

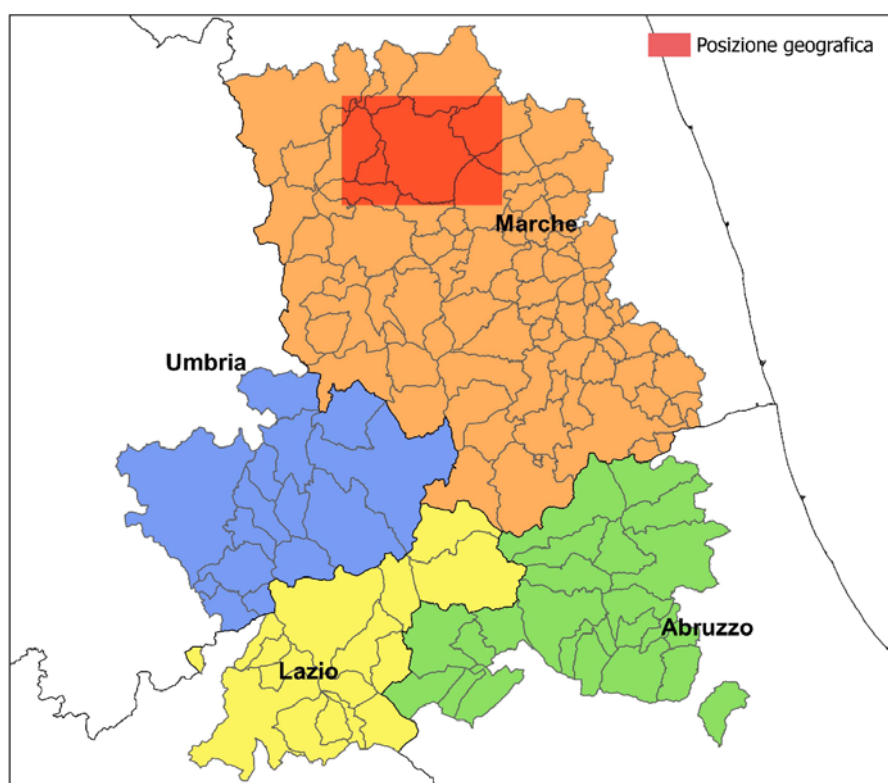


Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di San Severino Marche  
ai sensi dell'Ordinanza del Commissario Straordinario n.24 registrata  
il 15 maggio 2017 al n. 1065

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione Illustrativa

### Regione Marche Comune di San Severino Marche



Soggetto realizzatore

Dott. Geol. Alessandro Onorati

Dott. Geol. Marcello Maccari

Dott. Geol. Giorgio Cipolletti

Dott. Geol. Francesco Bassano

Dott.Ing. Federico Carboni

Data e revisione

20/04/2018 – Rev.2

**CENTROMS**

CENTRO PER LA  
MICROZONAZIONE SISMICA  
E LE SUE APPLICAZIONI

## INDICE

1	PREMESSA	1
2	UBICAZIONE E RIFERIMENTI CARTOGRAFICI	3
3	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE GENERALI	3
4	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	10
4.1	<i>CLASSIFICAZIONE SISMICA COMUNALE E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE</i>	13
5	PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA DELLE INDAGINI	15
6	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOFISICA	16
6.1	<i>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</i>	17
6.1.1	<i>STRUMENTAZIONE UTILIZZATA</i>	19
6.2	<i>CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA</i>	21
6.2.1	<i>STRUMENTAZIONE UTILIZZATA</i>	21
7	ELABORAZIONE DEI DATI ACQUISITI	22
8	MODELLO DEL SOTTOSUOLO	24
9	MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO	25
10	ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA MEDIANTE MODELLAZIONE 1D E 2D	28
10.1	<i>MODELLAZIONE 1D</i>	28
10.2	<i>MODELLAZIONE 2D</i>	30
11	CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO	32
12	RISULTATI E LORO PRESENTAZIONE	32
12.1	CARTA DELLE INDAGINI	33
12.2	CARTA CGT	33
12.3	CARTA DELLE FREQUENZE	36
12.4	CARTA DELLE MOPS	37
12.4.1	<i>CARTA DELLE MOPS LIVELLO 3 - SCALA 1:5.000</i>	37
12.4.2	<i>CARTA DELLE MOPS LIVELLO 1/LIVELLO 3 - SCALA 1:10.000</i>	40
12.5	CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3	47
13	CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI	49
14	INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE	52

## 1 PREMESSA

La recente crisi sismica che ha interessato il settore appenninico compreso tra le regioni Abruzzo, Lazio, Marche e Umbria ha spinto il *Commissario straordinario del Governo per la ricostruzione* ad emanare un piano finalizzato a dotare i Comuni colpiti degli studi di microzonazione sismica (MS) di livello 3, necessari a supportare i piani di ricostruzione. In particolare con il Decreto Legge n. 8 del 9 febbraio 2017 si promuove, all'articolo 1, l'immediata effettuazione del piano per la microzonazione sismica di livello 3 individuando il Centro per la Microzonazione Sismica e le sue applicazioni (Centro MS), quale organismo di coordinamento scientifico e di supporto per i professionisti incaricati dalle varie amministrazioni comunali per la redazione degli studi di microzonazione sismica di livello 3. Con successiva ordinanza (n. 24 del 12 maggio 2017) del *Commissario straordinario del Governo per la ricostruzione* vengono poi assegnati i relativi finanziamenti.

In tale piano rientra anche il comune di San Severino Marche per il quale, in passato, sono stati eseguiti gli studi di MS di livello 1, che hanno riguardato sia il centro urbano sia la maggior parte delle frazioni.

In tale contesto il Comune di San Severino Marche (MC), ha affidato allo S.G.A. *Studio Geologico Associato* nelle persone dei geologi Marcello Maccari ed Alessandro Onorati, nonché ai geologi Giorgio Cipolletti e Francesco Bassano ed all'ing. Federico Carboni, l'incarico per lo "**Studio di microzonazione sismica di livello 3**".

Nella pianificazione degli studi di microzonazione sismica di livello 3, tenendo nella debita considerazione il finanziamento concesso e le nuove indagini

geognostiche e sismiche da eseguire obbligatoriamente, scelte dall'elenco riportato nel disciplinare di incarico e più precisamente definite negli incontri tra i professionisti incaricati ed i referenti del Centro di Microzonazione Sismica nazionale, è stato valutato, di concerto con l'amministrazione comunale, di concentrare gli studi nell'ambito della perimetrazione urbana comprendente il centro storico ed i quartieri periferici.

Gli studi di MS sono stati realizzati così come stabilito dal Centro di Microzonazione Sismica nazionale e secondo le modalità e le finalità definite negli ICMS (2008), nelle linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da deformazioni cosismiche permanenti e negli standard nazionali di rappresentazione e archiviazione (Standard versione 4.0b).

Lo studio è stato sviluppato secondo le fasi seguenti:

- individuazione delle aree oggetto di indagine;
- analisi degli elaborati cartografici e delle indagini di cui allo studio di microzonazione di primo livello;
- programmazione e realizzazione della campagna di indagini sismiche e geognostiche con esecuzione di prove geotecniche in foro e prelievo di campioni per l'esecuzione di prove geotecniche di laboratorio in campo statico e dinamico;
- definizione del modello geologico geotecnico sulla base dei risultati delle nuove indagini con realizzazione di sezioni litostratigrafiche e relativa classificazione sismica dei terreni;
- esecuzione delle analisi numeriche in campo mono e bidimensionale (quest'ultimo a cura Centro di Microzonazione Sismica), al fine di fornire una stima quantitativa della risposta sismica locale;
- definizione dei fattori di amplificazione sismica;
- realizzazione delle cartografie di microzonazione sismica;
- stesura della relazione descrittiva.

La presente relazione descrittiva viene redatta, come appositamente richiesto con mail dal Centro MS in ragione dei tempi ristretti di espletamento del servizio, in forma sintetica, ma esaustiva.

La finalità principale della MS3 è la realizzazione di uno studio di pericolosità sismica molto avanzato con la caratterizzazione del territorio in microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) secondo gli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica.

Il termine “microzona” indica come tale caratterizzazione contenga un dettaglio del territorio tale da fornire elementi utili alla pianificazione territoriale sia nella fase di ricostruzione/progettazione sia nella futura elaborazione di piani urbanistici generali o di loro varianti.

## **2 UBICAZIONE E RIFERIMENTI CARTOGRAFICI**

La zona interessata dagli studi di microzonazione di livello 3 riguarda la perimetrazione urbana comprendente il centro storico ed i quartieri periferici, il tutto compreso tra le quote di 225 mslm del Rione Settempeda e 342 mslm di Colle Montenero. Questa ricade topograficamente nel foglio IGM 124, interessando la tavoletta IV S.O. "San Severino Marche"; rispetto alla CTR è compresa nella sezione 302150.

## **3 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE GENERALI**

I terreni del substrato che contraddistinguono il territorio di San Severino Marche consistono in una sequenza ininterrotta di litotipi che, abbracciando un arco temporale compreso tra il Giurassico inferiore ed il Pliocene inferiore, va dal *Calcare massiccio* alle *Argille e sabbie del pliocene inferiore*; più diffusamente ai terreni tipici dell'intera serie carbonatica Umbro-Marchigiana (rappresentati nella carta di seguito allegata dal simbolo 2) si sovrappongono i termini della *Formazione della Laga* e

della *Formazione gessoso-solfifera* (rappresentati nella carta di seguito allegata dal simbolo 3c) e quindi la *Formazione delle Argille a colombacci* a cui segue *Formazione delle Argille e sabbie del pliocene inferiore* appartenenti al Bacino Marchigiano Esterno (rappresentate dal simbolo 4).

Relativamente all'area indagata, che contempla una porzione di detto territorio, i terreni riconosciuti appartengono alla seguente sequenza:

*Scaglia rossa* ⇒ *Scaglia cinerea* ⇒ *Bisciario* ⇒ *Schlier* ⇒ *Formazione della Laga* (membro pre evaporitico) ⇒ *Formazione Gessoso-solfifera*

In sostanza si riconosce, nell'area investigata, una sequenza litologica rappresentata da una sedimentazione dapprima di tipo pelagico, di mare profondo, prevalentemente calcarea e calcareo marnosa (*Scaglia rossa*) quindi calcareo marnosa e marnosa (*Scaglia cinerea*), il tutto in regime tettonico distensivo o di quiescenza. Successivamente la sedimentazione passa ad emipelagica dove alle marne silicee ed ai calcari marnosi si intercalano livelli vulcanoclastici di spessore variabile da pochi cm al metro (*Bisciario*) e infine alternanze di marne, marne calcaree, marne argillose grigie e, subordinatamente, di calcari marnosi biancastri, talora finemente detritici, (*Schlier*), contraddistinti da una frequente e spesso intensa bioturbazione e da un diffuso clivaggio.

Durante la deposizione del *Bisciario* e dello *Schlier* l'azione tettonica, passata da distensiva a compressiva, determina la deformazione del bacino marchigiano in dorsali e depressioni, allungate in direzione nord sud, e la suddivisione in bacini più piccoli dove la tipologia di sedimentazione da emipelagica diventa prevalentemente terrigena. A questo punto inizia, infatti, una sedimentazione determinata da torbiditi sabbiose (frane sottomarine) conseguenti a continui apporti fluviali, che da luogo alla deposizione della *Formazione della Laga*. Questa è costituita da alternanze di

strati pelitici (argille ed argille siltose) ed arenacei organizzati in rapporti di continuità, sia laterale che verticale, abbastanza variabili e cartografati raggruppati in associazioni distinte secondo la prevalenza del litotipo (*Ass.arenacea*, *arenaceo-pelitica* ecc.). All'interno di questa formazione e nella porzione basale, si differenzia la *Formazione gessoso-solfifera* costituita da un pacco di strati, dello spessore di alcune decine di metri, formati da alternanze di marne argillose bituminose nerastre, diatomiti, calcari solfiferi e siltiti sottilmente laminate e di colore grigio scuro, bruno ed aranciato con due livelli di gessi laminati e gessi detritici (gessareniti).

I sopra descritti depositi del substrato sono in gran parte ricoperti da una coltre detritica quaternaria, il cui spessore varia in relazione alla morfologia, formata prevalentemente da *depositi alluvionali*, sia terrazzati sia di riempimento dei fondovalle, *depositi eluvio-colluviali*, *detriti di versante*, nonché da limitati *depositi di frana* sia antichi che recenti.

Tra i *depositi alluvionali* si riconoscono quattro ordini dei terrazzi, che caratterizzano i corsi d'acqua principali, accumulati a seguito dell'alternarsi di fasi erosive e di deposito succedutesi durante il Quaternario. Sono prevalentemente costituiti da ghiaie a composizione in maggior parte calcarea ed in subordine silicea, a granulometria medio-fine, immerse in matrice sabbioso-limosa, al cui interno si intercalano, a varie altezze, livelli argillosi e lenti limoso-sabbiose e sabbiose di differente spessore e continuità laterale. In particolare nelle aree oggetto della presente indagine sono rappresentati in massima parte i depositi appartenenti al IV ed al III ordine dei terrazzi del fiume Potenza.

I *depositi eluvio colluviali*, caratterizzano generalmente la porzione medio bassa dei versanti collinari fungendo da raccordo con la piana alluvionale del III ordine con i cui depositi si interdigitano, costituendone altresì un parziale ricoprimento. Sono generalmente costituiti da litologie fini (limi sabbiosi e limi argillosi) con elementi clastici arenacei sparsi, talora anche di notevoli dimensioni.



La loro messa in posto è tuttora attiva e generata prevalentemente dall'attività antropica, in particolare dalla pratica agricola.

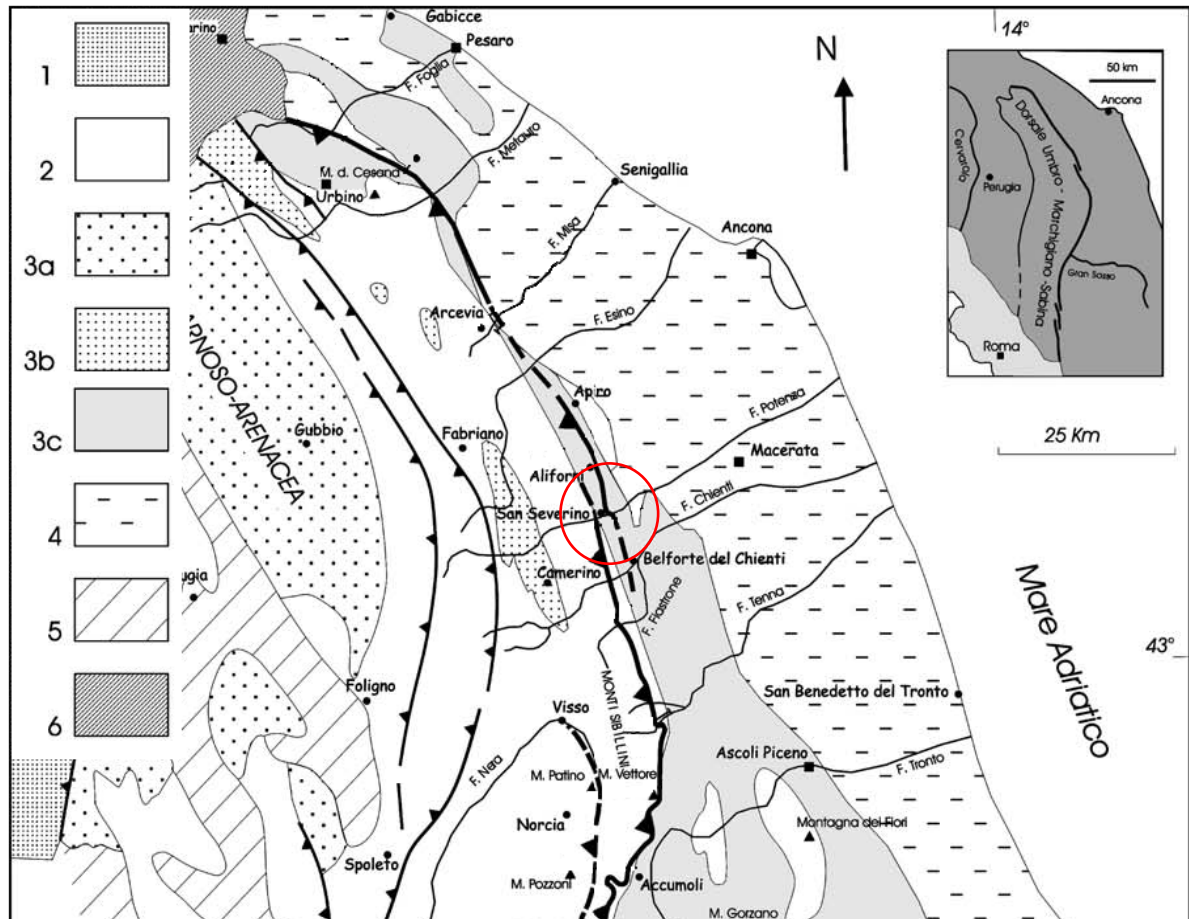


Figura 1: Schema geologico dell'area Marchigiana (da DEIANA et alii, 2002 - modificato).

1) Unità del Monte Falterona-Trasimeno. 2) Successione bacinale calcarea, calcareo-marnosa e marnosa o successione di piattaforma carbonatica/scarpata (Trias superiore-Miocene p.p.); 3) Depositi torbiditici silicoclastici miocenici del Preappennino (3a: Burdigaliano p.p.-Tortoniano p.p.), intrappenninici (3b: Serravalliano p.p.-Messiniano p.p.) e del Pedepennino (3c: Messiniano); 4) Successione plio-pleistocenica periadriatica; 5) Depositi plio-quadernari marini o continentali post-orogenici e vulcaniti della provincia laziale; 6) Colata della Val Marecchia.

Il sovrascorrimento del fronte montuoso umbro-marchigiano è rappresentato con triangoli e linea con tratto spesso, mentre triangoli e linee con tratto sottile rappresentano sovrascorrimenti minori. Il cerchio rosso indica l'area in studio.

I *detriti di versante* caratterizzano i versanti dei rilievi calcarei dove sono formati principalmente da clasti calcarei e calcareo marnosi appiattiti, a spigoli vivi immersi in matrice sabbiosa, a luoghi scarsa, risultando talora discretamente cementati.

I *depositi di frana* rappresentano l'accumulo di movimenti gravitativi che hanno



interessato in varie epoche i versanti; la loro composizione litologica, in genere costituita da materiali fini (limi sabbiosi e limi argillosi) con immersi elementi clastici più o meno grossolani, dipende dai terreni di origine.

Per ciò che concerne l'aspetto strutturale generale è quello tipico della catena appenninica umbro-marchigiana, caratterizzato da un sistema a pieghe parallele, faglie inverse e sovrascorrimenti neogenici a vergenza orientale, generato in regime di tettonica compressiva. Gli elementi principali sono, passando nella descrizione da ovest verso est: il versante orientale della Dorsale Marchigiana a cui si collega la sinclinale che ha dato origine al Bacino della Laga per passare poi alla monoclinale del Bacino Marchigiano Esterno; tra queste ultime due strutture si rileva, in una sorta di separazione, la presenza di un'anticlinale minore costituita dalla Dorsale di Cingoli localmente rappresentata dall'allineamento Monte Acuto – Monte Penna.

Nelle Dorsali affiora la successione calcarea e calcareo-marnoso-selcifera (Mesozoico-Paleogenica), mentre nelle zone di bacino affiorano i depositi torbiditici silico-clastici del Messiniano-Pliocene inferiore.

Riguardo l'esistenza di sovrascorrimenti nel territorio comunale, quello supposto da alcuni autori ai piedi della Dorsale marchigiana a nord del Fiume Chienti, non è evidenziato dai dati della geologia di superficie. Per ciò che concerne le faglie normali plio-quadernarie, queste, generate in regime di tettonica distensiva, dislocano le precedenti strutture compressive governando spesso l'impostazione del reticolo idrografico.

La struttura geomorfologica zona in cui ricade l'area considerata è data dalla piana alluvionale, organizzata su due livelli definibili come terrazzi del III e IV ordine del Fiume Potenza, e da scarpate di origine fluviale sia inattive e ben vegetate, che separano i due ordini di terrazzo sopra detti, sia attive, che bordano il corso d'acqua. Queste ultime sono a tratti interessate da piccole frane che coinvolgono soltanto i materiali di riporto accumulati lungo le sponde.

Riguardo la dinamica fluviale, il Potenza mostra una generale tendenza all'approfondimento dell'alveo confermata dall'affioramento lungo l'alveo dei litotipi del substrato.

Gli elementi morfologici sopra descritti rappresentano le sole forme naturali rilevabili in quanto la completa urbanizzazione, con costruzioni che si spingono fino al bordo della scarpata fluviale attuale e la formazione di sbancamenti e riporti, ha prodotto un intenso rimaneggiamento antropico, modificando o mascherando le forme secondarie e talora anche quelle principali, rendendo altresì difficile ricostruirne l'impronta originaria.

Per ciò che concerne il reticolo idrografico l'elemento principale è rappresentato dal fiume Potenza che rispetta il tipico regime torrentizio con piene accentuate durante i periodi invernali e primaverili e scarse portate nel resto dell'anno.

Il reticolo secondario si sviluppa perpendicolarmente all'asta fluviale principale, mostrando caratteri di estrema stagionalità con i fossi attivi solamente nei periodi invernali e di inizio primavera e, nel resto dell'anno, in occasione di piogge particolarmente intense. Riguardo l'area in studio, esso è poco o nulla sviluppato in relazione alla presenza dei depositi alluvionali che permettono il rapido drenaggio in profondità delle acque di pioggia.

Le caratteristiche idrogeologiche schematiche della zona descrivono un substrato per lo più impermeabile, ad eccezione dell'estrema area occidentale dove affiorano i litotipi della *Scaglia rossa*, su cui poggiano sia i *depositi eluvio colluviali*, formati prevalentemente da limi e limi sabbiosi, presenti lungo i versanti collinari, sia i *depositi alluvionali* del fiume Potenza. Una classificazione idrogeologica generale è stata ottenuta raggruppando tra loro unità omogenee, sia per caratteristiche litologiche che di permeabilità, permettendo di distinguere le seguenti unità:

- *Scaglia rossa*: si può considerare come un acquifero importante per

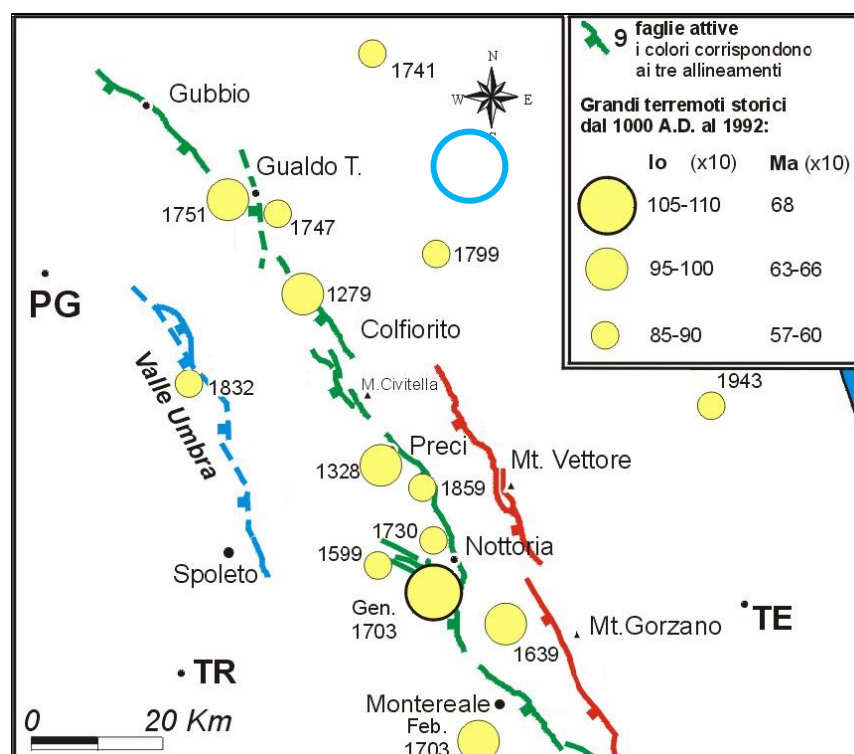
estensione e potenza: esso è confinato superiormente dall'*aquiclude* della *Scaglia cinerea* e sostenuto inferiormente dal membro inferiore delle *Marne a fucoidi*. La circolazione idrica, veloce e con tempi di residenza mediamente non molto superiori all'anno idrologico, avviene essenzialmente per fratturazione e il deflusso sotterraneo è guidato dall'assetto strutturale e condizionato dalle lineazioni tettoniche. A tale unità sono legate le manifestazioni idriche caratterizzate da forte escursione annuale nei volumi delle portate.

- *Scaglia cinerea, Bisciaro, Schlier, Formazione della Laga, Formazione Gessoso-solfifera*: costituite per lo più da alternanze di marne e marne calcaree e da argille con arenarie possono essere considerate, a scala regionale, come un unico grande complesso impermeabile, mentre a scala locale i corpi più calcarei e gli strati arenacei, dotati di permeabilità per fratturazione, possono costituire acquiferi limitati e di scarsissima importanza idrogeologica. Le emergenze idriche connesse possono essere numerose ma distinte da un regime stagionale e da portate molto basse (ordine del decimo di litro).
- *Depositi alluvionali*: nel complesso si possono classificare come "*terreni ad elevata permeabilità*" in quanto costituiti da materiali prevalentemente ghiaiosi ed in subordine da sabbie e limi. Caratterizzati da un forte eterogeneità granulometrica, che si manifesta anche su spazi molto brevi con conseguente variazione del grado di permeabilità, sono sede di un acquifero degno di nota. L'acquifero può essere considerato monostrato e la ricarica della falda è dovuta essenzialmente all'infiltrazione diretta delle acque meteoriche e di scolo dai versanti. Costituisce un serbatoio idrogeologico importante e sfruttato.
- *Depositi detritici, eluvio colluviali e di frana*: il grado di permeabilità è assai variabile, sia in senso laterale che verticale, a causa dell'eterogeneità litologica che li caratterizza e che comunque consente di classificarli come

"terreni a permeabilità da bassa a media"; il limitato spessore di questi terreni rende insignificante le loro potenzialità idrogeologiche.

#### 4 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

La sismicità che interessa attualmente l'Appennino centrale, e quindi anche la zona in oggetto, è prevalentemente legata a processi di estensione crostale che, con un movimento orientato NE-SW, si esplica mediante deformazioni lungo faglie disposte a direzione NW-SE. Il tasso di spostamento, misurato grazie ad una fitta rete Gps realizzata dall'INGV, è di qualche millimetro all'anno (1–3 mm), ma ad oggi non si conosce ancora quanta di questa deformazione viene rilasciata con spostamenti asismici e quanta con forti terremoti.



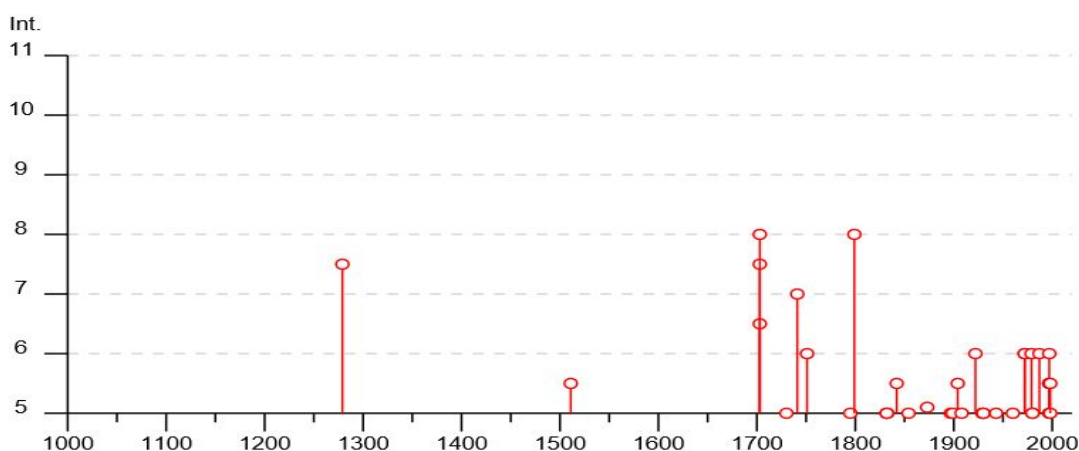
**Figura 2:** Mappa degli epicentri macrosismici dei principali terremoti storici dell'ultimo millennio (da catalogo C.P.T.I., 1999) rilevati nell'appennino umbro-marchigiano. Il cerchio celeste indica la zona in studio

I principali allineamenti di faglie attive ovest immergenti sono così individuati: **1)** allineamento esterno "M.te Vettore-Gran Sasso" (rosso); **2)** allineamento intermedio "Gubbio-Aremogna" (verde); **3)** allineamento interno "Valle Umbra-Barrea" (blu)

Nella figura precedente sono indicati i principali allineamenti di faglie attive  
ovest immergenti (fault systems regionali) causa degli eventi sismici in Appennino.

Nell'ultimo mezzo secolo vaste porzioni dell'appennino [Valnerina 1979, Irpinia-Basilicata 1980, Umbria-Marche 1997, Aquilano 2009, Emilia 2012] con sequenze che spesso hanno perdurato per parecchi mesi. Attualmente si risente ancora dello sciame sismico che, iniziato il 24 agosto 2016 con la distruzione di Amatrice, sta interessando una vasta zona compresa tra Abruzzo-Lazio-Umbria-Marche con eventi che hanno raggiunto la magnitudo di 6.5 (30 ottobre 2016), coinvolgendo pesantemente anche il territorio comunale di San Severino Marche.

Le conoscenze storiche locali collegate ad eventi sismici, nonostante la città di San Severino Marche sia esistente già in epoca romana (300 a.c.), iniziano solo a partire dal 1279 (figura 3 – Tabella 1).



**Figura 3:** sequenza storica dei terremoti occorsi e risentiti nella zona di San Severino Marche aventi  $I_s > 5$  (da Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>)

Queste confermano che la zona non è stata sede di epicentri sismici, ma che i terremoti di una certa importanza, che hanno interessato il territorio negli ultimi 740 anni circa, sono il frutto di eventi collegati ad importanti terremoti aventi per lo più epicentro nell'Appennino centrale e quindi esterni all'area in oggetto. Infatti oltre alle

testimonianze storiche anche i dati geologici di superficie indicano come ad oggi non sia realistico ipotizzare strutture sismogenetiche capaci di produrre terremoti distruttivi con associati fenomeni di fagliazione superficiale.

Terremoti al di sopra della soglia di danno accaduti o risentiti nella zona di San Severino Marche (1279-2014)										
Numero totale degli eventi: 18										
Effetti		Terremoti								
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	Area epicentrale	nMDP	Io	Mw
7-8	1279	04	30	18	00		Camerino	17	9	6.31±0.33
7	1703	01	14	18	00		Appennino umbro-reatino	199	11	6.74±0.11
8	1703	02	02	11	05		Aquilano	70	10	6.72±0.17
5	1730	05	12	05	00		Valnerina	115	9	5.92±0.16
7	1741	04	24	09	00		Fabrianese	145	9	6.21±0.13
6	1751	07	27	03			Gualdo Tadino	68	10	6.25±0.22
8	1799	07	28	22	05		Appennino marchigiano	71	9	6.13±0.17
5	1832	11	14	11	00		Alta valle del Chienti	19		
5	1854	02	12	21	00		Valle del Topino	21	8	5.55±0.44
5	1897	09	21				Adriatico centrale	44	7	5.46±0.27
6	1922	06	08	07	47		Caldarola	52	6	4.89±0.19
5	1930	10	30	07	13		Senigallia	263	8	5.81±0.09
6	1972	02	04	02	42	19	Medio Adriatico	75	7-8	4.86±0.29
6	1979	09	19	21	35	37	Valnerina	694	8-9	5.86±0.09
5	1980	11	23	18	34	52	Irpinia - Basilicata	1394	10	6.89±0.09
6	1987	07	03	10	21	58	Porto San Giorgio	359	7	5.09±0.09
5-6	1997	09	26	09	40	25	Appennino umbro-march.	869	8-9	6.01±0.09
5	1998	03	26	16	26	17	Appennino umbro-march.	408	6	5.29±0.09

**Tabella 1:** terremoti al di sopra della soglia di danno risentiti nella zona di San Severino Marche (da *Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15- modificato*)

Is=intensità localmente risentita; nMDP=numero di osservazioni; Io=Intensità epicentrale; Mw=magnitudo momento

La tabella precedente riassume gli eventi più importanti che hanno colpito il territorio comunale con l'esclusione delle cosiddette "repliche", ovvero scosse registrate entro 90 giorni e ad una distanza di 30 km dall'epicentro di un evento individuato come principale all'interno di una sequenza.

Tra questi vale la pena ricordare quelli distruttivi del 1279 e 1799, con epicentro proprio nel camerinese, e quelli del 1703 che produssero nel territorio comunale danni paragonabili all'ottavo grado MCS.

Recentemente, la crisi sismica del 1997 registrata nell'appennino umbro-marchigiano, ha provocato numerosi e diffusi danneggiamenti, anche se con livelli non elevati, per lo più al patrimonio edilizio vetusto. Riguardo, invece, la sequenza sismica attualmente in corso che ha prodotto gli eventi dei giorni 24 agosto 2016 (Mw massima di 6.01), 26 ottobre (Mw massima di 5.9) e 30 ottobre (Mw massima di 6.5), si rileva un livello di danneggiamento diffuso con gravi danni anche gli edifici recenti (crolli e lesioni riferibili a fenomeni di intensità **Is** valutabile superiore a 8), specialmente laddove le particolari condizioni litostratigrafiche e geomorfologiche hanno dato luogo a fenomeni di amplificazione sismica.

#### 4.1 **Classificazione sismica comunale e pericolosità sismica di base**

Il comune di San Severino Marche è classificato sismico fin dal 1983 a seguito del DM 10 febbraio 1983 che, emanato ai sensi della legge sismica 64/74, lo includeva nella seconda categoria di sismicità (grado di sismicità  $S=9$ ) su una base di 3 gradi istituiti a livello nazionale (alta  $S=12$ , media  $S=9$  e

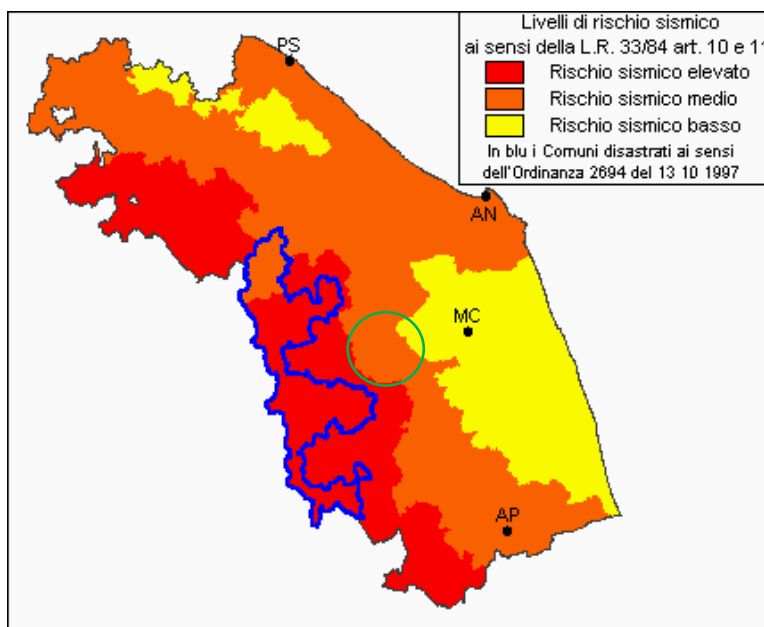


Figura 4: Il cerchio verde comprende il territorio comunale di San Severino Marche

bassa sismicità  $S=6$ ). In conseguenza di questa classificazione la Regione Marche ha emanato la L.R 33/1984 "Norme per le costruzioni in zona sismica" a cui ha fatto



seguito la Circolare 15/1990 che classificava i comuni della regione su tre livelli di rischio sismico, A (elevato) , B (medio), C (basso) come rappresentati in figura 4, facendo ricadere il comune di San Severino Marche nel livello di rischio medio.

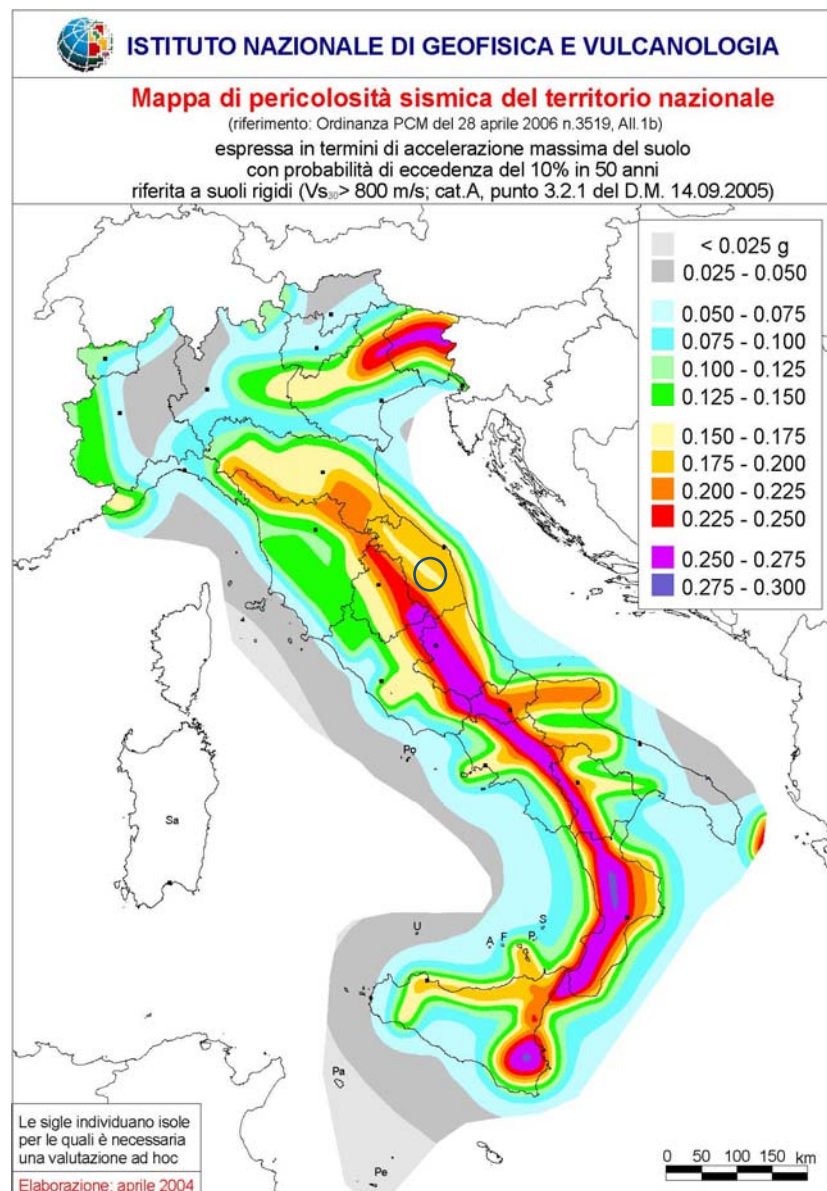


Figura 5: Il cerchio blu indica il territorio comunale di San Severino Marche

Successivamente, l'aggiornamento della classificazione sismica nazionale, stabilita con Ordinanza 3274 del 20.03.2003, recepita dalla Regione Marche con DGR 1046 del 29.07.2003 e aggiornata con DGR 136 del 17.02.2004, distingue il comune nella Zona 2, come riportato graficamente nella mappa di cui all'allegato B

dell'Ordinanza 3519 del 28.04.2006 (figura 5), assegnando poi con l'Ordinanza 3907 del 13.11.2010 - allegato 7, un valore di base di accelerazione massima del suolo ag pari a 0,176497.

## **5 PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA DELLE INDAGINI**

Il programma delle attività prende lo spunto da una completa rivisitazione ed analisi delle cartografie geologiche e litologico tecniche prodotte per la microzonazione di primo livello. Su questa base è stato sviluppato il piano riguardante le nuove indagini da realizzare tenendo conto della loro distribuzione sul territorio oggetto di studio dalla quale è poi emersa la necessità di integrare con opportune misure ciò che non risultava adeguatamente caratterizzato, specialmente da un punto di vista di acquisizione di dati sismici.

La stesura del programma è frutto di un preciso confronto con il personale designato dal CentroMS alla definizione del piano delle indagini ed alla fornitura di specifico supporto tecnico-scientifico durante le varie fasi di realizzazione del servizio. A tal proposito nei mesi di luglio ed agosto sono stati effettuati incontri presso i locali del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Camerino tesi sia a definire le differenti modalità di approccio al problema sia a valutare le varie tipologie di indagine nonché il loro posizionamento.

In particolare nell'area in oggetto sono state condotte delle indagini geofisiche consistenti in prove puntuali HVSR ed in prove lineari MASW, tarate sia con il rilievo geologico sia con i dati geognostici individuati attraverso prove penetrometriche e sondaggi allegati agli studi di microzonazione di livello 1 nonché di nuova esecuzione.

Sono stati altresì eseguiti, come previsto dall'Ordinanza 24 del 12 maggio 2017 e successive integrazioni, due sondaggi a carotaggio continuo, a cura e spese dei sottoscritti, ubicati in località Uvaiolo (sondaggio 1) e nel centro storico all'interno

di una corte privata in via Bigioli (sondaggio 2), esteso il primo fino alla profondità di 35 metri con l'intercettazione del substrato integro a 28,4 metri, ed il secondo fino alla profondità di 20 metri con l'intercettazione, a partire dalla profondità di 10,5 metri, del substrato integro; entrambi sono stati attrezzati per l'esecuzione di prove down hole (DH).

Le indagini sismiche di superficie (MASW ed HVSR) sono state eseguite ed elaborate dai sottoscritti nell'arco di tempo compreso tra il 10 agosto ed il 15 settembre; queste sono state successivamente integrate, a seguito di ulteriori dati richiesti dal Centro MS, UOT Marche 1 responsabile prof. Dario Albarello, nel periodo 28 novembre – 2 dicembre.

Riguardo i sondaggi geognostici, il periodo della loro esecuzione nonché messa in posto della tubazione di rivestimento e conseguente cementazione, è compreso tra i giorni 8 e 11 agosto; le prove down hole sono state effettuate nei giorni 18 e 19 settembre (cementazione del sondaggio di località Uvaiolo il 10/08/17, lettura DH effettuata il 18/09/17; cementazione del sondaggio di via Bigioli il 11/08/17, lettura DH effettuata il 19/09/17) a cura dai tecnici del Centro MS che hanno poi provveduto alla relativa interpretazione e fornitura dei dati. Questi ultimi ci sono stati consegnati in data 17 novembre (DH di località Uvaiolo), e in data 21 novembre (DH di Via Bigioli).

I dati di cui sopra hanno permesso di ottenere l'interpretazione del modello del sottosuolo in termini di sismostrati fino all'individuazione del bedrock sismico.

## **6 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOFISICA**

Per le analisi a supporto dello studio di microzonazione sismica di 3° livello si fa riferimento alla numerosa mole di dati raccolti con gli studi relativi al primo livello, implementati con i risultati delle nuove e mirate indagini ad uopo eseguite per le quali si descrive anche la strumentazione utilizzata.

## 6.1 Caratteristiche geotecniche

Di seguito si riporta, escludendo i terreni di riporto sia per l'estrema e, per larghi tratti, sconosciuta variabilità dei materiali che li compongono, sia per la scarsità di dati, una breve descrizione dei litotipi naturali presenti nel territorio esaminato, richiamando per ciascuno di essi le caratteristiche medie dei principali parametri geomeccanici. Dette caratteristiche rappresentano sia la sintesi delle varie indagini e prove geotecniche di cui al presente lavoro, sia la ricapitolazione di dati derivanti da indagini eseguite su terreni simili in cantieri ubicati nelle aree immediatamente circostanti.

**Terreni di copertura - ML:** sono rappresentati da sedimenti sciolti, formati da commistioni di sabbie e limi che solitamente dimostrano valori dell'angolo di attrito compresi mediamente tra 24° e 26° con talora picchi fino a 31°, a debolmente coesivi e costituiti in prevalenza da limi sabbioso-argillosi che frequentemente mostrano un elevato contenuto in acqua ed un angolo di attrito inferiore ai 22°;

$\gamma$	= peso di volume	= 1,80 – 2,05	g/cm <sup>3</sup>
$C_u$	= coesione non drenata	= 0,3 – 1,0	Kg/cm <sup>2</sup>
$\phi'$	= angolo d'attrito	= 20° – 24°	
$C'$	= coesione drenata	= 0,01 – 0,3	Kg/cm <sup>2</sup>
$E_{ed}$	= modulo di compressibilità	= 30 – 90	Kg/cm <sup>2</sup>

**Terreni di copertura - MH:** sono rappresentati prevalentemente da commistioni di argille e limi, da debolmente coesivi a coesivi che frequentemente mostrano un elevato contenuto di acqua;

$\gamma$	= peso di volume	= 1,9 – 2,05	g/cm <sup>3</sup>
$W_n$	= contenuto d'acqua	= 19 – 26	%
$C_u$	= coesione non drenata	= 0,8 – 1,5	Kg/cm <sup>2</sup>
$\phi'$	= angolo d'attrito	= 18° – 26°	
$C'$	= coesione drenata	= 0,1 – 0,5	Kg/cm <sup>2</sup>
$E_{ed}$	= modulo di compressibilità	= 20 – 60	Kg/cm <sup>2</sup>

**Terreni di copertura - GM:** sono costituiti da commistioni di ghiaie, sabbie e limi in varie proporzioni a formare lenti e livelli di spessore e continuità assai variabili, che si alternano irregolarmente secondo rapporti laterali di tipo prevalentemente eteropico. Comprendono i materiali trasportati dai vari corsi d'acqua e depositati lungo le valli principali (depositi alluvionali e depositi di conoide) nonché le falde detritiche costituite durante le fasi climatiche fredde in ambiente glaciale e periglaciale.

Si tratta di terreni per lo più incoerenti i cui valori dell'angolo di attrito mostrano un ampio intervallo legato alle caratteristiche granulometriche, al grado di assortimento e di addensamento; maggiori sono queste grandezze maggiori sono i valori di angolo di attrito e peso di volume. Di seguito vengono caratterizzati separatamente i depositi alluvionali/conoide ed i detriti di falda:

**- Depositi alluvionali**

$\gamma$	= peso di volume	= 1,80 – 2,10	g/cm <sup>3</sup>
Dr	= grado di addensamento	= 50 – 80	%
Cu	= coesione non drenata	= 0,0 – 0,3	Kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	= angolo d'attrito	= 32° – 36°	
E <sub>s</sub>	= modulo di compressibilità	= 150 – 300	Kg/cm <sup>2</sup>

**- Falda detritica**

$\gamma$	= peso di volume	= 1,85 – 2,00	g/cm <sup>3</sup>
Dr	= grado di addensamento	= 60 – 70	%
$\phi$	= angolo d'attrito	= 35° – 42°	
E <sub>ed</sub>	= modulo di compressibilità	= 120 - 210	Kg/cm <sup>2</sup>
	Ghiaia	= 65 – 75	%
	Sabbia	= 15 – 20	%
	Argilla e limo	= 10 – 15	%

**SUBSTRATO:** in base alla tabella di classificazione di cui allo standard di rappresentazione per la Microzonazione Sismica, sono state distinte due diverse tipologie di substrato che vengono appresso descritte:

- **ALS e SF ALS:** contempla i litotipi della *Scaglia cinerea*, del *Bisciaro* e dello *Schlier*, costituiti da alternanze di marne, marne argillose e marne calcaree,

stratificate e contraddistinte generalmente da un grado di fratturazione elevato, nonché la frazione marnoso-argillosa della *Formazione Gessoso-solfifera*. Le caratteristiche meccaniche sono paragonabili a quelle di una roccia lapidea tenera.

$\gamma$	= peso di volume	= 2,2 – 2,3	$\text{g/cm}^3$
$\sigma_r$	= resistenza a compressione	= 8 – 25	$\text{Kg/cm}^2$
$\phi'$	= angolo d'attrito	= 21° – 28°	
$C'$	= coesione drenata	= 0,4 – 0,7	$\text{Kg/cm}^2$
$C_u$	= coesione non drenata	= 4 – 12	$\text{Kg/cm}^2$
$E$	= modulo di compressibilità	= 500 – 1000	$\text{Kg/cm}^2$

Valutando le caratteristiche di insieme dell'ammasso roccioso si possono considerare, in relazione al grado di fratturazione elevato che si riscontra in alcune delle aree rilevate, i seguenti parametri geotecnici:

$\phi_m$	= angolo d'attrito dell'ammasso	= 23°	
$C_m$	= coesione dell'ammasso	= 1,8	$\text{Kg/cm}^2$

- **LPS:** si tratta di alternanze di strati di arenaria e strati di argille che caratterizzano la *Formazione della Laga*; danno forma ai rilievi collinari ai bordi dell'area di indagine dove gli strati arenacei, prevalenti rispetto a quelli argillosi, sono talora amalgamati e frequentemente caratterizzati da spessori di alcuni metri:

$\gamma$	= peso di volume	= 2,1 – 2,4	$\text{g/cm}^3$
$\sigma_r$	= resistenza a compressione	= 20,1 – 45,8	$\text{Kg/cm}^2$
$E$	= modulo di Young	= 5,9 - 38 x 10 <sup>4</sup>	$\text{Kg/cm}^2$

### 6.1.1 Strumentazione utilizzata

Per quanto concerne l'esecuzione dei sondaggi geognostici è stata incaricata la ditta Geotecnica Lavori Srl di Perugia che ha operato con sonda meccanica Soil Mec 400; il carotaggio è stato effettuato per i primi metri di ciascun sondaggio a secco, senza fluido di perforazione con carotiere semplice ed una percentuale di

recupero del materiale per la maggior parte superiore all'85%. In relazione ai terreni attraversati ed alla tipologia dei lavori da eseguire, è stato necessario rivestire per l'intero sviluppo i fori di sondaggio con camicia metallica provvisoria. La perforazione è stata eseguita nei terreni di copertura con carotiere semplice mentre per i litotipi del substrato è stato utilizzato il doppio carotiere. L'espulsione della carota dal carotiere è stata eseguita con pressione idraulica, impiegando tamponi a tenuta.

Le cassette catalogatrici contenenti il carotaggio, munite di scomparti divisori e coperchio apribile, sono state fotografate durante il loro completamento con la completa leggibilità di tutte le indicazioni esistenti sulla cassetta ed una visione chiara delle carote contenute.

Sono stati prelevati campioni di terreno sia indisturbato che disturbato per la caratterizzazione dei litotipi delle coperture nonché del substrato.

I fori di sondaggio sono stati attrezzati per l'esecuzione della prospezione sismica down hole previo rivestimento con tubi in PVC, in spezzoni da 3 m. di lunghezza, assemblati mediante filettatura a vite. L'installazione del rivestimento è stata completata con il riempimento dell'intercapedine tra terreno e tubo di miscela cementizia fatta affluire dal fondo del foro tramite un tubicino di plastica, a perdere, affiancato al tubo in PVC. L'iniezione è stata effettuata lentamente ed a bassa pressione. Nei due giorni successivi è stato controllato il livello raggiunto dalla cementazione provvedendo al rabbocco dall'alto dell'intercapedine.

Per la sistemazione esterna è stata predisposta la posa in opera di un pozzetto di protezione in metallo, ben cementato nel terreno, munito di lucchetto di chiusura.

Riguardo l'esecuzione delle prove di caratterizzazione geotecnica sui campioni di terreno prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi, questa è stata eseguita dai tecnici del Centro MS che hanno utilizzato attrezzature proprie fornendo i risultati delle elaborazioni.



## **6.2 Caratterizzazione geofisica**

Per la caratterizzazione geofisica del sottosuolo sono stati utilizzati i dati reperiti con gli studi di primo livello integrati con i numerosi dati ottenuti con le nuove indagini ad uopo eseguite. In particolare le tipologie di indagine hanno riguardato:

- misure di rumore ambientale con tecnica HVSR
- MASW
- Down Hole

L'ubicazione delle nuove indagini sismiche è stata stabilita a partire dai dati pregressi disponibili e quindi sulla base di considerazioni di carattere litologico-stratigrafico tenendo altresì conto del fattore copertura areale.

Le elaborazioni dei dati acquisiti sono riportate nelle relative schede allegate.

### **6.2.1 Strumentazione utilizzata**

L'attrezzatura utilizzata per l'esecuzione delle prove MASW consiste in un sismografo Pasi GEA24 a 24 canali, di 12/24 geofoni verticali ed orizzontali da 4,5 Hz, di un piattello in alluminio per energizzazione Onde di Rayleigh, di un travetto in legno per energizzazione Onde di Love ed una mazza da 10 kg; il programma utilizzato per l'acquisizione ed elaborazione dei dati è il WinMASW Acq 7.3 - Geopsy.

L'attrezzatura utilizzata per l'acquisizione dei microtremori ambientali è una terna triassiale "SR04 Geobox", della SARA Instruments Srl, attrezzata con sensori velocimetrici con frequenza propria da 4,5 Hz. Il campionamento è stato eseguito con una frequenza di 300 Hz, per una durata di 20 minuti ed ogni misura è stata elaborata con la tecnica HVSR, suddividendo il segnale in finestre temporali di 20 secondi, rimuovendo dalla media quelle contenenti transienti o disturbi.

Riguardo l'esecuzione della prova sismica in foro (Down Hole), questa è stata eseguita dai tecnici del Centro MS che hanno utilizzato attrezzature proprie fornendo i risultati delle elaborazioni.

## 7 ELABORAZIONE DEI DATI ACQUISITI

I dati acquisiti con il rilevamento geologico, le indagini geofisiche e geotecniche in sito e di laboratorio sono stati raccolti ed organizzati in una banca dati avendo come riferimento lo “*Standard di rappresentazione e archiviazione informatica*” (versione 4.0b – ottobre 2015) prodotto dalla “Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica”.

Riguardo i siti in cui posizionare le nuove indagini sono stati individuati, come già detto, di comune accordo con il Centro di Microzonazione Sismica.

Per ciò che concerne le prove MASW, gli stendimenti risultano di caratteristiche e lunghezza variabile in quanto dettati dalle particolarità morfologico-urbanistiche di ciascun sito. Al fine di poter eseguire l'analisi congiunta di più componenti, si è provveduto ad acquisire sia Onde di Rayleigh (tramite geofoni verticali e/o orizzontali in posizione radiale) che Onde di Love (mediante geofoni orizzontali), effettuando più energizzazioni a diverse distanze dal primo geofono.

Unitamente all'acquisizione di tipo MASW si è provveduto ad effettuare una o più registrazioni di microtremori tramite apposita terna triassiale con tempo di registrazione pari a 20 minuti e frequenza di campionamento 300 Hz.

I dati acquisiti sono stati analizzati ed elaborati principalmente mediante il software WinMASW Acd ver 7.3, che permette uno studio congiunto di Onde di Rayleigh, Onde di Love e misure HVSR.

La scelta di acquisire sia Onde di Rayleigh che di Love è stata dettata dal fatto che tutti i metodi di indagine indiretti, tra cui MASW e HVSR, sono caratterizzati dal problema della non univocità, ovvero ad un determinato dato possono essere associati numerosi modelli, tutti differenti tra loro ma comunque in accordo con il dato acquisito; il solo modo per ridurre tale inevitabile grado di incertezza è quello di effettuare analisi che mettano a confronto più tipologie di dati e componenti. Sulla base di tali considerazioni, laddove possibile si è provveduto ad effettuare analisi

congiunte MASW in Onde di Rayleigh e Onde di Love ed HVSR, proprio per poter ricostruire per ciascun sito un modello sismostratigrafico quanto più attendibile.

Il modello sismostratigrafico proposto per ciascun sito indagato è stato altresì ottenuto considerando anche i dati pregressi (di natura geologica, stratigrafica e sismica) ed elaborando i dati di nuova acquisizione mediante modellazione diretta; tale procedura consiste nell'ipotizzare un modello sismostratigrafico iniziale sulla base delle informazioni preesistenti in possesso, e procedendo poi nella sua ottimizzazione, modificando spessori e Vs in modo da rendere il modello in accordo con tutti i dati acquisiti. Il modello finale, corrispondente a quello ritenuto maggiormente plausibile per ciascun sito indagato, è stato poi riportato negli spettri di velocità come curva modale e come spettro di velocità sintetico, e come curva HVSR teorica (quest'ultima ha tenuto conto sia delle Onde di Corpo che di Superficie, nonché del contributo di eventuali modi superiori).

Per ciò che riguarda la suscettibilità dei terreni alla liquefazione, oltre a non avere segnalazioni di fenomeni avvenuti in passato, la recente crisi sismica non ha evidenziato tale occorrenza, né tali fenomeni, anche in virtù delle caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche riscontrate nell'area studiata, hanno la possibilità di verificarsi. Ciò deriva infatti dalle proprietà dei terreni di copertura, i quali sono composti prevalentemente da litologie fini (limi ed argille) caratterizzate da un comportamento prettamente coesivo (depositi eluvio-colluviali) e da litologie grossolane (ghiaie alla granulometria compresa tra il ciottolo fine ed il ciottolo medio) con alternanze di litologie fini (limi ed argille) caratterizzate da un comportamento prettamente coesivo (depositi alluvionali).

Non sono state altresì rilevate instabilità dovute all'azione di faglie attive e capaci, di rotture secondarie e di fenomeni cosismici ad esse associate.

## 8 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Il modello del sottosuolo è stato ricostruito a seguito dell'interpretazione delle numerose indagini stratigrafiche e geotecniche eseguite e reperite e dei dati geologici di superficie. Tutti questi dati hanno contribuito a formare la carta geologico tecnica la quale, rappresentando l'elaborato che sintetizza tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche), costituisce l'elemento principale da cui attingere le informazioni necessarie alla definizione del modello di sottosuolo.

Dall'elaborazione delle sezioni emerge una schematizzazione del substrato rappresentato da una sequenza litostratigrafica formata da:

*Scaglia cinerea (ALS) ⇒ Bisciara (SFALS) ⇒ Schlier (SFALS) ⇒ Formazione della Laga (membro pre evaporitico) (LPS) ⇒ Formazione Gessoso-solfifera (ALS)*

Gli strati presentano, a partire dai piedi della dorsale calcarea muovendo verso est, dapprima inclinazioni da subverticali a 30-40° con immersione ad est, quindi via via inclinazioni minori fino ad invertire l'immersione, dando luogo ad una piccola sinclinale con asse a direzione all'incirca Nord Sud, passante per le località Uvaiolo a sud e S.Maria del Glorioso a Nord.

Detti litotipi sono per gran parte ricoperti da spessori variabili di depositi alluvionali (GM) e depositi eluvio colluviali (ML - MH) ed in minima parte da terreni di riporto (RI) che caratterizzano alcune aree spondali del Fiume Potenza e del Fosso Intagliata, nonché il tratto di corso d'acqua che, completamente tombato, passava al di sotto della lottizzazione di località Uvaiolo.

Da un punto di vista di distribuzione dell'edificato, sia il Centro storico sia le nuove aree di espansione, si sviluppano lungo tutta la piana alluvionale. A partire dal Ponte di S.Antonio fino all'altezza di Porta Orientale (estrema propaggine est del Centro storico) i depositi alluvionali sono quasi esclusivamente costituiti da ghiaie e sabbie ben addensate che poggiano sui litotipi dello *Schlier*, mentre

muovendo via via verso est il substrato passa dai litotipi arenacei della *Formazione delle Laga* a quelli marnosi della *Formazione gessoso-solfifera* con i depositi alluvionali che da prevalentemente ghiaioso sabbiosi iniziano a contenere lenti e livelli di limi sabbiosi ed argillosi di vario spessore e continuità laterale. In particolare gli spessori di queste lenti e livelli diventano consistenti nella zona di confluenza tra il Fiume Potenza ed il Fosso Intagliata nonché nella zona del Rione Uvaiolo.

Non sono state rilevate discontinuità tettoniche degne di nota.

## **9 MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO**

Dalla ricostruzione del modello geologico del sottosuolo e dalle indagini sismiche eseguite e reperite che hanno permesso la conoscenza del profilo di velocità delle onde di taglio Vs degli strati di terreno presenti nel sito si è passati, attraverso elaborazioni e considerazioni anche di carattere geotecnico, alla ricostruzione del modello sismostratigrafico.

Come anticipato nel capitolo 5, per la definizione di tale modello è stato necessario eseguire ed acquisire delle nuove indagini che integrassero sufficientemente, in quelle aree in cui non vi era una quantità di dati ritenuta conveniente, le informazioni contenute negli elaborati di cui al primo livello di microzonazione sismica.

Tale modello rappresenta un elemento di particolare delicatezza poiché, nel caso di un evento sismico, l'energia che investe un territorio, sia dal punto di vista dell'intensità che da quello del contenuto in frequenza, dipende, oltre che dai meccanismi focali e dalla distanza ipocentrale, dalle litologie attraversate dalle onde sismiche e anche dalle locali conformazioni morfologiche, siano esse superficiali o profonde. In particolare risultano rivestire grande importanza quelle caratteristiche dei terreni (spessori e proprietà fisiche e meccaniche) e morfologie sepolte che

contraddistinguono l'ultimo tratto di percorso effettuato dall'energia sismica; qui si possono generare fenomeni in grado di amplificarla anche in maniera sensibile.

La definizione di tale modello consente quindi di determinare come le onde sismiche provenienti da una zona sismogenetica possono essere localmente modificate. Ne discende che tanto più elevato sarà il grado di conoscenza del territorio, tanto più prossima alla realtà sarà la ricostruzione del sottosuolo e tanto più precisamente sarà definito il comportamento dinamico del terreno.

Ciò detto il primo e più importante elemento da definire è l'individuazione dei litotipi che possono costituire il substrato sismico (ovvero dei materiali caratterizzati da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio maggiori di 800 m/sec o significativamente superiori a quelli delle coperture) accompagnato da una stima della relativa profondità rispetto al piano campagna. A seguire le caratteristiche dei sismostrati che definiscono la successione dal substrato sismico al piano campagna. È importante, inoltre, l'individuazione di eventuali discontinuità e morfologie sepolte che, nella fattispecie, non hanno rappresentato particolare rilevanza.

Nel caso specifico, il modello sismostratigrafico del sottosuolo, schematizzato nella seguente tabella 2, individua, al di sopra del bedrock sismico ( $V_s$  maggiori di 800 m/sec.) rappresentato dai litotipi della *Formazione dello Schlier*, quattro unità sismiche di cui di seguito, a partire dall'alto verso il basso, si procede a darne un'interpretazione basata sui valori delle velocità delle onde di taglio rilevate:

- il primo sismostrato, riferibile ai terreni di riporto, ha uno spessore generalmente variabile tra 5 e 15 metri ed è posto al di sopra dei depositi delle coperture alluvionali; si rinviene in limitate aree del territorio dove presenta una velocità delle onde S compresa tra 150 e 300 m/s;
- il secondo sismostrato mostra differenti range di spessore: caratterizza le MOPS 2013, 2015 e 2017 dove varia, rispettivamente, tra 5 e 20 metri, 5 e

- 10 metri e tra 10 e 25 metri, con velocità delle onde di taglio comprese tra 200 e 530 m/s; corrisponde ai depositi alluvionali poggianti direttamente sul substrato sismico (MOPS 2013) o sul substrato geologico (MOPS 2015 e 2017); le caratteristiche geotecniche, generalmente discrete, dipendono dalla presenza di livelli e lenti di materiali fini (argille limose, limi sabbiosi e sabbie) di differente spessore e continuità laterale comprese all'interno delle ghiaie calcaree sempre ben addensate;
- il terzo sismostrato mostra, come sopra, differenti range di spessore: caratterizza le MOPS 2016 e 2018 dove varia, rispettivamente, tra 10 e 25 metri e tra 5 e 15 metri, con velocità delle onde di taglio comprese tra 150 e 385 m/s; corrisponde ai depositi eluvio colluviali poggianti direttamente sul substrato sismico (MOPS 2018) o sul substrato geologico (MOPS 2016); corrisponde a depositi mediamente consistenti con discrete caratteristiche geotecniche che tendono a migliorare gradualmente con la profondità;
  - il quarto sismostrato, dettagliato in particolare sulla base dei risultati delle prove down hole, caratterizza un substrato geologico non rigido dove le velocità delle onde di taglio sono comprese tra 450 e 650 m/s; mostra diversi range di spessore caratterizzando le MOPS 2014, 2015, 2016 e 2017 dove varia, rispettivamente, tra 20 e 50 metri, tra 20 e 75 metri, tra 40 e 75 metri e tra 30 e 85 metri. Riferibile ai litotipi arenacei della *Formazione della Laga* ed ai litotipi marnoso argillosi della *Formazione gessoso solfifera*, poggia direttamente sul substrato sismico.



COMUNE	MOPS	SPESSORE MIN (m)	SPESSORE MAX (m)	TIPO_GT	SIGLA GEOL o Descrizione	LOG	Vs med (m/s)	Vs Min (m/s)	Vs max (m/s)
SAN SEVERINO MARCHE	2013	5	20	GM	Depositi alluvionali	TC	365	200	530
				ALS	SCH (Schlier)	SS	950	800	1100
	2014	20	50	LPS - ALS	LAG1c - GES	SG	525	450	650
				ALS	SCH (Schlier)	SS	950	800	1100
	2015	5	15	RI	Riporti	TC	250	150	350
		5	10	GM	Depositi alluvionali	TC	365	200	530
		20	75	LPS - ALS	LAG1c - GES	SG	550	450	650
				ALS	SCH (Schlier)	SS	950	800	1100
	2016	10	25	ML	Depositi eluvio colluviali	TC	268	150	385
		40	75	LPS - ALS	LAG1c - GES	SG	550	450	650
				ALS	SCH (Schlier)	SS	950	800	1100
	2017	10	25	GM	Depositi alluvionali	TC	365	200	530
		30	85	LPS - ALS	LAG1c - GES	SG	550	450	650
				ALS	SCH (Schlier)	SS	950	800	1100
	2018	5	15	ML	Depositi eluvio colluviali	TC	268	150	385
				ALS	SCH (Schlier)	SS	950	800	1100

Tabella 2: scheda riassuntiva delle principali caratteristiche delle mops

## 10 ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA MEDIANTE MODELLAZIONE 1D E 2D

L'area oggetto di studio è stata sottoposta ad analisi di risposta sismica mediante modellazione mono e bidimensionale, il tutto finalizzato alla redazione di cartografie di microzonazione sismica di livello 3, stimando, sulla base dei risultati delle indagini sismiche eseguite, il valore del fattore di amplificazione dei terreni.

Relativamente ai dati di input, i sette accelerogrammi utilizzati per le modellazioni 1D sono stati forniti dal Centro Ms.

### 10.1 Modellazione 1D

Il programma utilizzato per tale modellazione è STRATA (Kottke & Rathje, 2008) che permette la realizzazione di analisi di risposta sismica locale 1D in un contesto semplificato di tipo elastico-equivalente. Il modello consiste in una serie di strati piani e paralleli, ognuno dei quali è considerato omogeneo ed isotropo, di estensione orizzontale infinita, poggiati su bedrock sismico.

In particolare per l'elaborazione devono essere definiti gli strati di terreno che compongono la singola MOPS, individuate le relative curve di decadimento e smorzamento da utilizzare e stabilite la profondità del substrato sismico dove viene

applicato il moto sismico di riferimento. Completano l'elaborazione la settupla di accelerogrammi di riferimento. Per ogni accelerogramma viene eseguita un'elaborazione e l'esito complessivo dell'analisi sarà un insieme di 7 spettri di risposta in superficie e 7 per il substrato che, opportunamente elaborati, forniscono i valori di FA per ogni singola microzona e per ciascun periodo di riferimento (0,1-0,5s 0,4-0,8s e 0,7-1,1s).

Riguardo l'elaborazione, nella definizione dei dati di ingresso (spessore di ciascun sismostrato, relative curve di decadimento e smorzamento, peso di volume,  $V_s$ ) particolarmente delicata, come riportato nel capitolo precedente, è stata la valutazione della profondità del substrato sismico ( $V_s > 800$  m/s) la quale è emersa da considerazioni effettuate sulla base delle interpretazioni dei dati derivati principalmente dall'esecuzione dei down hole. Laddove non era presente tale dato, ci si è avvalsi dei risultati derivanti dall'esecuzione di prove MASW e HVSR, analizzati in maniera congiunta e sviluppati ipotizzando dei modelli sismostratigrafici del sottosuolo (spessori –  $V_s$ ) basati su informazioni pregresse dell'area in esame. Nella fattispecie ciò ha portato a considerare la porzione alterata del substrato come non sismico e la porzione integra come sismico.

La procedura utilizzata per l'elaborazione è la seguente

- impostazioni generali (tipo di analisi e parametri di calcolo);
- inserimento per ciascuna MOPS delle proprietà dei terreni (peso dell'unità di volume, modello per il modulo di taglio normalizzato, modello per il fattore di smorzamento);
- inserimento per ciascuna MOPS delle caratteristiche del terreno (profondità, spessore, tipo, velocità delle  $V_s$ );
- specifica dei dati e diagrammi di output;
- scelta dell'approccio che tiene conto della variabilità di  $V_s$  (h), delle curve di decadimento e smorzamento e della profondità del substrato rigido di riferimento.

Per le simulazioni, è stato utilizzato il metodo stocastico di Monte Carlo.

In definitiva per ogni singola MOPS l'elaborazione ha prodotto, secondo la procedura fissata dal Centro MS, per ognuno dei 7 accelerogrammi in input 100 accelerogrammi in superficie e 100 spettri di risposta al bedrock. Da questi dati sono stati poi estratti, con apposita procedura, i 7 accelerogrammi in superficie ed i 7 spettri di risposta al bedrock che meglio approssimano lo spettro mediano utilizzato per il calcolo dei fattori di amplificazione. L'ulteriore elaborazione congiunta, tramite apposita tabella elaborata in excel fornita dal Centro MS, dei dati sopra estrapolati ha fornito i valori di FA, come rapporto tra accelerazione al suolo su accelerazione al bedrock, per ciascuna MOPS calcolati come media logaritmica dei valori di FA relativi ai 7 accelerogrammi utilizzati e per il periodo preso in considerazione.

## **10.2 Modellazione 2D**

L'analisi di risposta sismica condotta mediante l'uso del codice STRATA con un approccio lineare equivalente 1D, non consente di tenere conto di effetti indotti dalla presenza di marcate variazioni laterali nelle proprietà sismiche dei corpi geologici sepolti, né di quelli provocati da morfologie complesse della superficie del terreno. Questi ultimi effetti possono indurre marcate variazioni dello scuotimento anche a piccola scala ovvero all'interno della specifica Microzona Omogenea in Prospettiva Sismica (MOPS), la cui effettiva omogeneità è garantita solo in prima approssimazione, ovvero alla scala della microzonazione sismica. Anche gli esiti prodotti dallo studio di microzonazione sismica di livello III, in quanto finalizzati alla valutazione del livello di pericolosità sismica alla scala dell'abitato, non possono essere considerati sostitutivi di una specifica analisi di risposta sismica locale finalizzata alla progettazione o alla verifica sismica del singolo manufatto. Tuttavia può risultare utile valutare preliminarmente l'entità degli effetti non considerati nella modellazione 1D della risposta sismica mediante l'uso di appositi abachi o

modellazioni più avanzate.

A questo scopo vengono esaminati i risultati di una modellazione numerica 2D su una sezione rappresentativa delle condizioni del sottosuolo del territorio indagato in modo da valutare il possibile scostamento dai valori di FA ottenuti nelle diverse MOPS con quelli dedotti in alcuni punti dall'analisi 2D della risposta sismica. Questa analisi è stata condotta dal Centro di Microzonazione Sismica utilizzando un codice agli elementi finiti (LSR\_2D prodotto dalla ditta STACEC S.p.A) che implementa l'algoritmo lineare equivalente QUAD4M (Idriss et al., 1994) e seguendo le prescrizioni definite nei protocolli operativi definiti nell'ambito delle attività di microzonazione sismica nell'area dell'Italia Centrale. Dato che si tratta comunque di un'analisi di microzonazione sismica non finalizzata alla progettazione, i dati relativi ai valori di Vs assunti per le diverse formazioni (gruppi\_GT) corrispondono alla mediana degli intervalli di variazione assegnati alla formazione considerata. Non è stato fatto alcun tentativo di ottimizzazione in rapporto alle misure disponibili localmente.

In alcuni punti della sezione giudicati rappresentativi degli effetti attesi, sono stati ricavati i fattori di amplificazione (FA) nelle tre fasce di periodo di vibrazione, gli spettri di risposta relativi ai sette accelerogrammi rappresentativi della pericolosità sismica di riferimento (moto di input) e i sette accelerogrammi alla superficie. I valori di FA sono stati confrontati con quelli dedotti per la stessa MOPS dall'analisi 1D per valutarne la relativa congruità. Nel caso in cui questi ultimi risultassero meno cautelativi, i risultati della modellazione 1D sono stati sostituiti da quelli dedotti dalla modellazione 2D. Il confronto è stato eseguito utilizzando i seguenti criteri:

1. il parametro guida è il valore di FA nell'intervallo 0.1-0.5 s
2. lo scarto tra i valori di FA ottenuti dalla modellazione 1D e quella 2D sia  $\geq 0.2$

## 11 CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO

L'assegnazione della categoria del sottosuolo, così come formulata nel disciplinare di incarico, a partire da un valore di  $V_{s30}$  per ogni MOPS, rappresenta una richiesta assai singolare. Infatti il valore di  $V_{s30}$  può essere considerato valido solo puntualmente in quanto dipendente da una serie di fattori (caratteristiche litologico stratigrafiche, spessori, caratteristiche geotecniche, morfologia sepolta, topografia..) che rappresentano una condizione geologica lato sensu, strettamente locale (passi l'ossimoro). Quindi voler estendere ad un'intera MOPS valori di  $V_{s30}$  derivanti da indagini puntuali costituisce una forzatura che può rappresentare un elemento di pericolosa interpretazione da parte di chi, incautamente, si dovesse avvalere di tale dato per farne un uso applicativo.

**Pertanto il valore di  $V_{s30}$  (e quindi della corrispondente categoria di sottosuolo) corrisponde ai soli punti dove esiste un profilo di  $V_s$  univocamente definito (ovvero solo dove è stata eseguita la prova DH).**

Comunque in ossequio alle richieste si specifica che sulla verticale del sondaggio di località Uvaiolo si calcola la seguente velocità media delle onde sismiche nei primi 30 metri di terreno:

$$V_{s30} = 234 \text{ m/s}$$

**Categoria del sottosuolo = C**

mentre sulla verticale del sondaggio di via Bigioli la velocità media delle onde sismiche nei primi 30 metri di terreno è:

$$V_{s30} = 536 \text{ m/s}$$

**Categoria del sottosuolo = B**

## 12 RISULTATI E LORO PRESENTAZIONE

Per la rappresentazione cartografica sono state strettamente osservate le disposizioni dettate negli ICMS (2008), nelle linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da deformazioni cosismiche permanenti e negli standard nazionali di rappresentazione e archiviazione (Standard versione 4.0b).

Per lo sviluppo del data base è stato utilizzato il software per l'archiviazione informatica SoftMS versione 4.0.

### **12.1 Carta delle indagini**

Realizzata in scala 1:5.000, contiene sia una selezione delle indagini che hanno interessato in passato il territorio in studio, sia la serie delle nuove indagini geognostiche e geofisiche (HVSr e MASW) realizzate per la redazione del 3° livello di microzonazione sismica ed ubicate laddove è risultato essere carente questo tipo di informazione.

Tutti i dati sopra detti sono stati archiviati in due tabelle, una per le indagini di tipo puntuale e l'altra per le indagini di tipo lineare, adottando gran parte dei campi indicati nelle "Specifiche tecniche per la redazione in ambiente GIS degli elaborati cartografici della microzonazione sismica" (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 Novembre 2010, n.3907). In entrambe le tabelle, le indagini sono state catalogate secondo i codici indicati negli Standard di rappresentazione; dal punto di vista grafico sono state proiettate distinguendole per tipologia. I relativi shapefile sono contenuti nella cartella "Carta Indagini".

### **12.2 Carta CGT**

Discende dalla revisione dettagliata dei rilievi geologici e morfologici disponibili; in particolare da:

- cartografia geologica e geomorfologica relativa al P.R.G. del Comune di San Severino Marche realizzate dagli scriventi;
- cartografia geologica regionale C.A.R.G. – sezioni 302060, 302070, 302100, 302110, 302140, 302150 e 302160;
- cartografia relativa al progetto di revisione e aggiornamento della cartografia geomorfologica per la proposta di ridelimitazione delle aree in dissesto censite dal P.A.I. (Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico, adottato definitivamente con DCR n° 116 del 21.01.2004 e s.m .i.),

realizzata dagli scriventi.

I dati derivati dalle cartografie sopra esposte sono stati integrati con quelli desunti dalle indagini reperite, allo scopo di stabilire nel dettaglio la litologia affiorante e i rispettivi rapporti stratigrafici; quando è stato ritenuto necessario sono stati eseguiti opportuni controlli tramite sopralluoghi.

In questa cartografia, corredata da sezioni geologiche significative, sono stati riprodotti gli elementi geologici e morfologici che possono modificare il moto sismico in superficie, comprese le coperture detritiche con spessore misurato/stimato superiore a 3 metri, le aree instabili e quelle potenzialmente soggette a dissesti.

Le caratteristiche geotecniche dei depositi che caratterizzano le aree indagate derivano dall'analisi dei dati raccolti poiché non è prevista, per la MS di Livello 1, l'esecuzione di nuove indagini (sondaggi geognostici, prove geotecniche, ecc.).

Di seguito vengono indicati gli elementi principali caratterizzanti l'elaborato in oggetto.

#### – TERRENI DI COPERTURA

Sulla base delle prove reperite e della documentazione a disposizione sono state individuate le seguenti unità di copertura presenti sul territorio comunale:

- terreni contenenti resti di attività antropica (*RI*);
- ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (*GM*);
- limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (*ML*);
- argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille limose (*MH*)

#### – SUBSTRATO GEOLOGICO

Il substrato, a tratti affiorante nell'area di studio, è stato suddiviso, in relazione alla sua natura litologica, nelle seguenti due categorie:

- lapideo stratificato (*LPS*), che individua le litofacies prevalentemente arenacee della *Formazione della Laga*;



- alternanze di litotipi stratificati (ALS), che individua le formazioni della *Scaglia cinerea-variegata*, del *Bisciario* e dello *Schlier*, costituiti da alternanze di marne, marne argillose e marne calcaree, stratificate e contraddistinte a tratti da un grado di fratturazione elevato (SF), nonché la frazione marnoso-argillosa della *Formazione Gessoso-solfifera*.

#### – INSTABILITÀ DI VERSANTE

Sulla base dei documenti reperiti e dei sopralluoghi eseguiti sono stati identificati nelle aree indagate movimenti gravitativi che hanno interessato per lo più i depositi delle coperture con dimensioni, sia nello sviluppo planimetrico sia negli spessori, tutto sommato contenute. In particolare si tratta di due aree che interessano la prima il versante nord di Montenero e l'altra il versante sud; quest'ultima è stata oggetto di un importante intervento di consolidamento eseguito nei primi anni del 2000 attraverso l'esecuzione di palificate tirantate, disposte su vari ordini di quota lungo il versante. Entrambe le frane non hanno mostrato fenomeni di riattivazione a seguito degli ultimi eventi sismici.

Da ultimo si segnalano alcuni fenomeni di crollo delle scarpate fluviali del Potenza che, interessando i tratti di maggiore altezza, si generano per erosione e scalzamento al piede dei depositi alluvionali ad opera delle acque fluviali.

#### – FORME DI SUPERFICIE E SEPOLTE

Sono state individuate numerose scarpate, classificate in legenda come *orlo di scarpata morfologica* e *orlo di terrazzo fluviale*, sia con altezza compresa tra 10 e 20 metri, sia superiori a 20 metri. Per queste ultime, ubicate lungo il colle Montenero, i lineamenti risultano decisamente smussati. Riguardo le forme sepolte, la ricostruzione morfologica del sottosuolo, basata su osservazioni di superficie nonché considerazioni estrapolate dalle stratigrafie dei sondaggi, non ha evidenziato la presenza di situazioni particolari.

## – ELEMENTI TETTONICO-STRUTTURALI

Anche in relazione ai dati pubblicati dall'I.S.P.R.A. (vedi il progetto I.T.H.A.C.A.) è stato possibile escludere, per il territorio indagato, la presenza di faglie attive e capaci. Per ciò che concerne gli elementi tettonici individuati, rilevati e cartografati su base geomorfologica e considerazioni stratimetriche, possono essere considerati inattivi in quanto non sono stati evidenziati elementi per una diversa valutazione; anche la posizione sul terreno è stata, per quanto detto sopra, ipotizzata. Tra gli altri elementi strutturali sono state riportate le giaciture misurate lungo gli affioramenti presenti nell'area in esame. Completano il quadro le sezioni geologiche, realizzate allo scopo di ricostruire il modello geologico del sottosuolo, così come indicate in planimetria dalle relative tracce.

### **12.3 Carta delle Frequenze**

Rappresenta l'ubicazione delle misure di rumore ambientale a stazione singola HVSr complessivamente utilizzate per questo studio con elencate frequenza ed ampiezza del picco di risonanza derivanti dall'interpretazione dei dati acquisiti.

Le curve HVSr realizzate nel centro storico mostrano picchi generalmente compresi tra 5 e 10 Hz caratterizzati da ampiezze solitamente comprese tra 5 e 8.

Riguardo i Rioni Uvaiolo e Settempeda, laddove sono stati registrati i maggiori danneggiamenti agli edifici, si osservano picchi di risonanza con frequenze inferiori a 3 Hz ed ampiezze comprese tra 2 e 6.

I sostanza si evidenzia una netta separazione tra le zone ad est e ad ovest dell'allineamento Porta Orientale – Villa Collio; infatti ad est si riscontrano frequenze inferiori a 3 Hz che denotano una profondità dell'interfaccia risonante a profondità comprese tra 30 e oltre 100 metri, equivalente al passaggio tra coperture-substrato non rigido ed il sottostante substrato rigido. Ad ovest invece le frequenze sono nettamente più elevate denotando un'interfaccia risonante a minore profondità (5-10 metri) cui corrisponde il passaggio tra depositi di copertura e substrato sismico.

Si evidenzia, in generale, come la risposta dei vari siti sia dipendente dalla natura e dallo spessore dei terreni di copertura.

Il range significativo a cui fare riferimento per la valutazione della suscettibilità all'azione sismica di un sito è circa 1-10 Hz. Picchi con frequenze inferiori ad 1 Hz sono rappresentativi mediamente di contrasti di impedenza sismica collocati a profondità superiori a 100 metri. Frequenze di risonanza superiori a 10 Hz sono rappresentative di limiti stratigrafici, generalmente esistenti tra coperture detritiche e substrato roccioso, la cui profondità è dell'ordine di qualche metro (inferiori a 5 m).

Per valutare l'importanza del contrasto d'impedenza sismica si fa riferimento al seguente criterio di classificazione:

- per ampiezze  $< 3$ , basso contrasto d'impedenza sismico;
- per ampiezze  $> 3$ , alto contrasto d'impedenza sismico.

## **12.4 Carta delle MOPS**

Nel presente capitolo viene descritta la carta delle MOPS di livello 3, realizzata in scala 1:5.000, nonché, come previsto, l'apposita cartografia in scala 1:10.000 che ingloba nella carta delle MOPS di livello 1 quella dettagliata di livello 3.

### **12.4.1 Carta delle MOPS livello 3 - scala 1:5.000**

Sulla base delle nuove e mirate indagini sismiche, sia di superficie sia profonde, integrate e confrontate con le indagini di microzonazione di primo livello nonché da ripetuti incontri e contatti con i referenti del Centro di Microzonazione Sismica, la carta delle MOPS, realizzata per gli studi di primo livello, è stata via via modificata ed aggiornata fino all'attuale stesura. Le MOPS sono state rielaborate sulla base delle risultanze delle indagini geofisiche effettuate specificatamente perimetrando zone con comportamento geofisico simile. La zona 1041 è stata identificata come *zona stabile priva di amplificazioni locali* in quanto caratterizzata dal substrato sismico in affioramento, costituito dai litotipi della *Formazione Scaglia variegata-cinerea*.

Nella sostanza, a seguito delle risultanze dei down hole e delle nuove indagini sismiche di superficie il numero delle MOPS è stato ridotto da 10 a 6, in qualche caso è variata anche la perimetrazione.

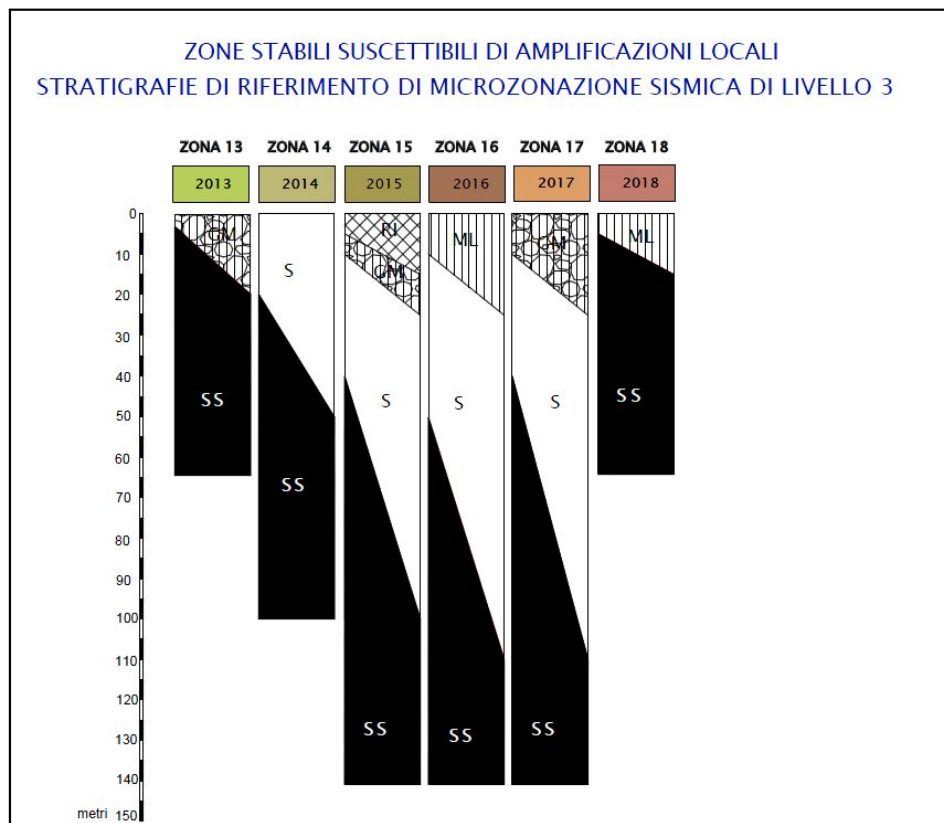


Figura 6: colonnine stratigrafiche rappresentative delle mops (S=substrato geologico, SS=substrato sismico)

- Zona 2013 - l'area è caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali ghiaioso sabbiosi, per uno spessore che va da 5 a 20 metri, posti su substrato sismico rappresentato dai litotipi integri della *Formazione dello Schlier del Bisciario* e della *Scaglia variegata-cinerea*
- Zona 2014 – l'area è caratterizzata dall'affioramento del substrato geologico non sismico costituito, per uno spessore compreso tra 20 e 50 metri, dalla porzione superficiale ed alterata della *Formazione dello Schlier*, del *Bisciario* e dai litotipi della *Formazione della Laga* e della *Formazione gessoso solfifera* poggianti sul substrato sismico

costituito dai litotipi integri della *Formazione dello Schlier* e del *Bisciario*.

- Zona 2015 – si distingue dalla precedente per la presenza al top di una coltre di copertura costituita da terreni di riporto per spessori compresi mediamente tra 5 e 15 metri e depositi alluvionali per spessori compresi tra 5 e 10 metri, nonché per gli spessori del substrato non sismico i quali mostrano spessori compresi tra 20 e 75 m.
- Zona 2016 - l'area è caratterizzata da una coltre eluvio-colluviale (ML) in prevalenza di natura limosa, sabbioso-limosa/sabbioso-argillosa, limoso-argillosa, mediamente addensata, con spessori compresi tra 10 e 25 metri, poggiante su un substrato non sismico rappresentato, per uno spessore compreso tra 40 e 75 metri, dai litotipi della *Formazione della Laga* e della *Formazione gessoso solfifera* poggianti sul substrato sismico costituito dai litotipi integri della *Formazione dello Schlier*.
- Zona 2017 – si distingue dalla precedente per la presenza al top di depositi alluvionali ghiaiosi con spessori compresi tra 10 e 25.
- Zona 2018 - l'area è caratterizzata da una coltre eluvio-colluviale (ML) in prevalenza di natura limosa, sabbioso-limosa/sabbioso-argillosa, limoso-argillosa, mediamente addensata, con spessori compresi tra 5 e 15 metri, poggiante su un substrato sismico rappresentato dai litotipi integri della *Formazione dello Schlier* del *Bisciario*.

Tutto ciò detto è comunque da tenere nella debita considerazione il fatto che la carta rappresenta il risultato della sovrapposizione di informazioni di diversa natura, ossia informazioni areali di tipo qualitativo e indicazioni puntuali di tipo quantitativo, per cui contiene necessariamente delle approssimazioni, fatto di cui bisogna tenere conto anche nella lettura della derivata carta di 3° livello.

#### **12.4.2 Carta delle MOPS livello 1/livello 3 - scala 1:10.000**

Questa carta, redatta alla scala 1:10.000, rappresenta l'unione degli elaborati di primo livello con quello di terzo. Cioè alla carta delle MOPS di livello 3, che rappresenta il solo centro abitato di San Severino Marche ed è descritta nel paragrafo precedente, sono state aggiunte tutte le altre aree mappate nella carta delle MOPS di livello 1. Tale elaborato, redatto così come prescritto dall'articolo 5 del disciplinare di incarico, mette insieme prodotti che sono stati realizzati impiegando standard di rappresentazione e archiviazione informatica diversi (Versione 3.0 e Versione 4.0b) e risorse nettamente differenti: in particolare la carta di livello 1 è ottenuta da dati prettamente bibliografici mentre la carta di livello 3 è ottenuta da indagini, seppur minime in quanto derivanti dalle modestissime risorse messe in campo dal Commissario Straordinario Ricostruzione Sisma 2016, specifiche ed appositamente eseguite.

Vi è inoltre da dire che tale cartografia può, ad una lettura poco attenta, essere fuorviante e rappresentare un elemento di confusione nel momento in cui deve trovare applicazione quanto previsto dall'Ordinanza n.24 del 12-05-2017 nei seguenti punti definiti all'art. 7:

5. Le Regioni adottano gli studi e li utilizzano per le attività di pianificazione e di progettazione che si svolgono nel proprio territorio.
6. I Comuni recepiscono immediatamente gli esiti degli studi nei propri strumenti di programmazione e pianificazione urbanistica degli interventi di ricostruzione.

Detto ciò le zone riportate al di fuori della perimetrazione del centro abitato di San Severino Marche rappresentano le microzone a comportamento sismico omogeneo, individuate sia sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche sia in relazione all'acquisizione, valutazione ed analisi dei pochi dati litostratigrafici e geofisici esistenti per l'area in studio.

Per giungere alla definizione di queste aree il punto di partenza è stato una preventiva valutazione delle caratteristiche del territorio per inquadrarlo in rapporto

alle seguenti tre categorie:

- zone stabili prive di amplificazioni locali; aree caratterizzate da substrato affiorante o sub-affiorante, in presenza di topografia con acclività inferiore a 15°.
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali; aree in cui è possibile l'amplificazione del moto sismico in relazione all'assetto locale. Queste possono essere di tipo:
  - *topografico*; aree caratterizzate da scarpate con altezza superiore ai 10 metri;
  - *stratigrafico*; aree con depositi di versante e quelle lungo le vallate con depositi a granulometria grossolana o medio-fine. In presenza di depositi medio-fini si attendono i massimi effetti di amplificazione locale.
- zone suscettibili di instabilità; aree caratterizzate da movimenti gravitativi soggetti a potenziale innesco a seguito di una scossa sismica.

Dalla definizione del territorio in queste tre categorie emerge una prima incertezza: non sono chiaramente riconoscibili, per le aree al di fuori di quelle indagate per gli studi di livello 3, le zone stabili prive di amplificazioni locali in quanto per il substrato geologico, essendo questo formato nelle varie aree da differenti litologie, non si conoscono valori della velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s > 800$  m/s) inequivocabili e tali da poterne distintamente permettere l'identificazione come substrato sismico.

Per le altre due categorie sono state identificate le situazioni che vengono appresso descritte.

- **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

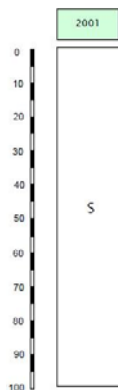
In queste zone è possibile aspettarsi amplificazioni del moto sismico in relazione al contesto morfologico e stratigrafico locale. La porzione del territorio



comunale di San Severino Marche studiata è caratterizzata in larga misura dalla presenza di terreni di copertura di varia consistenza e natura ed in minima parte da affioramenti del substrato geologico il quale, fratturato e/o alterato (talora assimilabile ad una coltre di alterazione eluviale), è generalmente caratterizzato da velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s < 800$  m/s.

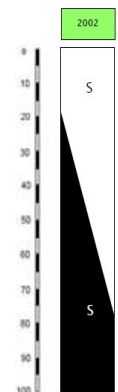
In relazione all'elevata eterogeneità verticale e laterale dei terreni presenti, caratterizzati in generale da alternanze di litologie, questi sono stati accorpati in unità significative, quindi sono state definite 12 successioni stratigrafiche rappresentative dell'area indagata. Di seguito verranno descritte nel dettaglio le aree individuate con la relativa stratigrafia rappresentativa su cui sono stati indicati lo spessore minimo e massimo delle litologie rilevate entro l'area di studio. Le microzone sono caratterizzate da colori con gradazione dal verde al marrone denominate attraverso i codici: 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012.

- **ZONA 1** - l'area è caratterizzata da un substrato geologico non rigido, con



spessore che può arrivare fino ai 100 metri, in cui sono state raggruppate le litologie della Formazione gessoso-solfifera, dell'Associazione arenacea, dell'Associazione pelitico-arenacea, dell'Associazione arenaceo-pelitica e della Formazione delle Argille a Colombacci.

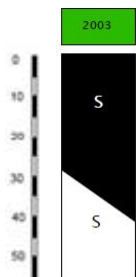
- **ZONA 2** - l'area è caratterizzata da un substrato geologico non rigido, con



spessore mediamente compreso tra 20 e 80 metri, in cui sono state comprese le litologie dell'Associazione arenacea e arenaceo-pelitica e la porzione alterata, dello spessore di circa 10 metri, dei litotipi dello Schlier e della Scaglia cinerea, poggianti su un substrato geologico rigido costituito dalla porzione integra dei

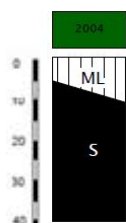
litotipi dello Schlier e della Scaglia cinerea nonché dal Bisciario e dalla Scaglia rossa.

- **ZONA 3** - l'area è caratterizzata da un substrato geologico rigido, con



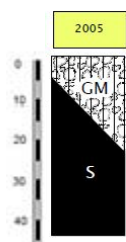
spessore massimo di circa 40 metri, costituito dallo Schlier e dal Bisciario, poggiante su un substrato geologico non rigido costituito rispettivamente dall'associazione arenacea (contatto per faglia) e dalla porzione alterata della Scaglia cinerea.

- **ZONA 4** - l'area è caratterizzata da una coltre eluvio-colluviale (ML) in



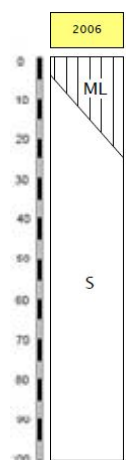
prevalenza di natura limosa, sabbiosa-limosa/sabbiosa-argillosa, limoso-argillosa, mediamente addensata, con spessori compresi tra 4,5 e 13 metri circa, poggiante su substrato geologico rigido costituito dai litotipi dello Schlier e del Bisciario.

- **ZONA 5** - l'area è caratterizzata dai depositi alluvionali e dai depositi detritici



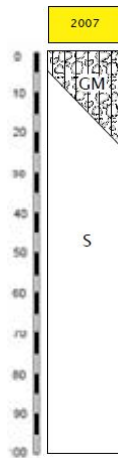
di versante (GM) costituiti da commistioni di ghiaie, sabbie e limi in varie proporzioni a formare lenti e livelli di spessore e continuità assai variabili, con spessori mediamente compresi tra 4 e 23,5 metri circa, poggianti su substrato geologico rigido costituito dai litotipi dello Schlier, della Scaglia rossa.

- **ZONA 6** - l'area è caratterizzata da una coltre eluvio-colluviale (ML-CL) in



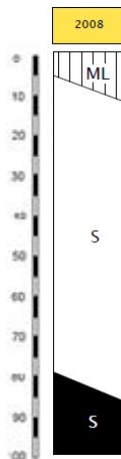
prevalenza di natura limosa, sabbiosa-limosa/sabbiosa-argillosa, limoso-argillosa, mediamente addensata, con spessori mediamente compresi tra 3,5 e 24,5 metri circa, poggiante su un substrato geologico non rigido in cui sono state raggruppate le litologie della Formazione gessoso-solfifera, dell'associazione arenacea, arenaceo-pelitica e pelitico-arenacea e della Formazione delle Argille a colombacci.

- **ZONA 7** - l'area è caratterizzata dai depositi alluvionali e dai depositi detritici



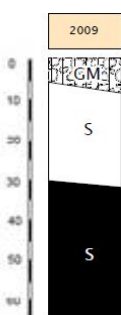
di versante (GM) costituiti da commistioni di ghiaie, sabbie e limi in varie proporzioni a formare lenti e livelli di spessore e continuità assai variabili, con spessori mediamente compresi tra 3 e 21,5 metri circa, poggiante su un substrato geologico non rigido in cui sono state raggruppate le litologie della Formazione gessoso-solfifera, dell'associazione arenacea e arenaceo-pelitica e della Formazione delle Argille a colombacci.

- **ZONA 8** - l'area è caratterizzata da una coltre eluvio-colluviale (ML-CL) in



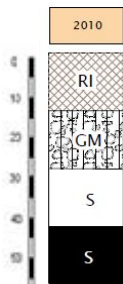
prevalenza di natura limosa, sabbiosa-limosa/sabbiosa-argillosa, limoso-argillosa, mediamente addensata, con spessori compresi tra 3 e 13,5 metri circa, poggiante su un substrato geologico non rigido in cui sono state raggruppate le litologie dell'associazione arenacea, arenaceo-pelitica e della porzione alterata dello Schlier e della Scaglia cinerea, a loro volta poggianti su un substrato geologico rigido, costituito dalla porzione integra dei litotipi dello Schlier, della Scaglia cinerea e della Scaglia rossa.

- **ZONA 9** - l'area è caratterizzata dai depositi alluvionali e dai depositi detritici



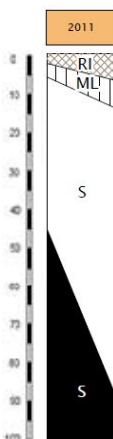
di versante (GM) costituiti da commistioni di ghiaie, sabbie e limi in varie proporzioni a formare lenti e livelli di spessore e continuità assai variabili, con spessori mediamente compresi tra 5 e 16 metri circa, poggiante su un substrato geologico non rigido in cui sono state raggruppate le litologie dell'associazione arenacea, arenaceo-pelitica e della porzione alterata dello Schlier e della Scaglia cinerea, poggiante su un substrato geologico rigido, costituito dalla porzione integra dei litotipi dello Schlier, della Scaglia cinerea e della Scaglia rossa.

- **ZONA 10** - l'area è caratterizzata da materiale di riporto poco addensato con



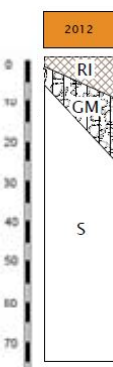
uno spessore massimo di 15 metri, poggiante sui depositi alluvionali e sui depositi detritici di versante (GM) costituiti da commistioni di ghiaie, sabbie e limi in varie proporzioni a formare lenti e livelli di spessore e continuità assai variabili, con spessori mediamente compresi tra 2,5 e 3,5 metri circa, poggiante su un substrato geologico non rigido arenaceo, poggiante su un substrato geologico rigido, costituito dai litotipi dello Schlier.

- **ZONA 11** - l'area è caratterizzata da materiale di riporto poco addensato con



uno spessore massimo di 5 metri, poggiante su una coltre eluvio-colluviale (ML) in prevalenza di natura limosa, sabbiosa-limosa/sabbiosa-argillosa, limoso-argillosa, mediamente addensata, con spessori compresi tra 3,5 e 4 metri circa, poggiante su un substrato geologico non rigido arenaceo, quindi su un substrato geologico rigido, costituito dai litotipi dello Schlier.

- **ZONA 12** - l'area è caratterizzata da materiale di riporto poco addensato con



uno spessore compreso tra 3 e 11,5 metri, poggiante sui depositi alluvionali e sui depositi detritici di versante (GM) costituiti da commistioni di ghiaie, sabbie e limi in varie proporzioni a formare lenti e livelli di spessore e continuità assai variabili, con spessori mediamente compresi tra 2,5 e 15 metri circa, poggiante su un substrato geologico non rigido arenaceo.

#### - **Zone suscettibili di instabilità**

In queste aree gli effetti sismici attesi sono correlabili a deformazioni permanenti del territorio senza tuttavia escludere probabili amplificazioni del moto sismico:

- *Instabilità di versante*

Sono state individuate le seguenti deformazioni gravitative distinte per tipo, attività e cinematismo sulla base della carta geologico-tecnica realizzata:

- n. 6 per scorrimento attive,
- n. 7 complesse di cui 2 attive e 5 quiescenti
- n. 2 per crollo;

- *Aree soggette al fenomeno della liquefazione*

Non sono state classificate aree a rischio potenziale di liquefazione in relazione alla tipologia dei sedimenti ed alla profondità della falda.

- *Cedimenti differenziali*

Nell'area in esame non sono state cartografate, anche in relazione alla scala delle cartografie utilizzate per lo studio di microzonazione sismica di I° livello, aree di contatto stratigrafico tra litotipi con caratteristiche meccaniche differenti.

- *Forme di superficie*

All'interno del territorio comunale di San Severino Marche sono state rilevate le seguenti forme significative ai fini della presente microzonazione:

- n. 4 orli di scarpata morfologica, di altezza compresa tra i 10 e 20 metri; di questi, 3 sono ubicati in prossimità i Montenero sui litotipi dello Schlier e 1 in località Serralta sui litotipi arenacei;
- n. 8 orli di scarpata morfologica, di altezza maggiore di 20 metri, di cui 2 sui litotipi della Scaglia rossa in località Sventatora frutto dell'attività estrattiva, 2 in località Montenero sui litotipi dello Schlier, 2 in località Stigliano (una su detrito di versante, frutto dell'attività estrattiva, ed una su Scaglia cinerea) e 2 a Cesolo sui litotipi arenacei;
- n. 22 orli di terrazzo fluviale, di altezza compresa tra i 10 e 20

- metri, per la maggior parte ubicati lungo la valle del fiume Potenza;
- n. 6 orli di terrazzo fluviale, di altezza maggiore a 20 metri, che caratterizzano i corsi del fiume Potenza, del fosso maestà e torrente Intagliata;
- n. 1 linea di cresta che caratterizza l'abitato di Corsciano.

- *Forme sepolte*

Sulla base dei dati esaminati non sono state rilevate forme sepolte capaci di originare fenomeni di amplificazione sismica in superficie.

### **12.5 Carta di Microzonazione Sismica di livello 3**

Discende dalle analisi di risposta sismica locale eseguite attraverso le modellazioni 1D e 2D applicate alla carta delle MOPS che, realizzata per gli studi di primo livello, è stata via via modificata ed aggiornata, sulla base dei nuovi elementi che volta per volta venivano acquisiti, fino all'attuale stesura. La cartografia di Microzonazione Sismica di livello 3 comprende 3 elaborati che tengono ciascuno conto dei seguenti periodi di riferimento: 0,1-0,5s, 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

I risultati in termini di FA sono desunti dalle analisi 1D, che tiene conto solo dell'amplificazione stratigrafica e non topografica, implementati localmente, laddove sono state eseguite delle verifiche 2D che riportavano un coefficiente superiore, con il relativi risultati estendendoli poi arealmente, mediante l'ausilio combinato della cartografia geologica e della cartografia MOPS, ad una zona al contorno ritenuta omogenea. In sintesi nell'associare alle varie aree il valore di FA è generalmente prevalso il principio di cautela.

Dal punto di vista ingegneristico la maggior parte delle costruzioni del territorio di San Severino Marche, rientra nei periodi compresi tra 0,1-0,5 sec, per cui nell'attribuzione dei fattori di amplificazione ad ogni MOPS è stato tenuto conto anche di tale peculiarità.

Le elaborazioni 1D tengono conto della sola variazione verticale dei litotipi,

così come sintetizzata nella relativa colonnina stratigrafica di riferimento per ogni singola MOPS, mentre nella modellazione 2D si tiene conto anche delle variazioni laterali lungo una specificata direzione orizzontale.

La modellazione 2D condotta dal Centro MS è stata effettuata seguendo la geometria della sezione geologico-tecnica B-B che intercetta le MOPS denominate 2013-2014-2016-2017-2018.

Confrontando i risultati in termini di FA ottenuti, rispettivamente dalla modellazione numerica 1D e 2D, tenendo in considerazione, come precedentemente esposto, che la maggior parte delle costruzioni hanno come modo fondamentale di vibrazione periodi compresi tra 0,1-0,5 secondi, sono state realizzate le carte di microzonazione, adottando i valori di FA più cautelativi, ovvero i valori di FA più elevati, siano essi ottenuti dalle modellazioni 1D o 2D, per le MOPS denominate 2013-2014-2015-2017-2018.

MODELLAZIONE 2D	2016				2017		2013			2014		2018
	P333	P334	P335	P336	P337	P339	P338	P340	P341	P342	P343	P344
FA(0.1-0.5)	2,6	2,2	1,5	1,6	1,2	1,2	1,5	1,3	1,3	1,6	1,4	1,4
FA(0.4-0.8)	2,4	1,5	1,3	1,4	1,0	1,0	1,1	1,9	0,9	1,6	1,1	0,9
FA(0.7-1.1)	1,6	1,1	1,1	1,2	1,0	0,9	1,0	1,3	0,8	1,4	1,1	0,9

MODELLAZIONE 1D	2016	2017	2013	2014	2018
	zona16	zona17	zona13	zona14	zona18
FA(0.1-0.5)	1,8	1,7	1,5	1,3	1,6
FA(0.4-0.8)	2,0	1,7	1,2	1,2	1,6
FA(0.7-1.1)	1,6	1,4	1,1	1,1	1,1

Figura 7: confronto tra i risultati del fattore di amplificazione emerso dalla modellazione 1D e 2D

Per la MOPS denominata Zona 2016 il valore massimo di FA è scaturito dalla modellazione 2D e riferito alla verticale (P333) che, prossima alla terminazione Nord



della sezione B-B, ha fornito un risultato nettamente superiore rispetto a quello ottenuto con la modellazione 1D. Visto che il danneggiamento causato dalle scosse sismiche del 2016 risultava modesto per tale zona, non si giustificavano valori eccessivi di FA come quelli emersi dalla modellazione 2D. Ciò detto è stato attribuito alla MOPS 2016 il valore di FA riferito alla vicina verticale (P334) della modellazione 2D.

### **13 CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI**

Le conoscenze storiche collegate ad eventi sismici, nonostante nel 300 a.c. circa vi sia già esistente una città romana, iniziano solo a partire dal 1279, testimoniando che la zona di San Severino Marche non è mai stata sede di epicentri sismici, ma che i terremoti di una certa importanza che hanno interessato il territorio negli ultimi 730 anni sono il frutto di eventi collegati ad importanti terremoti aventi per lo più epicentro nell'Appennino centrale e quindi esterni all'area in oggetto.

In definitiva si riconosce come quest'area sia stata e sia sede di una sismicità diffusa, comunque non direttamente collegabile alla presenza di strutture tettoniche rilevabili in superficie. Gli eventi sismici che hanno interessato la zona, pur non toccando le punte più catastrofiche del territorio italiano, sono una presenza non marginale nella storia e nella vita sociale. Tra questi sono da ricordare:

**30 aprile 1279:** interessò un'area molto ampia dell'Appennino umbro-marchigiano provocando danni gravi nel territorio comunale; testimonianze coeve ed attendibili attestano che San Severino Marche rimase "diroccata".

**Gennaio-febbraio 1703:** costituisce una delle più significative sequenze sismiche dell'ultimo millennio. Gli eventi maggiori si ebbero il 14 e 16 gennaio e il 2 febbraio 1703. In particolare quello del 14 gennaio interessò con i massimi effetti una vasta area compresa tra Norcia e Amatrice, mentre quello del 2 febbraio causò

gravissime danni specialmente nell'area compresa tra Antrodoco e L'Aquila.

**24 aprile 1741:** i maggiori effetti si svilupparono tra Serrasanquiro e Fabriano ma l'area di danneggiamento fu estremamente estesa abbracciando un territorio compreso tra Pesaro, Perugia e Fermo.

**27 luglio 1751:** l'evento rappresenta la maggiore delle scosse di una sequenza che si sviluppò a partire dal marzo 1751 fino al luglio 1752. Gli estremi noti dell'area di risentimento sono Arezzo, Forlì, Ancona e Roma.

**28 luglio 1799:** rappresenta il culmine di una lunga serie di terremoti che si estende per quasi un secolo per cui si può supporre che il patrimonio edilizio della città fosse già in condizioni difficili. Notizie storiche segnalano per San Severino Marche danni importanti alle chiese di S. Michele, S. Maria di Valfucina e al Duomo Antico, nonché a Villa Collio.

**19 settembre 1979:** colpì gravemente alcune piccole località montane della Valnerina. L'evento, avvertito in numerose località umbre, marchigiane, abruzzesi e laziali, fu seguito da numerose repliche.

**1997 - 1998:** il 4 settembre inizia, con una scossa di magnitudo 4.4 nella zona di Collecorti, una sequenza sismica che ha interessato per alcuni mesi l'Umbria e le Marche con migliaia di scosse localizzate in un'ampia fascia, estesa per 30 Km in direzione Nord-Ovest Sud-Est, compresa tra le località di Sellano e Nocera Umbra. Il 26 settembre alle ore 2:33 una scossa di magnitudo 5.5, nella stessa zona epicentrale, causa ingenti danni soprattutto a Collecorti, Cesi, Colfiorito. Alle ore 11:40 dello stesso giorno si verifica una nuova scossa di magnitudo 5.7 con epicentro spostato di circa 5 Km verso nord-ovest. Una decina di scosse ebbero una magnitudo superiore alla soglia del danno (MI 4.5), come quelle del 3 ottobre (5.1), del 7 ottobre (5.3), del 14 ottobre (5.4) e del 26 marzo 1998 (5.6). Nel comune di San Severino Marche si sono registrati numerosi e diffusi danneggiamenti agli edifici più antichi, in particolare del centro storico, anche se con livelli di danno non

elevati.

**2016** - la sequenza sismica che ha attualmente colpito l'Italia centrale ha interessato pesantemente anche il territorio comunale di San Severino Marche provocando numerosi gravi danneggiamenti e parziali crolli agli edifici ubicati in particolare nei Rioni Uvaiolo, Settempeda e Mazzini. Numerosi sono anche i nuclei frazionali danneggiati dove molte delle costruzioni sono state oggetto di lesioni importanti e talora crolli parziali.

Dalla descrizione sopra riportata nonché da quanto citato nel capitolo 4 dove, in figura 3 e tabella 1, si elencano i principali eventi sismici che hanno interessato il comune di San Severino Marche, si evince che la zona è stata interessata da numerosi eventi distruttivi. Questi hanno rappresentato per lo più il risentimento di importanti terremoti avvenuti per lo più nell'Appennino centrale.

Per ciò che riguarda il confronto del danneggiamento subito dal patrimonio edilizio con la sequenza sismica del 1997 e quello generato dalla sequenza sismica ancora in corso, vi è da dire che al tempo fu il centro storico ad essere maggiormente e diffusamente danneggiato mentre gli edifici più recenti, che insistevano nei Rioni circostanti, rimanevano per lo più indenni, se si fa eccezione per il Rione Uvaiolo che lamentava un diffuso, anche se poco incisivo, danneggiamento degli edifici più vecchi, posti nella parte alta del rione stesso.

Relativamente alla recente crisi sismica si può invece notare come il centro storico sia stato poco o nulla danneggiato mentre hanno subito gravi danni gli edifici, realizzati in particolare negli anni '70 e '80, ricadenti nei rioni Uvaiolo, Settempeda e Miliani. A tal proposito si può notare come questi rioni ricadano all'interno delle microzone 2005 e 2006 dove sono stati calcolati i maggiori valori del fattore di amplificazione di tutta l'area investigata.

Riguardo il basso livello di danneggiamento del centro storico si può affermare con una qual certezza che la portata del danno poteva essere ben maggiore

qualora non fossero stati realizzati idonei interventi su quegli edifici più vulnerabili e/o lesionati a seguito della sequenza sismica umbro-marchigiana del 1997-1998.

Da ultimo si rammenta che la sequenza sismica iniziata il 24 agosto con una scossa di magnitudo 6.0 ad Amatrice, proseguita poi con numerose repliche ed altre due forti scosse il 26 ottobre (magnitudo 5.4 la prima, 5.9 la seconda) nell'area di Norcia, Castelsantangelo e Preci, è culminata con la scossa di magnitudo 6,5 che, avvenuta il 30 ottobre nella zona a Sud-Est di Norcia, rappresenta l'evento più violento avvenuto in Italia a partire dal 1980, ossia dal terremoto dell'Irpinia.

## **14 INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE**

Nell'ambito di uno studio di microzonazione sismica particolare attenzione deve essere posta alla quantità e qualità dei dati geognostici che si hanno a disposizione. Tale aspetto influisce certamente sia sulle interpretazioni geologiche che verranno effettuate nelle fasi di analisi e di sintesi dei dati, sia nella gestione delle eventuali incertezze. Nell'ambito del presente studio, nonostante una non omogenea distribuzione dei dati geognostici e geotecnici ritenuti affidabili ed utilizzabili e nonostante il limitatissimo numero di indagini dirette e mirate (sondaggi geognostici e down hole in particolare) rese disponibili dalla quantità dei finanziamenti concessi, si ritiene che il grado di dettaglio sia sufficientemente attendibile e che, a livello generale, le interpretazioni e le incertezze siano contenute e compatibili al grado di approfondimento dello studio stesso, il quale si rivolge prettamente a progetti applicati alla pianificazione territoriale. Nella fattispecie si rammenta che la variazione locale degli spessori dei terreni di copertura, soprattutto in relazione alla mutevolezza delle condizioni morfologiche superficiali e sepolte rappresentate sul territorio, il grado di alterazione del substrato, la naturale variabilità delle caratteristiche geotecniche dei terreni, delineano una condizione dove il dato che emerge da questo studio non può trovare applicazione diretta nella

redazione di progetti alla scala dell'edificio, per i quali è assolutamente auspicabile la redazione di indagini geognostiche, geotecniche e sismiche puntuali e, specialmente per quelle strutture ricadenti nelle classi III e IV, studi specifici di risposta sismica locale.

Da ultimo, appare necessario delineare quelle che sono state le problematiche che hanno fatto da corollario ad un lavoro che rappresenta uno sforzo notevole per tutti soggetti coinvolti, a partire da chi è stato impegnato sul territorio fino ai coordinatori. Elencando i vari fattori che hanno contraddistinto il cammino, iniziato nel mese di luglio 2017, ciò che appare come elemento determinante è stato il poco tempo concesso per lo svolgimento di tutto il lavoro (150 giorni). All'interno di tale arco di tempo ha trovato spazio anche la necessaria formazione professionale che ha richiesto, insieme all'acquisizione di competenze relative a nuovi software da utilizzare al fine di omogeneizzare i lavori svolti da vari professionisti, oltre un mese di tempo. A seguire la pianificazione delle indagini da realizzare in campagna e l'esecuzione di sopralluoghi ed indagini geognostiche e geofisiche nonché il complicato reperimento delle ditte per la loro esecuzione sia per il periodo (mese di agosto) sia perché largamente impegnate. Di non poco conto è stato poi il lavoro svolto in ufficio dove, oltre alla raccolta dei numerosi dati messi in campo vi è stato un faticoso impegno nell'elaborazione degli stessi ed una lunga opera di trasposizione cartografica attraverso software specifici. A ciò si deve poi aggiungere il fatto che una tale tipologia di lavoro ha necessitato, per il suo carattere sperimentale data la vastità dell'area complessivamente indagata (il cosiddetto "cratere sismico"), di correzioni ed aggiustamenti in itinere che abbiamo soddisfatto insieme a varie richieste da parte del Centro di MS.

## ALLEGATI

1 – Carta delle indagini	scala 1:5.000 – 10.000
2 – Carta delle frequenze fondamentali	scala 1:5.000
3 – Carta geologico-tecnica	scala 1:5.000
4 – Carta geologico-tecnica	scala 1:10.000
5 – Sezioni geologico-tecniche	scala 1:5.000
6 – Carta delle MOPS livello 3	scala 1:5.000
7 – Carta delle MOPS livello 1-3	scala 1:10.000
8 – N° 3 Carte di microzonazione sismica di livello 3	scala 1:5.000

## BIBLIOGRAFIA

Albarello D., Castellaro S., (2011) - *Tecniche sismiche passive*. Ingegneria Sismica, Anno XXVIII, 2, (Suppl.), pp32-62.

Cantalamessa G., Centamore E., Chiocchini U., Di Lorito L., Giardini G., Marchetti P., Micarelli A., Pontoni F., Potetti M., (1982) – *Analisi dell'evoluzione tettonico sedimentaria dei "bacini minori" torbidity del Miocene medio-superiore nell'Appennino umbro-marchigiano e laziale-abruzzese: 9) Il bacino della Laga tra il F. Potenza ed il F. Fiastrone-T. Fiastrella*. Studi Geologici Camerti 7, pp 17-79

Centamore E. et alii, (1991) - *L'Ambiente Fisico delle Marche*; Regione Marche, Giunta Regionale, Assessorato Urbanistica-Ambiente.

Gruppo di lavoro MS; (2008) - *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3° Vol. e DVD.

Gruppo di lavoro MS; (2015) - *Microzonazione Sismica. Standard di rappresentazione e archiviazione informatica*. Versione 4.0b.

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

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli 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>