy

**Civico, R., Pucci, S., Villani, F., Pizzimenti, L., De Martini, P.M., Nappi, R., & the Open EMERGEO Working Group, 2018**  
*Surface ruptures following the 30 October 2016 Mw 6.5 Norcia earthquake, central Italy.*  
Journal of Maps, 14:2, 151-160, doi: 10.1080/17445647.2018.1441756

**EMERGEO Working Group, 2016**  
*Coseismic effects of the 2016 Amatrice seismic sequence: first geological results.*  
Annals of Geophysics 59

**Ferrario, M. F., Livio, F., 2018**  
*Characterizing the distributed faulting during the 30 October 2016, Central Italy earthquake: a reference for fault displacement hazard assessment.*  
Tectonics, 37, 1256-1273. <https://doi.org/10.1029/2017TC004935>

**Galadini, F., Galli, P., 2003**  
*Paleoseismology of silent faults in the Central Apennines (Italy): The Mt. Vettore and Laga Mts faults.*  
Annals Geophysics, 46, 815-836

**Galli, P., Galderisi, A., Ilardo, I., Piscitelli, S., Scionti, V., Bellanova, J., Calzoni, F., 2018**  
*Holocene paleoseismology of the Norcia fault system (Central Italy).*  
Tectonophysics 745, 154-169

**Huang, M.-H., Fielding, E. J., Liang, C., Milillo, P., Bekaert, D., Dreger, D., Salzer, J., 2017**  
*Coseismic deformation and triggered landslides of the 2016 Mw 6.2 Amatrice earthquake in Italy.*  
Geophysical Research Letters, 44(3), 1266-1274. doi:10.1002/2016gl071687

**Improta, L., Latorre, D., Margheriti, L., Nardi, A., Marchetti, A., Lombardi, A. M., Castello, B., Villani, F., Ciaccio, M. G., Mele, F. M., Moretti, M. and The Bollettino Sismico Italiano Working Group, 2019**  
*Multi-segment rupture of the 2016 Amatrice-Visso-Norcia seismic sequence (central Italy) constrained by the first high-quality catalog of Early Aftershocks.*  
Scientific Reports 9, 6921

**Lavecchia, G., 1985**  
*Il sovrascorrimiento dei Monti Sibillini: analisi cinematica e strutturale.*  
Boll. Soc. Geol. Italiana, 104, 161-194

**Lavecchia, G., Brozzetti, F., Barchi, M., Menichetti, M., Keller, J.V.A., 1994**  
*Seismotectonic zoning in east-central Italy deduced from an analysis of the Neogene to present deformations and related stress fields.*  
Geol. Soc. Am. Bull., 106, 1107-1120

**Lavecchia, G., Castaldo, R., de Nardis, R., De Novellis, V., Ferrarini, F., Pepe, S., Brozzetti, F., Solaro, G., Cirillo, D., Bonano, M., Boncio, P., Casu, F., De Luca, C., Lanari, R., Manunta, M., Manzo, M., Pepe, A., Zinno, I., Tizzani, P., 2016**  
*Ground deformation and source geometry of the 24 August 2016 Amatrice earthquake (Central Italy) investigated through analytical and numerical modeling of DInSAR measurements and structural-geological data.*  
<http://dx.doi.org/10.1002/2016GL071723>

**Massa, M., Camassi, R., 2013**  
*I Terremoti. Quando la Terra Trema.*  
Ed. Il Mulino, p.134

**McCalpin, J., 2009**  
*Paleoseismology.*  
Ed. Academic Press, v.95, p.629

**Menichetti, M., 1982**  
*Il sovrascorrimiento dei Monti Sibillini tra Monte Vettore e Forca Canapine.*  
Tesi di laurea inedita, Università di Perugia, 132 pp.

**Menichetti, M., 1991**  
*Sismogenesi e faglie dirette nell'area umbro-marchigiana.*  
Atti 10° Convegno annuale del Gruppo Italiano di Geofisica della Terra solida, Roma, 79-89

**Menichetti, M., Piacentini, D., Troiani, F., Guidotti, G., Napolitano, A., 2016**  
*Remote sensing investigation techniques for the analysis of rocky slope stability in remote areas: a test from the Sierra Madre Occidental, Mexico.*  
Rend. Online Soc. Geol. It., 39, 113-116

**Pierantoni, P.P., Deiana, G., Galdenzi, S., 2013**  
*Stratigraphic and structural features of the Sibillini Mountains (Umbria-Marche Apennines, Italy).*  
Ital. J. Geosci., 132, 3, pp. 497-520

**Porreca, M., Minelli, G., Ercoli, M., Brobia, A., Mancinelli, P., Cruciani, F., Giorgetti, C., Carboni, F., Mirabella, F., Cavinato, G., Cannata, A., Pauselli, C., Barchi, M. R., 2018**  
*Seismic reflection profiles and subsurface geology of the area interested by the 2016–2017 earthquake sequence (Central Italy).*  
Tectonics, 37, 1116– 1137. <https://doi.org/10.1002/2017TC004915>

**Pucci, S., De Martini, P.M., Civico, R., Villani, F., Nappi, R., Ricci, T., Azzaro, R., Brunori, C.A., Caciagli, M., Cintì, F.R., Sapia, V., De Ritis, R., Mazzarini, F., Tarquini, S., Gaudiosi, G., Nave, R., Alessio, G., Smedile, A., Alfonsi, L., Cucci, L., Pantosti, D., 2017**  
*Coseismic ruptures of the 24 August 2016, Mw 6.0 Amatrice earthquake (central Italy).*  
Geophys. Res. Lett., doi: 10.1002/2016GL071859

**Roccheggiani, M., Tamburini, A., Tirincanti, E., Menichetti, M., 2018**  
*Automated detection of surface ruptures associated with the 2016 Central Italy earthquake sequence by Sentinel-1 SAR interferometry data.*  
Proceedings of the 9th International INQUA meeting on Paleoseismology, Active Tectonics and Archeoseismology, 229-232

**Scholz, C.H., 2002**  
*The Mechanics of Earthquakes and Faulting.*  
Cambridge University Press, p. 494, doi.org/10.1017/CBO9780511818516 (2002)

**Tarquini, S., Isola, I., Favalli, M., Mazzarini, F., Bisson, M., Pareschi, M.T., Boschi, E., 2007**  
*TINITALY/01: a new Triangular Irregular Network of Italy.*  
Annals of Geophysics 50, 407 - 425

**Tarquini, S., Isola, I., Favalli, M., Mazzarini, F., Bisson, M., Pareschi, M.T., Boschi, E., 2007**  
*TINITALY/01: a new Triangular Irregular Network of Italy.*  
Annals of Geophysics 50, 407 - 425

**Valentini, A., Pace, B., Boncio, P., Visini, F., Pagliaroli, A., Pergalani, F., 2019**  
*Definition of seismic input from fault-based PSHA: Remarks after the 2016 central Italy earthquake sequence.*  
Tectonics, 38, 595–620. doi.org/ 10.1029/2018TC005086

**Villani, F., Civico, R., Pucci, S., Pizzimenti, L., Nappi, R., and De Martini, P. M., and the Open EMERGEO Working Group, 2018**  
*A database of the post-30 October 2016 Norcia earthquake coseismic effects in Central Italy.*  
Scientific Data 5, 180049

**Wei, M., Sandwell, D., Fialko, Y., Bilham, R., 2011**  
*Wei, M., Sandwell, D., Fialko, Y., Bilham, R., 2011 - Slip on faults in the imperial valley triggered by the 4 April 2010 Mw 7.2 El Mayor-Cucapah earthquake revealed by InSAR.*  
Geophysical Research Letters 38 (1). L01308

**Wells, D. L., Coppersmith, K. J., 1994**  
*New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement.*  
Bulletin of the Seismological Society of America 84, 974–1002



## Dubbi Certi

rubrica ironica di recensioni e amenità varie

a cura di **FABIO LATTANZI**

### CONSIGLIATI

Quando, dopo una giornata di lavoro...sposati dai cento problemi che abbiamo avuto...una volta schiantati sul divano...che fare se in TV non c'è nulla ?...

E' il momento di leggere questo libro...che nel giro di qualche minuto vi ridonerà il buonumore e le energie per tirare avanti... almeno fino al giorno dopo...!!!

La letteratura yiddish è una letteratura che non solo è divertente...ma fa crescere dentro...va a incidere nei tessuti connettivi della nostra massa cerebrale fornendo un modo di vedere il mondo che probabilmente non avremmo mai pensato che esistesse...sviluppando a dismisura l'ironia, il sarcasmo, il ridere di tutto e di tutti anche di argomenti "pesanti"...Ridere libera la mente...!!!

Il libro è strutturato per argomenti...e per ognuno di essi vi sono barzellette, storielline e racconti...da leggere ognuno come vuole...partendo da metà libro o dalla fine e andando a ritroso...libertà e ironia...Un regalo per lo Spirito !



**"Così giovane e già ebreo"**

di Marc-Alain Ouaknin (Autore),  
Dory Rotnemer (Autore),  
M. Ovadia (a cura di),  
E. Savi (Traduttore)

Edizioni Piemme

### MASSIME

"Le donne ricordano solo gli uomini che le hanno fatte ridere. Gli uomini le donne che li hanno fatti piangere"

[Henri de Régnier](#)

"Il dubbio non è piacevole, ma la certezza è ridicola. Solo gli imbecilli sono sempre sicuri di ciò che fanno e dicono"

[Voltaire](#)

"Se pensi a una cosa alle tre del mattino e poi ci ripensi l'indomani a mezzogiorno, arrivi a conclusioni diverse".

[Snoopy](#)

# X-PAD

U L T I M A T E



## X-PAD Ultimate

### Tutto in un unico software

X-PAD Ultimate è un software modulare, facile da usare per lavori topografici e del cantiere, come rilievi, tracciamenti, catasto, controlli BIM, strade, mappe, batimetria e GIS.

Il software è disponibile sulla piattaforma Android e porta le migliori tecnologie direttamente in campo nella tua mano: una completa visualizzazione 3D ed un sistema CAD per visualizzare e modificare i disegni,

integrazione dei tuoi dati con tutte le tipologie di mappe, supporti per la realtà aumentata e molto altro. XPad Ultimate ti assicura la produttività e ti permette di avere una perfetta integrazione con tutti gli strumenti.

Disponibile in due versioni, una dedicata a chi lavora nel campo della topografia ed una dedicata alle imprese di costruzioni, offrendo ad entrambi delle caratteristiche dedicate.



**geomax-positioning.it**

©2018 Hexagon AB and/or its subsidiaries and affiliates. All rights reserved.



**IL TUO BUSINESS NON CONOSCE CONFINI.**



**JEEP COMPASS. BORN TO BE WILD.**

**Gamma Compass: Consumo di carburante ciclo misto (l/100 km): 8,3 – 5,1; emissioni CO<sub>2</sub> (g/km): 190 – 128** con valori omologati determinati in base al ciclo NEDC di cui al Regolamento (UE) 692/2008. I valori sono indicati a fini comparativi e potrebbero non riflettere i valori effettivi.

Jeep® è un marchio registrato di FCA US LLC.

**Jeep**<sup>®</sup>  
THERE'S ONLY ONE