

Geologia dell'Ambiente

Periodico trimestrale della SIGEA
Società Italiana di Geologia Ambientale - APS



Fondatore *Giuseppe Gisotti*

1/2025 ISSN 1591-5352

Poste Italiane S.p.a. - Spedizione in Abbonamento Postale - D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n° 46) art. 1 comma 1 - DCB Roma





ARPA Puglia, organo tecnico della Regione Puglia, è preposta all'esercizio di attività e compiti in materia di prevenzione e tutela ambientale, ai fini della salvaguardia delle condizioni ambientali soprattutto in relazione alla tutela della salute dei cittadini e della collettività.



ARPA Puglia e la SIGEA-APS hanno firmato un Protocollo d'Intesa al fine di:

- ✓ collaborare in attività di studio e ricerca;
- ✓ sviluppare iniziative condivise per la diffusione della cultura della difesa del territorio dai rischi naturali ed antropici;
- ✓ promuovere iniziative di sensibilizzazione, formazione e comunicazione per la conoscenza del patrimonio naturale e della geodiversità.

Per la prima volta dalla sua istituzione ARPA Puglia ha, nel suo organico, tre dirigenti geologi. La valorizzazione delle attività di questi professionisti si è concretizzata in virtù di una scelta strategica della Direzione dell'Agenzia.

Società Italiana di Geologia Ambientale - APS

Associazione di protezione ambientale individuata
con decreto ministeriale del 24 maggio 2007 e
con successivo D.M. 238 del 28/07/2023 ai sensi
dell'articolo 13, della legge 8 luglio 1986, n. 349

Fondatore *Giuseppe Gisotti*

PRESIDENTE
Antonello Fiore

CONSIGLIO DIRETTIVO NAZIONALE

Lorenzo Cadrobbi, Daria Duranti, Antonello Fiore
(*Presidente*), Adele Garzarella, Giuseppe Gisotti
(*Presidente Onorario*), Marianna Morabito, Stefania
Nisio, Fabio Oliva, Michele Orifici (*Vice Presidente*),
Vincent Ottaviani (*Vice Presidente*), Paola Pino d'Astore
(*Tesoriere*), Luciano Masciocco, Sabina Porfido,
Livia Soliani, Salvatore Valletta (*Segretario*)

Geologia dell'Ambiente
Periodico trimestrale della SIGEA - APS

N. 1/2025

Anno XXXIII • gennaio-marzo 2025

Iscritto al Registro Nazionale della Stampa n. 06352
Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 229
del 31 maggio 1994

DIRETTORE RESPONSABILE
Antonello Fiore

CONDIRETTORE RESPONSABILE
Eugenio Di Loreto

COMITATO SCIENTIFICO

Mario Bentivenga, Aldino Bondesan, Francesco
Cancellieri, Rachele Castro, Massimiliano Fazzini,
Giuseppe Gisotti, Giancarlo Guado, Emanuela
Guidoboni, Salvatore Lucente, Fabio Luino, Endro
Martini, Luciano Masciocco, Davide Mastroianni,
Antonio Paglionico, Mario Parise, Giacomo Prosser,
Giuseppe Spilotto, Vito Uricchio, Gianluca Valensise

COMITATO DI REDAZIONE

Eugenio Di Loreto, Maria Luisa Felici, Michele Orifici,
Vincent Ottaviani, Salvatore Valletta

REDAZIONE

SIGEA - APS c/o Fidaf - Via Livenza, 6 00198 Roma
info@sigeaweb.it

PROCEDURA PER L'ACCETTAZIONE DEGLI ARTICOLI

I lavori sottomessi alla rivista dell'Associazione,
dopo che sia stata verificata la loro pertinenza
con i temi di interesse della Rivista, saranno
sottoposti a un giudizio di uno o più referees

UFFICIO GRAFICO

Pino Zarbo (Fraserighe Book Farm)
www.fraserighe.it

PUBBLICITÀ
SIGEA - APS

STAMPA

Industria grafica Sagraf Srl, Capurso (BA)

La quota di iscrizione alla SIGEA-APS per il 2025
è di € 30 e da diritto a ricevere la rivista
"Geologia dell'Ambiente".

Per ulteriori informazioni consulta il sito web
all'indirizzo www.sigea-aps.it

Sommario

Editoriale

ANTONELLO FIORE 2

Frane e catastrofi naturali nelle Dolomiti:
esempi di geomorfositi educativi

ALBERTO BERTINI 3

Morfologie effimere: l'esempio dei vulcani di fango
"Maccalube" di Aragona (Agrigento, Sicilia Meridionale)

PIETRO CARVENI, SANTO BENFATTO,
MARIA SALLEO PUNTILLO 10

Sistema carsico Malafollia - La Stretta (Castelvetrano, Sicilia
sud-occidentale): tracce ipogee del sisma del Belice del 1968

ROBERTO GRAMMATICO, LUIGI FONTANA,
ROSARIO BONVENTRE 16

Gli eventi sismici di Umbertide (anno 2023) e le registrazioni
accelerometriche della Rete Sismica Regionale in Umbria
(Re.Si.R.)

MICHELE ARCALENI, ANDREA MOTTI,
ALESSANDRO SABATINI, MARTINO SICILIANI 20

Il recupero dei paesaggi degradati in aree carsiche: il caso
della dolina/discarica di Spiggiani (Salve, Lecce, Puglia, Italia)

STEFANO MARGIOTTA, FRANCESCO CAUSO, LARA LOPEZ 26



In copertina: Stefano Gelli, *Parco Nazionale Dolomiti Bellunesi*, particolare della foto partecipante al Concorso fotografico "Obiettivo Terra 2024", organizzato da Fondazione UniVerde, in collaborazione con SIGEA-APS.

Nelle prime settimane del 2024 abbiamo chiesto un'audizione al Ministro della Protezione Civile. A febbraio una delegazione della SIGEA-APS, formata oltre che da me dai due vicepresidenti Michele Orifici e Vincent Ottaviani e dalla Tesoriera Paola Pino d'Astore, è stata ricevuta dal Ministro Nello Musumeci. Così abbiamo avuto l'occasione di presentare direttamente al Ministro alcune proposte non strutturali, di carattere culturale e di governance, necessarie per mitigare gli effetti che i pericoli naturali hanno sul sistema produttivo, sul benessere e la sicurezza della popolazione e sul sistema sociale. Sono stati diversi i temi condivisi con il Ministro Musumeci che si è dimostrato interessato e aperto al confronto. Nelle settimane successive lo stesso Ministro Musumeci ha costituito un gruppo di lavoro sulla "prevenzione sismica" invitando la SIGEA-APS a partecipare ai lavori insieme al Dipartimento della Protezione Civile, al Dipartimento Casa Italia, all'INGV, alla Fondazione INARCASSA, all'ANCE e alla Rete delle professioni tecniche. Ci sono stati diversi incontri che hanno portato come risultato un testo di legge che sarà discusso in Parlamento e per il quale abbiamo dato il nostro contributo di esperienze e di idee.

Sulla scia dei protocolli firmati con le Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente delle regioni Calabria, Campania, Lazio e Piemonte, grazie all'impegno delle Sezioni regionali abbiamo siglato analoghi accordi di collaborazione e disseminazione di contenuti scientifici e culturali con le Agenzie della Puglia e della Basilicata. Sempre grazie all'impegno e all'intuizione di Gaetano Osso, Presidente della Sezione Calabria, abbiamo siglato un accordo di partenariato a tre: SIGEA-APS, Assocultura Confcommercio Cosenza e l'ARPA Calabria.

In Puglia abbiamo sostenuto l'appello al Consiglio regionale per ripristinare il divieto di concessione demaniale in aree di cordoni dunali. Il tema è rimasto di grande interesse tanto che grazie all'impegno della Sezione abbiamo sottoscritto un protocollo d'intesa tra Comune di Barletta, Legambiente circolo di Barletta e la SIGEA-APS per il "ripristino e rinaturalizzazione dei cordoni dunali lungo la litoranea di ponente di Barletta". Il tema delle dune è stato

sviluppato in un ciclo di webinar, curati dal referente Francesco Stragapede, che hanno permesso di produrre sul tema una Monografia di Geologia Ambientale dal titolo "Le dune costiere. Valore ambientale, paesaggistico ed economico risorsa da proteggere e preservare". Monografia disponibile online sul sito web www.sigea-aps.it e che sarà presentata nel corso del 2025 in quattro regioni: Toscana, Emilia Romagna, Sicilia e Puglia.

Per il 2025 sono in preparazione due Monografie: Geologia ambientale del Lazio e Geologia ambientale dell'Abruzzo. Altro protocollo d'intesa è stato siglato, grazie all'impegno costante della Consigliera nazionale Marianna Morabito, per la collaborazione in attività di studio nel settore della tutela ambientale e promozione di iniziative divulgative e di sensibilizzazione tra la SIGEA-APS e il Commissario unico per le bonifiche. Nell'ambito di questa attività stiamo valutando di strutturare un ciclo di eventi che vedono al centro la geologia forense e più in generale le scienze forensi.

Altri protocolli sono in discussione per il 2025 a dimostrazione che l'azione del nostro sodalizio trova nella collaborazione con gli Enti pubblici un momento di confronto sulle esperienze reciproche e un forte stimolo alla crescita e disseminazione.

L'edizione 2024 del premio SIGEA-APS per la "Salvaguardia dell'ambiente naturale e antropizzato, gestione responsabile del territorio e delle sue risorse e prevenzione e mitigazione dei pericoli naturali" è stato assegnato a Emanuela Guidoboni, sismologa e vulcanologa storica, che ha saputo creare un solido ponte culturale e operativo nel campo dei fenomeni naturali avversi e dei disastri geologici, tra la ricerca in campo umanistico e quella in campo scientifico, coinvolgendo storici, archeologi, geologi, fisici e ingegneri. Lo stesso premio è stato assegnato a Giuseppe Vadalà, Generale di Brigata Carabinieri Forestali, che ha saputo trasformare una criticità quale la procedura di infrazione comunitaria "Discariche abusive" in una best practice a livello europeo che ha consolidato valori quali la legalità, la lotta alla criminalità organizzata, nonché la diffusione di uno stile di vita sostenibile e attento alla conservazione dell'ambiente.

Nel corso del 2024 c'è stato il cambio di direzione della rivista *Geologia dell'Ambiente*; direzione che ho assunto io dopo

30 anni di grande dedizione, impegno e lavoro del suo fondatore Giuseppe Giosotti. A Giuseppe va tutto il nostro riconoscimento e la nostra stima. La nostra rivista oltre al sottoscritto, si avvale della efficiente collaborazione del Condirettore, Eugenio Di Loreto e del prezioso contributo del Comitato di redazione.

Voglio segnalarvi che sul sito web si sta arricchendo la rassegna "La scienza e la tecnica raccontate", una rassegna unica nel suo genere per promuovere la cultura geologica e quella scientifica. Scopo della rubrica è quello di potenziare la comunicazione e la divulgazione dei temi scientifici e tecnici attraverso la presentazione di libri, scritti da scienziati, divulgatori e studiosi, che trattano specifici temi afferenti alla cultura delle Scienze della Terra o a queste riconducibili. Troverete numerose e dettagliate recensioni, spesso associate a presentazioni da parte degli autori, interviste e contenuti multimediali.

Come leggete spesso nelle nostre campagne informative, sul sito web e sulla Rivista, in qualità di associazione di promozione sociale è possibile indicare la SIGEA-APS come destinataria del 5x1000 in occasione della dichiarazione dei redditi.

La nostra azione per promuovere il patrimonio geologico, la geodiversità i paesaggi geologici si concentra oltre che nel creare confronti scientifici come quello che stiamo organizzando per il prossimo 6 ottobre in occasione della Giornata UNESCO dedicata alla Geodiversità anche nel coinvolgere e avvicinare la società civile a questi temi. Così la mostra fotografica "Paesaggi geologici della Puglia", composta da 32 foto e curata dalla SIGEA-APS in collaborazione con associazione di fotoamatori "Photo Digital Puglia", dopo l'esposizione itinerante in alcuni comuni è stata allestita in maniera permanente negli spazi della biblioteca del Consiglio Regionale della Puglia.

Per finire esprimo a nome del Consiglio direttivo l'augurio di buon lavoro e sicuro sostegno a tre nuove Sezioni regionali: Basilicata, Piemonte e Marche. Sezioni che sin dalle fasi iniziali hanno dimostrato di essere un bel gruppo di soci, coeso e differenziato per estrazione professionale ed esperienza, in grado di creare confronto e dibattito sui temi a noi più cari: la promozione della cultura geologica e la tutela dell'ambiente.

Gli eventi sismici di Umbertide (anno 2023) e le registrazioni accelerometriche della Rete Sismica Regionale in Umbria (Re.Si.R.)

The Umbertide seismic events (year 2023) and the accelerometer recordings of the Regional Seismic Network in Umbria (Re.Si.R.)

Parole chiave: registrazioni accelerometriche, norme tecniche per le costruzioni, monitoraggio sismico, picco massimo di accelerazione, rischio sismico

Keywords: accelerometer recordings, building code, seismic monitoring, peak ground acceleration, seismic hazard

Michele Arcaleni

Osservatorio Sismico "A. Bina"
E-mail: m.arcaleni@libero.it

Andrea Motti

Regione Umbria - Sezione Geologica,
Perugia
E-mail: amotti@regione.umbria.it

Alessandro Sabatini

Osservatorio Sismico "A. Bina"
E-mail: ale_saba96@libero.it

Martino Siciliani

Osservatorio Sismico "A. Bina"
E-mail: m.siciliani@binapg.it

1. RIASSUNTO

In base all'analisi di accelerogrammi naturali acquisiti dagli accelerometri della Re.Si.R. (Rete Sismica Regionale gestita dall'Osservatorio Sismico "A. Bina per conto della Regione Umbria), è stato possibile quantificare gli effetti della componente accelerometrica verticale ed orizzontale del moto sismico in funzione di un ampio range di distanze epicentrali. Le magnitudo prese in considerazione vanno da circa 2.0 a 4.5 gradi Richter. Quest'ultima magnitudo è relativa al terremoto del 9 marzo 2023 di Umbertide.

L'attività di monitoraggio accelerometrico avviene grazie al funzionamento di cinque stazioni poste presso gli abitati di Città di Castello, Pierantonio (stazione provvisoria), Perugia, Giano dell'Umbria e Cascia. Gli accelerogrammi analizzati sono relativi a terremoti avvenuti in Italia Centrale, a partire dall'anno 2019 e cioè dalla data di messa in funzione delle stazioni accelerometriche. I valori di PGA (picco massimo di accelerazione) orizzontali e verticali vengono messi in relazione a distanze epicentrali variabili da circa due chilometri fino ad oltre ottanta chilometri.

L'analisi dei dati ha messo in evidenza che nel sito Re.Si.R. di Cascia, indipendentemente dalla magnitudo del sisma, il picco massimo di accelerazione verticale provocato dai terremoti risulta prevalere rispetto a quello orizzontale, entro una distanza epicentrale dell'ordine dei trenta chilometri (Sabatini, 2020). Oltre questa distanza e fino a circa ottanta chilometri, la componente verticale non decade ma risulta avere dei valori confrontabili rispetto a quella orizzontale. Per gli altri siti di Città di Castello, Pierantonio, Perugia e Giano

dell'Umbria, indipendentemente dalle distanze epicentrali analizzate, la PGA verticale risulta sempre molto prossima rispetto alla PGA orizzontale.

Le analisi ottenute permettono di affermare che la componente accelerometrica verticale, essendo o predominante o comunque confrontabile con quella orizzontale, sia in termini di PGA che in termini di contenuto in frequenza, non deve essere trascurata sia nell'ambito della progettazione di edifici in zona sismica sia per tutte quelle azioni volte alla prevenzione del rischio sismico.

2. PREMESSA

L'Osservatorio Sismico "A. Bina" di Perugia è uno dei più antichi osservatori sismologici d'Italia. Si trova all'interno del complesso monumentale dell'Abbazia di San Pietro in Perugia, nel luogo in cui il Monaco Benedettino Padre Andrea Bina inventò il primo sismografo a pendolo della storia, nell'anno 1751 e dove il Monaco Benedettino Benedetto Castelli, discepolo di Galileo Galilei, inventò il pluviometro nell'anno 1639.

La tradizione scientifica dei monaci benedettini, a Perugia, continua anche con l'invenzione dell'anemometro fotoelettrico da parte del Monaco Benedettino Bernardo Paoloni, amico e collaboratore di Guglielmo Marconi, nell'anno 1937 e direttore dell'Osservatorio Sismico di Perugia dal 1931 al 1944.

Una delle attività dell'Osservatorio Sismico "A. Bina" è quella di acquisire ed elaborare dati accelerometrici e velocimetrici per conto della Regione Umbria e dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e di svolgere ricerche scientifiche nell'ambito della risposta sismica locale, attraverso model-

lazioni numeriche ed indagini geofisiche di sismica attiva e passiva. L'attività di monitoraggio accelerometrico è iniziata in modo sperimentale nell'anno 2018 per poi entrare a regime nell'anno 2019.

Attualmente il centro sismico dispone di cinque stazioni accelerometriche professionali posizionate nel territorio umbro. Le stazioni registrano in continuo e sono controllate in tempo reale dal centro sismico.

Ogni anno vengono resi pubblici, attraverso il sito internet istituzionale della Regione Umbria (Regione Umbria-Sezione Geologica, 2023), all'indirizzo <https://www.regione.umbria.it/paesaggio-urbanistica/banca-dati-accelerometrica>, centinaia di nuovi accelerogrammi naturali locali, utilizzabili per studi di risposta sismica locale e nell'ambito della progettazione di edifici da parte di geologi, geofisici, ingegneri e tecnici addetti ai lavori. I dati forniti trovano impiego soprattutto nell'ambito della prevenzione del rischio sismico.

La modellazione numerica di accelerogrammi naturali permette di risalire alla risposta sismica "reale" di sito. Tale fattore risulta di estrema utilità per lo studio del moto del terreno e per la definizione di parametri progettuali nell'ambito della costruzione ed il restauro di edifici in zona sismica, come prescritto dalle attuali norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018).

Di seguito vengono riportati i risultati di alcune analisi sui dati accelerometrici acquisiti dalla rete sismica regionale denominata Re.Si.R., con un'attenzione particolare all'attività sismica di Umbertide e Pierantonio del 2023 ed agli effetti della componente verticale del moto sismico.

3. ASSETTO DELLA RETE ACCELEROMETRICA E VELOCIMETRICA RE.SI.R. (RETE SISMICA REGIONALE)

La rete Re.Si.R. è costituita da sei stazioni velocimetriche e da cinque stazioni accelerometriche, quattro delle quali su postazioni fisse ed una su postazione mobile. Oltre a queste stazioni, l'Osservatorio Bina gestisce anche altre stazioni poste all'interno della Regione Umbria e svolge manutenzione, per conto dell'INGV, in alcune stazioni della rete sismica nazionale.

In seguito all'inizio dell'attività sismica ad Umbertide del marzo 2023, la stazione accelerometrica mobile è stata posizionata all'interno del territorio comunale di Umbertide. I siti accelerometrici fissi si trovano presso edifici strategici o, comunque, di importanza rilevante (classe III e IV delle NTC 2018) e sono costituiti da categorie di sottosuolo NTC tipo B, C ed E.

A Città di Castello la stazione è collocata all'interno del Municipio, a Perugia si trova all'interno dell'Abbazia di San Pietro, a Giano dell'Umbria è stata collocata presso l'Istituto Omnicomprensivo Giano dell'Umbria-Bastardo mentre a Cascia si trova presso una struttura annessa al campo sportivo.

Il coordinamento dell'attività scientifica legata al monitoraggio accelerometrico viene svolto dalla Regione Umbria – Sezione Geologica (responsabile dott. Geol. Andrea Motti) in collaborazione con il personale dell'Osservatorio Sismico "A. Bina" (responsabile dott. Geol. Michele Arcaleni).

3.1 STAZIONE ACCELEROMETRICA PROVVISORIA DI PIERANTONIO

In seguito alla forte scossa di terremoto di magnitudo 4.5 avvenuta il 9 marzo 2023 nel Comune di Umbertide, è stata messa in funzione una stazione accelerometrica provvisoria presso l'abitato di Pierantonio (coordinate geografiche WGS84, latitudine 43.264988, longitudine 12.388372). La posizione della stazione è riportata in Fig. 1. La strumentazione, grazie alla disponibilità del Comune di Umbertide in seguito agli accordi presi con la Regione Umbria, è stata collocata all'interno del CVA di Pierantonio, una struttura in muratura prossima allo stadio di calcio.

L'attività di monitoraggio è stata intrapresa allo scopo di acquisire dati locali relativi alle accelerazioni sismiche di sito, per valutare sperimentalmente i fattori di amplificazione sismica e per



Figura 1. Localizzazione della stazione accelerometrica Re.Si.R. posizionata a Pierantonio

effettuare confronti con siti vicini, nei quali si trovano stazioni accelerometriche sia della Rete Accelerometrica Nazionale (RAN, Dipartimento di Protezione Civile, Presidenza del Consiglio dei Ministri) che della rete Re.Si.R.

Il monitoraggio accelerometrico dell'area di Pierantonio è stato svolto per circa tre mesi. La stazione accelerometrica utilizzata a Pierantonio ha la stessa configurazione delle altre quattro stazioni che fanno parte della rete accelerometrica fissa.

3.2 DESCRIZIONE DELLE APPARECCHIATURE DELLA RETE ACCELEROMETRICA

Ognuna delle cinque stazioni accelerometriche della Re.Si.R. è costituita da un acquirente a 24 bit della ditta Sara Electronics Instruments modello SL06C3 e da un sensore accelerometrico a tre componenti della marca Kinematics, modello Episensor Force Balance FBA ES-T.

Le registrazioni accelerometriche vengono acquisite con un campionamento del segnale di 200 campioni al secondo (200 Hz). Il dato accelerometrico viene inviato in tempo reale ad un server posto in Osservatorio Sismico (Fig. 2),

grazie a modem con schede SIM. Il sistema di comunicazione e trasmissione dati utilizza una tecnologia GSM con configurazione VPN. Ogni stazione sismica viene sincronizzata attraverso sistema GPS (global positioning system).

3.3. BANCA DATI ACCELEROGRAMMI NATURALI ACQUISITI DALLA RETE RE.SI.R.

Gli accelerogrammi vengono resi pubblici nel sito istituzionale della Regione Umbria con periodicità annuale. Sono in formato numerico (.txt) e quindi facilmente consultabili ed analizzabili con i più comuni software di risposta sismica.

Oltre agli accelerogrammi naturali viene fornito un "rapporto annuale", in PDF, nel quale viene descritto l'assetto delle stazioni accelerometriche e le caratteristiche geologiche dei siti di monitoraggio, con le specifiche tecniche ed i parametri di acquisizione dei dati.

Nel rapporto annuale vengono riportate inoltre le forme d'onda delle tre componenti verticale, nord-sud ed est-ovest di ogni accelerogramma (Fig. 3), il valore numerico delle massime accelerazioni registrate (PGA) in g e, naturalmente, i riferimenti del terre-

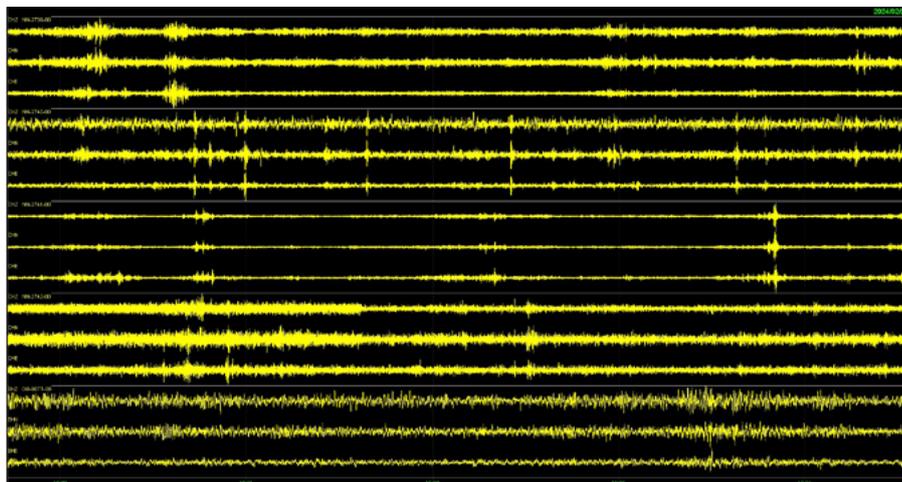


Figura 2. Schermata relativa al monitoraggio, in tempo reale, dei cinque siti accelerometrici della Re.Si.R.

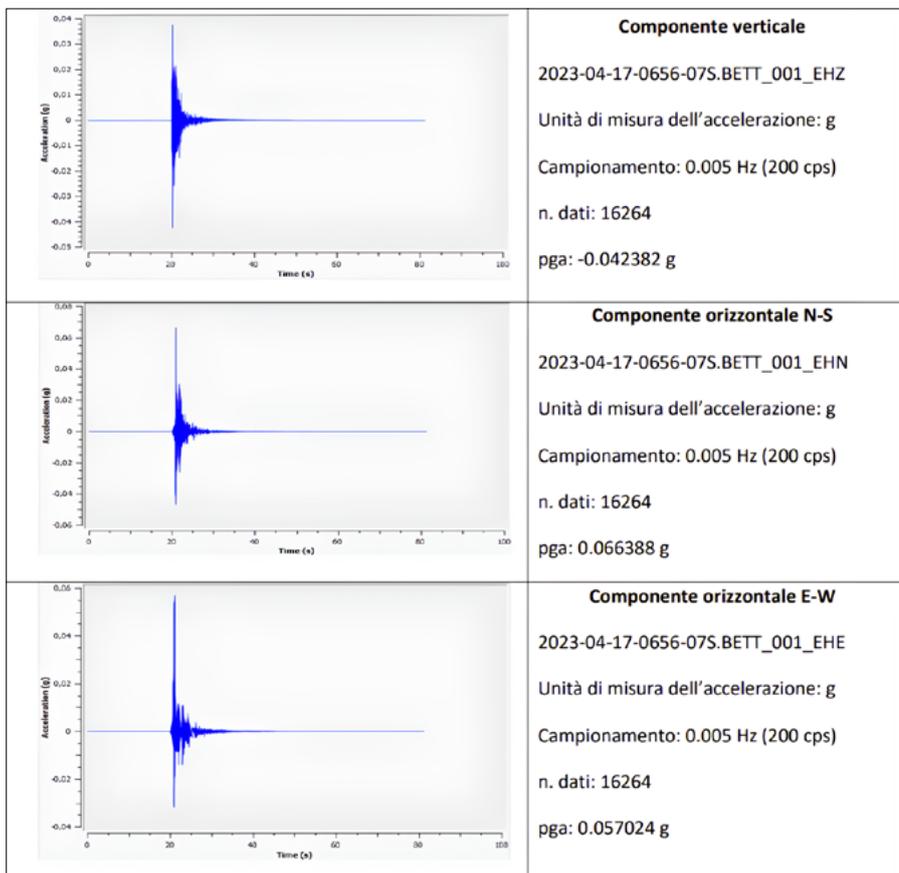


Figura 3. Immagine estratta dal bollettino accelerometrico (dati relativi al terremoto di Mg 3.2 del 17/04/2023 con epicentro Pierantonio)

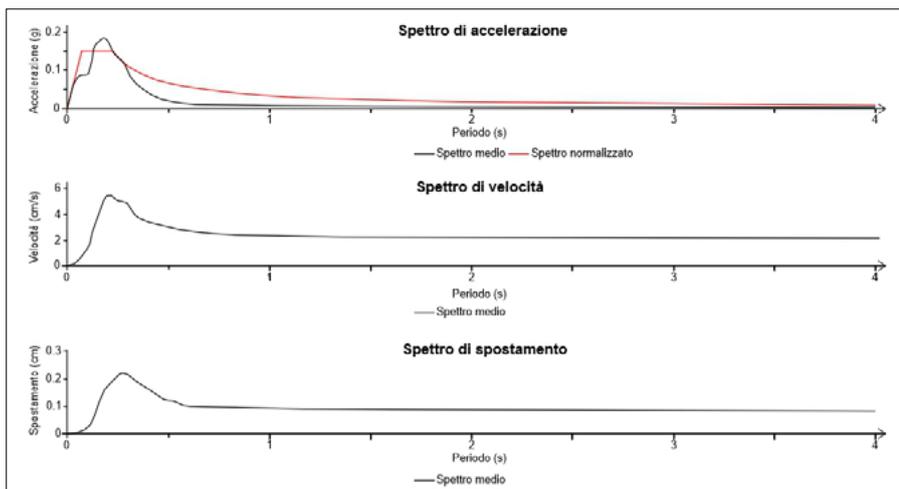


Figura 4. Per ogni accelerogramma registrato a Pierantonio è possibile risalire agli spettri di risposta in accelerazione, velocità e spostamento per ogni componente del moto sismico

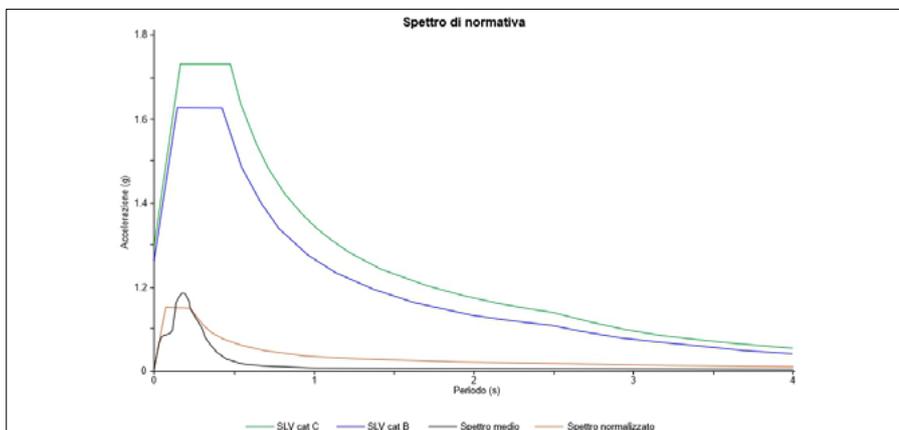


Figura 5. Esempio di sovrapposizione tra spettro di risposta medio e normalizzato legato agli effetti di un sisma di Pierantonio e sovrapposizione con spettri C e B di normativa per un terremoto di Pierantonio registrato dalla stazione Re.Si.R. Si noti come gli effetti del sisma preso in questione siano inferiori, in questo caso, agli spettri di normativa

moto in termini di località epicentrale, magnitudo ed orario UTC. Dall'inizio dell'attività del monitoraggio accelerometrico Re.Si.R. alla fine del 2023, sono stati pubblicati nella banca dati accelerometrici della Regione Umbria, circa ottocento accelerogrammi naturali.

4. ANALISI DEI TERREMOTI DI UMBERTIDE

I dati accelerometrici acquisiti durante l'attività sismica di Umbertide, iniziata a marzo 2023, sono stati analizzati in modo tale da risalire ai relativi spettri di risposta in termini di accelerazione, velocità e spostamento (Fig. 4). Tale dato risulta fondamentale per poter confrontare gli effetti reali provocati da un terremoto con gli spettri di normativa NTC 2018 (Fig. 5). Il confronto è stato fatto per tutte le categorie di sottosuolo e per tutti gli stati limite, considerando una classe d'uso 2, associabile alla maggior parte degli edifici presenti a Pierantonio e a Umbertide.

Il confronto permette di determinare se un edificio correttamente progettato con le norme tecniche attualmente in vigore può aver subito o meno dei danni in seguito ad un evento sismico locale.

Per i terremoti più forti, sono state messe in relazione tra loro la distanza tra l'epicentro ed i siti accelerometrici e i massimi valori di accelerazione registrati (Fig. 6, riferita al terremoto di magnitudo 4.5).

Dai dati analizzati in seguito al terremoto del 17 aprile 2023 di magnitudo 3.2, si desume che vi è una sostanziale differenza tra la risposta sismica del sito di Pierantonio (dato Re.Si.R.) rispetto alla risposta sismica del sito di Umbertide (dato RAN) (Fig. 7).

Infatti, vi è un rapporto di 6 a 1 circa tra l'accelerazione massima subita a Pierantonio e l'accelerazione massima che ha colpito Umbertide.

La notevole amplificazione sismica del sito di Pierantonio rispetto al sito di Umbertide è dovuta principalmente alla differenza sismostratigrafica dei due luoghi.

Questo fenomeno era già stato messo in evidenza, molti anni prima della sequenza sismica di marzo 2023, nello studio di microzonazione sismica dell'area urbana di Umbertide, eseguito dalla Regione Umbria nel 2014 (Motti, 2014).

Tale ricerca è un esempio concreto dell'utilità degli studi di microzonazione sismica nell'ambito della riduzione del rischio sismico (Gruppo di lavoro MS, 2008). La conoscenza della risposta sismica locale basata sulle analisi geofisiche

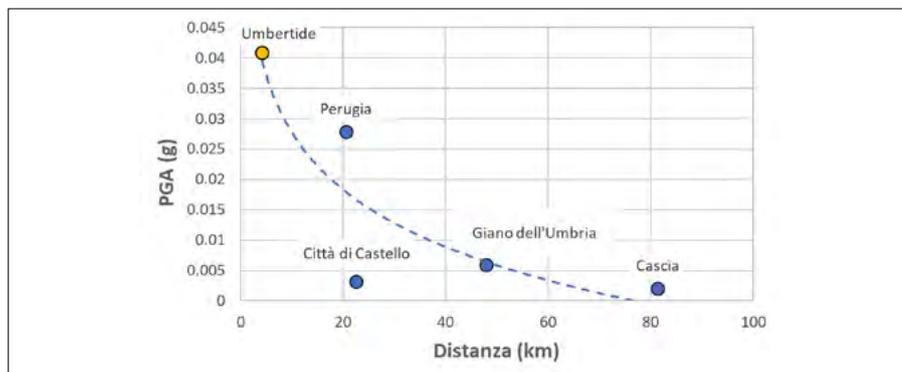


Figura 6. Andamento delle PGA massime (componenti orizzontali) misurate in seguito alla scossa di magnitudo 4.5 del 9 marzo 2023 in relazione alla distanza delle stazioni accelerometriche. I siti di Perugia, Città di Castello, Giano dell'Umbria e Cascia si riferiscono ai dati Re.Si.R. Il dato di Umbertide è relativo ai dati della RAN

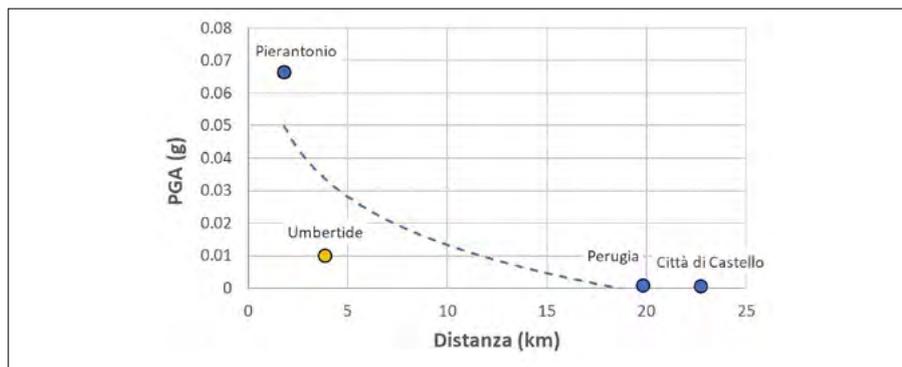


Figura 7. Effetti della scossa di magnitudo 3.2 del 17 aprile 2023 su alcuni siti Re.Si.R. (Pierantonio, Perugia e Città di Castello) e sul sito RAN di Umbertide. Si noti la notevole differenza tra la PGA (componenti orizzontali) di Pierantonio rispetto a quella di Umbertide

Figura 8. Estratto dalle NTC. Nello spettro verticale NTC il valore dell'amplificazione stratigrafica risulta sempre uguale ad 1, per tutte le categorie di sottosuolo

Categoria di sottosuolo	S_S	T_B	T_C	T_D
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s

siche e geologiche della microzonazione e non sui reali effetti che si verificano in seguito ad un forte terremoto, porta alla conoscenza degli effetti del terremoto "prima" e non "dopo".

4.1 ANALISI SULLA COMPONENTE ACCELEROMETRICA VERTICALE PER I TERREMOTI DI UMBERTIDE

Le NTC 2018 associano un distinto spettro di risposta sismica orizzontale per ogni categoria di sottosuolo. Le categorie dipendono dal valore delle $V_{s_{eq}}$ (V_s equivalenti) e cioè dai valori medi ponderali delle velocità delle onde S (V_s) della copertura o, comunque, dei primi trenta metri di copertura qualora il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) risultasse più profondo.

Il valore di $V_{s_{eq}}$ è legato direttamente alla risposta sismica del terreno ed è responsabile delle amplificazioni sismiche dovute alla stratigrafia del sottosuolo.

Esistono cinque spettri orizzontali diversi (A, B, C, D, E) che vanno dalle situazioni di risposta sismica più favorevoli a quelle più scadenti.

Le stesse NTC associano, invece, un unico spettro di risposta alla componente verticale, indipendentemente dalle caratteristiche sismiche del terreno. Lo spettro verticale NTC, con amplificazione stratigrafica sempre uguale ad uno (Fig. 8) risulta quindi essere molto "più basso" rispetto ai corrispondenti spettri orizzontali.

La stessa normativa, inoltre, prescrive la verifica delle strutture alla componente verticale solo per alcune situazioni

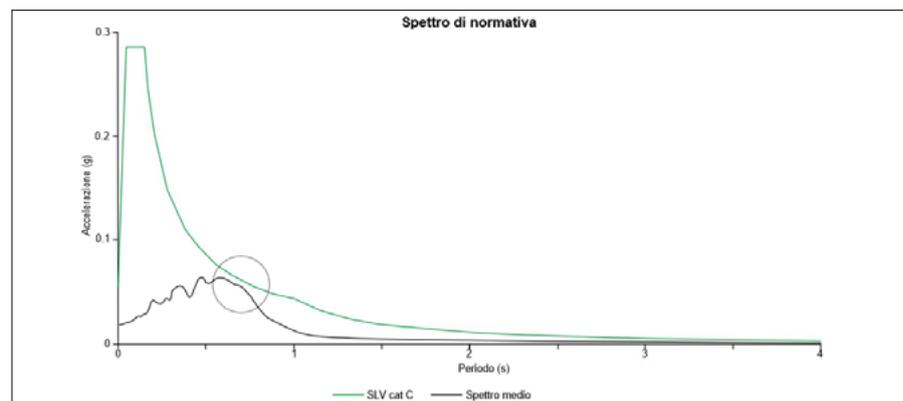


Figura 9. Spettro di risposta per SLV, classe 2 relativo al terremoto di magnitudo 4.5 del 9 marzo 2023, stazione accelerometrica Re.Si.R. di Perugia e sovrapposizione con spettro NTC per una categoria di sottosuolo tipo C. Si noti la vicinanza tra gli spettri all'interno del cerchio tratteggiato

limite, come, ad esempio, pilastri in falso, edifici con isolatori sismici, elementi a mensola con luce superiore ai 4 metri. Nella maggior parte dei casi, quindi, non è richiesta la verifica alla componente accelerometrica verticale del moto sismico.

Le analisi sui dati accelerometrici acquisiti dalla rete Re.Si.R. hanno dimostrato che nei terremoti locali la componente verticale è tutt'altro che trascurabile, sia per il valore delle PGA verticali rispetto alle PGA orizzontali, sia per gli effetti legati alla contemporaneità tra le componenti del moto sismico che per il contenuto in frequenza.

Nello specifico, per quanto riguarda il terremoto di magnitudo 4.5 del 9 marzo 2023 di Umbertide, la sovrapposizione tra lo spettro di risposta verticale ricavato dall'accelerogramma Re.Si.R. di Perugia (per SLV e classe d'uso II $q=1.5$) ed il corrispondente spettro verticale normalizzato di normativa (Fig. 9) per i medesimi parametri progettuali, ha evidenziato che, per valori di periodo compresi tra 0.5 e 0.6 secondi, lo spettro medio verticale risulta molto prossimo allo spettro di normativa. Per gli edifici posti in prossimità della stazione in questione ed aventi un periodo proprio compreso in questo intervallo, le accelerazioni verticali subite in seguito alla scossa in questione sono state, con molta probabilità, della stessa entità o solo leggermente inferiori rispetto a quelle che la normativa NTC indica nello spettro di risposta verticale utilizzabile per la verifica agli stati limite.

Tale analisi permette di affermare che è necessario tenere in debito conto l'azione della componente accelerometrica verticale non solo nei casi ingegneristici estremi ma in molte altre situazioni, soprattutto se l'area di progetto si trova in corrispondenza o nelle vicinanze di distretti sismici (Mariani & Pugi, 2018; Mariani & Pugi, 2020).

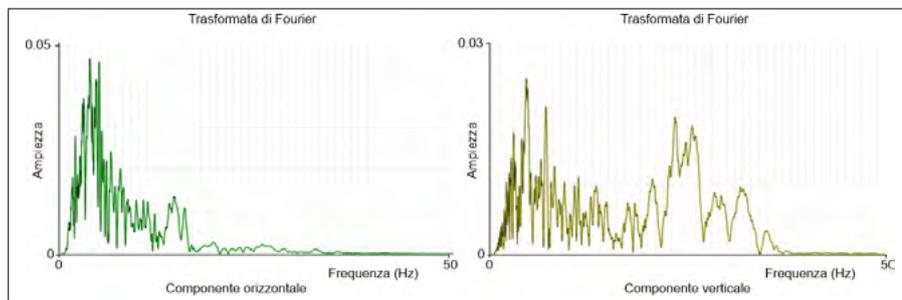


Figura 10. Confronto tra il contenuto in frequenza della componente orizzontale (a sinistra) e verticale (a destra) del terremoto avvenuto tra Umbertide e Pierantonio il 17/04/2023, di magnitudo 3.2. Dato riferito alla stazione accelerometrica Re.Si.R. di Pierantonio

4.2 CONTENUTO IN FREQUENZA DELLA COMPONENTE VERTICALE

Contrariamente a quanto affermato a volte in campo ingegneristico, nei terremoti locali il contenuto in frequenza della componente verticale non è impulsivo ma risulta paragonabile a quello della componente orizzontale per buona parte del range di frequenze che interessano gli edifici (Fig. 10).

Gli spettri di Fourier degli accelerogrammi locali acquisiti dalla Re.Si.R. testimoniano che, anche in termini di contenuto in frequenza, la componente accelerometrica verticale del sisma non può essere trascurata.

5. RAPPORTO TRA I VALORI DI PGA DELLA COMPONENTE VERTICALE ED ORIZZONTALE

Al fine di quantificare gli effetti della componente accelerometrica verticale del moto sismico, sono stati analizzati centinaia di accelerogrammi locali acquisiti dalla data di messa in funzione degli accelerometri Re.Si.R.

Per ogni sisma analizzato è stato fatto il confronto tra la PGA verticale e le PGA orizzontali. Il rapporto è stato messo in relazione con la distanza delle stazioni accelerometriche Re.Si.R. dall'epicentro.

Per il sito Re.Si.R. di Cascia (Fig. 11 e Fig. 12), l'analisi consente di affermare

che entro 30 km dall'epicentro, la componente accelerometrica verticale ha un valore di PGA superiore rispetto a quella orizzontale.

Nell'area compresa tra circa 30 e 40 km dall'epicentro, le componenti verticale ed orizzontale risultano confrontabili. Oltre 40 km è leggermente maggiore la componente orizzontale e, comunque, la componente verticale è sempre presente (Sabatini, 2020; Susini, 2022).

Per quanto riguarda i siti Re.Si.R. di Città di Castello (Fig. 13) e Perugia (Fig. 14) si nota che le PGA verticali e orizzontali risultano simili anche per distanze epicentrali contenute. Nella maggior parte dei casi la massima componente orizzontale risulta di poco superiore a quella verticale fino a distanze epicentrali dell'ordine dei quaranta chilometri.

Si ritiene che tale differenza rispetto al comportamento sismico del sito di Cascia sia dovuto principalmente alle differenti caratteristiche geologiche legate alla geometria della valle sepolta. Presso quest'ultimo sito accelerometrico, indagini geofisiche mirate svolte dall'Osservatorio Sismico "A. Bina", come profili di sismica a rifrazione in onde Sh effettuate in tecnica tomografica, indagini *down hole* in onde P ed S e misure di rumore di fondo a stazione singola con analisi HVSr, hanno messo in evidenza la presenza di un contrasto di rigidità sismica relativamente super-

ficiale con sismostratigrafia associabile a categorie di sottosuolo tipo E.

La sismostratigrafia presente a Città di Castello, determinata dall'Osservatorio Sismico "A. Bina" attraverso l'esecuzione di profili di sismica a rifrazione tomografica in onde SH, è invece costituita da depositi che presentano un graduale aumento di V_s verso il basso. Il contrasto di rigidità sismica risulta molto profondo. I depositi risultano associabili, in questo caso, a categorie di sottosuolo tipo C e B.

6. COMBINAZIONE (CONTEMPORANEITÀ) TRA LA COMPONENTE VERTICALE DEL SISMA E LE COMPONENTI ORIZZONTALI

In seguito ai più recenti e forti terremoti umbri, come, ad esempio, quello del 2016 che ha colpito Norcia e molti comuni della Valnerina, si è spesso verificato che il danneggiamento reale di edifici è risultato superiore rispetto a quello atteso. Tale fenomeno si è ripresentato anche in seguito al terremoto del 9 marzo 2023 nell'abitato di Pierantonio.

Indicatori cinematici evidenti legati alle lesioni strutturali di edifici permettono di associare, almeno in parte, il fenomeno sopra citato alla contemporaneità tra la componente verticale e quella orizzontale del terremoto.

L'analisi sugli accelerogrammi acquisiti in seguito agli eventi di Pierantonio, in termini di "particle motion" (Fig. 15) e cioè analizzando i valori di accelerazione, istante dopo istante, in un contesto tridimensionale e non bidimensionale, permette di determinare specifici istanti temporali nei quali la componente accelerometrica orizzontale massima corrisponde ad un piccolo negativo di accelerazione verticale.

Durante questa specifica situazione la componente accelerometrica negativa verticale inverte i carichi agenti sull'e-



Figura 11. Rapporto tra PGA verticale e PGA orizzontali della stazione accelerometrica Re.Si.R. di Cascia (codice 2741), in funzione della distanza dall'epicentro. Si nota che entro i primi 20 km circa dall'epicentro, la PGA verticale è sempre superiore rispetto a quella orizzontale. Da 20 a 40 km risultano simili e, oltre 40 km, prevale la PGA orizzontale

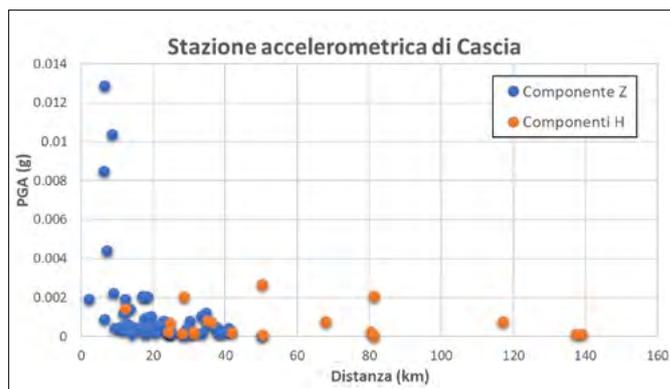


Figura 12. Sito di Cascia (stazione 2741). Relazione tra le PGA massime e relativa componente e la distanza epicentrale, riferita a dati acquisiti dal 2021 al 2023

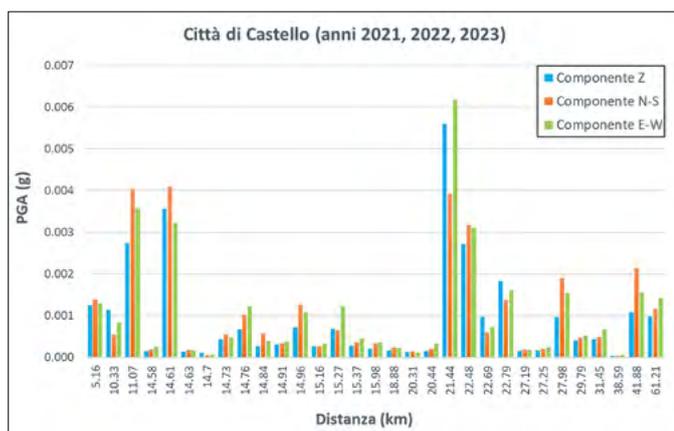


Figura 13. Stazione accelerometrica di Città di Castello (codice 2742). Si nota che le PGA orizzontali e verticale risultano simili anche in prossimità dell'epicentro

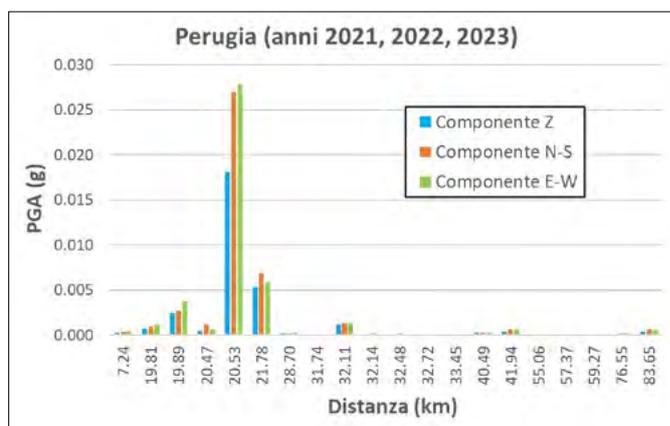


Figura 14. Sito accelerometrico Re.Si.R. di Perugia (stazione 2740). Le PGA orizzontali e verticali risultano avere valori simili indipendentemente dalle distanze epicentrali

dificio. La contemporanea componente accelerometrica orizzontale, in questo particolare momento, agisce con effetti maggiori in termini deformazionali in quanto trova una minore "resistenza" da parte dell'edificio stesso.

7. CONCLUSIONI

Alla luce di quanto emerso dagli effetti dei più recenti eventi sismici avvenuti in Umbria, monitorati dagli accelerometri della rete Re.Si.R., risulta evidente che l'azione della componente accelerometrica verticale del sisma non può essere sottovalutata nell'ambito della progettazione di edifici in zona sismica.

Nelle zone prossime all'epicentro, la componente accelerometrica verticale risulta a volte predominante rispetto a quella orizzontale. Ciò è riscontrabile nel sito accelerometrico di Cascia dove è presente un evidente contrasto di rigidità sismica a profondità contenute. In altre situazioni risulta comunque avere valori molto simili rispetto alle accelerazioni orizzontali.

Negli altri siti accelerometrici di Città di Castello, Pierantonio, Perugia e Giano dell'Umbria, la componente accelerometrica verticale risulta molto prossima a quella orizzontale, sia in termini di PGA che di contenuto in frequenza, fino a distanze considerevoli dall'epicentro.

Quantificando dunque l'accelerazione verticale in seguito ai terremoti, è stato dimostrato che tale componente non sempre è maggiore delle orizzontali nell'area epicentrale e, che le PGA misurate, dipendono sia dalla distanza epicentrale sia dall'assetto sismostratigrafico.

Analizzando la tridimensionalità dell'accelerazione subita durante un terremoto con l'ausilio del "particle motion", risultano evidenti delle brevi frazioni temporali nelle quali ad una forte accelerazione orizzontale corrisponde un'accelerazione verticale negativa. La contemporaneità tra questi due fattori può essere la causa di lesioni inattese.

Dunque, l'analisi di accelerogrammi "reali" permette di poter effettuare studi

più approfonditi sulla risposta sismica dei siti, utili per la prevenzione del rischio sismico e per studi di ricerca scientifica.

BIBLIOGRAFIA

- DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE – SERVIZIO RISCHIO SISMICO: Rete Accelerometrica Nazionale (RAN), <http://ran.protezionecivile.it/IT/index.php>.
- GRUPPO DI LAVORO MS (2008), *ICMS: Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome- Dipartimento della Protezione Civile, Roma. 3 vol. e DVD.
- MARIANI M., PUGI F. (2018), *Effetti negativi del sisma verticale sul comportamento delle pareti esistenti in muratura*, www.ingegno-web.it.
- MARIANI M., PUGI F. (2020), *Sisma verticale: amplificazione della vulnerabilità degli edifici esistenti in muratura*, www.ingegno-web.it.
- MOTTI A. (2014), *La microzonazione sismica dell'area urbana di Umbertide*, Regione Umbria.
- NTC (2018), *Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*. Decreto del 17/01/2018 del Ministero Infrastrutture e Trasporti. Supplemento ordinario n. 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018.
- REGIONE UMBRIA – SEZIONE GEOLOGICA (2023), *Bollettino sismico mensile e semestrale della Rete Sismica locale della Regione Umbria per Google Earth - Regione Umbria*.
- SABATINI A. (2020), Tesi di Laurea: *Determinazione della risposta sismica locale, con metodo sperimentale, di un'area presso Cascia (PG), in seguito al terremoto del 2016*, Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Fisica e Geologia, Corso di Laurea in Geologia. Relatore Prof.ssa Cristina Pauselli, Correlatore Geol. Michele Arcaleni, <https://www.binapg.it/wp-content/uploads/2021/09/Tesi-magistrale-Sabatini.pdf>.
- SUSINI A. (2022), Tesi di Laurea: *Rapporto tra le componenti accelerometriche verticali e orizzontali di terremoti umbri recenti e confronto con quanto prescritto dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 2018)*. Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Fisica e Geologia, Corso di Laurea in Geologia. Relatore Prof.ssa Cristina Pauselli, Correlatore Prof. Michele Arcaleni, https://www.binapg.it/wp-content/uploads/2022/02/Tesi_Susini.pdf.

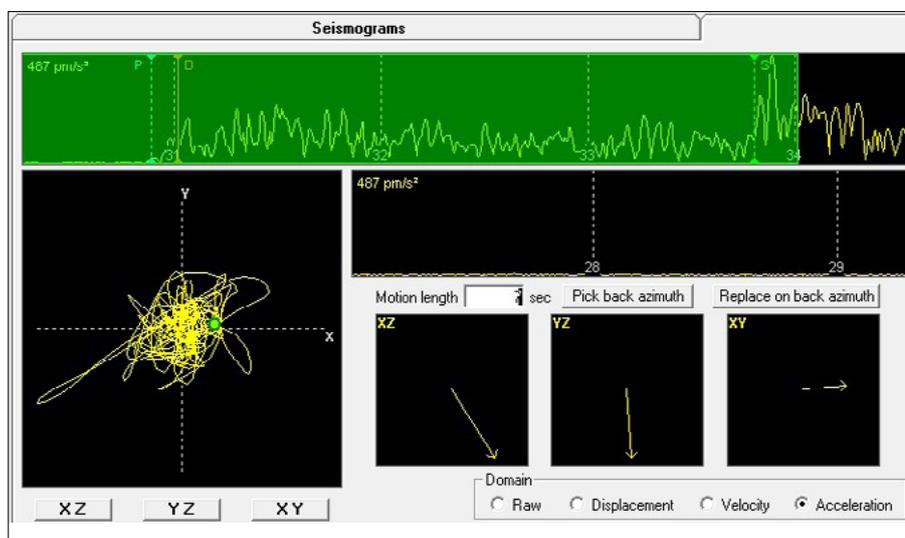


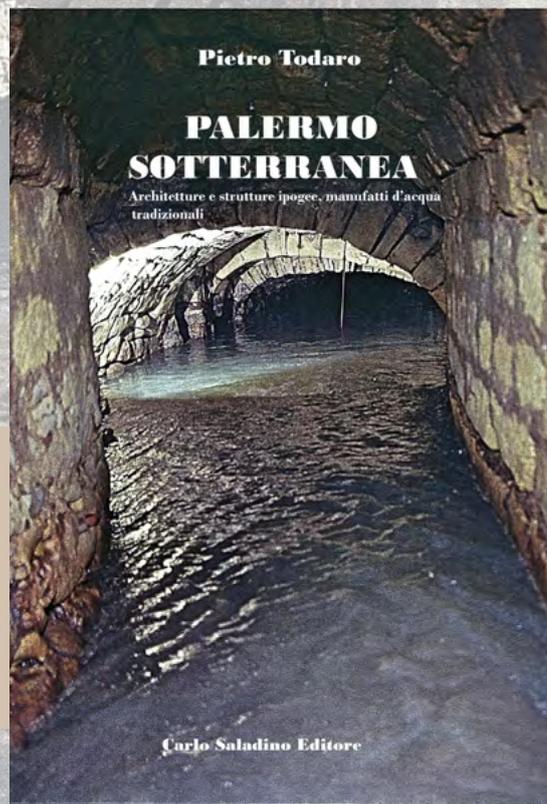
Figura 15. Analisi di un accelerogramma naturale, riferito all'attività sismica di Umbertide del 2023, in termini di "particle motion". L'immagine in basso a sinistra mostra un picco massimo di accelerazione orizzontale contemporanea ad una componente accelerometrica verticale negativa. Tale picco si differenzia rispetto alla zona subsferica nella quale vi è una certa similitudine tra le due componenti accelerometriche verticale ed orizzontale



La scienza e la tecnica raccontate.
Rassegna culturale della SIGEA-APS
a cura di Giacomo Milazzo

Questo volume ci guida e ci propone inediti ed esclusivi itinerari di turismo geologico, archeologico e culturale per scoprire i tesori sotterranei più affascinanti di Palermo, risalenti a quasi duemila anni fa.

Per segnalare e consigliare un libro scrivi una e-mail a recensioni@sigeaweb.it



Palermo sotterranea. Architetture e strutture ipogee, manufatti d'acqua tradizionali di Pietro Todaro

Carlo Saladino Editore, 2024

Qualunque città al mondo, che sia per nobili intenti oppure seguendo concrete necessità, è sottoposta al moto incessante delle trasformazioni urbane; e le città giungono sino a noi grazie ad esse, e non nonostante. E per mezzo delle loro trasformazioni a volte divengono persino *eternae*, attraverso le loro stratificazioni nel tempo, i cui misteri ci sono svelati da minuziosi e pazienti lavori di indagine storica ed archeologica, non disgiunti da almeno una dozzina di altre discipline. E cosa c'è di più misterioso, perso nei tempi, e spesso nella memoria di chi vive la propria quotidianità magari a pochi metri da quanto realizzato nel sottosuolo, che sia per causa naturale o antropica?

Qualsiasi città raramente nasce per caso, ma è quasi sempre fondata in base ad un collegamento col territorio che la accoglie, che le fornisce le risorse per svilupparsi. Oltre a quanto avviene in superficie, che cambia col tempo strato dopo strato, spianando e rifondando, riciclando il vecchio col nuovo, molto spesso esiste uno sviluppo sotterraneo, anch'esso legato alle necessità urbane, a formare realtà diverse ma congiunte.

Una città come Palermo, che da quasi 2.700 anni esiste ed insiste su un territorio non difforme dall'originale insediamento fenicio, la cui configurazione è mutata profondamente nel corso della storia, ha quindi conservato al di sotto della superficie, in gran parte inalterate, centinaia di testimonianze del suo passato, dovute agli abitanti che nel tempo si sono avvicendati sul suo territorio utilizzandone grandemente anche il sottosuolo: cave dalle quali trarre il materiale da costruzione, spesso esclusive di chi scavava proprio sotto il luogo delle fondamenta in una sorta di *faidatè* della pietra da taglio; pozzi e canali sotterranei ad uso idrico; necropoli, cripte e catacombe; cammini militari, fossati e trincee, e tantissimo altro ancora, persino sistemi che farebbero invidia ai moderni impianti di *free cooling*. E non sono solo questi gli unici segreti archeologici, a cui aggiungere senz'altro quelli geologici ed idrogeologici, che questa città nasconde, o dovrei forse dire nascondeva.

Ed è con questo prezioso volume, di grande formato (17x24 cm), su carta patinata ed arricchito splendidamente da ben 222 disegni e 320 fotografie a colori, che l'Autore ci accompagna in un viaggio affascinante alla scoperta delle meraviglie che questa città oggi offre, proprio grazie ad un appassionato e minuzioso lavoro di indagine e ricerca, pressoché costantemente accompagnato dalla sistematica perlustrazione delle cavità, con le difficoltà che si possono immaginare, da quelle prettamente speleologiche a quelle burocratiche per ottenere gli accessi. L'intento divulgativo principale è dunque avvicinare il lettore al patrimonio culturale sotterraneo della città, ancora poco conosciuta, nonostante sia ormai prassi consolidata in moltissime città, compresa Palermo, la possibilità di effettuare visite turistiche, in sicurezza e per tutti, alla scoperta del sottosuolo. Gli argomenti trattati, anche se a volte possono avere qualche correlazione tra loro, sono fruibili a piacimento, potendo andare da un capitolo all'altro anche senza un preciso ordine, o senza seguire la struttura degli stessi, a rendere la lettura più elastica e personalizzata.

E chi meglio di un geologo, tale è la professione che l'Autore esercita, avrebbe potuto renderci partecipi di tale splendida «*sintesi caleidoscopica d'immagini e di narrazione*»?

INSIEME PER PROMUOVERE LA CULTURA
GEOLOGICA E LA TUTELA DELL'AMBIENTE

RICORDA DI
RINNOVARE
L'ISCRIZIONE
PER IL 2025



ALLA SIGEA - APS



www.sigea-aps.it

Sostieni la SOCIETÀ ITALIANA DI GEOLOGIA AMBIENTALE - APS

Iscriviti o rinnova la tua adesione. Per aderire alla SIGEA - APS è sufficiente compilare la scheda di iscrizione, scaricabile dal sito web www.sigea-aps.it e versare la quota associativa, pari ad un importo di euro 30.00, a mezzo bonifico bancario Banco Posta, IBAN: IT 87 N 07601 03200000086235009, intestato a Società Italiana di Geologia Ambientale