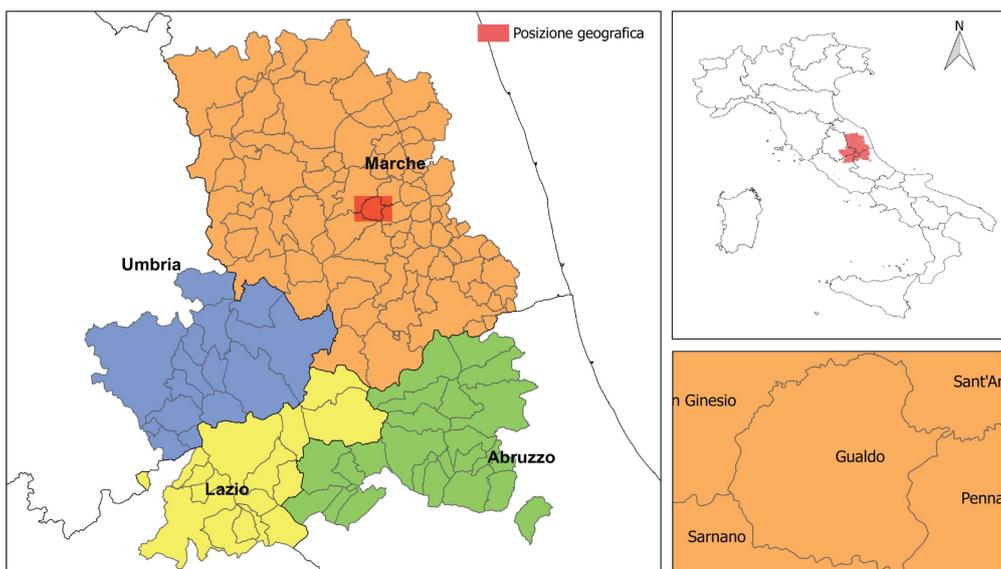


Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Gualdo ai sensi
dell'Ordinanza del Commissario Straordinario n. 24 registrata
il 15 maggio 2017 al n. 1065

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione

Regione Marche Comune di Gualdo



Soggetto Realizzatore

Geol. Paolo Tiberi

Collaboratori

Geol. Fabio Cataldi

Geol. Sandro Venanzi

Data e revisione

Dicembre 2017

CENTROMS
CENTRO PER LA
MICROZONAZIONE SISMICA
E LE SUE APPLICAZIONI

INDICE

1. INTRODUZIONE	pag.	2
1.1 Riferimenti normativi e specifiche tecniche	pag.	3
1.2 Selezione e delimitazione delle aree di indagine	pag.	3
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	pag.	4
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA E ASSETTO GEOLOGICO STRUTTURALE	pag.	10
3.1 Caratteristiche Geologiche	pag.	10
3.2 Caratteristiche Geomorfologiche	pag.	13
4. MODELLO DEL SOTTOSUOLO	pag.	17
4.1 Dati geologico stratigrafici	pag.	18
4.2 Dati geologico strutturali	pag.	24
5. METODOLOGIE DI LAVORO	pag.	28
5.1 Elaborati cartografici	pag.	28
5.2 Raccolta dati esistenti. Carta delle Indagini	pag.	29
5.3 Informatizzazione dati	pag.	29
5.4 Descrizione della carta Geologico-Tecnica	pag.	31
5.5 Dati geotecnici	pag.	33
5.5 Dati geofisici	pag.	33
5.7 Strumentazione per indagine sismica DOWN-HOLE	pag.	35
5.8 Indagini sismiche tipo DOWN-HOLE	pag.	37
5.9 Indagine sismica mediante MASW	pag.	37
5.10 Indagine sismica mediante HVSR	pag.	37
5.11 Sondaggio a carotaggio continuo condizionato per misure down-hole	pag.	40
5.12 Interpretazioni ed incertezze	pag.	41
5.13 Carta delle sezioni geologiche	pag.	41
5.14 Carta delle frequenze naturali dei terreni	pag.	42
5.15 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica	pag.	42
5.16 Caratteristiche sismostratigrafiche delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale	pag.	44
5.17 Determinazione delle Vs30 e categoria di sottosuolo	pag.	49
5.18 Scelta dell'input sismico (fornito dal Centro MS)	pag.	49
5.19 Simulazioni numeriche a cura dal Centro MS per la simulazione 2D	pag.	49
5.20 Risultati	pag.	50
5.21 Carte dei fattori di amplificazione	pag.	50
6. COMMENTI FINALI E CRITICITÀ	pag.	51
7. BIBLIOGRAFIA	pag.	52

1-INTRODUZIONE

Lo studio di Microzonazione sismica di livello 3 del centro abitato di Gualdo (MC) è stato realizzato con metodologie e procedure finalizzate alla redazione di cartografie di Microzonazione Sismica, secondo i dettami degli Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica, approvati dalla Conferenza delle Regioni in data 13 novembre 2008, i quali hanno il merito di aver omogeneizzato le metodologie di studio e le procedure (sia sotto il profilo formale sia sostanziale), creando un modus operandi condiviso nel panorama nazionale di settore.

Il livello 3 rappresenta il livello più approfondito di indagini, che permette di giungere ad una microzonazione di dettaglio del territorio, basata su metodologie di analisi di tipo quantitativo.

Lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 1, rappresenta un livello propedeutico ai successivi studi di MS (Livello 2 e Livello 3) e consiste in una raccolta organica e ragionata di dati di natura geologica, geofisica e geotecnica e delle informazioni preesistenti e/o acquisite appositamente al fine di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS).

1.1. Riferimenti normativi e specifiche tecniche

Lo studio e le indagini sono state condotte in ottemperanza alle seguenti normative di riferimento:

- OPCM 293/2015 – Effettuazione delle indagini di Microzonazione Sismica (MZS) – Decreto n° 138/DPS del 09/08/2016

Le specifiche tecniche e gli standard di riferimento con la quale è sono stati realizzati gli elaborati cartografici per lo studio di MS sono i seguenti:

- Standard di rappresentazione e archiviazione informatica (Versione 4.0b), approvati dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n.3907);
- Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica – Dipartimento di Protezione Civile Nazionale (ICMS)- approvati il 13 novembre 2008 dalla conferenza delle Regioni e delle Province autonome.

1.2 Selezione e delimitazione delle aree di indagine

Le aree di indagine sono state scelte e localizzate in corrispondenza della area urbanizzata delimitata in accordo con l'UTC del Comune di Gualdo.

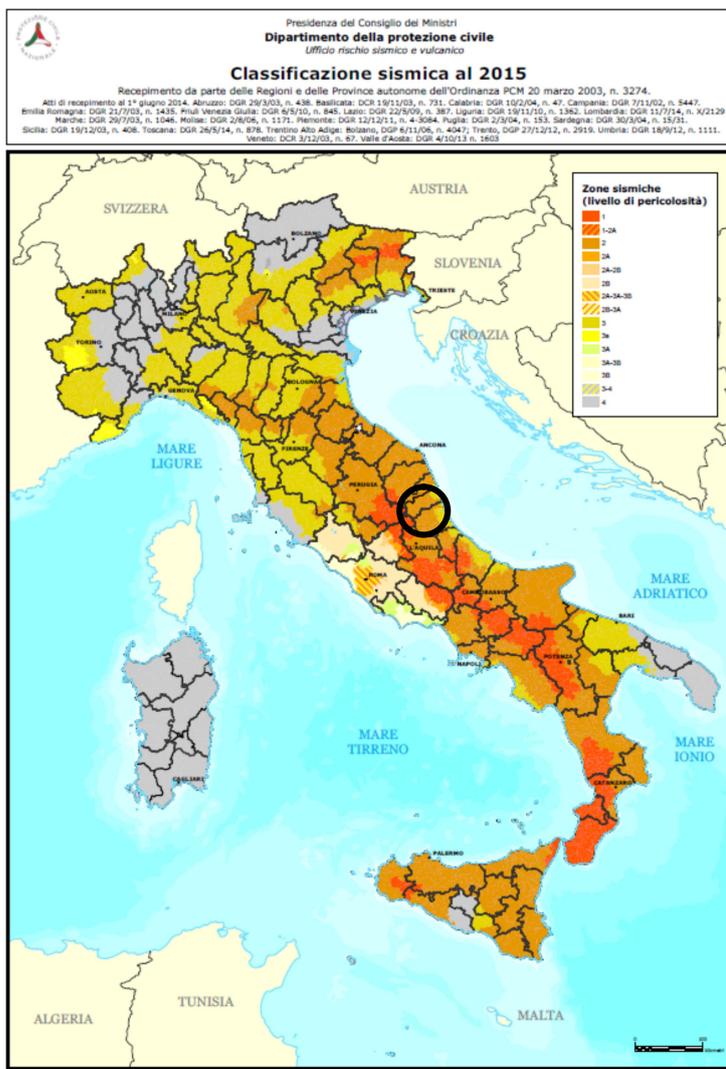
Risulta ormai largamente riconosciuto che la microzonazione sismica (MZS) è uno strumento molto utile per il governo del territorio, per la progettazione e per la pianificazione per l'emergenza ai fini della prevenzione sismica e della valutazione del rischio sismico.

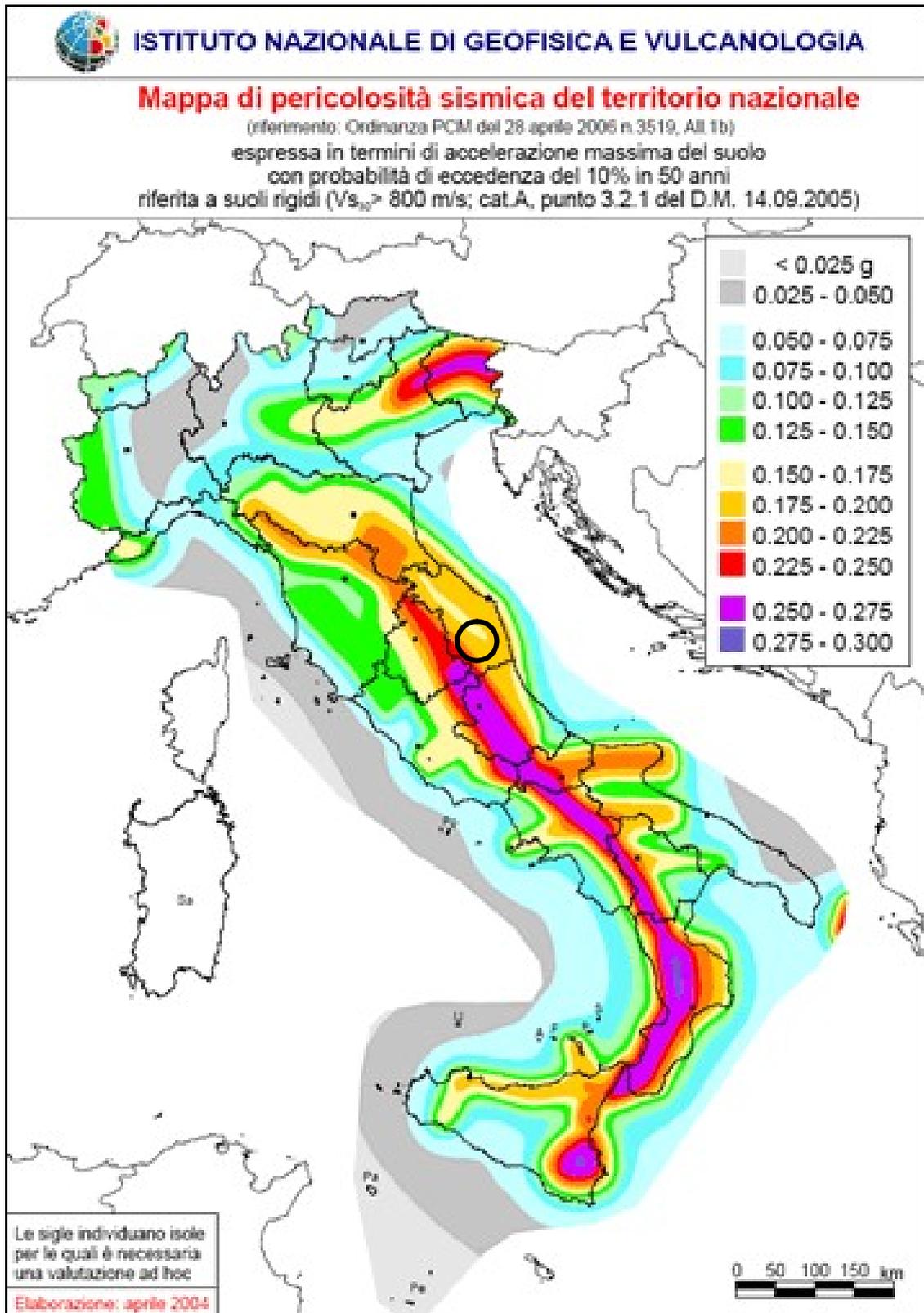
La microzonazione sismica ha infatti lo scopo di individuare e riconoscere, ad una scala sufficientemente di dettaglio (comunale o sub comunale), le condizioni geologiche locali che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso (ampiezza dello scuotimento) o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

Il territorio del Comune di Gualdo è stato classificato di seconda categoria ai sensi del decreto del 10.02.1983, pubblicato sulla G.U. n° 80 del 23.03.1983 (S=9,C=0.07, D.M. 03.03.1975) e confermato dalla Nuova Classificazione Sismica del territorio nazionale effettuata dal Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Servizio Sismico Nazionale (marzo 2003).

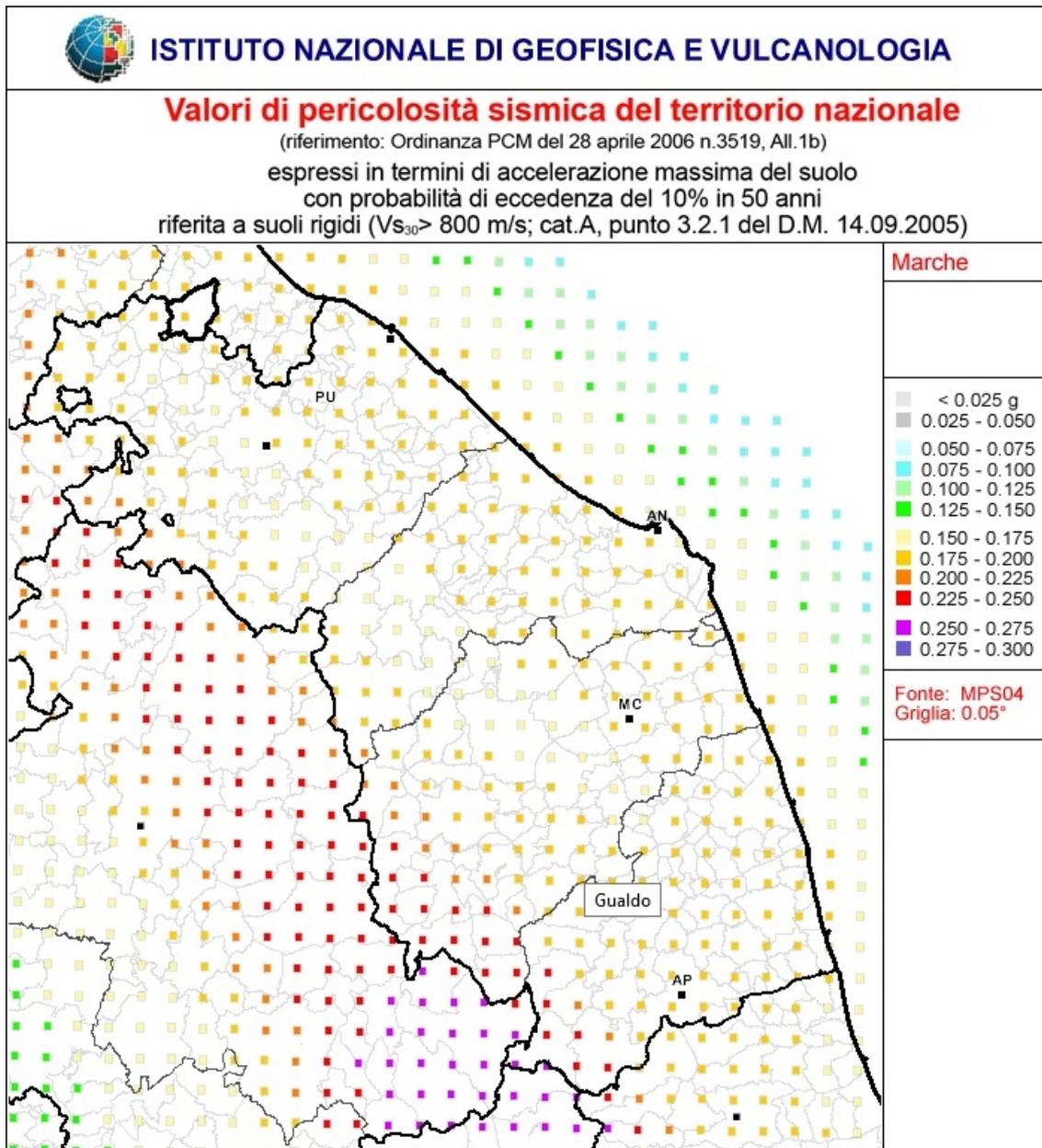
Con l'Ordinanza 3274 del 20.03.2003, recepita dalla regione Marche con DGR 1046 del 29.07.2003, aggiornata con DGR136 del 17.02.2004, include il Comune di Gualdo nella zona 2.





I valori della pericolosità sismica di base del territorio di Gualdo espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s, cat. A, punto 3.2.1 DM 14/09/2005), risultano compresi tra 0.175g-0.200g (Zona 2).

http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/marche.html



In seguito con l'Ordinanza 3907 del 13.11.2010 – allegato 7 – si assegna al Comune di Gualdo un valore di base di accelerazione massima del suolo pari a $ag\ 0.179117$.

Il sito in esame possiede una sismicità storica che è stata ricostruita attingendo ai dati del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015 (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>). Il catalogo elenca 19 terremoti che hanno interessato Gualdo dal 1700 circa in poi:

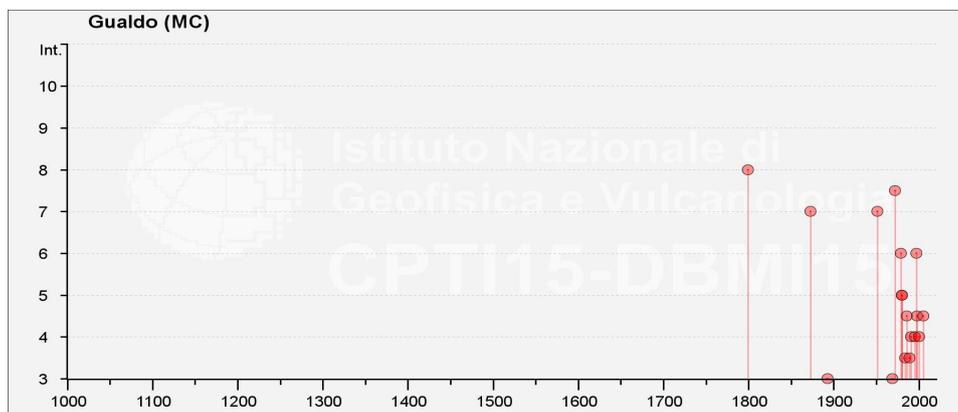
File downloaded from CPTI15 - DBMI15

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Seismic history of Gualdo
 PlacID IT_51784
 Coordinates (lat, lon) 43.066, 13.338
 Municipality (ISTAT 2015) Gualdo
 Province Macerata
 Region Marche
 No. of reported earthquakes 19

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
8	1799 07 28 22 05	Appennino marchigiano	70	9	6,18
7	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	8	5,85
3	1893 08 02 00 59	Valnerina	84	5-6	4,55
NF	1948 01 10	Loro Piceno	21	4-5	3,93
7	1951 09 01	Monti Sibillini	80	7	5,25
3	1969 09 26 23 40 39.00	Teramano	97	5	4,39
7-8	1972 11 26 16 03	Marche meridionali	73	8	5,48
6	1979 09 19 21 35 37.00	Valnerina	694	8-9	5,83
5	1980 02 28 21 04 40.00	Valnerina	146	6	4,97
5	1980 05 24 20 16 04.00	Monti Sibillini	58	5-6	4,48
3-4	1984 04 29 05 02 59.00	Umbria settentrionale	709	7	5,62
4-5	1986 10 13 05 10 00.31	Monti Sibillini	322	5-6	4,46
3-4	1989 09 11 02 46 23.93	Marche meridionali	60	5	4,04
4	1991 11 12 21 45 55.05	Ascolano	19	5-6	3,54
4	1995 12 30 15 22 08.73	Fermano	106	5	4,19
6	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5,66
4-5	1998 03 21 16 45 09.21	Appennino umbro-marchigiano	141		5
4	2000 09 02 05 17 02.41	Appennino umbro-marchigiano	115	5	4,4
4-5	2005 04 12 00 31 51.61	Maceratese	131	4	3,74



Dai dati del catalogo si individua che il terremoto più forte che ha interessato l'area è quello del 1799 con Mw epicentrale pari a 6.18, mentre il risentimento locale è stato di Intensità 8.

Ancora da definire perché in fase di studio sono gli effetti dei sismi dell'estate-autunno 2016, con magnitudo nell'area dell'epicentro di 6.5, che hanno pesantemente interessato il nucleo abitato di Gualdo.

Nella Zonazione sismogenetica ZS9 del territorio italiano l'area è inclusa nella Zona sismogenetica 918 Medio Marchigiana/Abruzzese, dove convivono modi di fagliazione diversi, compressivi a NW e distensivi a SE. Nella Zona 918 il valore della Magnitudo Massima attesa MWMax è 6.37

Dai dati del catalogo si evince che le azioni sismiche di una certa rilevanza provengono da fonti esterne al territorio di Gualdo come le sorgenti sismogenetiche dell'Appennino Umbro Marchigiano e delle Marche Meridionali (Dorsale Marchigiana e Ascolano)

Descrizione degli effetti dei principali sismi che hanno interessato il Comune di Gualdo da <http://storing.ingv.it/cfti4med/quakes/04785.html>

Terremoto del 1799 07 28 22 05 Appennino march. Lat 43.217 Long. 13.15

tre furono le scosse più forti, percepite dalla popolazione con violenza crescente (le fonti hanno come punto di osservazione Camerino): la prima avvenne il 28 luglio alle ore 18 italiane (13:05 GMT ca.), non fece alcun danno, e fu sentita in una vasta area delle Marche e dell'Umbria. La seconda scossa alle ore 23 italiane (18:05 GMT ca.) più lunga e più forte, causò diversi danni agli edifici. La scossa principale, che causò le maggiori distruzioni avvenne alle ore 3 di notte (22:05 GMT ca.) e durò 6 secondi. Varie scosse si susseguirono per circa un mese. Interessanti fenomeni luminosi furono osservati in concomitanza con l'evento sismico: il più notevole consistette in una vampa di fuoco uscita dalla terra nella località Parolito, a 2 miglia e mezzo da San Severino. Gli effetti cumulativi risultarono particolarmente distruttivi a Cessapalombo, San Ginesio, Sarnano, Camerino e San Severino Marche. Cessapalombo fu completamente distrutta, le case crollarono dalle fondamenta.

A San Ginesio gravi danni riportarono le abitazioni e le chiese. A Sarnano furono diffusamente danneggiate le abitazioni. A Camerino, per il quale si ha il maggior numero di informazioni, i danni maggiori riguardarono le abitazioni dei privati cittadini e fu osservato che le case di mattoni, ben costruite e di recente fattura, resistettero bene, mentre quelle più vecchie, che erano costruite con grosse pietre di cava irregolari, legate con pessime malte, subirono i danni più gravi: ribaltamenti delle pareti esterne o gravi lesioni.

Terremoto del 1873 03 12 20 04 Appennino marchigiano Lat 43.083 Long. 13.25

La scossa avvenne il 12 marzo 1873, alle ore 20:04 GMT ca.; fu distruttiva in una ristretta area interna delle Marche meridionali. I danni più gravi si ebbero nella zona di Camerino e San Ginesio, dove, soprattutto nei piccoli insediamenti rurali e nelle case isolate delle campagne, furono rilevate lesioni e crolli parziali nelle murature, cadute di volte e soffitti.

Morello, un villaggio nei pressi di San Ginesio abitato da 5-6 famiglie, fu pressoché distrutto. A San Ginesio furono danneggiate le chiese di S. Tommaso, della Collegiata, e di San Francesco; in quest'ultima crollò la cupola e il soffitto fu squarciato da una parte all'altra. In 70 case del paese vi furono crolli parziali. Nel vicino paese di San Marco, la chiesa e la casa parrocchiale subirono gravi crolli parziali. A Camerino crollarono tutti i comignoli e tutte le case riportarono lesioni; la chiesa di S. Antonio, crollata parzialmente, dovette essere abbattuta per evitare danni alle abitazioni vicine.

Terremoto del 26 11 1972 magnitudo 5.5 con epicentro nella zona tra Montefortino e Smerillo, si hanno pochi dati ma è ben ricordato dalla popolazione per i danni provocati ai fabbricati. Nella Gazzetta Ufficiale dei mesi successivi si cita il Comune di Gualdo tra quelli danneggiati destinatario di misure di soccorso.

Il terremoto del 12 Gennaio 2010, Ascoli Piceno, Macerata; Magnitudo 4.1. morti: nessuno. Ore 09.25 e 14.35 locali. Il giorno 12 Gennaio 2010, alle ore 09.25 è avvenuto un sisma di magnitudo MI 4.0, con epicentro nella zona tra

Macerata e Ascoli Piceno. Le località più vicine all'epicentro sono Colmurano e Gualdo entrambe in provincia di Macerata. La profondità epicentrale è di 25 km. Nella stessa zona, alle 14.35 (ore locale) si è verificata un'altra scossa di magnitudo MI 4.1. Questi terremoti seguono alcuni eventi che si sono verificati a partire dal 7 Gennaio con magnitudo tra MI 2.5 e 3.0 e magnitudo massima MI 3.9 registrata il 10 Gennaio 2010. La sismicità è avvenuta a profondità tra i 15 e i 25 km. Panico nelle scuole, lezioni sospese di ogni ordine e grado. – (See more at: <http://www.fondazionegiuliani.it/earthquake/terremotiliste/terremotoitalia>)

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO E ASSETTO GEOLOGICO STRUTTURALE

3.1 Caratteristiche Geologiche

L'area marchigiana è caratterizzata da una notevole complessità geologica, perché interessata da formazioni ed unità provenienti da domini paleogeografici e strutturali anche molto diversi; in particolare si individuano due settori principali: l'Appennino Umbro-Marchigiano, in cui affiorano alcune tra le formazioni più antiche che si rinvengono nella catena appenninica, e l'Avanfossa Marchigiana

L'Umbro - Marchigiano è un settore paleo-geografico che, a partire dal Giurassico, si è differenziato dalla Piattaforma carbonatica laziale - abruzzese in seguito all'azione di una importante fase tettonica.

La successione sedimentaria affiorante è rappresentata da unità della Serie Umbro Marchigiana pressoché continua dal Trias superiore al Neogene, dove nell'area centrale è ricoperta in discordanza da sedimenti marini depositatisi dal Pliocene medio e il Pleistocene inferiore.

La sedimentazione nel Bacino Umbro Marchigiano è prevalentemente calcarea nell'intervallo Trias- Eocene mentre dall'Oligocene diventa di tipo prevalentemente terrigeno.

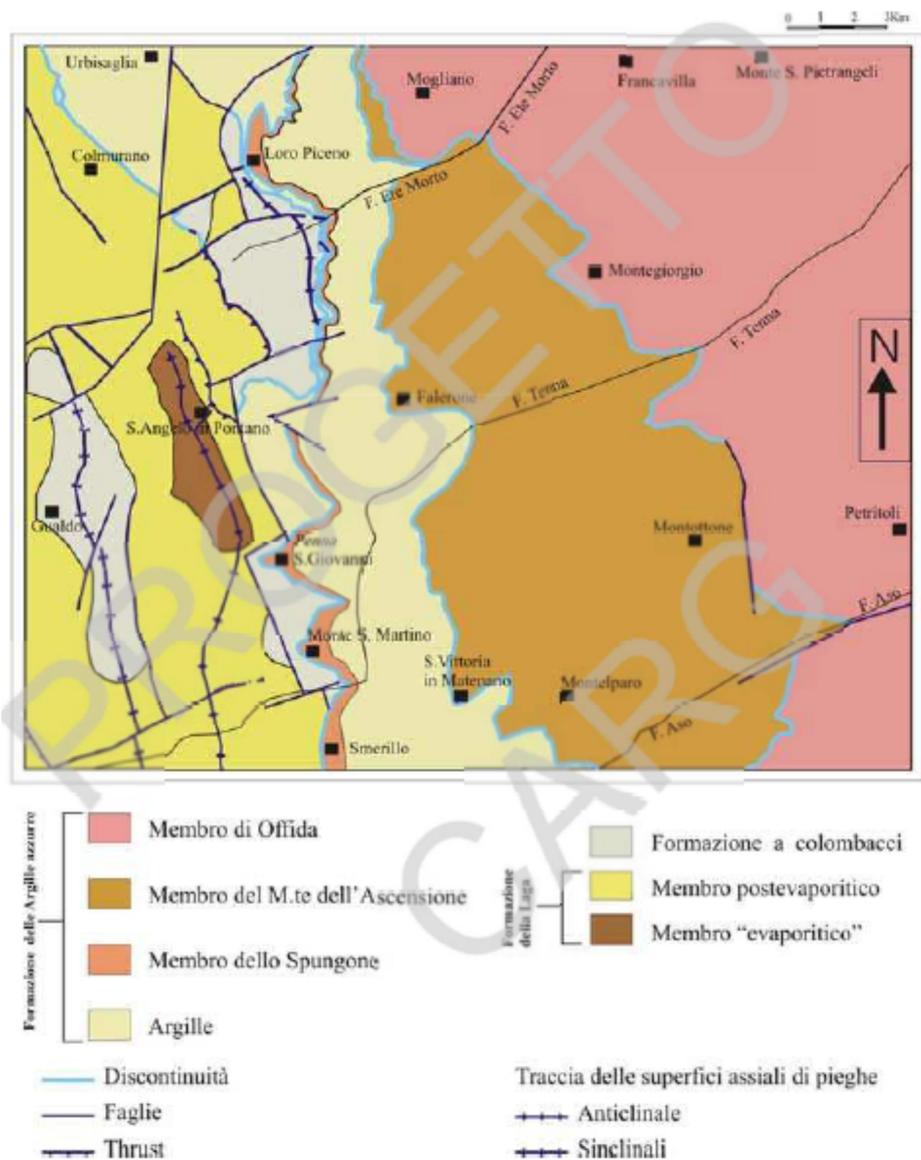
La fase tettonica compressiva, iniziata nel Tortonian, ha determinato notevoli raccorciamenti ed ispessimenti in corrispondenza della catena appenninica, formando complessi edifici a thrust con vergenza orientale; tali

Nel Pleistocene inferiore un generale sollevamento ha determinato un forte approfondimento dei sistemi idrografici (Conti et alii, 1983; Gentili & Pambianchi, 1987); infine durante tutto il Quaternario domina la morfogenesi da parte degli agenti esogeni, che si sovrappone ai processi tettonici e sedimentari (Passeri, 1994).

Nelle aree in esame successivamente alla definitiva emersione si sono sedimentate le coperture detritiche di origine continentale.

Le alluvioni terrazzate vengono suddivise in quattro ordini.

Primo e secondo ordine depositatisi nel Pleistocene inferiore medio, terzo ordine nel Pleistocene superiore e quarto ordine nell'Olocene.



Carta geologica schematica del Foglio 314 Montegiorgio. (da Progetto CARG Foglio 314 Montegiorgio)

3.2 Caratteristiche Geomorfologiche.

L'assetto litostrutturale del substrato ha condizionato in maniera preponderante la geomorfologia dell'area, contribuendo in maniera sostanziale alla formazione dell'aspetto attuale del paesaggio, dove si riscontra una notevole concordanza tra gli elementi geomorfologici principali ed i fattori geologici.

L'area del comune di Gualdo può essere inserita nella zona morfologica collinare interna caratterizzata da un paesaggio collinare aspro in cui le litologie principali sono rappresentate da peliti ed arenarie.

Lo studio geomorfologico del paesaggio ha permesso di riconoscere varie forme, sia relitte che attive, le quali rappresentano il risultato dell'interazione tra attività tettonica ed eventi climatici di cui un ruolo notevole hanno avuto le variazioni di clima iniziate a partire dal Pleistocene inferiore medio.

L'evoluzione geomorfologica dell'area inizia a partire dal Pleistocene inferiore, l'area è già sollevata e caratterizzata da una certa stabilità tettonica, permette la formazione di un paesaggio caratterizzato da una superficie a debole energia di rilievo (paleosuperficie). Di questo paesaggio è possibile osservarne le tracce, individuabili alla sommità nei piccoli lembi residui che si rinvengono sulle sommità dei rilievi collinari di S. Costanzo e Gualdo S. Elpidio, Colle Casarino, S. Maddalena a Nord M. Rotto a Sud le ultime due fuori dall'area in esame.

La paleosuperficie in seguito è stata incisa profondamente dai corsi d'acqua in conseguenza al generale sollevamento dell'Appennino, con formazione di valli strette ed approfondite a tipico profilo a V che tende ad allargarsi verso l'alto.

Dal Pleistocene inferiore in poi la trasformazione del paesaggio subisce una brusca accelerazione, che attraverso l'azione delle acque correnti superficiali, della gravità porta il paesaggio ad una continua evoluzione fino ad assumere l'aspetto attuale. Da circa 2500 anni l'evoluzione naturale dei luoghi interagisce con l'opera dell'uomo che la influenza con le sue attività.

Viene di seguito riportata una descrizione delle caratteristiche geomorfologiche del territorio comunale e vengono descritti i principali agenti morfologici che hanno agito ed agiscono tuttora, nonché le forme che essi hanno generato o che sono attualmente in evoluzione.

L'azione delle acque correnti superficiali, si è manifestata e si manifesta tuttora prevalentemente attraverso l'erosione lineare con approfondimento dei corsi d'acqua e più raramente con azioni di deposito. I terrazzi alluvionali visibili lungo le valli fluviali dei principali corsi d'acqua che presentano più ordini di deposito, mostrano il retaggio di attività di erosione e sedimentazione attribuibili all'interferenza tra sollevamento tettonico e fasi climatiche che si sono succedute durante il Quaternario.

L'azione dei corsi d'acqua ha dato luogo, sui versanti e nei depositi alluvionali, a scarpate di erosione di varie altezze, in generale la forte incisione lineare ha prodotto la forte energia di rilievo che caratterizza l'area con i rilievi che superano generalmente i 600 m s.l.m ed i fondovalle che hanno quote intorno i 315 m s.l.m

Il profilo trasversale dei solchi vallivi principali mantiene prevalentemente la forma a V, con versanti assai ripidi modellati nei terreni arenacei e pendii generalmente meno inclinati impostati nei terreni argillosi ed arenacei. In questi ultimi il profilo risulta spesso asimmetrico, in relazione alle condizioni giaciturali e litologiche (alternanze di arenarie ed argille).

La distribuzione del reticolo idrografico è condizionata in modo netto dalle caratteristiche litologiche del substrato e dalle linee tettoniche. La densità del reticolo di drenaggio superficiale è alta legata alle caratteristiche di permeabilità da scarsa a nulla dei litotipi arenacei ed argillosi. In quest'area, oltre ai corsi d'acqua a regime perenne, provenienti dalla dorsale carbonatica posta a ovest sono presenti molti fossi a regime prevalentemente saltuario, che entrano in funzione in concomitanza di eventi meteorici intensi o di fusione delle nevi. Inoltre in alcune zone l'eliminazione della copertura vegetale spontanea, l'abbandono delle colture tradizionali hanno indotto squilibri nella dinamica dei versanti con incremento dei processi di erosione areale e concentrata.

I principali corsi d'acqua che solcano il territorio di Gualdo mostrano una continua e marcata tendenza all'approfondimento in alveo con la formazione di

strette valli, spesso con pareti sub verticali, nelle zona con litologie più resistenti.

Le scarpate fluviali originate dell'approfondimento in atto vanno da altezze minime (1 – 2 m) nelle zone caratterizzate da una litologia a maggiore componente pelitica, ad altezze che sono dell'ordine dei 10 – 20 m dove affiorano le arenarie.

Le evidenze dei processi gravitativi di versante sono distribuite sull'intero territorio comunale, interessando le litologie pelitico-arenacee, e più diffusamente i depositi eluvio-colluviali.

Le zone caratterizzate dai depositi eluvio-colluviali e dalle litologie a maggiore componente pelitica sono interessate da movimenti gravitativi con fenomeni di colate crolli e scorrimenti traslazionali e roto-traslazionali anche di grosse dimensioni. Questi movimenti sono per lo più attivi o in lenta evoluzione.

I fenomeni traslazionali e roto-traslazionali i sono favoriti dalle condizioni giaciture e dalla presenza di falde idriche, riferibili a queste condizioni sono le frane di Bartolotti, Picacchi, Castello.

Inoltre sono presenti movimenti tipo deformazioni plastiche, che interessano le coltri detritiche eluvio-colluviali; queste possono evolvere a vere e proprie frane in concomitanza di eventi meteorici intensi o quando la morfologia dei versanti viene a modificarsi.

Più rari e limitati arealmente alla porzione orientale del territorio comunale, sono le morfologie a calanchi presenti nei terreni argillosi disposti soprattutto a reggipoggio

L'azione dell'uomo presente nell'area in esame da migliaia di anni ha modificato il territorio per le sue attività.

Numerose sono le scarpate realizzate (in parte naturali trasformate), per tracciare, sostenere strade e infrastrutture, ma le forme antropiche più estese sul territorio sono le aree edificate, concentrate nell'abitato di Gualdo posto su di un affioramento della Formazione a Colombacci con facies arenaceo pelitica prevalente. L'affioramento assume una forma a cuesta con vergenza nord orientale.

La presenza di acque sotterranee nei depositi terrigeni è testimoniata dalla presenza di sorgenti alimentate, per la maggior parte, da acquiferi modesti e poco profondi strettamente legati al regime pluviometrico.

Gli acquiferi presenti nel territorio di Gualdo sono legati ai corpi arenaceo-pelitici, arenacei, che hanno una discreta continuità laterale ed affiorano diffusamente sia sugli spartiacque principali, che lungo i versanti e sono caratterizzati da permeabilità medio-alta. Gli acquiclude sono dati invece da marne argillose, da argille marnose e argille, ubicate alla base e al tetto delle unità acquifere. L'assetto giaciturale suggerisce quindi la possibilità di rinvenire, nell'area, condizioni di acquiferi confinati.

La presenza di acque sotterranee nei depositi terrigeni è testimoniata dalla presenza di sorgenti alimentate, per la maggior parte, da acquiferi modesti e poco profondi strettamente legati al regime pluviometrico.

L'assenza di vere e proprie pianure alluvionali confina gli acquiferi legati alle alluvioni ghiaiose terrazzate a modeste scaturigini poste al contatto dei terrazzi con le sottostanti unità del substrato meno permeabili

4. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

4.1 Dati geologico stratigrafici

SUCCESSIONE MESSINIANA

FORMAZIONE DELLA LAGA (da Progetto CARG Note illustrative Foglio 314)

Affiora nel settore occidentale dell'area ed è rappresentata dai membri "evaporitico" e "post evaporitico". Il passaggio alla soprastante Formazione a Colombacci è a volte segnato da una discordanza angolare

Nell'area esaminata le torbiditi canalizzate della Formazione della Laga raggiungono lo spessore di circa 1500m.

All'interno di essa sono state distinte e cartografate varie associazioni litologiche sulla base del rapporto sabbia/argilla

Sono state riconosciute e cartografate le seguenti associazioni litologiche:

Membro "evaporitico"

La formazione è presente nell'area ma il suo limite inferiore non affiora e il passaggio al membro "post evaporitico" è graduale, lo spessore della parte affiorante è di 500 m. è stata cartografata soltanto l'Associazione arenacea nella quale si riconoscono alcuni orizzonti della associazione arenaceo pelitica e pelitico arenace non cartografabili. Alla base dell'unità sono presenti marne nere bituminose di ambiente euxinico.

- L'associazione arenacea è caratterizzata da torbiditi silico clastiche e sporadicamente gessose , in strati molto spessi , spessi, medi, di colore grigio-azzurro e giallastro, a granulometria grossolana e fine con rare intercalazioni sottili, a volte discontinue di argille siltose azzurre. La stratificazione è lenticolare e/o ondulata, spesso gli strati mostrano base erosiva.

- L'associazione arenaceo pelitica è rappresentata da alternanze di strati da sottili a medio spessi, di arenarie e peliti, le arenarie presentano una colorazione giallastra e granulometria da medio a fine con rari livelli grossolani. Le peliti è costituita da materiale argilloso-siltoso e da sottili livelli di sabbie caratterizzate da base erosiva e geometria lenticolare, ondulata.

- L'associazione pelitico arenacea è costituita da peliti fittamente stratificate con intercalazioni arenacee con spessore da 2-3 cm fino a 25-30 cm. Il rapporto sabbia argilla è sempre minore di uno.

- La frazione arenacea è costituita da arenarie gialle o grigie a granulometria medio fine. Le peliti sono costituite prevalentemente da silt argilloso di colore grigiastre

L'unità è riferibile al Messiniano p.p.

Membro postevaporitico

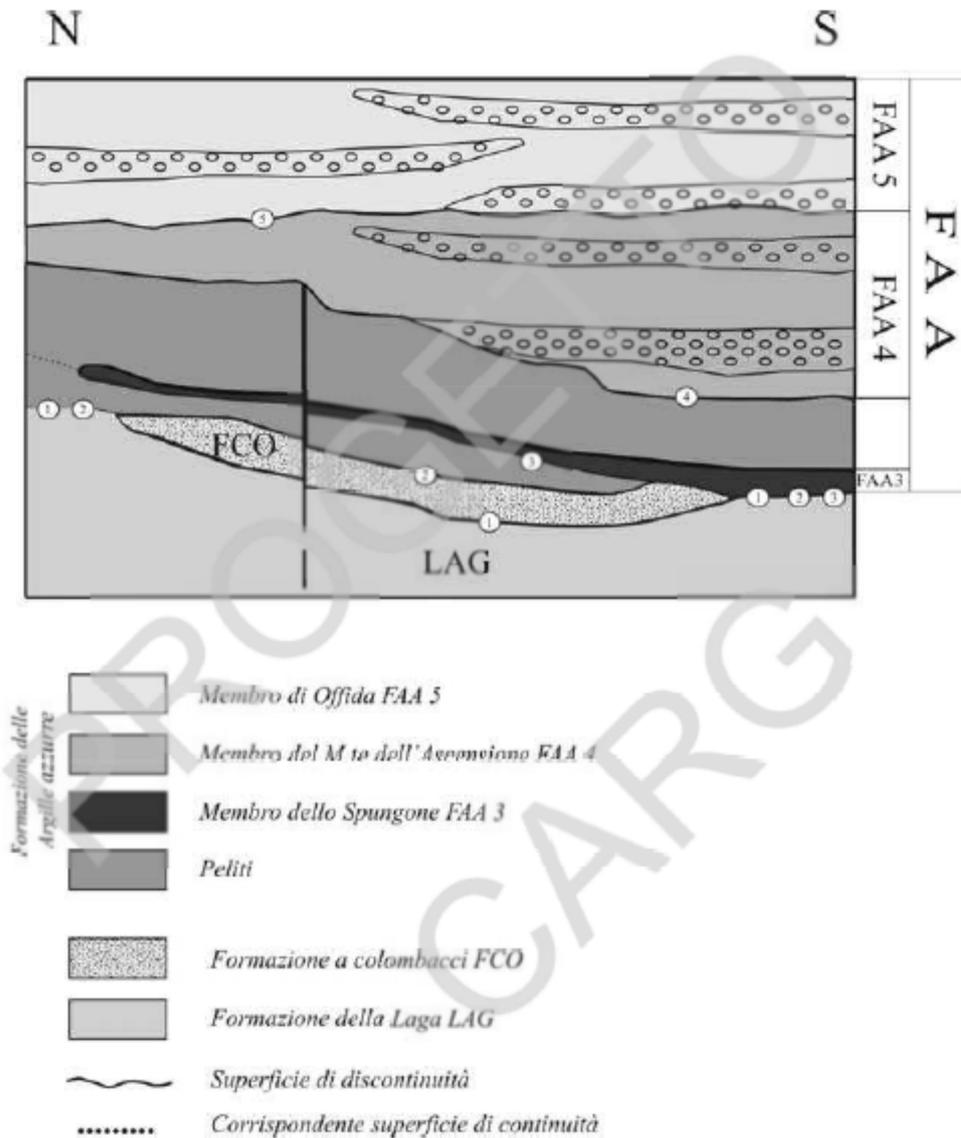
Affiora molto più estesamente rispetto al Membro evaporitico ed il suo spessore medio non raggiunge i mille metri. Superiormente l'unità in esame passa, talora con marcata discordanza, alla Formazione a Colombacci; soltanto nel settore meridionale e nell'estremità settentrionale essa viene a contatto, con una discordanza ancora più evidente, rispettivamente con il Membro dello Spungone della Formazione delle Argille azzurre e con le peliti basali di quest'ultima formazione. L'Associazione pelitica è di gran lunga prevalente; in essa sono intercalati numerosi orizzonti delle associazioni pelitico-arenacea, arenaceo-peliticae arenacea, i cui spessori non sono mai superiori ai 30 m. Nella porzione sommitale è presente il noto livello guida vulcanoderivato, costituito da 2-3 strati amalgamati di ceneri vulcaniche, il cui spessore è variabile da 0,5 a 2 m. L'Associazione pelitica è costituita da sedimenti in prevalenza argillosi, argilloso-siltosi e marnosi, di colore grigio-azzurro, in strati medi e spessi; la stratificazione di norma è poco visibile ed è evidenziata localmente da sottili spalmature di sabbie ocracee.

L'Associazione pelitico-arenacea presenta caratteri molto simili a quelli della stessa associazione descritta per il sottostante Membro "evaporitico". Rispetto a quest'ultima essa si caratterizza per un rapporto sabbia/argilla più elevato.

L'Associazione arenaceo-pelitica è rappresentata da arenarie a granulometria da fine a media, di colore grigio-marrone, in strati da medi a spessi a geometria tabulare, a luoghi lenticolare, e da argille marnoso-siltose di colore grigio-azzurro, in strati sottili. Le prime presentano strutture sedimentarie trattive e controimpronte basali (flute casts, groove casts) che

indicano una direzione di apporto da NNW, il rapporto sabbia/argilla è sempre maggiore di uno.

L'Associazione arenacea, infine, presenta caratteri che non si discostano molto da quelli riscontrati nella stessa associazione del Membro "evaporitico" sopra descritto.



Schema dei rapporti stratigrafici tra le unità delle successioni mio-plio-pleistoceniche.

Formazione a colombacci

Si rinviene al nucleo della sinclinale di Gualdo, al di sopra del Membro post evaporitico della Formazione della Laga, dove viene a contatto, sempre con discordanza molto marcata con i sedimenti del Membro dello Spungone (Formazio delle Argille azzurre; (fuori dai limiti comunali). Il massimo spessore

si riscontra nell'area immediatamente a sud di Loro Piceno, dove si raggiungono valori di 600-800 m.

La formazione in esame è costituita prevalentemente da sedimenti argillosi e argilloso-siltosi di colore grigio o nerastro, in strati sottili; in essa si rinvengono strati calcareo-micritici biancastri, dello spessore di pochi centimetri, di origine chimica ("colombacci" Auct.) e livelli di marne nerastre. In tutta l'area di affioramento la Formazione a colombacci presenta a più altezze stratigrafiche corpi costituiti dalle associazioni pelitico-arenacea, arenaceo-pelitica e arenacea, a luoghi canalizzati, con contatti basali erosivi e fenomeni di amalgamazione.



Affioramento della Formazione a Colombacci associazione arenaceo pelitica in Via Leopardi a Gualdo

I caratteri complessivi delle suddette associazioni non si discostano molto da quelli delle corrispondenti associazioni già descritte per la Formazione della Laga.

L'unità è riferibile al Messiniano p.p.

Nella successione marina messiniano-pleistocenica, presente nel Foglio Montegiorgio, sono state riconosciute varie superfici di discontinuità alla tettonica sinsedimentaria e alle variazioni eustatico-climatiche, anche se spesso è difficile valutare l'azione esercitata da ciascuno dei suddetti fattori. Nel bacino marchigiano esterno, di cui fa parte l'area in esame, sembra ragionevole attribuire un ruolo predominante alla tettonica. Infatti con il Messiniano medio-superiore inizia l'attività tettonica di tipo compressivo, legata alla strutturazione della catena appenninica, che ha prodotto, durante il riempimento dell'antistante bacino sedimentario, una serie di discordanze angolari associate spesso ad importanti lacune sedimentarie. La più antica di queste superfici è presente al passaggio presente nell'area in esame tra il Membro post-evaporitico della Formazione della Laga e la Formazione a Colombacci (Messiniano superiore).

DEPOSITI QUATERNARI

Depositi continentali

Nell'area di studio sono state riconosciute più unità alluvionali terrazzate, a volte incassate l'una all'interno dell'altra, o più spesso, sospese le une sulle altre.

La loro messa in posto era stata attribuita ai movimenti eustatici, legati essenzialmente allo scioglimento dei ghiacci, pertanto tali superfici venivano riferite ai periodi interglaciali (Lipparini, 1939; Villa, 1942). Più recentemente (Alessio ed altri 1979, Coltorti 1975 e 1981, Dramis 1984), le deposizioni alluvionali sono state messe in relazione con le fasi fredde del Pleistocene e ritenute l'effetto dell'apporto ai corsi d'acqua di abbondanti masse detritiche provenienti dai versanti denudati dalla copertura vegetale.

I sedimenti alluvionali del T. Tennacola e T. Salino sono costituiti da ghiaie eterometriche di dimensioni generalmente da medio fini a grossolane e solo raramente vi compaiono ciottoli di grandi dimensioni. Le litologie

rappresentate sono prevalentemente calcaree, anche se non mancano quelle arenacee; sono presenti principalmente ciottoli di Scaglia rossa, Scaglia bianca e Maiolica.

La matrice è costituita da sabbie grossolane o, più raramente, da sabbie siltose. Numerose sono le intercalazioni di livelli lenticolari sabbiosi e siltoso-argillosi, risultati probabilmente dalla decantazione di materiali di esondazione.

Le alluvioni terrazzate più antiche del T. Salino, costituite da ghiaie calcaree e non possono altro che essere state depositate da un corso d'acqua proveniente dalla dorsale carbonatica, mentre l'attuale T. Salino si origina nella formazione del Bacino della Laga.

Le alluvioni recenti che rinvergono il T. Salino sono invece costituite prevalentemente da sabbie, limi sabbiosi e livelli ghiaiosi arenacei.

Le alluvioni recenti affiorano diffusamente in tutta l'area esaminata e si rinvergono lungo tutti i corsi d'acqua principali e secondari. Queste sono incassate in quelli di ordine superiore e separate da scarpate di erosione fluviale di altezza variabile.

La messa in posto delle alluvioni recenti è stata attribuita agli estesi disboscamenti antropici in epoca storica, i quali avrebbero prodotto notevoli apporti di materiale detritico dai versanti (Biondi e Coltorti 1981, Buccolini e Gentili 1986, Gentili e Pambianchi 1987).

Sistema del Fiume Musone

(Olocene)

Lungo gli assi vallivi, dei due corsi d'acqua principali, T. Salino ed in particolare lungo il T. Tennacola, sono presenti depositi alluvionali di modesta estensione laterale con spessori che possono raggiungere talvolta i 10m. Sono costituiti da lenti e livelli ciottolosi sciolti e con alternanze di lenti e livelli sabbiosi, siltosi o argilloso-sabbiosi, che diventano particolarmente abbondanti nella porzione superiore dell'unità.

Verso l'alto invece, dove prevalgono i depositi fini è prevalentemente planare. Il tetto dell'unità si rinviene ad altezze variabili fino a 3m sulle alluvioni recenti o attuali che si presentano francamente grossolane. La morfologia è caratterizzata da diverse scarpate di erosione legate verosimilmente a fasi di

incisione che precedono la massiccia sedimentazione avvenuta a partire dall'epoca romana.

Sintema di Matelica

(Pleistocene superiore).

Comprende le alluvioni terrazzate del 3° ordine tradizionale attribuito dai diversi autori al Pleistocene superiore finale. Questi sedimenti, si presentano particolarmente sviluppati in sinistra idrografica del T. Tennacola; mentre sono meno estesi nell'area di destra. I materiali ghiaiosi che lo costituiscono si presentano massivi o a stratificazione incrociata, e sono spesso accompagnati da abbondante matrice sabbioso-siltosa e piccole lenti ocracee siltoso-argillose. Le ghiaie sono poligeniche, in prevalenza calcaree, eterometriche, da finissime a medie, raramente grossolane, con diametro massimo di 10cm.

Le altezze sul talweg variano dai 10 ai 15m, lo spessore è molto variabile ma non supera 15m. Questi depositi vengono talora incisi lateralmente, come in sinistra del T. Tennacola, da torrenti che scaricano successivamente i loro materiali, prevalentemente sabbioso-siltosi, sul sintema sottostante.

Depositi eluvio-colluviali



Affioramento della copertura costituita da limi argillosi di origine colluviale presso le SAE di Gualdo

Nell'area d'indagine sono presenti prevalentemente limi, limi argillosi, limi argilloso sabbiosi, sabbie fini limose e subordinatamente argille, argille

sabbiose ed argille limose che presentano una colorazione marrone-nocciola giallastra, più o meno brunastra, con bande grigie ed ocracee. All'interno dell'aggregato si rinvengono di frequente concrezioni carbonatiche sotto forma di noduli e striature, ossidazioni e subordinatamente inclusioni torbose e frustoli carboniosi.

L'origine di tali sedimenti è di tipo continentale e la loro deposizione è dovuta all'azione della gravità ed all'azione delle acque correnti superficiali che hanno trasportato e rimaneggiato le porzioni più superficiali del substrato.

Questi litotipi rappresentano gran parte dei terreni di copertura del territorio indagato e hanno uno spessore di circa 4-10 m.

4.2 Dati geologico strutturali

In considerazione della limitata estensione areale e dell'appartenenza della zona al dominio umbro-marchigiano, l'evoluzione paleoambientale va necessariamente ricollegata al più ampio quadro evolutivo della regione.

Come oramai da tempo accertato, nel Lias inf.-medio, la regione costituiva il margine esterno di una piattaforma carbonatica piuttosto articolata, come testimoniato dalle differenti caratteristiche sedimentarie riscontrate nel Calcarea Massiccio s.l., con facies sempre indicative di una sedimentazione carbonatica tipica di acque calde e poco profonde.

Verso la fine del Sinemuriano si verifica un progressivo smembramento della piattaforma carbonatica, con l'individuazione di alti e bassi strutturali. Sugli alti permane, anche se per poco tempo, un ambiente di piattaforma di alta energia, mentre nei bassi inizia una sedimentazione pelagica.

A queste differenziazioni è associata la deposizione di serie complete (nei bassi) accanto a quelle composte, condensate e lacunose (sui versanti).

Spostandosi verso sud e dunque verso aree dove una piattaforma carbonatica, quella Laziale-Abruzzese permane per un lungo lasso di tempo, le unità appartenenti alla sedimentazione pelagica umbro-marchigiana ricevono apporti detritici oltre che dagli alti strutturali locali, dai margini di quest'ultima.

Le condizioni tettoniche distensive a cui è associata la subsidenza differenziata persisteranno fino alla fine del Giurassico.

Con la deposizione della Maiolica tale regime si esaurisce progressivamente e si instaurano condizioni deposizionali uniformi in tutto il bacino.

A testimonianza di questo cambiamento progressivo si rinvengono differenze di spessori e litofacies nei sedimenti della Maiolica tra le aree di alto presistenti e le zone di bacino. La sedimentazione prosegue in condizioni di mare aperto, ma si hanno cambiamenti delle litofacies, marcati dalla deposizione delle Marne a Fucoidi caratterizzate da un contenuto nettamente più argilloso.

Con la deposizione del gruppo della " Scaglia ", il bacino rimane grosso modo uniforme anche se si iniziano a riconoscere al suo interno zone subparallele caratterizzate da dorsali e depressioni, primo sintomo di un regime compressivo che sta raggiungendo l'area (CENTAMORE et al. 1973). Ad esso è associata la differenza dello spessore dei sedimenti di questa formazione all'interno del bacino. Tale relativa uniformità rimane fino al Miocene, quando, con la deposizione del Bisciaro (Aquitaniense-Burdigaliano) e delle Marne con cerrognia (Tortoniano p.p.- Burdigaliano), i cui spessori sono variabili da luogo a luogo e che presentano terminazioni degli strati a pinch-out, si hanno le testimonianze che oramai il bacino è articolato in dorsali e depressioni.

Questo fenomeno è associato alla progressiva migrazione verso oriente del sistema catena-avanfossa che porterà alla costruzione della catena Appenninica (BOCCALETTI et al.1986).

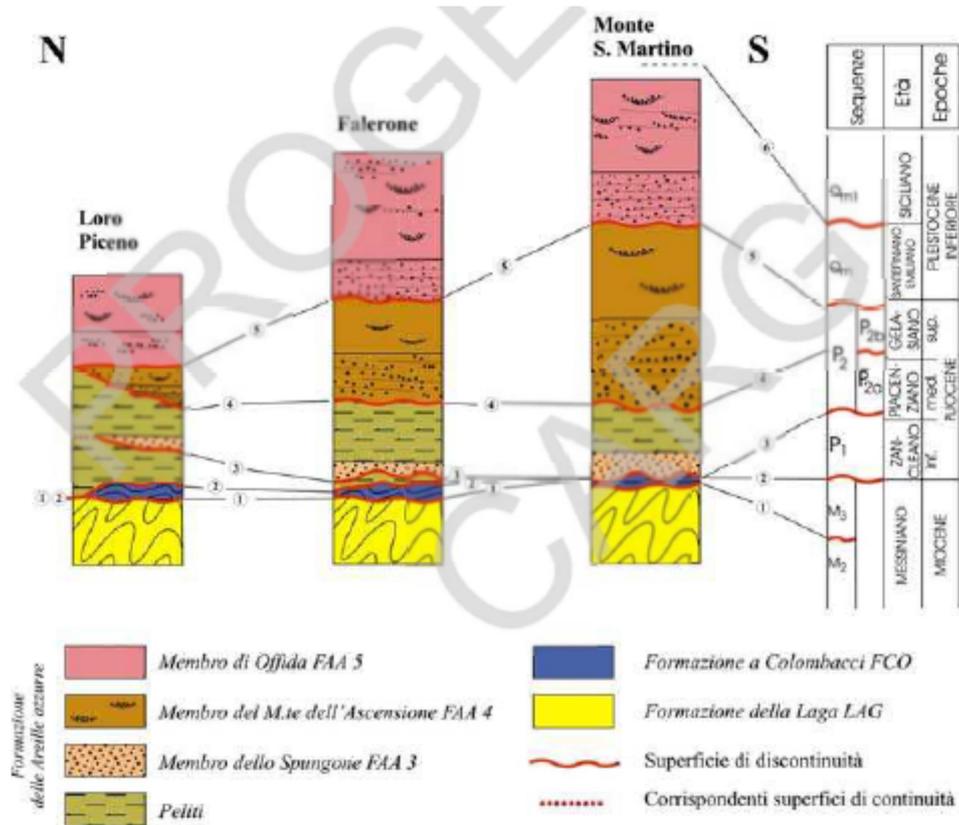
Con la fine della deposizione delle Marne con cerrognia le testimonianze sedimentarie della dorsale cessano.

All'inizio del Messiniano la morfologia del fondo marino, in continua evoluzione, è articolata in una serie di dorsali e depressioni longitudinali, interrotte da faglie trasversali. All'interno di dette depressioni comincia la deposizione delle torbiditi con facies canalizzate. L'alimentazione è da WSW con facies arenacee canalizzate che ricoprono poi in discordanza angolare e con vistosi pinch-out (giacitura onlap) anche le dorsali.

Nel Messiniano medio, in relazione alla crisi di salinità, si instaura un diffuso ambiente evaporitico con la deposizione di torbiditi silicoclastiche e gessose di ambiente euxinico.

Nel Messiniano superiore l'area corrispondente all'attuale fascia appenninica è in via di corrugamento e sollevamento; in questo periodo i sedimenti torbiditici sono, a differenza di quelli precedenti, depositi di apparati di bassa efficienza, dove prevale la sedimentazione pelitico-arenacea.

Le discordanze tra i depositi evaporitici e postevaporitici riscontrate sono indicative di un momento di particolare intensità della tettonica compressiva nell'area marchigiana.



Correlazioni tra le successioni dell'area in esame basate sulle superfici di discontinuità e corrispondenti superfici di continuità. Gli spessori sono puramente indicativi (da CANTALAMESSA et al., 2002).

Fatta eccezione per i bacini minori più settentrionali, i flussi gravitativi sono convogliati nelle aree deposizionali lungo strette valli trasversali controllate dalla tettonica (linee trasversali). Queste linee sono persistenti nel tempo, in quanto lungo di esse si ha lo spostamento progressivo verso oriente degli apparati di distribuzione più prossimali (delta-conoidi, canali, ecc.).

Nel Pliocene inferiore e medio la tettonogenesi giunge al culmine ed è seguita da un periodo di relativa quiete tettonica. Movimenti di sollevamento che iniziano a manifestarsi nell'area durante questo periodo sono in larga parte compensati dall'erosione. Con il Pleistocene inferiore ha inizio una fase di più

intenso sollevamento a cui è associata una tettonica distensiva (solo sul versante occidentale dei M. Sibillini) testimoniata dalla presenza di faglie dirette anche a forte rigetto.

Ai piedi della dorsale oramai sollevata si imposta quello che sarà l'attuale reticolo idrografico, notevolmente influenzato dall'assetto tettonico. La sedimentazione, ormai esclusivamente continentale, è influenzata, oltre che dalla tettonica recente, dall'alternarsi di diverse fasi climatiche che hanno caratterizzato il Quaternario.

L'assetto attuale dell'Appennino centrale, così come risulta dagli studi degli ultimi trenta anni, è il risultato della costruzione di una catena a pieghe e sovrascorrimenti avvenuta a partire dall'Oligocene.

Nella catena si riconoscono differenti province strutturali caratterizzate da specifiche peculiarità e da uno stile strutturale ben definito. L'area oggetto dello studio ricade nella zona appena ad oriente della dorsale Marchigiana, dove affiorano essenzialmente sedimenti terrigeni di età Miocenica i quali si presentano deformati e ricoperti, in discordanza, da depositi plio pleistocenici. Nel settore in esame i sedimenti terrigeni affioranti risultano organizzati in pieghe e sovrascorrimenti .

Nel settore la Formazione della Laga, della Formazione a colombacci e della porzione basale, prevalentemente argillosa, della Formazione delle Argille azzurre presenta un assetto strutturale articolato. L'area è in esame ubicata all'interno di un'ampia struttura sinclinalica orientata NNO-SSE con al nucleo la Formazione a Colombacci.

La faglia inversa di maggior rilevanza è posta ad oriente della zona triangolare (S. Cristoforo-C. Milani posta appena a Sud della zona in esame) è costituita da un backthrust a vergenza sudoccidentale che mostra un rigetto inverso di circa 400 m. A tetto di tale faglia è presente una struttura antiforme (anticlinale di Monte Rotto), a vergenza sudoccidentale e con fianco occidentale molto inclinato, che coinvolge l'Associazione arenaceo-pelitica affiorante nella porzione sudorientale dell'area di Buzzaccheri. La zona di cerniera di tale anticlinale è esposta presso la confluenza tra il Fosso Margato ed il F. Tennacola.

In cartografia è riportata una faglia in prossimità del Cimitero.

5. METODOLOGIA DI LAVORO

5.1 Elaborati cartografici

Come individuato dalla normativa vigente i prodotti attesi dallo studio di MS3 sono di tipo cartografico, di modellazione sismica, accompagnati da una relazione tecnica illustrativa:

La metodologia di analisi adottata può essere così riassunta:

- acquisizione dei dati esistenti e loro elaborazione ed interpretazione;
- rilevamento geolitologico e geomorfologico integrativo alla scala 1:5.000;
- redazione dei seguenti elaborati cartografici:

Carta delle Indagini, alla scala 1:5.000;

Carta Geologico-Tecnica, alla scala 1:5.000;

Carta delle sezioni Geologico-tecniche (n°4) alla scala 1:5000

Carta delle Frequenze, alla scala 1:5.000

Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, alla scala 1:5.000;

Carta di microzonazione sismica di livello 3 per l'intervallo di periodo 0,1 -0,5s alla scala 1:5.000

Carta di microzonazione sismica di livello 3 per l'intervallo di periodo 0,4 -0,8 s alla scala 1:5.000

Carta di microzonazione sismica di livello 3 per l'intervallo di periodo 0,7 -1,1 s alla scala 1:5.000;

- relazione illustrativa;
- creazione di un database in formato "Access" e dei relativi shapefiles per la realizzazione delle carte sopra descritte.

Come base topografica è stata utilizzata la Carta Tecnica Numerica – C.T.R. 1:10.000; in particolare sono state impiegate le tavole in formato raster delle sezioni n°:

- *314090 Gualdo*
- *313120 Colle*
- *313160 Sarnano*
- *313080 SanGinesio*

Tutti i raster adoperati sono stati georeferenziati al sistema di coordinate di riferimento WGS84UTM33N utilizzando alcuni punti di controllo (*Ground Control Point, GCP*) riportati nella rete geodetica regionale, rispettando le normative e gli standard di riferimento:

- OPCM 293/2015 – Effettuazione delle indagini di Microzonazione Sismica (MZS) – Decreto n° 138/DPS del 09/08/2016
- Standard di rappresentazione e archiviazione informatica (Versione 4.0b), approvati dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell’OPCM 13 novembre 2010, n.3907);
- Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica – Dipartimento di Protezione Civile Nazionale (ICMS)- approvati il 13 novembre 2008 dalla conferenza delle Regioni e delle Province autonome.

La predisposizione degli studi di dettaglio di microzonazione sismica prevede preliminarmente l’individuazione delle zone dove effettuare gli approfondimenti per la MS3 che non si estende a tutto il territorio comunale, ma unicamente alle zone delimitate da codice ISTAT.

Per il territorio comunale di Gualdo le aree da studiare sono state concordate, individuate e delimitate con l’Amministrazione Comunale e con il Dirigente dell’Ufficio tecnico Comunale.

L’area di interesse, riportata in tutti gli elaborati cartografici, riguardano il capoluogo ed aree che oramai ne fanno parte come la località Villa Strada dove è sorta una zona artigianale e dove erano già presenti nuclei abitativi

5.2 Raccolta dati geognostici esistenti. Carta delle indagini.

Per la redazione del lavoro e per la realizzazione degli elaborati sono stati utilizzati :

- Cartografia di dettaglio (CTR) Regione Marche Scala 1:10.000 ;
- Cartografia geologica e geomorfologica di PRG a scala 1:10.000 ;
- Carta Geologica Regionale Edizione CTR Scala 1:10.000 ;
- Elaborati geologici effettuati per la redazione del P.R.G.

- Risultati delle indagini geologiche, geofisiche e geotecniche ricadenti nel Territorio Comunale di Gualdo eseguite dallo scrivente come supporto alle pratiche edilizie. Altre indagini esistenti sono state reperite successivamente alla redazione della Microzonazione di I livello.

Il totale delle indagini raccolte ed utilizzate per l'area indagata è sintetizzato nella tabella seguente .

TABELLA 1

	Tipo di indagine	Numero di indagini
Area indagata	Prove penetrometriche dinamiche medie	13
	Prove penetrometriche dinamiche DPSH	3
	Scavi geognostici	6
	Sondaggi a distruzione/Trivelsonda	14
	Sondaggi a carotaggio continuo	3
	MASW	1
	Stazione microtremore a stazione singola (reperita) HVSR	2
	Down Hole	1

Successivamente per la Microzonazione di 3 livello sono state eseguite le seguenti indagini:

TABELLA 2

	Tipo di indagine	Numero di indagini
	Sondaggi a carotaggio continuo	1
	MASW	6
	Stazione microtremore a stazione singola HVSR	9
	Down Hole	1

L'ubicazione di tutte le indagini considerate, è riportata nella "Carta delle indagini" su base cartografica in scala 1:5.000, secondo le specifiche contenute nel volume "Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica.

Tutti i dati sono archiviati in formato PDF nella cartella Indagini/Documenti, consultabile nel database della Banca Dati per la Microzonazione Sismica allegato al presente studio.

5.3 Informatizzazione dei dati

I dati raccolti sono stati informatizzati tramite il software SoftMS fornito dal sito della Protezione Civile Nazionale. L'inserimento e lo studio dei dati raccolti si è concluso con l'esportazione del file Access riferito al Comune di Gualdo all'interno del quale sono stati catalogati i dati raccolti che sono la base di partenza per la realizzazione della Carta delle Indagini.

5.4 Descrizione della carta Geologico-Tecnica

Nella Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica sono riportate tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche), derivate da carte e elaborati esistenti ed acquisite in seguito a rilevamento geologico-geomorfologico del territorio. La Carta Geologico-Tecnica realizzata in scala 1:5.000 e le relative n. 4 sezioni geologiche tecniche in scala 1:5000 servono ad evidenziare i rapporti geologico-stratigrafici e l'assetto strutturale.

Questi dati sono necessari alla definizione del modello di sottosuolo e funzionali alla realizzazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 3).

Nella carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica vengono rappresentate le informazioni riguardanti i litotipi affioranti, distinti tra terreni di copertura e substrato geologico; lo spessore minimo delle coperture rappresentate è di 3 metri; la litologia dei terreni è stata descritta tramite sistema di classificazione Unified Soil Classification System (leggermente modificato, ASTM, 1985).

Relativamente ai fenomeni di instabilità di versante sono stati riportati nelle cartografie i dissesti di versante, utilizzando come base di lavoro i limiti delle cartografie PAI e IFFI e PRG].

Sono riportate inoltre le forme di superficie ritenute significative quali orli di scarpate morfologiche con altezza compresa tra 10 e 20 metri e creste, oltre ad elementi tettonico-strutturali quali, nel caso in esame, faglie dirette e faglie dirette non attive, sinclinali.

Vengono altresì rappresentati i seguenti elementi geologici:

- giaciture degli strati;
- ubicazione di sondaggi che hanno raggiunto il substrato geologico e ubicazione di sondaggi che non hanno raggiunto il substrato (con indicazione della massima profondità raggiunta dalla perforazione);

Nella Carta sono inoltre riportate le tracce delle 4 sezioni geologiche tecniche rappresentative del modello del sottosuolo.

Vengono indicati e descritti gli elementi litologici principali e le relative caratteristiche geotecniche derivate da ai dati bibliografici reperiti.

5.5 Dati geotecnici

Sono state distinte e cartografate le unità litotecniche appartenenti ai depositi di copertura rispetto a quelle che compongono il substrato.

UNITA' LITOLOGICO-TECNICHE DELLA COPERTURA

Le unità litotecniche della copertura sono correlate all'unità litostratigrafiche relative ai depositi eluvio-colluviali, ai depositi alluvionali.

- **SEDIMENTI A GRANA MEDIO FINE:** depositi eluvio colluviali, (età: Olocene-Pleistocene superiore): Rappresentano il prodotto dell'alterazione e disgregazione dei litotipi in posto ad opera degli agenti elementari di degradazione meteorica, mobilizzati dalla gravità e dalle acque di dilavamento dei versanti. La loro tessitura è strettamente in relazione con la litologia della roccia madre.

MLec – Limi inorganici, sabbie fini limose e limi argillosi. Il litotipo è costituito principalmente da un da sedimenti limoso-argillosi e limoso-sabbiosi

con concrezioni carbonatiche. Lo spessore non supera generalmente i 10,00 m di spessore. Il grado di consistenza è variabile. I principali fenomeni gravitativi evidenziati interessano, generalmente, tali litotipi

Classifica USCS: ML

Parametri geotecnici tipici:

γ medio (peso volume) = 1,90-2,10 g/cm³

ϕ medio (angolo di attrito) = 24°-28°

C' = 0,02-0,10 kg/cm²

Es (modulo elastico) = 60-80 Kg/cm²

Ed (modulo edometrico tra 1 e 2 Kg di carico) = 60-90 Kg/cm²

- UNITA' LITOLOGICO-TECNICHE DEL SUBSTRATO
SUBSTRATO COESIVO SOVRACONSOLIDATO STRATIFICATO

SUBSTRATO ALTERNANZA DI LITOTIPI, STRATIFICATO (ALS)

Formazione della Laga membro post evaporitico.

L'Associazione pelitico-arenacea costituita a argille marnoso - siltose di colore grigio-azzurro grigiastre fittamente stratificate, con intercalati strati arenacei di colore grigio azzurro. Il rapporto sabbia /argilla è minore di 1

L'Associazione arenaceo-pelitica è rappresentata da arenarie a granulometria da fine a media, di colore grigio-marrone, in strati da medi a spessi a geometria tabulare, a luoghi lenticolare, e da argille marnoso - siltose di colore grigio-azzurro, in strati sottili. Il rapporto sabbia/argilla è sempre maggiore di uno.

Formazione delle Argille a Colombacci (Litofacies arenacea, arenaceo-pelitica)

La formazione in esame nell'area del centro abitato di Gualdo, è costituita corpi costituiti dalle associazioni pelitico-arenacea, arenaceo-pelitica e arenacea, a luoghi canalizzati, con contatti basali erosivi e fenomeni di amalgamazione.

Parametri geotecnici medi relativi alla frazione pelitica:

γ medio (peso volume) = 2,00-2,20 g/cm³

ϕ medio (angolo di attrito) = 23°-28°

Cu (coesione non drenata) = 2,00-4,00 kg/cm²

C' (coesione drenata) = 0,20-0,50 kg/cm²

Ed (modulo edometrico tra 1 e 2 Kg di carico) > 80 Kg/cm²

Parametri geotecnici medi relativi alla frazione arenacea:

γ medio (peso volume) = 2,10-2,20 g/cm³

ϕ medio (angolo di attrito) = 32°-35°

qu (resistenza a compressione monoassiale) = 100-300 kg/cm²

Es (modulo elastico) > 200 Kg/cm²

5.6 Dati geofisici

Alcuni dati geofisici sono stati reperiti durante lo svolgimento della Microzonazione sismica di 1 livello e sono quelle eseguite dal sottoscritto nel corso della propria attività professionale relative a progetti edilizi e urbanistici eseguiti per privati e per l'amministrazione pubblica, e altre indagini eseguite nella primavera estate da tecnici incaricati da privati per pratiche edilizie.

Nello specifico le indagini geofisiche reperite sono consistite in:

1 indagine MASW

2 indagini HVSR

1 indagine Down Hole

Mentre per la MS3 sono state eseguite:

6 indagini MASW

9 indagini HVSR

1 indagine Down Hole

Le velocità delle Vs sono riassunte nella seguente scheda delle VS:

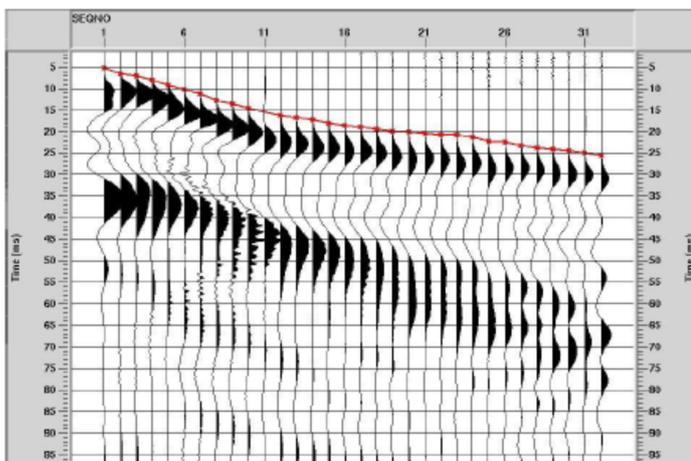
Scheda delle velocità Vs delle unità geologico tecniche

Unità geologico tecniche	Velocità Vs (m/s)		Indagini di riferimento
Copertura MLec	170-250		MASW provinciale Valle MASW Via Papa Sisto IV, DH Scuola, MASW Tomassucci
Alternanza di litotipi stratificato FCOe - ALS Formazione a Colombacci Pelitico Arenacea	alterata	200-430	DH MS3, MASW strada provinciale DH Scuola, MASW provinciale Valle MASW Via Papa Sisto IV, MASW Tomassucci,
	inalterata	490-700	
Alternanza di litotipi stratificato FCOd - ALS Formazione a Colombacci Arenaceo Pelitica	alterata	350-530	MASW strada provinciale, DH Scuola, MASW Borgo, MASW provinciale Valle
	inalterata	600-900	
Alternanza di litotipi stratificato Lag3e - ALS Formazione della Laga Pelitico Arenacea Membro post evaporitico	alterata	280-400	MASW Zazza
	inalterata	400-700	

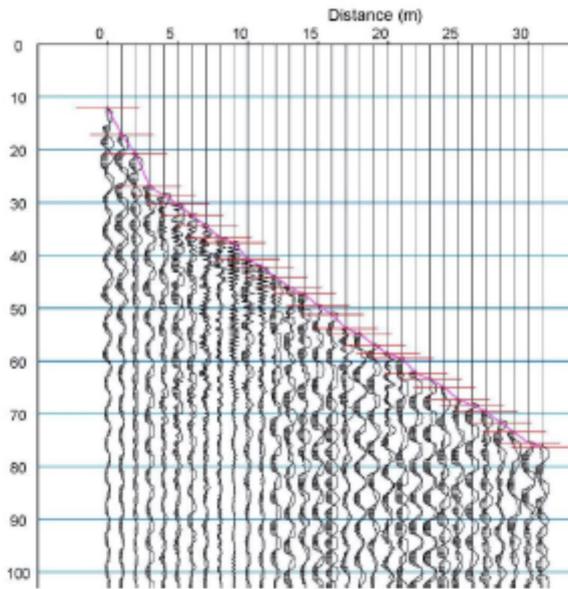
5.7 Strumentazione per indagine sismica down-hole

La prova Down-hole è stata eseguita dai tecnici dello IAMC-CNR di Napoli incaricati direttamente dal Centro MS. La strumentazione utilizzata per l'esecuzione dell'indagine sismica in foro è un sismografo Geometrics Geode 16 canali con intervallo di acquisizione di 0,25 ms e un tempo di campionamento pari a 512 ms.

Sismogrammi onde P



Sismogrammi onde S



Sito: Gualdo

Profondità [m]	Vp [m/s]
0.0 - 3.0	557
3.0 - 11.0	942
11.0 - 15.0	1406
15.0 - 26.0	1871
26.0 - 33.0	2812
Profondità [m]	Vs [m/s]
0.0 - 3.0	206
3.0 - 11.0	430
11.0 - 15.0	493
15.0 - 26.0	666
26.0 - 33.0	723



Foto - Sito di durante l'esecuzione della prova

5.8 Indagini sismiche tipo down-hole

La prova Down-hole è finalizzata alla determinazione dei profili delle onde sismiche di compressione e di taglio con la profondità. Essa consiste nel produrre sulla superficie del terreno una perturbazione mediante una sorgente meccanica e nel misurare il tempo d'arrivo delle onde dirette alle varie profondità all'interno di un foro opportunamente predisposto. L'attrezzatura per prove Down-hole è costituita da:

- un sistema di ricezione, costituito da due geofoni da foro 3D con dispositivo meccanico di bloccaggio, accoppiati e orientabili dalla superficie mediante un sistema di aste rigide;
- una sorgente di onde S, realizzata tramite un pendolo, che consente di controllare l'energia di battuta, costituita da una trave in legno e alluminio forgiata in modo da garantire la perfetta aderenza al terreno;
- una sorgente di onde P, costituita da un martello e una piastra metallica;
- un sistema di acquisizione, costituito da un sismografo, al quale è collegato un dispositivo di trigger.

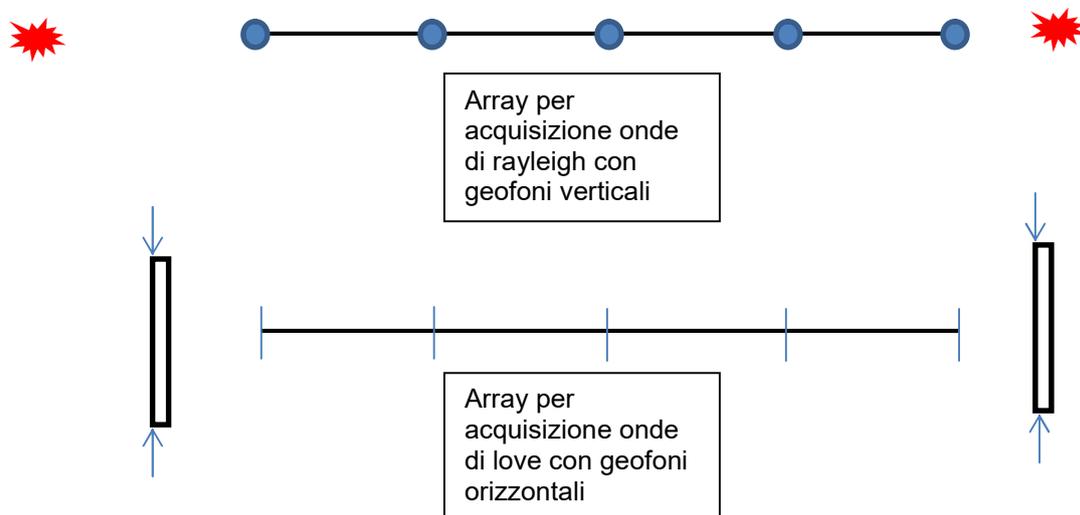
Una volta verificato che il foro è completamente libero e misurata la profondità del sondaggio e il livello di falda, vengono posizionati i due geofoni a fondo foro. Essi vengono poi bloccati alle pareti del foro e vengono eseguite più battute orizzontali destre e sinistre e altrettante battute verticali, acquisendo poi la media delle energizzazioni effettuate.

Successivamente vengono sbloccati i geofoni e fatti avanzare di un metro, controllando che l'orientazione rispetto alla sorgente non venga modificata e la prova viene ripetuta fino ad arrivare alla superficie. L'interpretazione delle misure, ai fini della determinazione del profilo della velocità delle onde S e delle onde P, viene effettuata con il metodo delle velocità d'intervallo a partire da un'analisi visuale dei dati e dallo studio delle funzioni di cross-correlazione

5.9 Indagine sismica mediante MASW

Le indagini sono state tutte eseguite utilizzando 24 canali con spaziatura intergeofonica di 3 m per una lunghezza complessiva della stesa di 69 m. Sono

stati utilizzati sia geofoni verticali da 4.5 Hz e, dove è stato possibile, geofoni orizzontali. Le battute verticali per la generazione delle onde di rayleigh sono state fatte energizzando con un martello di 10 Kg, ai due estremi della stesa a distanza variabile a seconda dello spazio disponibile. Le registrazioni sono state fatte con sommatoria del segnale (stack) da 2 fino a un massimo di 3. Stesso procedimento è stato adottato per le acquisizioni delle onde di love, con la variante che sono stati utilizzati geofoni orizzontali orientati perpendicolarmente allo stendimento, ed energizzando ai lati di una trave ancorata al terreno con un'auto. Le battute sono state fatte in entrambi gli estremi della trave (fasi opposte), per ogni endshot, per facilitare l'individuazione del primo arrivo delle onde sh in fase di analisi.



La durata dell'acquisizione è stata impostata a 2 secondi per essere sicuri che tutto il segnale rientrasse nella registrazione. La frequenza di campionamento è stata impostata a 4000 Hz.

L'elaborazione tramite l'inversione della curva di dispersione piccata è stata effettuata tramite il software winmasw academy. L'inversione viene effettuata grazie all'utilizzo di una tecnica di ottimizzazione basata sugli algoritmi genetici.

Il software si basa anche sull'inversione completa dello spettro FVS (Full Velocity Spectrum), tramite questo approccio vengono invertiti gli spettri di velocità e non, come nell'approccio classico le curve di dispersione piccate dall'utente. Tale metodo è stato utilizzato nei casi più ambigui con curve di dispersione non di immediato riconoscimento.

Per l'analisi delle onde di Rayleigh, si sono analizzati i segnali relativi alle energizzazioni dx e sx facendo attenzione al picking del modo fondamentale e degli eventuali modi superiori. Si è proceduto all'inizio ad effettuare una modellazione diretta, basandosi anche sulle informazioni geologiche se disponibili. Dal modello ipotizzato è stata successivamente eseguita l'inversione impostando un adeguato range di valori di variabilità di Vs e spessore, solitamente tale range minimo e massimo è stato aumentato gradualmente con la profondità, proporzionalmente al grado dell'incertezza. L'algoritmo successivamente ha calcolato tutti i possibili modelli evidenziando i modelli best model e mean model.

Dal modello risultante è stata calcolata la curva hv sintetica e messa a confronto con la curva hv misurata per vedere se ci fosse corrispondenza con i valori di Vs e eventuali contrasti di impedenza. Se tale corrispondenza non veniva soddisfatta si procedeva ad effettuare di nuovo la modellazione diretta e la successiva inversione.

Successivamente è stata effettuata l'inversione congiunta con la curva di dispersione e la curva hv misurata.

Dall'inversione congiunta il software ha ricavato numerosi modelli evidenziando in particolare il best model, il mean model e il modello più vicino all'hvsr.

Dove possibile, e cioè in presenza di terreno naturale, necessario per evitare disturbi legati ad una cattiva aderenza trave terreno (trave-asfalto), sono state come già detto, registrate le onde di love. Questo ulteriore approccio, unito a quello precedente, ha permesso di chiarire eventuali dubbi sull'andamento della curva di dispersione e di vincolare maggiormente il modello finale. Dapprima sono stati identificati i primi arrivi delle due energizzazioni opposte, ed è stata ricostruita una bozza di sezione sismostratigrafica. Questo primo passaggio è stato importante per avere un'idea dell'ordine di grandezza delle Vs, in particolare per gli strati superficiali.

Successivamente si sono ricavate le curve di dispersione rayleigh e love, dopo aver effettuato il relativo picking, si sono invertite congiuntamente.

La congruenza del modello finale è valutata secondo la simmetria del pareto model.

I modelli risultanti dell'inversione congiunta comprendono il best model, il mean model, e tutti i modelli in corrispondenza del fronte inferiore di pareto.

Il modello risultante è stato poi invertito congiuntamente con la curva hv misurata e la curva di dispersione.

5.10 Indagine sismica mediante HVSR

Le misure sono state eseguite con una strumentazione "Tromino" della Micromed spa, strumento che racchiude 3 canali velocimetrici a guadagno variabile, 3 canali accelerometrici, un canale analogico, un ricevitore GPS e un modulo radio ricevente/trasmittente. Tale strumento opera nell'intervallo di frequenze 0.1-1024 Hz ed è alimentato da due batterie AA.



5.11 Sondaggio a carotaggio continuo condizionato per misure down-hole

In data 14 Settembre 2017 sono iniziati i lavori di esecuzione del sondaggio geognostico ubicato in Via Papa Sisto IV, 12, secondo quanto riportato nel Piano di Indagine approvato dal CMS.

La perforazione, eseguita dalla ditta Geo3D s.r.l. di Rieti, ha raggiunto la profondità di ml 35,00 ed è terminata il 18 Settembre 2017, con le operazioni di condizionamento del foro e la cementazione finale.

Il rapporto finale è stato inviato al Centro MS

5.12 Interpretazioni ed incertezze

Le incertezze sono legate alla scarsità quantitativa e qualitativa delle indagini che è stato possibile reperire, avendo avuto Gualdo una attività edilizia piuttosto limitata nel tempo e soprattutto nello spazio areale. Altre indagini reperite ma sparse nel territorio di qualità non significativa come scavi geognostici non sono state prese in considerazione.

Alcuni sondaggi reperiti non essendo stati eseguiti per le finalità della presente indagine possono trarre in inganno, ad esempio i due sondaggi eseguiti in Via Leopardi sono caratterizzati da un riporto spesso fino a 6 m, rappresentativo però di una ristretta fascia posta a tergo di un muro di sostegno, che non rappresenta la situazione dell'area tranne che nel substrato arenaceo pelitico alterato sottostante.

La difficile differenziazione nella carta geologico tecnica delle litofacies pelitico-arenacea e arenaceo-pelitica sia della Formazione della Laga sia della Formazione dei Colombacci fa sfuggire informazioni di natura litologica nella carta geologica tecnica e nelle sezioni;

5.13 Carta delle sezioni geologiche

Per di rappresentare il modello del sottosuolo, l'assetto strutturale, la geometria, gli spessori e i rapporti tra depositi di copertura e substrato, sono state realizzate n. 4 Sezioni geolitologiche, alla scala 5:000.

Le sezioni I-I', II-II', III-III' e IV-IV' sono state realizzate tre trasversalmente alla dorsale morfologica, circa secondo la massima pendenza degli strati e una (la IV-IV') lungo la direzione degli strati, in modo da raccordare le prime tre ed avere una rappresentazione quasi tridimensionale del sottosuolo. Le sezioni mostrano quasi un assetto monoclinico delle formazioni, con inclinazione verso E-NE delle litofacies Arenaceo Pelitica (ALS) e litofacies Pelitico Arenacea (ALS). La carta geotologica e le sezioni mettono in evidenza che coltre colluviale (MLec) è presente solo lungo i fianchi della dorsale collinare. Spesso la coltre colluviale è sede di movimenti gravitativi di esteso areale.

5.14 Carta delle frequenze naturali dei terreni

In questa tavola sono riportati, in scala 1:5.000, i punti di misura di microtremore a stazione singola che mostrano il rapporto spettrale H/V alle diverse frequenze. I simboli riportati in carta con diversi colori e dimensioni indicano il picco di ampiezza significativo a frequenza più bassa, che corrisponde al valore di frequenza fondamentale (f_0) e l'ampiezza relativa. Sulla base dei dati ottenuti dalle misure di microtremore sismico sono state individuate le classi di frequenza.

5.15 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 3)

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) costituisce il documento di riferimento della microzonazione sismica di Livello 3. Tale elaborato ottenuto attraverso le risultanze degli studi effettuati indica le aree suscettibili di eventuali problematiche a seguito di un evento sismico e sulle quali è stata eseguita, la modellazioni sismica 1D.

Essa è stata ottenuta attraverso le risultanze delle seguenti fasi di studio:

- Acquisizione di tutto il materiale bibliografico disponibile, relativo alla cartografia geologica, ai fascicoli di indagini geognostiche, geofisiche, geotecniche, edite e non, afferenti sia ad interventi pubblici che ad opere e progetti privati.

- Esecuzione del sondaggio spinto fino a 35 m dal p.c. in cui è stata eseguita la prova Down Hole il giorno 3 novembre 2017, esecuzione di 6 prove Masw e 9 Hvsr, finalizzate alla ricostruzione del modello geologico stratigrafico ed individuazione di problematiche geomorfologiche e caratterizzazione geofisica dei terreni finalizzata alla costruzione della Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica

La caratterizzazione qualitativa in chiave litotecnica delle principali unità litostratigrafiche cartografate è servita alla elaborazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), avente lo scopo di individuare a scala 1:5.000 le zone le cui condizioni locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni, le infrastrutture e l'ambiente. Lo studio di MS3 ha permesso l'individuazione delle seguenti zone omogenee:

1. Zone Stabili suscettibili di amplificazione sismica in cui il moto sismico è modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di suolo, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e/o geomorfologiche del territorio;
2. Zone suscettibili di Instabilità in cui i terreni sono suscettibili di attivazione di fenomeni di deformazione permanente del territorio a seguito di un evento sismico;
3. Non sono state individuate zone stabili.

Di seguito vengono descritte le principali caratteristiche geologiche e geomorfologiche delle classi di suscettibilità di amplificazione sismica individuate e cartografate nella carta (MOPS).

Lo studio di MS di livello 3 ha definito le seguenti zone omogenee:

ZONA - SUBSTRATO FRATTURATO O ALTERATO (SF-ALS) –
Substrato non rigido alterato e fessurato anche fino a 10 m di profondità caratterizzato da un'alternanza di litotipi stratificati (pelitico-arenacei, arenaceo-pelitici e a luoghi arenacei) di età Messiniana (ALS).

ZONA 1 - 2001 In queste aree sono presenti depositi eluvio-colluviali prodotti del dilavamento depositati sul fondo di aree depresse recenti. Essi sono formati prevalentemente da limi e sabbie in matrice limo-argillosa (MLec), con spessori vari che possono superare anche i 10 mt. La consistenza è varia passando da poco consistenti nei depositi più recenti a consistenti fino a molto consistenti nei depositi più antichi e profondi. Essi poggiano su un substrato caratterizzato da un'alternanza di litotipi stratificati (ALS).

Zone di attenzione per le instabilità dovute a frane - ZAFR- Le zone suscettibili d'instabilità sono aree nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio e non sono necessariamente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto.

I principali tipi d'instabilità sono relativi ai fenomeni gravitativi presenti lungo i versanti. La natura del terreno e la notevole antropizzazione sono le cause principali di tali dissesti.

I fenomeni attivi che maggiormente interessano il territorio coinvolgono i versanti in cui affiorano le coltri eluvio-colluviali limoso argillose soprattutto in

corrispondenza di versanti con pendenze elevate e con scarsa copertura vegetale; si manifestano generalmente con deformazioni plastiche superficiali (soliflusso e creep) ovvero processi morfogenetici caratterizzati da movimenti superficiali generalmente lenti ed increspature del terreno; di colamento e da frane del tipo slump-earth flow;

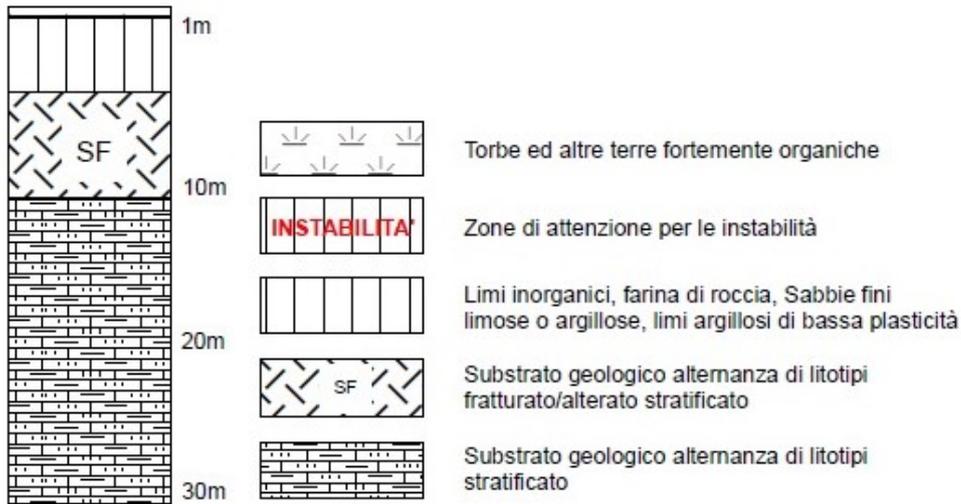
In alcuni casi sono presenti frane con indizi di movimento roto-traslatoivo o complesso.

5.16 Caratteristiche sismostratigrafiche delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale

Le indagini geofisiche eseguite nell'ambito del presente lavoro (DH, MASW, HVSR) hanno evidenziato come i litotipi del substrato geologico presenti nell'area di studio siano caratterizzati da velocità di propagazione delle onde di taglio generalmente inferiori a 800 m/s, ma spesso superiori al 700 m/s.

Per la determinazione della profondità del bedrock rigido di riferimento, necessaria per le analisi di risposta sismica locale, si è proceduto all'inversione congiunta tra la curva di dispersione ottenuta dalla misura MASW di riferimento e significativa per ognuna delle MOPS che vincola maggiormente la parte superficiale del profilo di V_s , e la curva H/V , ottenuta dalla misura a stazione singola associata allo stendimento sismico attivo, che dà invece maggiori informazioni sull'andamento delle velocità delle onde di taglio in profondità e sull'entità del contrasto di impedenza sismico.

Per ogni MOPS individuata, viene riportata la sismo-stratigrafia inserita nel software Strata risultata dalla combinazione dei rapporti stratigrafici con l'indagine HVSR di riferimento (verifica della congruità del modello in condizioni elastiche). Le indagini sismiche (MASW e Down Hole, hanno permesso di definire fasce di spessore e velocità da attribuire ai terreni sovrastanti il bedrock sismico. I dati numerici inseriti nel software Strata provengono da un'analisi di dettaglio delle caratteristiche litologiche, meccaniche e sismiche dei terreni costituenti la successione stratigrafica di ognuna delle MOPS prese in esame.

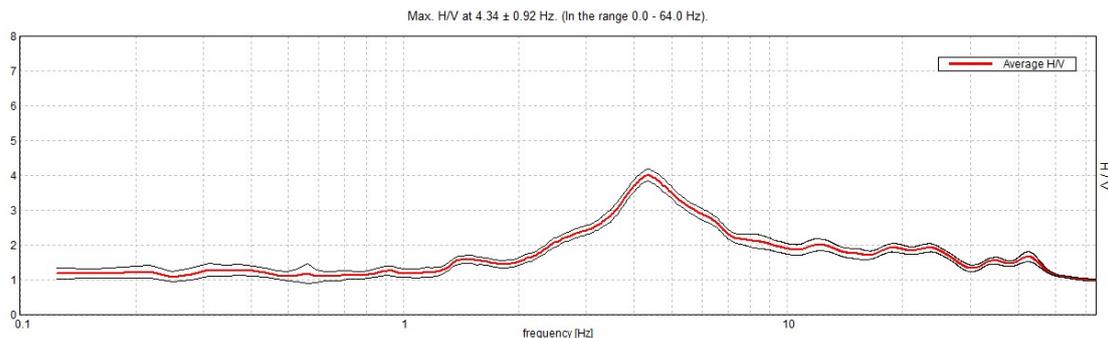


MOPS Zona 1-2001

Le indagini condotte evidenziano come la successione stratigrafica della microzona in oggetto sia caratterizzata dai litotipi riferibili alle litofacies Arenaceo-Pelitica e Pelitico-Arenacea della Formazione della Laga membro post evaporitico e Formazione dei Colombacci (ALS Alternanza di litotipi, stratificato) sovrastati da una copertura colluviale di spessore di circa 6 m (MLec)

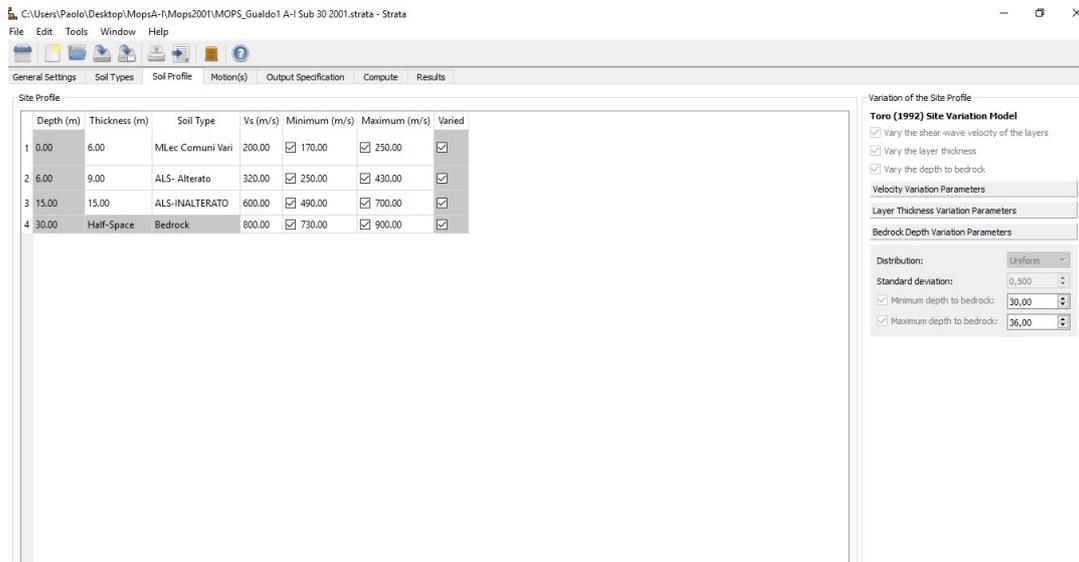
Per la verifica della congruità del modello in condizioni elastiche è stata presa come riferimento MASW Via Papa Sisto IV e la misura ambientale HVSR 4.

MOPS Zona 1 - 2001 – Indagine sismica Passiva HVSR

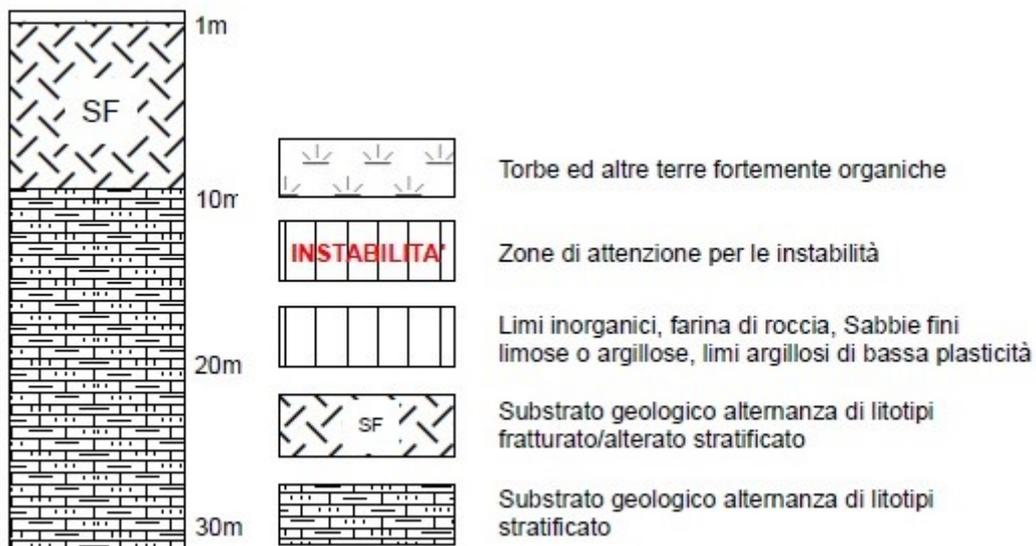


Dall'analisi della curva dei rapporti spettrali H/V sopra riportata si evince la presenza di un evidente picco della curva H/V, dell'ordine di 4 circa, rilevabile ad una frequenza di 4,30 Hz circa, presumibilmente corrispondente al contrasto di impedenza all'interno di ALS conseguente alla diminuzione dell'alterazione e della fessurazione del litotipo con l'aumentare della profondità. Questa

caratteristica è stata riconosciuta nei sondaggi e nelle prove penetrometriche reperite e confermata dal sondaggio eseguito per la Ms3.



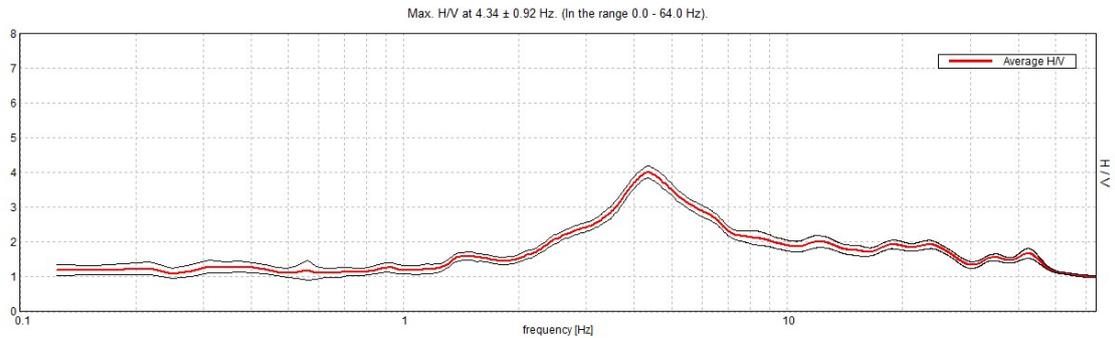
MOPS ZONA SUBSTRATO FRATTURATO O ALTERATO (SF-ALS)



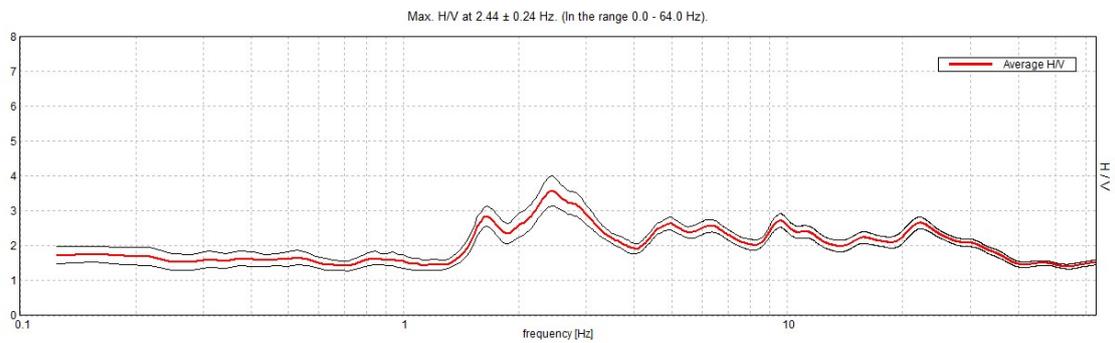
Le indagini condotte evidenziano come la successione stratigrafica della microzona in oggetto sia caratterizzata dai litotipi riferibili alle litofacies Arenaceo-Pelitica e Pelitico-Arenacea della Formazione della Laga membro post evaporitico e Formazione dei Colombacci (ALS Alternanza di litotipi, stratificato) fortemente alterato e fessurato fino a circa -10 m dal p.c., passante a litotipo inalterato.

Per la verifica della congruità del modello in condizioni elastiche sono state prese come riferimento il D-H Ms3, D-H Scuola le MASW di Via Papa Sisto IV, Tomassucci, Zazza, e la misura ambientale delle seguenti HVSR.

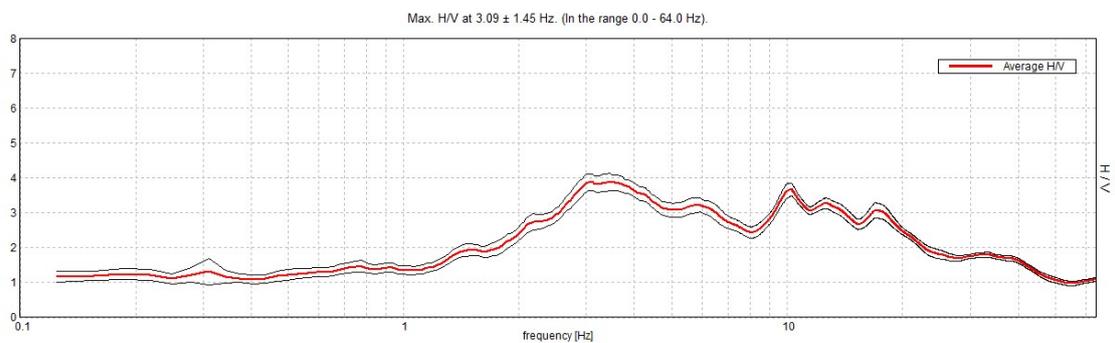
ZONA SF-ALS – Indagine sismica Passiva HVSR



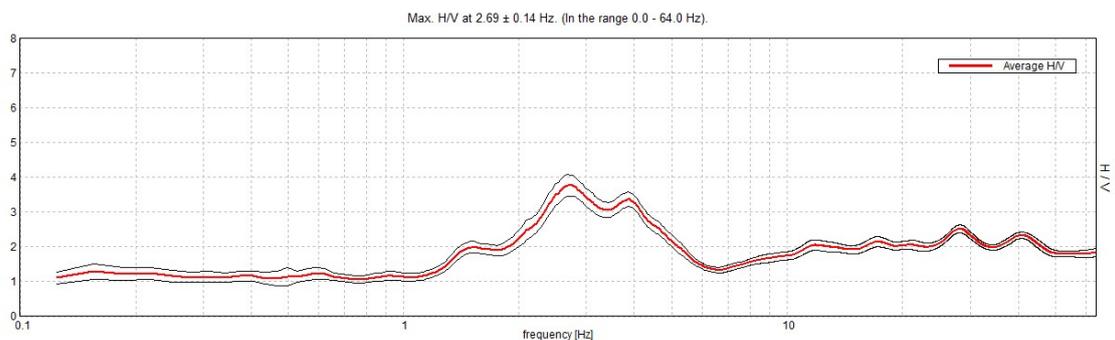
Hv 4



Hv 7



Hv 8



Hv 5

Dall'analisi della curva dei rapporti spettrali H/V sopra riportati si evince la presenza di evidenti picchi della curva H/V, dell'ordine di 4 circa, rilevabili ad una frequenza di 2,6-4,30 Hz circa, presumibilmente corrispondente al contrasto di impedenza all'interno di ALS conseguente alla diminuzione dell'alterazione e della fessurazione del litotipo con l'aumentare della profondità, e alla presenza a varie altezze di corpi arenacei. Questa caratteristica è stata riconosciuta nei sondaggi e nelle prove penetrometriche reperite e confermata dal sondaggio eseguito per la Ms3.

The screenshot shows a software window titled 'C:\Users\Paolo\Desktop\MopsA-ITA-1 Substrato 40\MOPS_Gualdo1A-1Sub 40.strata - Strata'. The main window contains a 'Site Profile' table and a 'Variation of the Site Profile' settings panel.

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1 0.00	3.00	MLec Comuni Vari	200.00	<input checked="" type="checkbox"/> 170.00	<input checked="" type="checkbox"/> 250.00	<input checked="" type="checkbox"/>
2 3.00	12.00	ALS- Alterato	320.00	<input checked="" type="checkbox"/> 250.00	<input checked="" type="checkbox"/> 430.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3 15.00	25.00	ALS-INALTERATO	600.00	<input checked="" type="checkbox"/> 490.00	<input checked="" type="checkbox"/> 700.00	<input checked="" type="checkbox"/>
4 40.00	Half-Space	Bedrock	800.00	<input checked="" type="checkbox"/> 730.00	<input checked="" type="checkbox"/> 900.00	<input checked="" type="checkbox"/>

The 'Variation of the Site Profile' panel includes the following settings:

- Toro (1992) Site Variation Model**
 - Vary the shear-wave velocity of the layers
 - Vary the layer thickness
 - Vary the depth to bedrock
- Velocity Variation Parameters**
- Layer Thickness Variation Parameters**
- Bedrock Depth Variation Parameters**
 - Distribution: Uniform
 - Standard deviation: 0,500
 - Minimum depth to bedrock: 30,00
 - Maximum depth to bedrock: 50,00

5.17 Determinazione delle vs₃₀ e categoria di sottosuolo

Il calcolo delle Vs₃₀ è stato effettuato per i siti dove sono state eseguite indagini MASW e Down-Hole. Di seguito vengono riportati i valori delle Vs₃₀ e la categoria di sottosuolo associata (Testo Unico – Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 14 Gennaio 2008 -Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.III)

$$V_{S_{30}} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

Riferimento indagine	Vs ₃₀ m/s	Categoria di terreno NTC 2008
MASV Tomassucci	462	B
MASW Via Papa Sisto IV	419	B
MASW Zazza	366	B
MASW strada provinciale	554	B
MASW Via Borgo	523	B
MASW Strada prov Valle	427	B
Down Hole MS3	473	B
Down Hole Scuola	393	B

5.18 Scelta dell'input sismico (fornito dal Centro MS)

L'estrazione degli accelerogrammi di input prevede la determinazione di altri parametri sismologici, oltre il valore di ag. In particolare, bisognerà conoscere per il sito in esame i dati di disaggregazione (variabilità in termini di magnitudo e distanza), desumibili dalla pagina del sito dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano <http://esse1-gis.mi.ingv.it> dedicata ai dati di pericolosità sismica nazionale. Si accede ad una pagina webgis, in cui va indicato il comune oggetto d'indagine il risultato è riportato nella figura seguente, la probabilità di accadimento (il valore più vicino al tempo di ritorno più vicino a quello di progetto) ed il percentile (sempre 50 per la progettazione ai sensi delle NTC2008). Vengono quindi calcolati i valori di magnitudo-distanza con relativa probabilità. I sette accelerogrammi di input naturali, utilizzati per le modellazioni 1D sono stati forniti dal centro Ms.

5.19 Simulazioni numeriche a cura dal Centro MS per la simulazione 2D

Analisi della risposta sismica mediante modellazione 2D (La documentazione verrà allegata appena disponibile)

5.20 Risultati

I risultati completi dell'analisi monodimensionale 1D, eseguiti con il codice di calcolo STRATA, sono stati riportati nell'apposita cartella, all'interno della FTP comunale, denominata Consegna_Finale_Prescrizioni.

La risposta sismica locale è stata parametrizzata in termini di amplificazione dell'accelerazione massima FA, come mostrato nella tabella seguente.

GUALDO			
MOPS	FA 0,1-0,5	FA 0,4 - 0,8	FA 0,7 - 1,1
SF- ALS	1.64	1.30	1.15
Zona 1 2001	1.76	1.32	1.15

Valori del Coefficiente Fa per ogni MOPS

5.21 Carte dei fattori di amplificazione

Questa carta, in scala 1:5.000, riporta la suddivisione del territorio in Zone suscettibili di amplificazione (Carta delle MOPS). L'obiettivo di questa cartografia è quello di riportare i valori di amplificazione stimati in termini di rapporto tra PGA al sito e PGA di riferimento (FAPGA) e di rapporto tra Intensità di Housner al sito e quella al sito di riferimento per intervalli di periodi compresi tra 0,1 e 0,5 secondo (FHa 1-0,5s), 0,4 e 0,8secondi (FHa 4-0,8s) e tra 0,7 e 1,1secondi (FHa 0,7-1,1s)

I valori ottenuti mostrano che il territorio comunale di Gualdo è suscettibile di amplificazione sismica per la totalità delle zone riguardanti il centro abitato.

MOPS	Riferimento alle indagini	FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
SFA-ALS	Sondaggio+D-H Ms3	1.64	1.3	1.15
	Sondaggio+D-H Scuola	1.64	1.34	1.16
	Masw Tomassucci	1.56	1.4	1.19
	Masw Zazza	1.77	1.31	1.15
	Masw Strada Provinciale	1.37	1.16	1.08
	Masw Borgo	1.31	1.11	1.05
	Masw Provinciale Valle	1.57	1.25	1.12
Zona 1-2001	Masw Via Papa Sisto IV	1.76	1.32	1.15

Valori del Coefficiente Fa per ogni MOPS

6.0 COMMENTI FINALI E CRITICITÀ

Lo studio eseguito sotto la direzione ed il controllo del Centro Ms di Roma che ha fornito i codici di calcolo necessari all'esecuzione delle analisi di risposta sismica locale, per le inversioni congiunte HVSR – MASW, per l'estrazione degli accelerogrammi e per il calcolo dei fattori di amplificazione.

Le condizioni uniformi del sito di Gualdo che presenta una successione torbiditica con l'associazione Pelitica arenacea a cui è intercalata l'Arenaceo pelitica, in affioramento, profondamente alterata e fessurata, sovrastata lungo i fianchi della cresta collinare, sede del centro abitato, da una copertura limoso argillosa colluviale di spessore massimo misurato di 6 m, ha avuto come conseguenza l'individuazione di due sole Mops.

La conseguenza favorevole creatasi è stata, che la Mops più estesa SFA-ALS, è stata indagata con un Down Hole, molte MASW e HV oltre al Down Hole reperito. La risposta sismica locale è piuttosto omogenea, confermando le due Mops individuate già dalla Microzonazione di livello I.

Si ribadisce pertanto quanto già riportato ai precedenti paragrafi, ovvero che lo studio di microzonazione sismica di livello III, in quanto finalizzato alla valutazione del livello di pericolosità sismica alla scala dell'abitato, non può essere considerato sostitutivo di una specifica analisi di risposta sismica locale finalizzata alla progettazione o alla verifica sismica del singolo manufatto.

Confronto tra la distribuzione dei danni e i risultati della microzonazione

Il Comune di Gualdo storicamente è stato danneggiato dai sismi del 26 novembre 1972 e del 1997. Il comune di Gualdo è stato inserito nell'elenco di comuni maggiormente danneggiati dal recente terremoto del 2016 già in seguito delle scosse del 24 agosto. I danni sono subito apparsi severi, nonostante la distanza dall'epicentro, con crolli parziali di fabbricati in centro storico e lesioni gravi in fabbricati edificati negli anni '70, crollati successivamente con le scosse del 26-30 ottobre.

Le risultanze della Microzonazione sembrano quindi coincidere con gli effetti causti dal sisma sui fabbricati del centro abitato di Gualdo.

7.0- BIBLIOGRAFIA

AA.VV., 2011.- Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione", Pàtron Editore,

Albarelo D., V. Bosi, Brammerini F., A. Lucantoni, G. Naso, L. Peruzza, F. Sabetta e D. Slejko, 2000a.

Pericolosità sismica del territorio nazionale: carte di consenso GNDT e SSN. In Galadini F., C. Meletti e A.Rebez (A cura di)., Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999), CNR-Gruppo Nazionale per la difesa dai Terremoti, Roma, 397 pp.

Albarelo D., V. Bosi, Brammerini F., A. Lucantoni, G. Naso, L. Peruzza, F. Sabetta e D. Slejko, 2000b. Carte di pericolosità sismica del territorio nazionale. Quaderni di Geofisica n. 12.

AMBROSETTI P.,CARRARO F.,DEIANA G. & DRAMIS F.(1982)

-Il sollevamento dell'Italia Centrale tra il Pleistocene inferiore e il Pleistocene medio. Contr. Concl. per la realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia , P.F. Geodinamica -C.N.R.

BARTOLINI C.(1980)- Sualcune superfici sommitali dell'Appennino Settentrionale (prov. Lucca e di Pistoia) Geogr. Fis. Dinam. Quat. 42-60, 27.

BARTOLINI C., BIDINI D., FERRARI G. & MAGALDI D. (1984) - Pedostratigrafia e Morfostratigrafia nello studio delle superfici sommitali situate fra Serchio e Ombrone Pistoiese. Geogr. Fis. Dinam. Quat. 7,3-9.

BOCCALETTI M., CALAMITA F., CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., DEIANA G., MORATTI G., MICARELLI A. & POTETTI M. (1986) - Evoluzione dell'Appennino tosco-umbro-marchigiano durante il Neogene. Giornale di Geologia, 48 (1).

BOCCALETTI M., CALAMITA F., CENTAMORE E., DEIANA G. & DRAMIS F. (1983)- The Umbria-Marche Appennine: an example of thrusts and wrenching tectonic in a model of ensialic neogenic-quadernary deformation. Boll.Soc.Geol.It., 102.

CALAMITA F., CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., DEIANA G., DRAMIS F., MICARELLI A., PIERUCCINI U., POTETTI M. & ROMANO A. (1979) - Dati preliminari sulla neotettonica dei Fogli 132 (Norcia), 124 (Macerata; III e IV quadrante), 115 (Città di Castello; I e II quadrante). Nuovi Contr. alla realizzazione della Carta neotettonica d'Italia. Pubbl. n.251 del P.F. Geodinamica - C.N.R.

CALAMITA F., COLTORTI M., DEIANA G., DRAMIS F. & PAMBIANCHI G. (1982a) - Neotectonic evolution and Geomorfology of the Cascia and Norcia depressions (Umbria-Marche Appennine). Geogr. Fis. Din. Quat., 5.

CALAMITA F. & DEIANA G. (1986) - Evoluzione strutturale neogenico-quadernaria dell'Appennino umbro-marchigiano. Studi Geol. Camerti, vol. speciale "La geologia delle Marche", 91-98.

CASTIGLIONI B. (1934) - Studi morfologici nell' Italia centrale (A proposito di un recente lavoro).Boll. R. Soc. It. sez. 6, 11,22,-30.

CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., CIPRIANI N., DEIANA G. & MICARELLI A. (1978)- Analisi dell'evoluzione tettonico-sedimentaria dei "Bacini Minori" torbidity del Miocene medio superiore nell'Appennino umbro marchigiano e laziale abruzzese: risultati degli studi in corso. Mem. Soc. Geol.It., 18, 135-170.

CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., DEIANA G., MICARELLI A. & PIERUCCINI U. (1971) - Contributo alla conoscenza del Giurassico dell'Appennino umbro-marchigiano. Mem.Soc. Geol.It., 8, 237-263.

CENTAMORE E., DEIANA G., DRAMIS F. & PIERUCCINI U. (1978b) - Guida alle escursioni nelle aree di Costacciaro - Gualdo Tadino e di Colfiorito (Appennino umbro-marchigiano). Progetto Finalizzato Geodinamica, Pubbl. n. 181, Istituto di Geologia dell'Università, Camerino.

CENTAMORE E., DEIANA G., DRAMIS F. & PIERUCCINI U. (1980) - La tettonica recente nell'arco appenninico umbro-marchigiano meridionale. In "Contributi preliminari alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia". Pubbl. n. 356, Progetto Finalizzato Geodinamica, 237-281.

CENTAMORE E., DEIANA G., MICARELLI A. & POTETTI M. (1986) - Il Trias-Paleogene delle Marche. Studi Geologici Camerti, volume speciale "La Geologia delle Marche", 9-27.

CHIOCCHINI M., DEIANA G., MICARELLI A., MORETTI A., PIERUCCINI U., (1976) - Carta geologica dei M. Sibillini Nord-orientali. Studi geologici Camerti Vol. VII.

COLTORTI M. (1991) - Modificazioni morfologiche oloceniche nelle piane alluvionali marchigiane: alcuni esempi nei fiumi Misa, Cesano e Musone. geogr. fis. dinam. ouat., 14, 73- 86.

COLTORTI M., GENTILI E. & PAMBIANCHI G. (1995) - evoluzione geomorfologica recente dei sistemi idrografici delle marche e i suoi riflessi sull'ambiente fisico. mem. soc. geogr. it., 271-292.

COMMISSIONE TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907 Giugno 2012 - Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica, Versione 2.0 beta-II.

CONSIGLIO NAZIONALE RICERCHE (C.N.R.)(1993). Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (G.N.D.C.I.), Istituto di Ricerca per

la Protezione Idrogeologica nell'Italia centrale (I.R.P.I.): "Carta Inventario dei Movimenti Franosi della Regione Marche ed Aree Limitrofe - scala 1:100.000". Pubblicazione G.N.D.C.I. n° 580.

COLTORTI M. & DRAMIS F. (1988) - The significance of stratified slope-waste deposits in the Quaternary of Umbria Marche Appennines Central Italy. Z. Geomorph n.f. 57-70.

COLTORTI M., DRAMIS F. & PAMBIANCHI G. (1983) - Stratified slope-waste deposits in the Esino River Basin, Umbria-Marche Appennines, Central Italy. Polarforschung 52 (2).

COLTORTI M., DRAMIS F., GENTILI B. & PAMBIANCHI G.(1979) - Stratified slope-waste deposits in the Umbria-Marche Appennine. Proc. 15th Meet. "Geomorphological Survey & Mapping", Modena.

CONTI A.. DI EUSEBIO L. DRAMIS F & GENTILI E. (1983) - Evoluzione geomorfologica recente e processi in atto nell'alveo del Tenna (marche meridionali). atti congr.geogr. it.. 2(3). 53-56.

COPPOLA L.,DRAMIS F.,GENTILI B. & PIERUCCINI U.(1978) - Paleofrane nelle formazioni mesozoiche dell'Appennino umbro-marchigiano. Mem. Soc. Geol. It., 19.

DE FEYTER A.J. & MENICHETTI M. (1986) - Backthrusting on forelimbs of rootless anticlines: examples from the Umbro-Marchean Appennines. Atti 73 Congresso Soc.Geol.It., Roma, 81-82.

DEMANGEOT J. (1965) - Gèomorphologie des Abruzzes adriatiques. C.N.R.S. Paris.

DRAMIS F: (1983)- Morfogenesi di versante nel Pleistocene superiore in Italia: i depositi detritici stratificati. In "AIQUA, Ass.It. Studio Quat., Relazioni convegno Autunnale 1982". Geogr. Fis. Dinam. Quat., 6, 180-182.

DRAMIS F. (1984a) - Aspetti geomorfologici a fattori genetici delle deformazioni gravitative profonde. Boll. Soc. Geol. It., 103.

DRAMIS F. (1984b) - Morfogenesi di versante nel Pleistocene superiore in Italia: i depositi detritici stratificati. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 7.

DRAMIS F. & BISCI C. (1986) - Aspetti geomorfologici del territorio marchigiano. Studi Geol. Camerti volume spec. La geologia delle Marche 99 103.

DRAMIS F. & GENTILI B. & PIERUCCINI U. (1979) - La carta geomorfologica del medio bacino del Tenna (Marche centro meridionali). Geol. Appl. Idrogeol., 14(2), 197-204.

FARABOLLINI P., GENTILI B & PAMBIANCHI G (1993) - Dinamica fluviale e antropizzazione nel fiume Tronto. Abs.Conv. Naz, Giovani Ricercatori Geol. Appl.. Potenza 28-31 ottobre 1993.

GALADINI F., MESSINA P., BASILI R.E BOSI C., 1997. Faglie attive nell'appennino centro-meridionale. Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, General Assembly, 41-44 (extended abstract).

GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (1987) - Morfogenesi fluviale ed attività antropica nelle Marche centro-meridionali. Geogr. Fis Dinam. Quat., 10.204-217.

GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (1993). Carta delle deformazioni gravitative profonde di versante e grandi frane nell'Appennino centrale (Foglio 124 – Macerata).

LAVECCHIA G. (1981) - Appunti per uno schema strutturale dell'Appennino umbro-marchigiano: 3)Lo stile deformativo. Boll. Geol. Soc. It., 100, 271-278.

LAVECCHIA G., BARCHI M., BROZZETTI F. & MENICHETTI M. (1994) - Sismicità e tettonica nell'area umbro marchigiana. Boll. Geol. Soc. It., 113, 483-500.

LAVECCHIA G. & PIALLI G. (1981) - Appunti per uno schema strutturale dell'Appennino umbro-marchigiano. 1)Il basamento. Geol. Rom., 20, 183-195.

LAVECCHIA G. & PIALLI G. (1980) - Appunti per uno schema strutturale dell'Appennino umbro-marchigiano. 2)La copertura. Studi Geol. Camerti, 6, 23-30.

MAZZANTI R. & TREVISAN L. (1978)- Evoluzione della rete idrografica nell' Appennino centro settentrionale. Geogr. Fis. Quat., 1, 55-62.

NIJMAN W. (1971)-Tectonics of the Velino Sirente,Abruzzi, Central Italy. Koninkl Nederl Akad. Van Waterschappen, Reprinted from Proceeding, series B, vol. 74,n 2, p. 156-184.

PANIZZA M. (1972)- Proposta di legenda per carte geomorfologiche di dettaglio. Boll. Soc. Geol. It., 91, 207-237.

PELLEGRINI G. B. ed altri (1993) – Proposta di legenda geomorfologica ad indirizzo applicativo. Gruppo Nazionale Geografia Fisica e Geomorfologia.

RAFFY J. (1979). - Le versant tyrrhèzien de l'Apennin central: étude géomorphologique. Thèse inédite, 705 p., 142 fig., 80 pl. photographiques.

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1968) - Carta geologica d'Italia. Foglio 124, "MACERATA"; Scala 1:100.000.

SCARSELLA F. (1951) - Sulla zona d'incontro dell'Umbria e dell'Abruzzo.
Boll.Serv.Geol. d'It., 71.

Sarnano li dicembre 2017

Dott. Geol. Paolo Tiberi