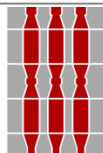




PROTEZIONE CIVILE  
 Presidenza del Consiglio dei Ministri  
 Dipartimento della Protezione Civile



**Regione Umbria**



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
 DELLE PROVINCE AUTONOME

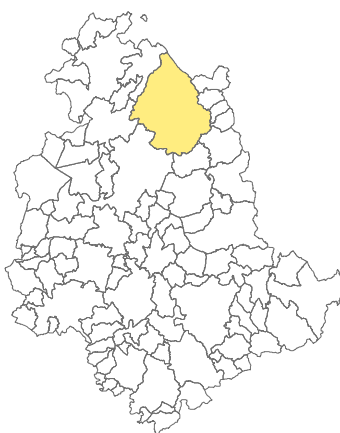
Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009, n. 77

# MICROZONAZIONE SISMICA

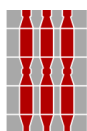
## Relazione Illustrativa Studio Livello 3

Regione Umbria

Comune di Gubbio



Regione



**Regione Umbria**

Soggetto realizzatore



Studio associato G.A.T.  
 Dott. Geol. Bistocchi Riccardo Maria  
 Dott. Geol. Bellaveglia Stefano

Data

Gennaio 2019

## INDICE

1. PREMESSA .....	3
1.1 Finalità degli studi .....	3
1.2 Aree di studio .....	6
1.3 Definizione dei documenti di base utilizzati nello studio .....	7
1.4 Aree da sottoporre agli studi di MS .....	8
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE ED DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO .....	9
2.1 Sismicità storica dell'area di studio .....	9
2.2 Sismicità recente dell'area di studio .....	22
2.3 Pericolosità sismica di base .....	25
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	35
3.1 Inquadramento geologico .....	35
3.2 Inquadramento geomorfologico.....	36
3.3 Assetto stratigrafico .....	40
3.4 Elementi tettonici.....	42
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	44
4.1 Dati pregressi.....	44
4.2 Dati acquisiti ex-novo.....	45
4.2.1 Specifiche tecniche indagini sismiche a rifrazione .....	46
4.2.2 Specifiche tecniche indagini sismiche Masw.....	48
4.2.3 Specifiche tecniche indagini sismiche ReMi .....	52
4.2.4 Specifiche tecniche indagini sismiche Down-Hole.....	55
4.2.5 Specifiche tecniche indagini sismiche H.V.S.R.....	57
4.2.6 Specifiche tecniche indagini geognostiche .....	69
4.2.7 Specifiche tecniche indagini penetrometriche .....	61
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO FINALIZZATO ALLA MS.....	63
5.1 UNITÀ GEOLOGICO-TECNICHE: DEFINIZIONE E PARAMETRIZZA-ZIONE.....	63
5.2 SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE .....	66
6. INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE .....	71
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI .....	73
7.1 ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE .....	73
7.1.1 Scelta dell'input sismico (fornito dalla Regione) .....	73
7.1.2 Simulazioni numeriche .....	76
7.1.3 Risultati .....	77
7.2 ZONE INSTABILI.....	106

7.2.1 Liquefazioni (LQ).....	106
8. ELABORATI CARTOGRAFICI.....	108
8.1 CARTA DELLE INDAGINI.....	108
8.2 CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI .....	109
8.3 CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MS (CGT_MS).....	110
8.4 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS) .....	112
8.5 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA (MS) DI LIVELLO 3 .....	118
8.6 COMMENTI E CRITICITÀ.....	122
9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI.....	126
10. BIBLIOGRAFIA.....	129
11. ALLEGATI.....	134

## **1. PREMESSA**

### **1.1 Finalità degli studi**

Su commissione del Comune di Gubbio, in riferimento al D.G.R. N.1377 del 2016 Interventi di prevenzione del rischio sismico – programma utilizzo risorse finanziarie O.C.D.P. N. 293/2015, sono stati eseguiti degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3 all'interno di un'area del Comune di Gubbio, indicate dall'Amministrazione Comunale e validate dalla Regione Umbria, coincidente con quella della località ISTAT denominata "Gubbio" relativa al centro abitato del capoluogo comunale. Tale studio è finalizzato alla quantificazione numerica degli effetti locali di amplificazione del moto sismico, definendo delle microaree omogenee (MOPS) e associando ad esse dei fattori di amplificazione per determinati intervalli di periodo. Inoltre prevede la redazione di Carte di Microzonazione Sismica di livello 3 che riportano i risultati ottenuti. Rappresenta quindi un valido strumento di supporto sia alla pianificazione territoriale che alla progettazione ingegneristica delle opere edilizie, ferma restando l'esclusiva responsabilità in capo al progettista per la scelta e definizione finale delle azioni sismiche da utilizzare nell'ambito della progettazione strutturale.

Il progetto ha previsto uno studio iniziale di Microzonazione Sismica di Livello 1 delle suddette aree che successivamente è stata approfondito ai fini della Microzonazione Sismica di Livello 3.

Il lavoro è stato articolato nelle seguenti fasi:

- raccolta della cartografia di base e della Carta geologica e di pericolosità sismica locale della Regione Umbria;
- consultazione dell'archivio dei fenomeni franosi del Progetto Nazionale I.F.F.I. Inventario Fenomeni Franosi in Italia;
- consultazione degli archivi dei fenomeni franosi e delle fasce idrauliche del P.A.I. - Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico;
- consultazione dell'archivio dei Lavori Pubblici del Comune di Gubbio;

- consultazione dell'archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (L.464/84) dell'I.S.P.R.A. - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale;
- consultazione del Catalogo delle Faglie capaci del Progetto ITHACA dell'I.S.P.R.A. - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale;
- consultazione del Database Macrosismico Italiano MDMI11 dell'I.N.G.V. - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia;
- consultazione delle indagini e dei risultati della Microzonazione Sismica di livello 2, precedentemente svolta in una porzione dell'area oggetto del presente studio in accordo la DGR n.1112 del 18 settembre 2012 "Interventi di prevenzione del rischio sismico. Approvazione del programma per l'utilizzo delle risorse finanziarie di cui all'OPCM n. 4007 del 29 febbraio 2012 – Annualita 2011";
- pianificazione, esecuzione ed interpretazione di indagini geofisiche ex novo ad integrazione di quelle pregresse e finalizzate alla definizione delle velocità delle onde sismiche, delle frequenza di risonanza di sito, degli spessori delle unità e della profondità del bedrock sismico;
- pianificazione, esecuzione ed interpretazione di indagini geognostiche e geotecniche ex novo ad integrazione di quelle pregresse e finalizzate alla determinazione dei litotipi, degli spessori dei parametri geotecnici delle unità presenti;
- archiviazione dei dati e dei metadati con inserimento delle indagini nel database dedicato;
- realizzazione della Carta delle indagini, della Carta delle frequenze naturali dei terreni e della Carta geologico-tecnica;
- definizione delle microzone omogenee in prospettiva sismica e realizzazione della relativa Carta delle MOPS;
- esecuzione di una serie di analisi di risposta sismica locale (RSL) monodimensionale (1D);
- realizzazione delle Carte di Microzonazione Sismica di livello 3 per i tre intervalli di periodo di vibrazione di interesse individuate ai fini dell'utilizzo

dei risultati degli studi di MS di livello 3, definiti in funzione delle caratteristiche strutturali degli edifici (piani in elevazione);

- definizione degli accelerogrammi calcolati in superficie e degli spettri di risposta in accelerazione in formato testo (.txt) realizzato secondo la struttura prevista dagli Standard Versione 4.0b;
- redazione di una scheda contenente i metadati di base degli strati informativi;
- redazione della presente relazione tecnica illustrativa.

In conclusione lo studio ha quindi previsto la definizione delle MOPS, considerando anche quelle già individuate nello Studio di Microzonazione di livello 2 eseguito in una porzione dell'area oggetto del presente lavoro. Tali MOPS sono state caratterizzate singolarmente grazie all'esecuzione di una serie di analisi di risposta sismica locale (RSL) monodimensionale (1D) realizzate su verticali rappresentative, i cui risultati sono stati restituiti in termini di accelerogrammi calcolati in superficie ed elaborati in termini di fattori di amplificazione in pseudo accelerazione calcolati per prefissati intervalli di periodi, nonché di spettri di risposta in accelerazione al 5% di smorzamento.

Per ogni classe di periodo considerata sono state infine realizzate le relative Carte di microzonazione sismica di livello 3, con l'indicazione dei corrispondenti fattori di amplificazione  $F_a$ , mentre per ogni MOPS sono stati prodotti i seguenti documenti:

- n. 7 accelerogrammi calcolati in superficie, uno per ogni spettro di input;
- n. 7 spettri di risposta elastici al 5% di smorzamento in superficie, uno per ogni spettro di input;
- categoria di sottosuolo da NTC e valore di VS30.

Per quanto riguarda gli standard utilizzati, gli studi propedeutici alla MS3 realizzati fanno riferimento ai seguenti documenti tecnici a cui si rimanda per i dettagli:

- Ordinanza n°24 del 12 maggio 2017, del Commissario straordinario del Governo per la ricostruzione nei territori dei Comuni delle Regioni di Abruzzo, Lazio, Marche e Umbria, che dispone il finanziamento di studi di microzonazione sismica almeno di Livello 1, da eseguirsi con le finalità

definite negli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” approvati dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome il 13 novembre 2008;

- Indirizzi e Criteri per la Microzonazione sismica;
- Contributi per l'aggiornamento degli Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica;
- Microzonazione Sismica dell'area Aquilana;
- Indicazioni contenute nel volume di Ingegneria Sismica 2/2011;
- Linee guida per la gestione del territorio interessato da faglie attive e capaci;
- Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante cosismiche;
- Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da fenomeni di liquefazione.

## **1.2 Aree di studio**

Il comune di Gubbio è localizzato nella porzione settentrionale della Regione Umbria in provincia di Perugia, al confine con la Regione Marche. Confina a nord con i Comuni di Pietralunga (PG), Cagli (PU) e Cantiano (PU), a est con i Comuni di Scheggia e Pascelupo (PG), Costacciaro (PG), Sigillo (PG) e Fossato di Vico (PG), a sud con i Comuni di Gualdo Tadino (PG), Valfabbrica (PG) e Perugia (PG) e a ovest con il Comune di Umbertide (PG).

L'area oggetto dello studio di MS3 ricade all'interno dei fogli n.116 “Gubbio” e n.123 “Assisi” della cartografia IGM in scala 1:100.000, mentre i fogli n.115 “Città di Castello” e n.122 “Perugia” comprendono il restante territorio comunale. Per quanto riguarda la cartografia IGM in scala 1:25.000 l'area di studio rientra nelle tavolette 116-III-SO “Monteleto”, 116-III-SE “Gubbio”, 123-IV-NO “Castiglione” e 123-IV-NE “Padule” mentre l'intero territorio comunale anche nelle tavolette 115-II-NE “Pietralunga”, 116-III-NO “Caibelli”, 116-III-NE “Cantiano”, 115-II-SE “Carpini”, 122-I-NE “Umbertide”, 123-I-NO “Fossato di Vico”, 123-IV-SO “Piccione” e 123-IV-SE “Casa Castalda”.

Nella Carta Tecnica Regionale della Regione Umbria, l'area oggetto dello studio di MS3 è ascrivibile alle sezioni 300030 "Gubbio", 300040 "Madonna della Cima", 300070 "Ponte d'Assi" e 300080 "Padule", mentre il restante territorio comunale comprende anche le sezioni 290100 "Monte Castellaccio", 290110 "Caibelli", 290140 "Pietralunga", 290150 "Monte Petazzano", 290160 "Pontericcioli", 300010 "Carpini", 300020 "Mocaiana", 300050 "Civitella Ranieri", 300060 "Camporeggiano", 300090 "Pierantonio", 300100 "Pietramelina", 300110 "Monte Urbino", 300120 "Col Palombo", 300140 "Solfagnano", 300150 "Scritto", 300160 "Carbonesca", 301050 "Sigillo", 301090 "Branca", 311030 "Piccione" e 311040 "Valfabbrica" in scala 1:10.000.

Il territorio comunale va dalla pianura alla montagna con quote che variano tra circa 247 e 1006 m s.l.m., elaborate dall'Istat sul modello digitale del terreno (DEM). L'area oggetto della MS3 è invece compresa tra circa 443 e 620 m s.l.m..

### **1.3 Definizione dei documenti di base utilizzati nello studio**

Per il presente studio come documentazione cartografica e topografica di base sono state utilizzate le Carte Tecniche della Regione Umbria in scala 1:10.000, mentre per quanto riguarda la cartografia geologica, la Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000 Fogli n.115 "Città di Castello", n.116 "Gubbio", n.122 "Perugia" e n.123 "Assisi", le Carte Geologiche Regionali in scala 1:10.000, integrata dal rilevamento geologico-geomorfologico. Nello specifico si tratta delle sezioni 300030 "Gubbio", 300040 "Madonna della Cima", 300070 "Ponte d'Assi" e 300080 "Padule", mentre il restante territorio comunale comprende anche le sezioni 290100 "Monte Castellaccio", 290110 "Caibelli", 290140 "Pietralunga", 290150 "Monte Petazzano", 290160 "Pontericcioli", 300010 "Carpini", 300020 "Mocaiana", 300050 "Civitella Ranieri", 300060 "Camporeggiano", 300090 "Pierantonio", 300100 "Pietramelina", 300110 "Monte Urbino", 300120 "Col Palombo", 300140 "Solfagnano", 300150 "Scritto", 300160 "Carbonesca", 301050 "Sigillo", 301090 "Branca", 311030 "Piccione" e 311040 "Valfabbrica" in scala 1:10.000.



L'area del centro storico di Gubbio, compresa tra le mura urbiche, è stata oggetto nel 2013 di uno studio di Microzonazione Sismica di livello 2. Nell'ambito dello stesso lavoro è stato eseguito anche la revisione dello studio di microzonazione Sismica di livello 1 della stessa area. Per lo studio di MS3 sono stati quindi acquisiti tutti gli elaborati realizzati per lo studio di MS1 e di MS2 e di seguito elencati:

- Carta delle indagini in scala 1:5.000;
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) in scala 1:5.000;
- Carta di Microzonazione Sismica in scala 1:5.000;
- Relazione Illustrativa degli studi di Microzonazione Sismica.

Sono state acquisite anche le documentazioni relative alle indagini eseguite nell'ambito dello stesso studio e a quelle pregresse già riportate nello stesso.

#### **1.4 Aree da sottoporre agli studi di MS**

L'area oggetto degli studi di MS di Livello 3 sono state indicate dall'Amministrazione del Comune di Gubbio e validate dalla Regione Umbria e coincide con l'area ISTAT delle località denominata "Gubbio"

Tale zona è rappresentata da una fascia che va dalla pianura alla zona di raccordo con il versante fino ad interessare nella porzione di monte le pendici del monte Ingino.

Area (m <sup>2</sup> )	Quota min – max (m s.l.m.)
391.55	443-620

## **2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE ED DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO**

### **2.1 Sismicità storica dell'area di studio**

Fino al tardo '800 la sismicità storica italiana era conosciuta attraverso elenchi descrittivi di terremoti che venivano pubblicati e successivamente sono stati utilizzati da Mario Baratta per la redazione della sua raccolta "I terremoti d'Italia" del 1901. In questa opera Baratta riporta informazioni e descrizioni che riguardano anche i terremoti avvenuti nella zona di Gubbio del 1465, del 1466, del 1471, menzionati nelle "cronache eugubine", e del 1786. Inoltre fornisce alcuni accenni sull'avvertimento o gli effetti locali di eventi sismici originatisi altrove, come quelli del 1751 del "centro sismico" del Topino e del Chiascio, che causò numerosi danni a Gubbio, del 1781, del 1855 e del novembre-dicembre 1897, durante il quale furono avvertite scosse numerose ma non molto intense in vari centri umbri. Tra le fonti a cui attinge Baratta citiamo una cronaca eugubina quattrocentesca (Guerriero da Gubbio, sec. XV), una testimonianza oculare sull'avvertimento a Gubbio del terremoto riminese del 1672 (Fagnani, 1672), alcune corrispondenze giornalistiche sugli effetti dei terremoti del 1751 e del 1786 e una monografia ottocentesca (Ponzi, 1855). Le notizie pervengono a Baratta per lo più attraverso la mediazione di precedenti compilazioni descrittive di terremoti (Perrey, 1848; De Rossi, 1889; Agnelli, 1895) e solo in minima parte da ricerche storiche condotte ex novo.

L'opera di Baratta è a sua volta la fonte principale del catalogo sismico nazionale dell'epoca, il catalogo PFG (Postpischl ed., 1985) per il periodo anteriore al Novecento.

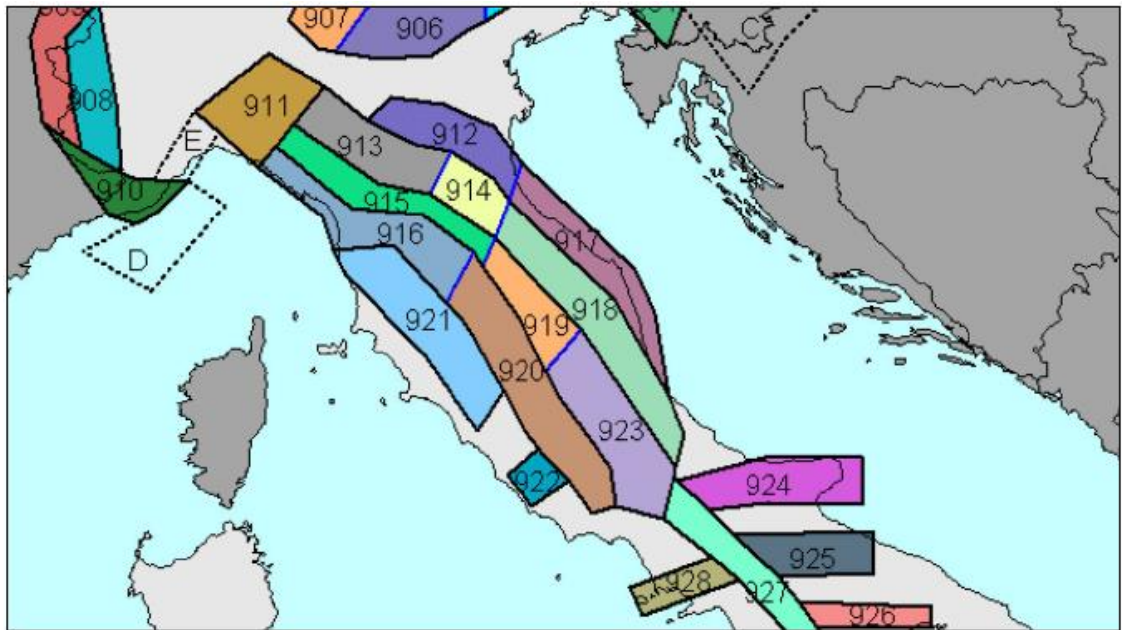
Sempre in ambito nazionale nella prima metà degli anni Ottanta del secolo scorso comincia la sismologia storica con ricerche finalizzate alla qualificazione dei siti suscettibili di impianti nucleari e più in generale a valutazioni di pericolosità sismica. Tali studi hanno interessato sui principali terremoti dell'Appennino umbro-marchigiano e, pur non essendo specificamente focalizzati su Gubbio, hanno permesso di raccogliere dati utili per una prima ricostruzione della storia sismica eugubina, con

riferimento sia a terremoti locali sia a effetti osservati a Gubbio in occasione di terremoti non locali.

Nell'ambito di queste ricerche un primo filone è stato finanziato per cinque anni dall'Ente Nazionale per l'Energia Elettrica (ENEL) per uno studio delle aree destinate ad ospitare impianti nucleari in Piemonte, Lombardia e Puglia e, dopo l'abbandono del relativo Piano Energetico Nazionale, alla fine degli anni Ottanta, è confluito nel progetto Catalogo dei Forti Terremoti Italiani (CFTI) dell'Istituto Nazionale di Geofisica. Un secondo filone di ricerca è stato inizialmente promosso dal Progetto Finalizzato Geodinamica per acquisire dati geologici e sismologici a seguito del terremoto del 1976 in Friuli e del 1980 in Irpinia e a formulare una proposta di classificazione sismica, poi tradotta in una serie di decreti dal Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1980 ed il 1984, basata per la prima volta in Italia su indagini di tipo probabilistico della sismicità italiana. Successivamente, dalla metà degli anni '90 il Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT) del Consiglio Nazionale delle Ricerche, in seguito divenuto parte integrante dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, ha condotto un progetto con l'obiettivo di ottenere una nuova stima della pericolosità sismica d'Italia, utilizzando metodologie statistiche internazionalmente convalidate, per fissare le conoscenze disponibili alla prima metà degli anni '90. La nuova proposta di classificazione sismica derivante ha utilizzato un metodo probabilistico detto di Cornell che prevede nel territorio italiano il riconoscimento delle zone o sorgenti sismogenetiche responsabili della sismicità, la quantificazione del loro grado di attività e il calcolo dei loro effetti con la distanza. Il risultato di queste ricerche, aggiornato negli anni, ha portato alla zonazione sismogenetica del territorio italiano e delle regioni limitrofe con l'individuazione di 80 sorgenti omogenee dal punto di vista strutturale e sismogenetico, alla predisposizione di un catalogo dei terremoti principali e allo sviluppo o validazione delle relazioni di attenuazione dell'accelerazione di picco e dell'intensità macrosismica, parametri che rappresentano gli indicatori significativi della pericolosità di interesse.

Sulla base della Zonazione Sismogenetica ZS9 del 2004 dell'I.N.G.V., l'Umbria ricade, da NE a SO, nelle zone sismogenetiche dell'Appennino settentrionale e

centrale 918 “Medio Marchigiana/Abruzzese”, 919 “Appennino Umbro”, 923 “Appennino Abruzzese”, 920 “Val di Chiana – Ciocaria” e 921 “Etruria”. Per queste zone i valori previsti di  $M_{wmax}$  (Magnitudo momento sismico) attesa sono rispettivamente di 6.37, 6.37, 7.06, 6.14 e 6.14.



*Fig. 2.1/A Zone sismogenetiche dell'Italia centrale.*

Per quanto riguarda in particolare Gubbio, il territorio comunale ricade nella zona sismogenetica 919 “Appennino Umbro” per la quale, come già indicato, la Magnitudo Momento Sismico attesa è di 6.37.

In ambito regionale o locale altri studi nel ‘900 hanno contribuito alla conoscenza della storia sismica eugubina. Nel 1971 Castiglione ha pubblicato l’opuscolo “I terremoti di Valfabbrica (Perugia)” a cura della Camera di Commercio di Perugia, sull’onda dell’interesse destato da una sequenza sismica che ebbe luogo nel febbraio-aprile di quell’anno. Questo studio comprende un elenco di terremoti avvertiti dal 1831 in poi che l’autore asserisce di aver ricavato “dalla letteratura ufficiale specializzata, dalla consultazione di archivi pubblici e privati e da comunicazioni personali di vari studiosi”; i nomi degli archivi e degli studiosi in questione non sono però specificati e

la bibliografia dello studio comprende solo compilazioni descrittive di terremoti (Baratta, 1898, 1901 e 1936; Cavasino, 1935) e bollettini macrosismici.

Lo studio che più ha contribuito al progresso delle conoscenze sulla sismicità storica eugubina è di Monachesi (1987) che ha elaborato un rapporto tecnico finalizzato alla revisione della sismicità di riferimento per tre Comuni marchigiani (Cerreto d'Esi, Esanatoglia e Serra San Quirico). Le ricerche svolte hanno preso in considerazione anche archivi e fonti storiche di interesse eugubino (Tab. 2.1/B) e hanno portato all'identificazione di alcuni terremoti locali sconosciuti al catalogo sismico nazionale dell'epoca (Postpischl ed., 1985). Alcuni di questi terremoti sono stati in seguito inclusi nei cataloghi parametrici compilati a partire dall'ultimo decennio del Novecento.

Terremoto	Record PFG	Archivi storici consultati	Fonti narrative consultate
1458 04 26	Sì		Guerriero da Gubbio (sec. XV) Don Francesco (sec. XVI)
1593 04 23	No	Sezione di Archivio di Stato di Gubbio	Montanari (secc. XVI-XVII) Rossi (secc. XVI-XVII)
1595 10 30	No		Montanari (secc. XVI-XVII)
1603 09 07	No		Montanari (secc. XVI-XVII)
1703 01 14	Sì	Archivio Vescovile di Gubbio Archivio di Stato di Pesaro	
1703 02 27	No	Archivio Vescovile di Gubbio Archivio di Stato di Pesaro	
1730 05 12	Sì	Sezione di Archivio di Stato di Gubbio Archivio Vescovile di Gubbio	
1741 04 24	Sì	Sezione di Archivio di Stato di Gubbio Archivio Vescovile di Gubbio Archivio di Stato di Pesaro	
1751 07 27	Sì	Sezione di Archivio di Stato di Gubbio Archivio Vescovile di Gubbio Archivio di Stato di Pesaro Archivio di Stato di Roma	
1781 06 03	Sì	Sezione di Archivio di Stato di Gubbio Archivio Vescovile di Gubbio Archivio di Stato di Pesaro	
1804 03 10	No	Sezione di Archivio di Stato di Gubbio	
1827 06 --	No		Lucarelli (sec. XIX)
1829 06 20	No		Lucarelli (sec. XIX)
1832 01 13	Sì		Lucarelli (sec. XIX)
1854 07 25	No		Lucarelli (sec. XIX)
1855 05 21	No		Lucarelli (sec. XIX)

**Tab. 2.1/B Archivi storici e fonti narrative di interesse eugubino consultati da Monachesi (1987). Lo sfondo celeste indica gli eventi sismici non ancora inclusi in alcun catalogo parametrico.**

Nel 1990 infine Conversini et al. pubblicano la sintesi dei risultati di una ricerca promossa dalla Regione dell'Umbria per ottenere i dati di base necessari alla caratterizzazione sismica del territorio della Provincia di Perugia. Questo studio considera la sismicità storica del periodo fino al 1979 e riporta soltanto due osservazioni macrosismiche relative a Gubbio (V MCS in occasione del terremoto del 26 aprile 1458; VII MCS in occasione del terremoto del 27 luglio 1751).

Lo studio più recente prodotto nell'ambito del progetto Catalogo dei Forti Terremoti Italiani è Guidoboni et al. (2007), che riporta 26 osservazioni macrosismiche relative a Gubbio e individua il terremoto locale "sconosciuto" del 23 ottobre 1730, citando in proposito le fonti riassunte in Tab. 2.1/C.

Terremoto	Record PFG	Archivi storici consultati	Fonti narrative/letteratura sismologica consultate
1458 04 26	Sì		Guerriero da Gubbio [sec. XV]
1672 04 14	Sì		Fagnani [sec. XVII] in Agnelli [1895]
1730 10 23	No	Archivio Segreto Vaticano	
1741 04 24	Sì		Stucchi et al. [1991]
1751 07 27	Sì	Archivio di Stato di Roma Archivio della Porziuncola (Assisi)	Bandi [sec. XVIII], Bina [1751] Gazzetta di Milano (1751.08.25)
1897 12 18	Sì	Archivio UCEA	Issel [1898], Agamennone [1897]
1915 01 13	Sì		Martinelli [1915]
1919 06 29	Sì	Archivio ING	
1920 09 07	Sì	Archivio ING	
1948 06 13	Sì		?
1972 02 14	Sì		?
1979 09 19	Sì		Favali et al. [1980]
1980 11 23	Sì		Postpischl et al. [1985]
1984 04 29	-		ANSA [1984], Il Messaggero di Roma [1984], La Nazione [1984], Monachesi et al. [1984]
1997 09 03	-		Gasparini e Vecchi (edd.) [1997]
1997 09 26	-		Gasparini e Vecchi (edd.) [1997]
1997 10 14	-		Gasparini e Vecchi (edd.) [1997]

*Tab. 2.1/C Archivi storici, fonti narrative e letteratura sismologica di interesse eugubino consultati da Guidoboni et al. [2007]. Non sono considerati gli eventi in occasione dei quali lo studio assegna a Gubbio il valore di non avvertimento (NF). Il punto interrogativo ("?") indica i casi in cui le fonti dell'intensità assegnata a Gubbio non sono esplicitamente citate.*

I risultati degli studi di sismologia storica realizzati fino al 2006 sono via via confluiti, insieme ai dati di monitoraggio diretto dei terremoti più recenti, nelle successive versioni di quello che oggi si chiama Database Macrosismico dei Terremoti Italiani (DBMI), dalla prima (Monachesi e Stucchi, 1997) alla più recente (Locati et al., 2015). A partire da questi dati, resi opportunamente omogenei, sono state compilate le varie versioni del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, fino alla più recente (CPTI15,

Rovida et al., 2015). Il processo di omogeneizzazione dei dati prevede che, se per uno stesso terremoto sono disponibili più studi, ne venga scelto uno di riferimento, procedura che comporta talvolta piccole perdite di osservazioni macrosismiche. Può capitare infatti che lo studio non di riferimento abbia raccolto informazioni su effetti in località non intercettate dalla studio di riferimento.

Nella storia della sismicità eugubina, per esempio, la versione del Database Macrosismico Italiano DBMI11 (dati tratti dal sito <http://edimuis.mi.ingv.it/DBMI11/>) ha preso come riferimento lo studio di Guidoni et al. (2007) ed elenca 56 eventi sismici dal 1389 al 2006 (Fig.2.1/D), di cui 13 con effetti che a Gubbio hanno superato la soglia di danno ( $I_s > 3-4$  gradi MCS). La massima intensità di sito  $I_s$  risulta di 7-8 gradi della Scala Mercalli (MCS) per eventi di intensità epicentrale  $I_0$  di 7-8 gradi MCS riferita ai terremoti del 1593 e del 1730 di Gubbio con una magnitudo Richter media  $M$  di 5.35 e per l'evento con  $I_0$  di 10 grado MCS relativo al terremoto del 1751 dell'Appennino Umbro-Marchigiano con magnitudo Richter media di 6.25. Non vengono invece citati i terremoti del 14 gennaio 1703 dell'Appennino umbro-reatino, del 12 maggio 1730 della Valnerina e del 13 gennaio 1832 della Valle del Topino, di cui Guidoni non riporta notizie dei loro effetti a Gubbio. Al contrario, lo studio di Monachesi (1987) riporta il forte avvertimento a Gubbio dei primi due e alcuni danni causati nella stessa località dal terzo di questi eventi.

#### Seismic history of Gubbio

[43.351, 12.577]

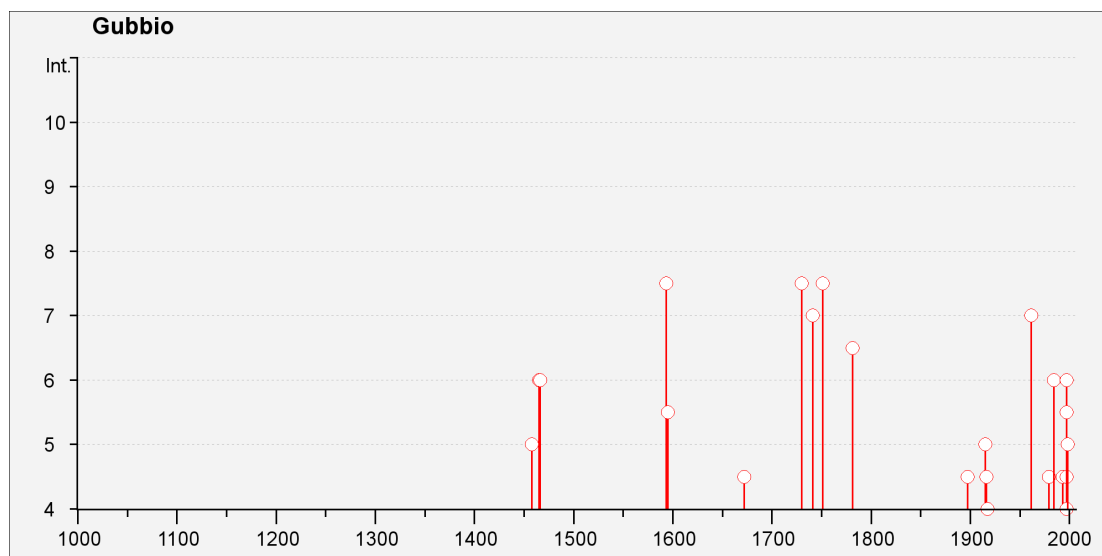
Numero di eventi: 56

Effetti	In occasione del terremoto di:				
$I_s$	Data	Ax	$N_p$	$I_0$	$M_w$
F	1389 10 18	BOCCA SERRIOLA	9	9	5.99 $\pm$ 0.34
5	1458 04 26 12:15	Val Tiberina	5	8-9	5.78 $\pm$ 0.34
6	1465 05 17	GUBBIO	1	6	4.72 $\pm$ 0.34
6	1466 12 26	GUBBIO	1	6	4.72 $\pm$ 0.34
7-8	1593 04 23	GUBBIO	4	7-8	5.35 $\pm$ 0.34
5-6	1595 10 30	GUBBIO	1	5-6	4.51 $\pm$ 0.34
4-5	1672 04 14 15:45	Riminense	92	8	5.61 $\pm$ 0.21
7-8	1730 10 23 10:20	Gubbio	1	7-8	5.35 $\pm$ 0.34
7	1741 04 24 09:00	FABRIANESE	145	9	6.21 $\pm$ 0.13



7-8	1751 07 27 01:00	Appennino umbro-marchigiano	68	10	6.25 $\pm$ 0.22
6-7	1781 06 03	CAGLIESE	157	10	6.42 $\pm$ 0.13
NF	1785 05 03 02:30	Alta valle del Chienti	11	7	5.14 $\pm$ 0.34
4-5	1897 12 18 07:24:20	Appennino umbro-marchigiano	132	7	5.13 $\pm$ 0.14
NF	1898 06 27 23:38	RIETI	186	8	5.49 $\pm$ 0.12
NF	1902 10 23 08:51	REATINO	77	6	4.80 $\pm$ 0.26
NF	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7	5.15 $\pm$ 0.14
NF	1907 01 23 00:20	Adriatico centrale	93		5.06 $\pm$ 0.15
3	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53 $\pm$ 0.09
NF	1909 08 25 00:22	MURLO	283	7-8	5.37 $\pm$ 0.10
NF	1911 09 13 22:29	Chianti	115	7	5.19 $\pm$ 0.14
5	1915 01 13 06:52	Avezzano	1041	11	7.00 $\pm$ 0.09
NF	1915 03 26 23:37	Assisi	40	6	4.60 $\pm$ 0.24
4-5	1916 05 17 12:49:50	Alto Adriatico	132		5.95 $\pm$ 0.14
4	1917 04 26 09:35:59	Valtiberina	134	9-10	5.89 $\pm$ 0.11
3	1919 06 29 15:06:12	Mugello	566	10	6.29 $\pm$ 0.09
3	1919 10 25 13:51:30	MONTERCHI	30	6	5.02 $\pm$ 0.24
3	1920 09 07 05:55:40	Garfagnana	756	10	6.48 $\pm$ 0.09
NF	1936 12 09 07:34	CALDAROLA	32	6-7	4.79 $\pm$ 0.22
3	1948 06 13 06:33:31	Valtiberina	142	7	5.05 $\pm$ 0.14
7	1961 03 23 01:01:59	GUBBIO	22	7	4.54 $\pm$ 0.28
NF	1964 08 02 10:40:17	PRECI	25	6	5.09 $\pm$ 0.25
2	1969 08 11 13:55:09	TRASIMENO	46	7	4.94 $\pm$ 0.18
3	1972 02 04 02:42:19	Medio Adriatico	75		4.86 $\pm$ 0.29
3	1972 02 04 09:18:30	Medio Adriatico	56		4.58 $\pm$ 0.29
4-5	1979 09 19 21:35:37	Valnerina	694	8-9	5.86 $\pm$ 0.09
3	1980 11 23 18:34:52	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.89 $\pm$ 0.09
6	1984 04 29 05:02:60	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7	5.65 $\pm$ 0.09
2-3	1986 10 13 05:10:01	Appennino umbro-marchigiano	322	5-6	4.65 $\pm$ 0.09
3	1987 07 03 10:21:58	PORTO SAN GIORGIO	359		5.09 $\pm$ 0.09
NF	1987 07 05 13:12:37	VALMARECCHIA	90	6	4.47 $\pm$ 0.09
3-4	1993 06 04 21:36:51	Nocera Umbra	90	5-6	4.50 $\pm$ 0.13
4-5	1993 06 05 19:16:17	GUALDO TADINO	326	6	4.74 $\pm$ 0.09
3-4	1997 09 03 22:07:30	Appennino umbro-marchigiano	171	5-6	4.56 $\pm$ 0.09
5-6	1997 09 26 00:33:13	Appennino umbro-marchigiano	760		5.70 $\pm$ 0.09
6	1997 09 26 09:40:27	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	6.01 $\pm$ 0.09
4-5	1997 10 03 08:55:22	Appennino umbro-marchigiano	490		5.25 $\pm$ 0.09
5-6	1997 10 06 23:24:53	Appennino umbro-marchigiano	437		5.46 $\pm$ 0.09
4	1997 10 14 15:23:11	Appennino umbro-marchigiano	786	7-8	5.65 $\pm$ 0.09
2-3	1998 03 21 16:45:09	Appennino umbro-marchigiano	141	6	5.03 $\pm$ 0.09
5	1998 03 26 16:26:17	Appennino umbro-marchigiano	408	6	5.29 $\pm$ 0.09
5	1998 04 05 15:52:21	Appennino umbro-marchigiano	395	6	4.81 $\pm$ 0.09
2	1998 06 01 13:57:10	Appennino umbro-marchigiano	23	5	4.29 $\pm$ 0.18
5	1998 06 02 23:11:23	Appennino umbro-marchigiano	83	5-6	4.28 $\pm$ 0.09

3-4	2001 11 26 00:56:55	Casentino	213	5-6	4.72 $\pm$ 0.09
NF	2005 12 15 13:28:39	Valle del Topino	361	5-6	4.66 $\pm$ 0.09
2-3	2006 04 10 19:03:36	Maceratese	211	5	4.51 $\pm$ 0.10



*Fig. 2.1/D Storia sismica di Gubbio dal Database Macrosismico Italiano 2011 (DBMI11).*

Dal confronto con gli effetti degli eventi sismici in località vicine a Gubbio con storia sismica più severa, come Città di Castello e Gualdo Tadino, è possibile notare delle lacune nel periodo anteriore alla seconda metà del Quattrocento, nel Cinquecento-Seicento e nell'Ottocento. Facendo ricorso a una storia sismica 'virtuale' di Gubbio, calcolata a partire da CPTI11 mediante una opportuna legge di attenuazione, si ritiene che alle ricerche storiche svolte possano essere sfuggite alcune informazioni sugli effetti di danno osservati a Gubbio in occasione di terremoti avvenuti fino alla metà circa del Trecento (1279, Camerino; 1328, Norcia; 1352, Monterchi) e nel periodo compreso tra la fine del Settecento e il primo trentennio dell'Ottocento (1789, Val Tiberina; 1799, Appennino marchigiano; 1832, Valle del Topino). Si confermano invece le lacune informative già evidenziate nel periodo compreso tra la fine del Quattrocento e la fine del Cinquecento, nel Seicento e in buona parte dell'Ottocento.

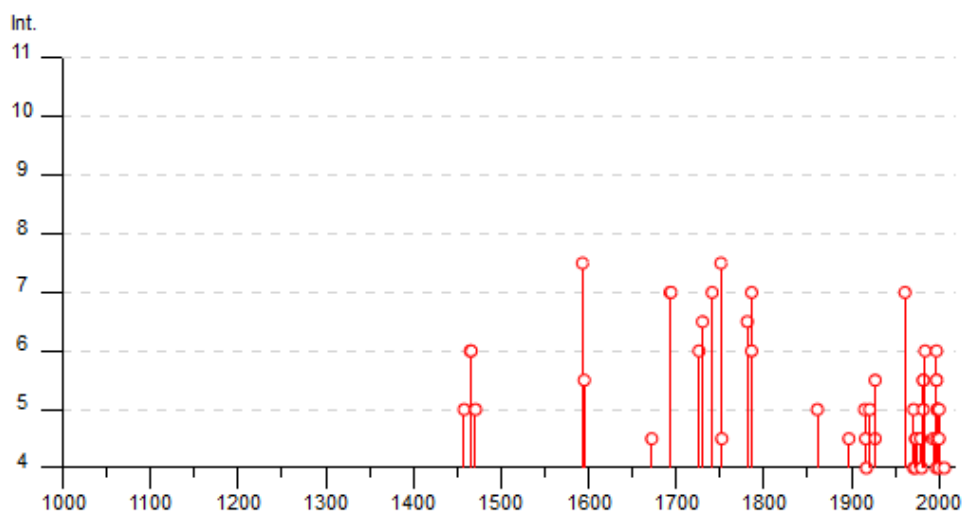
Il Database Macrosismico Italiano DBMI11 è stato aggiornato e sostituito nel 2016 dal Database Macrosismico Italiano DBMI15 che fornisce un set di dati di intensità

macrosismica relativo ai terremoti italiani nella finestra temporale 1000-2014. Per la località di Gubbio (dati tratti dal sito <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>) vengono riportati 93 eventi sismici dal 1389 al 2006 (Tab.2.1/E) e di fatto i valori di massima intensità di sito  $I_s$  sono di 7-8 gradi della Scala Mercalli (MCS) come nella precedente versione del database. Si riferiscono sempre all'evento del 1593 del Bacino di Gubbio e del 1751 dell'Appennino Umbro-Marchigiano magnitudo Richter media  $M$  aggiornata rispettivamente di 5.33 e di 6.38. Il terremoto del Bacino di Gubbio del 1730 viene invece riportato con una massima intensità  $I_s$  abbassata a 6-7.

Gubbio										
PlaceID		IT_49028								
Coordinate (lat, lon)		43.351, 12.577								
Comune (ISTAT 2015)		Gubbio								
Provincia		Perugia								
Regione		Umbria								
Numero di eventi riportati		93								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
F	<a href="#">1389</a>	10	18				Alta Valtiberina	9	9	6.03
5	<a href="#">1458</a>	04	26	12	15		Alta Valtiberina	5	8-9	5.80
6	<a href="#">1465</a>	05	17				Gubbio	1	6	4.63
6	<a href="#">1466</a>	12	26				Gubbio	1	6	4.63
5	<a href="#">1471</a>	03					Gubbio	1	5	4.16
7-8	<a href="#">1593</a>	04	23				Bacino di Gubbio	7	7-8	5.33
5-6	<a href="#">1595</a>	10	30				Gubbio	1	5-6	4.40
4-5	<a href="#">1672</a>	04	14	15	45		Riminese	92	8	5.59
HF	<a href="#">1693</a>	10	12				Bacino di Gubbio	2	5	4.16
7	<a href="#">1693</a>	10	15				Bacino di Gubbio	6	6-7	4.85
7	<a href="#">1694</a>	01					Bacino di Gubbio	3	6	4.63
6	<a href="#">1726</a>	09	23				Bacino di Gubbio	13	6	4.85
6-7	<a href="#">1730</a>	10	23				Bacino di Gubbio	9	6-7	4.86
7	<a href="#">1741</a>	04	24	09	20		Fabrianese	135	9	6.17
7-8	<a href="#">1751</a>	07	27	01			Appennino umbro-marchigiano	66	10	6.38
F	<a href="#">1752</a>	01	02				Valnerina	4	6-7	4.86

4-5	<a href="#">1752 07 13 21 40</a>	Appennino umbro-marchigiano	11	5	4.61
6-7	<a href="#">1781 06 03</a>	Cagliese	157	10	6.51
NF	<a href="#">1785 05 03 02 30</a>	Appennino umbro-marchigiano	11	7	5.10
7	<a href="#">1786 01 15</a>	Bacino di Gubbio	1	7	5.10
6	<a href="#">1786 01 17</a>	Bacino di Gubbio	4	5-6	4.44
F	<a href="#">1792 07 20</a>	Ternano	9	6-7	5.06
5	<a href="#">1861 03 10</a>	Bacino di Gubbio	5	6-7	4.79
4-5	<a href="#">1897 12 18 07 24 2</a>	Alta Valtiberina	132	7	5.09
NF	<a href="#">1898 06 27 23 38</a>	Reatino	186	8	5.50
NF	<a href="#">1898 11 27 01</a>	San Ginesio	35	5-6	4.39
NF	<a href="#">1902 10 23 08 51</a>	Reatino	77	6	4.74
NF	<a href="#">1904 06 20 01 24</a>	Assisi	24	5	4.10
NF	<a href="#">1904 09 02 11 21</a>	Maceratese	59	5-6	4.63
NF	<a href="#">1904 11 17 05 02</a>	Pistoiese	204	7	5.10
NF	<a href="#">1906 02 05 16 34</a>	Valnerina	55	5	4.41
NF	<a href="#">1907 01 23 00 25</a>	Adriatico centrale	93	5	4.75
NF	<a href="#">1908 03 17 03 59</a>	Marche meridionali	54	5-6	4.61
3	<a href="#">1909 01 13 00 45</a>	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
NF	<a href="#">1909 08 25 00 22</a>	Crete Senesi	259	7-8	5.34
NF	<a href="#">1911 09 13 22 29 0</a>	Chianti	115	7	5.08
NF	<a href="#">1912 05 11 05 14</a>	Cagliese	11	4-5	3.96
3	<a href="#">1913 08 09 01 45</a>	Pietralunga	12	4-5	3.93
5	<a href="#">1915 01 13 06 52 4</a>	Marsica	1041	11	7.08
NF	<a href="#">1915 03 26 23 37</a>	Perugino	40	6	4.55
4-5	<a href="#">1916 05 17 12 50</a>	Riminese	132	8	5.82
4	<a href="#">1917 04 26 09 35 5</a>	Alta Valtiberina	134	9-10	5.99
3	<a href="#">1919 06 29 15 06 1</a>	Mugello	565	10	6.38
3	<a href="#">1919 10 25 13 51</a>	Alta Valtiberina	30	6	5.03
3	<a href="#">1920 09 07 05 55 4</a>	Garfagnana	750	10	6.53
5	<a href="#">1921 04 05 17 40</a>	Appennino umbro-marchigiano	10	5	4.23
4-5	<a href="#">1927 11 30 02 58 2</a>	Bacino di Gubbio	18	5	4.29
5-6	<a href="#">1927 12 01 09 55 3</a>	Bacino di Gubbio	13	5-6	4.56
NF	<a href="#">1936 12 09 07 34</a>	Caldarola	31	6-7	4.76
3	<a href="#">1948 06 13 06 33 3</a>	Alta Valtiberina	142	7	5.04
NF	<a href="#">1960 07 18 04 07</a>	Ternano	32	6-7	4.53
7	<a href="#">1961 03 23 01 01</a>	Bacino di Gubbio	21	7	4.96
NF	<a href="#">1964 08 02 10 40</a>	Valnerina	25	6	4.53
2	<a href="#">1969 08 11 13 55</a>	Lago Trasimeno	46	7	4.70
4	<a href="#">1971 02 11 18 49 2</a>	Valle del Chiascio	71	6	4.61
5	<a href="#">1971 02 12 04 54 5</a>	Valle del Chiascio	47	7	4.89
3	<a href="#">1972 02 04 02 42 1</a>	Costa anconetana	75		4.57

3	1972 02 04 09 18 3	Costa anconetana	56		4.36
4	1973 04 19 17 41 3	Pietralunga	22	7	4.61
4-5	1973 12 30 06 30 3	Valle del Chiascio	16	7-8	5.11
4-5	1974 01 05 07 33 2	Valle del Chiascio	15	7-8	5.28
4-5	1979 09 19 21 35 3	Valnerina	694	8-9	5.83
4	1980 02 28 21 04 4	Valnerina	146	6	4.97
3	1980 11 23 18 34 5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
5-6	1982 10 18 02 45 1	Perugino	12	5-6	4.31
5-6	1982 10 18 15 29 2	Perugino	15	6-7	4.56
5	1982 10 19 01 22 5	Perugino	10	5	4.26
6	1984 04 29 05 02 5	Umbria settentrionale	709	7	5.62
2-3	1986 10 13 05 10 0	Monti Sibillini	322	5-6	4.46
3	1987 07 03 10 21 5	Costa Marchigiana	359	7	5.06
NF	1987 07 05 13 12 3	Montefeltro	90	6	4.44
3	1989 12 22 06 48 1	Valle Umbra	114	5	4.44
3-4	1993 01 17 10 51 2	Alta Valtiberina	76	5	4.26
3-4	1993 06 04 21 36 5	Valle del Topino	90	5-6	4.39
4-5	1993 06 05 19 16 1	Valle del Topino	326	6	4.72
5-6	1997 09 26 00 33 1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
6	1997 09 26 09 40 2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
4-5	1997 10 03 08 55 2	Appennino umbro-marchigiano	490		5.22
5-6	1997 10 06 23 24 5	Appennino umbro-marchigiano	437		5.47
4	1997 10 14 15 23 1	Valnerina	786		5.62
2-3	1998 03 21 16 45 0	Appennino umbro-marchigiano	141		5.00
5	1998 03 26 16 26 1	Appennino umbro-marchigiano	409		5.26
5	1998 04 05 15 52 2	Appennino umbro-marchigiano	395		4.78
2	1998 06 01 13 57 1	Appennino umbro-marchigiano	23		4.02
5	1998 06 02 23 11 2	Appennino umbro-marchigiano	83		4.25
5	2000 06 22 12 16 3	Bacino di Gubbio	107	5	4.47
4	2000 08 11 04 33 4	Appennino umbro-marchigiano	21	4-5	3.58
4-5	2000 09 02 05 17 0	Appennino umbro-marchigiano	115	5	4.40
NF	2001 04 16 08 51 5	Appennino umbro-marchigiano	31	4-5	3.57
3-4	2001 11 26 00 56 5	Casentino	211	5-6	4.63
2-3	2005 12 15 13 28 3	Val Nerina	350	5	4.14
2-3	2006 04 10 19 03 3	Maceratese	211	5	4.06
4	2006 10 21 07 04 1	Anconetano	287	5	4.2



*Fig. 2.1/E Storia sismica di Gubbio dal Database Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15).*

Un ultimo studio recente sulla sismicità di Gubbio è stato condotto da Castelli V. et al. dell'INGV e pubblicato nel 2016. Le fonti utilizzate sono molteplici e di varia tipologia: archivistiche, narrative e giornalistiche. Alla prima categoria appartengono a livello locale la Sezione Archivio di Stato di Gubbio (SASG) e l'Archivio Storico Diocesano, mentre a livello nazionale gli Archivi di Stato di Pesaro e di Roma e l'Archivio Segreto Vaticano. Nell'ambito delle fonti narrative si distinguono invece cronache, diari e memorie, sia di autori locali che esterni. Infine le fonti giornalistiche comprendono bollettini di notizie manoscritti della metà del '500, periodici del '700, gazzette dalla prima metà dell''800. Inoltre sono state ricercate e raccolte tracce materiali e culturali di terremoti che hanno interessato il territorio eugubino attraverso il progetto Edurisk (<http://www.edurisk.it>), promosso da INGV e Dipartimento della Protezione Civile in collaborazione con istituti scolastici italiani per l'educazione al rischio.

Lo studio di Castelli V. et al. ha permesso di ricostruire 157 eventi sismici avvertiti nel Comune di Gubbio con o senza danno nel periodo compreso tra il 1389 ed il 1982. Di queste osservazioni 87 sono relative al capoluogo e rappresentano un incremento di 31 avvertimenti rispetto alla storia sismica di Gubbio ricavabile da Locati et al. (2011). È stata raccolta ampia evidenza di danni causati da terremoti che prima d'ora erano

considerati al di sotto della soglia di danno ed è stata identificata una ventina di terremoti finora ‘sconosciuti’, cioè non riportati in alcun catalogo parametrico o in alcuna compilazione descrittiva di terremoti.

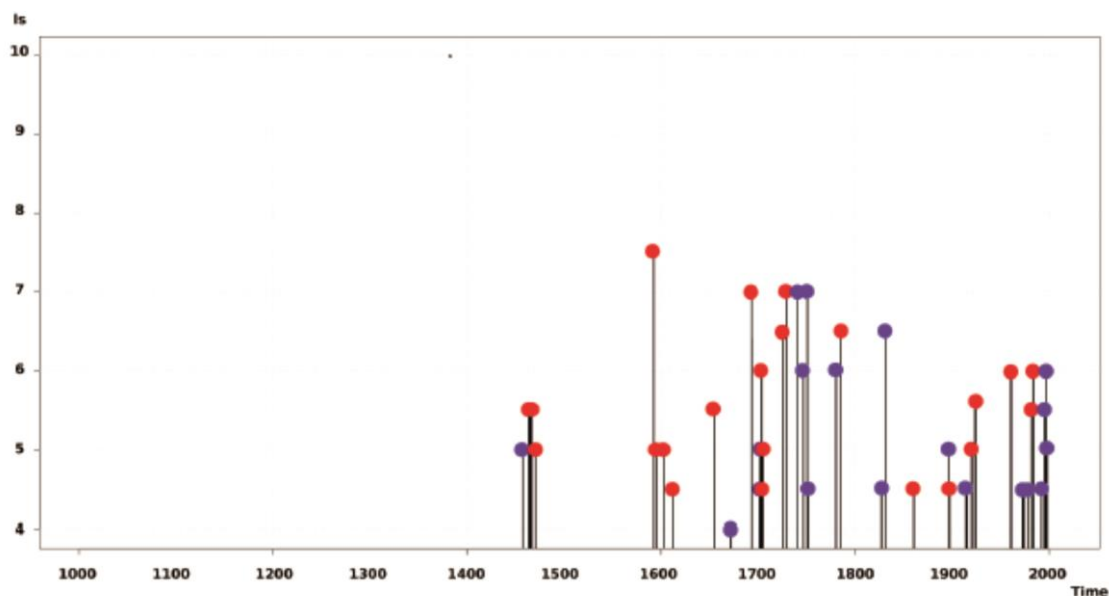


Fig. 2.1/F Storia sismica osservata di Gubbio per i terremoti sopra la soglia di danno (Castelli et al., 2016). In rosso i terremoti conosciuti prima dello studio e in blu quelli “riscoperti”.

## 2.2 Sismicità recente dell’area di studio

Il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15, ricavato a partire dal Database Macrosismico Italiano DBMI15, fornisce dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  o magnitudo  $\geq 4.0$  d’interesse per l’Italia nella finestra temporale 1000-2014. In Tab.2.2/A vengono riportati i terremoti avvenuti a Gubbio e nel Bacino di Gubbio, mentre in Tab. 2.2/B gli eventi del 1593 del bacino di Gubbio, del 1730 della Valnerina e del 1751 dell’Appennino Umbro-Marchigiano che dal DMMI15 risultavano aver avuto la maggiore intensità a Gubbio, nonché tutti i terremoti più recenti che hanno avuto effetti a Gubbio.

Year	Mo	Da	Ho	EpicalArea	DepDef	IoDef	MwDef	ErMwDef	Imax	Io	MwM	ErMwM
Anno	Mese	Giorno	Ore	Area Epicentrale	Profondità (Km)	Intensità epicentrale Default	Magnitudo Momento Default	Errore Magnitudo Momento Default	Intensità Massima	Intensità epicentrale	Magnitudo Momento	Errore Magnitudo Momento
1465	05	17		Gubbio		6	4.63	0.46	6	6	4.63	0.46
1466	12	26		Gubbio		6	4.63	0.46	6	6	4.63	0.46
1471	03			Gubbio		5	4.16	0.46	5	5	4.16	0.46
1593	04	23		Bacino di Gubbio		7-8	5.33	0.46	HD	7-8	5.33	0.46
1595	10	30		Gubbio		5-6	4.40	0.46	5-6	5-6	4.40	0.46
1693	10	12		Bacino di Gubbio		5	4.16	0.46	HF	5	4.16	0.46
1693	10	15		Bacino di Gubbio		6-7	4.85	0.65	7	6-7	4.85	0.65
1694	01			Bacino di Gubbio		6	4.63	0.46	7	6	4.63	0.46
1726	09	23		Bacino di Gubbio		6	4.85	0.38	HD	6	4.85	0.38
1730	10	23		Bacino di Gubbio		6-7	4.86	0.46	HD	6-7	4.86	0.46
1751	07	27	01	Appennino umbro-marchigiano		10	6.38	0.10		10	6.38	0.10
1786	01	15		Bacino di Gubbio		7	5.10	0.46	7	7	5.10	0.46
1786	01	17		Bacino di Gubbio		5-6	4.44	0.46	6	5-6	4.40	0.46
1861	03	10		Bacino di Gubbio		6-7	4.79	0.65	D	6-7	4.79	0.65
1927	11	30	02	Bacino di Gubbio		5	4.29	0.39	5-6	5	4.29	0.39
1927	12	01	09	Bacino di Gubbio		5-6	4.56	0.38	5-6	5-6	4.56	0.38
1961	03	23	01	Bacino di Gubbio		7	4.96	0.38	7	7	4.96	0.38
2000	06	22	12	Bacino di Gubbio	39.6	5	4.47	0.07	5	5	4.36	0.11
2013	12	18	10	Bacino di Gubbio	6.4		4.10	0.07				
2013	12	22	10	Bacino di Gubbio	8.6		4.22	0.07				

*Tab. 2.2/A Eventi sismici relativi a Gubbio e al Bacino di Gubbio dal database CPTI15.*



Year	Mo	Da	Ho	EpicentralArea	DepDef	IoDef	MwDef	ErMwDef	Imax	Io
Anno	Mese	Giorno	Ore	Area Epicentrale	Profondità (Km)	Intensità epicentrale Default	Magnitudo Momento Default	Errore Magnitudo Momento Default	Intensità Massima	Intensità epicentrale
1593	04	23		Bacino di Gubbio	43.310	12.421		7-8	5.33	0.46
1730	05	12	05	Valnerina	42.753	13.120		9	6.04	0.10
1730	10	23		Bacino di Gubbio	43.282	12.619		6-7	4.86	0.46
1751	07	27	01	Appennino umbro-marchigiano	43.225	12.739		10	6.38	0.10
1961	03	23	01	Bacino di Gubbio	43.362	12.544		7	4.96	0.38
1971	02	11	18	Valle del Chiascio	43.121	12.604		6	4.61	0.15
1971	02	12	04	Valle del Chiascio	43.150	12.605		7	4.89	0.14
1973	12	30	06	Valle del Chiascio	43.180	12.604		7-8	5.11	0.35
1974	01	05	07	Valle del Chiascio	43.183	12.583		7-8	5.28	0.67
1979	09	19	21	Valnerina	42.730	12.956		8-9	5.83	0.10
1982	10	17	06	Perugino	43.164	12.648		6	4.65	0.10
1982	10	17	10	Perugino	43.155	12.505		6-7	4.62	0.10
1984	04	29	05	Umbria settentrionale	43.262	12.525		7	5.62	0.10
1997	09	26	00	Appennino umbro-marchigiano	43.022	12.891	3.5	7-8	5.66	0.07
1997	09	26	09	Appennino umbro-marchigiano	43.014	12.853	9.8	8-9	5.97	0.07
1997	10	03	08	Appennino umbro-marchigiano	43.042	12.824	12.0		5.22	0.07
1997	10	06	23	Appennino umbro-marchigiano	43.027	12.846	3.9		5.47	0.07
1997	10	12	11	Valnerina	42.906	12.920	0.1		5.19	0.07
1997	10	14	15	Valnerina	42.898	12.898	7.3		5.62	0.07

*Tab. 2.2/B Eventi sismici di maggiore intensità e quelli recenti con effetti a Gubbio dal database CPTI15.*

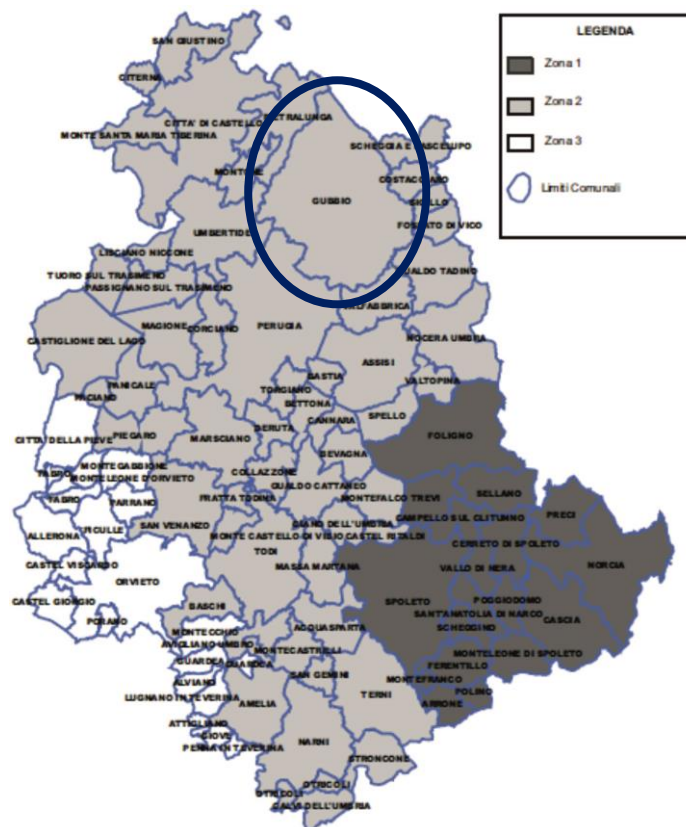
L'Italian Seismological Instrumental and Parametric Data-Base (ISIDe) versione 1.0, che contiene i dati parametrici di tutti i terremoti localizzati dalla sala di sorveglianza sismica dell'INGV di Roma dal 1985, riporta n.13 eventi di Magnitudo superiore a 4 nel raggio di 40 Km da Gubbio dal 1985 ad oggi.

Data e Ora (Italia)	Magnitudo	Zona	Profondità (Km)	Latitudine	Longitudine
2000-06-12 00:55:31	Md 4.0	5 km NW Nocera Umbra (PG)	5	43.15	12.76
1998-06-05 23:53:11	Md 4.1	6 km SE Gualdo Tadino (PG)	9	43.18	12.82
1998-06-03 01:11:22	Md 4.2	7 km NE Nocera Umbra (PG)	10	43.17	12.82
1998-04-05 17:52:20	Md 4.5	6 km S Gualdo Tadino (PG)	10	43.18	12.77
1998-04-03 09:59:52	Md 4.0	5 km S Gualdo Tadino (PG)	9	43.19	12.77
1998-04-03 09:26:36	Md 4.7	6 km S Gualdo Tadino (PG)	10	43.18	12.79
1998-03-26 17:26:17	Md 4.7	6 km W Fiuminata (MC)	48	43.18	12.86
1997-10-02 12:59:55	Md 4.0	5 km SE Nocera Umbra (PG)	10	43.09	12.84
1997-09-27 10:08:06	MLNET 4.3	5 km SE Nocera Umbra (PG)	7	43.09	12.84
1997-09-04 00:07:30	Md 4.4	7 km E Valtopina (PG)	5	43.06	12.84
1993-06-05 21:16:18	Md 4.4	5 km E Valfabbrica (PG)	5	43.15	12.67
1993-06-04 23:36:52	Md 4.1	6 km E Valfabbrica (PG)	5	43.14	12.67
1989-12-22 07:48:14	Md 4.0	4 km S Valtopina (PG)	23	43.02	12.77

*Tab. 2.2/C Terremoti dal database ISIDe*

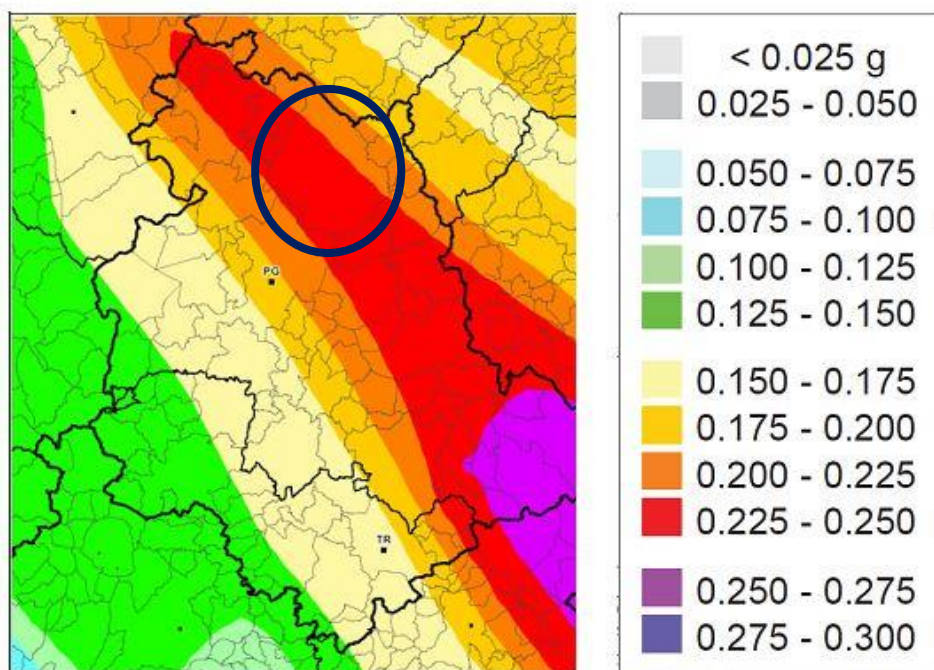
### 2.3 Pericolosità sismica di base

Secondo quanto riportato nella legge n. 64 del 02/02/1974 e successive modifiche, il Comune di Gubbio rientrava nella zona sismica II. Alla luce della nuova normativa nazionale inerente la riclassificazione sismica del territorio nazionale e secondo quanto riportato nelle disposizioni dell'Ordinanza della P.C.M. n. 3274/2003 il Comune di Gubbio veniva riclassificato nella nuova ZONA 2. Anche nella D.G.R. del 18 settembre 2012 n° 1111, che rivede la classificazione sismica del territorio umbro, conferma per il Comune di Gubbio l'appartenenza alla Zona 2 che corrisponde ad una zona con pericolosità sismica media, dove posso verificarsi terremoti abbastanza forti e con accelerazione orizzontale massima su suolo rigido o pianeggiante  $a_g$ , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni e riferita a sottosuoli rigidi ( $V_s > 800$  m/s, Cat. A), compresa tra 0.15g e 0.25g.



*Fig. 2.3/A Classificazione sismica della Regione Umbria aggiornata con D.G.R. n.1111 del 2012 con la localizzazione del comune di Gubbio.*

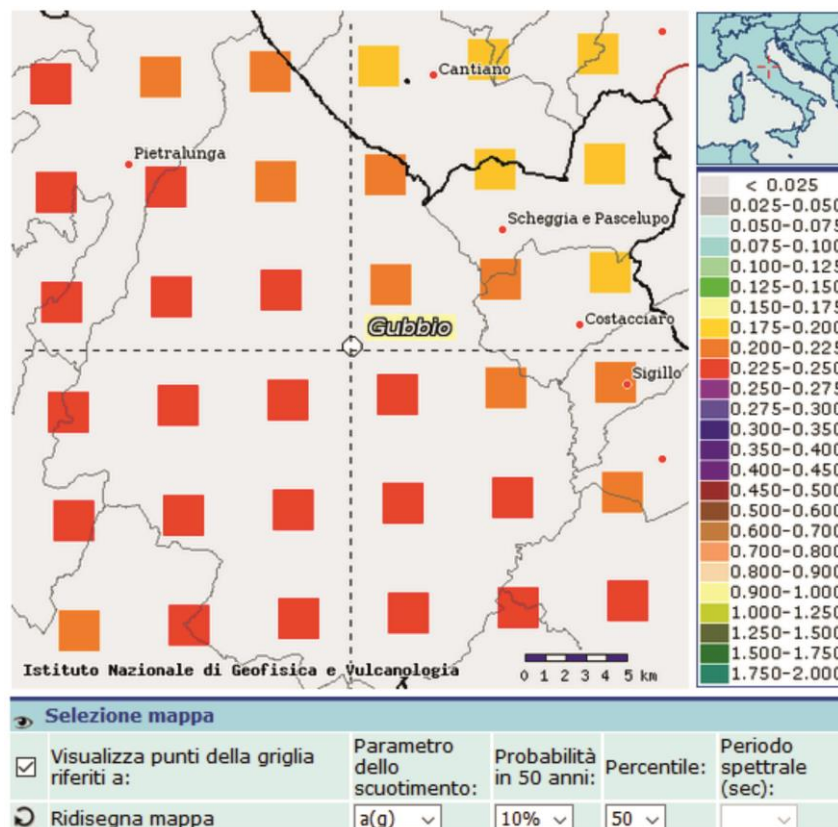
Le NTC del DM 14 gennaio 2008 hanno proposto una descrizione della pericolosità sismica di base più accurata, sia in termini geografici che temporali. La pericolosità sismica di base è definita infatti secondo una procedura basata sui risultati dello studio dell'I.N.G.V. che ha prodotto una mappa interattiva di pericolosità sismica per tutto il territorio nazionale. Dal punto di vista geografico la pericolosità sismica si svincola per la prima volta dai limiti territoriali amministrativi e pertanto, al valore di pericolosità di ogni singolo comune italiano, viene sostituita una definizione per ogni punto di un reticolo di riferimento basato sulle coordinate geografiche di latitudine e longitudine. Come mostra la fig. 2.2/B il Comune di Gubbio è ricompreso per la maggior parte nell'area caratterizzata da  $a_g$  compresa tra 0.225g e 0.250g, ad eccezione della porzione di NE che ricade nella fascia con  $a_g$  compresa tra 0.200g e 0.225g.



*Fig. 2.3/B Stralcio della Mappa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale dell'I.N.G.V con la localizzazione del Comune di Gubbio.*

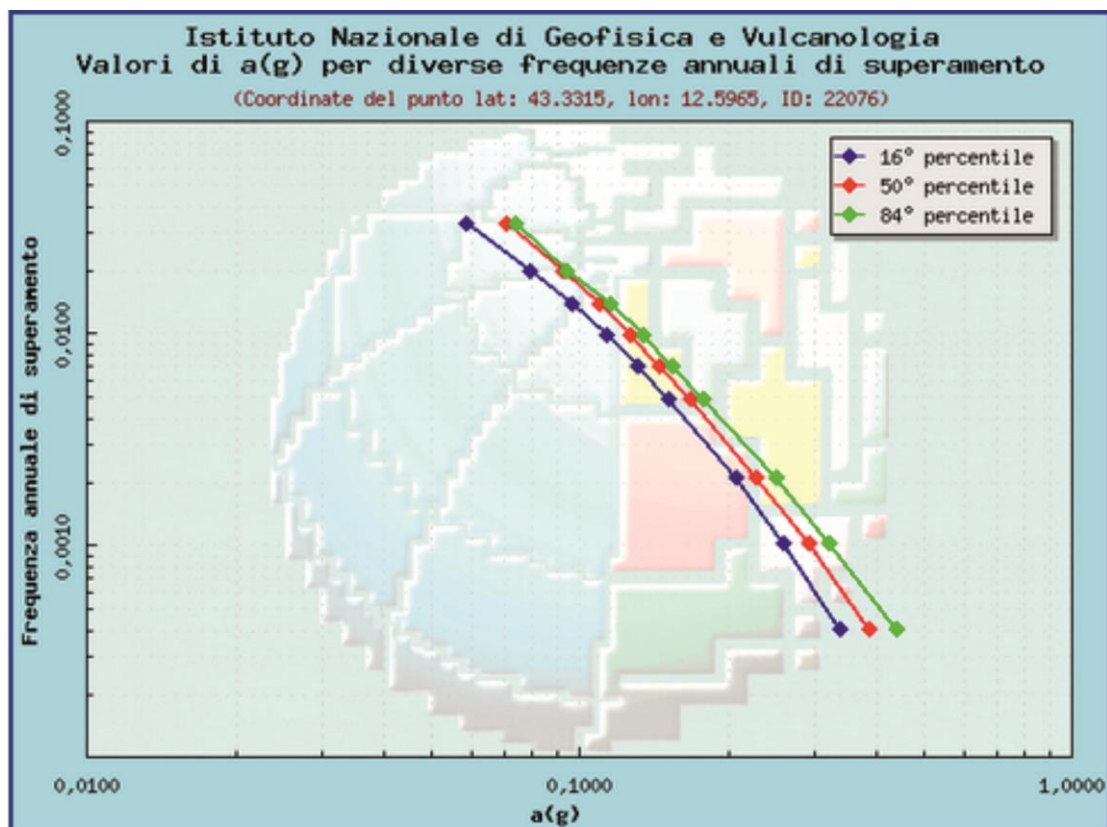
Il valore di  $a_g$  in un punto di latitudine e longitudine stabilita si ricava a partire da un reticolo di riferimento i cui nodi, per determinati tempi di ritorno, hanno una

pericolosità sismica di base del sito in esame, definita nelle NTC/08 in termini di tre parametri di riferimento:  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima del terreno),  $F_0$  (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e  $T^*c$  (Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale).



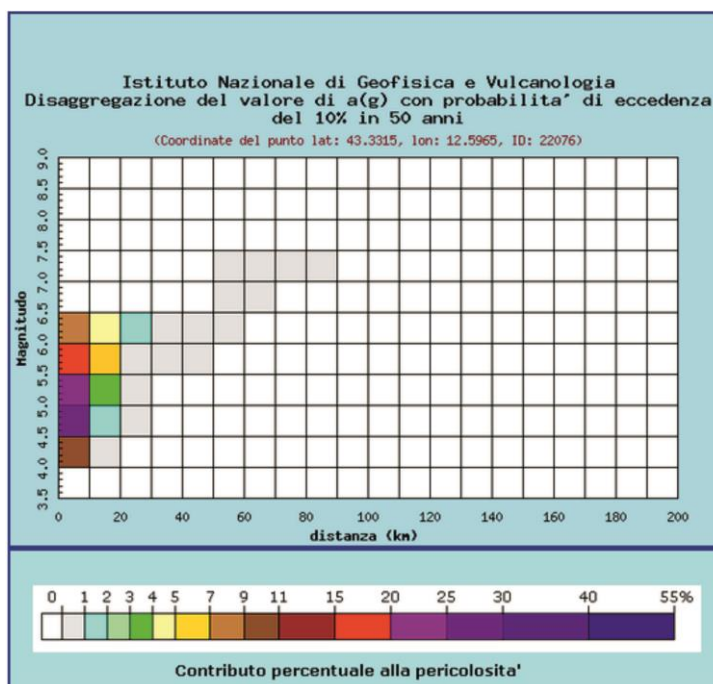
*Fig. 2.3/C Stralcio della Mappa di Pericolosità Sismica interattiva dell'I.N.G.V in corrispondenza del comune di Gubbio.*

Il nodo più vicino al centro abitato di Gubbio è quello con ID 22076 caratterizzato dai valori di  $a_g$  indicati in Fig. 2.3/D per le diverse frequenze annuali di superamento. In Fig. 2.3/E si riportano anche i dati di disaggregazione.



Frequenza annuale di superamento	a(g) (Coordinate del punto lat: 43.3315, lon: 12.5965, ID: 22076)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.3366	0.3880	0.4390
0.0010	0.2589	0.2915	0.3214
0.0021	0.2072	0.2286	0.2496
0.0050	0.1512	0.1670	0.1782
0.0071	0.1303	0.1447	0.1536
0.0099	0.1127	0.1264	0.1339
0.0139	0.0958	0.1090	0.1155
0.0200	0.0792	0.0924	0.0940
0.0333	0.0587	0.0705	0.0740

Fig. 2.2/D Valori di  $a_g$  del nodo con ID 22076 del reticolo della Carta di Pericolosità per le diverse frequenze annuali di superamento.



Distanza in km		Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 43.3315, lon: 12.5965, ID: 22076)									
		Magnitudo									
		3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5
0-10	0.000	10.200	25.700	22.000	15.700	8.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.202	1.790	3.990	5.370	4.390	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.001	0.164	0.885	1.220	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.056	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.004	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.012	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.260	6.590	1.050

*Fig. 2.2/E Valori di ag del nodo con ID 22076 del reticolo della Carta di Pericolosità per le diverse frequenze annuali di superamento.*

Il catalogo ITHACA dell'ISPRA (<http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>), la banca dati delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie, evidenzia l'emergenza del lineamento tettonico che ha provocato il ribassamento del fianco SO dell'anticlinale eugubina con la formazione della conca intramontana. Di seguito si riportano la localizzazione della faglia (Fig. 2.3/F) e le caratteristiche identificative tratta dal database di ITHACA (Tab. 2.3/G):



*Fig. 2.3/F* *Mappa delle faglie capaci tratta dal webviewer di ITHACA (<http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>)*



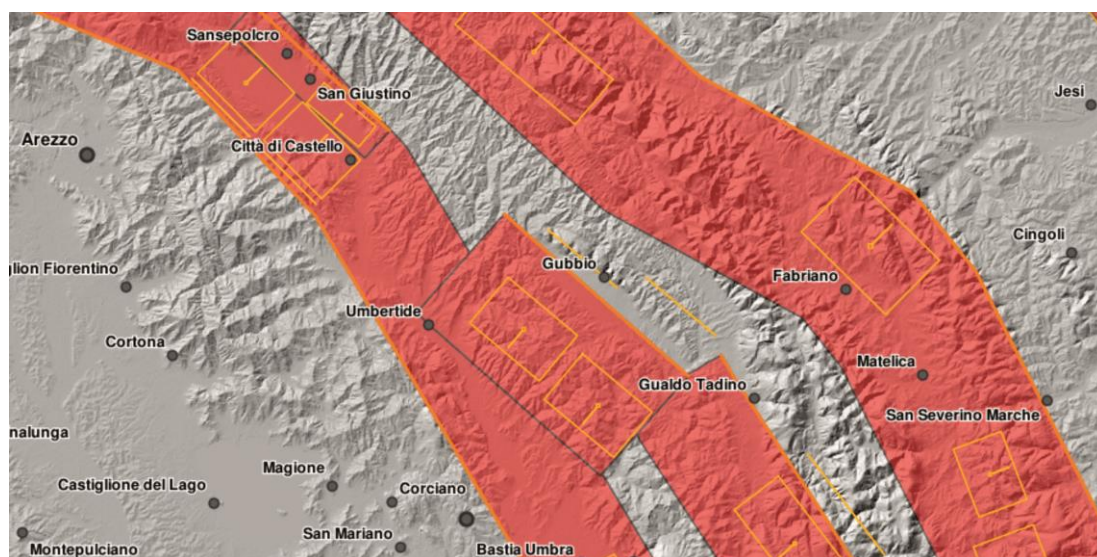
GEOLOGIC SETTING	
SYNOPSIS	
FAULT NAME	Gubbio
FAULT CODE	39000
MACROZONE	4
REGION NAME	Umbria
SYSTEM NAME	Gubbio
RANK	PRIMARY
AVERAGE STRIKE	130
DIP	50
LENGTH (Km)	22
GEOMETRY	
SEGMENTATION	
DEPTH (Km)	5
LOCATION RELIABILITY	
KINEMATICS	NORMAL
LAST ACTIVITY	Holocene generic (<10,000)
ACTIVITY RELIABILITY	Medium reliability
RECURRENCE INTERVAL (yr)	0
SLIP-RATE (mm/yr)	0.8
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	1500
MAX CREDIBLE SLIP (m)	0
KNOWN SEISMIC EVENTS	
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
STUDY QUALITY	FAIR
NOTES	

*Tab. 2.3/G Caratteristiche dalle faglia di Gubbio dalla banca dati di ITHACA.*

Tale elemento è censito come faglia capace cartografata al contatto tra depositi detritici e basamento litoide e risulta essere al di fuori dell'area di studio. Non sono presenti informazioni aggiuntive e studi che permettano di definire un'area interessata da deformazioni dovute a faglie attive e capaci, ne sono state rintracciate con le indagini condotte.

Il territorio comunale risulta interessato da varie strutture sismogenetiche individuate dal DISS Database of Individual Seismogenic Sources e rappresentate in Fig. 2.3/H. La più vicina al centro abitato di Gubbio è la sorgente sismica composta denominata Gubbio Basin o Faglia di Gubbio con identificativo ITCS056, all'interno della quale di distinguono due sorgenti sismiche individuali denominate rispettivamente Gubbio North con identificativo ITIS038 e Gubbio South con identificativo ITIS037. Quella

del Bacino di Gubbio è una struttura estensionale a basso angolo immergente verso SO ed è antitetica rispetto la Faglia Altotiberina che si estende a SO e che rappresenta lo scollamento di base della stessa e di varie altre faglie normali ovest-immersenti. I due segmenti della struttura già citati sono stati associati al terremoto del 1984.



*Fig. 2.2/H Mappa delle strutture sismogenetiche tratta dal webviewer del DISS (<http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml>)*

La Carta di Pericolosità Sismica Locale della Regione Umbria mostra che la maggior parte dell'area oggetto dello studio di MS3 viene identificata come zone stabile suscettibili di amplificazioni locali in quanto compresa in un'area pedemontana di falda di detrito o cono di deiezione e, per quanto riguarda l'estremità di SO, in un'area di fondovalle con depositi alluvionali. Solo delle limitatissime porzioni di monte ricadono in zone stabili a causa dell'affioramento del substrato, mentre il passaggio tra lo stesso substrato e la copertura viene individuato come linea di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse e per questo risulta zone stabile suscettibile di amplificazioni locali. Infine, sempre a monte, sono presenti alcune zone suscettibili di instabilità in quanto potenzialmente franose o esposte a rischio di frana.

La Carta di Pericolosità Sismica Locale della Regione Umbria è stata utilizzata come base per la redazione della Carta delle MOPS nell'ambito dello studio di MS2 condotto nel 2013 nell'area del centro storico di Gubbio, porzione di quella

attualmente in oggetto. Dallo studio l'area risulta stabile suscettibile di amplificazioni locali con valori di  $F_a$  compresi tra 1.1-1.2, ad esclusione delle porzioni a ridosso del versante NE dove sono state rilevate un'area stabile, dovuta alla presenza di roccia calcarea subaffiorante, e due zone suscettibili di instabilità .

### **3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO**

#### **3.1 Inquadramento geologico**

Per l'inquadramento geologico del Comune di Gubbio, si è fatto riferimento alla Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 Fogli n°115 "Città di Castello", n°116 "Gubbio", n°122 "Perugia" e n°123 "Assisi" e alla Carta Geologica della Regione Umbria scala 1:10.000 in formato shape. Per quanto riguarda quest'ultima cartografia il territorio comunale ricade nelle sezioni 300030 "Gubbio", 300040 "Madonna della Cima", 300070 "Ponte d'Assi" e 300080 "Padule", mentre il restante territorio comunale comprende anche le sezioni 290100 "Monte Castellaccio", 290110 "Caibelli", 290140 "Pietralunga", 290150 "Monte Petazzano", 290160 "Pontericcioli", 300010 "Carpini", 300020 "Mocaiana", 300050 "Civitella Ranieri", 300060 "Camporeggiano", 300090 "Pierantonio", 300100 "Pietramelina", 300110 "Monte Urbino", 300120 "Col Palombo", 300140 "Solfignano", 300150 "Scritto", 300160 "Carbonesca", 301050 "Sigillo", 301090 "Branca", 311030 "Piccione" e 311040 "Valfabbrica" in scala 1:10.000.

Il territorio comunale ricade nel preappennino umbro e si estende dalle colline che confinano con il Comune di Perugia a SO ai Monti Gubbio a NE. Entrambe le dorsali sono interessate dall'affioramento della formazione della Marnoso-Arenacea Romagnola Miocenica riconducibile alla Serie torbidity Umbro-Romagnola e vengono separate, sia a livello morfologico sia stratigrafico, dal bacino di Gubbio occupato dai sedimenti fluvio-lacustri Pleistocenici del Sintema di Gubbio appartenente al Supersintema Tiberino e dalle alluvioni e alluvioni terrazzate quaternarie. A ridosso del bacino di Gubbio verso NE, affiorano i termini calcarei e calcareo-marnosi della Serie-umbro marchigiana che rappresentano quello che resta a livello sub-aereo dell'anticlinale di Gubbio, in particolare parte del fianco orientale, accavallato sopra le unità torbidity ad est.

La geologia dell'area di interesse è frutto di una serie di eventi tettonici che hanno interessato tutto l'Appennino Centrale. I termini calcareo e calcareo-marnosi della serie Umbro-Marchigiana si sono depositi dal Lias all'Eocene in un ambiente marino

pelagico, originatosi durante la fase di tettonica distensiva che ha portato al frazionamento e parziale annegamento della piattaforma carbonatica preesistente. Dal Miocene Inferiore l'area è entrata in un regime compressivo orogenico con conseguente emersione e progressiva deformazione per pieghe e sovrascorrimenti. Successivamente, dal Pliocene, esauriti quasi totalmente i fenomeni di tettonica compressiva e l'orogenesi appenninica, si è instaurato un regime distensivo che ha disarticolato le strutture derivanti dal corrugamento, isolando diversi rilievi e dando origine a graben e bacini intermontani. Dal Plio-Pleistocene è avvenuto quindi il passaggio dall'ambiente di sedimentazione marino a quello continentale. I bacini intermontani sono stati occupati da vari corpi idrici permettendo la sedimentazione di materiale derivante dall'erosione dei rilievi circostanti.

Durante la fase compressiva si è generata la struttura anticlinale eugubina con orientamento NO-SE che nel successivo regime distensivo è stata interessata da una serie di faglie dirette. Tra queste la faglia bordiera di Gubbio, originatasi all'inizio del Pleistocene, ha ribassato il fianco SO della stessa anticlinale con la conseguente formazione del Bacino di Gubbio. Il lineamento tettonico è celato da coni e falde di detrito prodotti dal disfacimento dei litotipi calcarei, mentre il graben è stato poi colmato da depositi di tipo lacustre e successivamente alluvionale di spessore pari a circa 500 m che lungo i bordi settentrionali del bacino sono interdigitati con il detrito di falda.

L'area oggetto dello studio di MS3 si colloca proprio nella zona di raccordo tra il Bacino di Gubbio e il rilievo interessato dall'affioramento dell'anticlinale di Gubbio. Per questo nell'estremità di monte, in porzioni molto limitate, si rinvencono alcuni termini della Serie Umbro-Marchigiana, mentre la gran parte del territorio verso valle è caratterizzata dall'affioramento prima dei detriti di versante, poi dalle alluvioni terrazzate. Infine l'alveo dei corsi d'acqua è occupato dalle alluvioni recenti.

### **3.2 Inquadramento geomorfologico**

La morfologia del Comune di Gubbio è fortemente influenzata dall'assetto stratigrafico e strutturale della zona. Il territorio va dalla pianura alla montagna con

quote che variano tra circa 247 e 1006 m s.l.m, elaborate dall'Istat sul modello digitale del terreno (DEM).

La maggior parte del territorio, e cioè la porzione di SO e quella di NE, è collinare con forme addolcite dove prevalgono i litotipi marnosi. Tra le due aree è presente la zona pianeggiante rappresentata dalla piana di Gubbio di origine tettonica, successivamente interessata dalla deposizione di sedimenti lacustri e alluvionali. Tale piana è allungata in direzione NO-SE e presenta un fondo piatto. Il raccordo con il fianco di NE è addolcito dalla presenza di una fascia continua di detriti di versante e conoidi alluvionali, originati allo sbocco nella piana dai corsi d'acqua che interessano le pendici dei versanti, tagliando trasversalmente la dorsale dei Monti di Gubbio presente alle spalle, sempre orientata in direzione NO-SE. L'erosione di tali torrenti isola alcune vette che raggiungono rapidamente le quote massime del territorio comunale per poi decrescere verso NE e attestarsi su altitudini collinari.

L'area oggetto dello studio di MS3 è ubicata proprio nella zona di raccordo tra la piana e i Monti di Gubbio, lungo le pendici del Monte Foce e del Monte Ingino. Queste due vette della dorsale sono separate tra loro a causa dell'erosione del torrente Camignano che scorre trasversalmente alla dorsale in direzione NE-SO e allo sbocco nella valle origina un ampio conoide su cui sorge parte del centro storico di Gubbio. L'area è interessata anche dalla presenza di altri conoidi alluvionali, tra i quali quelli prodotti dal Fosso S.Donato e dal Fosso Zappacenero che a grandi linee la delimitano rispettivamente a NO e a SE.

Tutti i conoidi presenti nell'area, censiti dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico P.A.I. del Autorità di Bacino del fiume Tevere vengono riportati nell'ordine da nord a sud con le loro caratteristiche:

#### **Conoide Fosso S.Donato**

objectid: 358666

cod\_adb: 5

adb: TEVERE

bacino:

pericolosità: N.D.

tipologia: FALDA E/O CONO DI DETRITO  
piano: PAI  
delibera: DPCM 10/11/2006 - GU N.33 DEL 09/02/2007  
data\_aggiornamento: 02/08/2002  
tipo\_pericolosita: FRANA  
legenda: N.D.  
coord\_orig: ED50 UTM 33N

#### Conoide Torrente Camignano (monte)

objectid: 306283  
cod\_adb: 5  
adb: TEVERE  
bacino:  
pericolosita: N.D.  
tipologia: FALDA E/O CONO DI DETRITO  
piano: PAI  
delibera: DPCM 10/11/2006 - GU N.33 DEL 09/02/2007  
data\_aggiornamento: 02/08/2002  
tipo\_pericolosita: FRANA  
legenda: N.D.  
coord\_orig: ED50 UTM 33N

#### Conoide Fosso affluente Torrente Camignano (ACQ11418)

objectid: 306453  
cod\_adb: 5  
adb: TEVERE  
bacino:  
pericolosita: N.D.  
tipologia: FALDA E/O CONO DI DETRITO  
piano: PAI  
delibera: DPCM 10/11/2006 - GU N.33 DEL 09/02/2007  
data\_aggiornamento: 02/08/2002  
tipo\_pericolosita: FRANA  
legenda: N.D.  
coord\_orig: ED50 UTM 33N

### Conoide Torrente Camignano (valle)

objectid: 306290  
cod\_adb: 5  
adb: TEVERE  
bacino:  
pericolosita: N.D.  
tipologia: FALDA E/O CONO DI DETRITO  
piano: PAI  
delibera: DPCM 10/11/2006 - GU N.33 DEL 09/02/2007  
data\_aggiornamento: 02/08/2002  
tipo\_pericolosita: FRANA  
legenda: N.D.  
coord\_orig: ED50 UTM 33N

### Conoide Fosso Zappacenero

objectid: 306471  
cod\_adb: 5  
adb: TEVERE  
bacino:  
pericolosita: N.D.  
tipologia: FALDA E/O CONO DI DETRITO  
piano: PAI  
delibera: DPCM 10/11/2006 - GU N.33 DEL 09/02/2007  
data\_aggiornamento: 02/08/2002  
tipo\_pericolosita: FRANA  
legenda: N.D.  
coord\_orig: ED50 UTM 33N

Il P.A.I. ha censito anche due frane che insistono parzialmente all'estremità di monte nell'area oggetto di MS3.

### Frana località S.Donato

objectid: 335376



cod\_adb: 5  
adb: TEVERE  
bacino:  
pericolosità: N.D.  
piano: PAI  
delibera: DPCM 10/11/2006 - GU N.33 DEL 09/02/2007  
data\_aggiornamento: 02/08/2002  
tipo\_pericolosità: FRANA  
note: ELEMENTO PRESUNTO  
legenda: N.D.  
coord\_orig: ED50 UTM 33N

### Frana località S.Ambrogio

objectid: 306438  
cod\_adb: 5  
adb: TEVERE  
bacino:  
pericolosità: N.D.  
piano: PAI  
delibera: DPCM 10/11/2006 - GU N.33 DEL 09/02/2007  
data\_aggiornamento: 02/08/2002  
tipo\_pericolosità: FRANA  
legenda: N.D.  
coord\_orig: ED50 UTM 33N

Sempre in località S.Ambrogio, il P.A.I. definisce anche una zona di rischio molto elevato che ricade al limite nell'area oggetto di MS3 e che è causata dalla presenza della frana già citata e di altri movimenti gravitativi che non ricadono nell'area di studio.

### **3.3 Assetto stratigrafico**

Le unità del substrato affioranti nel territorio del comune di Gubbio sono alcuni termini calcarei e calcareo Marnosi della Serie Umbro-Marchigiana, le formazioni

delle Serie torbidityca Umbra e Umbro-Romagnola e le porzioni sovraconsolidate/cementate dei depositi sintemici fluvio-lacustri.

Della Serie Umbro-Marchigiana affiorano Calcari Diasprigni, Maiolica, Marne a Fucoidi, Scaglia Bianca, Scaglia Rossa, Scaglia Variegata, Scaglia Cinerea e Bisciario. Di seguito vengono descritte solo le unità che affiorano nell'area oggetto dello studio di MS3, nello specifico i Calcari Diasprigni (CDU) e la Maiolica (MAI).

I Calcari Diasprigni (CDU) sono calcari silicei intercalati a selci cornee di colore rosso, verdognolo o grigio a stratificazione molto sottile (pochi centimetri). Lo spessore è di circa 50 m e il contenuto fossilifero è rappresentato prevalentemente a Radiolari. L'età è compresa tra il Calloviano e il Titonico inferiore.

La Maiolica (MAI) dal Titonico all'Aptiano è costituita da calcari micritici bianchi o grigi-chiari a frattura concoide, in strati regolari da sottili a medi (20 - 50 cm), contenenti liste e noduli di selce bruna o nera, intercalati a peliti verdastre spesse alcuni millimetri. Lo spessore è di circa 180 m.

I depositi torbidityci affioranti nel territorio comunale sono lo Schlier, riconducibile alla Marnoso-Arenacea Umbra della Serie Torbidityca Umbra, e la Formazione Marnoso-Arenacea Romagnola e le Arenarie di M.Vicino della Serie Torbidityca Umbro-Romagnola. Tali unità non affiorano nell'area oggetto di MS3 ma dalla bibliografia risulta costituire la base del bacino lacustre della conca Egubina.

Per quanto riguarda i depositi fluvio-lacustri, nel Comune di Gubbio affiora il Sintema di Gubbio di età Pleistocenica, appartenente al Supersintema Tiberino e suddiviso in varie unità, di cui quelle sovraconsolidate/cementate sono assimilabili a substrato geologico. Nello specifico il Subsintema di Carbonara Alta (Unità di Gubbio 2 – ANS<sub>2</sub>) non affiora nell'area oggetto di MS3 ma è presente in profondità ed è costituito da argille limose e limi sabbiosi.

Tra i depositi di copertura invece nel territorio comunale affiorano, dal più antico al più recente, le porzioni normalconsolidate e mediamente addensate del Sintema di Gubbio, le alluvioni terrazzate, le alluvioni e detriti di falda del Pleistocene-Olocene e i depositi di frana quiescente ed in evoluzione.

Le alluvioni (b) e le alluvioni terrazzate (bn1) sono rispettivamente in rapporto o meno con la morfologia e la dinamica attuale dei corsi d'acqua che le hanno originate. Sono costituiti da limi sabbiosi e argillosi inglobanti lenti e livelli di ghiaia sciolta o debolmente cementata talora a laminazione incrociata.

I detriti di falda (a3a e a3b) sono depositi essenzialmente gravitativi, a granulometria variabile, da ben classati a fortemente eterometrici. I clasti si presentano a spigoli vivi o subangolosi, in accumuli massivi o grossolanamente stratificati. Lo spessore può superare i 150 m.

I depositi di frana (a1a) infine sono depositi caotici, eterometrici, messi in posto per fenomeni gravitativi e distinti sulla base dell'attività in quiescenti o in evoluzione. Le quiescenti non hanno indizi di evoluzione ma possono essere riattivate nelle attuali condizioni morfo-climatiche. Quelle in evoluzione presentano invece indizi di attività attuale o nell'immediato passato.

### **3.4 Elementi tettonici**

L'elemento tettonico più significativo del territorio comunale è sicuramente la faglia bordiera di Gubbio di tipo distensivo che nel Pleistocene ha ribassato il fianco SO dell'anticlinale di Gubbio, originatasi nella precedente fase compressiva orogena. Tale ribassamento ha creato il graben di Gubbio che è stato successivamente colmato da depositi di tipo prima lacustre e poi alluvionale.

La faglia di Gubbio immerge verso SO con direzione di  $120^{\circ}$ N ed inclinazione che varia tra i  $50^{\circ}$  e i  $70^{\circ}$ . La geometria è listrica ed il rigetto complessivo massimo è pari a circa 1500 m. È antitetica alla faglia a basso angolo immergente verso E nota in letteratura come Faglia Altotiberina. La traccia della faglia di Gubbio in superficie mostra un bend sinistro circa in corrispondenza della città di Gubbio ed il segmento posto a NO dell'abitato appare spostato verso ovest. Il lineamento tettonico è celato da conii e falde di detrito prodotti dal disfacimento dei litotipi calcarei.

La faglia di Gubbio viene riportata nel catalogo ITHACA dell'ISPRA (<http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle->

faglie-capaci), la banca dati delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie. Viene anche identificata come sorgente sismogenetica composta nel DISS Database of Individual Seismogenic Sources, denominata con l'identificativo ITCS056 e distinta in due segmenti, ovvero sorgenti sismiche individuali: Gubbio North con identificativo ITIS038 e Gubbio South con identificativo ITIS037. Il movimento lungo tali segmenti è stato responsabile del terremoto del 1984.

#### **4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI**

Le indagini utilizzate per lo studio di MS3 comprendono sia indagini pregresse sia indagini acquisite ex-novo, necessarie per definire il modello stratigrafico del sottosuolo e le caratteristiche geotecniche e geofisiche delle unità presenti. L'insieme dei dati ha permesso di disporre di un totale di 127 dati puntuali e 52 dati lineari.

Tutte le indagini e i relativi dati ad esse associate sono stati poi archiviati nel database SoftMS\_v4.0, identificandoli con un codice univoco, secondo i criteri delle linee guida. Sono state inoltre riportati in ambiente GIS, suddivisi e rappresentati in forma simbolica e per tipologia secondo la legenda prevista negli Standard MS\_4.1 per l'informatizzazione degli studi di Microzonazione Sismica con riferimento agli Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica (ICMS) a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile. Alle geometrie rappresentate è stato associato il database esportato da SoftMS\_v4.0 con tutti dati specifici di ciascuna indagine.

##### **4.1 Dati pregressi**

Per l'inquadramento delle caratteristiche geotecniche e geofisiche delle unità affioranti e per una corretta pianificazione delle ulteriori indagini finalizzate allo studio di MS di Livello 3, è stata eseguita la raccolta bibliografica delle indagini pregresse reperibili nell'archivio dei Lavori Pubblici del Comune di Gubbio e nell'archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (L.464/84) dell'I.S.P.R.A. - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, utilizzando solamente quelle ritenute valide ai fini del presente lavoro. Sono state acquisite anche le indagini realizzate nell'ambito dello studio di MS2 precedentemente realizzato. I dati reperiti vengono sintetizzati in Tab. 4.1 e sono riportati nella Carta delle indagini (Allegato 1) in scala 1:5.000. Le indagini sono state nominate con un codice progressivo che contiene l'indicazione sull'Area di appartenenza (riferita a quelle oggetto della MZS) e sul tipo di indagine, in accordo con i codici indicati negli Indirizzi e criteri per la Microzonazione della Protezione

Civile, aggiornati nel 2017 dagli Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica 4.1.

TIPO INDAGINE	NUMRO INDAGINI
CPTU	5
DH	1
DL	39
DP	1
ESAC_SPAC	7
HVSR	9
S	23
SD	5
SPT	11
T	4
SR	4
MASW	14
REMI	4

*Tab. 4.1 Indagini pregresse raccolte*

Di queste indagini, alcune sono state eseguite durante lo studio di MS2 condotto nell'area del centro storico di Gubbio compreso tra le mura urbane, che coincide con una porzione dell'area attualmente in oggetto. Si tratta in particolare di n.14 MASW, n.7 MAM (ESAC), n.9 HVSR e n.1 DH, eseguito all'interno di un foro di sondaggio a distruzione di nucleo.

#### **4.2 Dati acquisiti ex-novo**

Sulla base dei dati raccolti e delle informazioni mancanti necessarie per la MS3, è stata predisposta ed eseguita una campagna di indagini ex-novo di tipo sismico, finalizzate alla ricostruzione del modello sismo-stratigrafico del sottosuolo e alla determinazione di eventuali fenomeni di amplificazione tramite la determinazione della frequenza di picco, e di tipo geotecnico finalizzate alla determinazione de parametri geotecnici dei terreni. Le indagini eseguite sono riassunte in Tab. 4.2 e vengono riportate nella Carta delle indagini:

TIPO DI INDAGINE	NUMERO INDAGINI
Sismica a rifrazione in onde P	10
Sismica MASW	10
ReMi	10
HVSR	10
Down Hole	2
DPSH	10

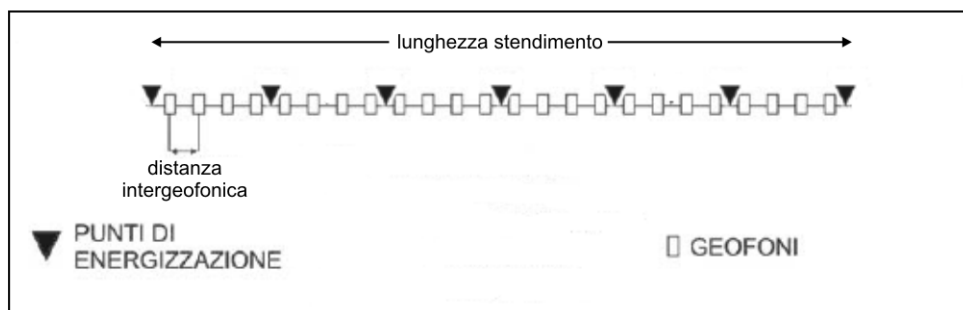
*Tab. 4.2 Indagini eseguite*

#### 4.2.1 Specifiche tecniche indagini sismiche a rifrazione

La metodologia di indagine della sismica a rifrazione consiste nel produrre una perturbazione elastica (shot) in un punto della superficie del terreno e nel rilevare e registrare, in più punti distanti, il tempo intercorso tra l'istante dell'energizzazione (tempo zero) e l'arrivo dell'impulso rifratto dalle superfici di discontinuità presenti nel sottosuolo. Le registrazioni avvengono tramite l'utilizzo di sensori detti geofoni, allineati lungo uno stendimento a distanze reciproche (distanza intergeofonica) variabili in funzione dell'obiettivo e delle specifiche condizioni di sito.

I sismogrammi sono stati acquisiti con un sismografo PASI 16S24 (mod.2007) con risoluzione di acquisizione 16bit (24bit con sovracampionamento e post processing) collegato tramite cavo a 24 geofoni verticali di tipo elettromagnetico a bobina mobile, con frequenza propria di 14.0 Hz.

Per ogni stendimento sono stati eseguiti 7 punti di energizzazione verticali (due agli estremi, posti ad una distanza pari alla metà della distanza intergeofonica, e cinque all'interno del profilo) (Fig. 4.2.1/A). Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza da 8 Kg che si è dimostrata in grado di fornire energia sufficiente allo scopo prefissato.



*Fig. 4.2.1/A - schema sismica a rifrazione*

Come sistema di trigger per fornire il tempo zero all'acquisitore, è stato utilizzato un interruttore piezoelettrico posto in corrispondenza dalla testa della mazza.

I segnali più importanti che vengono registrati sono relativi a tre tipi di onde, di seguito indicati nel loro ordine di arrivo: onde di compressione o primarie (onde P), onde di taglio o secondarie (onde S) e onde di Rayleigh o superficiali. Le registrazioni a distanze crescenti dal punto di energizzazione vengono quindi riportate su di un grafico distanze/tempi di arrivo per ogni tipologia di onda che si propaga nel mezzo elastico, ottenendo così una retta di inclinazione variabile rispetto all'asse delle ascisse detta dromocrona (Fig. 4.2.1/B).

I tempi di arrivo dei raggi rifratti si disporranno nel diagramma tempi-distanze secondo una serie di rette di pendenza diversa tra loro e inferiore a quella delle onde dirette; dal calcolo dei coefficienti angolari delle rette così individuate si è in grado quindi di determinare la velocità di propagazione dell'onda negli orizzonti attraversati e di conseguenza, noto il tempo intercetto, anche il loro spessore.

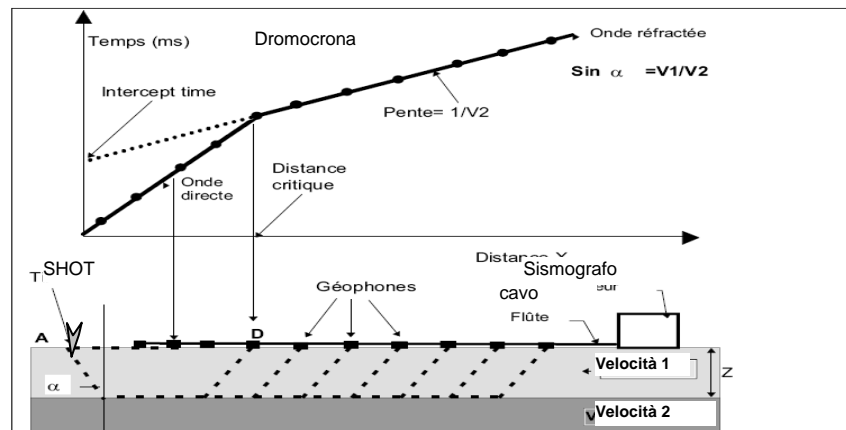


Fig. 4.2.1/B - Indagine sismica a rifrazione

Il software di elaborazione tomografico utilizzato (Rayfract v 3.18), elabora un modello teorico compiendo alcune migliaia di iterazioni sulla base dei primi arrivi delle onde sismiche. Tale modello viene affinato automaticamente fino a che i dati teorici coincidono il più possibile con quelli acquisiti direttamente nella campagna di indagini sismiche. Attraverso questo tipo di elaborazioni si riducono sensibilmente gli eventuali errori dovuti a fattori soggettivi di interpretazione. L'elaborato finale



fornisce la velocità relativa a singole celle unitarie di piccole dimensioni, in maniera tale da individuare e discriminare le anomalie laterali di velocità.

Le specifiche di acquisizione delle indagini sismiche a rifrazione eseguite vengono riassunte nella seguente tabella:

<b>PROFILO</b>	<b>Coordinate estremi (WGS84 UTM33N)</b>	<b>lunghezza profilo (m)</b>	<b>distanza intergeofonica (m)</b>	<b>Orientazione profilo</b>	<b>durata acquisizione (s)</b>	<b>tempo di campionamento (ms)</b>
SRP_01	E 304332 N 48016137	120.0	5.0	ESE-ONO	1.0	0.500
	E 304216 N 4801668					
SRP_02	E 304269 N 4802197	120.0	5.0	ENE-OSO	1.0	0.500
	E 304149 N 4802190					
SRP_03	E 302537 N 4801085	120.0	5.0	SSO-NNE	1.0	0.500
	E 302601 N 4801187					
SRP_04	E 303609 N 4802466	120.0	5.0	N-S	1.0	0.500
	E 303614 N 4802345					
SRP_05	E 303058 N 4802129	120.0	5.0	NO-SE	1.0	0.500
	E 303156 N 4802060					
SRP_06	E 302824 N 4802365	120.0	5.0	NO-SE	1.0	0.500
	E 302748 N 4802458					
SRP_07	E 303001 N 4802815	120.0	5.0	NO-SE	1.0	0.500
	E 303094 N 4802738					
SRP_08	E 302858 N 4803017	120.0	5.0	NNE-SSO	1.0	0.500
	E 302792 N 4802197					
SRP_09	E 302266 N 4803364	120.0	5.0	SSO-NNE	1.0	0.500
	E 302343 N 4803077					
SRP_10	E 302385 N 4803364	120.0	5.0	NO-SE	1.0	0.500
	E 302452 N 4803294					

*Tab. 4.2.1/C Indagini sismiche a rifrazione eseguite*

#### 4.2.2 Specifiche tecniche indagini sismiche Masw

L'indagine MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) è una tecnica investigativa che consente una ricostruzione della distribuzione della velocità delle onde S nel sottosuolo, permettendo di ricavare il parametro Vs30 necessario per la classificazione dei suoli in base all'Ordinanza 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri (e successive modifiche) e alle NTC 2008 che stabiliscono le nuove norme tecniche in materia di progettazione antisismica.

Per quanto concerne la fase di acquisizione del dato di campo, l'indagine MASW non è troppo diversa da una comune acquisizione per un'indagine di sismica a rifrazione, in quanto le onde di superficie sono facilmente generabili da una qualsiasi sorgente sismica quale ad esempio una mazza. L'acquisizione del dato prevede di effettuare uno stendimento di 24 geofoni (preferibilmente da 4,5 Hz) allineati con la sorgente ad una distanza intergeofonica variabile in base alle condizioni di sito e di energizzare in un solo punto (off set) con una sorgente ad impatto verticale, ad una distanza dal geofono più esterno anch'essa variabile in un range prestabilito.

Per ogni stendimento sono stati eseguiti una serie di punti di energizzazione (shot) a distanze variabili dai geofoni G1 e G24, selezionando poi, in fase di elaborazione, lo shot che presentava la migliore qualità del segnale. Come sistema di energizzazione è stata utilizzata una mazza da 8 Kg che si è dimostrata in grado di fornire energia sufficiente allo scopo prefissato. I sismogrammi così ottenuti vengono poi selezionati in fase di elaborazione, utilizzando solamente lo shot che presenta la migliore qualità del segnale.

Il profilo Vs30 con il metodo MASW viene ricavato tramite l'inversione delle curve di dispersione delle onde di superficie Rayleigh, che costituiscono un particolare tipo di onde di superficie che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo e sono il risultato dell'interferenza tra onde di pressione P e onde di taglio verticali Sv. In un mezzo stratificato queste onde sono di tipo guidato e dispersivo e vengono definite pseudo-Rayleigh; la dispersione è una deformazione di un treno di onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza, le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a

frequenza maggiore, per un dato modo e presentano normalmente più elevate velocità di fase. Il calcolo del profilo di velocità delle onde di Rayleigh,  $V(\text{fase})/\text{Frequenza}$ , viene quindi convertito nel profilo di  $V_s/\text{profondità}$ . La procedura utilizzata per la determinazione del profilo prevede quattro operazioni svolte in successione:

- acquisizione delle onde superficiali (dati di campo);
- determinazione dello spettro di velocità;
- individuazione della curva di dispersione sullo spettro di velocità;
- inversione della curva di dispersione attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici.

Gli algoritmi evolutivi rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (soft computing) e rispetto ai comuni metodi di inversione lineare basati su metodi del gradiente (matrice Jacobiana), queste tecniche di inversione offrono un'affidabilità del risultato di gran lunga superiore per precisione e completezza.

Resta comunque sottinteso che il calcolo algoritmico non prevede un risultato univoco ma una serie di risultati attendibili in un range di modelli validi e per tale motivo i dati finali possono presentare discordanze rispetto ai modelli ottenuti con altre tecniche di indagine sismica (down hole, cross hole, ecc). Il fit tra il modello calcolato con tecnica MASW e il modello ottenuto con altri metodi di indagine sismica è quindi funzione delle conoscenze geologiche di sito e per tale motivo la presenza di dati ricavati da indagini integrative (sondaggi, penetrometrie, ecc) permette di restringere il campo di incertezza, ottimizzando il modello finale.

Le specifiche di acquisizione delle indagini in tecnica Masw eseguite vengono riassunte nella seguente tabella:

<b>PROFILO</b>	<b>Coordinate estremi (WGS84 UTM33N)</b>	<b>lunghezza profilo (m)</b>	<b>distanza intergeofonica (m)</b>	<b>Orientazione e profilo</b>	<b>durata acquisizione (s)</b>	<b>tempo di campionamento (ms)</b>
SM_01	E 304332 N 4801637	120.0	5.0	ESE-ONO	1.0	0.500
	E 304216 N 4801668					
SM_02	E 304269 N 4802197	120.0	5.0	ENE-OSO	2.0	0.500
	E 304149 N 4802190					
SM_03	E 302537 N 4801085	120.0	5.0	SSO-NNE	2.0	0.500
	E 302301 N 4801187					
SM_04	E 303609 N 4802466	120.0	5.0	N-S	2.0	0.500
	E 303614 N 4802345					
SM_5	E 303058 N 4802129	120.0	5.0	NO-SE	2.0	0.500
	E 303156 N 4802060					
SM_6	E 302824 N 4802365	120.0	5.0	NO-SE	2.0	0.500
	E 302748 N 4802458					
SM_07	E 303001 N 4802815	120.0	5.0	NO-SE	2.0	0.500
	E 303094 N 4802738					
SM_08	E 302858 N 4803017	120.0	5.0	NNE-SSO	2.0	0.500
	E 302792 N 4803917					
SM_09	E 302266 N 4803077	120.0	5.0	SSO-NNE	2.0	0.500
	E 302343 N 4803169					
SM_10	E 302385 N 4803364	120.0	5.0	NO-SE	2.0	0.500
	E 302452 N 4803294					

**Tab. 4.2.2 Indagini sismiche in tecnica Masw eseguite**

#### 4.2.3 Specifiche tecniche indagini sismiche ReMi

I REMI è un metodo di prospezione sismica sviluppato presso l'Università di Reno in Nevada (Louie, 2001), viene classificato come metodo passivo in quanto utilizza il rumore ambientale. La strumentazione necessaria è la stessa del metodo MASW e della più nota sismica a rifrazione; per registrare i microtremori si usa infatti un normale sismografo con uno stendimento di 12 o più geofoni verticali. I vantaggi promessi da questo metodo sono molteplici: è molto veloce e semplice da organizzare, è molto economico rispetto ai metodi più invasivi, raggiunge una buona profondità e risoluzione di indagine, ma soprattutto permette di ottenere migliori risultati in ambienti particolarmente urbanizzati.

I microtremori generati dall'ambiente si propagano nel suolo e di questi si cerca di distinguere il modo fondamentale di vibrazione dell'onda di Rayleigh da quelli superiori e dall'aliasing spaziale. Nel caso del Re.Mi c'è quindi la necessità di soddisfare la condizione di "omnidirezionalità" delle sorgenti, cioè si suppone che il rumore ambientale provenga sostanzialmente da tutte le direzioni.

Nelle acquisizioni con tecnica Re.Mi. è necessario rilevare un numero di microtremori elevato, ciò sarà ottenibile semplicemente allungando i tempi di registrazione del segnale rispetto ai metodi attivi. Si parte da un minimo di registrazioni di 20 secondi, ma è consigliabile arrivare fino a 30. Sono da considerare la lunghezza dello stendimento  $L$  e la distanza intergeofonica  $\Delta x$ . Quest'ultima agisce sul segnale come una specie di filtro in frequenza. Supponendo infatti che il segnale arrivi da tutte le direzioni, maggiore è la spaziatura, minore sarà la frequenza del segnale utile campionabile e viceversa. Se la frequenza è più bassa aumenta la profondità di indagine.

I sismogrammi sono stati acquisiti con un sismografo PASI 16S24 (mod.2007) con risoluzione di acquisizione 16bit (24bit con sovracampionamento e post processing) collegato tramite cavo a 24 geofoni verticali di tipo elettromagnetico a bobina mobile, con frequenza propria di 4.5 Hz. Per ogni stendimento è stato acquisito il segnale proveniente dal rumore ambientale di fondo (noise ambientale) tramite singole

registrazioni di 30 sec ciascuna per un totale di almeno n. 7 records per ogni singolo profilo e tempo di campionamento 2 ms.

La successiva fase di data processing può così di seguito essere schematizzata:

- acquisizione input parametri di  $V(f)_{min.}$ ,  $f_{max}$ ,  $n_p$  (determina la risoluzione in velocità= $2*n_{geofoni}$ );
- calcolo della trasformata bidimensionale “slowness-frequency” ( $p-f$ ) e rappresentazione dello spettro di potenza;
- calcolo della trasformata bidimensionale “slowness-frequency” ( $p-f$ ) e rappresentazione dello spettro di potenza;
- picking dell'involuppo del modo fondamentale di Rayleigh;
- modellazione diretta interattiva dei dati sperimentali ottenuti mediante il picking;
- elaborazione profilo monodimensionale  $V_s$ /profondità.

Per il trattamento di questo tipo di dati è stato utilizzato il software *WinMASWpro* aggiornato alla versione *V.4.3* e commercializzato dalla *Eliosoft*.

Le specifiche di acquisizione delle indagini in tecnica ReMi eseguite vengono riassunte nella seguente tabella:

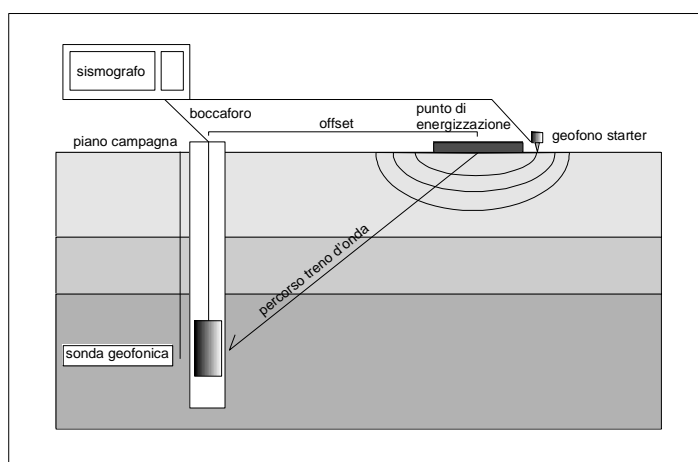
<b>PROFILO</b>	<b>Coordinate estremi (WGS84 UTM33N)</b>	<b>lunghezza profilo (m)</b>	<b>distanza Intergeof. (m)</b>	<b>Orientazione profilo</b>	<b>durata acquisizione (s)</b>	<b>tempo di campionamento (ms)</b>
RM_01	E 304332 N 4801637	120.0	5.0	ESE-ONO	1.0	0.500
	E 304216 N 4801668					
RM_02	E 304269 N 4802197	120.0	5.0	ENE-OSO	2.0	0.500
	E 304149 N 4802190					
RM_03	E 302537 N 4801085	120.0	5.0	SSO-NNE	2.0	0.500
	E 302301 N 4801187					
RM_04	E 303609 N 4802466	120.0	5.0	N-S	2.0	0.500
	E 303614 N 4802345					
RM_05	E 303058 N 4802129	120.0	5.0	NO-SE	2.0	0.500
	E 303156 N 4802060					
RM_06	E 302824 N 4802365	120.0	5.0	NO-SE	2.0	0.500
	E 302748 N 4802458					
RM_07	E 303001 N 4802815	120.0	5.0	NO-SE	2.0	0.500
	E 303094 N 4802738					
RM_08	E 302858 N 4803017	120.0	5.0	NNE-SSO	2.0	0.500
	E 302792 N 4803917					
RM_09	E 302266 N 4803077	120.0	5.0	SSO-NNE	2.0	0.500
	E 302343 N 4803169					
RM_10	E 302385 N 4803364	120.0	5.0	NO-SE	2.0	0.500
	E 302452 N 4803294					

**Tab. 4.2.3 Indagini sismiche in tecnica ReMi eseguite**

#### 4.2.4 Specifiche tecniche indagini sismiche Down-Hole

La prova consiste nel produrre, sulla superficie del terreno, sollecitazioni verticali (per la generazione di onde di compressione P) ed orizzontali (per onde di taglio polarizzate orizzontalmente SH) mediante una sorgente meccanica, e nel registrare l'istante di primo arrivo del treno d'onde ad un sistema composto da un sistema di geofoni triassiali, alloggiato a profondità note nel foro di sondaggio appositamente strumentato (Fig.2.2.1).

Conosciuta la distanza tra sorgente e ricevitori e determinato il tempo di propagazione, è possibile stimare in maniera accurata la distribuzione delle velocità sismiche (P ed SH) in corrispondenza della verticale di misura.



**Fig.4.2.4/A - Indagine Down Hole**

I dati sismici sono stati acquisiti con un sismografo PASI 16S24 (mod.2007) con risoluzione di acquisizione 16bit (24bit con sovracampionamento e post processing) collegato tramite cavo ad una sonda geofonica da foro con un sistema di geofoni triassiali da 10 Hz con sistema di orientazione automatica (mod. Geostuff BHG-3). L'ancoraggio della sonda geofonica alla parete è stato garantito tramite un sistema pneumatico elettrico.

Per ogni punto di misura lungo la verticale sono state eseguite n. 3 energizzazioni con una mazza da 8 Kg: n.1 energizzazione verticale su piastra metallica per la generazione di onde di compressione P e n. 2 energizzazioni orizzontali su trave in



legno, gravata dal peso dell'auto, alternate a destra e sinistra per la generazione delle onde di taglio S, polarizzate orizzontalmente ed invertite di fase. Come sistema di trigger per fornire il tempo zero all'acquisitore, è stato utilizzato un interruttore piezoelettrico posto in corrispondenza dalla testa della mazza.

Per l'elaborazione si ipotizza che il percorso delle onde tra sorgente e ricevitori sia rettilineo, trascurando i fenomeni di rifrazione che ne modificano il percorso. In linea di massima, il criterio di elaborazione dati si articola nelle seguenti fasi:

1. picking dei primi arrivi;
2. misura dei tempi di ricezione dei primi impulsi rilevati;
3. calcolo dei tempi verticali.

Il percorso delle onde sismiche dovrebbe essere verticale dalla sorgente al ricevitore, per cui l'energizzazione dovrebbe essere fatta il più vicino possibile al pozzo; questa necessità si scontra, comunque, con l'esigenza di allontanare la sorgente dal boccaforo per far in modo che i primi arrivi registrati nel sismogramma non siano dovuti al percorso fatto lungo la cementazione del foro alla velocità del cemento (*rifrazione sul casing*). La distanza sorgente-boccaforo va valutata caso per caso anche in relazione alla quantità di cemento utilizzata. Se, infatti, la quantità di boiaccia è più del doppio dell'interspazio foro-tubo, essa va aumentata. In genere tale distanza non è maggiore di tre metri, considerando anche il fatto che all'aumentare di questa aumenta la possibilità di avere primi arrivi rifratti e non diretti e di misurare, quindi una velocità orizzontale. I dati possono essere attendibili quando la profondità del geofono è maggiore della distanza boccaforo-punto energizzante. Poiché le onde sismiche prodotte dalla sorgente non si propagano esattamente in direzione verticale rispetto ai ricevitori, data la posizione della sorgente, è necessario correggere i tempi di arrivo stimati per tenere conto dell'inclinazione del percorso effettivo.

Dividendo la profondità a cui viene collocato il ricevitore per il tempo corretto si ricavano i valori di velocità per ciascuno dei ricevitori, in corrispondenza di ciascuna delle profondità considerate.

Le specifiche di acquisizione delle indagini Down Hole eseguite vengono riassunte nella seguente tabella:

STAZIONE	Coordinate (WGS84 UTM33N)	Profondità foro (m)	Passo di lettura (m)	Durata acquisizione (s)	Tempo di campionamento (ms)
DH_01	E 304335.3 N 4801915.2	36	1	0.512	125
DH_02	E 302162.8 N 4803681.6	39	1	0.512	125

*Tab. 4.2.4 Indagini Down Hole eseguite*

#### 4.2.5 Specifiche tecniche indagini sismiche H.V.S.R.

La tecnica HVSR è stata applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi nel 1970 e successivamente ripresa e resa celebre da Nakamura nel 1989 che la utilizzò come metodologia per la determinazione dell'amplificazione sismica locale.

Le basi della teoria dei rapporti spettrali (HVSR) sfrutta il principio secondo cui i microtremori o rumore sismico di fondo, sono costituiti prevalentemente da onde superficiali di tipo Rayleigh, che si propagano in un sistema stratificato caratterizzato da una variazione dei parametri con la profondità.

Il metodo HVSR consiste nello studio del rapporto spettrale tra la componente orizzontale del rumore e quella verticale (H/V spectrum). Il valore di tale rapporto è direttamente correlato con la frequenza di risonanza determinata dal passaggio tra due strati caratterizzati da un significativo contrasto di impedenza (funzione della velocità delle onde e della densità del materiale). Considerando due strati con differente impedenza acustica, la frequenza di risonanza è quindi legata allo spessore e alla velocità delle onde di taglio  $V_s$  del primo strato dalla seguente relazione:

$$f_0 = V_{s1} / 4 h$$

dove

$V_{s1}$  = velocità delle onde S del primo strato

$h$  = spessore primo strato

Tale metodologia, in base agli studi effettuati, presenta quindi la sua migliore applicabilità in contesti caratterizzati dalla presenza di depositi soffici di copertura sovrastanti un basamento roccioso, dove si manifestano evidenti contrasti di impedenza.

Le registrazioni dei microtrempi sono state effettuate con un sismometro della SARA electronic instruments Srl (Geobox 4.5) a 3 sensori elettrodinamici con risoluzione a 24 bit, posti all'interno di una case rettangolare (munita di livella ad occhio di buca) e orientati in direzione est-ovest, nord-sud e verticalmente.

Il cuore dell'unità sismica è rappresentato dalla scheda A/D SADC20 munita di convertitore Sigma-Delta che consente l'uso di un semplice filtro antialias R-C ad un polo, regolabile in funzione delle frequenze di campionamento scelte.

Lo strumento, data la sua maneggevolezza e funzionalità, può venire installato su tutti i tipi di sito, previa corretta livellazione e accoppiamento con il terreno, tramite appositi piedini livellabili.

Nella fase di cantiere il segnale dei velocimetri è stato acquisito tramite il software SEISMOLOG-MT della Sara Srl, programma di acquisizione dati in tempo reale dedicato alla valutazione della risposta sismica di sito e pertanto utilizzabile sia per la valutazione del sito per postazioni sismiche permanenti che per la valutazione geologica del sito ai fini di ingegneria civile. I dati sono stati quindi acquisiti per un tempo  $t$  pari a 30 min con digitalizzazione del segnale a 24 bit. Successivamente i dati relativi ad ogni singola stazione, sono stati elaborati tramite il software dedicato *Grilla* della Micromed Spa con un processing in accordo alle linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitations, 2005) e che ha previsto nello specifico quanto segue:

- divisione del tracciato in finestre di selezione del segnale;
- FFT (incluso il tapering);
- Operatore di smoothing (Konno & Ohmachi);
- Mercing dei componenti orizzontali;

- H/V Spectral Ratio per ogni finestra utilizzata ( >10 );
- Calcolo della media degli spettri H/V;
- Definizione della deviazione standard.

Le specifiche di acquisizione delle indagini HVSR eseguite vengono riassunte nella seguente tabella:

<b>STAZIONE</b>	<b>Coordinate (WGS84 UTM33N)</b>	<b>durata acquisizione (min)</b>	<b>frequenza di acquisizione (Hz)</b>
HV_1	E 304880.7 N 4801566.9	40'	300
HV_2	E 304524.6 N 4802117.0	30'	300
HV_3	E 303876.2 N 4801793.9	40'	300
HV_4	E 303178.8 N 4801233.6	40'	300
HV_5	E 303732.0 N 4802220.5	40'	300
HV_6	E 302978.4 N 4802454.5	40'	300
HV_7	E 302747.5 N 4802567.4	40'	300
HV_8	E 302729.3 N 4803330.6	40'	300
HV_9	E 302175.8 N 4803171.7	40'	300
HV_10	E 302072.1 N 4803616.4	40'	300

**Tab. 4.2.5 Indagini HVSR eseguite**

#### 4.2.6 Specifiche tecniche indagini geognostiche

La campagna di indagini ha previsto la realizzazione di n. 2 sondaggi a rotazione a carotaggio continuo per la determinazione del modello stratigrafico e la caratterizzazione geotecnica dei terreni in oggetto.

Le cassette catalogatrici dei sondaggi a rotazione a carotaggio continuo sono state depositate presso il sito di progetto in maniera tale da rimanere a disposizione della committenza e della DL per il tempo necessario allo svolgimento delle fasi esecutive

della progettazione. Per l'esecuzione del carotaggio è stata utilizzata una sonda cingolata con le seguenti caratteristiche tecniche:

- Tipo macchina:	Perforatrici idrauliche	
- Nome:	Drill	830 L
- Casa:	SoilMec	IPC
- Produttore motore:	John Deere	CD4045T
- Peso di trasporto (kg):	2700	9000
- Carro cingolato:	velocità 0-3 km/h	-
- Pendenza max superabile:	55%	-
- Pressione specifica al suolo:	4,10 N/cm <sup>2</sup>	-
- Larghezza pattini:	235 mm	300 mm
- Slitta:	lunghezza 2368 mm	lunghezza 5300 mm
- Corsa carrello testa rotazione:	1200 mm	3500 mm
- Tiro-spinta max motoriduttore:	40 KN	2500-1500 Kg
- Testa rotazione standard:	coppia max-parallelo 6,20 KNm	coppia min-max 100-600 Kgm
- Testa rotazione standard:	giri-parallelo 0-55 rpm	Velocità min-max 32-342 rpm
- Testa rotazione standard:	coppia max-serie 3,10 KNm	-
- Testa rotazione standard:	giri-serie 0-110 rpm	-
- Numero marce:	2	2
- Corsa spostamento laterale:	365 mm	450 mm
- Morsa semplice standard:	diametri bloccaggio 50-219 mm	diametri bloccaggio 60-220 mm
- Morsa semplice standard:	forza di chiusura 140 KN	-
- Argano:	diametro fune 7 mm	diametro fune 8 mm
- Argano:	capacità fune 50 m	capacità fune 65 m
- Argano:	tiro max 600 kg	tiro max 1000 kg

**Tab. 4.2.6/A Specifiche tecniche sonda utilizzata**

La campagna di sondaggi geognostici è stata condotta nel mese di febbraio 2018.

Di seguito vengono riportate le caratteristiche dei sondaggi eseguiti:

Codice sondaggio	Profondità di perforazione	Metodologia di perforazione	N° Prove SPT in foro	N° campioni terreno
S1	- 40.0 m	Distruzione di nucleo	3	-
S2	- 40.0 m	Distruzione di nucleo	3	-

*Tab. 4.2.6/B Specifiche lavorazioni sondaggi*

Durante la perforazione, sono state eseguite n.3 prove S.P.T. in foro per ciascun sondaggio, i cui risultati sono riportati in tab. 4.2.6/E:

Sondaggio	Prova	Quota di inizio/ fine della prova	Orizzonte litologico di prova	N° di colpi
S1	SPT1	4.00 – 4.45	Argille limose e sabbiose nocciola chiaro	2-5-5
	SPT2	8.00 – 8.45	Argille limose con ghiaia fine nocciola scuro	2-8-5
	SPT3	12.00 – 12.45	Sabbie e ghiaie in matrice limosa nocciola	6-12-14
S2	SPT1	4.00 – 4.45	Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa con alternanza di sottili livelli limo-argillosi	6-20-23
	SPT2	8.00 – 8.45	Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa con alternanza di sottili livelli limo-argillosi	10-23-27
	SPT3	12.00 – 12.45	Argille e limi sabbiosi nocciola scuro	6-12-14

*Tab. 4.2.6/C Specifiche esecuzione prove SPT in foro*

#### 4.2.7 Specifiche tecniche indagini penetrometriche

L'attrezzatura impiegata per l'esecuzione delle indagini è un penetrometro dinamico/statico auto-semovente ed auto-ancorante prodotto dalla Ditta Pagani e contraddistinto dalla sigla TG63/200.

L'impianto consente la realizzazione di prove dinamiche DPSH-B, in conformità alla norma tecnica EN ISO 22476-2:2005/Amd 1:2011 e secondo lo standard ISSMFE con le seguenti specifiche di configurazione:

- Massa del maglio (kg) 63,5
- Altezza caduta (cm) 75,0
- Lunghezza aste (m) 1,0
- Massa aste (kg/m) 6,2
- Diametro aste (mm) 32
- Diametro base punta conica (mm) 51
- Angolo apertura punta conica (°) 90
- Penetrazione standard (cm) 20,0

Le specifiche di acquisizione delle prove penetrometriche eseguite vengono riassunte nella seguente tabella:

<b>PROVA</b>	<b>Coordinate (WGS84 UTM33N)</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Rifiuto</b>
DPSH_1	E 304355.3 N 4801616.4	10.4	NO
DPSH_2	E 304209.3 N 4802236.8	10.4	NO
DPSH_3	E 302650.8 N 4800976.6	10.4	NO
DPSH_4	E 303551.6 N 4802400.9	10.4	NO
DPSH_5	E 303116.1 N 4802114.6	10.4	NO
DPSH_6	E 302730.6 N 4802336.9	10.4	NO
DPSH_7	E 303056.2 N 4802771.8	10.4	NO
DPSH_8	E 302794.8 N 4803047.4	10.4	NO
DPSH_9	E 302322.2 N 4803093.1	10.4	NO
DPSH_10	E 302362.6 N 4803376.2	10.4	NO

**Tab. 4.2.3 Indagini penetrometriche eseguite**

## 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO FINALIZZATO ALLA MS

Le indagini pregresse raccolte, integrate con quelle di nuova esecuzione e con i dati bibliografici esistenti, hanno permesso di definire i modelli geologici del sottosuolo dell'area oggetto della MS, al fine di delimitare le Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica e di realizzare una Carta delle MOPS in scala 1:5.000.

### 5.1 UNITÀ GEOLOGICO-TECNICHE: DEFINIZIONE E PARAMETRIZZAZIONE

Sulla base dei dati raccolti, del rilevamento di campagna e delle indagini eseguite sono state identificate le unità geologiche affioranti, definendole e parametrizzandole dal punto di vista geologico-tecnico. Questa caratterizzazione ha permesso di definire i modelli di sottosuolo necessari per l'elaborazione della RSL e di realizzare la Carta geologico-tecnica in scala 1:5.000 e le sezioni geologico-tecniche.

Tra i terreni di copertura si distinguono:

- Detriti di falda (a3a e a3b): depositi essenzialmente gravitativi, a granulometria variabile, da ben classati a fortemente eterometrici. I clasti si presentano a spigoli vivi o subangolosi, in accumuli massivi o grossolanamente stratificati. Lo spessore può superare i 150 m.

Unità geologico-tecnica: GW (Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie).

Genesi: cd (conoide detritica)

- Alluvioni (b): limi sabbiosi e argillosi inglobanti lenti e livelli di ghiaia sciolta o debolmente cementata talora a laminazione incrociata, in rapporto con la morfologia e la dinamica attuale dei corsi d'acqua.

Unità geologico-tecnica: GC (ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla).

Genesi: pi (piana inondabile).



- Conoidi alluvionali (bn1): limi sabbiosi e argillosi inglobanti lenti e livelli di ghiaia sciolta o debolmente cementata talora a laminazione incrociata, non in rapporto con la morfologia e la dinamica attuale dei corsi d'acqua, depositati in forma di conoide alluvionale.

Unità geologico-tecnica: GM (ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo).

Genesi: ca (conoide alluvionale).

- Alluvioni terrazzate (bn1): limi sabbiosi e argillosi inglobanti lenti e livelli di ghiaia sciolta o debolmente cementata talora a laminazione incrociata, non in rapporto con la morfologia e la dinamica attuale dei corsi d'acqua.

Unità geologico-tecnica: GM (ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo).

Genesi: tf (terrazzo fluviale).

- Sintema di Gubbio Subsintema di Carbonara Alta – Unità di Gubbio 2 (ANS<sub>2</sub>): Argille limose e limi sabbiosi di colore marrone rossastro con macule ocracee di ossidazione.

Unità geologico-tecnica: CL (argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre).

Come substrato geologico sono presenti presenti:

- Sintema di Gubbio Subsintema di Carbonara Alta – Unità di Gubbio 2 (ANS<sub>2</sub>): Argille limose e limi sabbiosi di colore marrone rossastro con macule ocracee di ossidazione.

Unità geologico-tecnica: COS (coesivo sovraconsolidato, stratificato).

- Maiolica (MAD): calcari micritici bianchi o grigi-chiari a frattura concoide, in strati regolari da sottili a medi (20 - 50 cm), contenenti liste e noduli di selce bruna o

nera, intercalati a peliti verdastre spesse alcuni millimetri. Lo spessore è di circa 180 m.

Unità geologico-tecnica: LPS (lapideo, stratificato).

- Calcari Diasprigni (CDU): calcari silicei intercalati a selci cornee di colore rosso, verdognolo o grigio a stratificazione molto sottile (pochi centimetri). Lo spessore è di circa 50 m e il contenuto fossilifero è rappresentato prevalentemente a Radiolari.

Unità geologico-tecnica: LPS (lapideo, stratificato).

In Tab 5.1.1 sono riassunte le caratteristiche geotecniche e geofisiche dei diversi depositi derivanti dai dati bibliografici e dalle indagini pregresse:

Unità Geotecnica /Geofisica	$\gamma$	Vs (m/s)	VS (m/s)	
	Medio*	medio	min	max
Detrito di falda (a3a) – GWcd1	1.95	380	300	680
Detrito di falda (a3a) – GWcd2	2.00	590	450	680
Alluvioni (b) - GCpi	1.95	240	240	
Conoidi alluvionali (bn1) – GMca	1.90	400	300	470
Alluvioni terrazzate (bn1) - GMtf	1.90	280	280	
Sintema di Gubbio Subsintema di Carbonara Alta – Unità di Gubbio 2 (ANS2) - CL	1.95	540	410	640
Sintema di Gubbio Subsintema di Carbonara Alta – Unità di Gubbio 2 (ANS2) - COS	2.30	1000	1000	
Maiolica (MAI) - LPS	2.30	1200	1200	
Calcari Diasprigni (CDU) - LPS	2.30	1200	1200	

**Tab. 5.1.1** Caratteristiche geotecniche e geofisiche unità geologico tecniche

Per quanto concerne i dati geofisici di velocità delle onde S, sono stati utilizzati solamente i parametri ricavati dalle indagini sismiche eseguite nell'ambito dello studio di MS2 e MS3.

Nel caso di parametri derivati solamente da considerazioni bibliografiche non supportate da indagini dirette, il valore indicato è contraddistinto da un asterisco.

## **5.2 SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE**

Sulla base delle unità geologico-tecniche individuate, delle indagini pregresse e di nuova realizzazione e di considerazioni sull'assetto geologico, tettonico e stratigrafico, sono state elaborate n.4 sezioni geologico-tecniche, di cui una longitudinale parallela alla piana di Gubbio in direzione NO-SE, mentre le restanti trasversali e circa perpendicolari alla prima in direzione NE-SO. Di seguito vengono descritte nel dettaglio.

### **Sezione 1 AA'**

La sezione si sviluppa in direzione NO-SE parallela alla piana di Gubbio e presenta una superficie topografica subpianeggiante con quote comprese tra un minimo di circa 473 m e un massimo di circa 489 m s.l.m. che tendono a crescere nella parte centrale in corrispondenza del conoide alluvionale principale e della zona più densamente abitata di Gubbio. La sezione ricade comunque a valle del centro storico.

In generale il modello mostra la presenza di coperture granulari superficiali di diverso tipo e genesi eventualmente in sovrapposizione tra loro e/o in contatto laterale anche discordante. Queste unità superficiali poggiano su di una copertura fine che a sua volta sovrasta il substrato coesivo sovraconsolidato, intercettabile a profondità superiori a 220 m dal p.c..

Nel primo e nell'ultimo tratto affiorano le unità GMca con spessori che raggiungono i 45 m, sovrastate solo localmente (in corrispondenza dell'alveo dei fossi intercettati dalla sezione) da limitati depositi GCpi di spessore massimo pari a 3-5 m. Nella porzione centrale invece, tra la progressiva 476 m e la progressiva 1028 m, affiora l'unità riconducibile alla genesi di conoide alluvionale distinta in 2 sub-unità, GWcd1

affiorante e GWcd2 profonda. La prima ha lo spessore uno spessore massimo di 16 m e poggia sulla seconda che raggiunge i 40 m di spessore. L'unità GWcd1 si assottiglia fino a chiudere verso SE in corrispondenza della progressiva 1028 m, oltre la quale affiora nuovamente l'unità GMca fino alla fine della sezione e sovrastando l'unità GWcd2 fino alla progressiva 1918 m.

Le unità GMca e GWcd2 poggiano sull'unità CL il cui tetto varia tra le quote di 435 m e 515 m s.l.m., mentre il letto tra 204 m e 266 m s.l.m.. Lo spessore è compreso tra 180 m e 240 m e tende a diminuire nella seconda metà della sezione verso SE.

L'unità CL sovrasta il substrato COS che viene quindi intercettato ad una profondità variabile tra 220 e 280 m dal p.c..

### **Sezione 2 BB'**

La sezione si trova nella porzione meridionale dell'area oggetto di MS3 e si sviluppa trasversalmente alla piana di Gubbio in direzione SO-NE con quote comprese tra circa 444 m s.l.m. a valle (SO) e circa 526 m verso monte (NE).

In generale il modello mostra la presenza di coperture granulari superficiali di diverso tipo e genesi eventualmente in sovrapposizione tra loro e/o in contatto laterale anche discordante. A monte si individuano gli spessori maggiori a causa dell'innalzamento topografico e della presenza di depositi associati al conoide. Le unità superficiali poggiano su di una copertura fine che a sua volta sovrasta il substrato coesivo sovraconsolidato, intercettabile a profondità superiori a 180 m dal p.c.. L'intera sequenza verso monte è in contatto con il substrato lapideo stratificato che affiora a monte della sezione e si immerge bruscamente verso valle a causa della presenza di una faglia diretta. Questo elemento strutturale ha ribassato le unità di tetto e risulta sepolto dai depositi del conoide recenti, non interessati dallo scorrimento.

Partendo da monte a NE affiorano nell'ordine le unità GWcd1 (dalla fine della sezione fino alla progressiva 1935 m), GMca (tra le progressive 1935 m e 651 m) e GMtf (dalla progressiva 651 m all'inizio della sezione). Solo in un tratto limitato è presente anche l'unità GCpi (tra le progressive 875 m e 825 m).

L'unità GWcd1 sovrasta al copertura GWcd2. Entrambe presentano uno spessore massimo all'estremità di monte pari rispettivamente a 10 m e 108 m, mentre verso valle si assottigliano fino ad annullarsi in corrispondenza del passaggio con l'unità GMca. Anche quest'ultima unità nel tratto di monte (tra le progressive 1935 m e 651 m) poggia in discordanza sull'unità GWcd2, e verso valle tende ad inspessirsi fino ad un massimo di 25/45 m. La continuità di affioramento dell'unità GMca viene interrotta esclusivamente in corrispondenza dell'alveo del Torrente Camignano dove viene sovrastata dall'unità GCpi, di spessore massimo pari a 5 m. L'unità GMtf infine presenta uno spessore circa costante e pari a 27-32 m.

Le unità GMtf, GMca e GWcd2 poggiano sulla sottostante CL, il cui tetto si intercetta a quote comprese tra un massimo di 474 m e un minimo di 408 m s.l.m. per profondità variabili tra 17 m e 117 m in funzione della topografia e degli spessori delle sovrastanti coperture. Risulta massima infatti all'estremità di monte della sezione dove la superficie topografica sale e gli spessori delle unità di tetto sono maggiori per la presenza dei depositi del conoide.

L'unità CL poggia sul substrato COS che viene intercettato a quote comprese tra 180 m e 248 m s.l.m., corrispondenti a profondità variabili tra 227 m e 293 m da p.c., complessivamente decrescenti verso valle. All'estremità di monte viene comunque intercettato alle profondità più elevate a causa dell'innalzamento topografico.

### **Sezione 3 CC'**

La sezione si trova nella porzione centrale dell'area oggetto di MS3 e si sviluppa trasversalmente alla piana di Gubbio in direzione NE-SO con quote comprese tra circa 650 m a NE e circa 464 m s.l.m. a SO.

In generale il modello mostra la presenza di coperture granulari superficiali di diverso tipo e genesi eventualmente in sovrapposizione tra loro e/o in contatto laterale anche discordante. A monte si individuano gli spessori maggiori a causa dell'innalzamento topografico e della presenza di depositi associati al conoide. Le unità superficiali poggiano su di una copertura fine che a sua volta sovrasta il substrato coesivo sovraconsolidato, intercettabile a profondità superiori a 220 m dal p.c.. L'intera

sequenza verso monte è in contatto con il substrato lapideo stratificato che affiora a monte della sezione e si immerge bruscamente verso valle a causa della presenza di una faglia diretta. Questo elemento strutturale ha ribassato le unità di tetto e risulta sepolto dai depositi del conoide recenti, non interessati dallo scorrimento.

Partendo da monte a NE affiorano nell'ordine le unità GWcd1 (dalla fine della sezione fino alla progressiva 1325 m) e GMca (dalla progressiva 1325 m all'inizio della sezione). Solo in un tratto limitato è presente anche l'unità GCpi (tra le progressive 1282 m e 1298 m).

L'unità GWcd1 poggia per la maggior parte sull'unità CWcd2, ad esclusione dell'estremità di monte dove entrambe sovrastano il substrato LPS. Lo spessore dell'unità GWcd1 inizialmente aumenta verso valle (fino alla progressiva 1560 m) per poi decrescere a causa della topografia ed annullarsi in corrispondenza del passaggio con l'unità GMca. Anche l'unità GWcd2 dapprima aumenta il suo spessore verso valle (tra le progressive 1560 m e 1496 m), per poi assottigliarsi fino a scomparire (alla progressiva 1214 m).

Oltre la progressiva 1325 m, l'unità GMca affiora con continuità fino all'inizio della sezione, ad esclusione di un breve tratto in corrispondenza dell'alveo del fosso Camignano dove viene sovrastata dall'unità GCpi con spessore massimo di 2.5 m. Anche l'unità GMca poggia in discordanza sull'unità GWcd2 nel tratto di monte (tra le progressive 1282 m e 1112 m) dove si inspessisce fino a 37 m. Nel resto della sezione mantiene uno spessore circa costante e pari a 38-44 m e va a sovrastare, così come l'unità GMca, la copertura CL.

Quest'ultima copertura presenta un tetto a quote variabili tra 399 m e 461 m s.l.m. per profondità comprese tra 37 m e 152 m dal p.c. in relazione alla topografia e allo spessore delle unità sovrastanti, in particolare quelli delle coperture associate al conoide. A monte è in contatto con il substrato LPS attraverso una faglia diretta che intercetta la superficie topografica in quanto sepolta dalle coperture recenti.

L'unità CL poggia sul substrato COS il cui tetto viene intercettato a quote comprese tra 221 m e 237 m per profondità variabili verso tra un massimo di 284 m a monte e un minimo di 227 m a valle. L'approfondimento verso monte è dovuto principalmente

all'innalzamento topografico. Anche il substrato COS è in contatto verso monte con l'LPS tramite la presenza delle faglia diretta sepolta.

#### **Sezione 4 DD'**

La sezione si trova nella porzione settentrionale dell'area oggetto di MS3 e si sviluppa trasversalmente alla piana di Gubbio in direzione NE-SO con quote comprese tra circa 500 m a NE e circa 460 m s.l.m. a SO.

In generale il modello mostra la presenza di coperture granulari superficiali di diverso tipo e genesi eventualmente in sovrapposizione tra loro e/o in contatto laterale anche discordante. A monte si individuano gli spessori maggiori a causa dell'innalzamento topografico e della presenza di depositi associati al conoide. Le unità superficiali poggiano su di una copertura fine che a sua volta sovrasta il substrato coesivo sovraconsolidato, intercettabile a profondità superiori a 250 m dal p.c..

Partendo da monte a NE affiorano nell'ordine le unità GWcd1 (dalla fine della sezione fino alla progressiva 376 m) e GMca (dalla progressiva 376 m all'inizio della sezione). L'unità GWcd1 ha uno spessore massimo all'estremità di monte della sezione pari a 30 m che decresce verso valle fino ad annullarsi al passaggio con l'affioramento dell'unità GMca. La copertura GWcd1 poggia sull'unità GWcd2 non affiorante con contatto orizzontale. Anche quest'ultima presenta lo spessore massimo a monte, pari a circa 97 m, e si assottiglia verso valle passando lateralmente all'unità GMca che invece ha uno spessore circa costante di 36-38 m.

Le unità GWcd1 e GMca poggiano sulla copertura CL in cui tetto varia tra le quote di 373 m e 435 m s.l.m. per profondità variabili tra 36 m e 127 m dal p.c.. L'approfondimento verso monte è dovuto all'innalzamento topografico e alla presenza di maggiori spessori delle coperture associate al conoide.

L'unità CL poggia sul substrato COS intercettabile alla quota di 207-215 m s.l.m. per profondità comprese tra 252 m e 285 m dal p.c. crescenti verso monte principalmente a causa dell'innalzamento topografico.

## 6. INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

I risultati dello studio di Microzonazione Sismica derivano dall'integrazione tra i dati bibliografici raccolti, le indagini eseguite, le interpretazioni geologiche e geofisiche e le modellazioni numeriche.

Le informazioni reperite sono risultate sufficienti ad avere un quadro iniziale della stratigrafia e delle caratteristiche geotecniche e geofisiche solo per quanto riguarda alcune delle aree oggetto di studio e alcune delle unità affioranti o intercettate in profondità. Le problematiche e le incertezze maggiori hanno riguardato:

- la definizione del modello di sottosuolo delle aree pedemontane per le quali i dati bibliografici disponibili sono prevalentemente riferiti a profondità limitate e spesso riferiti ad indagini di tipo indiretto, poco utili in considerazione alla presenza di una sequenza litostratigrafica articolata e complessa
- all'individuazione del basamento sismico in prossimità della fascia di valle dell'area di studio in considerazione dei notevoli spessori dei depositi fluvio-lacustri che caratterizzano il bacino.

La definizione dello spessore delle coperture presenti al disopra del substrato sismico ( $V_s > 800 \text{ m/s}$ ) è stato eseguito sulla base dei risultati delle indagini geofisiche svolte nell'ambito del presente lavoro integrate da quelle reperite relative allo studio precedente di Microzonazione di Livello II oltre che dalle informazioni bibliografiche raccolte.

Nella zona di valle analizzando i risultati dei precedenti lavori e utilizzando i dati di inversione della sismica passiva HVSR eseguite, è stato possibile stimare la profondità del substrato sismico intorno ai 200 m di profondità, interpretato come un orizzonte coesivo sovraconsolidato stratificato (COS) della sequenza fluvio-lacustre pleistocenica all'interno del bacino.

Nella zona verso monte il modello del sottosuolo interpretato mostra sempre un primo orizzonte con coperture granulari superficiali di diverso tipo e genesi in sovrapposizione tra loro e/o in contatto laterale anche discordante ma vede il proprio spessore crescere a causa dell'innalzamento topografico e della presenza di depositi



associati al conoide. L'intera sequenza verso monte è in contatto con il substrato lapideo stratificato (LPS) che affiora a monte della sezione e si immerge bruscamente verso valle a causa della presenza di una faglia diretta. Questo elemento strutturale ha ribassato le unità di tetto e risulta sepolto dai depositi del conoide recenti.

## **7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI**

### **7.1 ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE**

#### 7.1.1 Scelta dell'input sismico (fornito dalla Regione)

Le simulazioni numeriche monodimensionali, condotte nell'ambito della microzonazione sismica di livello 3 delle aree considerate, sono state effettuate assumendo come moto di input un insieme di 7 accelerogrammi reali, forniti dalla Regione Umbria.

La selezione dei 7 accelerogrammi ha come obiettivo la riproduzione della pericolosità Sismica di base al sito di indagine, che, nel caso del territorio Italiano, è codificata dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (CS.LL.PP. 2008, di seguito denominate NTC08), che, a loro volta, sono basate sulla mappa di pericolosità sismica a scala nazionale (OPCM 3519 del 28/04/2006; Montaldo et al. 2007). In particolare, è stato assunto come spettro di riferimento lo spettro di risposta elastico prescritto dalle NTC08 per un periodo di ritorno  $T_r = 475$  anni.

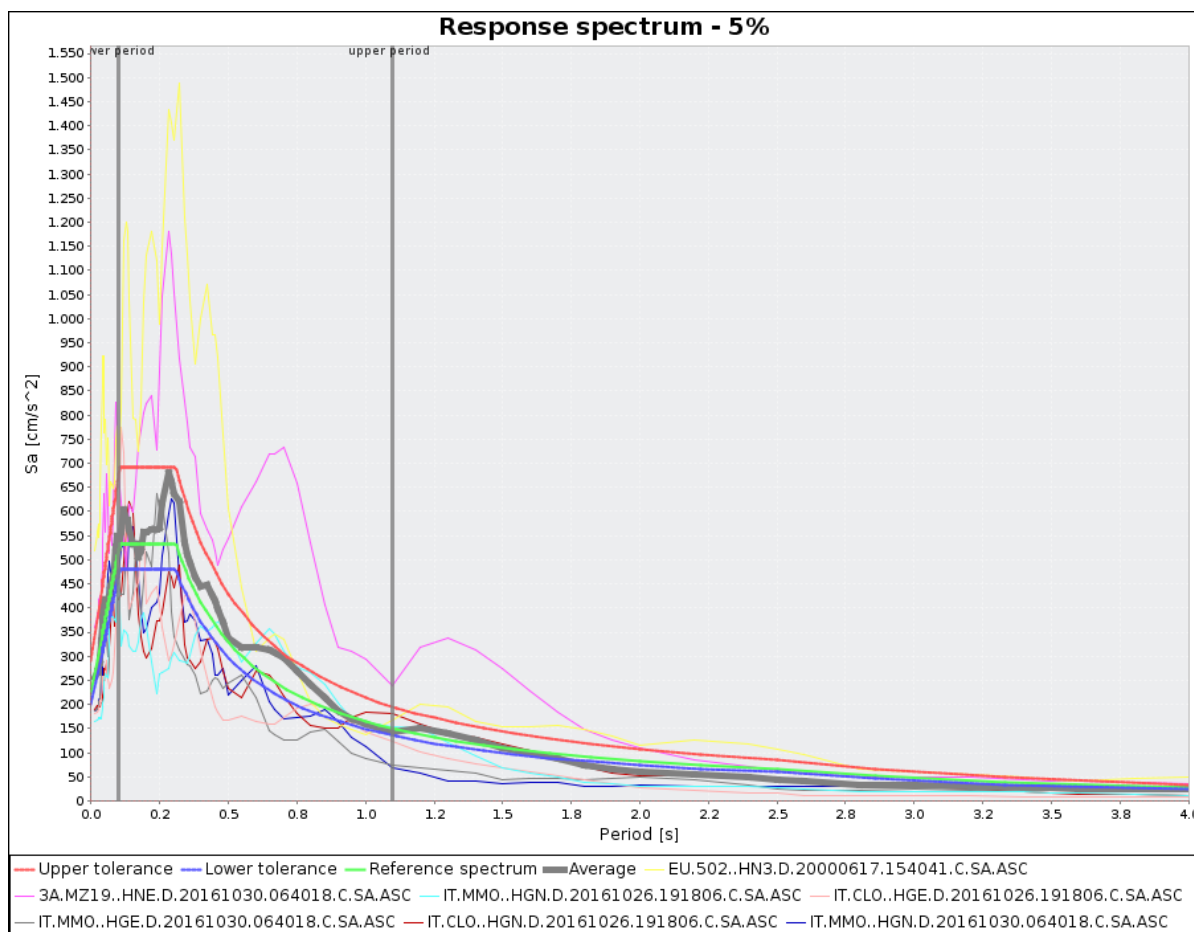
Per l'esecuzione delle analisi di risposta locale, la Regione Umbria ha fornito ai professionisti un insieme di 7 accelerogrammi non scalati, spettro-compatibili in media con lo spettro di riferimento, selezionati dalle banche dati disponibili specificando:

- intervallo di magnitudo  $M_w=5.5-6.5$  e distanza epicentrale sorgente-sito 0-40 km;
- meccanismo focale dell'evento: qualsiasi
- categoria di sottosuolo della stazione di registrazione: categoria A/A\* delle NTC08 (cioè roccia o comunque terreno rigido caratterizzato da  $V_s > 800$  m/s) ove l'asterisco denota classificazione del sottosuolo senza indagini geofisiche e quindi su base esclusivamente geologica.

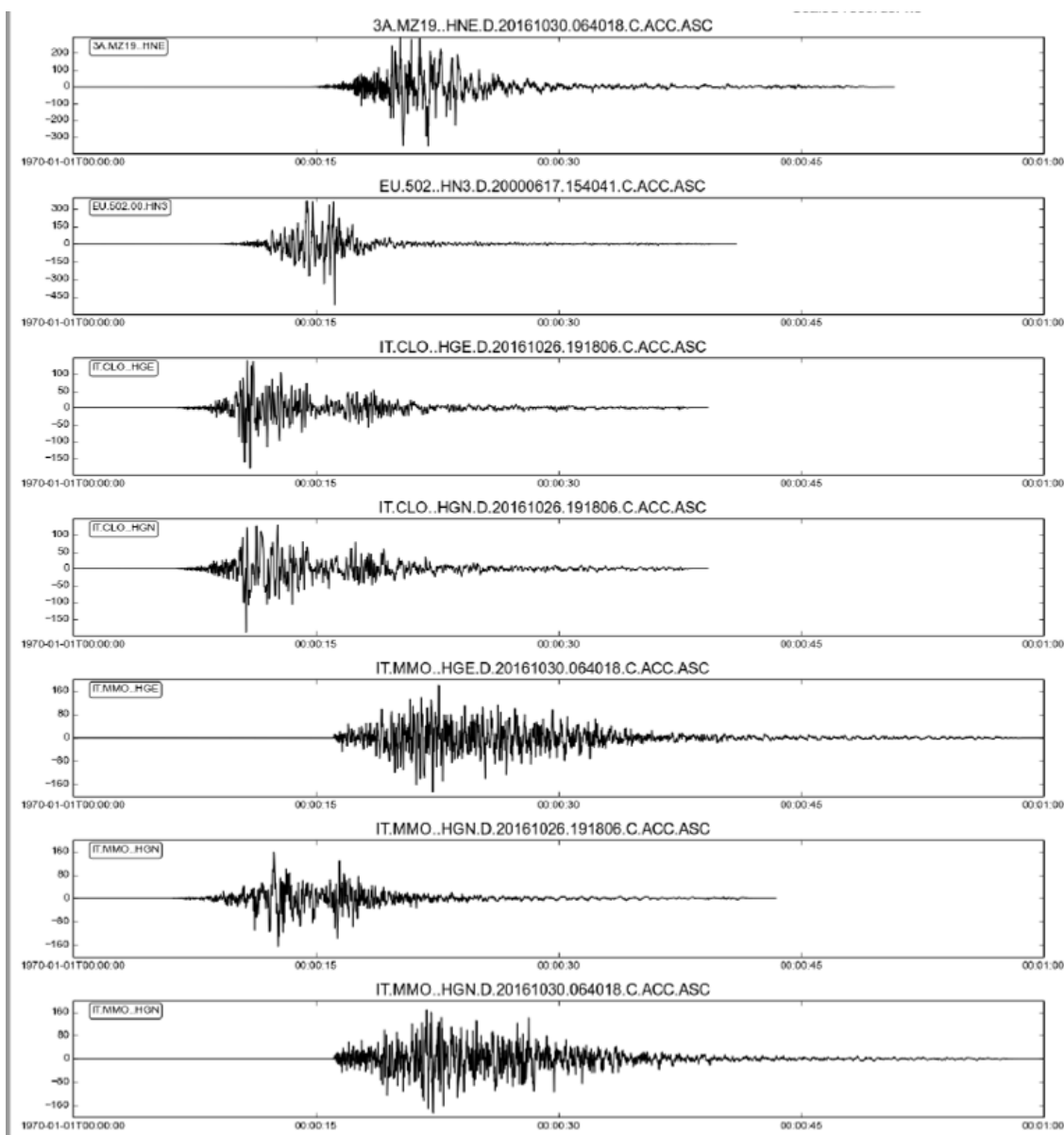
L'insieme di 7 accelerogrammi è stato selezionato in modo che lo spettro di risposta medio, in un intervallo di periodi di interesse (fissato in 0.1-1.1s), sia compreso tra una

tolleranza minima e massima (assunte pari a 10% e 30% rispettivamente) rispetto allo spettro di riferimento.

Il confronto tra gli spettri dei segnali accelerometrici selezionati, lo spettro medio risultante e quello di riferimento delle NTC08 è riportato in figura 7.1 mentre le singole storie temporali sono illustrate in figura 7.2.



**Fig. 7.1** Spettri degli accelerogrammi selezionati dalla Regione Umbria per il sito di Gubbio (coordinate 43.352647; 12.57666) e spettro medio risultante a confronto con lo spettro di riferimento NTC08 per il tempo di ritorno di 475 anni



*Fig. 7.2 Accelerogrammi selezionati dalla Regione Umbria per il sito di Gubbio (coordinate 43.352647; 12.57666) e utilizzati come input delle analisi di risposta sismica locale*

### 7.1.2 Simulazioni numeriche

Le analisi numeriche sono state effettuate in condizioni monodimensionali tramite il codice STRATA (Kottke e Rathje, 2008), che modella una colonna di terreno come un continuo stratificato a comportamento visco-elastico lineare. Le equazioni del moto sono risolte nel dominio della frequenza attraverso il calcolo e la successiva convoluzione delle funzioni di trasferimento di ogni strato, analogamente a quanto fatto dal ben noto codice di calcolo SHAKE91 (Idriss e Sun, 1992). La non linearità delle proprietà dinamiche, assunte indipendenti dalla frequenza, è portata in conto tramite l'approccio lineare equivalente. Secondo tale modello, il modulo di taglio  $G$  e il fattore di smorzamento  $D$ , che descrivono il comportamento meccanico di un materiale sotto sollecitazioni cicliche (Lanzo e Silvestri, 1999), vengono fatti dipendere dal livello della deformazione tangenziale  $\gamma_C$  indotta dalle sollecitazioni sismiche. A partire dai valori iniziali dei parametri di rigidità e smorzamento con una prima analisi si determina un primo valore caratteristico (o effettivo) della deformazione tangenziale  $\gamma_{eff}$ . Dalle curve  $G/G_0-\gamma_C$  e  $D-\gamma_C$ , che esprimono il comportamento non lineare, si determinano quindi nuovi valori di  $G$  e  $D$  e si esegue una nuova analisi determinando un nuovo valore caratteristico. Il procedimento viene ripetuto fino a quando lo scarto percentuale tra i valori di  $G$ ,  $D$  e  $\gamma_{eff}$  viene ritenuto accettabile. Nel caso in esame  $\gamma_{eff}$  è stato calcolato come  $0.5 \gamma_{max}$  essendo quest'ultimo il valore massimo della storia temporale delle deformazioni di taglio calcolate in ogni strato. Il rapporto  $\gamma_{eff} / \gamma_{max}$  è generalmente assunto pari a  $(M-1)/10$  (Idriss e Sun, 1992) essendo  $M$  la magnitudo di riferimento per gli eventi di input che nel presente caso è stata fissata a 5, valore medio tra 5.5 e 6.5, intervallo utilizzato per la selezione degli accelerogrammi di input (paragrafo 7.1.1).

I sette accelerogrammi di input utilizzati per le simulazioni, sono stati forniti dalla Regione, si riferiscono eventi naturali misurati all'affioramento del *bedrock* sismico (*outcrop*), e sono descritti in dettaglio nel paragrafo precedente.

I modelli di sottosuolo utilizzati per le varie verticali sono stati ricavati dalle indagini descritte in precedenza, integrate con dati di letteratura per i parametri su cui non si

avevano informazioni, e sono riportati per completezza nei paragrafi successivi che illustrano i risultati delle analisi.

### 7.1.3 Risultati

I risultati delle simulazioni numeriche, ai fini della definizione della mappa di microzonazione, sono stati espressi in termini di fattore di amplificazione FA i cui valori sono stati calcolati come rapporto tra l'integrale dello spettro di pseudo-accelerazione di output e i corrispondenti parametri di input, per tre differenti intervalli di integrazione (0.1-0.5 s, 0.4- 0.8 s e 0.7-1.1 s):

$$FA = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{out}(T)dT}{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{in}(T)dT}$$

$$FA = \frac{\int_{0.4}^{0.8} PSA_{out}(T)dT}{\int_{0.1}^{0.8} PSA_{in}(T)dT}$$

$$FA = \frac{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{out}(T)dT}{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{in}(T)dT}$$

Tramite le formule indicate, per tutti le verticali analizzate e per ogni intervallo di periodo, è stata calcolata la media logaritmica dei valori del fattore di amplificazione relativamente ai sette accelerogrammi di input, come riportato nell'equazione seguente:

$$m_{ln} = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 \ln(FA_i)$$

$$FA_{rif} = e^{m_{ln}}$$

I risultati delle analisi numeriche 1D sono sintetizzati in termini di fattore di amplificazione nella seguente tabella 7.1 mentre di seguito si riporta, per ciascuna verticale analizzata, una sintesi dei risultati contenente:

- modello di sottosuolo utilizzato per la risposta locale
- profilo delle accelerazioni di picco (PGA) con la profondità (valori singoli, mediani e mediani +/- 1 deviazione standard)
- profilo delle deformazioni tangenziali massime ( $\gamma_{\max}$ ) con la profondità (valori singoli, mediani e mediani +/- 1 deviazione standard)
- profilo delle tensioni tangenziali massime ( $\tau_{\max}$ ) con la profondità (valori singoli, mediani e mediani +/- 1 deviazione standard)
- spettri di risposta in superficie (valori singoli, mediani e mediani +/- 1 deviazione standard)

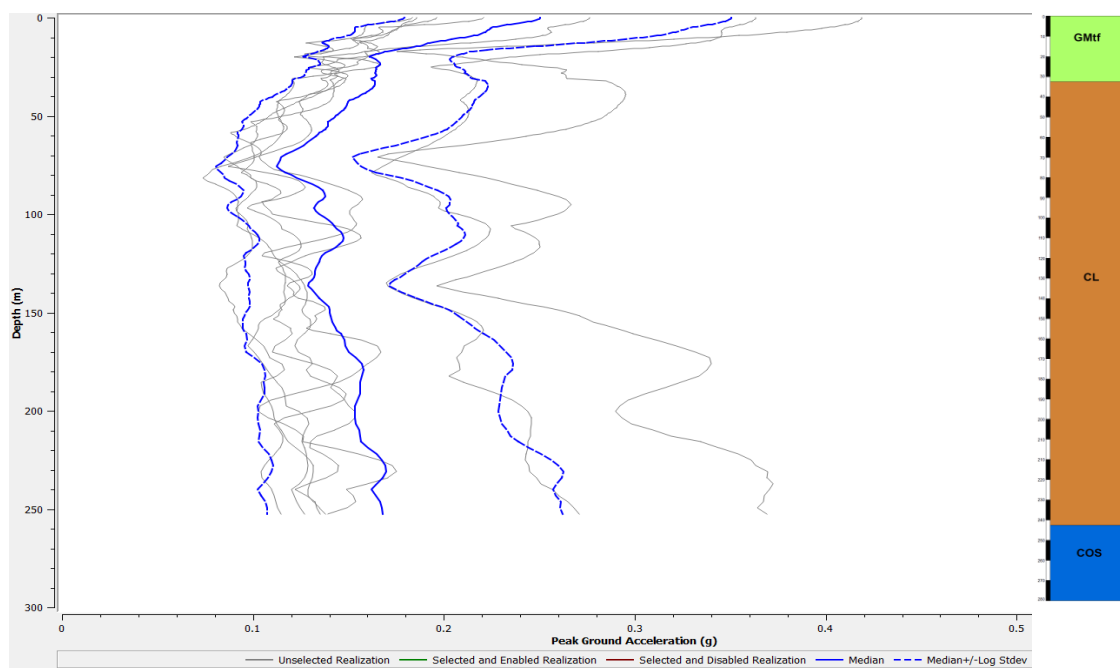
	<b>MOPS</b>	<b>FA 0.1-0.5</b>	<b>FA 0.4-0.8</b>	<b>FA 0.7-1.1</b>
1	Gubbio zona 1	1.16	1.90	1.81
2	Gubbio zona 2	1.20	1.46	1.30
3	Gubbio zona 9	1.08	1.19	1.19
4	Gubbio zona 10	1.07	1.18	1.17
5	Gubbio zona 11	1.17	1.31	1.17
6	Gubbio zona 12	1.47	1.94	2.12
7	Gubbio zona 13	1.13	1.22	1.22
8	Gubbio zona 14	1.21	1.49	1.32
9	Gubbio zona 15	1.13	1.87	1.89

**Tab. 7.1. Risultati delle analisi di Risposta Sismica Locale 1D in termini di fattori di amplificazione medi**

## **1 - GUBBIO ZONA 1**

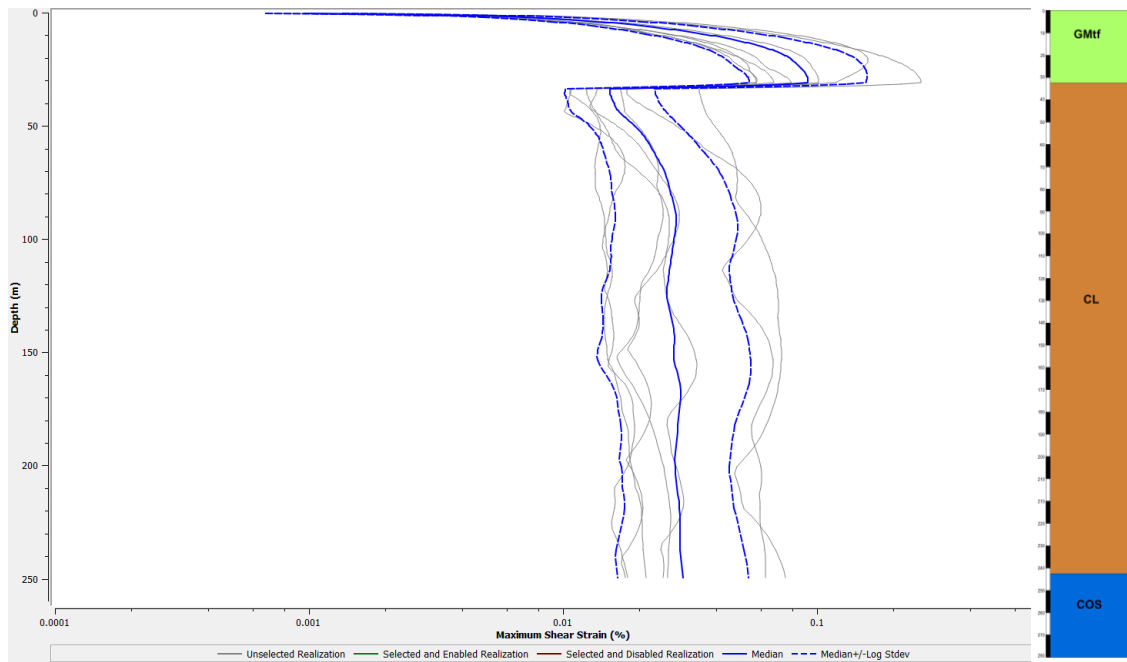
Modello di sottosuolo

Litotipo	Spessore (m)	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve non lineari $G/G_0-\gamma_c$ e $D-\gamma_c$
<b>GMtf</b>	32	19	280	Rollins et al. (1998) limite superiore $G/G_0$ , limite inferiore D
<b>CL</b>	220	19.5	540	Crespellani et al. (2001) – Sintema di Fighille
<b>Bedrock (COS)</b>	-	23	1000	-

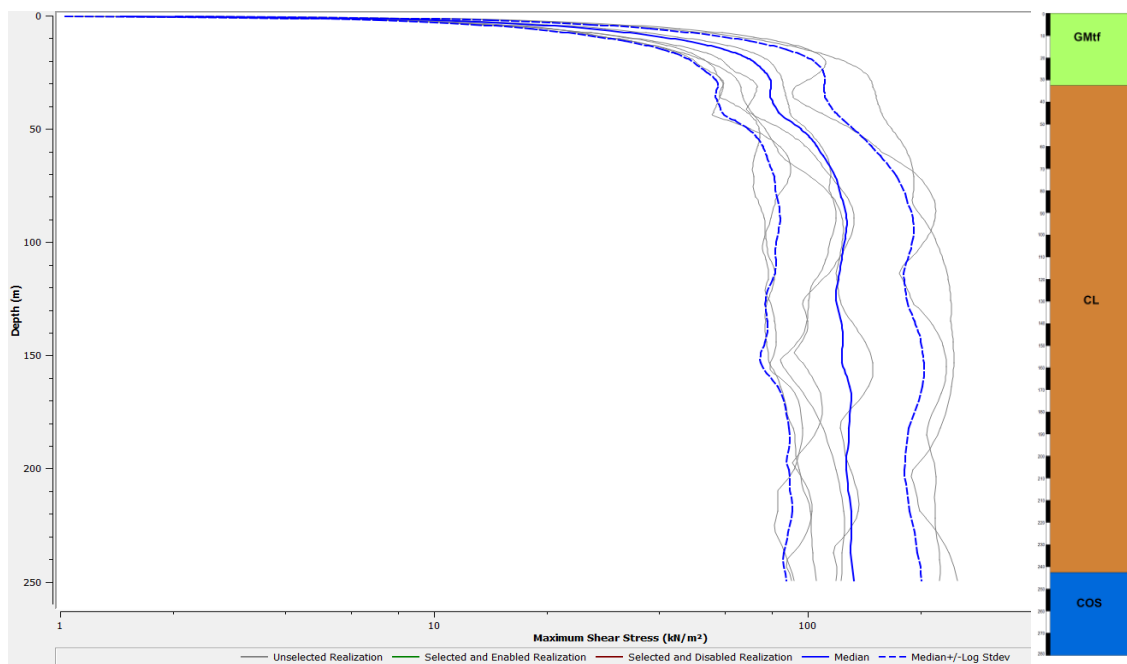


*profilo PGA (Peak Ground Acceleration)*

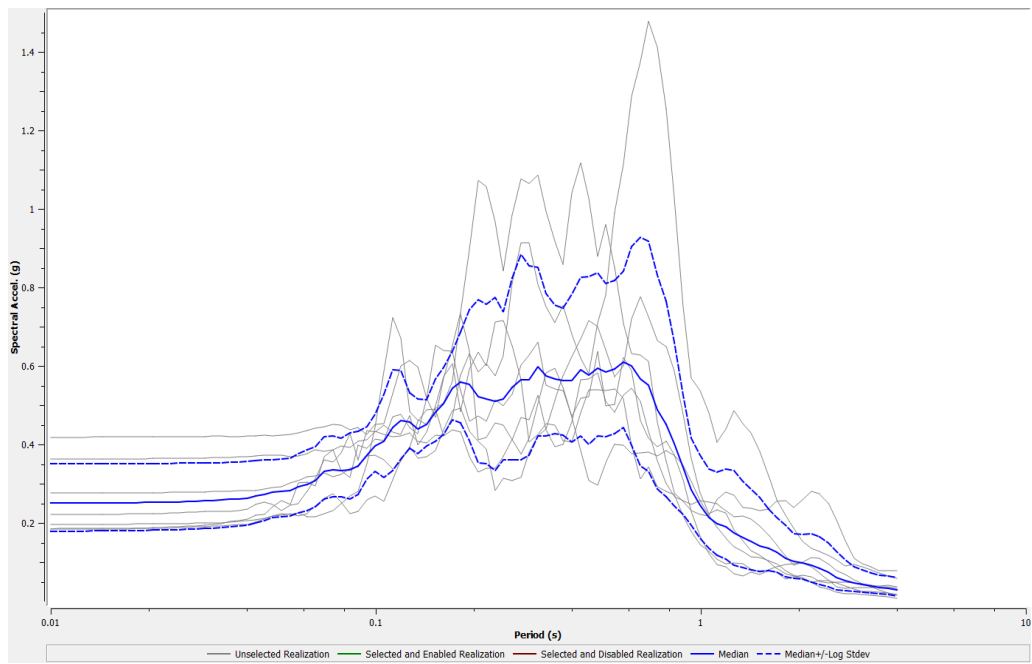




*profilo  $\gamma_{max}$*



*profilo  $\tau_{max}$*

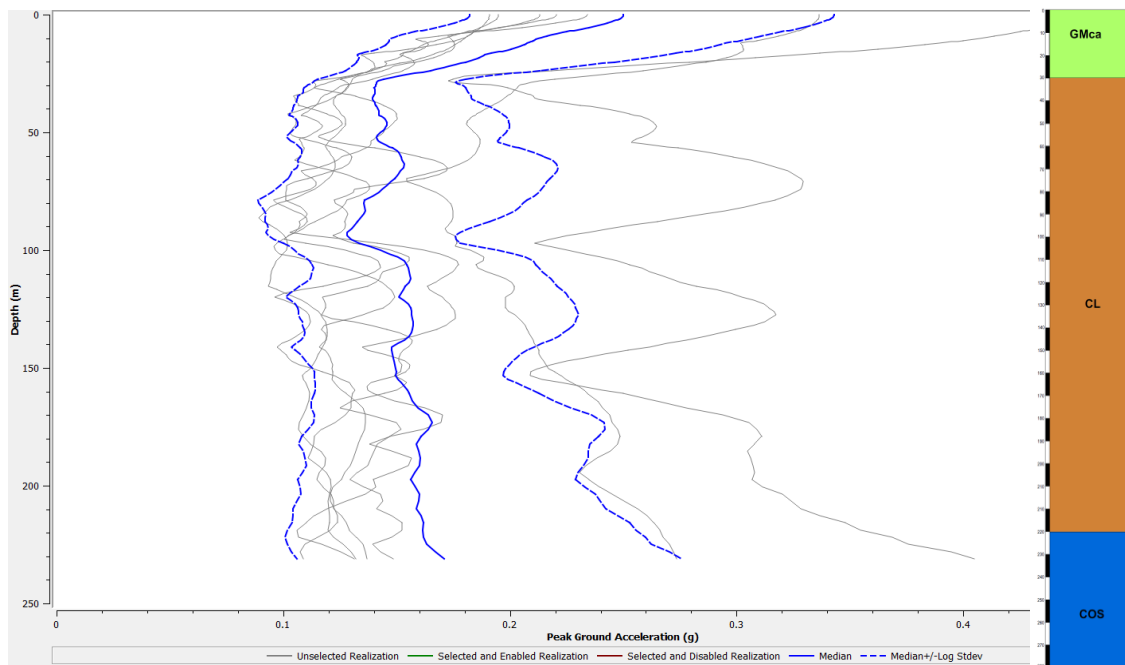


*spettri di risposta in superficie*

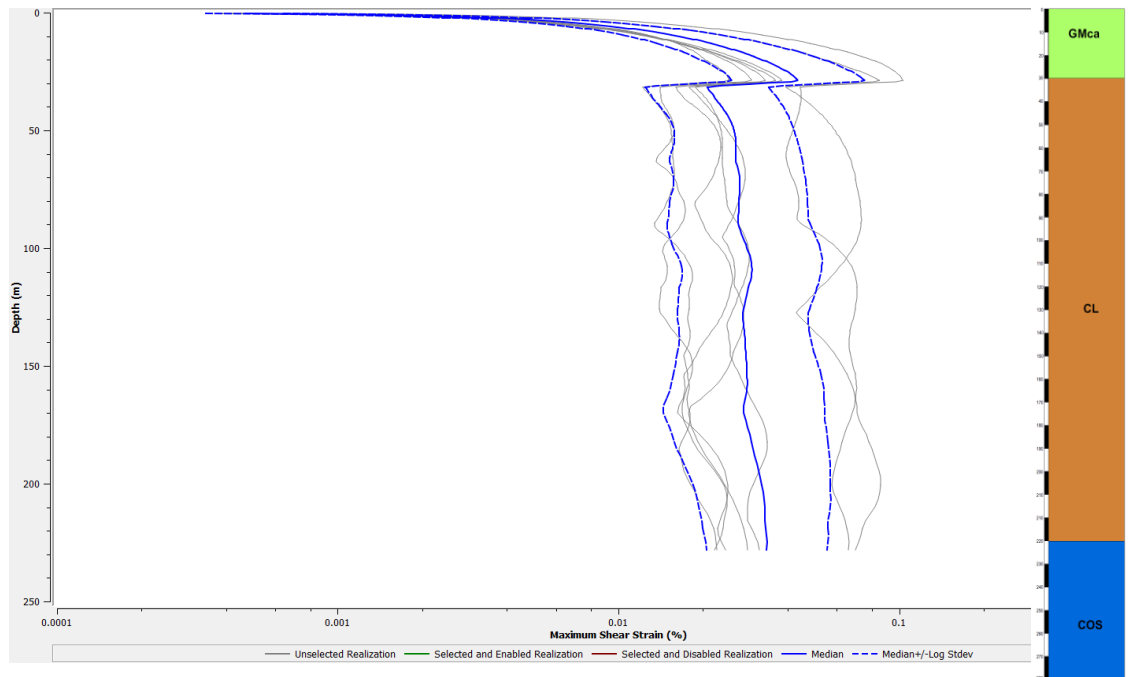
## 2 - GUBBIO ZONA 2

Modello di sottosuolo

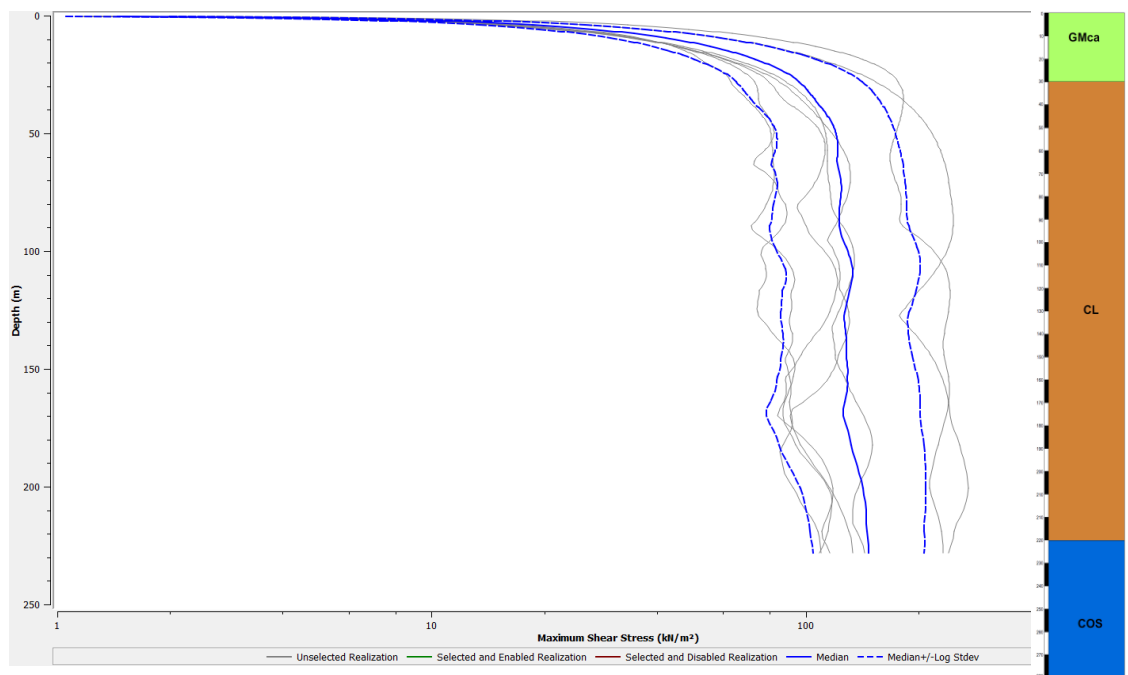
Litotipo	Spessore (m)	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve non lineari $G/G_0-\gamma_c$ e $D-\gamma_c$
<b>GMca</b>	30	19	400	Rollins et al. (1998) limite superiore $G/G_0$ , limite inferiore D
<b>CL</b>	200	19.5	540	Crespellani et al. (2001) – Sintema di Fighille
<b>Bedrock (COS)</b>	-	23	1000	-



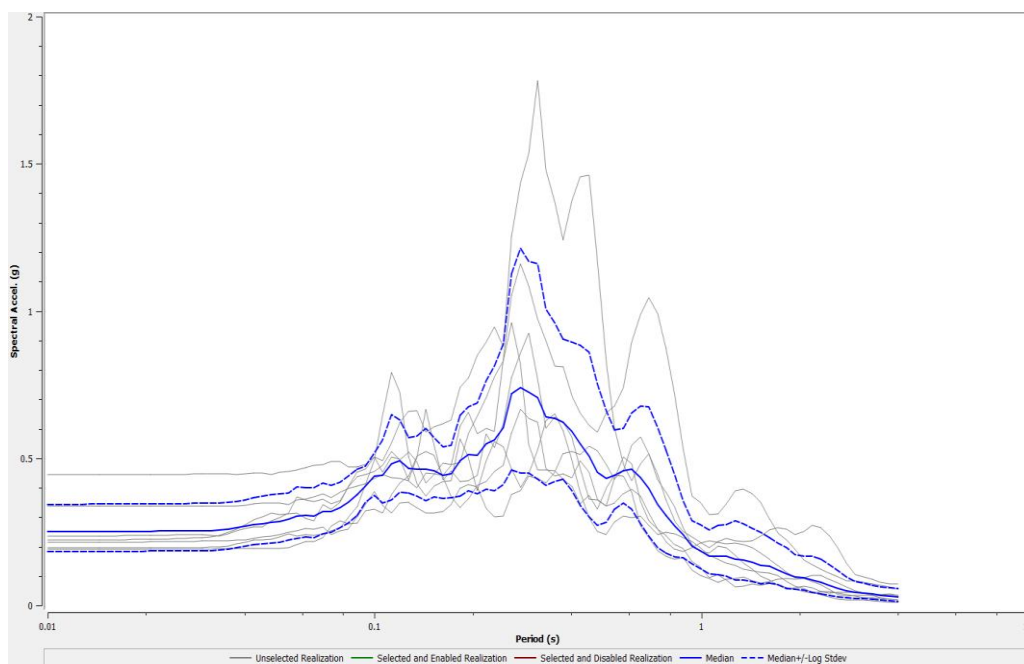
*profilo PGA (Peak Ground Acceleration)*



*profilo  $\gamma_{max}$*



*profilo  $\tau_{max}$*

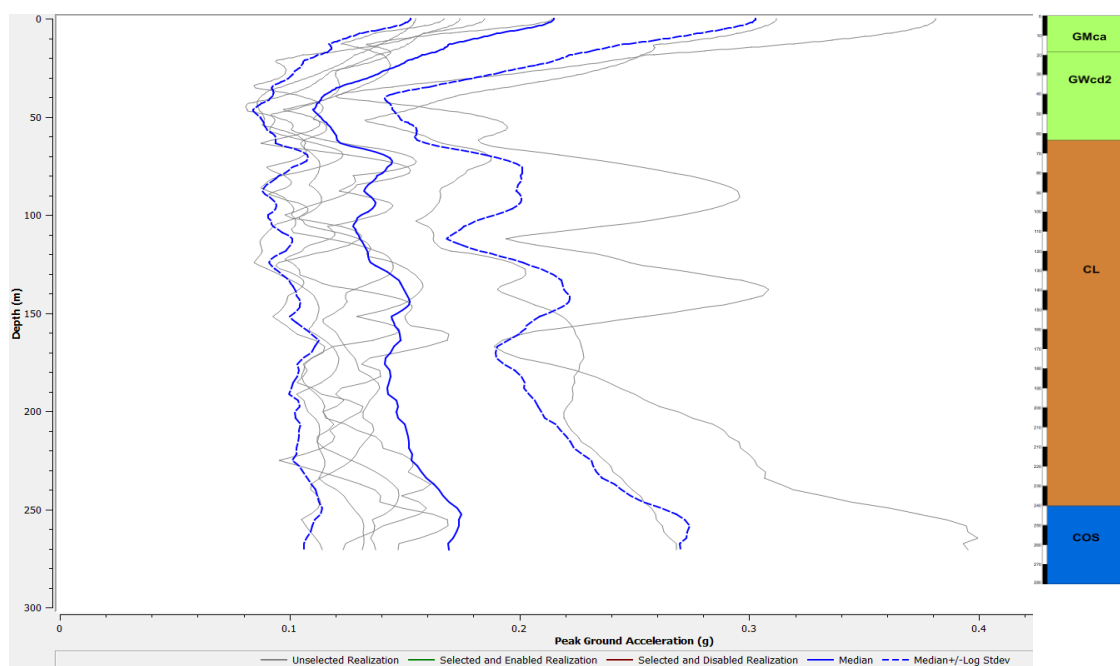


*spettri di risposta in superficie*

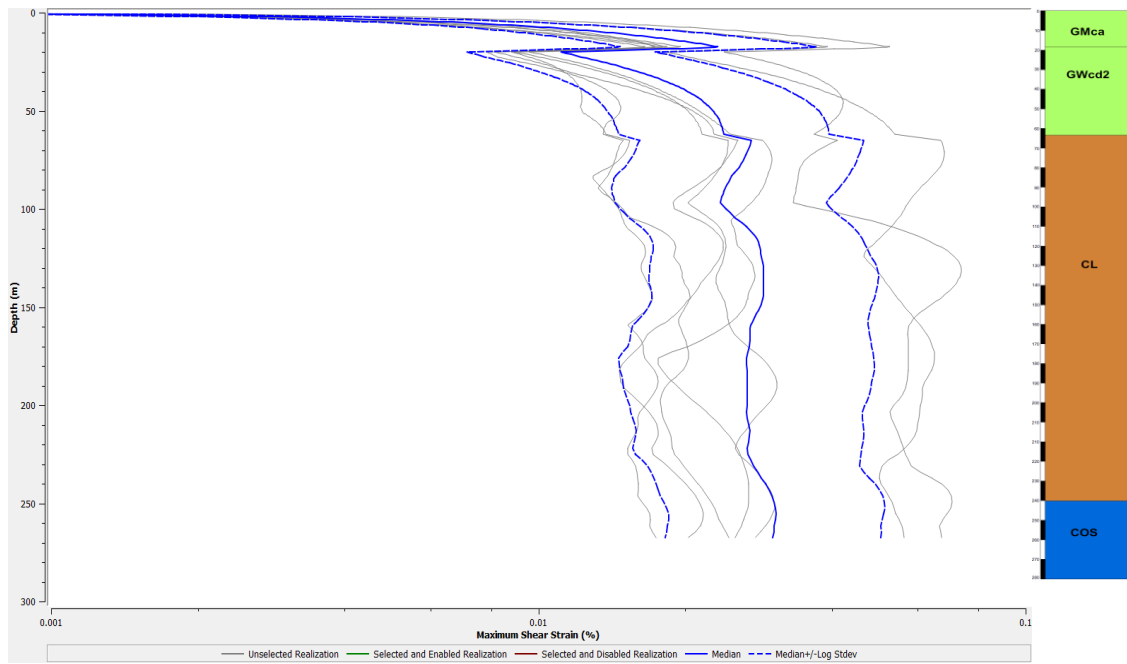
### **3 - GUBBIO ZONA 9**

Modello di sottosuolo

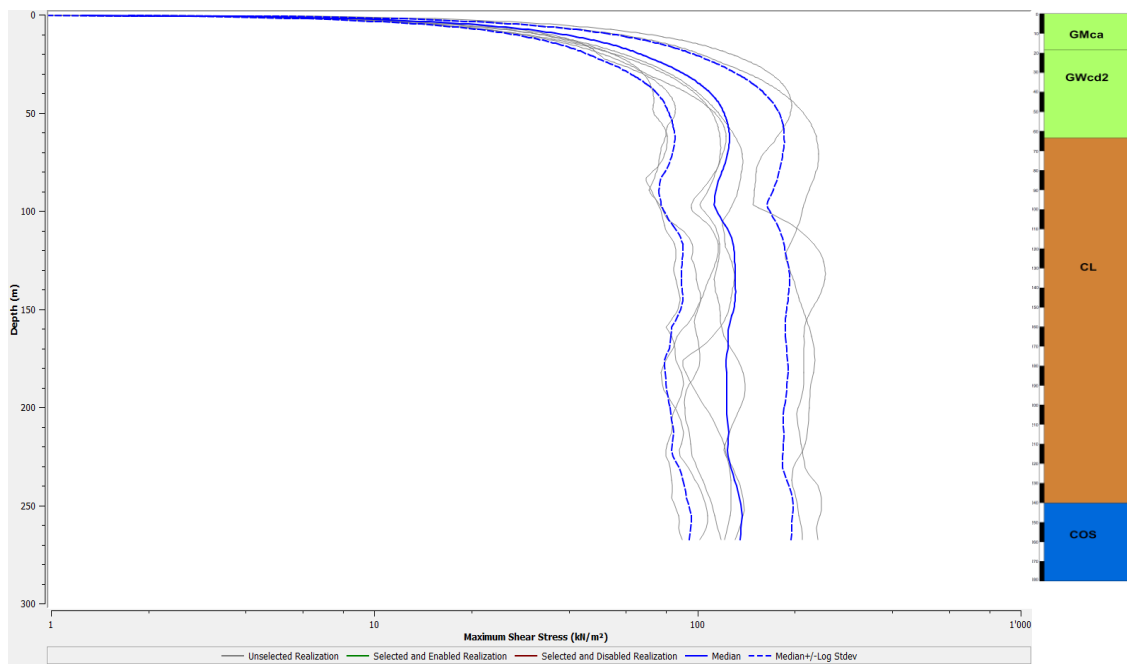
Litotipo	Spessore (m)	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve non lineari $G/G_0-\gamma_c$ e $D-\gamma_c$
<b>GMca</b>	18.5	19	400	Rollins et al. (1998) limite superiore $G/G_0$ , limite inferiore D
<b>GWcd2</b>	45	20	590	Rollins et al. (1998) curve medie
<b>CL</b>	205	19.5	540	Crespellani et al. (2001) – Sintema di Fighille
<b>Bedrock (COS)</b>	-	23	1000	-



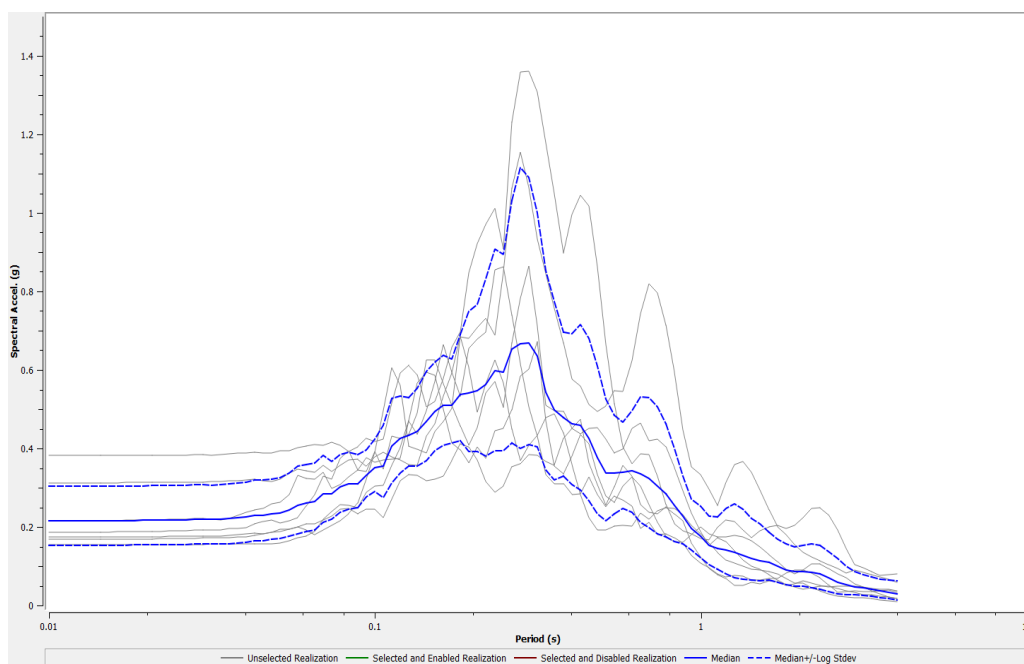
*profilo PGA (Peak Ground Acceleration)*



*profilo  $\gamma_{max}$*



*profilo  $\tau_{max}$*



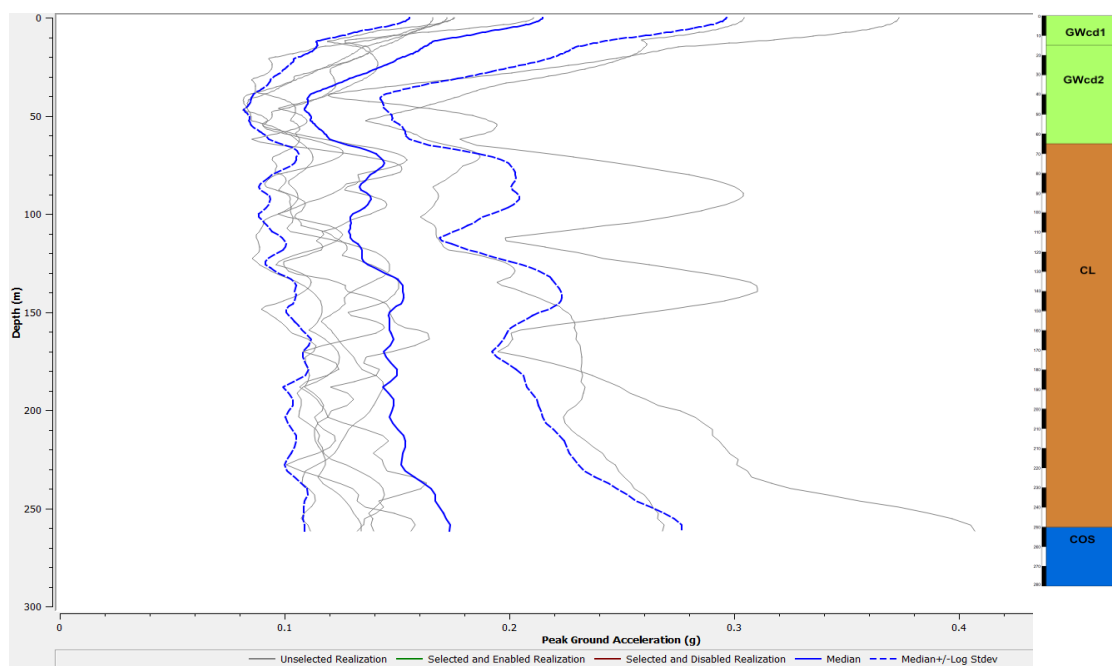
*spettri di risposta in superficie*



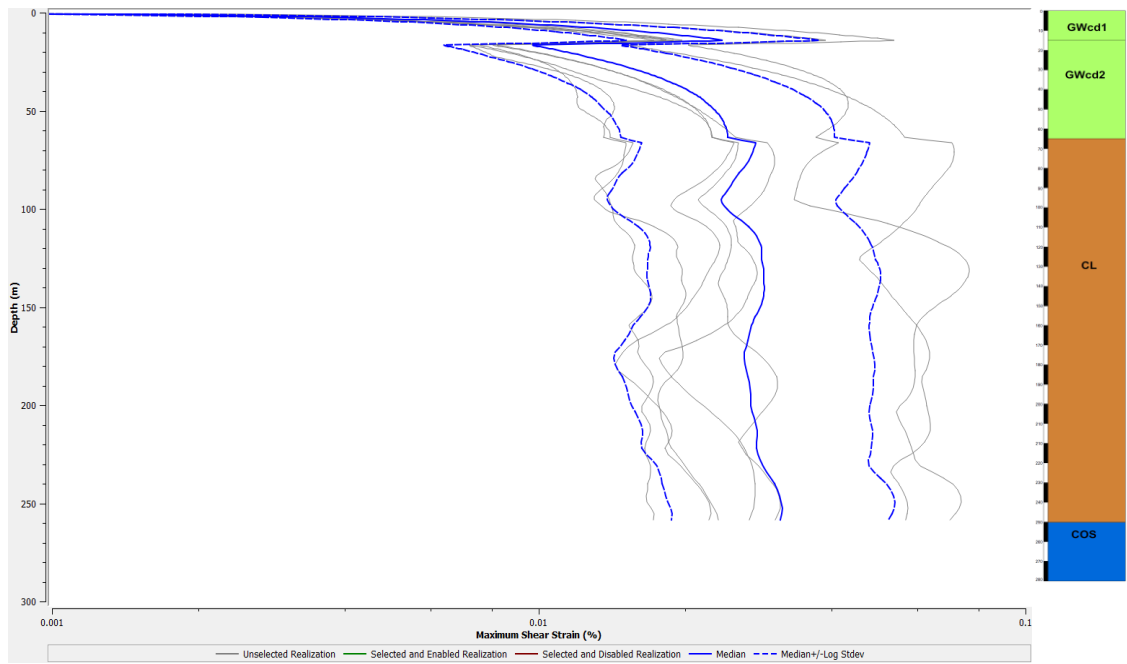
#### **4 - GUBBIO ZONA 10**

Modello di sottosuolo

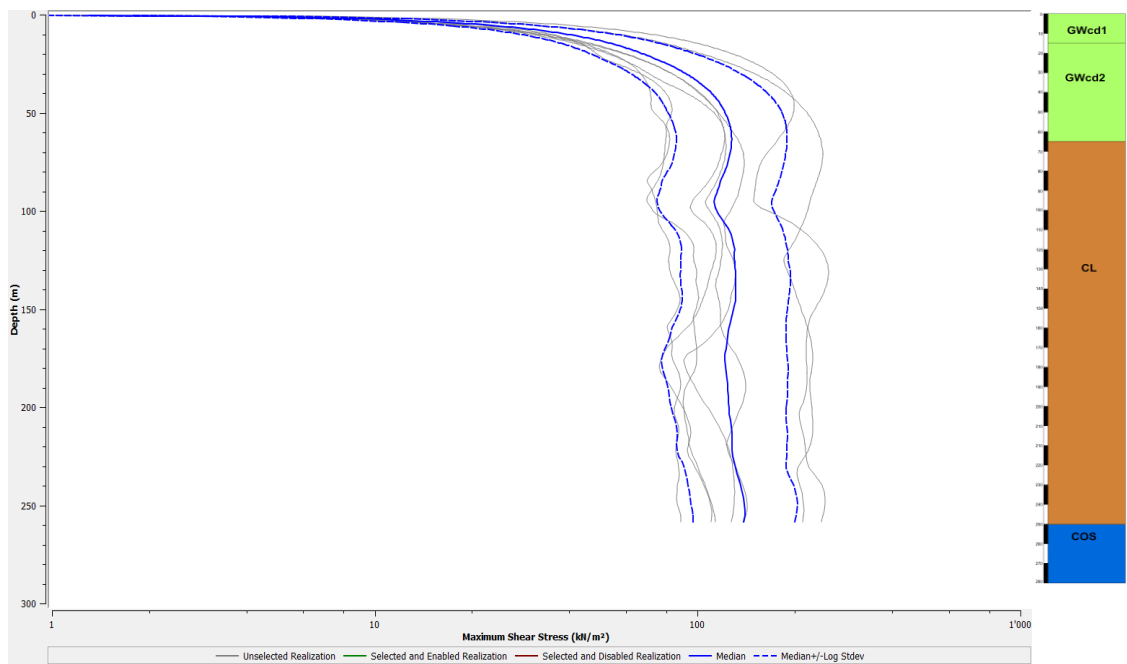
Litotipo	Spessore (m)	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve non lineari $G/G_0-\gamma_c$ e $D-\gamma_c$
<b>GWcd1</b>	15	19.5	380	Rollins et al. (1998) curve medie
<b>GWcd2</b>	50	20	590	Rollins et al. (1998) curve medie
<b>CL</b>	195	19.5	540	Crespellani et al. (2001) – Sintema di Fighille
<b>Bedrock (COS)</b>	-	23	1000	-



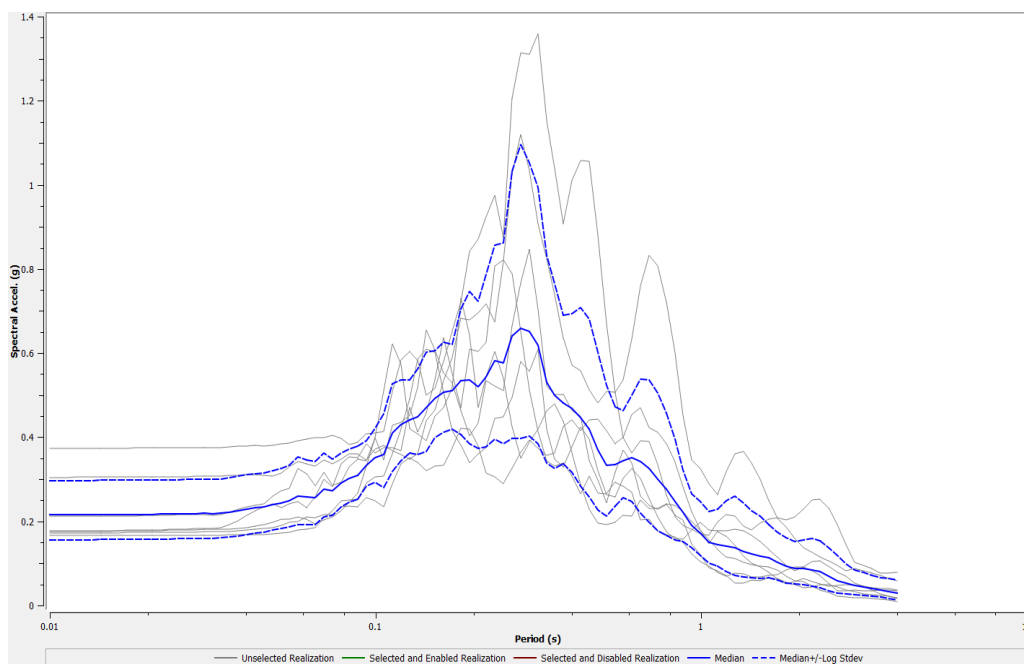
*profilo PGA (Peak Ground Acceleration)*



*profilo  $\gamma_{max}$*



*profilo  $\tau_{max}$*

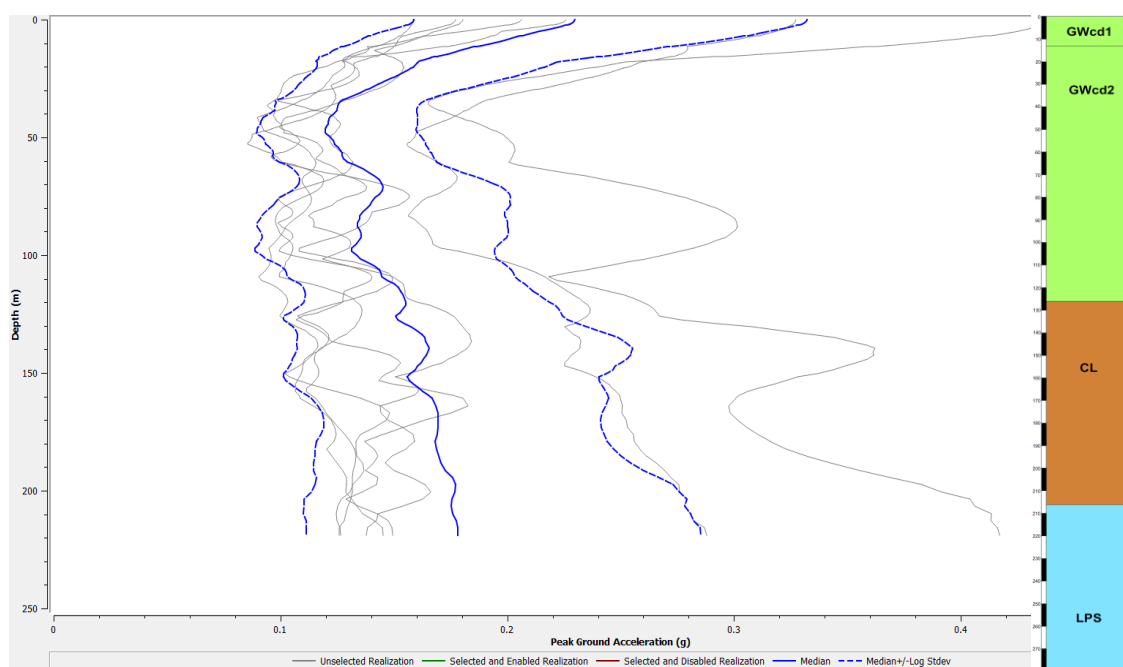


*spettri di risposta in superficie*

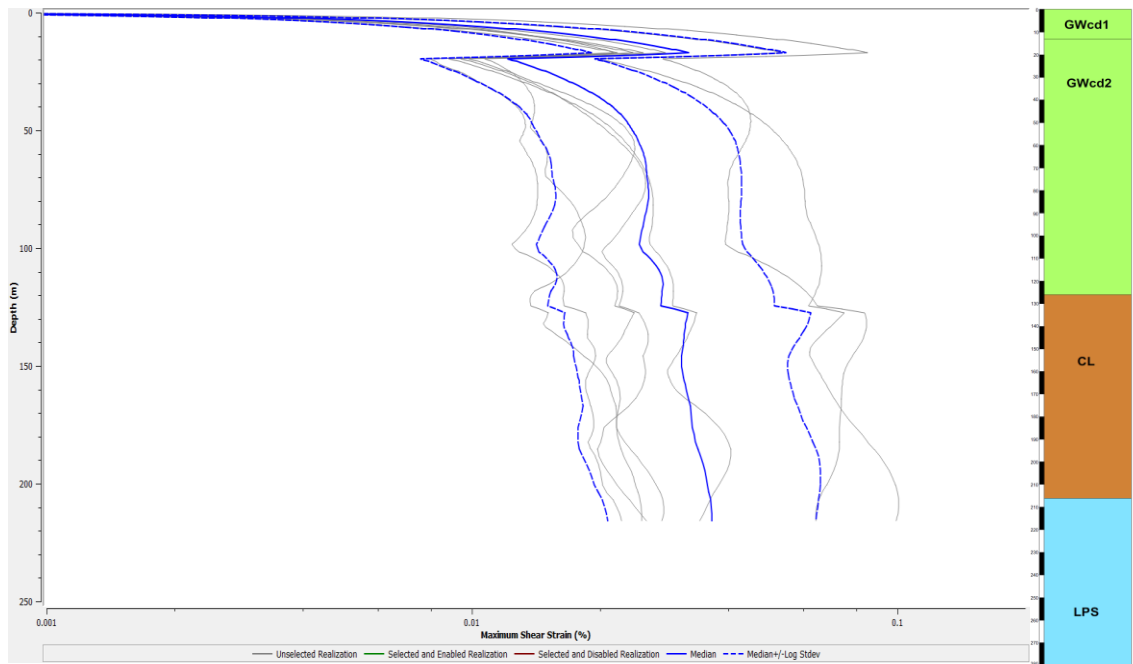
## 5 - GUBBIO ZONA 11

Modello di sottosuolo

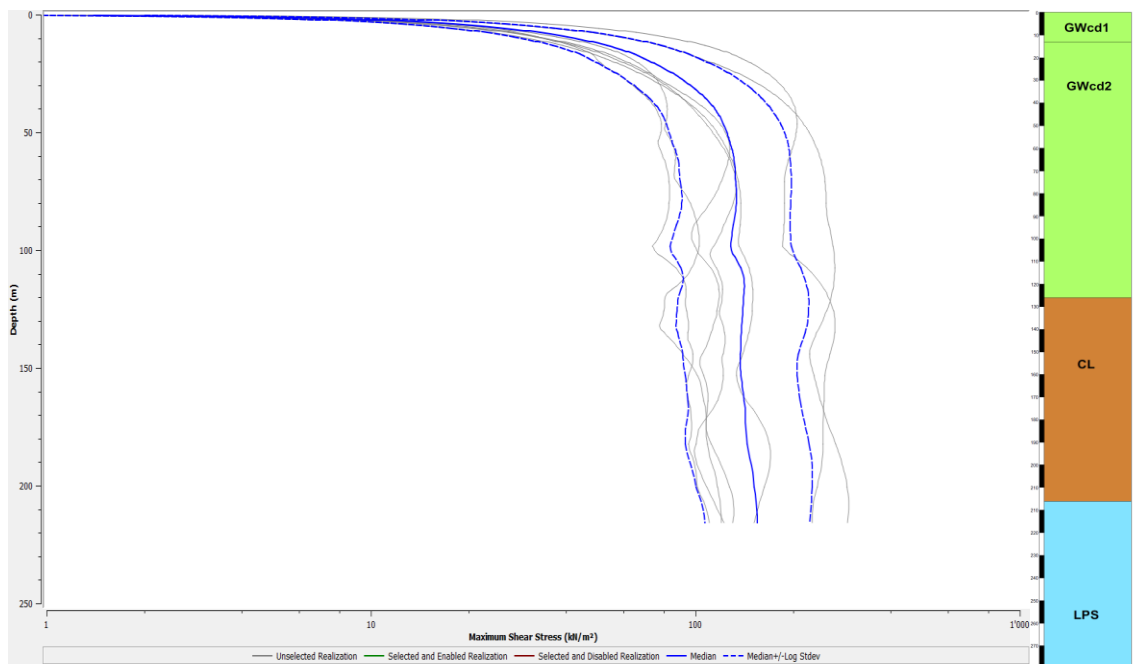
Litotipo	Spessore (m)	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve non lineari $G/G_0-\gamma_c$ e $D-\gamma_c$
<b>GWcd1</b>	18	19.5	380	Rollins et al. (1998) curve medie
<b>GWcd2</b>	108	20	590	Rollins et al. (1998) curve medie
<b>CL</b>	90	19.5	540	Crespellani et al. (2001) – Sintema di Fighille
<b>Bedrock (LPS)</b>	-	23	1200	-



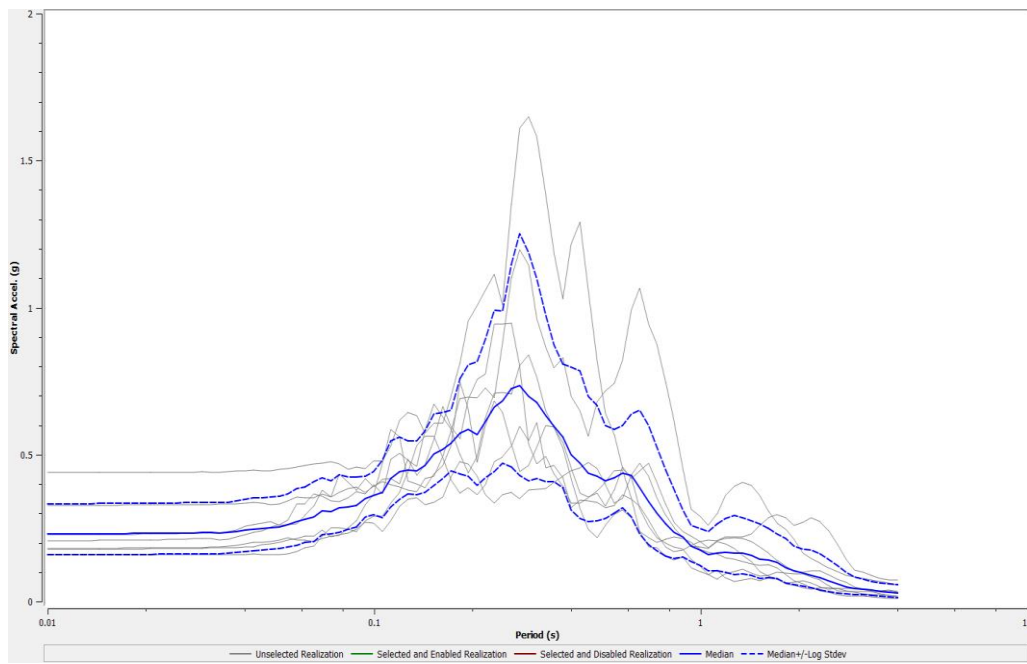
*profilo PGA (Peak Ground Acceleration)*



*profilo  $\gamma_{max}$*



*profilo  $\tau_{max}$*

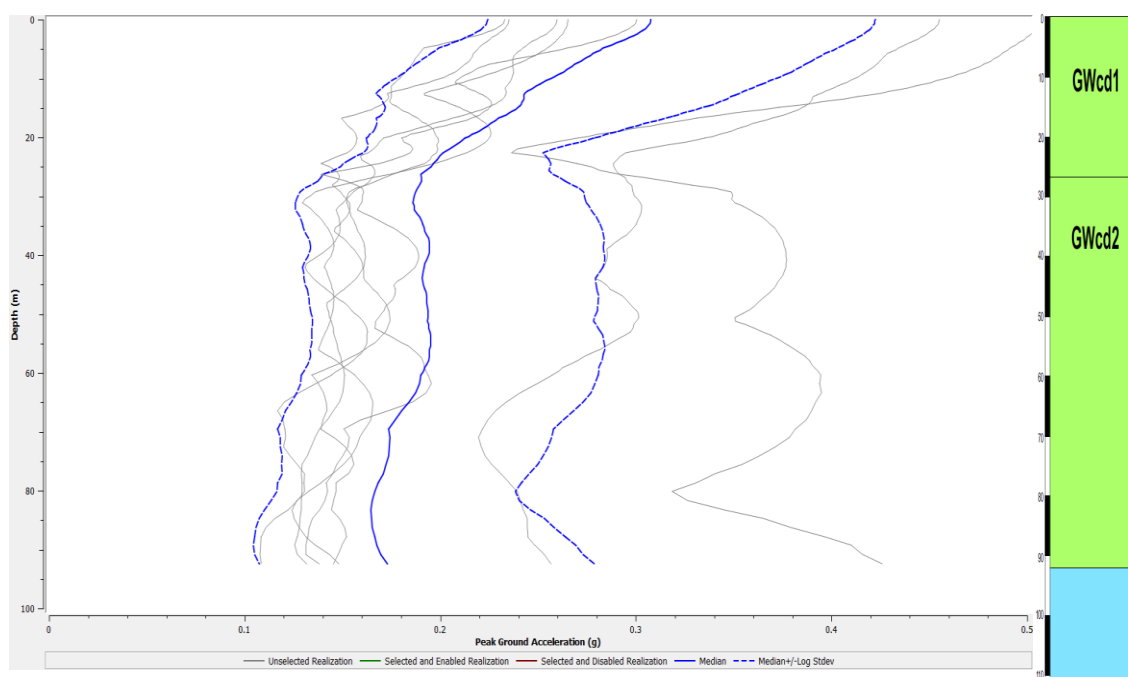


*spettri di risposta in superficie*

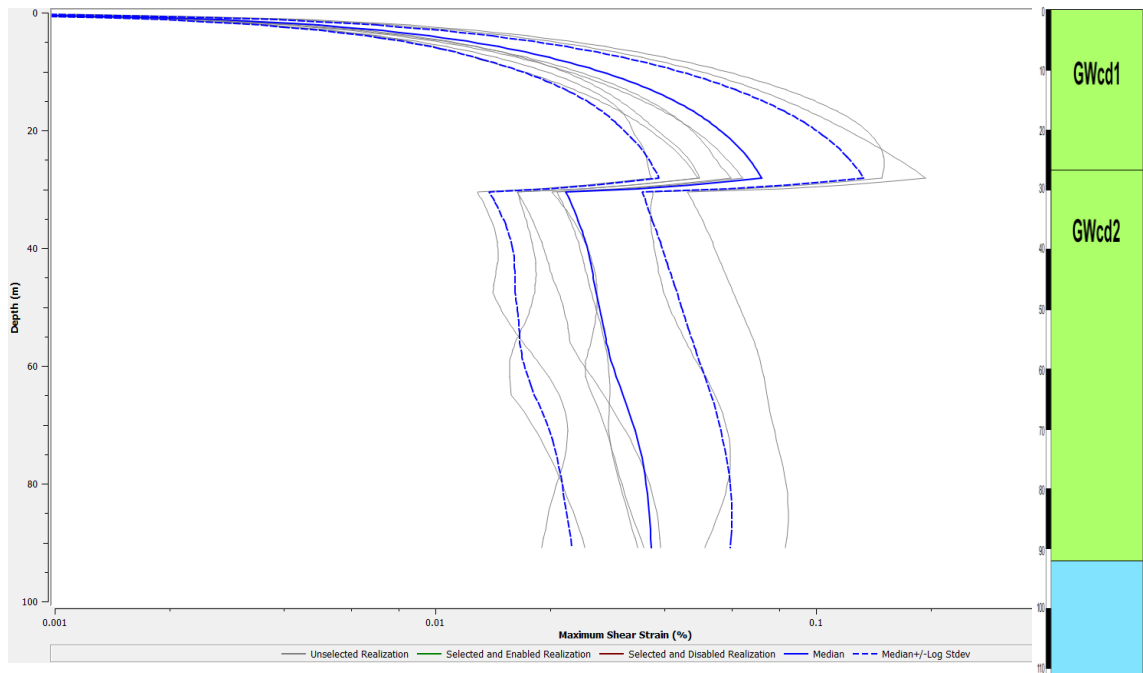
## **6 - GUBBIO ZONA 12**

Modello di sottosuolo

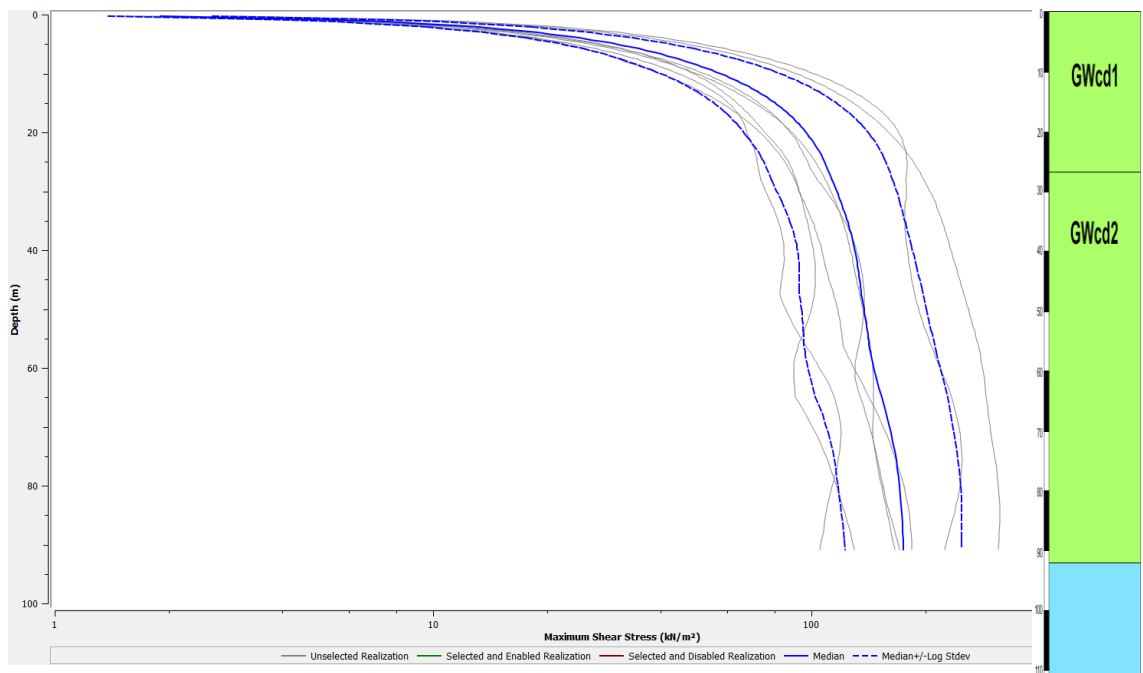
Litotipo	Spessore (m)	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve non lineari $G/G_0-\gamma_c$ e $D-\gamma_c$
<b>GWcd1</b>	29	19.5	380	Rollins et al. (1998) curve medie
<b>GWcd2</b>	63	20	590	Rollins et al. (1998) curve medie
<b>Bedrock (LPS)</b>	-	23	1200	-



*profilo PGA (Peak Ground Acceleration)*

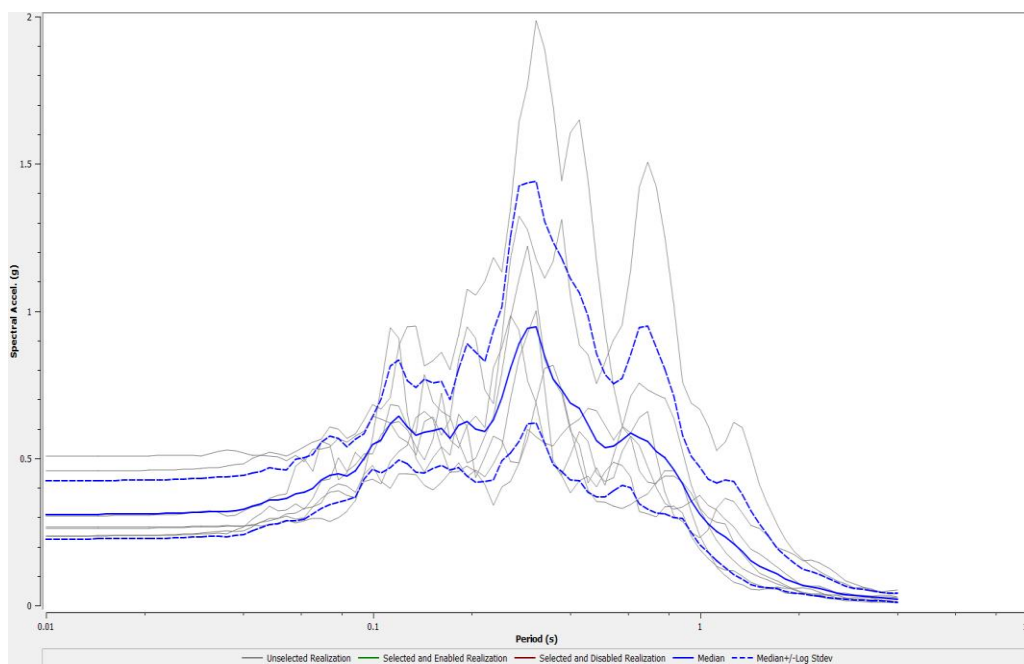


*profilo  $\gamma_{max}$*



*profilo  $\tau_{max}$*



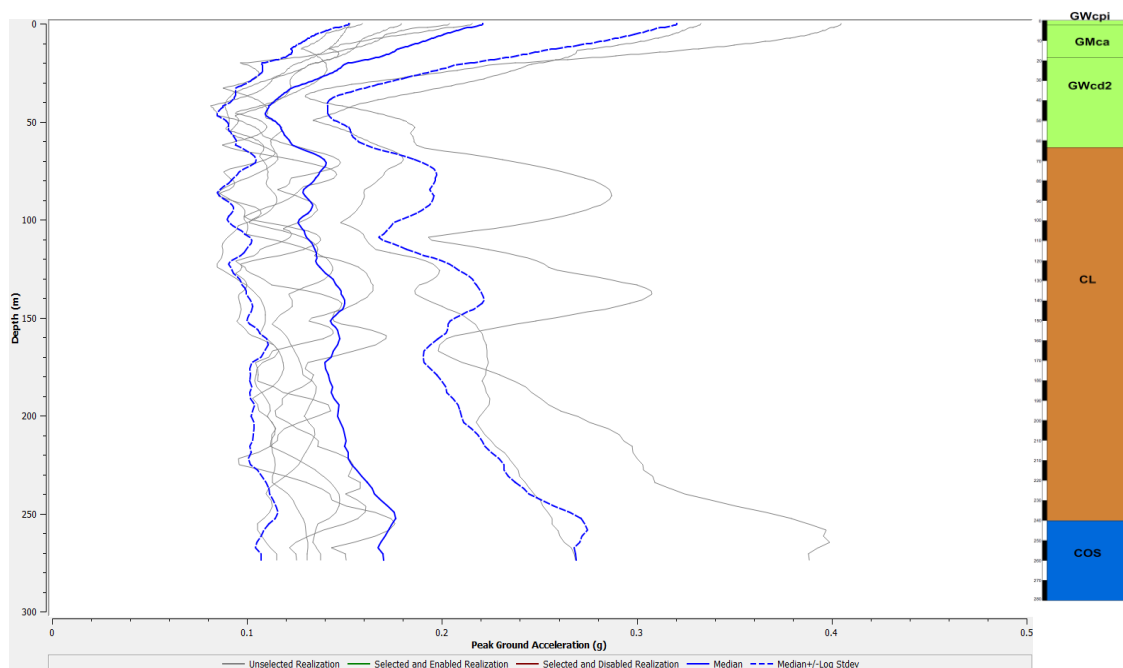


*spettri di risposta in superficie*

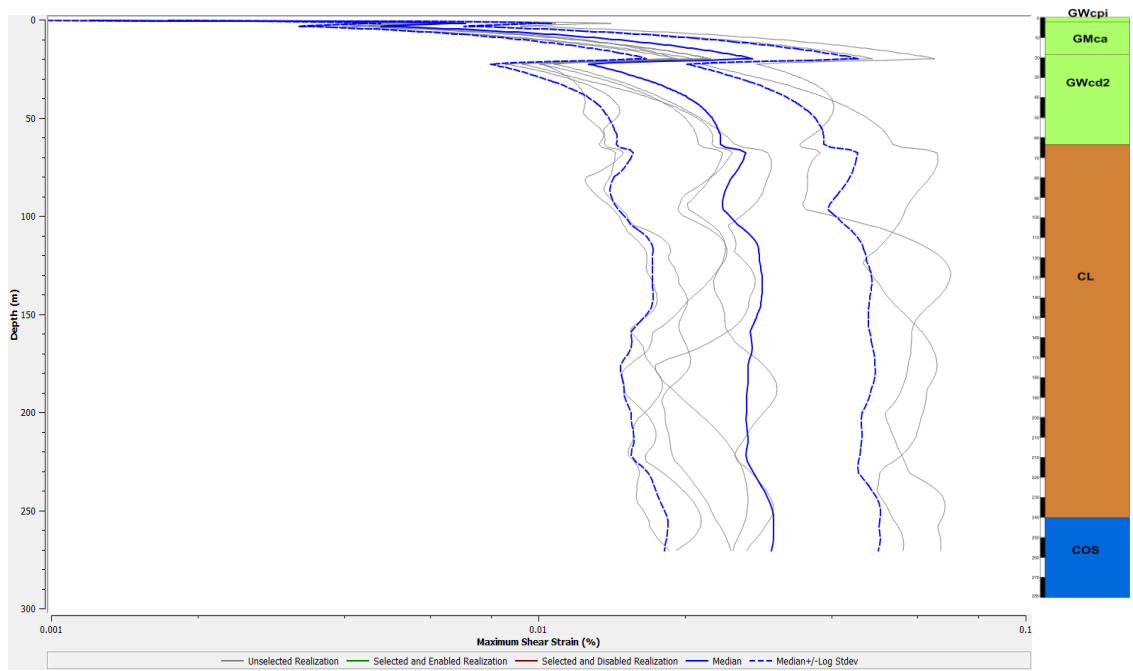
## 7 - GUBBIO ZONA 13

Modello di sottosuolo

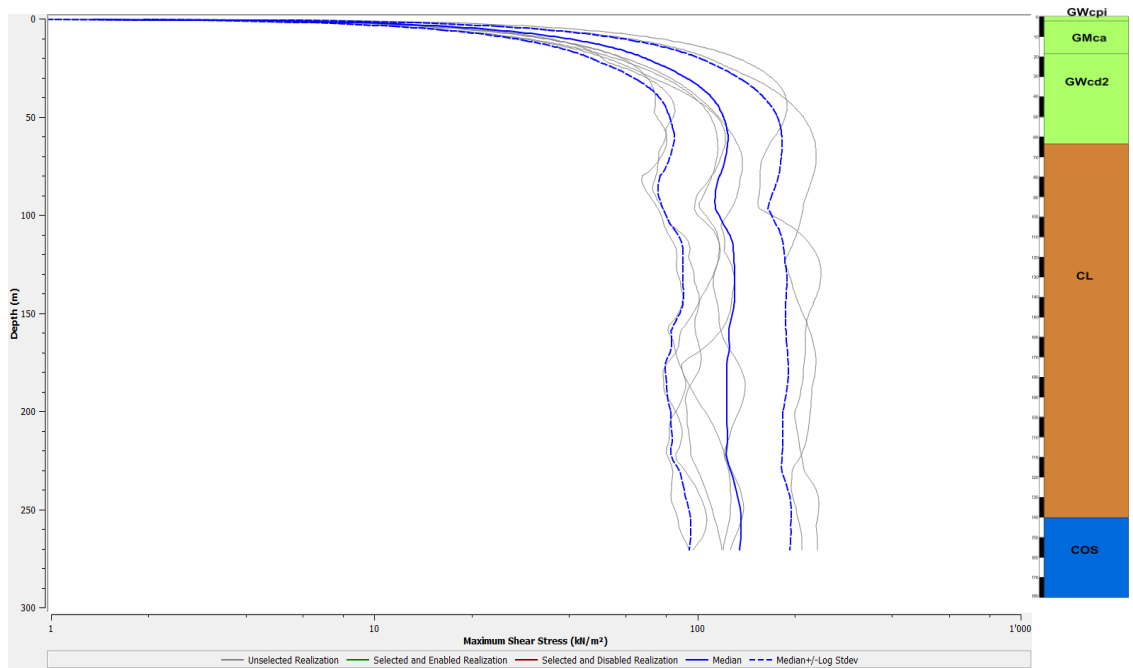
Litotipo	Spessore (m)	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve non lineari $G/G_0-\gamma_c$ e $D-\gamma_c$
<b>GWcpi</b>	2.3	19.5	240	Rollins et al. (1998) curve medie
<b>GMca</b>	18.5	19	400	Rollins et al. (1998) limite superiore $G/G_0$ , limite inferiore D
<b>GWcd2</b>	45	20	590	Rollins et al. (1998) curve medie
<b>CL</b>	205	19.5	540	Crespellani et al. (2001) – Sintema di Fighille
<b>Bedrock (COS)</b>	-	23	1000	-



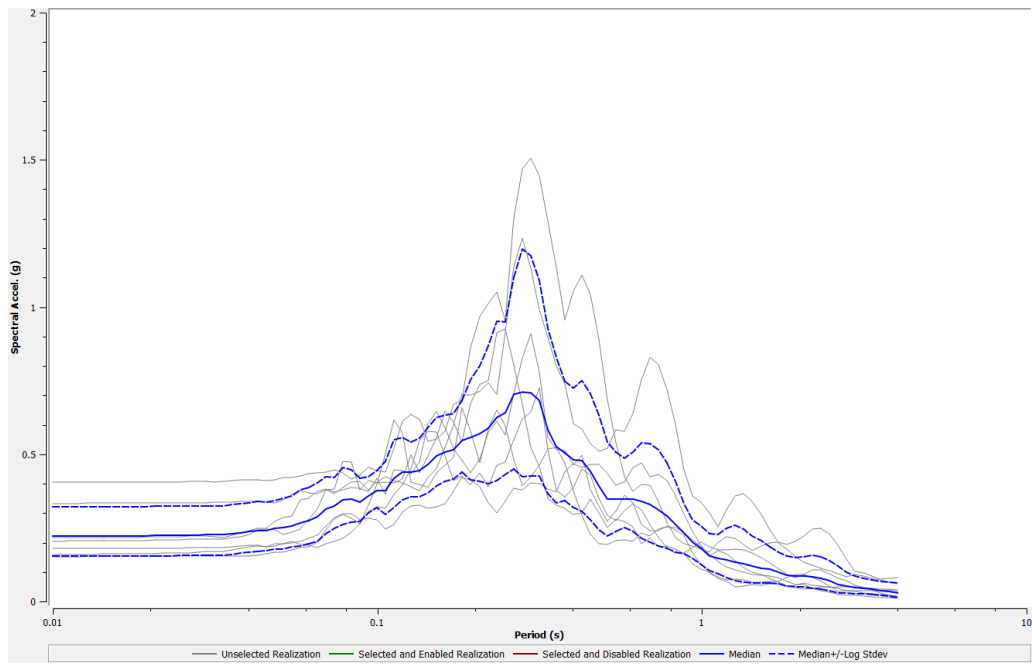
*profilo PGA (Peak Ground Acceleration)*



*profilo  $\gamma_{max}$*



*profilo  $\tau_{max}$*

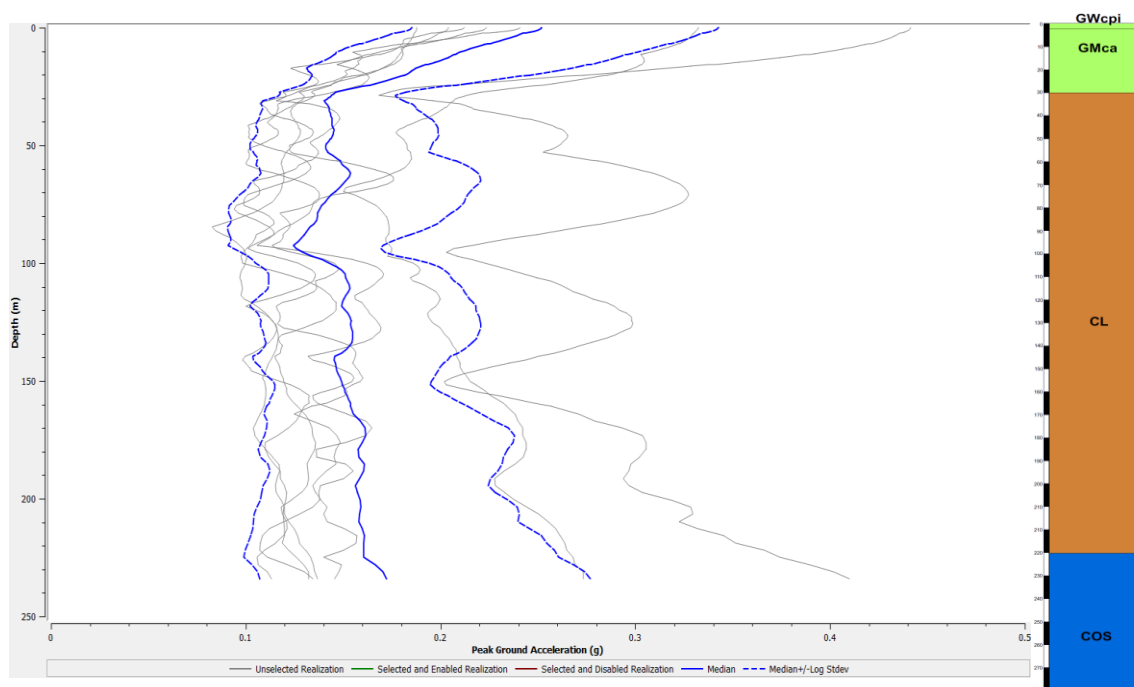


*spettri di risposta in superficie*

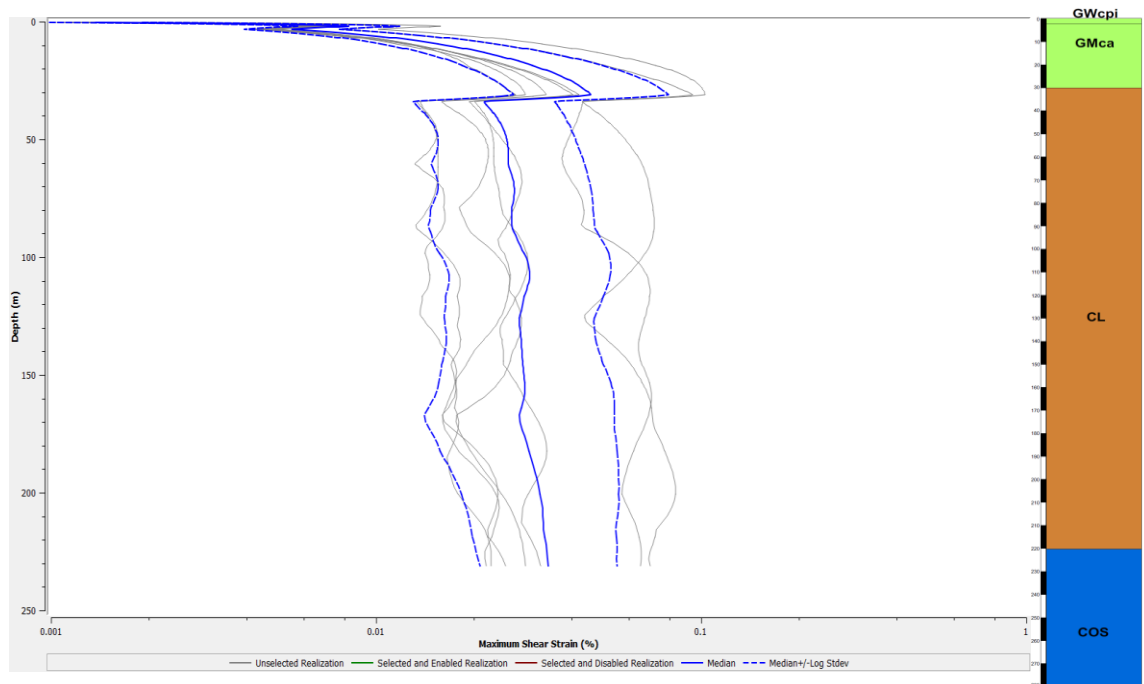
## **8 - GUBBIO ZONA 14**

Modello di sottosuolo

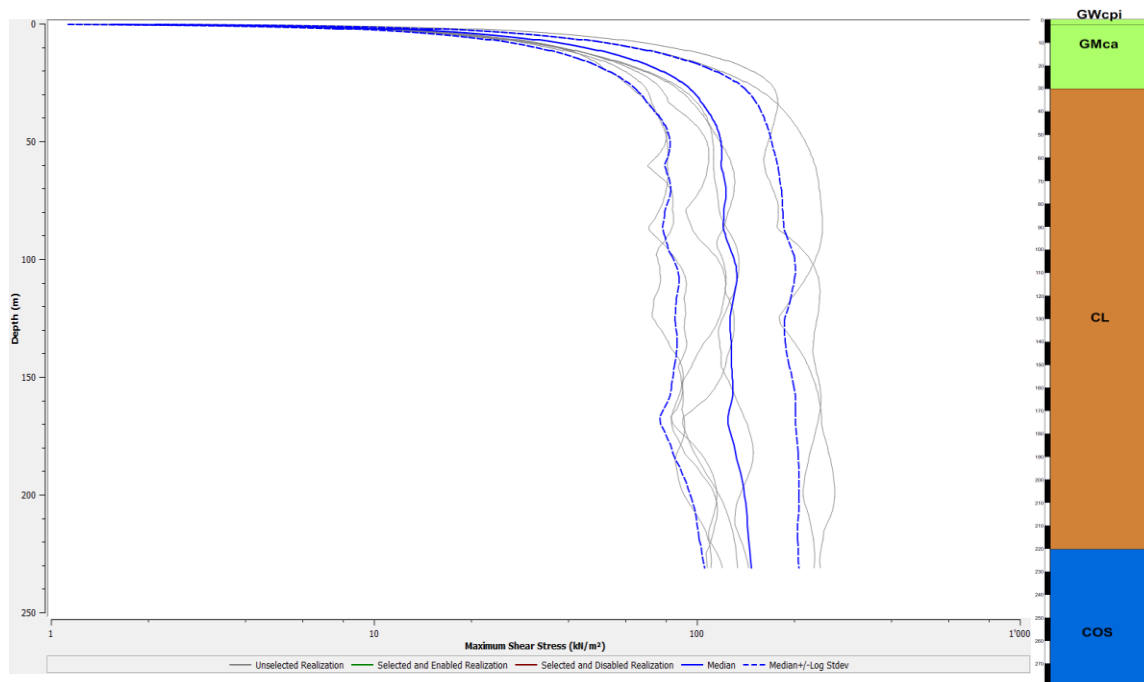
Litotipo	Spessore (m)	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve non lineari $G/G_0-\gamma_c$ e $D-\gamma_c$
<b>GWcpi</b>	2.3	19.5	240	Rollins et al. (1998) curve medie
<b>GMca</b>	30	19	400	Rollins et al. (1998) limite superiore $G/G_0$ , limite inferiore D
<b>CL</b>	200	19.5	540	Crespellani et al. (2001) – Sintema di Fighille
<b>Bedrock (COS)</b>	-	23	1000	-



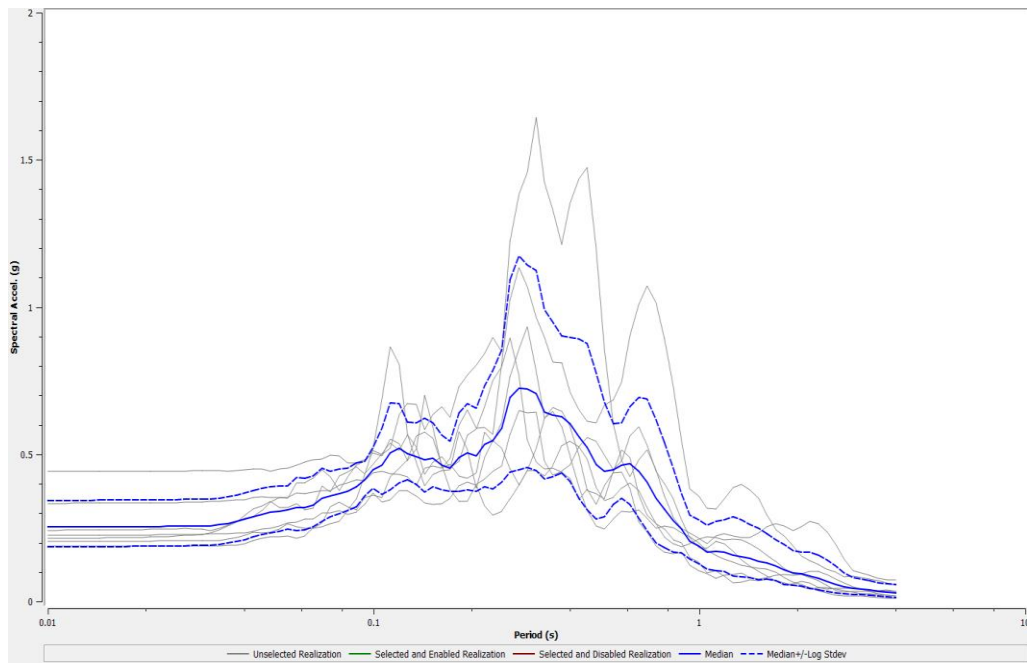
*profilo PGA (Peak Ground Acceleration)*



*profilo  $\gamma_{max}$*



*profilo  $\tau_{max}$*

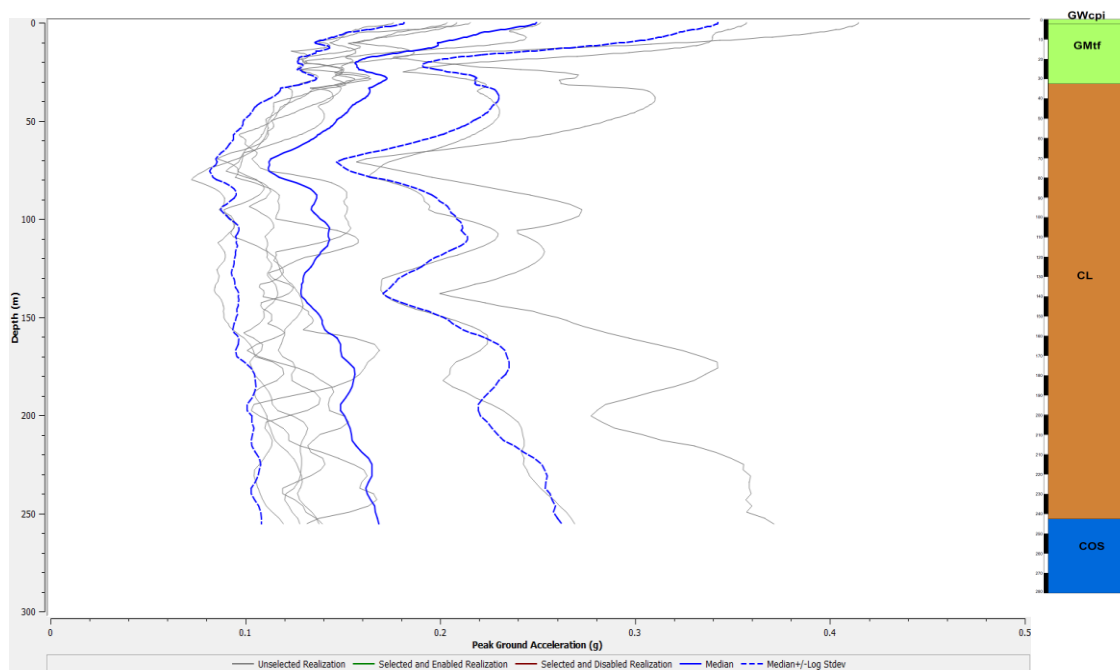


*spettri di risposta in superficie*

## **9 - GUBBIO ZONA 15**

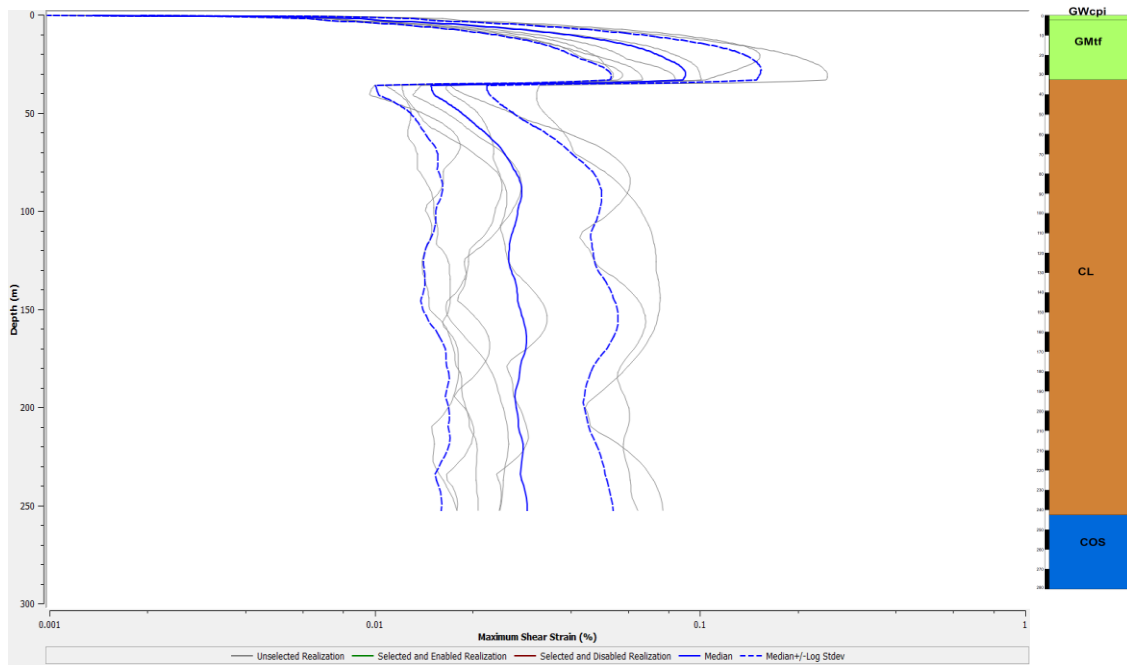
Modello di sottosuolo

Litotipo	Spessore (m)	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Curve non lineari $G/G_0-\gamma_c$ e $D-\gamma_c$
<b>GWcpi</b>	2.3	19.5	240	Rollins et al. (1998) curve medie
<b>GMtf</b>	32	19	280	Rollins et al. (1998) limite superiore $G/G_0$ , limite inferiore D
<b>CL</b>	220	19.5	540	Crespellani et al. (2001) – Sintema di Fighille
<b>Bedrock (COS)</b>	-	23	1000	-

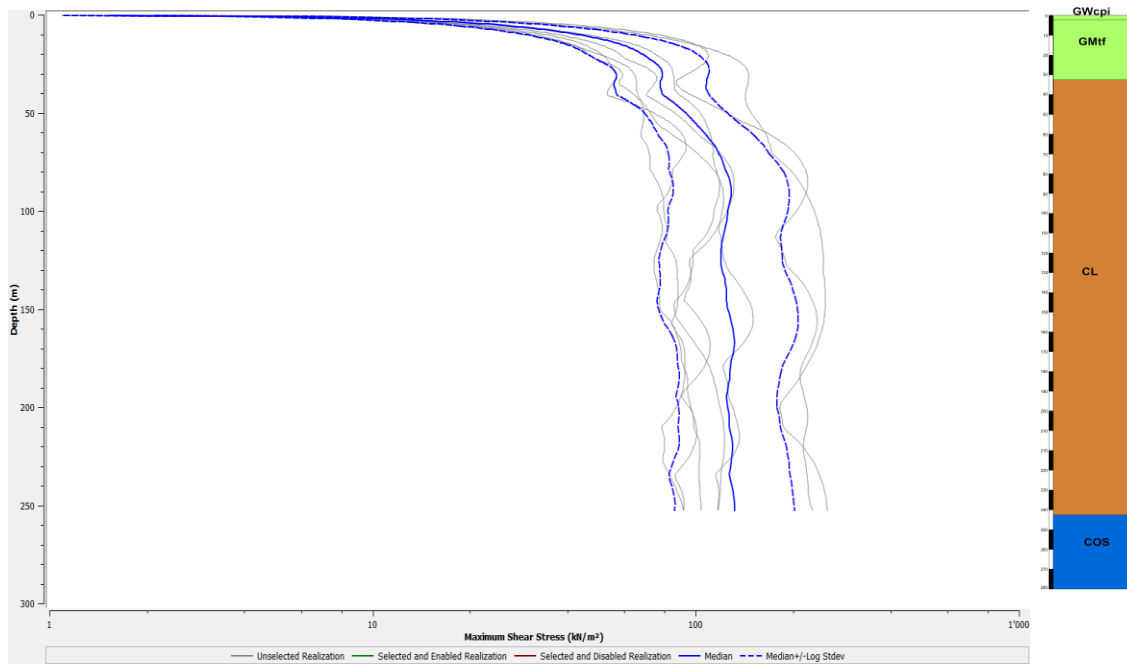


*profilo PGA (Peak Ground Acceleration)*

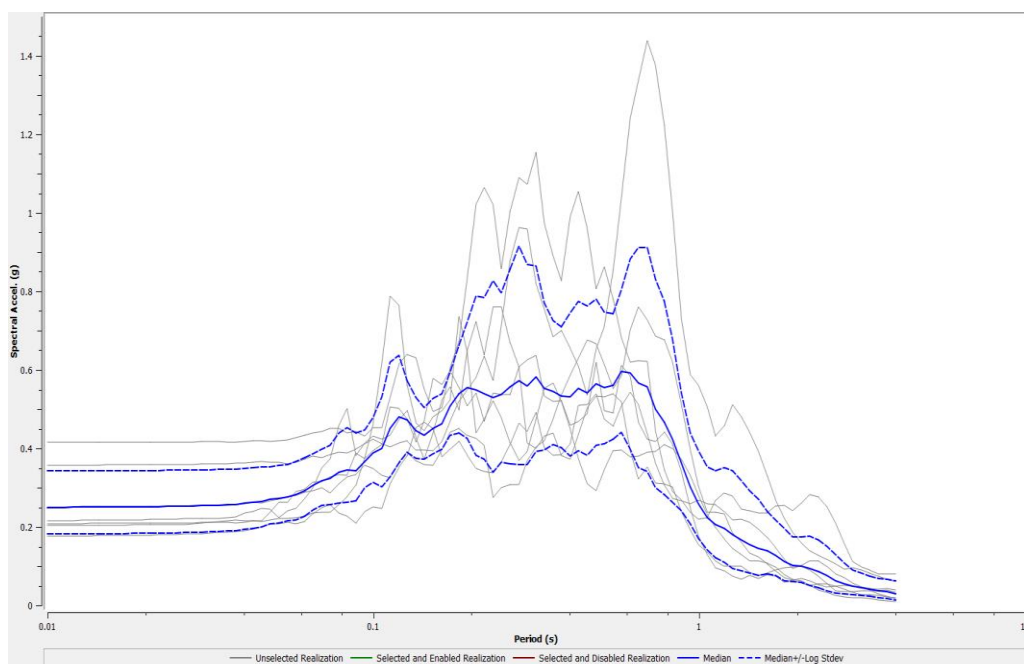




*profilo  $\gamma_{max}$*



*profilo  $\tau_{max}$*



*spettri di risposta in superficie*

## **7.2 ZONE INSTABILI**

### **7.2.1 Liquefazioni (LQ)**

Secondo gli Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica – Microzonazione Sismica, Versione 4.0b, si deve tener conto del fenomeno della liquefazione individuando le Zone di Attenzione per liquefazione ZALQ da rappresentare nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica MOPS di 1° e 2° Livello. Le stesse zone saranno inoltre riportate nella Carta di Microzonazione Sismica MS con la dicitura di Zone di Suscettibilità per Liquefazione.

Le zone suscettibili di liquefazioni di tipo ZALQ1 sono le zone nelle quali gli studi di Livello 1 hanno verificato che esistono 4 condizioni predisponenti:

1. terreni sabbiosi;
2. falda a profondità inferiore a 15 m;
3. Mw attesa al sito >5;
4. Accelerazioni massime in superficie (pga) > 0.1g.

Le zone suscettibili di liquefazioni di tipo ZALQ2 sono zone in cui sussistono solo le prime 3 condizioni.

Per quanto concerne l'area di studio del Comune di Gubbio vengono meno sia il primo sia il secondo punto. Infatti nell'area di studio non sono presenti terreni sabbiosi se non localmente dove presentano un'ampia variazione laterale e verticale. Inoltre la profondità della falda acquifera è risultata quasi sempre superiore a 15 m.

I depositi granulari presenti nell'area di studio hanno le seguenti caratteristiche:

- spessore > 30 metri;
- dai dati disponibili, sia quelli storici reperiti per questo lavoro sia quelli derivanti in occasione dei sondaggi per i DH mettono in evidenza la presenza, nell'area di studio, di depositi grossolani ai quali è stata associata la sigla GW- Ghiaie pulite con granulometria assortita e GM - Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo ;

Gli stessi depositi, nella Carta delle MOPS degli Studi di MZS di 1° Livello, sono descritte come una sequenza prevalente di ghiaie con livelli limo-sabbiosi-argillosi;

- sono sede di una falda acquifera principale profonda, la cui profondità è superiore a 15 m. dal pc attuale;

Stabilito che le prime due condizioni predisponenti i fenomeni di liquefazione non sono presenti, si conferma quanto indicato nel 1° Livello degli Studi di Microzonazione Sismica ovvero che all'interno dell'area di studio del Comune di Gubbio non sono presenti aree che potrebbero risentire del fenomeno della liquefazione in caso di sisma di una certa magnitudo ovvero non sono presenti zone di attenzione/suscettibilità per liquefazione.

## 8. ELABORATI CARTOGRAFICI

### 8.1 CARTA DELLE INDAGINI

La Carta delle indagini in scala 1:5.000 riporta l'ubicazione delle indagini pregresse reperite e le indagini realizzate ex-novo per il presente studio di MS3.

Le indagini pregresse derivano da:

- archivio dei Lavori Pubblici del Comune di Gubbio;
- archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (L.464/84) dell'I.S.P.R.A. - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale;
- studio di MS2 realizzato nel 2013 nell'area del centro storico del Comune di Gubbio.

Le indagini sono state rappresentate per tipologia con simboli definiti dagli standard nazionali per l'informatizzazione degli studi di MS (SoftMS\_v4\_0\_1 e StandardMS\_4.1) con riferimento agli "Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica (ICMS) a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile (art.5, comma7 dell'OPCM 13 novembre 2010 N°3907). Le indagini sono state archiviate creando un database all'interno del software SoftMS\_v4\_0\_1, successivamente esportato per essere associato alle geometrie rappresentate nel software GIS.

La seguente tabella riassume le tipologie di indagini riportate in cartografia:

Tipo indagine	Indagini pregresse	Indagini ex-novo
CPTU	5	-
DH	1	2
DL	39	-
DP	1	-
DS	-	10
ESAC-SPAC	7	-
HVSR	9	10
S	23	-
SD	5	-
SPT	11	-
T	4	-
MASW	14	10
REMI	4	10
SR	4	10

*Tab. 8.1 Indagini riportate nella Carta delle indagini.*

## 8.2 CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI

La carta delle frequenze naturali è stata realizzata riportando le varie stazioni di misura di rumore ambientale, suddivise nelle diverse località di studio e per ogni misura è stato assegnato un simbolo circolare la cui dimensione è funzione dell'ampiezza del picco fondamentale, mentre la colorazione è legata al valore della frequenza fondamentale  $F_0$ . Le misurazioni HVSR sono state effettuate con l'obiettivo di stimare la frequenza di risonanza fondamentale della copertura sedimentaria attraverso la tecnica dei rapporti spettrali HVSR-Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Nakamura Y., 1989). Il metodo viene ritenuto uno strumento valido ed affidabile per l'identificazione di possibili effetti di risonanza dei terreni e la stima preliminare della frequenza di risonanza ( $F_0$ ) di sito.

Di seguito sono riportate le n.19 registrazioni con le relative frequenze fondamentali di sito e amplificazioni.

HVSR	Pregresso/ex-novo	$f_0$ (Hz)	A0
P30	pregresso	19.4	3.8
P31	pregresso	13.29	2.72
P32	pregresso	0.48	8.99
P33	pregresso	4.05	2.98
P34	pregresso	17.99	1.79
P35	pregresso	17.58	1.83
P36	pregresso	0.47	2.22
P37	pregresso	16.69	1.83
P38	pregresso	23.96	3.41
P106 (HV01)	ex-novo	0.64	2.59
P107 (HV02)	ex-novo	5.62	1.47
P108 (HV03)	ex-novo	0.46	2.50
P109 (HV04)	ex-novo	0.37	3.10
P110 (HV05)	ex-novo	0.44	2.22
P111 (HV06)	ex-novo	0.44	2.04
P112 (HV07)	ex-novo	0.55	2.46
P113 (HV08)	ex-novo	0.26	1.60
P114 (HV09)	ex-novo	0.46	1.80
P115 (HV10)	ex-novo	34.97	2.87

*Tab. 8.2 Misure HVSR riportate nella Carta delle frequenze.*

I valori sono stati associati a classi di ampiezza e di frequenza. Nello specifico per l'ampiezza sono rappresentate n.5 classi:

- da 1.47 a 1.6;
- da 1.61 a 2.22;
- da 2.22 a 3.1;
- da 3.11 a 3.81;
- da 3.811 a 8.99.

Le frequenze di picco sono invece distinti in n.4 classi:

- assenza di picco;
- da 0.1 a 4 Hz;
- da 4.01 a 13.0 Hz;
- da 13.01 a 23.95.

### **8.3 CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MS (CGT\_MS)**

La Carta Geologico Tecnica in scala 1:5.000 riporta le unità geologico-litotecniche definite sulla base dei dati raccolti, del rilevamento di campagna e delle indagini pregresse e di nuova realizzazione. Tali unità sono distinte tra substrato geologico e terreni di copertura, di cui viene riportato, dove possibile, l'indicazione dell'ambiente genetico-deposizionale. Sono state inoltre delimitate alcune zone di instabilità di versante.

Nell'area è presente un'unica unità riconducibile al substrato geologico, affiorante in limitate porzioni a monte:

- unità **LPS** (lapideo, stratificato): calcari silicei intercalati a selci cornee di colore rosso, verdognolo o grigio a stratificazione molto sottile (pochi centimetri) e calcari micritici bianchi o grigi-chiari a frattura concoide, in strati regolari da sottili a medi (20 - 50 cm), contenenti liste e noduli di selce bruna o nera, intercalati a peliti verdastre spesse alcuni millimetri.

Tra i terreni di copertura sono invece riportate le seguenti unità:

- unità **GCpi** (ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla / piana inondabile): limi sabbiosi e argillosi inglobanti lenti e livelli di ghiaia sciolta o

debolmente cementata talora a laminazione incrociata, in rapporto con la morfologia e la dinamica attuale dei corsi d'acqua;

- unità **GMca** (ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo / conoide alluvionale): limi sabbiosi e argillosi inglobanti lenti e livelli di ghiaia sciolta o debolmente cementata talora a laminazione incrociata, non in rapporto con la morfologia e la dinamica attuale dei corsi d'acqua, depositati in forma di conoide alluvionale;
- unità **GMtf** (ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo / terrazzo fluviale): limi sabbiosi e argillosi inglobanti lenti e livelli di ghiaia sciolta o debolmente cementata talora a laminazione incrociata, non in rapporto con la morfologia e la dinamica attuale dei corsi d'acqua;
- unità **GWcd** (ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia / conoide detritica): depositi essenzialmente gravitativi, a granulometria variabile, da ben classati a fortemente eterometrici con clasti a spigoli vivi o subangolosi, in accumuli massivi o grossolanamente stratificati. Tale unità è stata distinta sulla base del diverso grado di addensamento in **GWcd1** poco addensato e **GWcd2** molto addensato.

Come anticipato l'unità riconducibile al substrato LPS affiora solamente in porzioni molto ristrette all'estremità di monte dell'area oggetto di MS3. La maggior parte del territorio vede l'affioramento delle unità di copertura ed in particolare verso valle sono riconoscibili nell'ordine, una fascia rappresentata dall'unità GWcd, una fascia che comprende l'unità GMca ed infine un'area di affioramento dell'unità GM tf. Infine al ristretto alveo del torrente Camignano è stata attribuita l'unità GCpi.

Nella carta vengono inoltre delimitate n.5 aree di instabilità di versante non definite per quanto riguarda sia il tipo di instabilità sia l'attività.

Tra le forme di superficie la carta mostra la presenza di un'estesa fascia costituita da falde detritiche e conoidi alluvionali. Le prime coincidono con le unità di copertura GW relative al detrito di falda, a cui è stata attribuita la genesi di conoide detritico, mentre i secondi corrispondono alle unità di copertura GM, non riconducibili alle alluvioni terrazzate, ma con genesi di conoide alluvionale (ca).



Tra gli elementi geologici ed idrogeologici sono invece riportati alcuni sondaggi, già presenti nella Carta delle Indagini, che hanno permesso di definire i litotipi presenti nel sottosuolo. Tali sondaggi sono rappresentati con simbologia diversa in base al fatto di aver raggiunto o meno il substrato geologico (nello specifico solo quello ubicato più a monte l'ha intercettato) e dell'eventuale presenza della falda (n.3 sondaggi). Di tutti viene indicata la profondità raggiunta dalla perforazione ed eventualmente quella della falda.

Infine nella carta sono presenti le tracce delle sezioni geologico-tecniche rappresentative del modello del sottosuolo, restituite in una tavola separata.

#### **8.4 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)**

Sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e sull'analisi dei dati geognostici e geofisici, sono state definite le Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS). Queste sono state distinte dopo aver ricostruito l'assetto stratigrafico, tettonico e geologico-tecnico, le caratteristiche meccaniche e geofisiche delle varie unità, in modo da attribuire a ciascuna MOPS differenti effetti prodotti dall'azione sismica.

I risultati sono restituiti nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) in scala 1:5.000, classificate in tre principali categorie:

- Zone stabili, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (substrato geologico affiorante);
- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale;
- Zone di attenzione per instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti nel territorio.

A ciascuna zona, ad esclusione delle zone di attenzione per instabilità non oggetto del presente studio, è stato associato un modello di sottosuolo che viene rappresentato nella relativa colonna sismostratigrafica. Ogni colonna mostra la sequenza delle unità geologico-tecniche presenti nelle zona MOPS con i relativi spessori e  $V_s$  minimi e massimi e/o medi.

Nell'area è stata delimitata un'unica MOPS riconducibile alle zone stabili:

### **Substrato lapideo stratificato**

- substrato calcareo stratificato (LPS) con  $V_s > 800$  m/s;

Tra le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali si distinguono n.9 MOPS, caratterizzate dalle seguenti sequenze sismostratigrafiche:

### **Zona 1**

- ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo / terrazzo fluviale (GM tf) con spessore di 32 m e  $V_s$  di 280 m/s;
- argille limose (CL) con spessore variabile tra 210 e 230 m e  $V_s$  compresa tra 410 e 640 m/s;
- substrato coesivo sovraconsolidato (COS) con  $V_s > 800$  m/s.

### **Zona 2:**

- ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo / conoide alluvionale (GM ca) con spessore variabile tra 17 e 43 m e  $V_s$  compresa tra 300 e 470 m/s;
- argille limose (CL) con spessore variabile tra 180 e 220 m e  $V_s$  compresa tra 410 e 640 m/s;
- substrato coesivo sovraconsolidato (COS) con  $V_s > 800$  m/s.

**Zona 9:**

- ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo / conoide alluvionale (GM ca) con spessore variabile tra 0 e 37 m e VS compresa tra 300 e 470 m/s;
- ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia / conoide detritica (GW cd2) con spessore variabile tra 0 e 90 m e VS compresa tra 450 e 680 m/s;
- argille limose (CL) con spessore variabile tra 190 e 220 m e VS compresa tra 410 e 640 m/s;
- substrato coesivo sovraconsolidato (COS) con  $VS > 800$  m/s;

**Zona 10:**

- ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia / conoide detritica (GW cd1) con spessore variabile tra 0 e 30 m e VS compresa tra 320 e 420 m/s;
- ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia / conoide detritica (GW cd2) con spessore variabile tra 0 e 100 m e VS compresa tra 450 e 680 m/s;
- argille limose (CL) con spessore variabile tra 160 e 230 m e VS compresa tra 410 e 640 m/s;
- substrato coesivo sovraconsolidato (COS) con  $VS > 800$  m/s;

**Zona 11:**

- ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia / conoide detritica (GW cd1) con spessore variabile tra 12 e 24 m e VS compresa tra 340 e 420 m/s;
- ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia / conoide detritica (GW cd2) con spessore variabile tra 90 e 126 m e VS compresa tra 450 e 680 m/s;
- argille limose (CL) con spessore variabile tra 0 e 180 m e VS compresa tra 410 e 640 m/s;

- substrato lapideo stratificato (LPS) con  $VS > 800$  m/s;

#### **Zona 12:**

- ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia / conoide detritica (GW cd1) con spessore variabile tra 23 e 35 m e VS compresa tra 340 e 420 m/s;
- ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia / conoide detritica (GW cd2) con spessore variabile tra 0 e 126 m e VS compresa tra 450 e 680 m/s;
- substrato lapideo stratificato (LPS) con  $VS > 800$  m/s;

#### **Zona 13:**

- ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla / piana inondabile (GC pi) con spessore di 2.3 m e VS di 240 m/s;
- ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo / conoide alluvionale (GM ca) con spessore variabile tra 0 e 37 m e VS compresa tra 300 e 470 m/s;
- ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia / conoide detritica (GW cd2) con spessore variabile tra 0 e 90 m e VS compresa tra 450 e 680 m/s;
- argille limose (CL) con spessore variabile tra 190 e 220 m e VS compresa tra 410 e 640 m/s;
- substrato coesivo sovraconsolidato (COS) con  $VS > 800$  m/s;

#### **Zona 14:**

- ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla / piana inondabile (GC pi) con spessore di 2.3 m e VS di 240 m/s;
- ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo / conoide alluvionale (GM ca) con spessore variabile tra 17 e 43 m e VS compresa tra 300 e 470 m/s;
- argille limose (CL) con spessore variabile tra 180 e 220 m e VS compresa tra 410 e 640 m/s;

- substrato coesivo sovraconsolidato (COS) con  $VS > 800$  m/s;

#### **Zona 15:**

- ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla / piana inondabile (GC pi) con spessore di 2.3 m e VS di 240 m/s;
- ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo / conoide alluvionale (GM ca) con spessore di 32 m e VS di 280 m/s;
- argille limose (CL) con spessore variabile tra 210 e 230 m e VS compresa tra 410 e 640 m/s;
- substrato coesivo sovraconsolidato (COS) con  $VS > 800$  m/s;

All'interno di alcune delle MOPS individuate, sono state delimitate delle zone di attenzione per instabilità non definita (ZA\_fr), nello specifico:

- **ZA\_fr Zona di attenzione per instabilità non definita – Substrato lapideo calcareo:** n.2 aree in località S.Ambrogio;
- **ZA\_fr Zona di attenzione per instabilità non definita – zona 9:** n.1 aree a monte del complesso S.Lucia;
- **ZA\_fr Zona di attenzione per instabilità non definita – zona 11:** porzione di n.1 area nella zona del Vescovado (la porzione restante ricade in zona 12);
- **ZA\_fr Zona di attenzione per instabilità non definita – zona 12:** porzione di n.1 area (la porzione restante ricade in zona 11) nella zona del Vescovado e n.1 area adiacente a monte delle mura urbiche.

Al di fuori dell'area oggetto di MS3, vengono riportate anche le MOPS derivanti dal precedente studio di MS1 a cui sono associati i relativi modelli del sottosuolo rappresentati dalle colonne stratigrafiche che mostrano le unità geologico-tecniche presenti nel sottosuolo fino alle varie profondità.

Nello specifico è presente un'unica MOPS riconducibile alle zone stabili:

- **Substrato lapideo stratificato:** suolo da 0 a 1 m di profondità dal p.c., poggiante su substrato calcareo stratificato (LPS) presente fino ad almeno 10 m di profondità dal p.c..

Tra le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono state definite n.4 MOPS, caratterizzate dalle seguenti sequenze stratigrafiche:

- **zona 3:** limi inorganici, sabbie fini, limi micacei (MH) da 0 ad almeno 5 m di profondità dal p.c.;
- **zona 4:** ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia (GW) da 0 ad almeno 10 m di profondità dal p.c.;
- **zona 5:** suolo da 0 a 1 m di profondità dal p.c., poggiante su ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla (GC) fino ad almeno 10 m di profondità dal p.c.;
- **zona 8:** suolo da 0 a 1 m di profondità dal p.c., poggiante su ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GM) fino ad almeno 10 m di profondità dal p.c..

In sovrapposizione alle zone vengono riportate le forme di superficie individuate, nello specifico:

- conoide alluvionale: interessa le zone 2 e 9;
- falda detritica: interessa le zone 10, 11 e 12;
- cresta: è individuabile lungo delle pendici del Monte Ingino in corrispondenza di un'area stabile 1011 derivante dal precedente studio di MS1, ma al fuori dell'attuale perimetro oggetto di MS3.

La carta riporta anche le stazioni di misura HVSR pregresse acquisite da precedenti lavori ed ex-novo eseguite nell'ambito dello studio di MS3 e con l'indicazione della frequenza di picco  $f_0$  derivante dalle elaborazioni. Nello specifico si tratta di n.11 registrazioni, di cui n.2 con assenza di amplificazione e le restanti con valori di frequenza di picco compresi tra 0.37 e 23.99 Hz.

### **8.5 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA (MS) DI LIVELLO 3**

Le analisi di risposta sismica locale (RSL) monodimensionale (1D), realizzate su verticali rappresentative delle singole aree indagate, hanno permesso di caratterizzare le relative MOPS interessate, restituendo i risultati in termini di accelerogrammi calcolati in superficie e di fattori di amplificazione in pseudo-accelerazione calcolati per prefissati intervalli di periodi, nonché di spettri di risposta in accelerazione al 5% di smorzamento.

Le classi di intervallo dei periodi di vibrazione di interesse individuate ai fini dell'utilizzo dei risultati degli studi di MS di livello 3, sono state definite in funzione delle caratteristiche strutturali degli edifici (piani in elevazione), come di seguito dettagliato:

- Periodo 0.1-0.5 s
- Periodo 0.4-0.8 s
- Periodo 0.7-1.1 s

Per ciascun intervallo di periodo è stata realizzata la relativa Carta di Microzonazione Sismica di livello 3, in cui ad ogni MOPS viene associata una classe del parametro di amplificazione in cui ricade il fattore di amplificazione FA ricavato dalle analisi.

Per ogni MOPS inoltre sono stati prodotti i seguenti documenti:

- n. 7 accelerogrammi calcolati in superficie, uno per ogni spettro di input;
- n. 7 spettri di risposta elastici al 5% di smorzamento in superficie, uno per ogni spettro di input;
- categoria di sottosuolo da NTC e valore di VS30 relativi ai soli Down Hole realizzati.

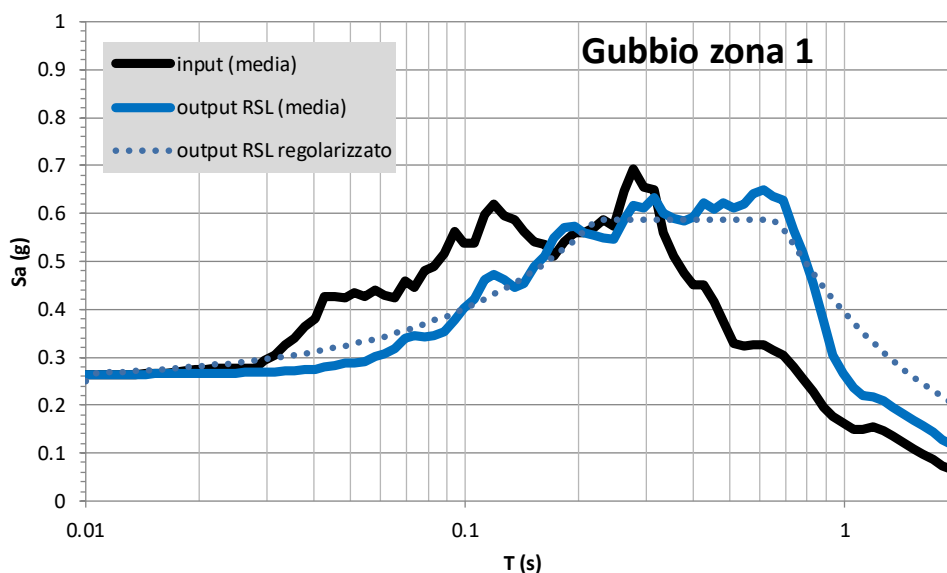
Nell'area oggetto di MS3 sono presenti solo n.3 MOPS relative a zone stabili, n.2 in località San Donato e n.1 in località Sant'Ambrogio, tutte ubicate quindi all'estremità di monte. Queste corrispondono all'affioramento del substrato lapideo stratificato (LPS) a cui è stato associato un parametro di amplificazione pari a 1. Le altre MOPS si riferiscono a zone di attenzione per instabilità di versante, non oggetto della parametrizzazione del presente studio, e a zone stabili suscettibili di amplificazione.

Nella seguente tabella sono riportati i valori di FA ricavati per ogni MOPS per ciascun intervallo di periodo e le classi in cui ricade l'FA, che sono riportate nelle Carte di Microzonazione di livello 3.

MOPS	Vs,eq	Cat.NTC	FA 0.1-0.5 s		FA 0.4-0.8 s		FA 0.5-1.1 s	
	valore	Categ.	valore	classe	valore	classe	valore	classe
1011	>800	A	1	<1.05	1	<1.05	1	<1.05
2001	280	C	1.16	1.1-1.2	1.90	1.9-2.0	1.81	1.9-2.0
2002	400	B	1.20	1.1-1.2	1.46	1.5-1.6	1.30	1.3-1.4
2009	456	B	1.08	1.1-1.2	1.19	1.1-1.2	1.19	1.1-1.2
2010	462	B	1.07	1.1-1.2	1.18	1.1-1.2	1.17	1.1-1.2
2011	443	B	1.17	1.1-1.2	1.31	1.3-1.4	1.17	1.1-1.2
2012	384	B	1.47	1.5-1.6	1.94	1.9-2.0	2.12	2.1-2.2
2013	420	B	1.13	1.1-1.2	1.22	1.1-1.2	1.22	1.1-1.2
2014	380	B	1.21	1.1-1.2	1.49	1.5-1.6	1.32	1.3-1.4
2015	276	C	1.13	1.1-1.2	1.87	1.9-2.0	1.89	1.9-2.0

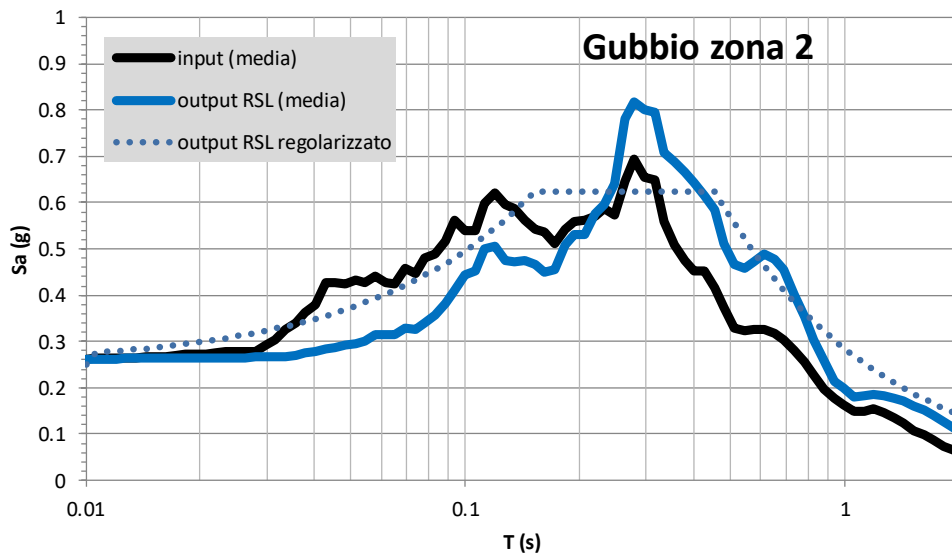
Tab. 8.5.1/A Valori di FA e relative classi per ciascuna MOPS e per ciascun intervallo di periodo compresa la Vseq e Cat. NTC

Di seguito si riportano gli spettri medi per ciascuna MOPS, ottenuti mediando i 7 spettri di risposta in accelerazione:

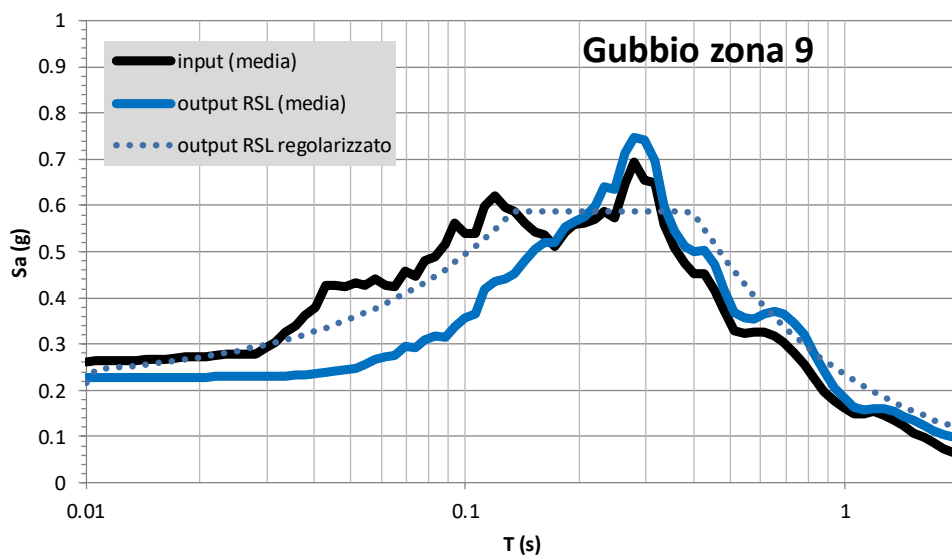


Tab. 8.5.1/B Spettro medio MOPS 2001

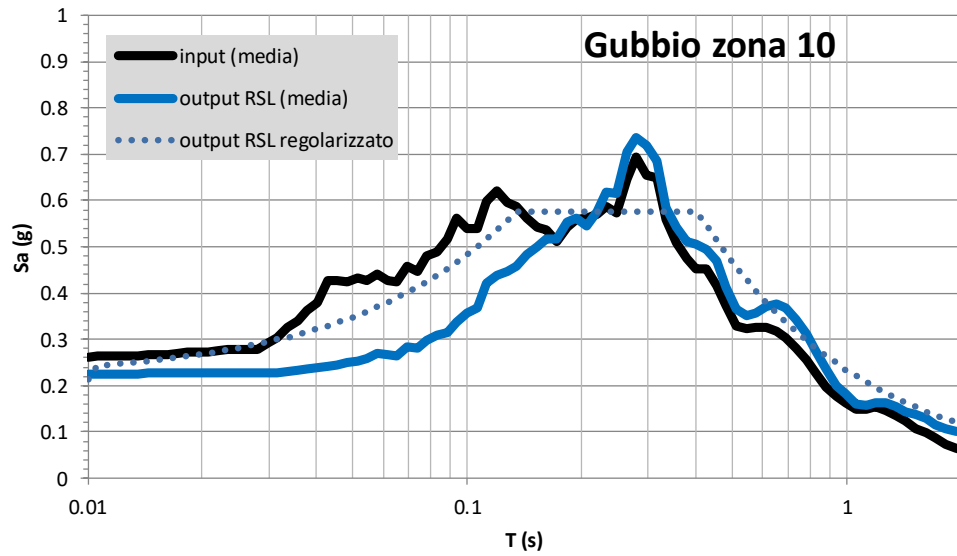




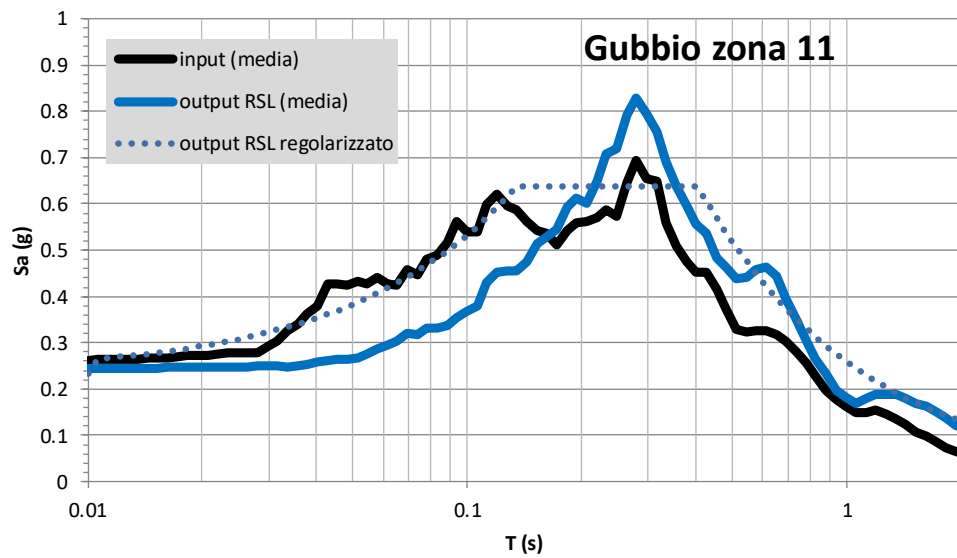
Tab. 8.5.1/B Spettro medio MOPS 2002



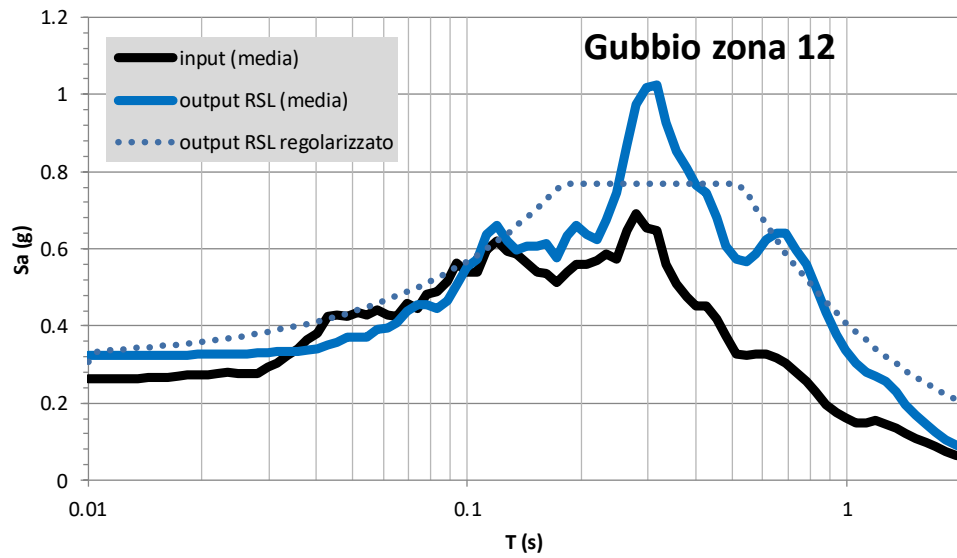
Tab. 8.5.1/B Spettro medio MOPS 2009



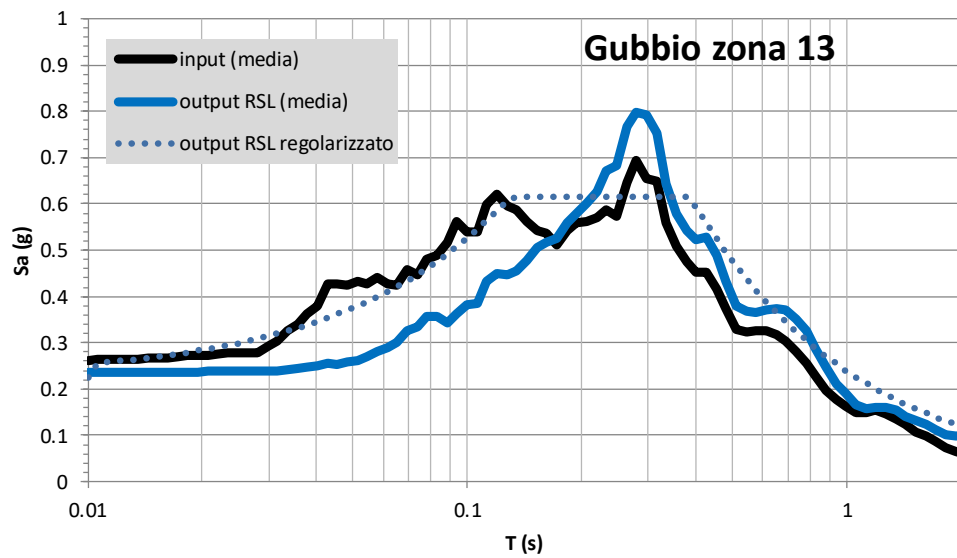
*Tab. 8.5.1/B Spettro medio MOPS 2010*



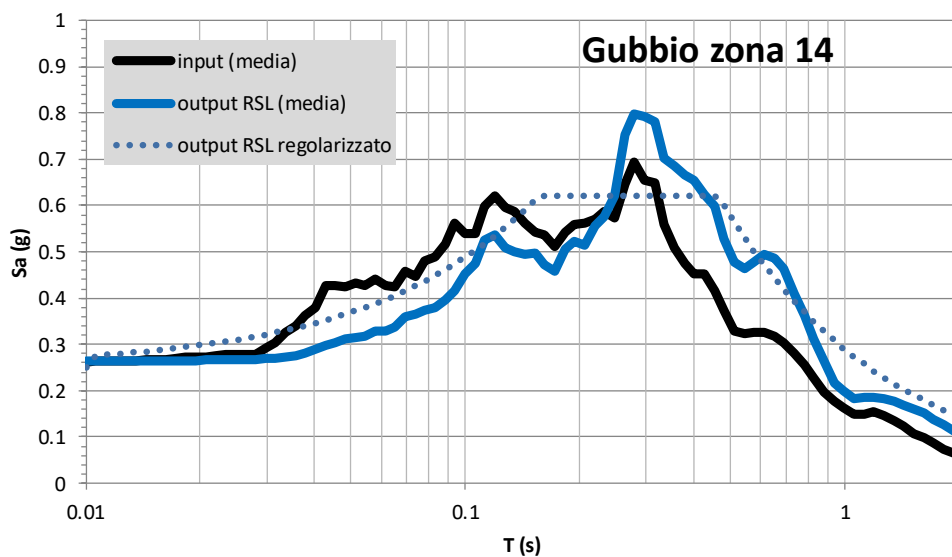
*Tab. 8.5.1/B Spettro medio MOPS 2011*



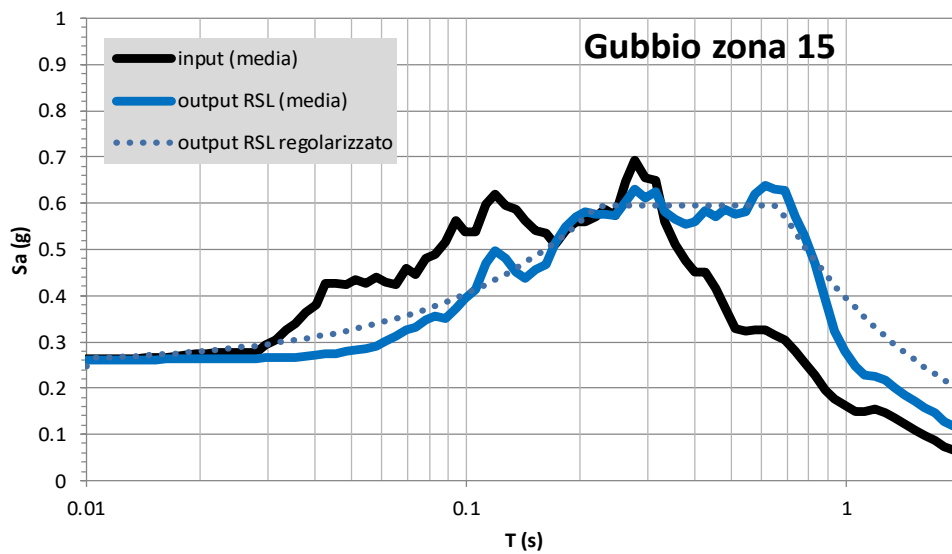
*Tab. 8.5.1/B Spettro medio MOPS 2012*



*Tab. 8.5.1/B Spettro medio MOPS 2013*



Tab. 8.5.1/B Spettro medio MOPS 2014



Tab. 8.5.1/B Spettro medio MOPS 2015

## 8.6 COMMENTI E CRITICITÀ

I risultati dello studio di Microzonazione Sismica derivano dall'integrazione tra i dati bibliografici raccolti, le indagini eseguite, le interpretazioni geologiche e geofisiche e le modellazioni numeriche.

Le informazioni reperite sono risultate sufficienti ad avere un quadro iniziale della stratigrafia e delle caratteristiche geotecniche e geofisiche solo per quanto riguarda alcune delle aree oggetto di studio e alcune delle unità affioranti o intercettate in profondità. Le problematiche e le incertezze maggiori hanno riguardato:

- la definizione del modello di sottosuolo delle aree pedemontane per le quali i dati bibliografici disponibili sono prevalentemente riferiti a profondità limitate e spesso riferiti ad indagini di tipo indiretto, poco utili in considerazione alla presenza di una sequenza litostratigrafica articolata e complessa
- all'individuazione del basamento sismico in prossimità della fascia di valle dell'area di studio in considerazione dei notevoli spessori dei depositi fluvio-lacustri che caratterizzano il bacino.

La definizione dello spessore delle coperture presenti al disopra del substrato sismico ( $V_s > 800 \text{ m/s}$ ) è stato eseguito sulla base dei risultati delle indagini geofisiche svolte nell'ambito del presente lavoro integrate da quelle reperite relative allo studio precedente di Microzonazione di Livello II oltre che dalle informazioni bibliografiche raccolte.

Nella zona di valle analizzando i risultati dei precedenti lavori e utilizzando i dati di inversione della sismica passiva HVSR eseguite, è stato possibile stimare la profondità del substrato sismico intorno ai 200 m di profondità, interpretato come un orizzonte coesivo sovraconsolidato stratificato (COS) della sequenza fluvio-lacustre pleistocenica all'interno del bacino.

Nella zona verso monte il modello del sottosuolo interpretato mostra sempre un primo orizzonte con coperture granulari superficiali di diverso tipo e genesi in sovrapposizione tra loro e/o in contatto laterale anche discordante ma vede il proprio spessore crescere a causa dell'innalzamento topografico e della presenza di depositi associati al conoide. L'intera sequenza verso monte è in contatto con il substrato

lapideo stratificato (LPS) che affiora a monte della sezione e si immerge bruscamente verso valle a causa della presenza di una faglia diretta. Questo elemento strutturale ha ribassato le unità di tetto e risulta sepolto dai depositi del conoide recenti.

Dal modello del sottosuolo così definito sono state definite le Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS). Queste sono state distinte dopo aver ricostruito l'assetto stratigrafico, tettonico e geologico-tecnico, le caratteristiche meccaniche e geofisiche delle varie unità, in modo da attribuire a ciascuna MOPS differenti effetti prodotti dall'azione sismica.

Le analisi di risposta sismica locale (RSL) monodimensionale (1D), realizzate su verticali rappresentative delle singole aree indagate, hanno permesso di caratterizzare le relative MOPS interessate, restituendo i risultati in termini di accelerogrammi calcolati in superficie e di fattori di amplificazione in pseudo-accelerazione calcolati per prefissati intervalli di periodi, nonché di spettri di risposta in accelerazione al 5% di smorzamento. Le classi di intervallo dei periodi di vibrazione di interesse individuate ai fini dell'utilizzo dei risultati degli studi di MS di livello 3, sono state definite in funzione delle caratteristiche strutturali degli edifici (piani in elevazione), come di seguito dettagliato:

- Periodo 0.1-0.5 s
- Periodo 0.4-0.8 s
- Periodo 0.7-1.1 s

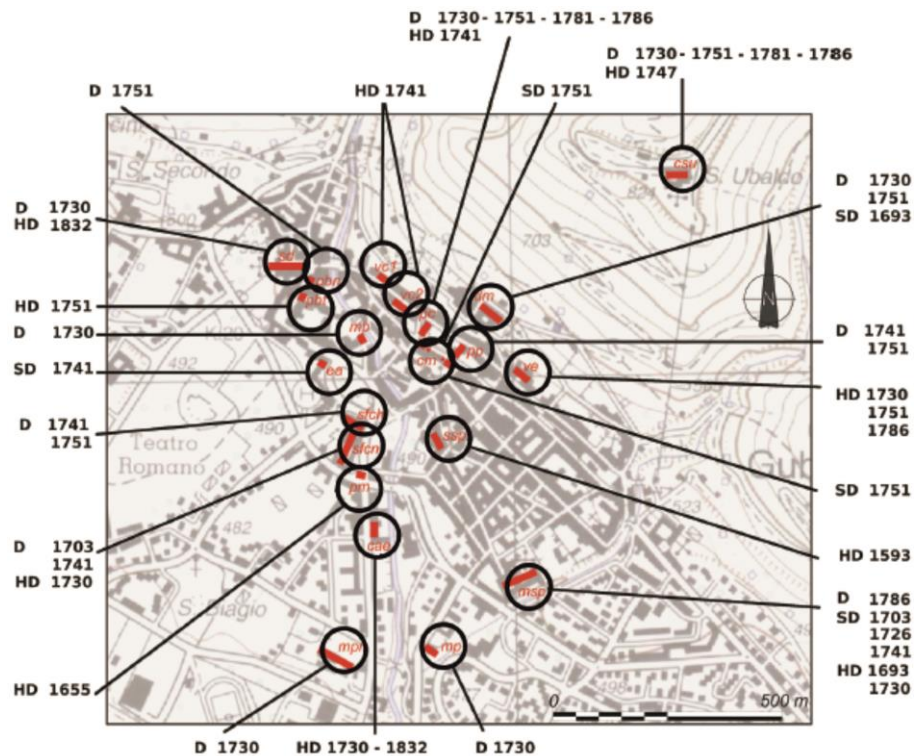
Per ciascun intervallo di periodo è stata realizzata la relativa Carta di Microzonazione Sismica di livello 3, in cui ad ogni MOPS viene associata una classe del parametro di amplificazione in cui ricade il fattore di amplificazione FA ricavato dalle analisi.

Dallo studio eseguito risulta che l'intera area del centro storico è caratterizzata da valori di amplificazione sostanzialmente omogenei per tutte le classi di FA. Ai bassi periodi l'omogeneità della risposta sismica si estende a tutta l'area di studio con bassi valori di FA, simili in tutti i punti di analisi, ad esclusione della porzione all'estremità di monte (MOPS 2012) dove il fattore di amplificazione aumenta. Nei periodi più alti invece i valori di FA tendono ad essere assimilabili tra loro per fasce altimetriche, parallelamente alla piana di Gubbio.

## **9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI**

I terremoti locali al di sopra della soglia del danno si concentrano soprattutto nel periodo compreso tra l'ultimo decennio del Cinquecento e il penultimo decennio del Settecento (1593, 1655, 1693, 1703, 1726, 1730, 1786). Nell'Ottocento e nella prima metà del Novecento vengono riportati due soli terremoti locali che hanno superato la soglia del danno (1861, 1927). Infine nella seconda metà del Novecento diversi eventi sismici di moderata energia hanno causato danni generalmente lievi nel settore settentrionale della Provincia di Perugia e in particolare nel territorio eugubino (1961, 1971, 1973, 1974, 1982, 1984). Sono citati anche tre terremoti regionali con effetti registrati a Gubbio: quelli del 1741 di Fabriano, del 1751 di Gualdo Tadino e del 1781 di Cagli. Per altri due eventi di origine non locale (1747 di Nocera Umbra, 1828 dell'Appennino) sono disponibili attestazioni di danno più generiche o incerte.

Dalla ricerca gli edifici interessati da danni causati da eventi sismici sono per lo più pubblici e/o monumentali ubicati nell'attuale centro storico di Gubbio, in particolare il Palazzo dei Consoli, il palazzo vescovile, il Duomo, la chiesa di Sant'Ubaldo, il monastero di San Pietro e il convento di San Francesco. La fig. mostra la distribuzione e ricorrenza del danneggiamento sismico nel centro storico.



*Fig. 2.1/C Distribuzione e ricorrenza del danneggiamento sismico nel centro storico di Gubbio (Castelli V. et al., 2016)*

In base alla ricostruzione presentata apparentemente la maggior parte degli edifici urbani per cui sono disponibili attestazioni di danno da terremoti storici si concentra nella porzione NO del centro storico, corrispondente ai quartieri di San Giuliano e San Martino. In realtà la lacuna di danno nel settore di SE, relativo ai quartieri di Sant'Andrea e San Pietro, è dovuta ai limiti nella raccolta dei dati storici di base. Infatti è stata data priorità data alla consultazione di archivi di enti pubblici (archivio comunale e archivio diocesano) a scapito di quelli di privati (corporazioni religiose, famiglie) e quindi sono state reperite meno informazioni riguardo al quartiere di Sant'Andrea, in cui il tessuto edilizio è più rarefatto a causa della presenza di numerosi monasteri di clausura, ciascuno dei quali occupava ampi tratti di terreno cinti da mura e destinati a uso di giardino e orto privato, e riguardo al quartiere di San Pietro in cui il tessuto edilizio è più denso ma sono presenti numerosi edifici significativi per lo più appartenenti a privati. Pur nella sua lacunosità - la ricostruzione fornisce alcuni dati conoscitivi che confermerebbero le considerazioni formulate negli studi di



microzonazione di Bindi et al. del 2009 in merito alla sostanziale omogeneità della risposta sismica dei terreni nell'area urbana di Gubbio.

Anche l'attuale studio di MS3 individua per la zona del centro storico valori di amplificazione sostanzialmente omogenei per tutte le classi di FA. Ai bassi periodi l'omogeneità della risposta sismica si estende a tutta l'area di studio con bassi valori di FA, simili in tutti i punti di analisi, ad esclusione della porzione all'estremità di monte (MOPS 2012) dove il fattore di amplificazione aumenta. Nei periodi più alti invece i valori di FA tendono ad essere assimilabili tra loro per fasce altimetriche, parallelamente alla piana di Gubbio. Non avendo a disposizione dati sul danneggiamento al di fuori dell'area urbana, non è stato possibile attuare ulteriori confronti con i risultati delle analisi eseguite.

## 10. BIBLIOGRAFIA

Albarelo D., Cesi C., Eulilli V., Guerrini F., Lunedei E., Paolucci E., Pileggi D. & Puzilli L.M. (2011) – “The contribution of the ambient vibration prospecting in seismic microzoning: an example from the area damaged by the april 6, 2009 L'Aquila (Italy) earthquake” – *Boll. Geof. Teor.*

Arai H., Tokimatsu K. (2004) - *S-wave velocity profiling by inversion of microtremor H/V spectrum*, *Bull. Seism. Soc. Am.* 94, 53-63.

Autorità di Bacino del Fiume Tevere - P.A.I. - Piano stralcio di Assetto Idrogeologico

Barnaba P. F. (1958) – *Geologia dei Monti di Gubbio*, *Boll. Soc. Geol. It.* 77 (3), 39-70.

Böhm, G., Rossi G., Vesnaver A., 1999. *Minimum time ray-tracing for 3-D irregular grids*, *J. of Seism. Expl.*, 8: 117-131

Böhm, G., Galuppo, P. and Vesnaver, A. (2000) - *3D adaptive tomography by delaunay triangles and Voronoi polygons*. *Geophysical Prospecting* 48, 723-744.

Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G. e Gasperini P. (eds.), 1997. *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990*, 2. ING-SGA, Bologna, 644 pp.

Boschi E., Cocco M., “*Studi Preliminari sulla sequenza sismica dell'appennino Umbro-Marchigiano del settembre-ottobre 1997*”, Istituto Nazionale di Geofisica.

Barchi M.R. (1991) - *Integration of a seismic profile with surface and subsurface geology in a cross section through the Umbria-Marche appennines*. *Boll. Soc. Geol. It.* 110, 469-479

Barchi M., Cardinali M., Chiraz P., Collettini C., Federico C., Guzzetti F., Magnani M.B., Minelli G., Mirabella F., Pauselli C., Pialli G., Pucci S., Troiani E. - *Integrazione di dati geofisici e geologici per la caratterizzazione delle strutture sismogenetiche di Colfiorito e di Gubbio*

Calamita F., Centamore E., Chiocchini U., Deiana G., Micarelli A., Potetti M., Romano A. - *Analisi dell'evoluzione tettonico-sedimentaria dei "bacini minori" torbidi del Miocene medio-superiore nell'Appennino umbro-marchigiano e laziale-abruzzese*, 1988.

Cardarelli, E. (2007) - *Technical report – Indagini sismiche in foro in località Gubbio (PG)*, in Italian, 10 pp.

Carrion, P., Böhm, G., Marchetti, A., Pettenati, F. e Vesnaver, A. (1993) - *Reconstruction of lateral gradients from reflection tomography*. *Journal of Seismic Exploration* 2, 55-67.

Castelli V., Camassi R., Cattaneo M., Cece F., Menichetti M., Sannipoli E. A., Monachesi G. - *Materiali per una storia sismica del territorio di Gubbio: terremoti noti e ignoti, riscoperti e rivalutati*  
<http://www.ingv.it/editoria/quaderni/2016/quaderno133/>

CNR – IRPI di Perugia - *Nuova Carta Inventario dei Movimenti Franosi della Regione Umbria anno 2001*.

Coltorti M. (1994) - *The Pleistocene basin of Gubbio (central Italy): geomorphology, genesis and evolution*. Editor: Malone Caroline, Stoddart Simon. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom (GBR) 17-25

*Comune di Gubbio - P.R.G. Comune Gubbio.*

*Comune di Gubbio - Archivio generale Ufficio Tecnico.*

*Crespellani T., Garzonio C. A. (1997) - Seismic risk assessment for the preservation of historical buildings in the City of Gubbio. Editor: Viggiani Carlo. Balkema, Rotterdam, Netherlands (NLD) p.129-138.*

*Crespellani T., Garzonio C. A. (1988) – Seismic risk analysis in the historical and monumental city of Gubbio (Italy). Editor: Marinos, Paul G., Koukis, George C. A. A. Balkema, Rotterdam, Netherlands (NLD) p.1225-1231.*

*D’Amico, V., Picozzi M., Albarello D., Naso G., Tropenscovino S. (2004) - Quick estimates of soft sediment thicknesses from ambient noise horizontal to vertical spectral ratios: a case study in southern Italy, J. Earthquake Eng. 8, 895-908.*

*DISS Working Group, 2010. Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. INGV, Rome. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>*

*Fäh, D., Kind F., Giardini D. (2001). A theoretical investigation of average H/V ratios, Geophys. J. Int. 145, 535-549.*

*Fiorini E., Pacor F., Bindi D. (UR1), Rovelli A., Cara F., Di Giulio G., Milana G., Monachesi G. (UR2), Nieto D., Bohm G. (UR3), Albarello D., D’Amico V., Picozzi M. (UR4), Muccirelli M. (UR6), Scarascia Mugnozza G., Rivellino S. (UR11), Menichetti M. (Università di Urbino), Parolai S., Richwalski S., Orpsal I. (GFZ – Potsdam) (2007) – Task 6 – Gubbio – Deliverable D21 Geological Model of the Gubbio Basin (Italy) for the characterisation of local seismic response.*

*GE.MI.NA. (1963) – Ligniti e torbe dell’Italia centrale, GE.MI.NA., Geomineraria Nazionale, Roma p.319.*

*Gruppo di lavoro MS, Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica" Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della Protezione Civile (2009).*

*Herrmann R. B. (2002) - Computer Programs in Seismology, Version 3.2, Saint Louis University.*

*“Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” aggiornamento degli “StandardMS\_4.1, SoftMS\_v3”, a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, ottobre 2017*

*Ibs-von Seht, M., and J. Wohlenberg (1999). Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments, Bull. Seism. Soc. Am. 89, 250-259.*

*Ishibashi I. and Zhang X. (1993) - Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay”, Soils and Foundations, 33(1), 182-191.*

*ISID e Working Group (INGV, 2010), Italian Seismological Instrumental and parametric database:<http://iside.rm.ingv.it>*

*ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale- Servizio Geologico d'Italia, GeoMapView, <http://sgi1.isprambiente.it/GeoMapView/>*

ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia), <http://193.206.192.136/cartanetiffi/#>

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale,  
<http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci/>

Lachet, C., Bard P.-Y. (1994) - Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique, *J. Phys. Earth* 42, 377-397.

Lavecchia G., Barchi M., Brozzetti F. (1994) - Recent tectonics and active stress field in the Umbria-Marche Apennines. *Memorie della Società Geologica Italiana* vol. 48, part. 2 pp. 535-537, 1994.

Locati M., Camassi R., Stucchi M., 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>. DOI:10.6092/INGV.IT-DBMI11

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. DOI: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>

Menichetti M., Minelli G. (1991) - Extensional tectonics and seismogenesis in Umbria (central Italy) the Gubbio area. *Boll. Soc. Geol. It.* Vol. 110, n. 3-4 pp. 857-880.

Menichetti M., Pialli G. (1986) – Geologia strutturale del Preappennino Umbro tra i Monti di Gubbio e la catena del M. Petrano - M. Cucco. *Mem. Soc. Geol. It.*, 35 (1986), 371-388.

Menichetti M. (1992) - Evoluzione tettonico-sedimentaria della valle di Gubbio. *Studi Geologici Camerti* Vol. Spec. 1992/1, 155-163.

Rovida A., Camassi R., Gasperini P. e Stucchi M., 2011. CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>, DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI11.

Mirabella F., Ciaccio M. G., Barchi M. R., Merlini S. (2004) - The Gubbio normal fault (Central Italy): geometry, displacement distribution and tectonic evolution. *Journal of Structural Geology*, v. 26, iss. 12, p. 2233-2249 12/2004.

Nakamura, Y. (2000). Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications, *Proc. XII World Conf. Earthquake Engineering, New Zealand, Paper n. 2656*.

Nelder J.A., and Mead R. (1965) A simplex method for function minimization. *Comp. J.* 7, 308-313.

Ohori M., Nobata A., and Wakamatsu K. (2002). A comparison of ESAC and FK methods of estimating phase velocity using arbitrarily shaped microtremor analysis, *Bull. Seism. Soc. Am.* 92, 2323-2332.

Okada H. (2003) - The Microtremor Survey Method. *Geophys. Monograph Series, SEG*, 129 pp.

Parolai S., Picozzi M., Richwalski S.M., and Milkereit C. (2005) - Joint inversion of phase velocity dispersion and H/V ratio curves from seismic noise recordings using a genetic algorithm, considering higher modes, *Geoph. Res. Lett.* 32, doi: 10.1029/2004GL021115.

Pauselli C., Marchesi R., Barchi M. R. (2002) – Seismic image of the compressional and extensional structures in the Gubbio area (Umbrian-Pre Apennines). *Boll. Soc. Geol. It., Volume speciale n. 1* (2002), 263-272.

Picozzi M., Albarello D. (2007) - *Genetic and linearized algorithms for the joint inversion of Rayleigh wave dispersion curves and H/V spectral ratios from environmental noise recordings: a case study in the Po river valley (Northern Italy)*, submitted to *Geophys. J. Int.*

Picozzi M., Parolai S., Richwalski S.M. (2005) - *Joint inversion of H/V ratios and dispersion curves from seismic noise: Estimating the S-wave velocity of bedrock*, *Geoph. Res. Lett.* 32, No.11 doi: 10.1029/2005GL022878

PS3-Deliverables D20 (2007) - Task6 – GUBBIO - Deliverables D20 – *Bedrock Shaking scenarios*, July 2007.

PS3-Deliverables D22-D23 (2007) - Task6 – GUBBIO - Deliverables D22-D23 - *Shaking scenarios including site effects*, July 2007.

Pucci S., De Martini P.M., Pantosti D., Valensise G. (2003) – *Geomorphology of the Gubbio Basin (Central Italy): understanding the active tectonics and earthquake potential*. *Annals of Geophysics N. 5 October 2003 Vol. 46*, 837-864.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Loli B., Gasperini P. (eds), 2016. *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. DOI:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>.

Seed H.B., Idriss I.M. (1971) – *Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential*. *ASCE J. of Soil Mech. & Found. Division*, Vol. 97 (9), 1249-1273.

Selvaggi G., Sylos Labini S. (1989) - *Analisi sismotettonica del bacino di Gubbio*. *Atti 8° Convegno Annuale G.N.G.T.S., Roma 7-9 novembre 1989, Volume 1*, 67-72.

SESAME European project, 2005. *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations - Measurements, processing and interpretation*. Deliverable D23.12. [http://sesamefp5.obs.ujf-grenoble.fr/SES\\_TechnicalDoc.htm](http://sesamefp5.obs.ujf-grenoble.fr/SES_TechnicalDoc.htm)

Tokimatsu K. (1997) - *Geotechnical site characterization using surface waves*, *Earthquake Geotech. Eng.* 1333-1368.

Vesnaver A., Böhm G., (2000) - *Staggered or adapted grids for seismic tomography? The Leading Edge*, 9, 944-950.

Vesnaver A., Böhm G., Madrussani G., Rossi G., Granser H. (2000) - *Depth imaging and velocity calibration by 3D adaptive tomography*, *First Break*, 18, 303-312.

Vesnaver A., Böhm G., Madrussani G., Petersen S., Rossi G. (1999) - *Tomographic imaging by reflected and refracted arrivals at the North-Sea*, *Geophysics*, 64,6 1852-1862.

Vucetic M., Dobry R. (1991) - *“Effect of soil plasticity on cyclic response”*, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 117(1), 89-107.

Wathelet M. (2005) - *Array recordings of ambient vibrations: surface waves inversion*, *PhD Thesis*, University of Liege, Belgium, 177 pp.

Working Group ITACA (2010) - *Data Base of the Italian strong motion records*. INGV, Milan. <http://itaca.mi.ingv.it>

*Yamanaka H., Ishida H. (1996) - Application of genetic algorithms to an inversion of surface-wave dispersion data, Bull. Seism. Soc. Am. 86, 436-444.*

*Yamanaka H., Takemura M., Ishida H., Niwa M. (1994) - Characteristics of long period microtremors and their applicability in the exploration of deep sedimentary layers, Bull. Seism. Soc. Am. 84, 1831-1841.*

*Zhang J., Andrus R.D., Juang, C.H. (2005) - "Normalized Shear Modulus and Material Damping Ratio Relationships". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 131(4),453-464.*

## **11. ALLEGATI**

- **Carta delle indagini** in scala 1:5.000
- **Carta delle frequenze naturali dei terreni** in scala 1:5.000
- **Carta geologico-tecnica per la MS (CGT\_MS)** in scala 1:5.000
- **Sezioni geologico-tecniche** in scala 1:5.000
- **Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)** in scala 1:5.000
- **Carta di Microzonazione Sismica (MS) di Livello 3** – FA 0.1-0.5 s – FA 0.4-0.8s – FA 0.7-1.1s in scala 1:5.000
- **Report Indagini di nuova Esecuzione**