

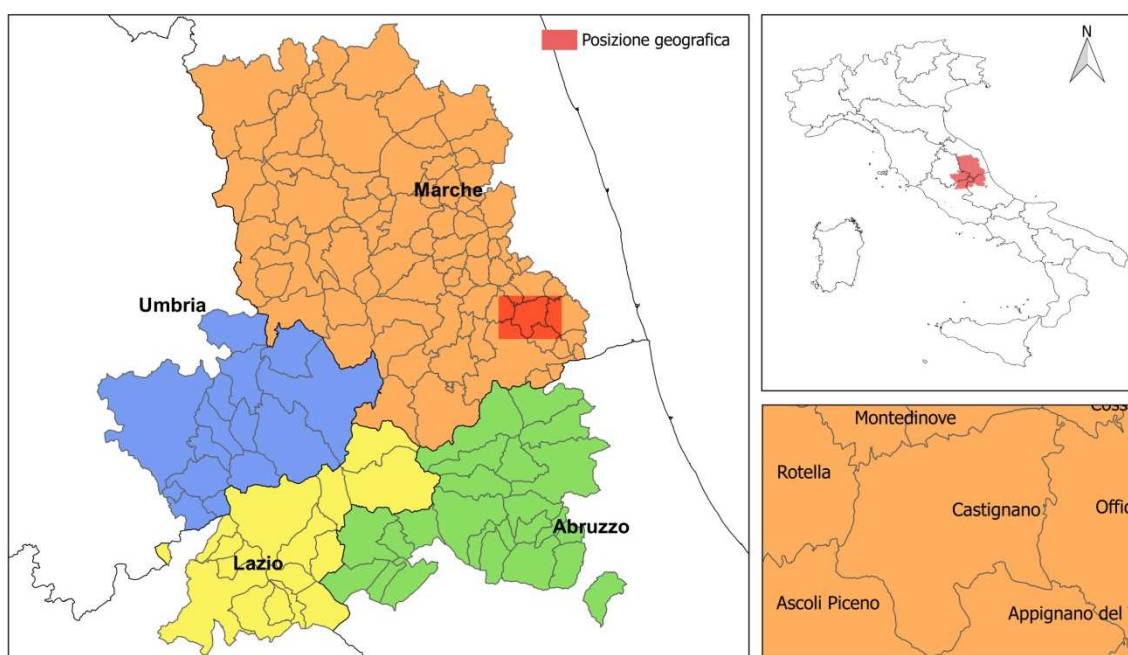



COMMISSARIO STRAORDINARIO RICOSTRUZIONE SISMA - 2016

**Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Castignano
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 Castignano



Soggetto realizzatore: Dott. Geol. Gianluigi Bartolini Collaboratori: Dott.ssa Geol. Sara Abeti Dott. Geol. Fabio Cataldi	Data Gennaio 2018	CENTROMS  CENTRO PER LA MICROZONAZIONE SISMICA E LE SUE APPLICAZIONI
--	--------------------------	--

INDICE

1 - INTRODUZIONE.....	2
1.1 – Finalità degli studi	2
1.2 – Descrizione generale dell'area comunale.....	3
1.3 – Definizione dei documenti di base utilizzati nello studio	3
1.4 – Aree da sottoporre agli studi di MS.....	3
2 – DESCRIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1 – Sismicità storica dell'area di studio	5
2.2 – Sismicità recente dell'area di studio	6
2.3 – Pericolosità sismica di base.....	6
3 - ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	9
3.1 – Inquadramento Geologico e strutturale	9
3.2 – Assetto geomorfologico	9
3.3 – Assetto Stratigrafico.....	10
4 – DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	11
4.1 – Dati pregressi.....	12
4.2 – Dati acquisiti ex novo	12
5 – MODELLO DEL SOTTOSUOLO FINALIZZATO ALLA MS.....	13
5.1 – Unità geologico tecniche: definizione e parametrizzazione	13
5.2 – Sezioni geologico- tecniche	15
6 - INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE	16
7- METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	17
7.1 – Scelta dell' input sismico e simulazioni numeriche	17
7.2 – Risultati	18
8 – ELABORATI CARTOGRAFICI.....	20
8.1 – Carta delle Indagini	20
8.2 – Carta della frequenza naturale dei terreni	20
8.3 – Carta geologico tecnica per la MS.....	20
8.4 – Carta delle Microzone Omogenee in prospettiva Sismica	21
8.5 – Carta di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3.....	21
8.6 – Commenti finali e criticità	22
9 – CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI	23
10 - BIBLIOGRAFIA.....	25

ALLEGATI

CARTA DELLE INDAGINI	SCALA 1:5.000
CARTA GEOLOGICO-TECNICA	SCALA 1:5.000
CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA	SCALA 1:5.000
CARTA DELLE FREQUENZE	SCALA 1:5.000
CARTA MICROZONAZIONE SISMICA (FA 0,1 - 0,5 s).....	SCALA 1:5.000
CARTA MICROZONAZIONE SISMICA (FA 0,4 - 0,8 s).....	SCALA 1:5.000
CARTA MICROZONAZIONE SISMICA (FA 0,7 - 1,1 s).....	SCALA 1:5.000

1 – INTRODUZIONE

La presente relazione illustra i risultati dello studio di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3 ai sensi dell'O.P.C.M. n.24 del 12 maggio 2017 e su incarico ricevuto dall'Ufficio Tecnico del Comune di Castignano (AP), Regione Marche.

La predisposizione degli studi è avvenuta secondo le modalità stabilite nel documento di indirizzi di cui al comma 1 e degli standard definiti dalla Commissione tecnica istituita ai sensi dell'articolo 5, comma 7, dell'ordinanza del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 3907 del 13 novembre 2010, nonché sulla base dei "Criteri di utilizzo degli studi di microzonazione per la ricostruzione". L'attività è stata svolta con il supporto ed il coordinamento scientifico del Centro per la microzonazione sismica (CMS) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), ai sensi dell'articolo 2, comma 1, lettera l-bis), punto 3, del decreto legge n. 189 del 2016.

Sono stati rispettati gli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome) ed utilizzati per la pianificazione e la progettazione esecutiva nelle aree maggiormente colpite dal sisma.

Per l'organizzazione delle informazioni si è fatto riferimento agli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica", elaborati dalla Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica i quali sono rappresentati dalla documentazione consultabile sul sito http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/StandardMS_4_0b.pdf.

1.1 Finalità degli studi

Lo studio di MS di livello 3 è finalizzato a quantificare la pericolosità sismica locale delle microzone, con particolare riferimento alle *aree stabili* (zone nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura - litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata), alle *aree stabili suscettibili di amplificazione* (zone in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio) e alle *aree di attenzione per instabilità* (zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma), e alla redazione delle Carte di microzonazione sismica di livello 3 alla scala 1:5.000.

Lo studio di MS di livello 3 sarà realizzato mediante analisi di risposta sismica locale monodimensionale (1D) e/o bidimensionale (2D), effettuate su verticali e sezioni rappresentative, in numero adeguato per poter caratterizzare le tipologie di microzone individuate nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (M.O.P.S.). I risultati delle analisi numeriche saranno restituiti in termini di accelerogrammi calcolati in superficie ed elaborati in termini di fattori di amplificazione in pseudo-accelerazione calcolati per prefissati intervalli di periodi, nonché di spettri di risposta in accelerazione al 5% di smorzamento.

1.2 Descrizione generale dell'area comunale

Il comune di Castignano è posto nell'entroterra ascolano, da cui dista circa 27 km. Il comune è delimitato ad Ovest dal territorio comunale di Ascoli Piceno e Rotella, a Sud dal comune di Appignano del Tronto, ad Est da Offida ed a Nord dai comuni di Montalto delle Marche, Montedinove e Cossignano.

Al comune di Castignano appartiene la frazione di Ripaberarda, unica frazione del territorio comunale; esistono tuttavia anche nuclei abitati e contrade quali Castiglioni, Rufiano, Monte, San Martino, San Venanzo, Sant'Angelo

di Ripaberarda. La superficie del territorio comunale è pari a 38,9 km² ; la quota del territorio risulta compresa tra 153 m s.l.m. e i 738 m s.l.m.

1.3 Definizione dei documenti di base utilizzati nello studio

Il territorio comunale è rappresentato nella seguente cartografia ufficiale:

- Carta Tecnica Regionale a scala 1:10.000 nelle seguenti sezioni: 326080 - 326040
- Carta Geologica e Geomorfologica Regionale CTR a scala 1:10.000; (Sezione n. 326080 – Castignano; Sezione n. 326040 – Montalto delle Marche).

1.4 Aree da sottoporre agli studi di MS

Gli studi di MS di terzo livello hanno preso in considerazione aree delimitate dal Centro MS e successivamente revisionate dal sottoscritto e dall'Amministrazione Comunale. Sono state considerate le aree dei nuclei abitati del Capoluogo, delle frazioni di Ripaberarda e della zona industriale della frazione di Ripaberarda.

Si riporta di seguito (Fig.1) la carta definitiva validata delle aree prescelte:

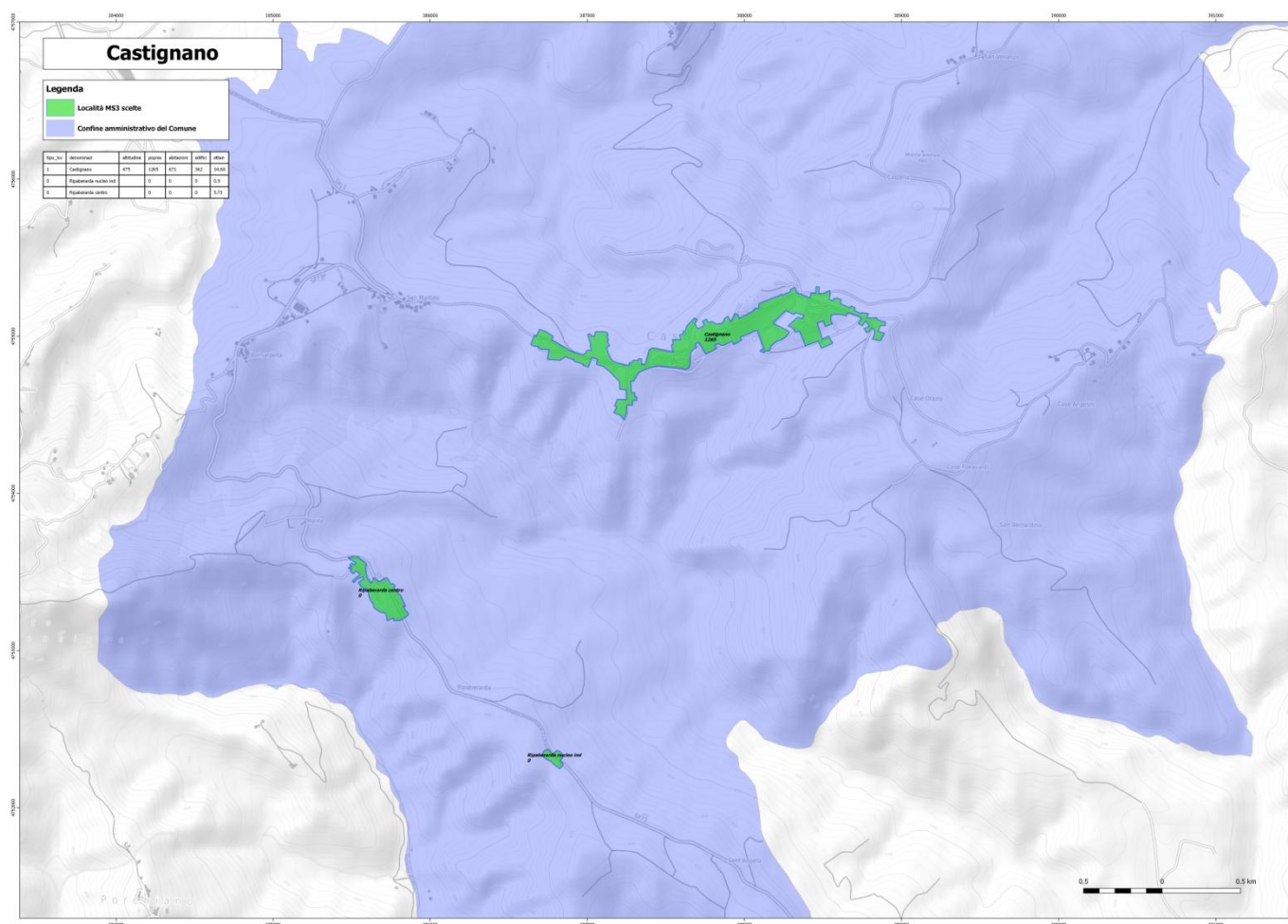


Fig.1: carta di perimetrazione aree oggetto di studio MS terzo livello

2 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Sismicità storica dell'area di studio

Il territorio marchigiano è sede di intensa attività sismica, sia per l'intensità dei terremoti, che per la loro frequenza. A partire dall'anno 1000 ad oggi, si possono contare almeno una ventina di eventi distruttivi che hanno interessato il territorio marchigiano come zona epicentrale. Questi terremoti hanno prodotto danni non inferiori a quelli di Senigallia (AN) nel 1930, di Castignano (AP) nel 1943, quelli di Ancona del 1972, fino alle recenti sequenze sismiche dell'Appennino Umbro-Marchigiano del settembre ottobre 1997. Inoltre, a questi terremoti bisogna aggiungere quelli che si sono generati con epicentro nelle regioni limitrofe ma che hanno prodotto danni anche nelle Marche.

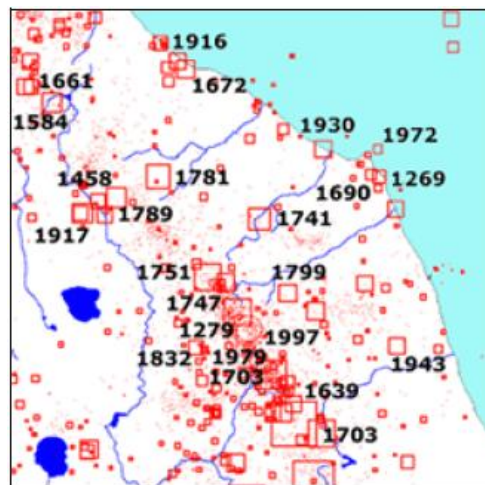
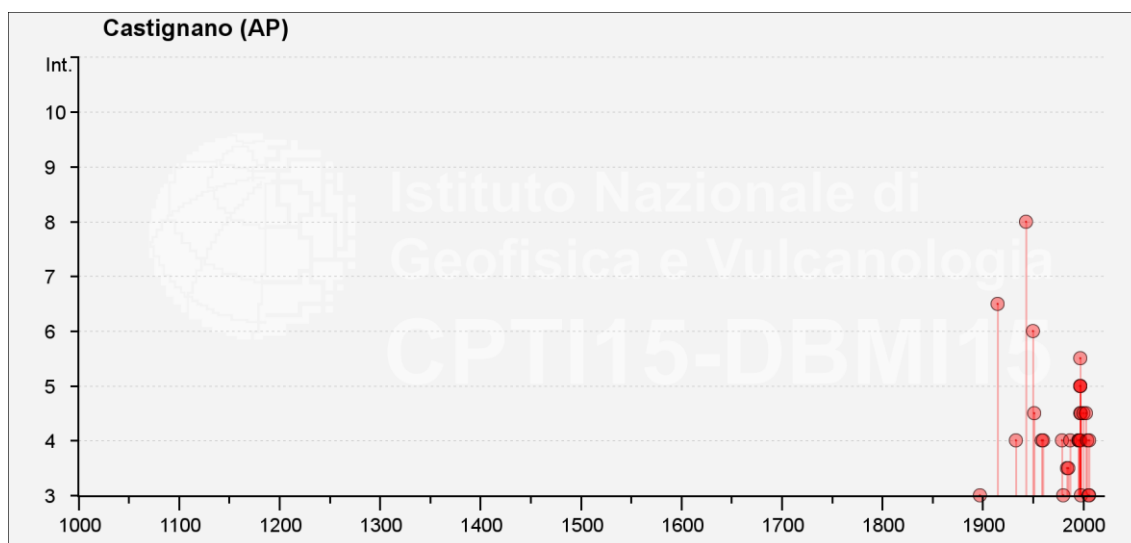


Fig.2 : eventi sismici storici nelle Marche



































Ad esempio il terremoto di Norcia del 14 gennaio 1703, uno dei terremoti più forti della storia sismica italiana, fu risentito con effetti distruttivi anche in molte parti del territorio marchigiano, ad Ascoli Piceno ad esempio venne avvertito con un'intensità pari $I = 6$ della scala [MCS].

Danni nelle Marche sono stati prodotti anche dai terremoti originatisi nelle zone di Sansepolcro (AR), di Rimini, del Forlivese e dell'Aquilano. Dalla figura 2 si evidenzia come l'attività sismica sia concentrata maggiormente nella zona appenninica e nella parte costiera delle province di Pesaro-Urbino e Ancona. L'analisi della sismicità recente sulla base dei dati raccolti negli ultimi anni dalla Rete Sismometrica Marchigiana confermerebbe questo quadro.

Il database Macrosismico Italiano a cura dell'INGV riporta per il comune di Castignano 35 eventi, i cui epicentri vengono però collocati sempre al di fuori del territorio comunale.



La tabella che segue è una compilazione dei principali eventi sismici $I > 5$ MCS che hanno prodotto risentimenti nell'area comunale, tratta dal "Database Macrosismico Italiano versione DBMI11 a cura di M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano Milano Bologna (<http://emidius.mi.ingv.it>)."

Effetti	In occasione del terremoto del												
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw			
3		1897	12	18	07	24	2 Alta Valtiberina	132	7	5.09			
6-7		1915	01	13	06	52	4 Marsica	1041	11	7.08			
4		1933	09	26	03	33	2 Maiella	325	9	5.90			
8		1943	10	03	08	28	2 Ascolano	170	8	5.67			
6		1950	09	05	04	08	Gran Sasso	386	8	5.69			
4-5		1951	08	08	19	56	Gran Sasso	94	7	5.25			
4		1959	01	01	23	58	1 Teramano	46	5	4.33			
4		1960	03	16	01	52	4 Monti della Laga	81	5	4.44			
4		1979	09	19	21	35	3 Valnerina	694	8-9	5.83			
3		1980	02	28	21	04	4 Valnerina	146	6	4.97			
3-4		1984	04	29	05	02	5 Umbria settentrionale	709	7	5.62			
3-4		1985	05	01	16	57	3 Ascolano	51	5	4.09			
4		1987	09	04	16	42	4 Costa Marchigiana	75	6	4.66			
NF		1992	10	24	18	44	4 Monti della Laga	32	5	4.08			
NF		1993	06	05	19	16	1 Valle del Topino	326	6	4.72			
4		1995	12	30	15	22	0 Fermano	106	5	4.19			
4		1996	01	01	12	21	4 Maceratese	91	5-6	4.20			
2		1996	01	22	18	37	4 Fermano	76	5	3.96			
2		1996	01	22	23	14	0 Maceratese	45	5	3.66			
4		1996	07	09	10	23	0 Costa abruzzese-marchigiana	45		4.20			
5		1997	09	26	00	33	1 Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66			
5		1997	10	03	08	55	2 Appennino umbro-marchigiano	490		5.22			
5		1997	10	06	23	24	5 Appennino umbro-marchigiano	437		5.47			
4-5		1997	10	14	15	23	1 Valnerina	786		5.62			
4		1997	11	09	19	07	3 Valnerina	180		4.87			
4-5		1998	03	21	16	45	0 Appennino umbro-marchigiano	141		5.00			
3		1998	04	05	15	52	2 Appennino umbro-marchigiano	395		4.78			
4-5		2000	10	24	07	52	2 Monti Sibillini	65	5	4.11			
4-5		2003	05	25	17	15	1 Ascolano	88	4-5	3.81			
4		2004	12	09	02	44	2 Teramano	213	5	4.09			
NF		2005	04	12	00	31	5 Maceratese	131	4	3.74			
3		2005	12	15	13	28	3 Val Nerina	350	5	4.14			
4		2006	04	10	19	03	3 Maceratese	211	5	4.06			
3		2006	10	21	07	04	1 Anconetano	287	5	4.21			

I = effetti locali del terremoto (in scala MCS – Mercalli-Cancani-Sieberg)

F = avvertito (si ritiene di escludere che si siano verificati danni - $3 \leq \text{Int} \leq 5$)

Ax = epicentro;

Np = numero di osservazioni macrosismiche disponibili

Io = intensità macrosismica all'epicentro (MCS)

Mw=Magnitudo

2.2 Sismicità recente dell'area di studio

Tra la sismicità recente dell'area di studio vanno ovviamente considerati gli eventi sismici del Centro Italia del 2016 e del 2017 i quali hanno avuto inizio nell'agosto 2016 con epicentri situati tra l'alta valle del Tronto, i Monti Sibillini, i Monti della Laga e i Monti dell'Alto Aterno.

La recente crisi sismica ha interessato anche il territorio comunale ed il particolare gli eventi:

- del 24 agosto 2016 (03.36.32) Mw 6.0
- del 26 ottobre 2016 (19.11.36) Mw 5.5 e (21.18.15) Mw 6.0
- del 30 ottobre 2016 (07.40.17) Mw 6.5
- del 18 gennaio 2017 (11.25.23) Mw 5.4, (11.14.09) Mw 5.5, (10.25.40) Mw 5.1

2.3 Pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di un territorio è rappresentata dalla sua sismicità ovvero dalla frequenza e dall'ampiezza dei terremoti che possono interessarlo; in particolare la pericolosità sismica di una data zona è definita come la probabilità che in un determinato intervallo temporale (generalmente 50 anni) abbia luogo un sisma di una determinata magnitudo.

A tale scopo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 e successivamente Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006, oltre a definire le procedure e gli approcci scientifici da utilizzare, e grazie agli studi coordinati INGV, hanno portato alla realizzazione di una Mappa di Pericolosità Sismica nazionale (fig.3) che descrive la pericolosità sismica attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni su suolo rigido e orizzontale (pari ad un tempo di ritorno $T_r = 475$ anni).

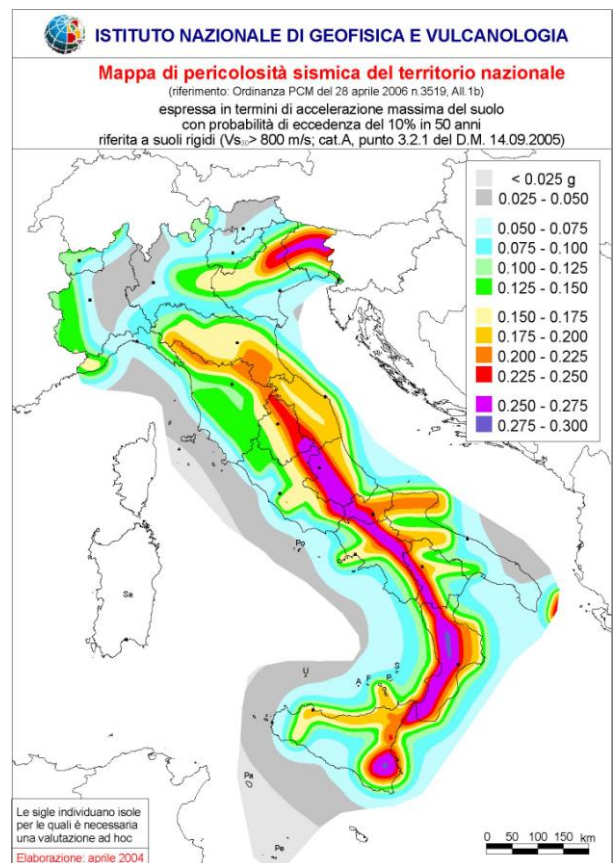


Fig.3: carta di pericolosità sismica nazionale

Le due O.P.C.M. hanno inoltre individuato i principi generali sulla base dei quali poi le Regioni hanno classificato i comuni in una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali è stato classificato il territorio nazionale; a ciascuna zona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (ag).

La Regione Marche con la D.G.R. n. 136 del 17 febbraio 2004 – “Indirizzi generali per la prima applicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 - Individuazione e formazione

dell'elenco delle zone sismiche nella Regione Marche" recependo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, ha aggiornato l'elenco delle zone sismiche del territorio regionale, provvedendo a classificare anche il territorio del Comune di Castignano nella zona sismica 2.

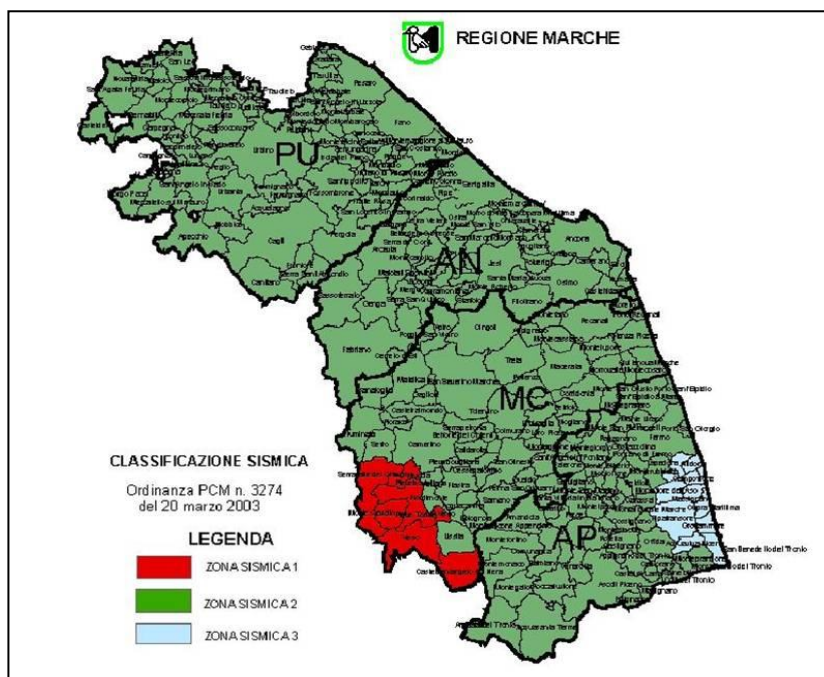


Fig.4 : classificazione sismica a seguito dell'O.P.C.M. 3274/2003

La zonazione del territorio, mostrata in Figura 4, evidenzia che la quasi totalità della Regione rientra nella Zona Sismica 2, tra cui il territorio del Comune di Castignano, una piccola parte del territorio, a confine con la Regione Umbria è classificata Zona Sismica 1 e una piccola parte del territorio lungo la costa adriatica della provincia di Ascoli Piceno rientra nella Zona Sismica 3. All'interno di ciascuna zona le caratteristiche della sismicità (massima magnitudo attesa, tempi di ritorno, ecc.) sono considerate omogenee e il prossimo terremoto si potrà verificare in un qualsiasi punto.

Zona Sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)
Zona 1 – E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti	$ag > 0.25$
Zona 2 – Nei Comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti	$0.15 < ag \leq 0.25$
Zona 3 – I Comuni inseriti in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti	$0.05 < ag \leq 0.15$
Zona 4 – E' la zona meno pericolosa	$ag \leq 0.05$

Tab.1: suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido

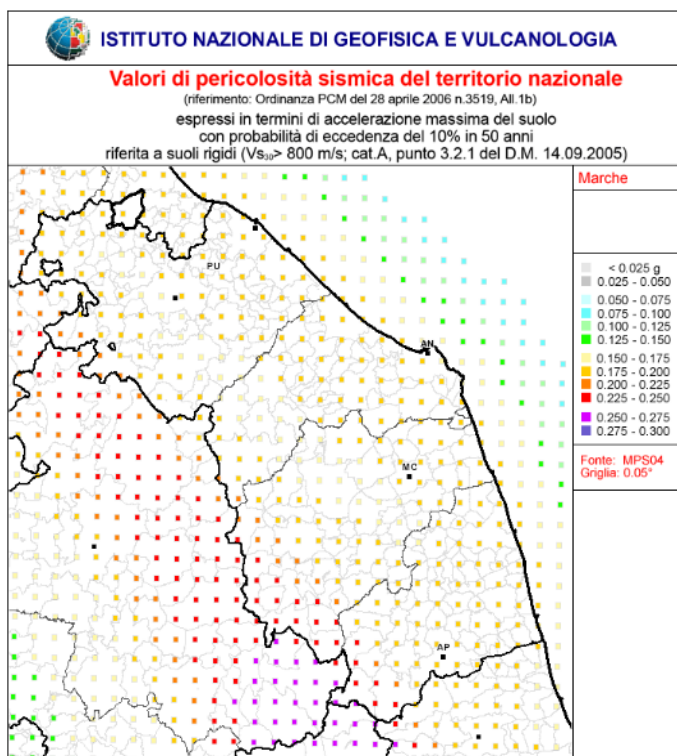


Fig.5 : valori di pericolosità sismica per la Regione Marche

La pericolosità sismica di base del comune espressa in termini di accelerazione massima attesa al suolo (rigido) vale 0,175 g - 0,2 g (vedi fig.5). Gli studi di pericolosità sismica sono alla base delle analisi territoriali finalizzate alla zonazione sismica (pericolosità sismica di base) e alla microzonazione sismica (pericolosità locale).

L'Istituto Nazionale di Geofisica e di Vulcanologia mette in rete, nell'ambito del Progetto DISS3, le informazioni (<http://diss.rm.ingv.it>) riguardanti la distribuzione spaziale e le caratteristiche sismo-tettoniche delle Sorgenti Sismogenetiche presenti sul territorio nazionale.

Il territorio di Castignano risulta all'interno della macroarea ITCS020 Southern Marche – ITIS070: Offida (fig.4).

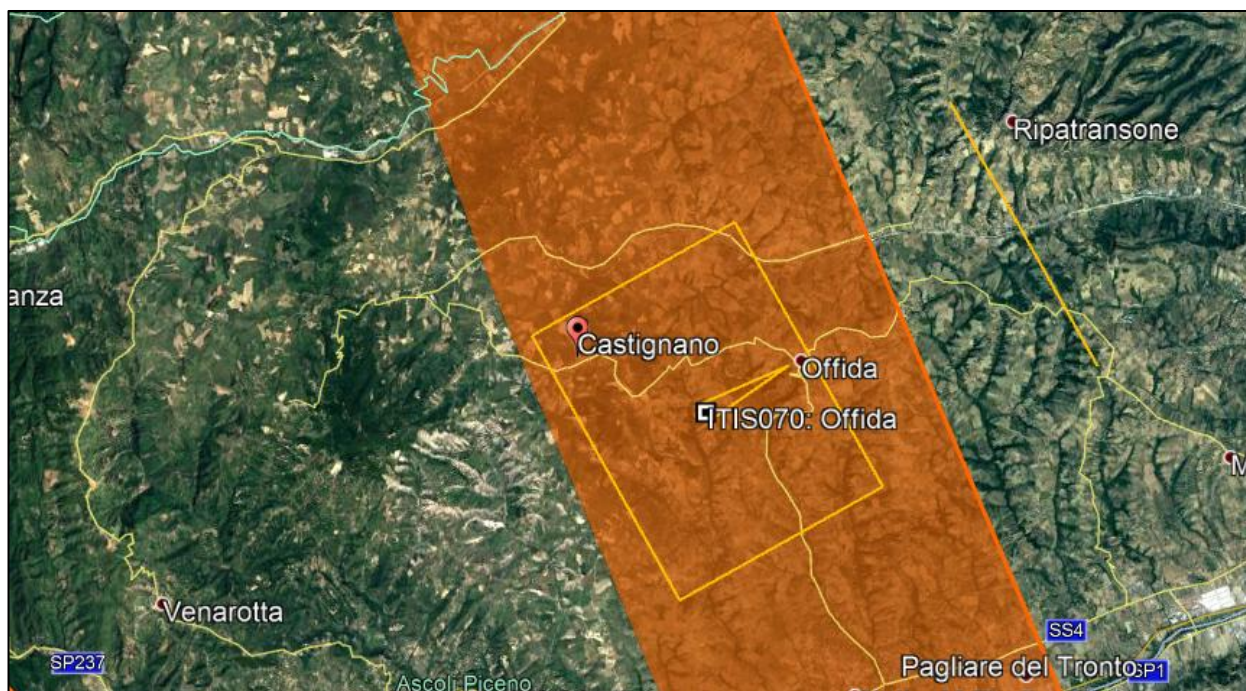


Fig.4–Localizzazione del territorio rispetto alle macroaree sismogenetiche censite dal DISS3.1.1.

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 Inquadramento geologico strutturale

Il sito di studio fa parte di un'area, immediatamente a Est del Monte dell'Ascensione, caratterizzata da una morfologia tipicamente collinare, dove si alternano stretti crinali a fossi e vallecicole più o meno ampie; quest'ultime sono interessate da piccoli corsi d'acqua di tipo torrentizio e dipendenti esclusivamente dall'andamento climatico stagionale.

Il centro storico è ubicato in corrispondenza di un rilievo collinare, culminante a quota 476 m s.l.m., formato da sabbie cementate e stratificate del Pliocene medio-inferiore (Torbidity arenacee). La parte di crinale sita ad Ovest del centro storico di Castignano è costituita da peliti plioceniche ben stratificate, con formazione di depositi eluvio-colluviali di sabbie fini e limi argillosi. Gli strati argillosi immergono verso NE con inclinazione di 8 – 10 gradi.

Ad Est del centro storico è ubicata un'estesa linea di faglia che pone a contatto le peliti plioceniche, già considerate, con le argille laminate appartenenti alla formazione torbiditica pleistocenica, mentre ad E-SE del rilievo collinare è ubicata la seconda estesa faglia che caratterizza tettonicamente il territorio comunale di Castignano.

La zona urbanizzata e di espansione sita a NE del centro storico ricade sui materiali pelitici laminati suddetti, affioranti lungo le scarpate al di sotto del rilievo collinare su cui è sito il civico cimitero comunale.

La zona di cresta ove sorgono il centro storico, i centri abitati e le aree di espansione è caratterizzata da buon equilibrio ed è costituita da materiali del substrato affioranti che presentano una discreta continuità areale e formano crinali stretti ed allungati.

I versanti siti a Nord della zona di cresta considerata sono costituiti in superficie da coltri eluvio-colluviali argilloso-limose di spessori maggiore di tre metri; tali coltri in corrispondenza della parte di pendio sita a NW del centro storico sono interessate da deformazioni plastiche e movimenti franosi piuttosto estesi (frane di colamento) che coinvolgono anche alcuni fabbricati. Il dissesto, catalogato con la sigla F29-0223 nel P.A.I. della Regione Marche, bacino del Tesino, presenta un grado di rischio e di pericolosità elevato (H3-R3).

I terreni coinvolti sono principalmente di natura pelitica con peliti di colore grigio azzurro e grigio avana con sottili e sottilissimi strati di silt o, più raramente, di sabbie gialle o grigie che ne evidenziano la stratificazione.

I versanti siti a Sud della zona di cresta invece sono interessati dagli intensi fenomeni calanchivi alla base dei quali giacciono le argille stratificate del Pliocene medio-inferiore che costituiscono la formazione di base del territorio analizzato.

Le morfologie calanchive e i fenomeni franosi, oltre a rappresentare l'elemento dominante del paesaggio dell'area, rappresentano un fattore condizionante dello sviluppo antropico: in molti casi la continua evoluzione ed arretramento delle testate dei calanchi nei litotipi argillosi plio- pleistocenici, soprattutto nei versanti caratterizzati da giacitura degli strati a traversopoggio o a reggipoggio, con gli estesi e profondi fenomeni franosi che invece caratterizzano i versanti con giacitura a franapoggio, ha portato alla creazione di esigue ed affilate creste spartiacque su cui rimangono isolati vari paesi, come accade per la frazione di Ripaberarda.

Immediatamente a valle del centro storico, lato Sud, sono presenti due tipologie di dissesti: Il primo, immediatamente a ridosso delle mura del centro storico, è caratterizzato da un fenomeno di crollo allo stato attivo e costante definito molto elevato nell'ambito del PAI. La frana siglata F- 743 si presenta con grado di pericolosità e di rischio molto elevati. I terreni coinvolti sono principalmente arenarie da granulometria grossolana a fine con sottili interstrati pelitici (Pleistocene inferiore p.p. – Pliocene Inferiore) degradati ed erosi dagli agenti atmosferici.

Come visibile da cartografia il fenomeno coinvolge alcune abitazioni site nel limite meridionale del centro storico; il secondo movimento è rappresentato da una deformazione plastica con direzione di movimento NW-SE, la quale, comunque risulta al di fuori della perimetrazione dello studio di micro zonazione di terzo livello.

Ad Est del capoluogo il rilievo collinare di Colle Acuto, costituito da peliti plioceniche, appartiene alla dorsale stretta e allungata nel cui versante esposto a NE è rilevabile una linea di faglia.

I pendii esposti a NE sono costituiti da coperture limoso argillose che, a valle, sono caratterizzate da spessori maggiori e risultano in frana in corrispondenza degli impluvi più incisi.

A Sud Ovest del capoluogo si estende la frazione di Ripaberarda, lungo la zona di cresta dello spartiacque collinare tra il Torrente Bretta e Torrente Chifente. La frazione sorge direttamente sui depositi eluvio colluviali di natura limoso argillosa; il versante esposto a SW dell'abitato è interessato da imponenti fenomeni calanchivi che, con l'arretramento, creano importanti situazioni di instabilità ampiamente studiate ed oggetto negli anni di interventi di stabilizzazione. Le morfologie calanchive rappresentano comunque sicuramente una delle forme più spettacolari presenti in tutta l'area in esame.

In corrispondenza della fascia sottostante la strada provinciale il pendio argilloso è costituito in superficie da coperture argillose-limose dello spessore variabile che superano i 10 metri.

Anche a Ripaberarda gli strati argillosi immergono verso NE con inclinazione regionale di 8-10 gradi.

A SE, lungo la cresta collinare di Ripaberarda, sono presenti dei depositi sabbioso ghiaiosi di Glacis antico provenienti dalla risedimentazione dei materiali incoerenti erosi dal Monte dell'Ascensione, corpo clastico sito a Ovest del centro abitato in oggetto. Tale formazione, comunque, non rientra in quelle perimetrate dallo studio di terzo livello.

L'altra area perimetrata dallo studio di terzo livello relativa alla zona industriale di Ripaberarda risulta essere formata dalla coltre eluvio-colluviale di natura limoso-argillosa con spessori superiori a 10 metri sovrastanti la formazione argillosa di base.

3.3 Assetto stratigrafico

Per quanto riguarda la litostratigrafia dei terreni affioranti nell'area in esame possiamo distinguere in base alle caratteristiche lito-stratigrafiche le seguenti litologie:

Terreni di copertura:

- **Sabbie fini limose o argillose, limi argillosi (MLec)** - Depositi eluvio-colluviali formati da sabbie fini e limi argillosi di bassa plasticità.

Terreni del substrato geologico:

- **Coesivo Sovraconsolidato Stratificato (COS)** - peliti di colore grigio azzurro fittamente stratificate con intercalazioni sabbiose ocracee di spessore variabile (Pleistocene inf. – Pliocene Inf.).
- **Granulare Cementato Stratificato (GRS)** - Arenarie a granulometria da grossolana a fine in strati tabulari e lenticolari con sottili interstrati pelitici (Pleistocene inferiore p.p.-Pliocene inferiore).

4 – DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

In fase di realizzazione degli Studi di Microzonazione Sismica di livello 1 per il comune di Castignano sono stati raccolti tutti i dati geologico-stratigrafici, geotecnici e sismici reperiti dagli archivi tecnici comunali e dall'esecuzione ed elaborazione di indagini realizzate appositamente per gli studi di primo livello. I dati pregressi sono costituiti variamente da sondaggi a carotaggio continuo, saggi geognostici, prove penetrometriche, sia statiche che dinamiche, analisi e prove geotecniche di laboratorio, indagini geofisiche realizzate con varie metodologie (fondamentalmente prove M.A.S.W. e H.V.S.R.).

I sondaggi geognostici e prove penetrometriche hanno permesso, nella maggior parte dei casi, di differenziare i terreni della coltre superficiale (depositi eluvio-colluviali) dai terreni dei substrati geologici riferibili alla Formazione delle Argille Azzurre. In alcuni casi le perforazioni sono state spinte fino al raggiungimento del substrato permettendo l'esatta definizione dello spessore della coltre superficiale e dei rispettivi parametri geotecnici caratteristici dei depositi. Le prove penetrometriche raccolte, pur non fornendo un dato diretto della stratigrafia locale, consentono, attraverso la loro interpretazione, di ipotizzare la profondità del substrato, o comunque l'individuazione della profondità del tetto di un livello più competente. Le informazioni raccolte documentano la presenza ovunque di depositi riconducibili a terreni della coltre superficiale con spessori molto variabili da pochi metri fino ad un massimo di 20 m. Gli spessori massimi si trovano in gran parte della frazione di Ripaberarda e parte del territorio del Capoluogo.

Le indagini sismiche pregresse riguardanti prove di sismica a rifrazione, M.A.S.W. e misure H.V.S.R., oltre a permettere l'individuazione della profondità del substrato, danno indicazioni sui valori delle velocità delle onde S e P. Per quanto riguarda il "sito puntuale" erano stati inseriti n. 94 siti distribuiti nelle diverse frazioni; il "sito lineare" aveva invece prodotto l'inserimento di n. 2 "indagini lineari" di Sismica a rifrazione.

Di seguito la suddivisione delle indagini puntuali e lineari utilizzate:

QUANTITÀ	SIGLA	DESCRIZIONE
55	SS	Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
1	SDS	Sondaggio a distruzione di nucleo che intercetta il substrato
6	DP	Prova penetrometrica dinamica pesante
7	DS	Prova penetrometrica dinamica superpesante
3	CPT	Prova penetrometrica statica
22	HVSR	Stazione microtremore a stazione singola
2	MASW	Prospezione sismica MASW

Tab.2 – Tabella riepilogativa delle indagini geognostiche

Tutti gli elementi geotecnici e geofisici acquisiti, distinti in puntuali e lineari, sono stati rappresentati secondo gli standard stabiliti.

4.2 – Dati acquisiti ex-novo

Gli studi di Microzonazione Sismica di terzo livello hanno previsto una campagna indagini sul territorio comunale come prestabilito dallo schema di convenzione e concordata con il CentroMS.

Nella fattispecie sono state realizzate ex novo:

- n. 9 indagini geofisiche H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)
- n.4 indagini geofisiche M.A.S.W.

- n.1 carotaggio continuo (intercettante il substrato)
- indagini geofisiche di tipo D.H. (Down Hole)
- indagini di laboratorio campione indisturbato
- prove SPT

Le indagini geofisiche hanno assunto rilevante importanza; le indagini HVSR hanno consentito la definizione delle frequenze naturali dei terreni presenti sul territorio comunale mentre attraverso le n.4 indagini tipo M.A.S.W. è stato possibile definire il profilo delle velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s) nei terreni oggetto di studio. Dall'analisi dei profili delle velocità delle onde di taglio si possono intuire, in funzione della variazione del parametro V_s e, quindi, della diversa risposta del mezzo all'attraversamento delle onde, le unità stratigrafiche. Dalle prove MASW sono stati inoltre estrapolati i profili delle V_{s30} dai quali è stato possibile evidenziare la categoria di suolo.

Nel capoluogo è stato effettuato un carotaggio continuo spinto fino a 35 metri intercettante il substrato sul cui foro sono stati poi condotte indagini geofisiche di tipo Down Hole.

Nell'ambito del sondaggio geognostico è stato prelevato un campione indisturbato ad una profondità di 10 – 10.5 mt. ; i risultati delle prove sono riportati in allegato al seguente lavoro.

5- MODELLO DEL SOTTOSUOLO FINALIZZATO ALLA MS

5.1 – Unità geologico tecniche: definizione e parametrizzazione

La caratterizzazione geologica e geomorfologica del territorio comunale è stata definita attraverso il rilevamento geologico di campagna integrato, per gli aspetti geomorfologici, con l'analisi fotogeologica e per gli aspetti sismici da misure di frequenza (H.V.S.R.) , misure M.A.S.W. e Indagini sismiche Down Hole dei terreni affioranti. Ai dati di campagna inoltre, sono stati aggiunti quelli derivanti dalla documentazione geologica bibliografica esistente sia in possesso dello scrivente che reperiti nell'Archivio Tecnico del Comune.

Le conoscenze stratigrafiche locali, derivate da una idonea campagna di rilevamento geologico e, dove possibile, anche dall'interpretazione di indagini puntuali e lineari, hanno consentito la definizione di un modello del sottosuolo secondo un livello di dettaglio soddisfacente.

Segue, quindi, la descrizione del modello geologico di ogni singola microzona indagata precisando che i valori di Vs30 (tab.3) costituiscono una sintesi mediata provenienti rispettivamente dagli esiti delle misure dirette (*Down-hole*) e dall'analisi congiunta delle misure indirette di superficie (*M.A.S.W./HV*).

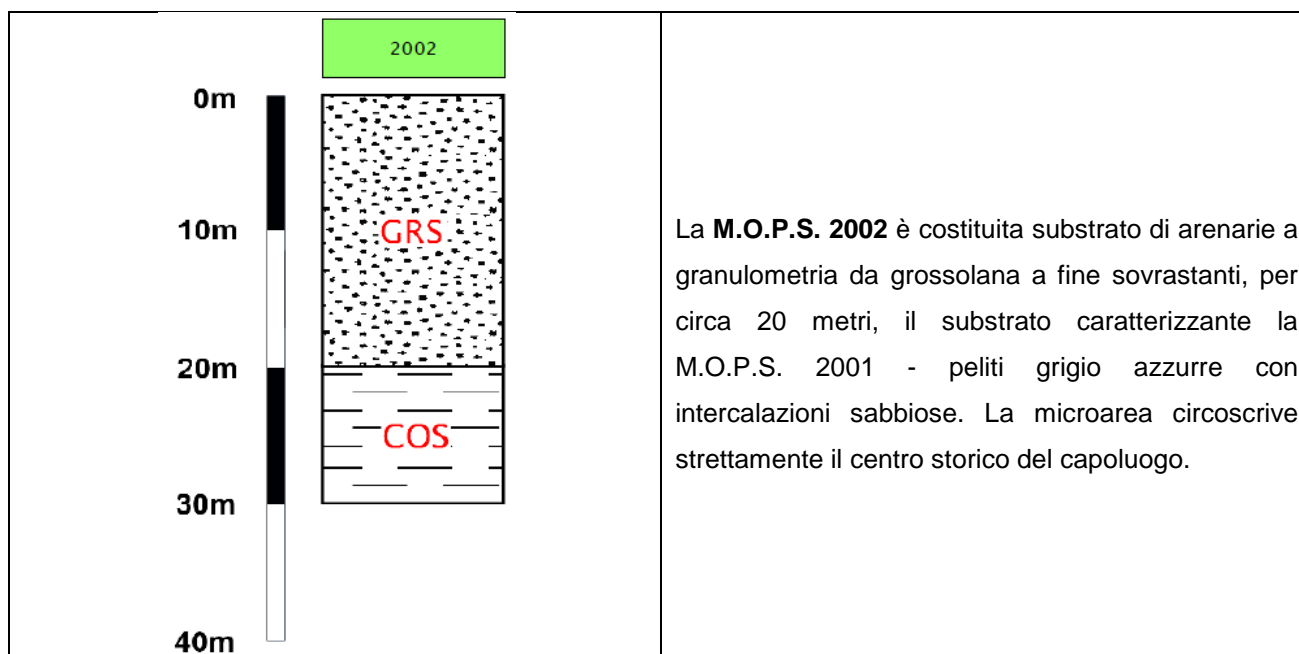
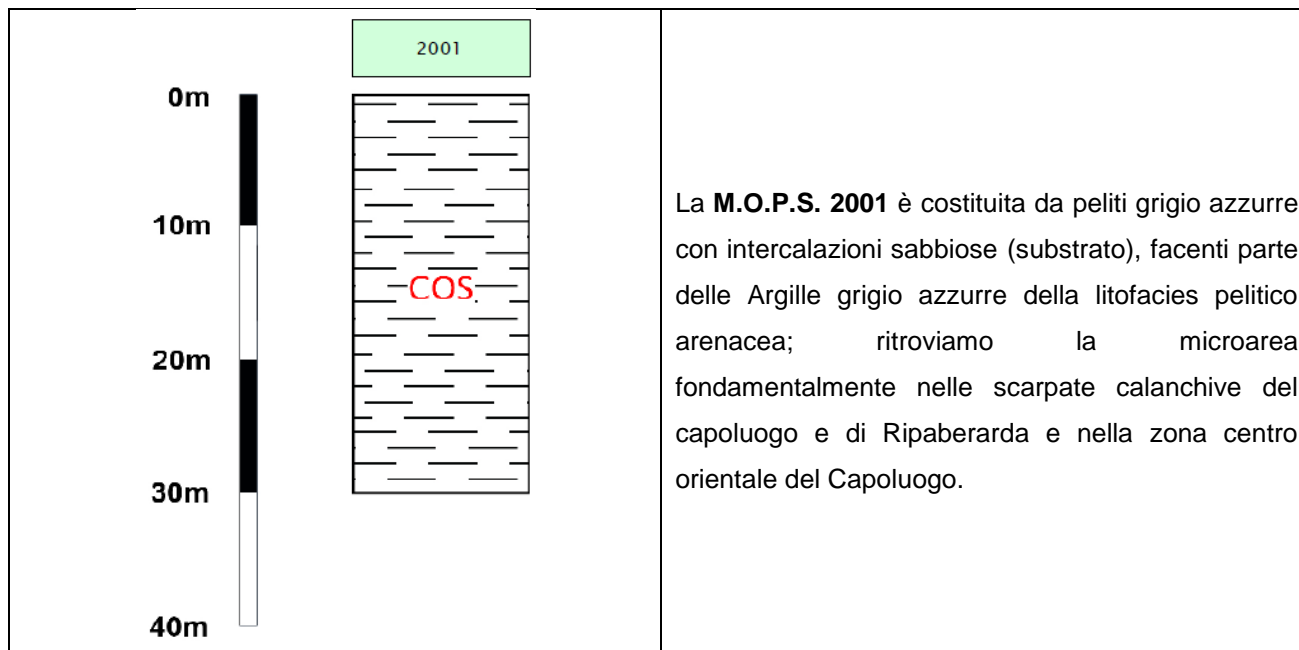
MOPS	Descrizione	Sigla	Spessore Coltre (m)	Vs30 (m/s)	Categoria di Suolo
2001	Substrato di peliti grigio azzurre con intercalazioni sabbiose	COS	---	535	B
2002	Substrato di arenarie a granulometria da grossolana a fine	GRS	---	441	B
2003	Depositi eluvio-colluviali di sabbie fini e limi argillosi	MLec	3-10	416	B
2004	Depositi eluvio-colluviali di sabbie fini e limi argillosi	MLec	10-20	309	C

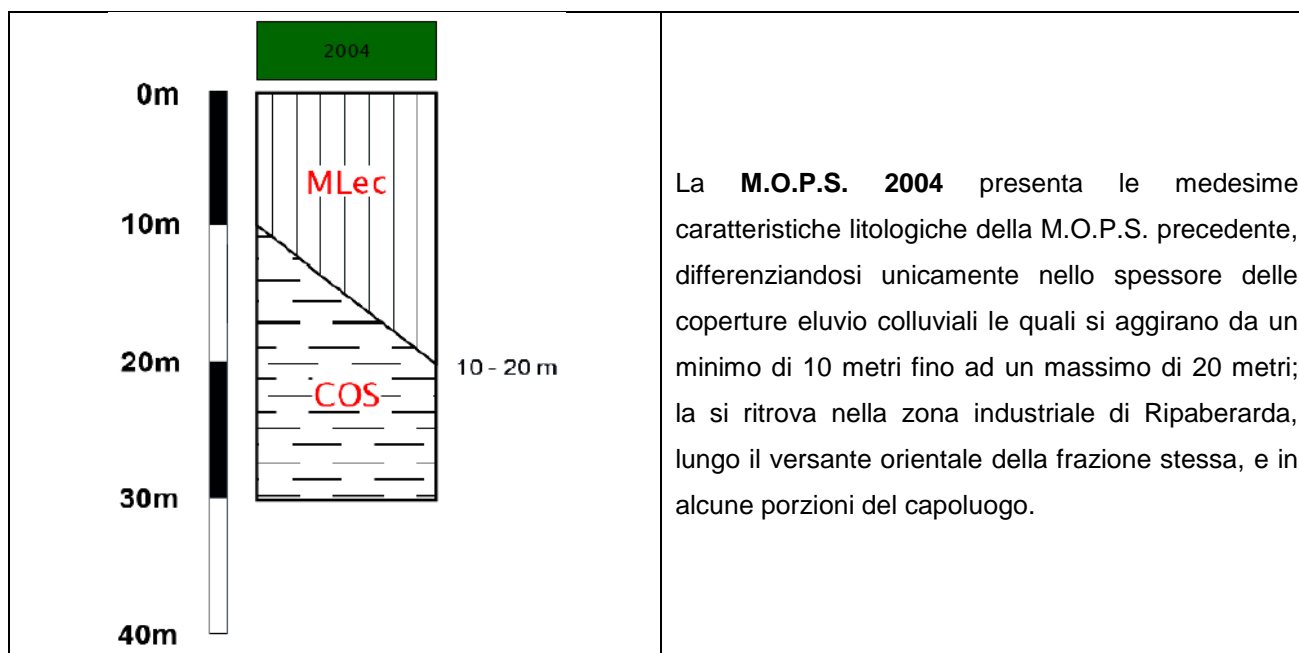
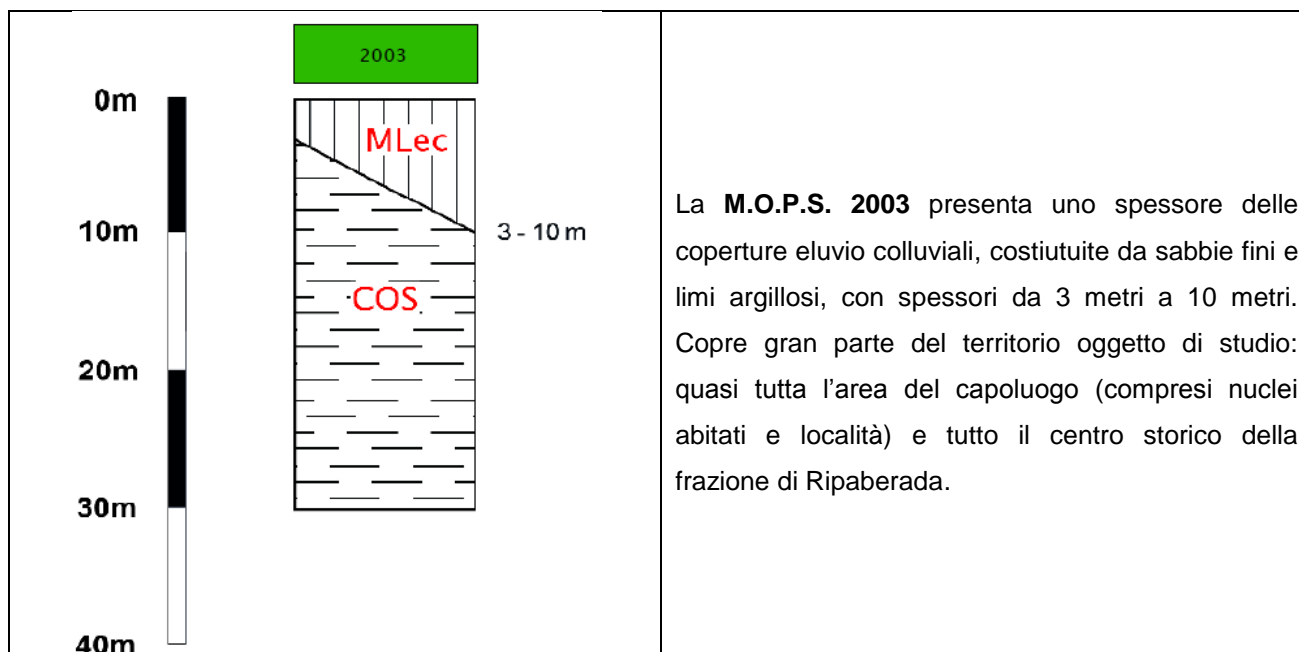
Tab.3: sintesi dei valori rappresentativi per ogni microarea

Per le finalità stesse del lavoro, i terreni affioranti sono stati raggruppati in funzione della litologia prevalente e dell'ambiente deposizionale che li ha originati, ovvero cercando di distinguere le varie unità litostratigrafiche in base ad un criterio di differenziazione del comportamento sismico. Inoltre, le diverse unità litostratigrafiche riconosciute sono state correlate singolarmente o in associazione nelle diverse unità e formazioni geologiche conosciute in letteratura.

I terreni affioranti sono descritti per intervalli cronologici in base alle loro principali caratteristiche sedimentologiche e stratigrafiche facendo riferimento al rilevamento geologico condotto, alle informazioni contenute nella cartografia geologica ufficiale e alle indagini pregresse ed eseguite ad hoc per il presente studio di Microzonazione Sismica.

I termini litostratigrafici presenti sul territorio comunale sono stati ampiamente descritti e nel paragrafo 3.3 a cui si rimanda per un approfondimento e riportati attraverso campiture piene nella Carta Geologico- Tecnica allegata al presente documento.





5.2 – Sezioni geologico tecniche

Le sezioni, in scala 1:5.000, sono state realizzate per la rappresentazione dell'assetto geologico strutturale nonché delle andamenti del contatto coperture continentali quaternarie/substrato geologico.

Sono state realizzate n. 3 sezioni:

- la sezione A-A' : attraversa tutta l'area comunale relativa al capoluogo in direzione Sud Ovest – Nord Est;
- la sezione B-B' : attraversa la porzione settentrionale del capoluogo in direzione Nord Ovest – Sud Est;
- la sezione C-C' : attraversa in direzione Nord Ovest – Sud Est la frazione di Ripaberada;

Si rimanda all'allegato relativo alla "Carta Geologico – Tecnica" per la rappresentazione grafica delle stesse.

6 INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

Le incertezze del modello geologico (e geologico-tecnico) ricostruito sono fondamentalmente legate al fatto che si dispone di un modesto numero di sondaggi e indagini geognostiche tale da escludere un significativo grado di interpretazione da parte del soggetto realizzatore su quello che è il risultato finale. Se l'informazione fornita da un sondaggio non è in grado di trasmettere dettagli abbastanza precisi della stratigrafia in quel punto specifico, la correlazione di quell'informazione con altre, eseguite spesso a distanza non trascurabile, appare molto complessa e, per essere attuata, si deve far ricorso a delle semplificazioni che conducono necessariamente all'impossibilità di assumere tutte le informazioni iniziali fornite dal singolo sondaggio. Dal reperimento dei dati pregressi reperiti negli archivi tecnici del Comune di Castignano, si è riscontrata una modesta presenza di indagini geognostiche riconducibile all'esistenza del substrato geologico a profondità variabile rispetto al piano campagna dell'area microzonata. I substrati sono comunque affioranti principalmente lungo la cresta su cui sorgono il centro storico e parte dell'abitato del capoluogo. Al di sopra del substrato pelitico stratificato si è avuta la deposizione di depositi eluvio colluviali con spessori da un minimo di 3 m ad un massimo di 20 m.

Le aree in attuale espansione sono quelle che hanno fornito un numero di indagini maggiori rispetto ad aree di meno recente edificazione.

Sulla base delle informazioni di natura geologica, geomorfologica e geotecnica precedentemente esposte, e seguendo le indicazioni provenienti dall'analisi geofisiche, sono state poi dedotte le considerazioni di tipo qualitativo circa il comportamento sotto sollecitazione dinamica dei terreni che caratterizzano parte del territorio comunale di Castignano.

Le frequenze di risonanza sono state ottenute tramite l'elaborazione di indagini geofisiche H.V.S.R.; i valori sono stati correlati con gli abachi preliminari, tramite i quali è possibile stimare la profondità del contrasto di impedenza e valutarne qualitativamente l'entità identificando le interfacce risonanti. I risultati delle misure effettuate risultano essere compatibili e congrue con l'assetto stratigrafico dell'area studiata.

Durante l'esecuzione della prova Down Hole (spinta fino a 35 metri di profondità e realizzata nei fori di sondaggio intercettanti il substrato) in tutte le verticali indagate non è stato incontrato il bedrock sismico (ovvero uno strato con velocità di propagazione delle onde di taglio, $V_s > 800\text{ m/s}$) con Velocità delle onde s pari a 608 m/s.

Lo spessore dei depositi superficiali è stato stimato in base alle indagini indirette reperite e di nuova esecuzione, ponendo eventuali incertezze sul suo reale spessore; per evitare ciò sarebbe stato opportuno effettuare almeno un'indagine diretta mediante carotaggio continuo in modo da poter correlare le indagini dirette a quelle indirette in modo da diminuire le incertezze relative alla natura e spessori delle coperture nelle singole microaree.

7 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

7.1 – Scelta dell' input sismico e simulazioni numeriche

Nel presente studio non sono state rilevate *Zone Stabili*, ma solo *Zone Stabili suscettibili di amplificazioni locali*, cioè zone in cui il moto sismico è modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di suolo a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e/o geomorfologiche del territorio.

Sono state individuate n.5 tipologie di zone comprese nell'ambito delle *Zone di attenzione per le instabilità di versante (ZAFR)*: le ritroviamo nell'area a ridosso del centro storico (frana da crollo/ribaltamento), nelle scarpate calanchive di Ripaberarda e in altre tre zone del capoluogo (frane da colamento) come visibile in cartografia. Nel territorio indagato non sono presenti faglie attive e capaci né potenzialmente attive e capaci - *Zone di attenzione per Faglie attive e capaci (ZAFAC)*; non sono state inoltre riscontrate condizioni tali da ipotizzare l'instaurarsi di fenomeni di liquefazione in caso di sisma - *Zone di attenzione per liquefazione (ZALQ)*

Gli Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica indicano come valutare i fattori di amplificazione stratigrafica dell'azione sismica in *Zone Stabili suscettibili di amplificazioni locali*, sulla base del particolare ambito geomorfologico, geologico e geotecnico in cui ricade l'area in esame. Di conseguenza sono stati realizzati studi di risposta sismica locale con l'obiettivo di definire, attraverso simulazioni numeriche della propagazione del moto sismico dal basamento roccioso di origine alla superficie, gli accelerogrammi attesi a piano campagna, i relativi spettri di risposta ed i fattori di amplificazione rappresentativi.

Lo studio di risposta sismica locale è stato condotto utilizzando il codice di calcolo STRATA che consente di eseguire simulazioni di propagazione monodimensionale del moto sismico in depositi di terreno stratificati orizzontalmente ed in condizioni di campo libero. Il modello di strati orizzontali e paralleli è stato ritenuto rappresentativo delle reali condizioni del sottosuolo in corrispondenza dei siti oggetto di studio. Si basa sul codice SHAKE computando la risposta dinamica unidimensionale del sito utilizzando l'approccio di analisi lineare equivalente.

Il comportamento non lineare e dissipativo del terreno (riduzione della rigidezza a taglio, G e incremento dello smorzamento, D all'aumentare delle deformazioni di taglio, γ indotte dal sisma) è tenuto in conto attraverso tale approccio lineare equivalente; ovvero il codice esegue una serie di analisi lineari complete in tensioni totali aggiornando iterativamente la rigidezza e lo smorzamento del terreno al crescere delle deformazioni, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza. È pertanto stato importante determinare sperimentalmente con la massima accuratezza possibile la rigidezza iniziale di ogni strato di terreno, le curve di decadimento del modulo $G(\gamma)$ e di incremento del damping $D(\gamma)$.

I parametri di input necessari all'esecuzione di un'analisi di risposta sismica locale attraverso il codice Strata sono stati:

- la sequenza stratigrafica e la profondità del substrato sismico;
- il peso dell'unità di volume γ_n e la rigidezza a taglio iniziale G_0 per ogni strato;
- le curve di decadimento del modulo di taglio, $G(\gamma)$ e di incremento del damping, $D(\gamma)$, dove γ = deformazione a taglio per ogni strato;
- gli accelerogrammi di input.

Le sequenze litostratigrafiche utilizzate per le simulazioni numeriche sono state dedotte dall'analisi critica delle indagini geologiche geotecniche e geofisiche e ricondotte alle microzone determinate (Cap. 5 Modello del sottosuolo).

Il peso dell'unità di volume delle unità delle coperture e dei substrati è stato posto pari a un valore variabile rispettivamente tra 19÷20 kN/m³, relativamente alle sabbie e limi argillosi ed ai substrati.

Le curve di decadimento del modulo $G(\gamma)$ e di incremento del damping $D(\gamma)$ utilizzate per le analisi di risposta sismica locale sono state reperite da misure su litotipi simili provenienti da dati bibliografici come consigliato dalla commissione durante i vari incontri.

Sono stati utilizzati come moti di input (applicati su affioramento rigido e deconvoluti al basamento sismico attraverso il codice Stata) i sette accelerogrammi naturali, forniti dal Centro MS opportunamente estratti per il comune di Castignano.

Gli spetti di risposta in pseudoaccelerazione nonché le storie temporali dell'accelerazione e le principali caratteristiche di tali segnali sono riportati di seguito.

7.1.3 – Risultati

I risultati delle analisi di risposta sismica locale monodimensionale 1D sono rappresentati nel seguito in termini di spettri di risposta di pseudoaccelerazione PSA dei moti sismici calcolati in superficie e per mezzo dei fattori di amplificazione del moto sismico, definiti secondo tre intervalli di periodo come:

$$FA_{0,1-0,5} = \frac{SI_{0,1-0,5} \text{ PSA output}}{SI_{0,1-0,5} \text{ PSA input}}$$

$$FA_{0,4-0,8} = \frac{SI_{0,4-0,8} \text{ PSA output}}{SI_{0,4-0,8} \text{ PSA input}}$$

$$FA_{0,7-1,1} = \frac{SI_{0,7-1,1} \text{ PSA output}}{SI_{0,7-1,1} \text{ PSA input}}$$

dove:

PSA output = spettro di risposta di pseudo-accelerazione del moto sismico, calcolato in superficie;

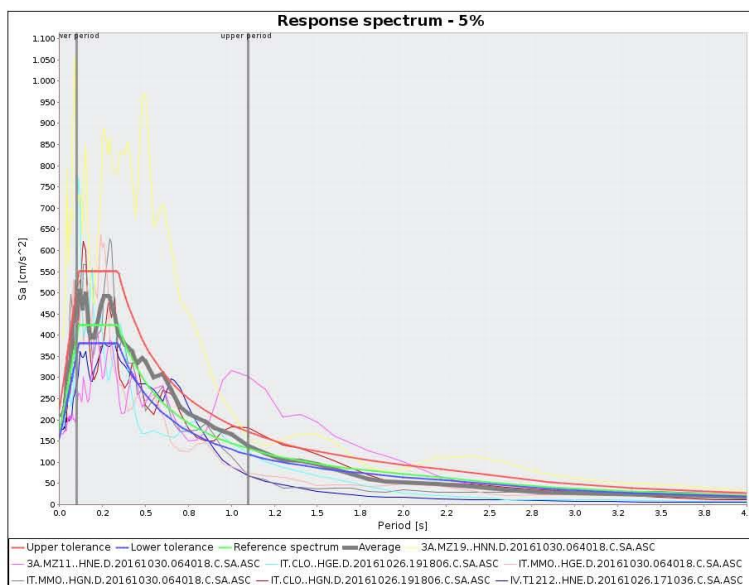
PSA input = spettro di risposta di pseudo-accelerazione del moto sismico di input.

Riepilogando:

Microzone	FA		
	0,1 - 0,5	0,4 - 0,8	0,7 - 1,1
2001	1,26	1,20	1,10
2002	1,47	1,61	1,40
2003	1,68	1,42	1,21
2004	1,85	1,57	1,27

MARCHE3 - CASTIGNANO (475yrs)

Mon Jul 10 13:03:50 CEST 2017

**Target spectrum**

=====

Latitude: 42.93806

Longitude: 13.62156

Site classification: A

Topography: 1

Nominal life [years]: 50

Building functional type (Cu): 1.0

Limit state probability : 0.1

Preliminary record search

=====

Station site classification: A,A*

Magnitude min: 4.9

Magnitude max: 6.1

Types of magnitude considered: WL

Epicentral distance min [km]: 0.0

Epicentral distance max [km]: 40.0

Include late trigger events: no

Include analog recordings: no

Analysis options

=====

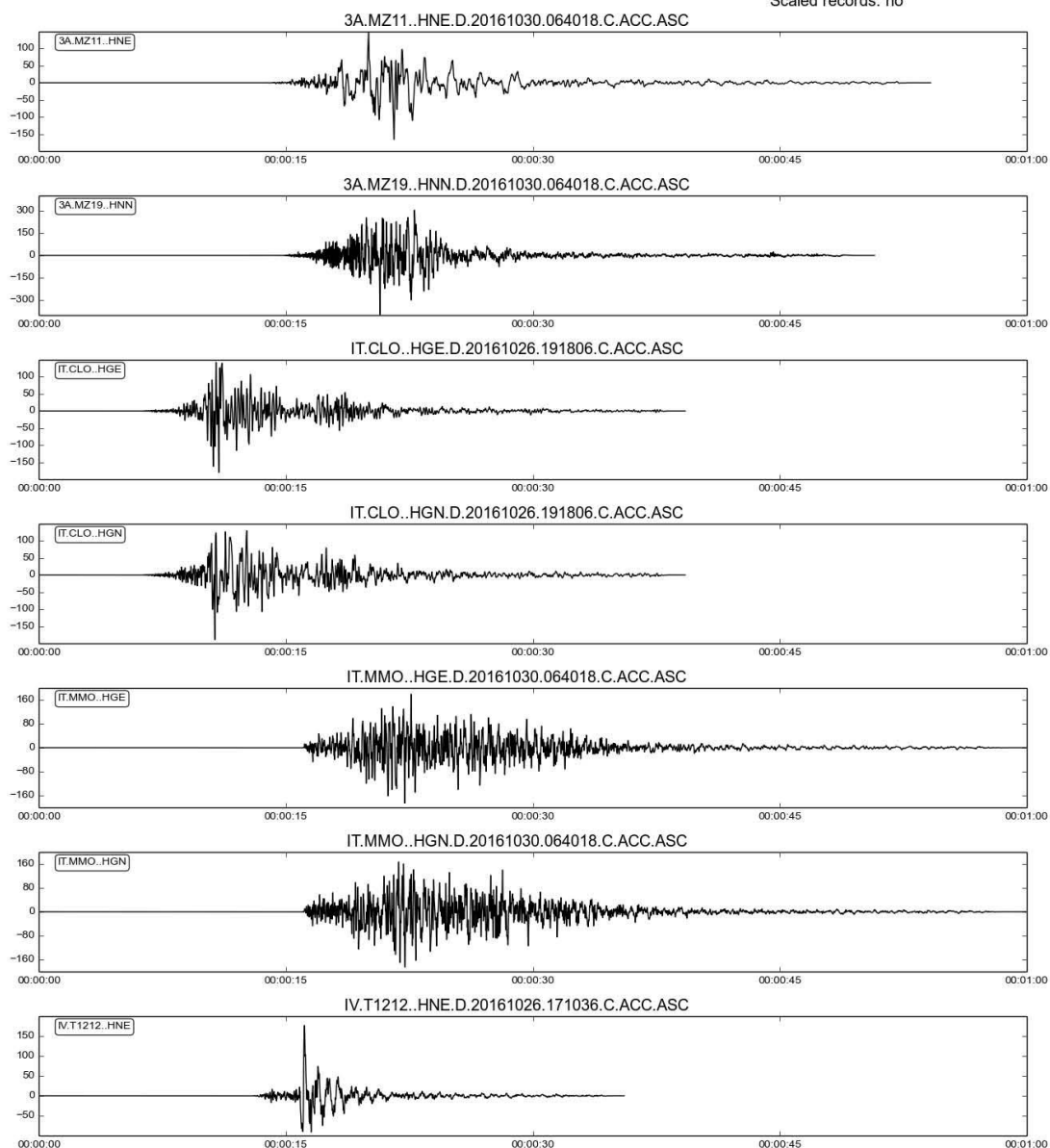
Period range min [s]: 0.1

Period range max [s]: 1.1

Tolerance below average [percent]: 10.0

Tolerance above average [percent]: 30.0

Scaled records: no



8 ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1 – Carta delle indagini

Lo studio di Mzs è stato realizzato prendendo in considerazione indagini distribuite in tutto il territorio comunale e costituite da indagini di tipo geotecnico, geologico e geofisico.

La maggior parte delle indagini deriva da lavori pregressi, archivi privati, comunali e regionali, mentre una parte di queste rientra all'interno di una campagna indagini di nuova realizzazione effettuata allo scopo di ottenere una migliore copertura territoriale dei dati e maggiori informazioni riguardanti le aree ad elevato interesse urbanistico.

Le tipologie di indagini sono state affrontate nell'apposito paragrafo del presente lavoro.

Le indagini sono state catalogate tramite il Software SoftMS e riportate, in formato .pdf, nella cartella "indagini" all'interno del sistema di archiviazione adottato. Tramite l'utilizzo di tale software ad ogni prova viene assegnato un identificativo oltre ad informazioni relative ad ubicazione, profondità di indagine, parametri geologico-tecnici e stratigrafie.

Dalla carta delle indagini si evince che la maggior concentrazione di prove risulta ubicata nel capoluogo, nella porzione sud orientale.

8.2 – Carta delle frequenze naturali dei terreni

Il presente lavoro ha prodotto la carta delle frequenze, ovvero i valori ricavati dai grafici di picco H/V delle indagini HVRS. Nella carta vengono indicate collocazioni puntuali delle indagini, e con una simbologia idonea e gradata, viene riportato il grado di intensità della frequenza. La cartografia così strutturata, permette di avere un quadro di lettura immediato sulle aree caratterizzate da maggiore frequenza rispetto a quelle che vedono una frequenza minore.

Il valore della frequenza è infatti funzione della profondità del bedrock: i risultati che si possono ottenere da questa tecnica rivelano principalmente la frequenza caratteristica di risonanza del sito. Essa rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nel realizzare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, al fine di evitare effetti di "doppia risonanza", estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi.

Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismometro Geobox della SARA Instrument, con frequenza propria di 4,5 Hz, di proprietà del sottoscritto. In allegato al presente studio sono riportate le schede metadati della campagna indagini.

8.3 – Carta geologico tecnica per la MS

Si tratta di un elaborato di fondamentale importanza per la definizione dei caratteri litotecnici delle unità geologiche affioranti e rappresenta lo strumento di base per la redazione della carta delle M.O.P.S. (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica).

La carta del comportamento fisico-meccanico dei terreni è stata realizzata attraverso l'incrocio dei dati geomeccanici su quelli delle unità litostratigrafiche.

Per la sua definizione sono state valutate: le caratteristiche geotecniche dei diversi complessi e formazioni litologiche; i parametri geomeccanici che fanno riferimento a dati relativi a composizione litologica, alla densità specifica, al contenuto d'acqua, allo stato di consistenza e compattezza dei terreni intesa come grado d'addensamento, grado di fratturazione ed alterazione ecc., dati ricavati dalle indagini in sito reperite per lo studio. La descrizione delle unità geologiche e litotecniche individuate nonché le caratteristiche geotecniche delle stesse sono ampiamente riportate nel Paragrafo 3.3 e nella medesima cartografia di riferimento.

All'interno della Carta Geologico tecnica sono presenti le sezioni geologiche realizzate sul territorio comunale.

8.4 – Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

Tale elaborato è stato prodotto negli Studi di Microzonazione Sismica di 1 livello, poi successivamente revisionato e modificato in alcune sue parti ; il prodotto cartografico individua le aree suscettibili di effetti locali in cui sono poi state effettuate le successive indagini di Microzonazione Sismica di livello 3.

Come si evince dalla cartografia di primo livello, il territorio comunale non presentava zone definite stabili, ma solo aree stabili suscettibili di amplificazione locale.

In precedenza erano state individuate 8 zone (M.O.P.S.) nell'intero territorio comunale. A seguito delle perimetrazioni della microzonazione di livello 3, alcune di queste microaree sono rimaste totalmente fuori dal territorio investigato. Si sono comunque rilevate n. 4 M.O.P.S. totali all'interno dell'area di investigazione, tutte catalogate come "*Zone suscettibili di amplificazione sismica*".

Nello studio del primo livello erano presenti n.3 "zone di instabilità di versante" ubicate nella porzione occidentale, poco distante dalla frazione di Ripaberarda (non considerate nell'attuale lavoro in quanto al di fuori dell'area perimetrata) e nell'area circostante il capoluogo (instabilità prese in considerazione totalmente o in parte nel presente studio).

8.5 – Carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3

Tale cartografia costituisce il documento fondamentale all'interno del quale si ricaveranno i valori numerici oggettivi di amplificazione derivate dalle analisi geofisiche condotte.

Per le aree oggetto di microzonazione sismica di terzo livello sono stati attribuiti indici quantitativi che definiscono, in base alle condizioni stratigrafiche e topografiche, l'amplificazione sismica attesa ($T_r = 475$ anni; $\zeta = 5\%$).

In particolare si ricaveranno nei punti di indagine i valori F_a (valore del fattore di amplificazione in termini di accelerazione sismica) calcolati mediante modellazione numerica (codice di calcolo STRATA).

Nello specifico, la carta di microzonazione sismica si compone per ogni microzona individuata di tre fattori di amplificazione, calcolati per differenti intervalli di periodo.

Nelle zone di studio sono contemplate solamente aree stabili suscettibili di amplificazione sismica.

All'interno di queste zone, si sono raccordati i valori di Fattore F_a derivati dalle indagini, sommandoli ad eventuali amplificazioni topografiche: l'elaborazione ha portato a strutturare delle zonizzazioni per omogeneità di frequenza secondo queste classi.

In linea generale si può affermare che i valori dei fattori di amplificazione evidenziano comportamenti di risposta sismica sensibilmente differenziati in rapporto alle caratteristiche litologiche del substrato, ed al tipo di copertura e spessori che ad esso competono.

La microzonazione riportata in cartografia, basata sui Fattori di amplificazione elaborati con abachi e metodi semplificati, dovrà essere quindi utilizzata come approccio per inquadrare la possibile risposta sismica locale e per progettare la tipologia di indagini necessarie in sede esecutiva.

8.6 – Commenti finali e criticità

L'analisi dettagliata ha permesso di dividere il territorio studiato in fasce di fattore di amplificazione FA omogeneo secondo le classi descritte. E' evidente che a maggiori FA corrispondono maggiori amplificazioni date dalla componente stratigrafica sommata, in alcuni casi a quella topografica.

Tale informazione sarà quindi indispensabile per le future progettazioni che ricadranno nel sito esaminato e questa tavola costituisce l'elemento di base per i dimensionamenti delle future opere.

Per quanto riguarda la M.O.P.S. 2001 si evidenziano fattori di amplificazione $FA= 1,26$ con valori compresi $0.1 < T < 0.5$ s, $FA= 1,20$ con $0.4 < T < 0.8$ ed $FA= 1,10$ con $0.7 < T < 1.1$ s. Questa microzona presenta i valori di amplificazione più bassi di tutto il territorio comunale, caratterizzata da substrato pelitico stratificato affiorante.

Per quanto riguarda la M.O.P.S. 2002, che vede la presenza del substrato arenaceo al di sopra del pelitico, si evidenziano fattori di amplificazione più elevati relativi alla precedente con $FA= 1,47$ con valori compresi $0.1 < T < 0.5$ s, $FA= 1,61$ con $0.4 < T < 0.8$ ed $FA= 1,40$ con $0.7 < T < 1.1$ s. Le M.O.P.S. 2003 e 2004 invece presentano valori intermedi con $FA= 1,68$ con $0.1 < T < 0.5$ s, $FA= 1,42$ con $0.4 < T < 0.8$, $FA= 1,21$ con $0.7 < T < 1.1$ s per la M.O.P.S. 2003 e $FA= 1,85$ con $0.1 < T < 0.5$ s, $FA= 1,57$ con $0.4 < T < 0.8$, $FA= 1,27$ con $0.7 < T < 1.1$ s per la M.O.P.S. 2004; è evidente come, localmente, la differenza di spessore nella copertura possa influenzare le condizioni di amplificazione locale.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), approvate con D.M. 14.01.2008, richiedono che nella progettazione siano affrontati aspetti comuni agli studi di MS. Occorre distinguere la scala alla quale si opera. Infatti la progettazione è riferita ad uno specifico manufatto (scala del manufatto) e quindi riguarda ambiti territoriali che possono essere estremamente limitati, mentre la MS opera su una scala areale ed è riferita ad una microzona la cui estensione può essere notevole, in dipendenza delle condizioni di relativa omogeneità dei suoli (scala della microzona). In genere, quindi, lo studio a supporto della progettazione fornisce informazioni più puntuali di quelle che si possono ottenere dagli studi per la MS. Quest'ultima, di contro, offre informazioni relative ad aree più estese e quindi mette a disposizione una conoscenza più diffusa, di sicuro interesse anche per la pianificazione urbanistica e la pianificazione di emergenza.

9 CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

Nel territorio comunale di Castignano sono stati registrati storicamente diversi episodi sismici. Chiaramente le informazioni dei danni riguardanti gli eventi dei secoli scorsi non evidenziano un' adeguata quantità di notizie per poter comparare adeguatamente la distribuzione dei danni riguardo i passati eventi tellurici.

Una nota evidente invece è a riguardo del sisma del 1943. Questo terremoto è un esempio di come la conoscenza di un evento estremamente vicino possa essere non ben documentato alla pari di terremoti passati; la discordanza tra le rilevazioni strumentali ed i danni/ testimonianze raccolte sul dato sisma è davvero rilevante.

Il terremoto del 3 ottobre 1943 è di fatti un evento recente ma la ricostruzione del suo impatto territoriale è più lacunosa e il suo inquadramento nel contesto sismogenetico dell'Appennino centrale meno certo di quanto ci si aspetterebbe per un terremoto di neanche settant'anni fa. Questa situazione è una diretta conseguenza della collocazione cronologica del terremoto stesso, avvenuto meno di un mese dopo l'armistizio dell'8 settembre 1943, al principio di quella che sarebbe stata la fase più atroce della Seconda Guerra Mondiale in territorio italiano.

Ne deriva una serie di circostanze che hanno contribuito a indebolire, distorcere e – almeno in parte - occultare la percezione dell'estensione dell'area interessata dal terremoto e la corretta valutazione dei suoi effetti macrosismici. Ciò ha particolarmente compromesso la produzione di testimonianze documentarie degli effetti del terremoto sugli edifici, cioè delle fonti storiche fondamentali per analisi di comparazione con eventi moderni e per studi di pericolosità sismica. In estrema sintesi, il terremoto del 3 ottobre 1943 andò a sollecitare un patrimonio edilizio la cui vulnerabilità era - in molti casi - accentuata da scarsa manutenzione ed eventi bellici precedenti. Nell'immediatezza del post terremoto gli interventi statali furono – comprensibilmente - limitati a misure palliative delle più urgenti esigenze di sussistenza. Il rilievo dei danni (tranne alcuni precoci interventi dovuti all'iniziativa di singoli funzionari, fu condotto in maniera disomogenea e in larga misura solo dopo il passaggio del fronte (1944) se non addirittura a guerra finita, prendendo cioè in considerazione un quadro di effetti gravemente alterato dai successivi eventi bellici, dalle intemperie e dalla mancanza di interventi conservativi. Le difficoltà di comunicazione e la pressoché totale interruzione della stampa di giornali ridussero drasticamente la produzione di testimonianze sul risentimento dell'evento principale e sulla sequenza sismica (cartoline macrosismiche, corrispondenze giornalistiche locali). Un ulteriore fattore di disturbo alla "leggibilità" del danneggiamento deriva dal contesto sismico locale del decennio 1940-1950, caratterizzato da diversi eventi (anche di un certo rilievo ma non tutti registrati nei cataloghi parametrici), che contribuirono a offuscare il quadro complessivo degli effetti e la memoria storica dei testimoni locali (cfr. Tertulliani et al., 2006; 2008).

Non sono stati trovati a riguardo né articoli giornalistici, né foto né documentazione a riguardo; l'unica fonte attendibile e fortemente rilevante è un documento redatto dal Genio Civile di Ascoli Piceno che è stato ritrovato tra gli archivi.

La redazione di tale documento si basò su testimonianze orali (una sorta di "sondaggio ufficiale") che vennero raccolte tra giovani ragazzi in età scolare, testimoni oculari del sisma, emittenti radiofoniche che hanno testimoniato il sisma tramite telefonate di ascoltatori e interviste dirette di abitanti delle zone ritenute epicentrali (con descrizioni di abitazioni distrutte o fortemente danneggiate).

La scossa causò fra le 20 e le 30 vittime, la maggior parte delle quali a San Venanzo, una delle località del comune di Castignano. Subito dopo il terremoto, il Genio civile iniziò il rilevamento dei danni, che durò pochi mesi e terminò agli inizi del 1944. L'accertamento dei danni riprese poi alla fine della guerra con indagini estese anche alle località dove non vi furono vittime

L'intensità che può essere attribuita a tale sisma è pari al IX grado (scala MCS) anche se attualmente non è possibile dichiarare con esattezza se per l'abitato di Castignano l'intensità possa essere stata VIII o IX.

Tra il 1997 e 1998, l'Appennino umbro-marchigiano è interessato da un serie di eventi sismici con un'ampia area di danneggiamento; due scosse di 5.8 e 6 Richter tra Umbria e Marche provocarono 11 morti e la distruzione di numerose frazioni del comune di Foligno ed altri centri. Ad Assisi crolla una vela della volta della Basilica superiore di San Francesco. La terra tremò a lungo, per più di un anno, iniziando nella primavera del 1997.

Nel 2004 si rilevò una scossa di terremoto nella provincia di Teramo (nei Comuni di Torano Nuovo, Sant'Omero, Sant'Egidio alla Vibrata e Nereto), percepita anche nel Piceno, da Ascoli a S.Benedetto, di magnitudo 4 Richter; la scossa fu avvertita dalla popolazione, ma non furono registrati danni, nè richieste di intervento o di soccorso.

Anche se non annoverata nell'archivio storico dei sismi di Castignano ricordiamo il terremoto che colpì la città dell'Aquila nel 2009. Il sisma, preceduto da diverse scosse con lievissimi danni nei giorni precedenti è stato registrato in tutta la sua violenza alle ore 3:32 della notte tra domenica 5 e lunedì 6 aprile. Infine annoveriamo i recentissimi sismi che hanno coinvolto il Centro Italia per il periodo che va da Agosto 2016 a Gennaio 2017; al momento il terremoto avvenuto il 30 ottobre 2016 è il più grave terremoto, per intensità e conseguenze, registrato nel XXI secolo in Italia. Lo stesso paese di Castignano ha riportato diversi danni ad abitazioni nel centro storico e anche in strutture nelle varie frazioni.

La correlazione tra un danneggiamento ed una amplificazione sismica locale non è sempre agevole, soprattutto perché incidono in maniera determinante la tipologia ed il grado di vulnerabilità di ogni singolo edificio con la possibilità di mascherare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale.

10 – BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1991) – Ambiente fisico delle Marche – Geologi – Geomorfologia – Idrogeologica. Carta Geologica delle Marche- Regione Marche - S.E.L.C.A. s.r.l. Firenze, 255 pp.
- AA. VV. (1998) – Rapporto conclusivo sulla valutazione degli effetti di amplificazione dinamica locale delle località campione più danneggiate dalla sequenza di terremoti dell'Umbria – Marche 1997 – 1998. CNR/GNDT IRRS, SSN, a cura di F. Pergalani e R. Romeo, p.p. 40.
- AA. VV. (1999) – La microzonazione sismica di Fabriano. CNR – GNDT – Regione Marche – SSN, a cura di A.Marcellini e P. Tiberi, p.p. 291.
- Albarello d., bosi v., bramerini f., lucantoni a., naso g., peruzza l., rebez a., sabetta f. & slejko d., 2000 – Carte di pericolosità sismica del territorio nazionale. Quaderni di Geofisica, 12, 1-7.
- Alfonsi I, Sagnotti I and Galadini f 1995 – Paleomagnetism of the Plio-Pleistocene continental sediments from the north-eastern edge of the Fucino basin (Central Italy). Istituto Nazionale di Geofisica, Roma, Italy.
- Amato A., Azzara R., Chiarabba C., Cimini G.B., Cocco M., Di Bona M., Margheriti L., Mazza S., Mele F., Selvaggi G., Basili A., Boschi E., Corboux F., Deschamps A., Gaffet S., Bittarelli G., Chiaraluce L., Piccinini D., Ripepe M. (1998) -The 1997 Umbria-Marche, Italy, earthquake sequence: a first look at the main shocks and aftershocks. Geophysical Res.Lett., 25, 15, 2861-2864.
- Ambrosetti P., Carraro F., Deiana G., Dramis F. (1982) – Il sollevamento dell'Italia centrale tra il Pleistocene inferiore e il Pleistocene medio. Contributi Conclusivi per la Realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, CNR-PFG pubbl., 513, 219–223.
- Ambrosi C. & Crosta G.B. (2006) - Large sackung along major tectonic features in the Central Italian Alps. Engineering Geology, 83, 183-200.
- Antonini G., Cardinali M., Guzzetti F., Reichenbach P., Sorrentino A. (1993) – Carta Inventario dei Fenomeni Franosi della Regione Marche ed Aree Limitrofe. GNDCI Publ. N. 580, 2 Fogli, Scala 1:100.000
- Aringoli D., Gentili B., Pambianchi G. & Sciarra N. (2002c) – Geomorphological analyses and modeling of complex mass movements in the Marches area (Central Italy). In: "Geomorphology: from Expert Opinion to Modelling". Cerg Editions - European Center on Geomorphological Hazards – Strasbourg, France, 77-84.
- Aringoli D, Gentili B, Materazzi M., Pambianchi G (in press - Mass movements in the Adriatic Central Italy: activation and evolutive control factors. In: FRANK COLUMBUS. Landslide Processes in Europe. HAUPPAUGE - NY: Nova Science Publishers.

- Baratta M. (1901) – I terremoti d'Italia. Forni Editore, Sala bolognese, 960 pp..
- _ Boschi E. & Cocco M. (Eds) (1997) - Studi preliminari sulla sequenza sismica dell'Appennino Umbro-Marchigiano del settembre-ottobre 1997. Istituto Nazionale di Geofisica, pubbl. No. 593.
- _ Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smriglio G. e Valensise G. (eds.), 1995. Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980. ING-SGA, Bologna.
- _ Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G. e Gasperini P. (eds.), 1997. Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990, 2. ING-SGA, Bologna.
- Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M.M. e Boschi E. (2008) – The Database of Individual Seismogenetic Sources DISS, version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology. Tectonophysics, in press.
- Calamita f. (1990) - *Thrusts and fold related structures in the Umbria-MarcheApennines (Central Italy)*. Annales tectonicae, 4, 83-177.
- Calamita F., Coltorti M., Pieruccini P. & Pizzi A. (1999) - Evoluzione strutturale e morfogenesi Plio-Quaternaria dell'Appennino Umbro-Marchigiano tra il Pedappennino Umbro e la costa Adriatica. Boll.Soc.Geol.It., 118, 125-139.
- Cello G., Mazzoli S., Tondi E., Turco E., 1997. Active tectonics in the central Apennines and possible implications for seismic hazard analysis in peninsular Italy Tectonophysics.
- Centamore & Deiana (Eds) (1986) - La Geologia delle Marche. Studi Geologici Camerti, Num. spec..46
- Centamore, e., Nisio, s., (2003). significative events in the periadriatic foredeeps evolution (abruzzo-italy). studi geol. camerti, numero speciale 2003, 39-48.
- Deiana G., Centamore E. (1986) – La geologia delle Marche. Carta Geologica delle Marche – Studi geologici Camerti, Dipartimento di Scienze della Terra Università di Camerino
- Dramis F. (1992) - Il ruolo dei sollevamenti tettonici a largo raggio nella genesi del rilievo appenninico. Studi Geologici Camerti, Vol. Spec., 1992/1, 9-15.
- Dramis F., Farabollini P., Gentili B. & Pambianchi G. (1995) – Neotectonics and large-scale gravitational phenomena in the Umbria-Marche Apennines, Italy. In: Slaymaker O. (Ed.) (1995), Steepland geomorphology. J. Wiley & Sons Ltd.
- D.M. 14 gennaio 2008 “Norme Tecniche per le costruzioni” e CIRCOLARE 02.02.2009.

- Gruppo di Lavoro CPTI, 1999. Catalogo Parametrico Dei Terremoti Italiani, ING, GNDT, SGA, SSN, Bologna, 92 pp. (<http://emidius.itim.mi.cnr.it/CPTI/home.html>).
- Gruppo di Lavoro MS (2008) – Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Prov. autonome, Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Cd-rom.
- Gruppo di Lavoro MS–AQ (2010) Microzonazione sismica per la ricostruzione dell'area aquilana. Regione Abruzzo – Dipartimento della Protezione Civile, L'Aquila, 3 vol. e Cd-rom.
- <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI-> a cura di A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi - 2011. CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna.
- <http://sgi1.isprambiente.it/GeoMapView/index.html>.
- Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards. The Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- Monachesi G. and Castelli V. (eds.), 1992. Sismicità dell'area aquilano-teramana dalla "analisi attraverso i cataloghi". Rapporto tecnico per la Regione Abruzzo, Osservatorio Geofisico Sperimentale, Macerata, 245 pp.
- Monachesi and Stucchi, 1997. DOM4.1, an intensity database of damaging earthquakes in the Italian area.
- Nakamura Y. (1989) – A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface. Quarterly Rept. RTRI, Japan 33, pp. 25-33.
- Postpischl D. (1985) - Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980. Quaderni della Ricerca Scientifica , 114, 2b, Bologna.
- Savage W.Z. & Swolfs H.S. (1986) - Tectonic and gravitational stress in long symmetric ridges and valleys. J Geophys Res 91, 3677–3685.
- Scandone P., Patacca E., Meletti C., Bellatalla M., Perilli N. e Santini U., 1990. Struttura geologica, evoluzione cinematica e schema sismotettonico della penisola italiana. Atti del Convegno Annuale del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, vol.1.