



**COMMISSARIO STRAORDINARIO
RICOSTRUZIONE SISMA - 2016**

AGGIORNAMENTO DELLO STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI
CASTELSANTANGELO SUL NERA (STUDIO DI APPROFONDIMENTO DELLE
INSTABILITA' DI VERSANTE - LOCALITA' GUALDO) AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL
COMMISSARIO STRAORDINARIO N. 79 REGISTRATA IL 12 AGOSTO 2019 AL N.1719

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Marche

Comune di Castelsantangelo sul Nera
Loc. Gualdo



CENTROMS

CENTRO PER LA
MICROZONAZIONE SISMICA
E LE SUE APPLICAZIONI

Soggetto realizzatore

Geol. Paolo Giacomelli

Data

Ottobre 2020

INDICE

1.0 INTRODUZIONE	PAG. 2
2.0 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	PAG. 4
2.1 Sismicità attuale	pag. 4
2.2 Sismicità storica	pag. 10
2.3 Definizione delle sorgenti sismogenetiche pertinenti	pag. 12
3.0 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	PAG. 16
3.1 Inquadramento geologico	pag. 16
3.2 Successione litostratigrafica	pag. 17
3.3 Assetto geologico-strutturale	pag. 21
3.4 Assetto geomorfologico	pag. 24
4.0 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	PAG. 26
4.1 Dati geotecnici	pag. 26
4.2 Dati geofisici	pag. 27
5.0 MODELLO DEL SOTTOSUOLO	PAG. 29
6.0 VERIFICA DI STABILITÀ	PAG. 29
7.0 ANALISI DI RSL E CALCOLO DI FA	PAG. 31
8.0 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	PAG. 45

ALLEGATI FUORI RELAZIONE

- Carta delle indagini (1:5.000)
- Carta Geologico Tecnica (1:5.000)
- Sezione Geologica (1:5.000)
- Carta delle frequenze naturali dei terreni (1:5.000)
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (1:5.000)
- Carta di Microzonazione Sismica FA 01-05 s (1:5.000)
- Carta di Microzonazione Sismica FA 04-08 s (1:5.000)
- Carta di Microzonazione Sismica FA 07-1.1 s (1:5.000)

1. INTRODUZIONE

In riferimento all'Ordinanza n. 79 del 12 agosto 2019 (registrata il 12 agosto 2019 al n° 1065) vengono assegnati ai vari comuni i finanziamenti per gli approfondimenti conoscitivi e studi prototipali in zone di attenzione per instabilità di versante, sismoindotte o in conseguenza di dissesti idrogeologici, individuate con gli studi di microzonazione sismica condotti ai sensi dell'Ordinanza n. 24 del 12 maggio 2017. Nell'ambito dell'aggiornamento dello studio di Microzonazione Sismica del Comune di Castel Sant'Angelo sul Nera (Studio di Approfondimento delle Instabilità di Versante Località Gualdo) e su incarico ricevuto direttamente dalla struttura commissariale che sostituisce nel caso specifico L'Amministrazione Comunale (ai sensi della Legge 241/1990 e ss.mm.ii e dalla L. n. 35/2012) è stato eseguito il presente elaborato, effettuato in ottemperanza agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica.

Lo studio di microzonazione sismica (MS) ha come obiettivo definire la pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di aree o porzioni di territorio caratterizzate da un comportamento sismico omogeneo. In particolare la MS individua e contraddistingue:

- **Zone stabili:** sono zone nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata) e pertanto gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- **Zone stabili suscettibili di amplificazione locali:** sono le zone in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio;
- **Zone di attenzione per instabilità:** sono le zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale).

La porzione del territorio comunale di Castel Sant'Angelo sul Nera studiata, è cartograficamente localizzata nelle C.T.R. della Regione Marche al Foglio n° 325 Visso, Sezioni 325100 Castel Sant'Angelo sul Nera e 325110 Vallinfante, in scala 1:10.000.

La superficie oggetto di studio, ha una estensione pari a 0,75 km².

Il presente studio, che costituisce la Relazione illustrativa finale, ha potuto contare su una base informativa geologica e geomorfologica relativa al progetto CARG Cartografia Geologica – Progetto N. 2 Zona Sud (*Deiana et al., 2002*) alla scala 1:10.000, inoltre si è provveduto ad un'ideale campagna di rilevamento geologico e geomorfologico, per una accurata verifica delle reali situazioni locali alla scala di dettaglio.

Sono quindi stati rispettati gli **Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica** (*Parte III, 3.4.2. Rilevamenti geologici, geomorfologici e litologico-tecnici. Istruzioni tecniche per*

l'esecuzione, l'acquisizione dati e la presentazione dei risultati delle indagini geologiche, geofisiche e geotecniche) che indicano che le carte geologiche, geomorfologiche e litologico-tecniche devono interessare un'area con un'estensione dipendente dalle diverse situazioni morfologiche e geologiche.

Sono stati realizzati i seguenti elaborati cartografici:

- **Carta delle Indagini**, dove sono state indicate le prove pregresse e quelle di nuova esecuzione; tutte le prove sono state classificate in base alla tipologia ed alla profondità raggiunta.
- **Carta geologico-tecnica**, predisposta sulla base dei rilievi geologici e geomorfologici disponibili e dai dati derivanti dai rilievi di controllo effettuati e corredata da sezioni geologiche interpretative.
- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)** sono indicate le diverse aree suscettibili di amplificazione sismica, dove si ritiene necessario effettuare ulteriori indagini ed analisi e i relativi livelli di approfondimento. Nella carta sono riportati anche i valori delle frequenze fondamentali dei depositi e del substrato geologico (HVSR, basate su registrazioni di rumore ambientale).
- **Carta delle frequenze fondamentali** dei terreni derivata da indagini sveditive di sismica passiva (HVSR sulle vibrazioni ambientali). In questa carta sono riportati tutti i punti di misura, con associato il risultato della prova (valore del picco significativo a più bassa frequenza corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale e di altri picchi significativi a più alta frequenza o indicazione dell'assenza di picchi).
- **Carta di microzonazione sismica** (Carta dei fattori di amplificazione) Valutazione approfondita della risposta sismica locale, in termini di amplificazione, laddove l'assetto geologico è assimilabile ad un modello fisico monodimensionale. L'amplificazione è stata quantificata in termini del parametro FA compreso negli intervalli di periodo tra $0,1s \div 0,5s$, $0,4s \div 0,8s$, $0,7s \div 1,1s$ eventualmente incrementato con i fattori di amplificazione per cause topografiche mediante analisi bidimensionale.
- **Relazione illustrativa** dove sono descritte in dettaglio le metodologie di studio utilizzate, i risultati ottenuti, le cartografie e le banche dati prodotte.

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 al seguente link:

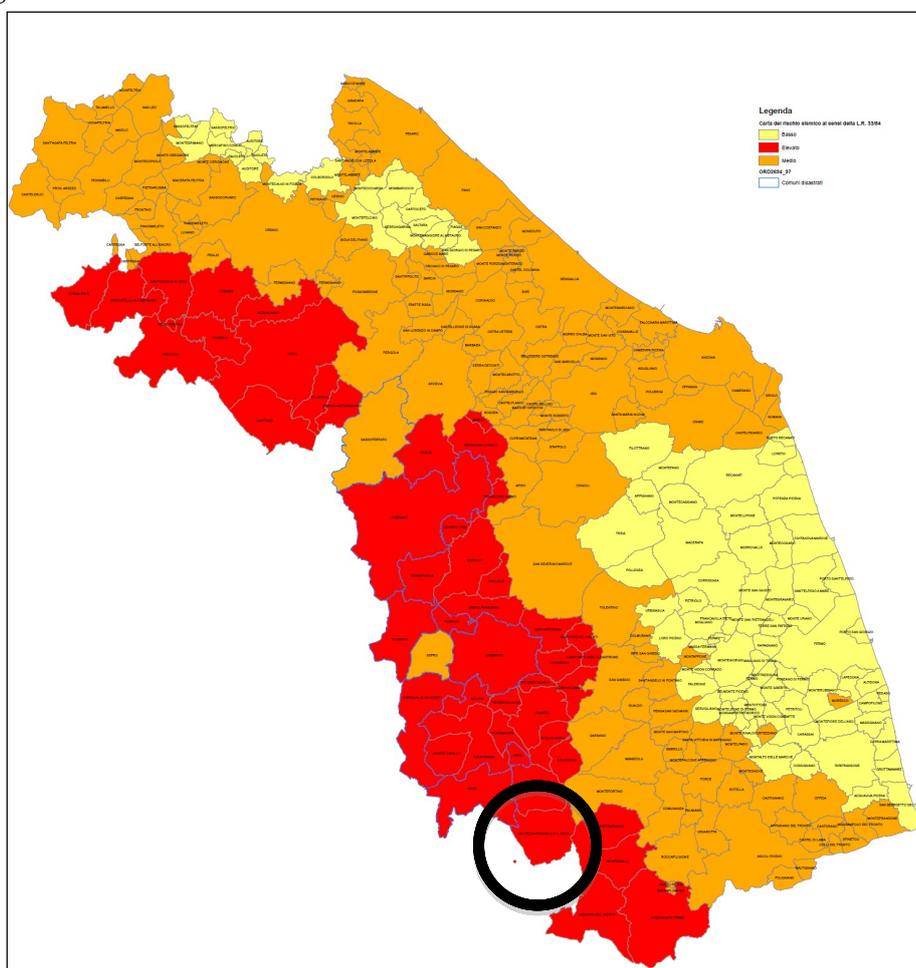
http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/StandardMS_4_0b.pdf

2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

2.1 Sismicità Attuale

La normativa sismica italiana, alla luce dell'avvicinarsi di molteplici terremoti, ha subito una sensibile evoluzione a partire dalla “vecchia” L. n. 64 del 2 febbraio 1974 commi 1° e 2° [Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche]. La Regione Marche, in attuazione delle leggi nazionali, ha prodotto nuove norme tendenti alla riduzione del rischio sismico L.R. 33/84 e con la Circolare 15/90 classifica e raggruppa i comuni marchigiani in tre livelli di rischio sismico: A Alto, B Medio e C Basso.

Il Comune di Castel Sant'Angelo sul Nera è inserito nella categoria di rischio Alto, come visibile nella *fig. 1*.



Con l'Ordinanza del P.C.M. n. 3274/2003 (pubblicata sulla G.U n. 108 dell'8 maggio 2003) si è avviato in Italia un processo per la stima della “Pericolosità Sismica” secondo dati, metodi, approcci aggiornati, condivisi e utilizzati a livello internazionale. Per la prima volta si è delineato un

percorso per il quale venivano definite le procedure da seguire, il tipo di prodotti da rilasciare e l'applicazione dei risultati. Un documento di tale tipo avrebbe infatti costituito la base per l'aggiornamento dell'assegnazione dei comuni alle zone sismiche. L'I.N.G.V. si è fatto promotore di una iniziativa scientifica che ha coinvolto anche esperti delle Università italiane e di altri centri di ricerca. Questa iniziativa ha portato alla realizzazione della Mappa di Pericolosità Sismica 2004 (MPS04) 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 pianeggiante.

Dopo l'approvazione da parte della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004, la mappa MPS04 è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'Ordinanza P.C.M. n. 3519/2006 (pubblicata sulla G.U. n. 105 dell'11 maggio 2006).

La legislazione nazionale prevede che l'aggiornamento delle zone sismiche spetti alle singole Regioni (e Province Autonome), sulla base di criteri definiti a scala nazionale. In seguito all'Ordinanza P.C.M. n. 3519/2006, le Regioni (e Province Autonome) che volessero aggiornare tale elenco devono basarsi sui valori di accelerazione proposti dalla mappa di pericolosità sismica MPS04 per individuare le soglie che definiscono il limite tra una zona sismica e un'altra.

Successivamente, nell'ambito del progetto INGV-DPC S1 (2005-2007), sono state rilasciate una serie di mappe di pericolosità sismica per diverse probabilità di eccedenza in 50 anni, basate sullo stesso impianto metodologico e sugli stessi dati di input di MPS04.

Sono state pertanto prodotte mappe per gli stessi periodi di ritorno anche in termini di accelerazioni spettrali.

Per ogni punto della griglia di calcolo (che ha una densità di 20 punti per grado, circa un punto ogni 5 km) sono oltre 2200 i parametri che ne descrivono la pericolosità sismica. Questa mole di dati ha reso possibile la definizione di norme tecniche nelle quali l'azione sismica di riferimento per la progettazione strutturale è valutata punto per punto e non più solo per 4 zone sismiche, cioè secondo solo 4 spettri di risposta elastica.

Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha emanato nuove Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC08) con il D.M. del 14 gennaio 2008 (G.U. n.29 del 04/02/2008) nelle quali la definizione dell'azione sismica di riferimento si basa sui dati rilasciati da I.N.G.V. e dal Progetto S1 (*fig.2*).



Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b)

espressa in termini di accelerazione massima del suolo
con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

referita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)

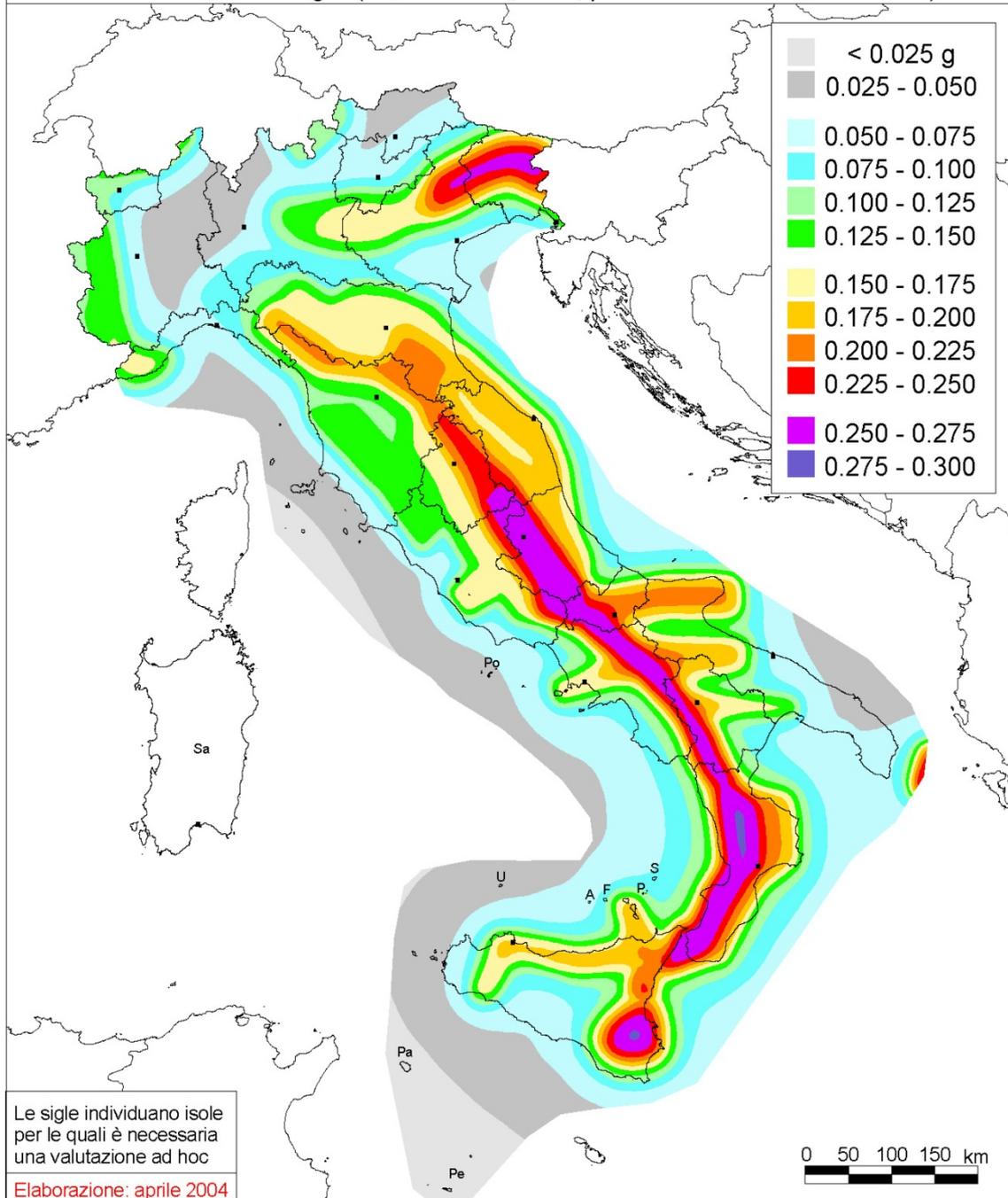


Fig.2 - Carta della pericolosità sismica del territorio nazionale.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14.01.2008 s.m.i., il territorio comunale di Castel Sant'Angelo sul Nera, ricade nella "simbolica" zona sismica **1** (fig.3), nella quale il valore di $A(g)$ accelerazione orizzontale al suolo espressa come frazione della accelerazione di gravità (g) risulta pari a:

ZONA	A(g) d'ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme tecniche)	A(g) con probabilità di superamento della soglia pari al 10% in 50 anni
1	0,35g	>0,25

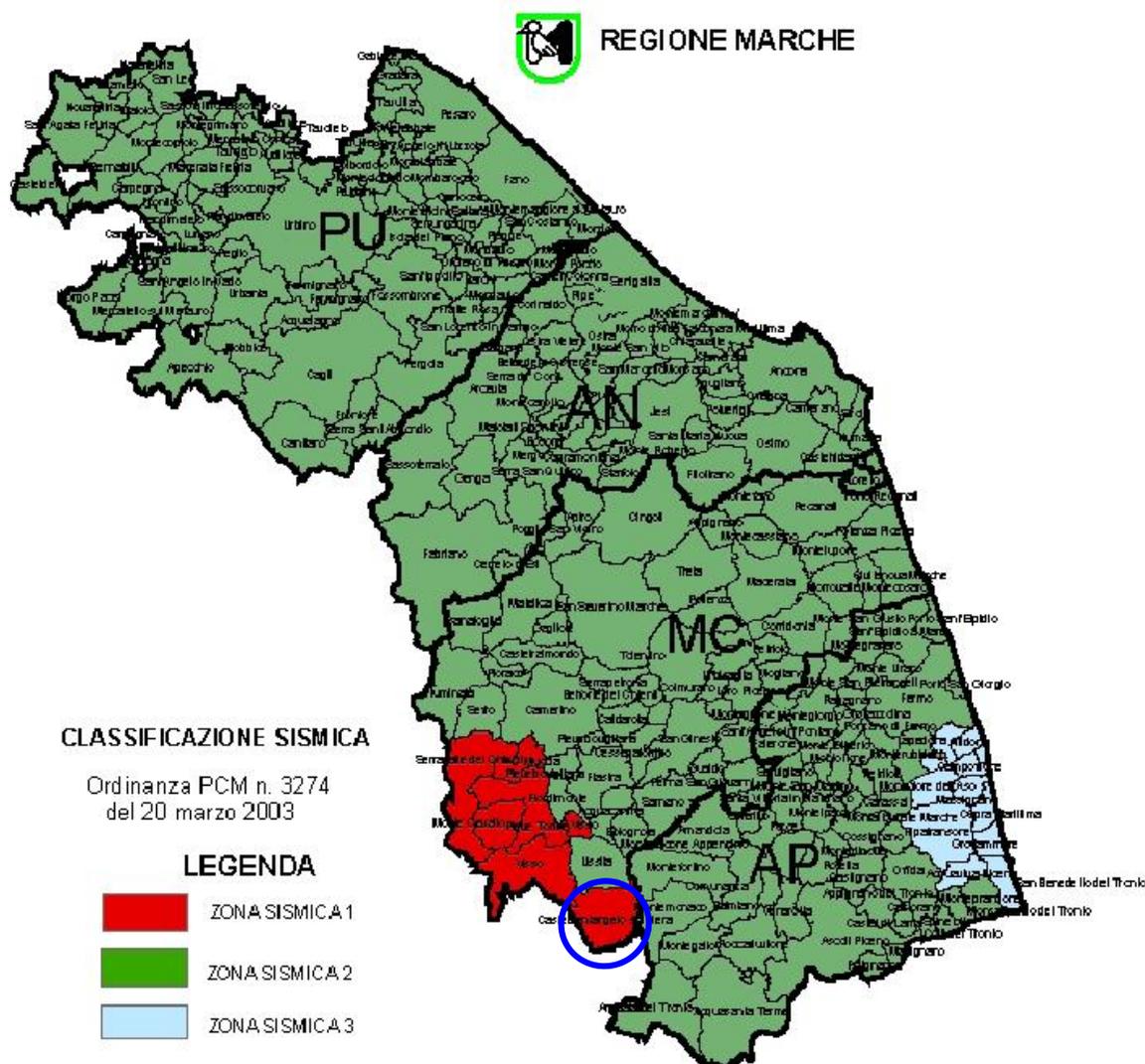


Fig.3- Classificazione sismica regione Marche in riferimento all'O.P.C.M. n.3274.

Nello specifico, tramite l'applicazione webgis, consultabile on line sul sito dell'I.N.G.V. all'indirizzo: <http://esse1-gis.mi.ingv.it>, è possibile in maniera interattiva esaminare le mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale. In particolare, come specificato, per la zona di **Castel Sant'Angelo sul Nera** si hanno dei valori di accelerazione del suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) di 0.350 a_g espressa come accelerazione di gravità.

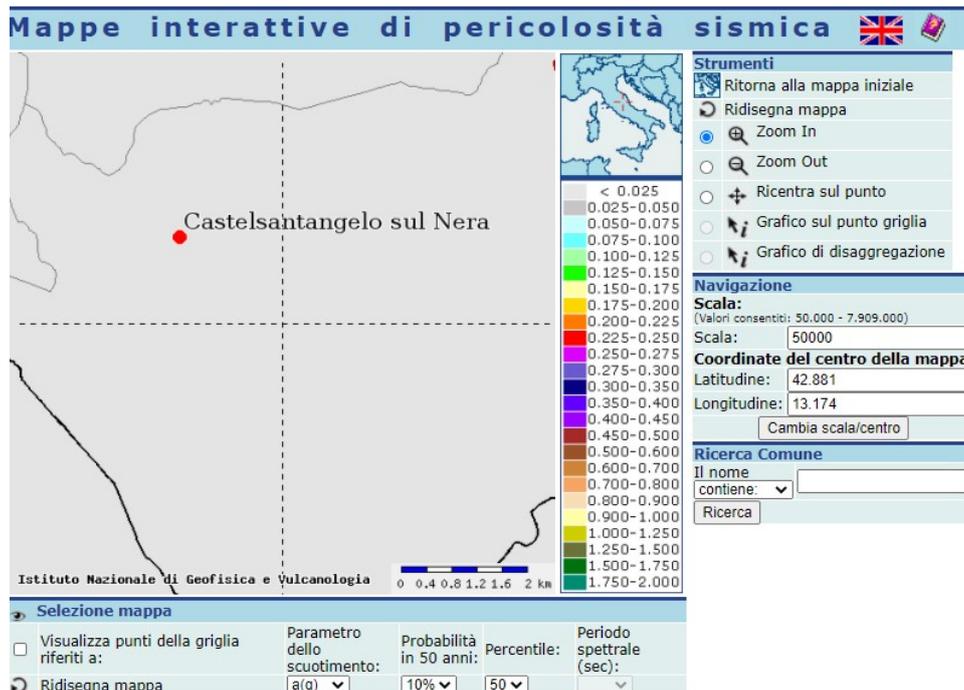


Fig.4 - Mappa interattiva di pericolosità sismica per la zona di Castel Sant'Angelo sul Nera, <http://esse1-gis.mi.ingv.it>

Ulteriori informazioni, disponibili sul sito dell'INGV sono i valori di disaggregazione di $a(g)$, si tratta di un grafico che fornisce indicazioni inerenti la magnitudo e la distanza rispetto alle faglie attive e capaci rispetto al punto selezionato. In tal modo sono desumibili i valori di magnitudo media e il raggio di azione medio di un terremoto dovuto al movimento delle faglie prossime alla zona, nel caso specifico, del Comune di Castel Sant'Angelo sul Nera.

La figura 5 e la tabella 1 riportano il contributo percentuale alla pericolosità per coppie di valori di magnitudo e distanza epicentrale.

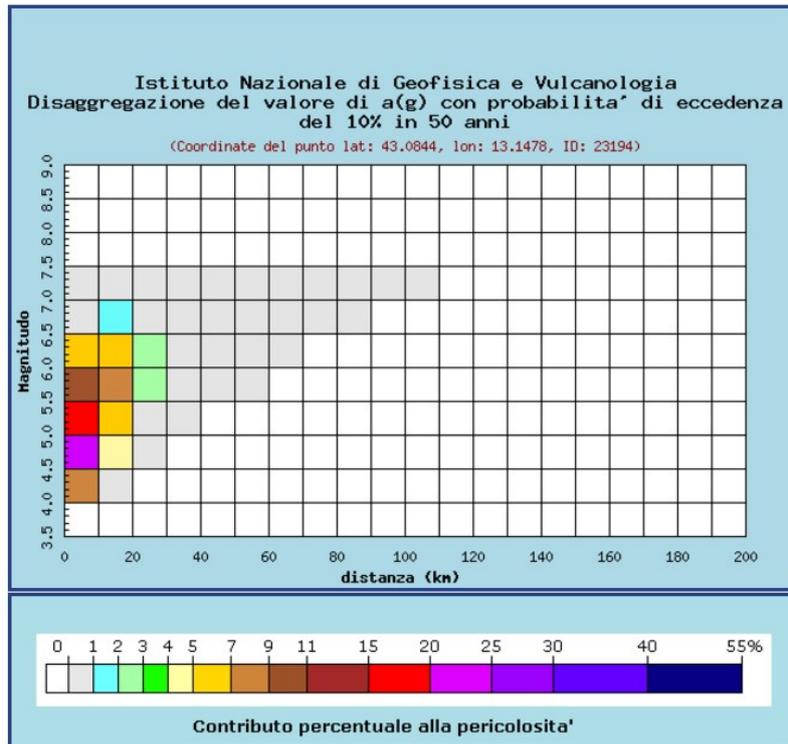


Fig. 5 - Grafico di disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni, in termini di distanza epicentrale e magnitudo.

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 43.0844, lon: 13.1478, ID: 23194)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	8.980	20.800	16.200	10.700	5.190	0.225	0.090	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.882	4.320	6.810	7.700	5.930	1.260	0.625	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.070	0.854	2.100	2.470	0.885	0.573	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.020	0.414	0.900	0.466	0.374	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.057	0.247	0.231	0.226	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.036	0.102	0.128	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.031	0.061	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.027	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.370	10.200	0.981

Tab. 1 - Dati tabellari di disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni, in termini di distanza epicentrale e magnitudo.

2.2 Sismicità storica

L'area del Comune di Castel Sant'Angelo sul Nera, nel suo passato storico è stata caratterizzata da precedenti eventi sismici, oltre che dallo sciame sismico iniziato il 24 agosto 2016. Riportati nel Catalogo dei Forti Terremoti Italiani (CFTI), Istituto di Geofisica e Vulcanologia (INGV), con area di riferimento Castel Sant'Angelo sul Nera (*Tab.2* e *Fig.6*) sono stati identificati i seguenti eventi ricavabili dal database dell'INGV scaricabile al seguente indirizzo:

http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/query_place

I dati sono rappresentati tabularmente e graficamente di seguito:

Numero di eventi: 7									
Effetti	In occasione del terremoto del:								
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
7	1799	07	28			CAMERINO	47	9-10	5.93
6-7	1832	01	13			FOLIGNO	27	8-9	5.80
5	1971	10	04	16	43	NORCIA	43	6-7	4.97
5-6	1979	09	19	21	35	Valnerina	691	8-9	5.90
NF	1987	07	03	10	21	PORTO SAN GIORGIO	359	7	5.18
4	1993	06	05	19	16	GUALDO TADINO	326	6	4.92
5-6	1998	03	26	16	26	APPENNINO UMBRO-MARCH.	408	6-7	5.33

Località vicine (entro 10km)			
Località	Stato	NMO	Distanza
Acquacanina (Piedicolle)	IT	5	2km
Bolognola	IT	6	7km
Fiordimonte (Valle e Castello)	IT	4	6km
Pieve Torina	IT	5	9km
Pievebovigliana	IT	6	7km

Tab. 2 - Sismicità storica del Comune di Castel Sant'Angelo sul Nera.

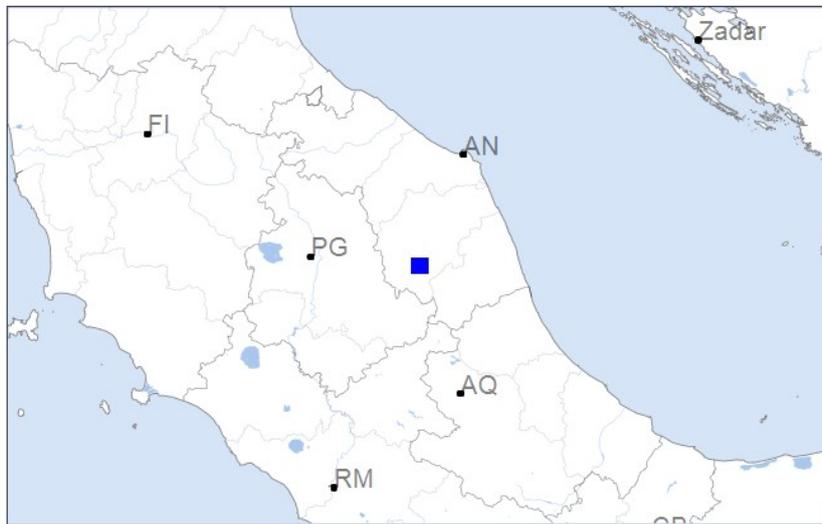
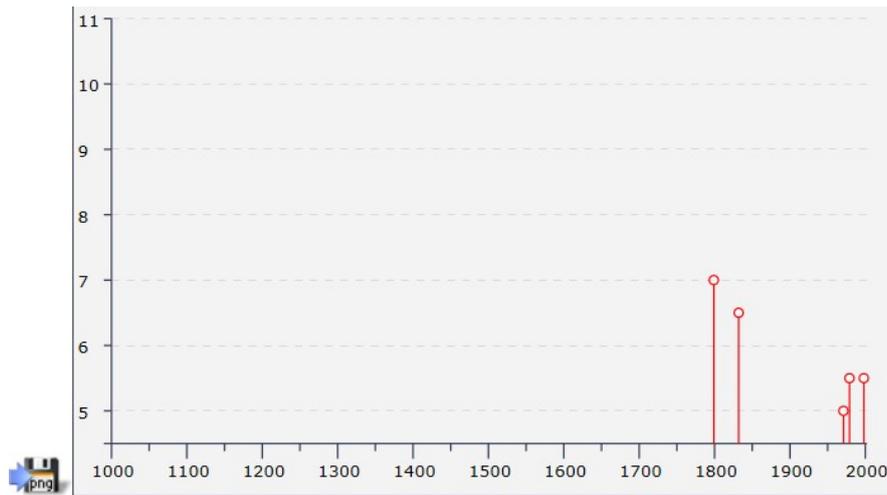


Fig. 6 - Grafico illustrante la storia sismica del Comune di Castel Sant'Angelo sul Nera dal 1000 al 2002. Sulle ascisse sono riportate le intensità sismiche (I_s) dei terremoti rilevati, mentre sulle ordinate sono riportati i riferimenti temporali espresso in anni, (<http://emidius.mi.ingv.it/DB>)

Come precedentemente accennato, si annovera la recente crisi sismica che 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.

L'analisi storica è stata infine riassunta nella carta delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani, riportata in *fig. 7*, redatta dalla sezione INGV di Milano.

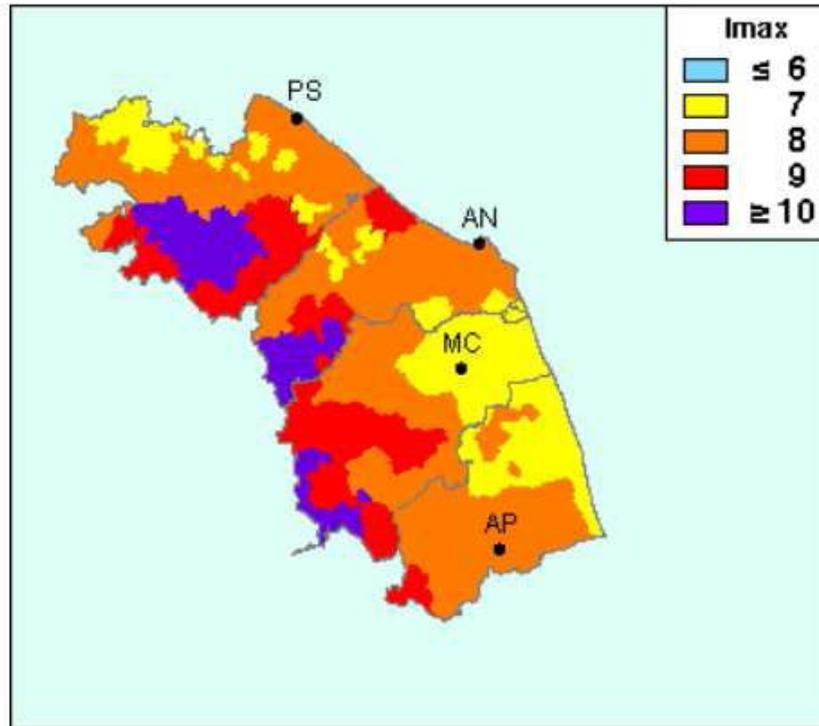


Fig.7 - Carta delle Massime Intensità Macrosismiche registrate nei Comuni delle Marche, (http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/M APPE_PROVINCE/13.html).

Dalle informazioni dedotte da numerosi studi condotti dal Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti- INGV sulla distribuzione delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani "*Individuazione delle zone ad elevato rischio sismico del territorio regionale*", si evince che il territorio sotteso al Comune di Castel Sant'Angelo sul Nera rientra tra le aree con intensità massima dell'VIII grado.

2.3 Definizione della sorgente sismo genetica pertinente

L'Istituto Nazionale di Geofisica e di Vulcanologia mette in rete, nell'ambito del Progetto DISS 3, 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 Castel Sant'Angelo sul Nera risulta compreso nella sorgente sismogenetica composita, classificata come ITIS055 Sarnano, relativa alla macroarea ITCS027 Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga (*fig.8 e tab.3-4*). Qui di seguito si espongono i dati ed i contenuti:

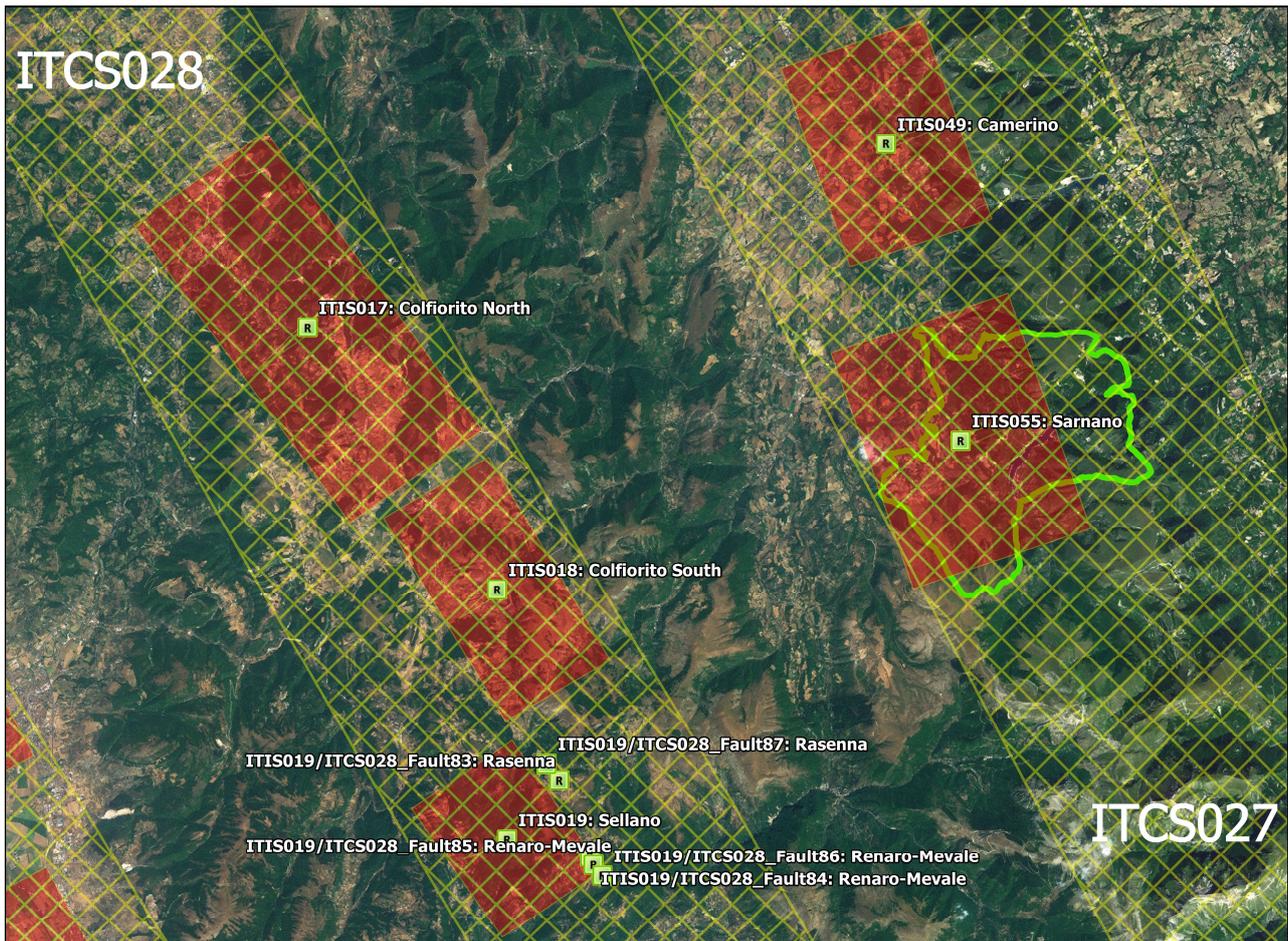


Fig.8 - Localizzazione del territorio comunale rispetto alla sorgente sismogenetica (in rosso) locale censite dal DISS 3.1.1.

DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITCS027 - Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga		
Source Info Summary	Commentary	
References	Pictures	
General information		
Code	ITCS027	
Name	Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga	
Compiled By	Burrato, P., and S. Mariano	
Latest Update	24/09/2007	
Parametric information		
	Parameter	
	Qual. Evidence	
Min Depth (km)	12	OD Based on structural geology and geodynamic constraints.
Max Depth (km)	22	OD Based on structural geology and geodynamic constraints.
Strike (deg)	90 - 160	OD Based on geological constraints and structural geology.
Dip (deg)	20 - 55	OD Based on geological constraints and structural geology.
Rake (deg)	70 - 110	EJ Inferred from geological data.
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 1	EJ Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude (Mw)	6.2	OD Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).
Q-keys:	LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement	

Tab. 3 - Caratteristiche della struttura sismogenetica ITCS 027 censite dal DISS 3.1.1.

General information

Code	ITIS055
Name	Sarnano
Compiled By	Mariano, S.
Latest Update	31/05/2005

Parametric information

	Parameter	Qual.	Evidence
Location (Lat/Lon)	43.0537 / 13.1399	OD	Based on macroseismic and geological data.
Length (km)	9.5	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Width (km)	7.5	OD	Based on geological data.
Min Depth (km)	14	OD	Based on structural geology.
Max Depth (km)	16.6	OD	Based on structural geology.
Strike (deg)	160	LD	Based on structural geology and geological data from various authors.
Dip (deg)	20	LD	Based on structural geology and geological data from various authors.
Rake (deg)	90	EJ	Inferred from geological data.
Slip Per Event (m)	0.5	ER	Calculated from Mo using the relationship from Hanks and Kanamori (1979).
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 1	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Recurrence (y)	500 - 5000	EJ	Inferred from slip rate and average displacement.
Magnitude (Mw)	6	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Q-keys:	LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement		

Associated earthquake

Latest Eq	12 Mar 1873	CPTI04.
Penultimate Eq	Unknown	See "Commentary" for information.
Elapsed Time	127	As of year 2000 (assigned datum).

Tab.4 - Caratteristiche della struttura sismogenetica ITIS055 censite dal DISS 3.1.1..

Inoltre si riporta di seguito le mappe derivanti da ITHACA - Catalogo delle faglie capaci (fig.9).



Fig.9 - Localizzazione del territorio comunale rispetto alle faglie attive e capaci del Catalogo ITHACA.

3. Assetto Geologico e Geomorfológico dell'area

3.1 Inquadramento Geologico Regionale

Il territorio comunale occupa un settore dell'Appennino Marchigiano s.s. (la cosiddetta "Ruga esterna") in particolare una porzione dei Monti Sibillini che nel suo insieme costituisce una catena orogenica a pieghe e sovrascorrimenti che trae origine da una fase tettonica compressiva Neogenica sviluppatasi in una copertura sedimentaria mesozoica di un basamento cristallino ercinico, per mezzo dell'interposizione di un orizzonte di scollamento principale costituito dalle evaporiti triassiche (Anidridi di Burano) (Pierantoni et al., 2005). L'orogenesi, infatti, ha coinvolto un multiplayer sedimentario a forte contrasto di competenza conferendogli un caratteristico trend arcuato a vergenza adriatica (Calamita et al., 1986). La successione sedimentaria affiorante in questo settore d'Appennino è rappresentata dalla tipica facies umbro-marchigiana, questa pressoché continua si è deposta su di un margine continentale africano in continua evoluzione dal Triassico sup. al Pleistocene.

La tettonica sin-sedimentaria ha condizionato in maniera determinante gli ambienti di sedimentazione e per questa ragione la suddetta successione presenta notevoli variazioni di facies e di spessori che ne riflettono l'evoluzione nello spazio e nel tempo. La sedimentazione essenzialmente calcarea caratterizza tutto l'intervallo Triass-Eocene, a partire dall'Oligocene

diviene di tipo prevalentemente terrigeno. Nel corso del Miocene il bacino Umbro- Marchigiano è raggiunto dall'orogenesi, che in rapida progressione da W verso E modifica continuamente la morfologia del fondale marino identificando il cosiddetto sistema geostrutturale catena-avanfossa-avampaese. Le pieghe e i sovrascorrimenti hanno una generale direzione appenninica (NW-SE). I settori assiali della catena sono interessati da faglie normali, transtensive e trascorrenti plio-quadernarie, a direzione NW-SE, NNW-SSE e N-S, che sono quindi più recenti delle strutture compressive.

Nella zona in esame i due corrugamenti che interessano la regione marchigiana si fondono verso sud per costituire un unico complesso orogenico bordato ad est da un'unica importante struttura di raccorciamento, il sovrascorrimento dei Monti Sibillini, quest'ultimo ampiamente studiato da numerosi autori che ne hanno evidenziato i caratteri geologico-strutturali d'insieme (*Calamita & Deiana, 1988; Calamita et al., 1987a; Deiana et al., 2003; Pierantoni et al., 2005, 2013*).

3.2 Successione Litostratigrafica

La serie litostratigrafica presente all'interno del territorio Comunale comprende i terreni tipici della Successione Umbro-Marchigiana. In generale, dal punto di vista cronostratigrafico, le unità cartografate si estendono dal Lias inf. (*Calcare Massiccio*) al Tortoniano (*Formazione di Camerino*). La successione stratigrafica (*fig.10*), qui di seguito descritta, partendo dalle formazioni cronostratigraficamente più antiche verso quelle più recenti, fa riferimento allo schema adottato dal progetto CARG che, essendo la più recente, risulta essere anche quella maggiormente in linea con i più recenti criteri di rilevamento e classificazione dei dati geologici.

SUCCESSIONE GIURASSICA

Calcare Massiccio (Hettangiano - Sinemuriano inferiore p.p.)

La formazione si presenta generalmente intensamente fratturata e carsificata. La stratificazione risulta netta con strati da medi a spessi. I litotipi fondamentali sono costituiti da biomicriti, biocruditi, biointraspariti, intraspariti, oospariti e lamine stromatolitiche. La formazione affiora al tetto dell'anticlinale di rampa associata al sovrascorrimento dei M.Sibillini, lungo il bordo occidentale dell'area indagata.

Gruppo del Bugarone

Questa unità è caratterizzata quasi per intero da litofacies calcaree nodulari e dalla costante presenza a tutti i livelli di faune ad Ammoniti. In essa sono stati distinti quattro membri, che per l'esiguità del loro spessore, non sono separatamente cartografabili, e che dal basso verso l'alto sono:

a) calcari stratificati grigi, b) calcari nodulari con marne verdi, c) calcari nodulari nocciola, d) calcari nodulari ad Aptici. L'unità affiora al tetto della formazione del Calcarea Massiccio.

Rossi Ammonitico (*Toarciano inf. p.p. - Toarciano sup. p.p.*)

È costituito da calcari marnosi alterati ad argille e marne argillose generalmente di colore rosso più raramente verde ed ocraceo alternati in banchi dello spessore di 20-30cm.. Verso l'alto si passa ad un calcarea tipicamente nodulare, di colore rossastro, in strati di 20-30cm. Le ammoniti sono scarse e mal conservate la microfauna è ricca di radiolari, spicole di spugna e rari foraminiferi arenacei.

Calcari a Posidonia (*Toarciano sup. p.p. - Bajociano inf.*)

L'unità è rappresentata da calcari micritici, calcari micritici marnosi talora nodulari, calcari micritici con fine detrito clastico e bioclastico in quantità variabile, in alternanza, soprattutto verso la base, con sottili livelli marnoso argillosi verdastri. Lo spessore degli strati calcarei varia da 5 cm a circa un metro, ed il colore varia dal grigio all'avana.

Calcari Diasprini (*Bajociano sup. - Titoniano inf.*)

Questa formazione si caratterizza per il suo alto contenuto in silice, essendo formata da micriti con selce verdastra in liste e noduli, micriti verdastre silicizzate, dall'aspetto granulare per l'alto contenuto in silice diffusa, selce policroma, con intercalazioni di calcareniti, di calciruditi e di calcari nodulari. La stratificazione è netta e sottile nelle litofacies più calcaree, con spessori variabili dai 5 ai 20 cm, mentre in quelle silicee è più irregolare, con rigonfiamenti e brusche terminazioni a lente; i depositi detritici si presentano in strati medi o spessi, a luoghi con geometria lenticolare. In generale si è osserva il prevalere delle selci nella porzione mediana dell'unità, mentre nella porzione inferiore ed in quella superiore sono più abbondanti i calcari. *Nella zona studiata affiora localmente, nella parte alta dell'abitato di Gualdo, questa formazione, con una litofacies più calcarea nella zona a monte e più marnosa nella zona a valle, formando una rottura morfologica evidente.*

SUCCESSIONE CALCAREA E/O MARNOSA CRETACICO-MIOCENICA

Maiolica (*Titoniano sup. p.p. - Aptiano inf. p.p.*)

Costituita quasi esclusivamente da calcari micritici biancastri, in strati medio-spessi dai 20 ai 70 cm. associati a liste e noduli di selce nera e con sottili intercalazioni pelitiche che ne segnano il passaggio con la sovrastante formazione delle Marne a Fucoidi.

Marne a Fucoidi (*Aptiano inf. p.p. - Albiano sup. p.p.*)

Le Marne a Fucoidi possono essere agevolmente suddivise in 2 membri: uno inferiore, prevalentemente argilloso - marnoso ed uno superiore calcareo - marnoso. Il membro inferiore risulta costituito da marne e marne argillose policromiche sottilmente stratificate con colori che oscillano tra il rosso ed il verde; si rinvencono saltuariamente livelletti micritici e noduli di selce. Il membro superiore è costituito da calcari-marnosi e marne calcaree in strati mediamente di 10 cm. di spessore, con tonalità che vanno dal bianco al verde oliva con sfumature rosee.

Scaglia bianca (*Albiano sup. p.p. - Turoniano inf. p.p.*)

Questa unità è formata da calcari micritici e calcari marnosi bianchi, a frattura concoide, in strati sottili e medi di circa 10cm di spessore, con selce nera; nella parte superiore quasi al passaggio con la sovrastante scaglia rosata, è presente il *livello-guida Bonarelli*, marker geologico regionale costituito da argilliti euxiniche nerastre.

Scaglia rossa (*Turoniano inf. p.p.- Luteziano p.p.*)

Essa è divisa in tre membri ed è costituita: alla base da calcari marnosi rosati, a luoghi con bande policrome, con selce rossa in liste e noduli (SGO1); nella parte intermedia (che presenta spessori maggiori) da marne e marne calcaree, a frattura concoide o scagliosa, di colore rosato o rosso mattone (SGO2); nella porzione sommitale (SGO3) da calcari e calcari marnosi rosati con selce rossa in liste e noduli.

Scaglia variegata (*Luteziano p.p. - Priaboniano p.p.*)

E' costituita da un'alternanza di calcari marnosi e marne policrome in strati medi e sottili, di colore variabile da rosa a verdino, ben stratificata, con spessori intorno ai 10 – 20 cm. A luoghi con lenti di selce nera. Verso l'alto, si registra un aumento del tenore pelitico al passaggio con la formazione della *Scaglia cinera*, la stratificazione si fa più incerta. **Scaglia cinerea** (*Priaboniano p.p. - Aquitaniano p.p.*)

Scaglia cinerea (*Priaboniano p.p. - Aquitaniano p.p.*)

La formazione è costituita da calcari marnosi, marne calcaree, marne e marne argillose. Nella parte inferiore della formazione prevalgono le litofacies più calcaree in strati sottili o medi, con una colorazione rossastra, mentre nella parte superiore, di colore grigioverastro, si osserva un progressivo aumento del contenuto marnoso argilloso.

Bisciaro (*Aquitano p.p. - Burdigaliano p.p.*)

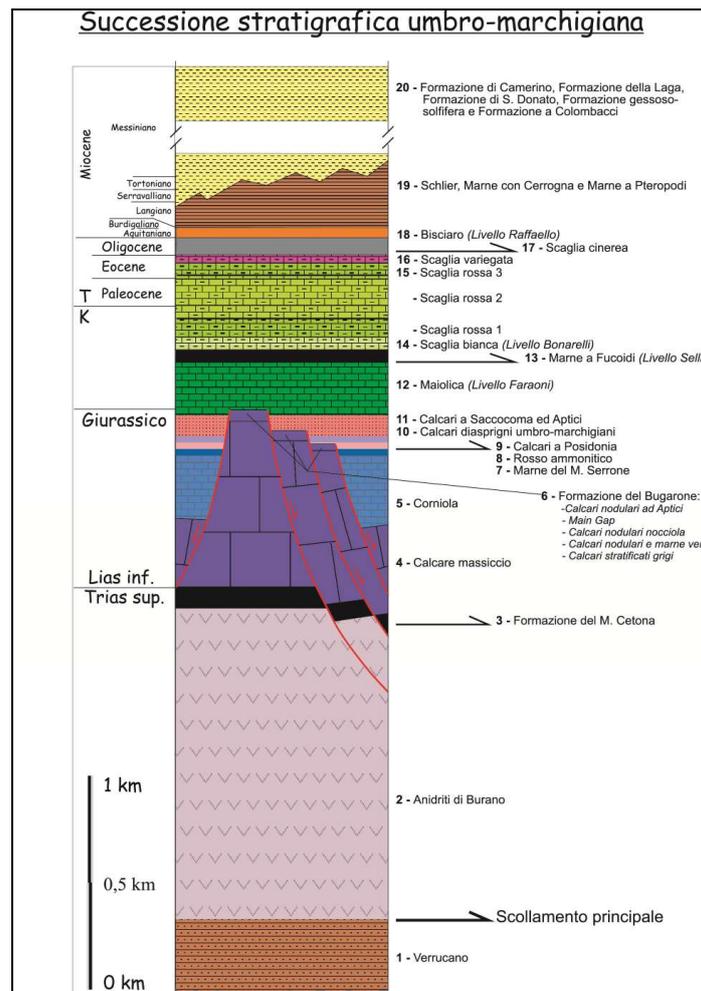


Fig.10- Schema dei rapporti stratigrafici della Successione Umbro-Marchigiana

DEPOSITI CONTINENTALI

Nel territorio comunale affiorano in modo disomogeneo depositi continentali rappresentati da materiale detritico di versante ed eluvio-colluviale, ma anche da diverse generazioni di depositi alluvionali (i quali con i primi talvolta si interdigitano) attribuibili alle fasi climatiche fredde del Quaternario.

Depositi eluvio-colluviali: nella porzione nord-occidentale sono rappresentati principalmente da depositi limoso-sabbiosi con frazione argillosa, privi di strutture sedimentarie, fortemente relazionate alla natura del substrato da cui traggono origine (affiorano in minima parte nella porzione nord dell'area, identificati nella Carta Geologico-Tecnica con la sigla GMfd);

Depositi detritici: costituiti da elementi rudistici calcarei e calcareo-marnosi, eterometrici, a spigoli vivi, con tessitura delle ghiaie medio-fini (prevalenti) fino ai massi (sub arrotondati) in matrice limosa, sabbioso-limosa e/o argillosa più o meno scarsa. (affiorano copiosamente nella quasi totalità dell'area in oggetto, identificati nella Carta Geologico-Tecnica con la sigla GMfd)

Depositi alluvionali: trattasi di materiale costituito da clasti parzialmente arrotondati, di natura prevalentemente calcarea, a granulometria variabile, prevalentemente ghiaiosi, eterometrici,

immersi in matrice limoso-sabbiosa con intercalazioni sabbioso-limose. Si riscontrano nelle zone di fondovalle.

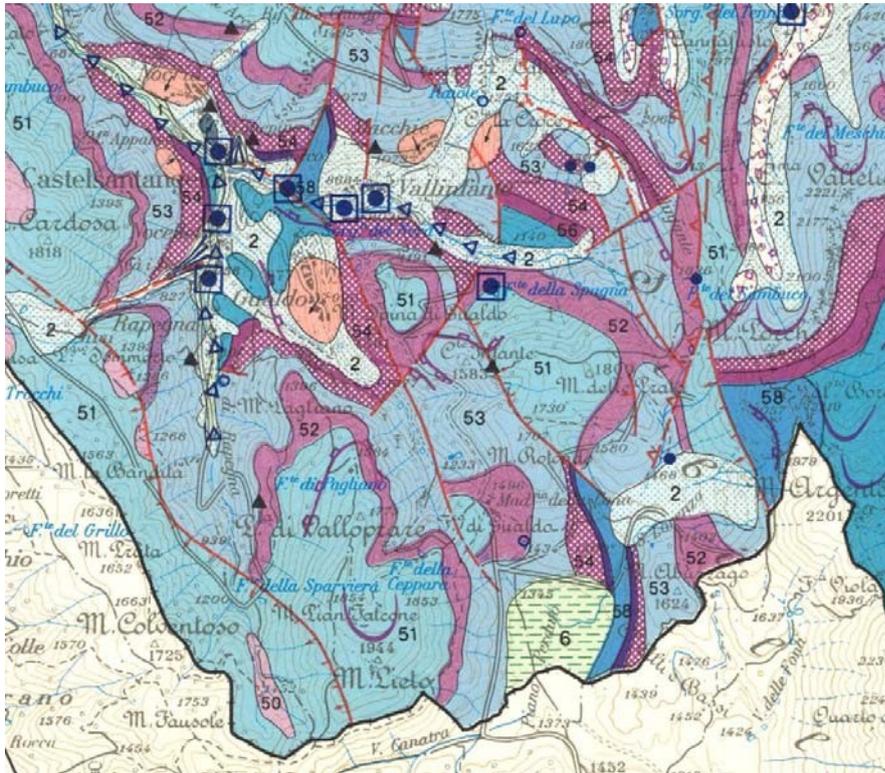


Figura 7: Stralcio, non in scala, della carta geologica della Regione Marche (1:100.000) comprendente il Territorio comunale di

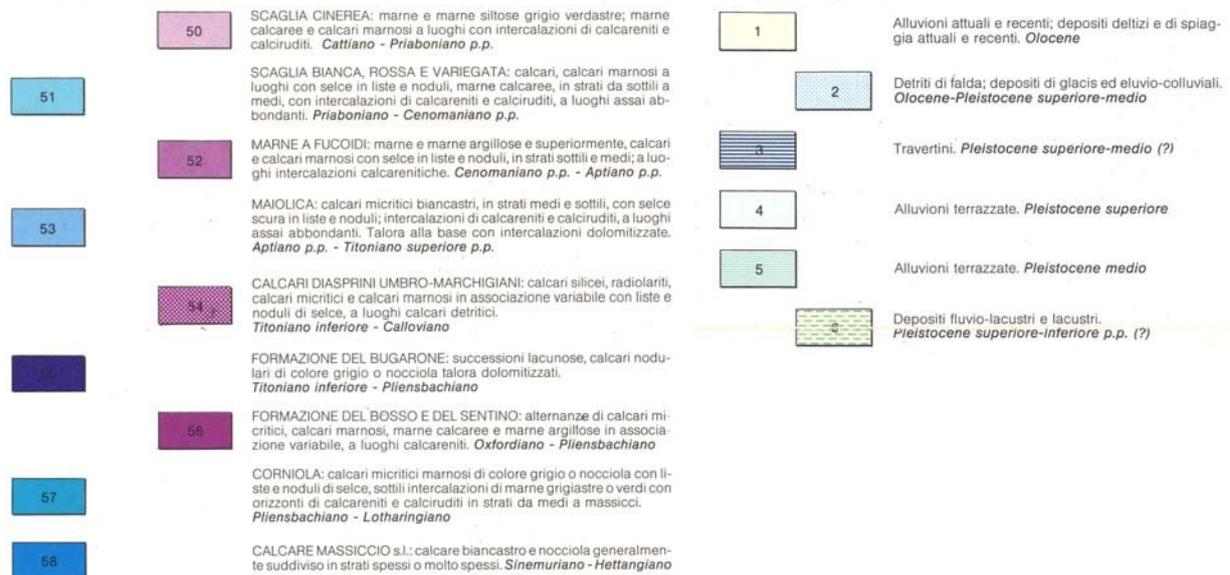


Fig 11 Stralcio, non in scala, della carta geologica della Regione Marche (1:100.000) comprendente il Territorio comunale di Castelsantangelo sul Nera.

3.3 Assetto Geologico-Strutturale

Sulla base di un'ampia letteratura scientifica che, nel corso degli anni, vari autori hanno trattato si è cercato di fornire un quadro esaustivo del generale assetto strutturale dell'area investigata.

In particolare la struttura di accavallamento frontale dei Sibillini, risulta caratterizzata dalle migliori esposizioni dovute alla maggiore elevazione strutturale della catena, che consente l'osservazione in profondità della struttura in più luoghi (Chiocchini et al, 1976; Lavecchia, 1979; Calamita et al, 1981;).

Come precedentemente affermato il principale elemento tettonico-strutturale è il sovrascorrimento dei M.ti Sibillini che ad andamento circa NW-SE interessa i settori orientali dell'areale di studio. L'unità di tetto è rappresentata da un'anticlinale di rampa (l'anticlinale di Monte Fiegni) la quale costituisce una piega rovesciata verso est che interessa la successione che va dal Calcare Massiccio (a contatto per faglia cieca con i calcari diasprigni) alla Scaglia rossa. Questa è sovrapposta alla successione di letto (rappresentata dalla parte superiore della Scaglia rossa, dalla Scaglia variegata e dalla Scaglia cinerea, costituenti il fianco occidentale dell'anticlinale di M. Bozzi) con l'interposizione di un elemento tettonico costituito da almeno due corpi, uno di Scaglia rossa e l'altro di Maiolica intensamente deformate, secondo un rigetto cumulativo stimato, su base litostratigrafica, che almeno in questo settore è pari a circa 3,5km. Il fianco occidentale, debolmente immergente verso ovest, è interessato da più segmenti di faglia normale tra cui alla più orientale viene attribuito un significato tettonico quale probabile riattivazione di un segmento di faglia giurassico ruotato e dislocato dal sovrascorrimento (Pierantoni et al.,2005). In generale, tali motivi tettonici presentano tassi di dislocazione tali da non inficiare una certa unitarietà del quadro geologico - strutturale d'insieme.

3.4 Assetto Geomorfologico

Il paesaggio e le forme che oggi possiamo osservare sono il frutto di modificazioni succedutesi prevalentemente nell'ultimo milione di anni e dovute all'interazione tra sollevamento tettonico e variazioni climatiche. L'evoluzione geomorfologica dell'area inizia a partire dal Miocene superiore dove, per effetto della tettonica compressiva, si hanno le prime emersioni con la formazione di dorsali allungate e separate da mari poco profondi nei quali si depositavano sedimenti terrigeni ed evaporitici. Di questo paesaggio attualmente non rimane nulla in quanto modificato da importanti eventi successivi.

Gli aspetti geomorfologici, estremamente vari, sono legati, oltre all'energia di rilievo, alle caratteristiche litostrutturali dei terreni e alla loro storia evolutiva. Le varie formazioni geologiche, tutte di tipo sedimentario, e di un'età compresa tra il Triass sup e l'attuale; comprendono terreni calcarei, calcareo-marnosi e complessi detritici. Tali elementi si fondono tra loro, modellando alti morfologico-strutturali e linee vallive anche estremamente incise.

La morfologia dei principali rilievi, quali M.te della Prata (1801 m s.l.m.) - M.te Rotondo (1709 m s.l.m.), è caratterizzata da superfici sommitali tondeggianti e versanti acclivi su cui si impostano rivoli d'acqua a regime temporaneo e torrentizio in fase erosiva. I versanti della dorsale calcarea umbro-marchigiana si presentano in genere abbastanza stabili anche se si possono rinvenire delle aree interessate da movimenti gravitativi che mobilitano in genere le coltri alterate.

Nel settore centrale, le differenti caratteristiche geomeccaniche dei diversi litotipi affioranti fa sì che quelli più competenti e resistenti emergano nel paesaggio in generale. Viceversa, le litologie più sensibili all'azione degli agenti esogeni, danno luogo alla formazione di estese coltri detritiche e colluviali, che spesso manifestano una marcata propensione al dissesto idrogeologico, non di rado di hanno fenomeni di erosione diffusa linearmente e moti gravitativi rotazionali e traslazionali più lenti. In generale l'azione meccanica delle acque risulta prevalentemente energica e più sensibile nel periodo primaverile ed autunnale quando lo scorrimento idrico superficiale viene incrementato da precipitazioni continue.

Le unità morfologiche fondamentali sono costituite pertanto da dorsali, rilievi e vallecole minori incise da un reticolo idrografico ben gerarchizzato, da superfici sommitali sub-pianeggianti o debolmente acclivi e da versanti blandamente acclivi a diversa pendenza che raccordano le sommità dei rilievi con i locali fondovalle.

Il principale elemento morfologico spettante il territorio è il F. Nera che costituisce il principale collettore drenante dell'area; il corso d'acqua scorre in una stretta valle a V a partire dalla testata

dell'omonima valle. Verso ovest, il fiume scorre incastonato in una stretta gola calcarea, dove in più punti, sui ripidi versanti, si rinvencono concrezioni travertinose di neoformazione la cui genesi è legata a piccole emergenze di contatto per la presenza di livelletti argillosi nei calcari anche se è ben evidente un controllo primario esercitato dall'assetto strutturale.

L'analisi del reticolo idrografico secondario mostra come l'impostazione dello stesso risulti fortemente condizionato dall'andamento dei principali lineamenti tettonici orientati secondo direttrici appenniniche e antiappenniniche.

Complessivamente l'area presenta forme eterogenee con crinali e dorsali minor separati da impluvi e vallecole più o meno ampie che dalla sommità de versante, degradano verso i fondovalle dei corsi d'acqua principali. I versanti si presentano generalmente per mezzo di geometrie convesse, separati da impluvi a morfologia concava dove si ha un maggiore accumulo di depositi colluviali spesso interessati da diffusi fenomeni di dissesto.

CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA DELL'ABITATO DI GUALDO

L'area d'indagine (Gualdo), era stata perimetrata sulla base di una cartografia IFFI.

Dal punto di vista delle caratteristiche geomorfologiche dell'area studiata, si è proceduto ad effettuare un rilievo geomorfologico di dettaglio, confrontandolo con l'esame delle foto aeree dal 1978 al 2018 e con le indagini reperite (sondaggi meccanici, dpsh ed hvsr).

L'aspetto morfologico principale è rappresentato dall'accumulo di un vasto movimento franoso che ha interessato una porzione del versante occidentale del Monte Spina di Gualdo. Questo, avvenuto in tempi remoti (identificabile come paleofrana), non ha mostrato fenomeni di riattivazione recenti, come testimoniato dall'assenza di lesioni, provocate da tali movimenti, nei numerosi edifici che costituiscono il centro abitato e che risalgono, talora, ad alcune centinaia d'anni.

Da un'attenta analisi geomorfologica emerge una sostanziale stabilità dell'area investigata.

La maggior parte delle forme osservabili e che caratterizzano l'area sono il prodotto del lungo presidio antropico e, tra le più importanti, risultano quelle create in maggior misura negli ultimi periodi attraverso la pratica agricola, l'edilizia, o la realizzazione di strade.

Relativamente alle forme naturali, che tuttavia presentano caratteristiche di senescenza e inattività, si evidenziano alcune di quelle che caratterizzano gli accumuli di frana e cioè resti della corona ed alternanze di piccoli ripiani e scarpate

PROGRAMMA DI INDAGINI

Dall'analisi complessiva del quadro emerso, si decideva di concentrare l'indagine integrativa nella porzione centro meridionale della frazione di Gualdo, poiché la zona centrale e settentrionale non evidenziava particolari zone di attenzione, sia dal punto di vista dei danni alle strutture causati

dal sisma che alle litologie presenti e non rilevando altresì indizi di movimenti gravitativi superficiali e/o profondi.

Nelle aree meridionali si rilevava invece la presenza di una più spessa coltre detritica, con la scarsità di indagini e/o prove in sito pregresse reperibili

Le indagini pertanto si sono concentrate, in seguito all'acquisizione del materiale bibliografico, in accordo con i tecnici Ispra, nella porzione meridionale dell'abitato.

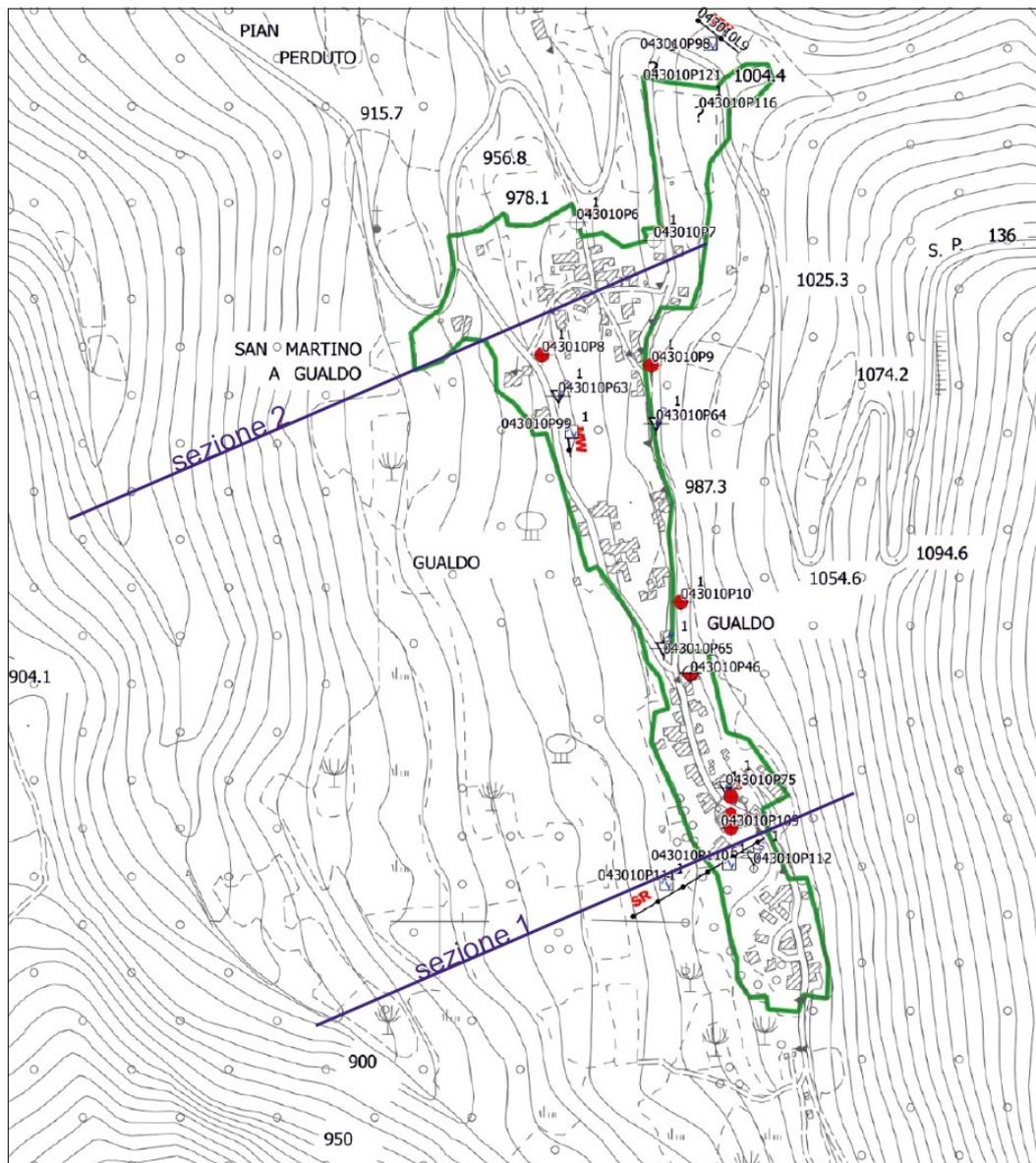


Fig 12 Carta con ubicazione indagini

E' stato quindi eseguito un ulteriore sondaggio a carotaggio continuo in data 03/02/2020, ed una prova DPHS in data 08/02/2020, nella zona sud della frazione, dove erano carenti i dati litologici e geotecnici pregressi, di cui si allega stratigrafia

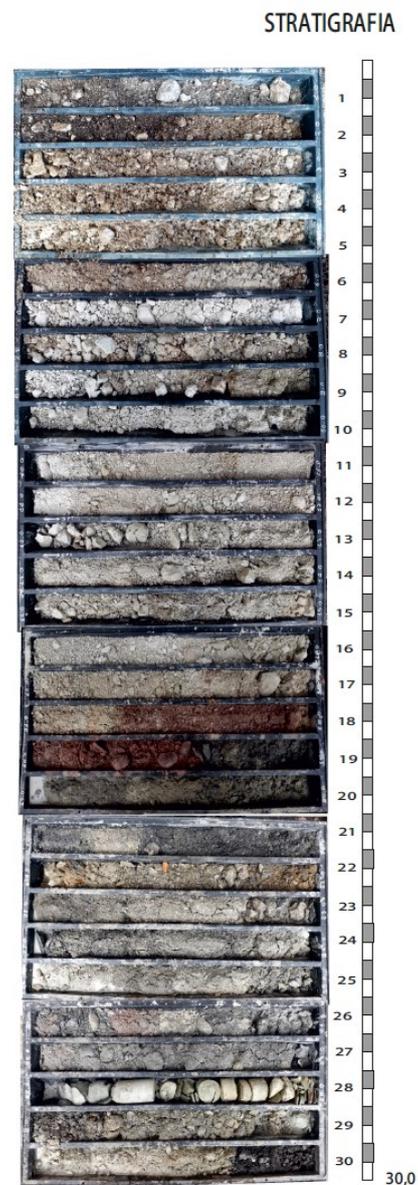
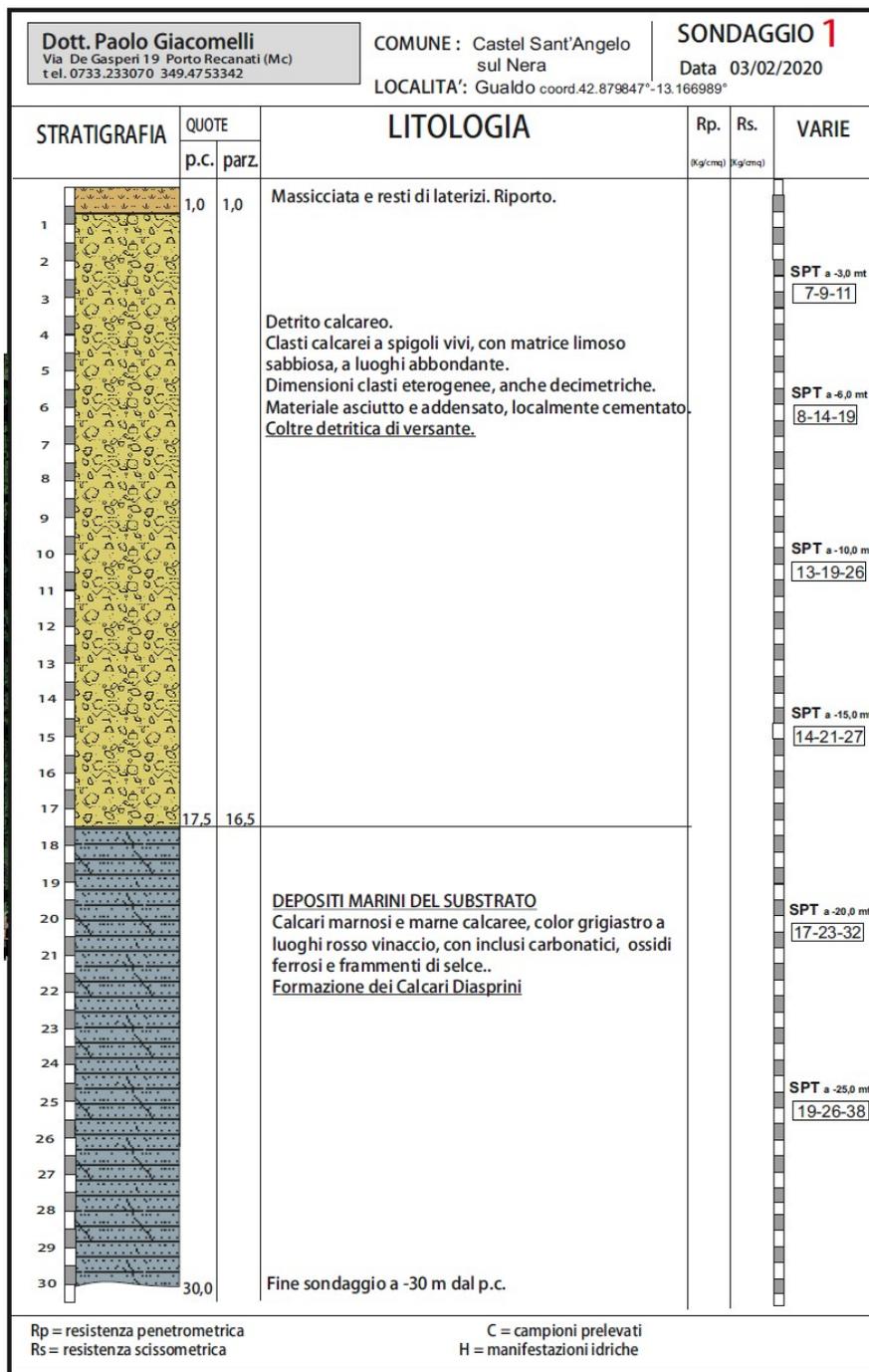


Fig 13. Stratigrafia sondaggio a carotaggio continuo effettuato data 3/02/2020

4. Dati Geotecnici e Geofisici

4.1 Dati Geotecnici

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area studiata (*Gualdo*) sono state raccolte ed archiviate indagini eseguite sia da privati che dalle pubbliche amministrazioni ed eseguite ex novo.

Nel complesso, pertanto, le indagini sono risultate soddisfacenti ed esaustive.

L'ubicazione planimetrica delle indagini, sia reperite che realizzate ex-novo, è riportata nella Carta delle Indagini.

Dati Acquisiti

Di seguito vengono dettagliate le indagini geologico/geotecniche utilizzate per il presente studio:

- n. 1 Sondaggio a carotaggio continuo con prove DPHS in foro fino alla profondità di 30 mt all'interno del substrato;
- n. 1 Prova penetrometrica dinamica pesante (DPH 5050).

Dati pregressi

Nello specifico, di seguito vengono dettagliate le indagini geologico/geotecniche utilizzate per lo studio di I livello:

Sondaggi a carotaggio continuo che intercettano il substrato (SS): 2;

Prova penetrometrica dinamica super pesante (DPSH): 5;

Per la caratterizzazione geotecnica si è fatto riferimento alle prove penetrometriche Pesanti e Super Pesanti.

Nel seguito si riportano i principali parametri geotecnici.

VALORI GEOTECNICI COPERTURE				
	γ	γ_{sat}	ϕ'	c'
	g/cm ³	g/cm ³	gradi	kg/cm ²
GMfd	1,9	1,95	30	0
VALORI GEOTECNICI SUBSTRATO				
	γ	γ_{sat}	ϕ'	c'
	g/cm ³	g/cm ³	gradi	kg/cm ²
ALS	2,3	2,3	38	0,2

4.2 DATI GEOFISICI

Dal punto di vista geofisico le prove catalogate, sono sia reperite che eseguite ex-novo.

Dati pregressi

Nello specifico, di seguito vengono dettagliate le indagini geofisiche utilizzate per lo studio di I livello:

Tracce sismiche passive HVSR: 4;

Tracce sismiche attive Masw: 2.

4.2.1 Dati acquisiti

Per gli studi di Approfondimento della MS livello III è stata predisposta una nuova campagna di indagini geofisica mediante la quale si è provveduto alla realizzazione ex-novo di:

- Tracce sismiche attive a Rifrazione: 1
 - Tracce sismiche attive Masw: 1.

4.3 SISMICA A RIFRAZIONE - METODOLOGIA

Nello specifico, L'indagine mediante sismica a rifrazione, mirata a ricostruire il modello sismo stratigrafico del sottosuolo, si basa sul principio della rifrazione delle onde elastiche longitudinali P o di compressione, generate da una qualsiasi sorgente. Nel momento in cui un'onda sismica incontra una superficie di separazione tra due corpi con differenti proprietà elastiche, la sua energia è parzialmente riflessa e parzialmente rifratta nel secondo mezzo. In sintesi tale metodologia è basata sulla misurazione dei tempi di arrivo delle onde P che sono registrati da appositi sensori (geofoni) posti a distanze note sulla superficie del suolo..

La prospezione è stata realizzata con un SISMOGRAFO PASI GEA a 24 canali ad accumulabilità di impulsi, con la registrazione dei sismogrammi in forma digitale ed utilizzando geofoni da 10.0 Hz a componente orizzontale. L'istante di tempo zero, cioè il segnale di inizio registrazione, è stato inviato allo strumento dal geofono starter posto in prossimità di dove avveniva l'energizzazione.

Per l'indagine è stata realizzata una traccia rettilinea da 24 Geofoni posizionati come segue:

- Geofoni disposti a 6.5 m di distanza l'uno dall'altro, per una lunghezza complessiva di 150 m.

Le energizzazioni verticali sono state fatte una ogni 3 geofoni ove le condizioni del terreno lo permettevano. Vedere immagine sotto, in cui sono visualizzati anche che i raggi sismici i quali coprono sufficientemente il volume indagato:

- Le battute 1 e 10 sono posizionate rispettivamente a 3 metri da G1 e 3 metri da G24.
- La battuta 11 è posta a 13 metri da G24.

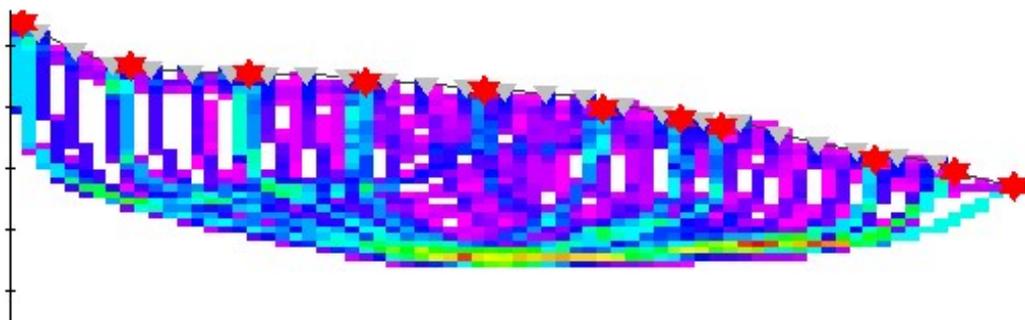


Fig 15 graficizzazione delle onde P elaborate dalla prova sismica a Rifrazione

4.3.1 INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI – sismografia onde P

I principali sismostrati individuati lungo il profilo G1 – G24 e graficamente rappresentati negli allegati, sono i seguenti:

SISMOSTRATO 1 - questa unità è caratterizzata da velocità V_p comprese tra 300 e 450 m/s. Trattasi di detrito superficiale con proprietà meccaniche scadenti. Dall'analisi delle onde di superficie, la V_s stimata è compresa tra 150 – 250 m/s.

SISMOSTRATO 2 - questa unità è caratterizzata da velocità V_p comprese tra 600 e 1000 m/s. Detrito più competente. Dall'analisi delle onde di superficie, la V_s stimata è compresa tra 340 – 450 m/s.

SISMOSTRATO 3 – Tale sismostrato presenta V_s comprese tra 1800 e 2200 m/s, probabile formazione marnoso calcarea probabilmente fratturata o alterata. Dall'analisi delle onde di superficie, la V_s stimata è compresa tra 500 e 650 m/s.

Quest'ultimo sismostrato presenta una lieve diminuzione delle V_p e V_s andando verso valle.

La sezione sismica trova riscontro dal sondaggio effettuato a monte, dai risultati della prova penetrometrica d_{psh} e dai due modelli ricavati dall'analisi delle onde di superficie delle due battute esterne.

Per i tabulati ed il report della prova a rifrazione si rimanda all'allegato (*ditta Geosondaggi, febbraio 2020*).

Riguardo ai dati geofisici rilevati per le unità geosismicamente distinte, si possono sintetizzare nella seguente tabella:

VALORI SISMICI V_s COPERTURE			
	V_s range	V_s media	
	m/sec	m/sec	
GMfd	340/450	400	

GMfd Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
Falda detritica

VALORI SISMICI V_s SUBSTRATO			
	V_s range	V_s media	
	m/sec	m/sec	
ALS	650/800	700	

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Le conoscenze stratigrafiche locali, derivate da una idonea campagna di rilevamento geologico e 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 per la zona indagata.

Zone stabili suscettibili di amplificazione:

ZONA 4



Il substrato geologico affiorante nell'area di studio è costituito dalla Formazione dei Calcari Diasprini Umbro-Marchigiani (CDU1 cartografia CARG)) che risulta, sia dalle indagini disponibili nonché dalle numerose osservazioni in affioramento, alterato e fratturato nella porzione superficiale, per spessori variabili da circa 30 m a 100 m (SFALS-SCC). Le aree caratterizzate dall'affioramento del substrato geologico sono contraddistinte dal modello stratigrafico riportato a lato (MOPS 2004).

ZONA 3



Per quanto concerne i terreni di copertura, questi sono costituiti da depositi continentali quaternari, che obliterano il *bedrock* geologico. Nello specifico essi sono rappresentati da materiale detritico prevalentemente calcareo, a geometria lenticolare, che insistono lungo il versante per una potenza variabile (dedotta dalle indagini disponibili) da pochi metri nei settori marginali ad un massimo di circa 20 m (17 m nel sondaggio effettuato) e maggiori nella porzione bassa del versante, al di fuori dell'area in studio. Le aree caratterizzate dall'affioramento dei terreni di copertura che insistono al di sopra del substrato geologico sono contraddistinte dai modelli stratigrafici riportati a lato, differenziati sulla base degli spessori (MOPS 2003).

6. VERIFICA DI STABILITÀ

Le verifiche eseguite sono state effettuate in ottemperanza alle NTC 2018 e nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico e non applicando i coefficienti parziali.

Le due sezioni scelte sono state indicate con la sigla 1-1' e 2-2' nella cartografia allegata e rappresentano le più critiche e rappresentative della situazione locale, individuate attraverso il

rilevamento geologico/geomorfologico di dettaglio ed attraverso le indagini geotecniche/sismiche reperite e realizzate ex-novo.

I parametri geotecnici utilizzati provengono dai dati delle prove penetrometriche reperite ed eseguite, da cui sono stati calcolati i valori geotecnici medi (F_m).

Relativamente alle ipotesi dell'andamento della falda, proprio perché essa non è stata rilevata in fase di sondaggio e comunque in assenza di strumentazione utile alla rilevazione dell'andamento della stessa nel tempo, nel pieno rispetto delle disposizioni normative vigenti (NTC 2018 con specifico riferimento al punto 6.3.4 che recita “*quando sussistano condizioni tali da non consentire una agevole valutazione delle pressioni interstiziali, le verifiche di sicurezza devono essere eseguite assumendo le condizioni più sfavorevoli che ragionevolmente si possono prevedere*”) in tal senso quindi si è ritenuto quanto meno opportuno ipotizzare la falda prossima al piano di campagna. Ipotesi ritenuta ragionevole considerato lo spessore del manto nevoso che nei periodi più critici dell'anno può determinare seppure temporaneamente pseudo falde evidentemente moto superficiali.

Relativamente all'andamento del tetto del substrato e di conseguenza alla variabilità degli spessori della coltre di copertura, posta l'impossibilità di verificare direttamente lungo la sezione attraverso misure dirette, si è fatto riferimento ad una ragionevole ricostruzione basata su analisi di spessori tipo mediamente valutabili nell'ambito di alcune di sezioni di scavo visibili nel medesimo ambito territoriale montano. In tal senso si sottolinea la recente realizzazione di riprofilatura di parti di pendio e nuove sezioni di sbancamento effettuate nell'ambito dei lavori di miglioramento e messa in sicurezza della viabilità della strada a servizio delle zone sovrastanti.

Le analisi sono state effettuate: con il metodo MORGENSTERN-PRICE.

Superficie 1-1' - *Verifica globale*, con Falda al p.c. Le verifiche eseguite danno valori di F_s minimo sempre maggiori di 1.25. Il valore più basso si ha nella superficie n.2 con fattore di sicurezza = 1,33.

Superficie 2-2' - *Verifica globale*, con Falda al p.c. Le verifiche eseguite danno valori di F_s minimo sempre maggiori di 1.15. Il valore più basso si ha nella superficie n.1 con fattore di sicurezza = 1,15.

Le verifiche sono state effettuate anche con metodi di calcolo differenti per valutare eventuali variazioni. Tutte le verifiche hanno dato valori congruenti tra loro.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante l'utilizzo del software Stap Full 14 versione 14.02 A della Aztec Informatica s.r.l.

	Detrito di versante ghiaioso-limoso g=1900 Kg/m ³ Fi=30°
	Substrato calcareo marnoso g=2300 Kg/m ³ Fi=30° c=0.2 kg/cm ²

Allegato 1 - Sezione verifica di stabilità - Guaido 1
scala 1:2000

F_{min} = 1,33 Sup. 2

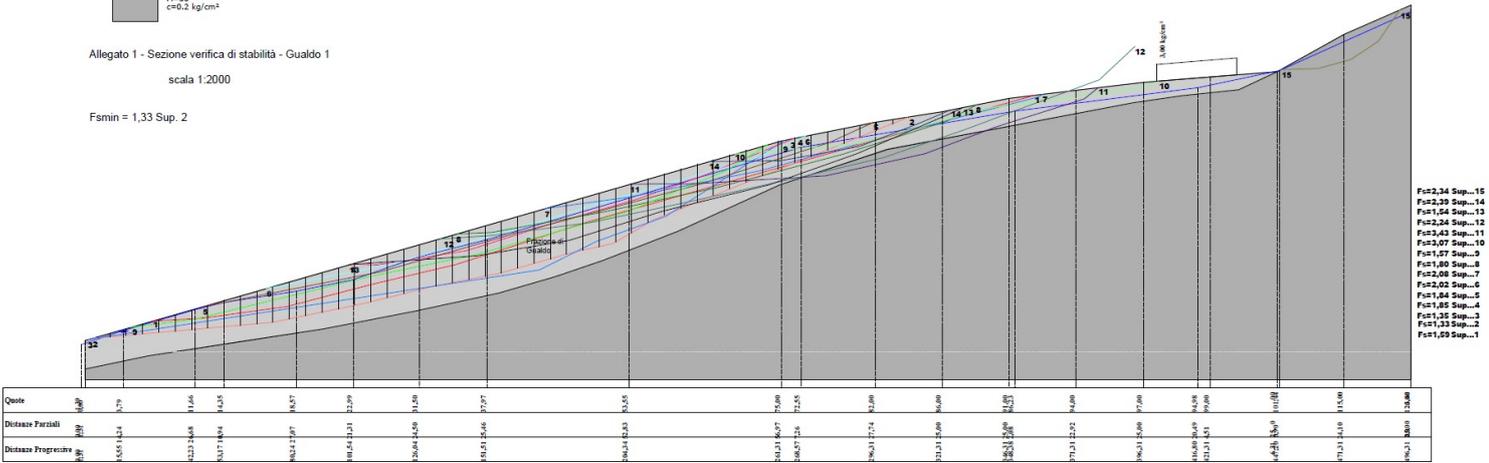


Fig 16 SEZIONE 1-1'

	Detrito di versante ghiaioso-limoso g=1900Kg / m ³ Fi=30°
	Substrato calcareo marnoso g=2300Kg / m ³ Fi=30° c=0.2 kg / cm ²

Allegato 2 - Sezione verifica di stabilità - Guaido 2
scala 1:1000

F_{min} = 1,15 Sup. 1

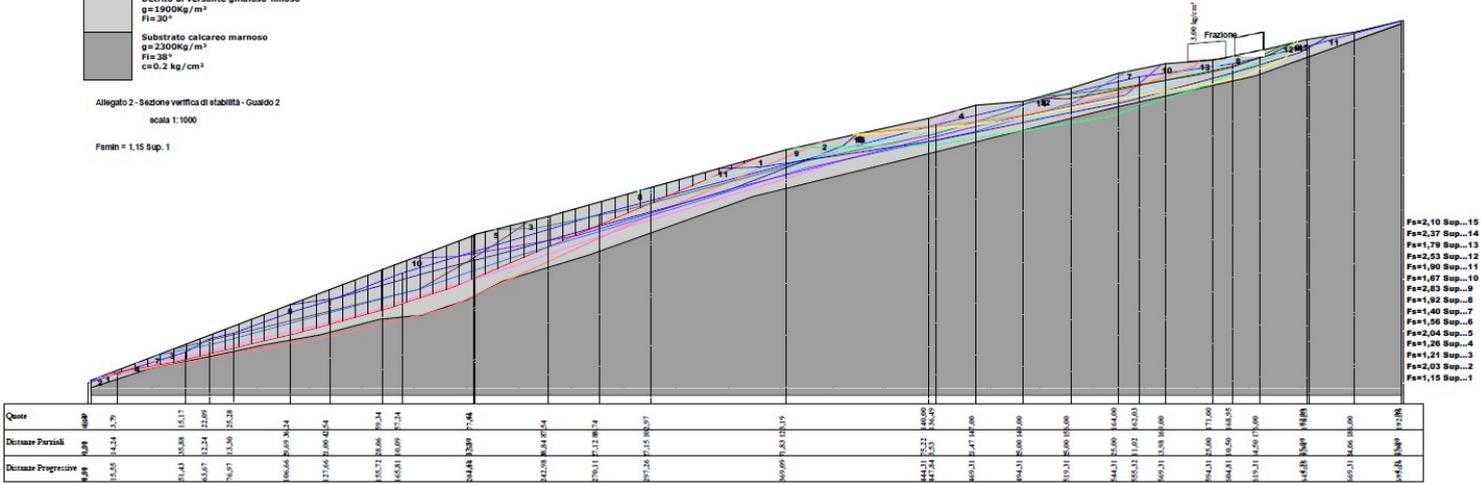


Fig 17 SEZIONE 2-2'

7. Analisi della Risposta Sismica Locale e Calcolo di FA

Le analisi di Risposta Sismica Locale sono state eseguite dal *Centro per la Microzonazione Sismica*, sulla base dei risultati delle indagini sismiche eseguite e reperite in sito. Di seguito si riportano sinteticamente la metodologia ed i risultati dei calcoli effettuati.

Per i computi è stato utilizzato l'approccio metodologico numerico, nell'ipotesi di comportamento visco-elastico in sforzi totali, tenendo in considerazione la non linearità del legame costitutivo dei materiali, attraverso l'analisi equivalente lineare, con conseguente procedura iterativa.

In particolare, è stato utilizzato il codice di calcolo LSR2D fornito dalla Stacec s.r.l (<http://www.stacec.it/Prodotto/92/lsr-2d>) che è di tipo bidimensionale ed è finalizzato ad analizzare Geometrie riconducibili a valli strette, chiusure laterali e inter-digitazioni etc.

I codici di calcolo utilizzati richiedono come dati di input, oltre agli *accelerogrammi* e al *modello di rigidezza del sottosuolo*, anche i *parametri geotecnici dinamici*. Per quanto riguarda le *curve di decadimento del modulo di taglio (G/G_0)* e del *rapporto di smorzamento (D) in funzione della deformazione tangenziale (γ)* si è fatto riferimento ai dati disponibili dagli studi di MS3 e da curve di letteratura.

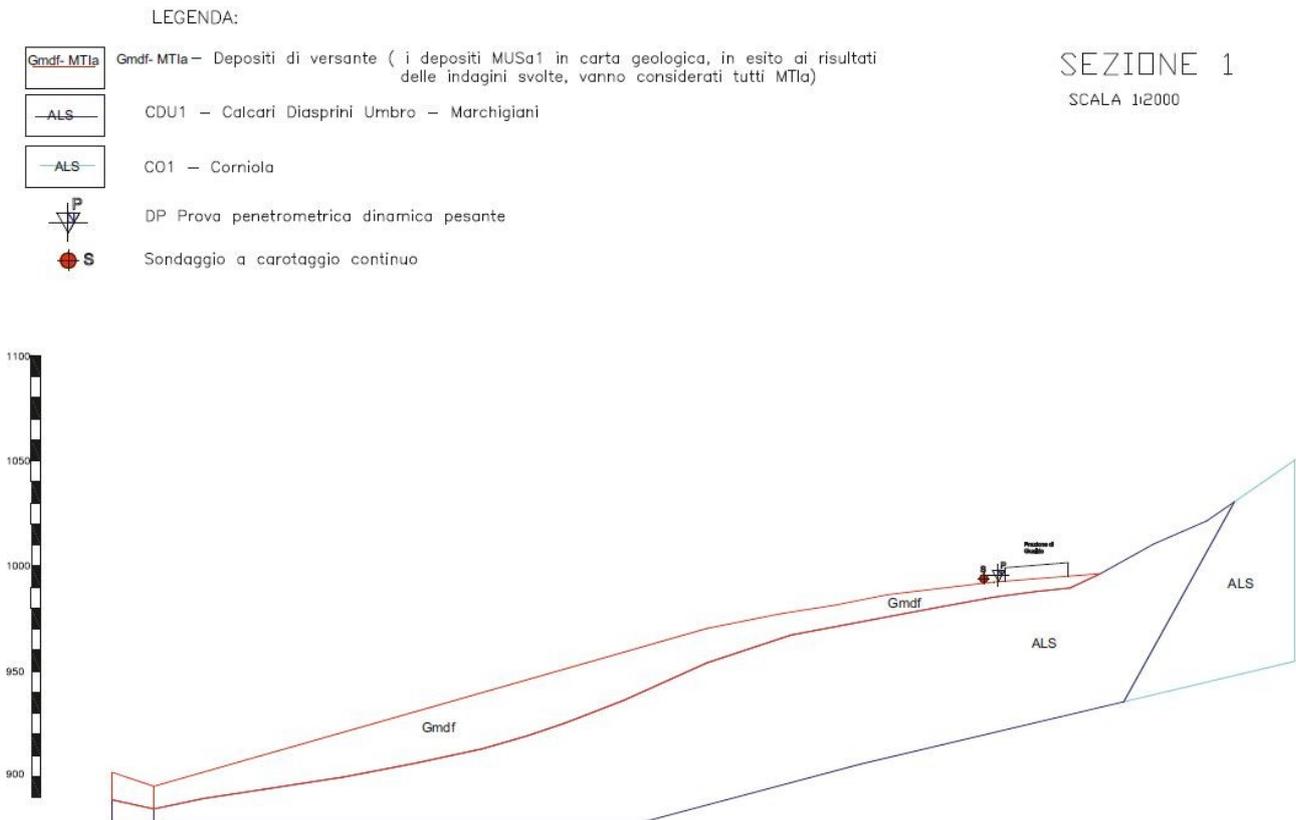
I risultati sono stati calcolati in corrispondenza di punti significativi della sezione geologico-tecnica.

I risultati sono stati espressi in termini di accelerogrammi modificati a partire dai 7 accelerogrammi utilizzati come moto di input; per la sola superficie topografica sono stati calcolati anche gli spettri di risposta elastici in accelerazione al 5% dello smorzamento critico per ciascuno dei 7 accelerogrammi di input e il relativo spettro di risposta elastico medio (media aritmetica), dai quali sono stati ottenuti i valori del fattore di amplificazione FA, calcolati negli intervalli di periodo 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, come media geometrica tra gli FA riferiti a ciascun accelerogramma di input.

Per ciascuna delle analisi sono stati utilizzati come dati di input il gruppo di 7 accelerogrammi registrati, selezionati nell'ambito degli studi di MS3 per ciascun comune interessato dal Sisma Centro Italia 2016/2017 (Luzi et al., 2019). I 7 accelerogrammi selezionati per il comune di Castel Sant'Angelo sul Nera, sono riportati nella seguente tabella, identificati con la nomenclatura della Banca dati ITACA (D'Amico et al., 2019), ai quali è stato associato un codice progressivo per identificare i relativi files di output contenuti nella banca dati:

Nome file – banca dati ITACA	Sigla accelerogramma
3A.MZ11..HNE.D.20161030.064018.C.ACC	CDC (1)
3A.MZ19..HNE.D.20161030.064018.C.ACC	CDC (2)
3A.MZ19..HNN.D.20161030.064018.C.ACC	CDC (3)
IT.CLO..HGN.D.20161026.191806.C.ACC	CDC (4)
IT.MMO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC	CDC (5)
IT.MMO..HGE.D.20161030.064018.C.ACC	CDC (6)
IT.MMO..HGN.D.20161030.064018.C.ACC	CDC (7)

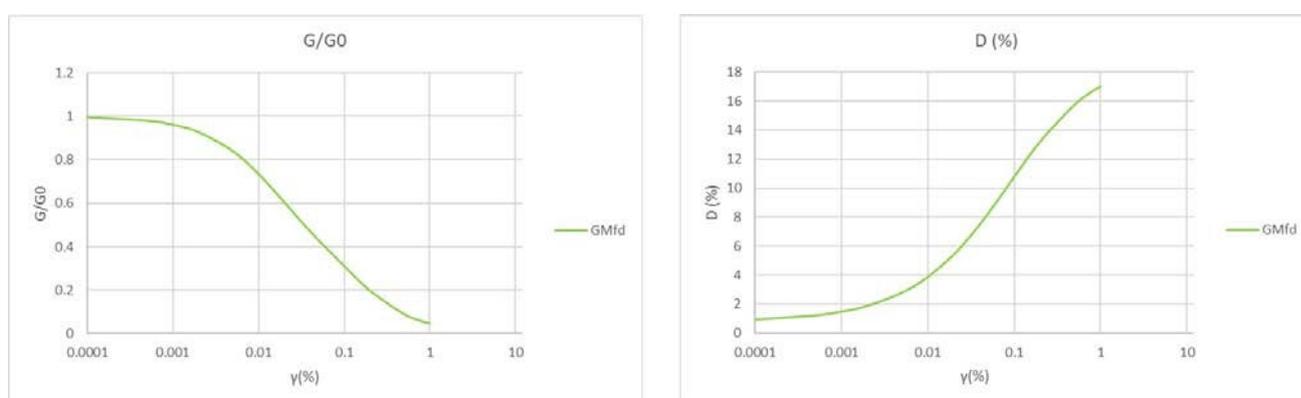
Analizzando i dati forniti dal sottoscritto è stata analizzata la sezione geologico-tecnica (sezione 1) rappresentativa del modello di sottosuolo ricostruita sulla base dei dati reperiti dall'attività di rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio e dalla campagna di indagini geognostiche e geofisiche in sito. Tale sezione viene di seguito rappresentata:



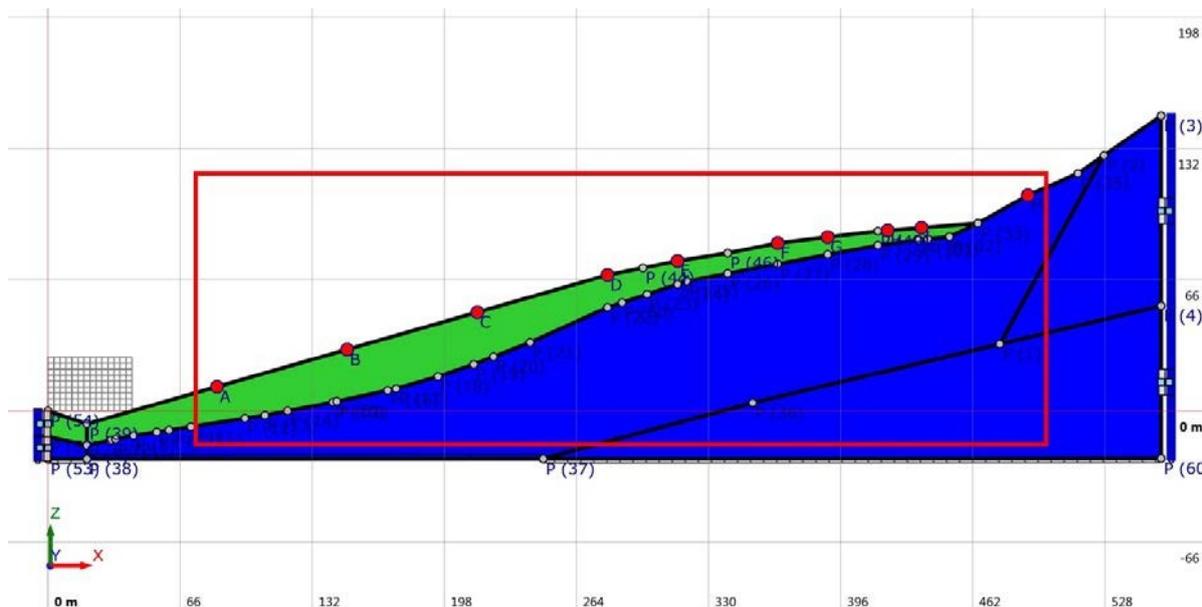
I valori di Vs e di densità utilizzati nell'analisi RSL, per ciascuna delle unità geologico-tecniche identificate (unità GT), sono mostrati nella tabella seguente:

Unità GT	Vs (m/s)	Curve G/G0 e D	Densità (Kg/m ³)
GMfd	400	Rollins et al. (1998)	1950
ALS	700	lineare con G/G0 = 1 e D = 0.5 %	2300

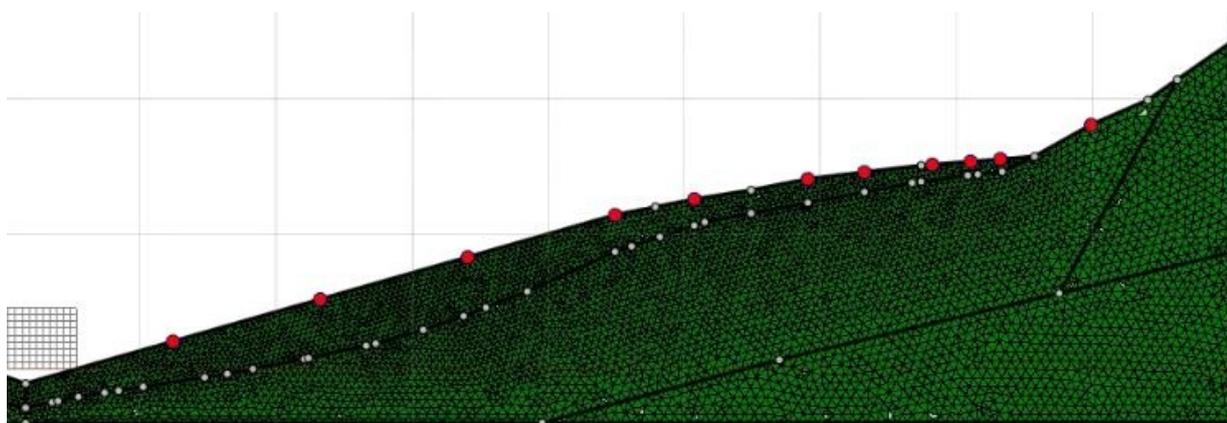
Le curve di decadimento, di seguito riportate per l'unità GT GMfd, sono state desunte da letteratura. In particolare, per tale unità si è fatto riferimento alle curve proposte rispettivamente da Rollins et al. (1998). Infine, per l'unità ALS, è stata considerata una relazione lineare con $G/G_0 = 1$ e $D = 0.5 \%$



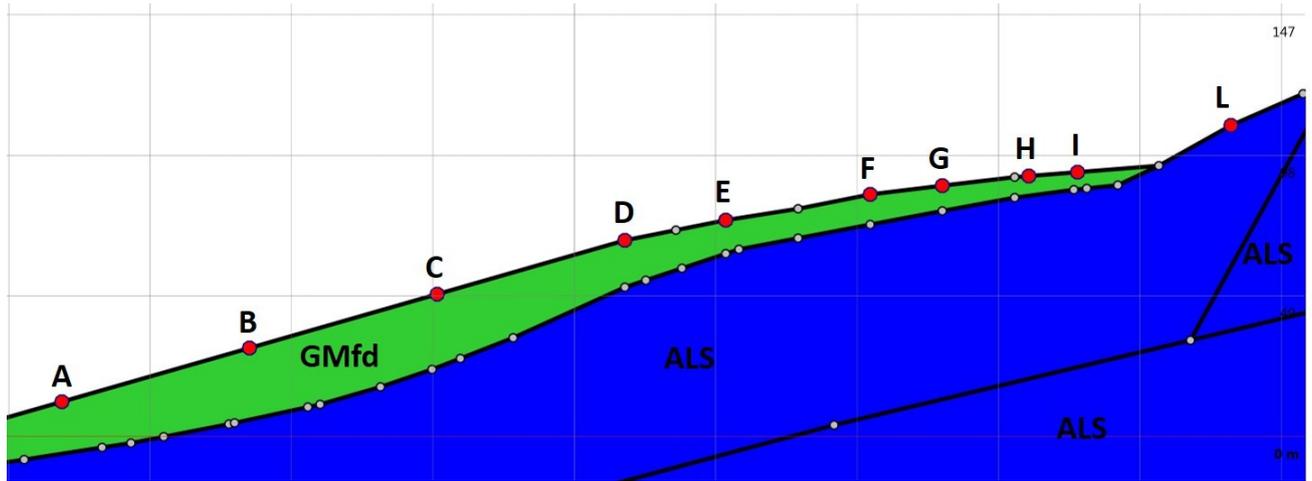
Per la costruzione del modello numerico bidimensionale per l'analisi, sono state ricostruite fedelmente le interfacce di separazione di ciascuna unità geologico-tecnica associando i parametri geofisici rappresentativi di ciascuna unità. Per quanto riguarda i bordi laterali, è stato applicato come condizione al contorno l'accoppiamento di smorzatori viscosi tra i nodi della frontiera e i nodi di colonne monodimensionali in grado di descrivere il moto in condizioni di campo libero. Nella figura vengono indicati con colore diverso le geometrie delle unità geologico-tecniche considerate nella modellazione. Il riquadro in rosso indica la parte della sezione interessata dallo studio di Microzonazione Sismica.



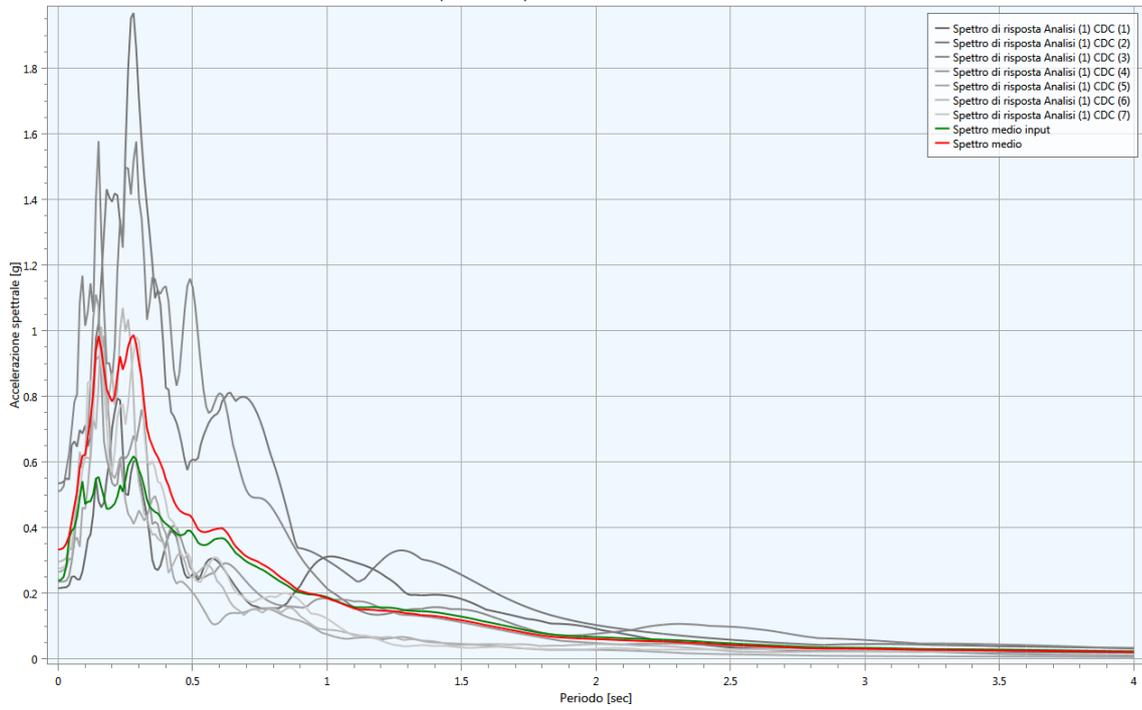
Il modello è stato discretizzato attraverso una mesh ad elementi finiti di forma triangolare composta da n. 5275 nodi e 10151 elementi, la cui distribuzione è indicata nella figura che segue:



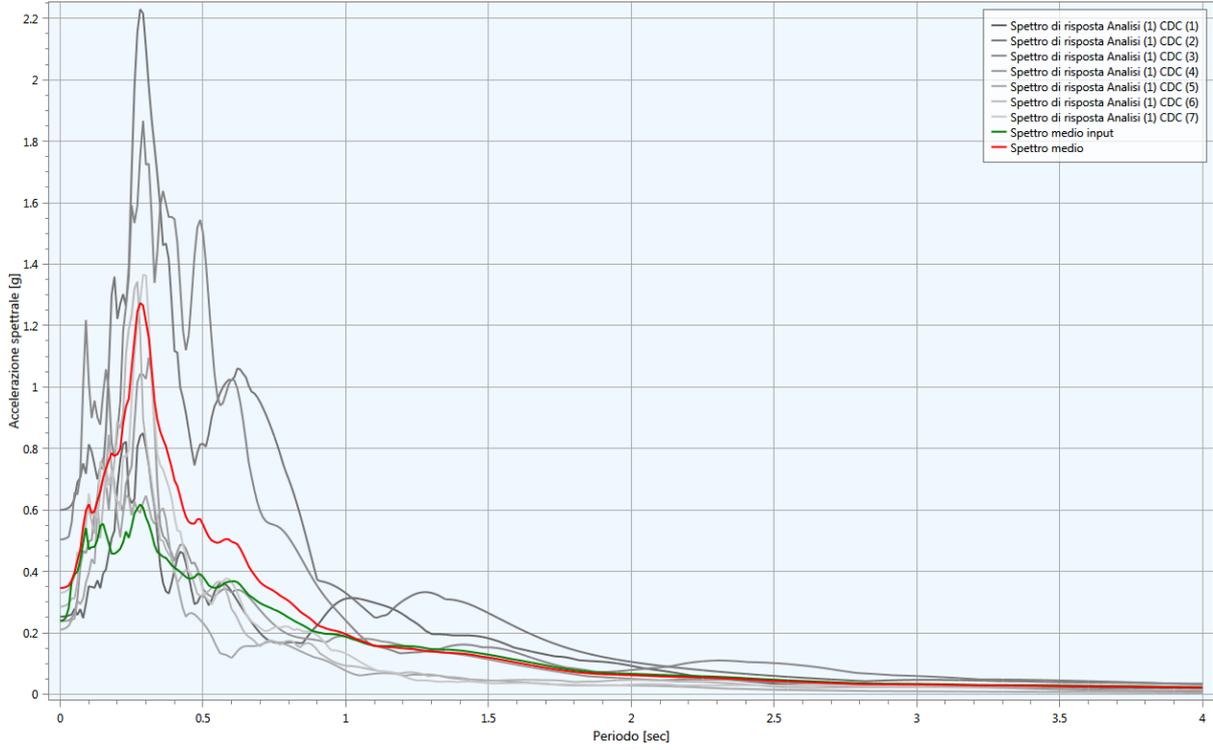
Sul modello predisposto, in corrispondenza del profilo topografico, sono stati individuati 10 punti significativi (nominati da A ad L nella figura che segue) nei quali è stata calcolata la risposta sismica in termini di accelerogrammi, spettri di risposta elastici e fattori di amplificazione:



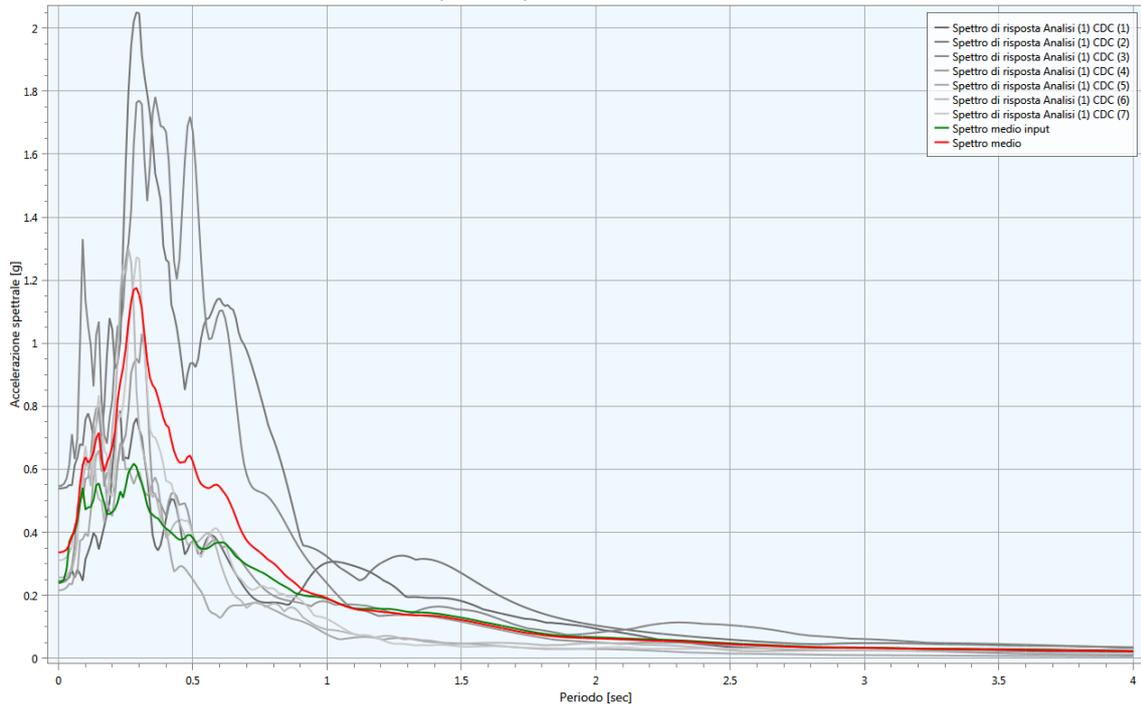
Spettro di risposta cinematico di controllo A



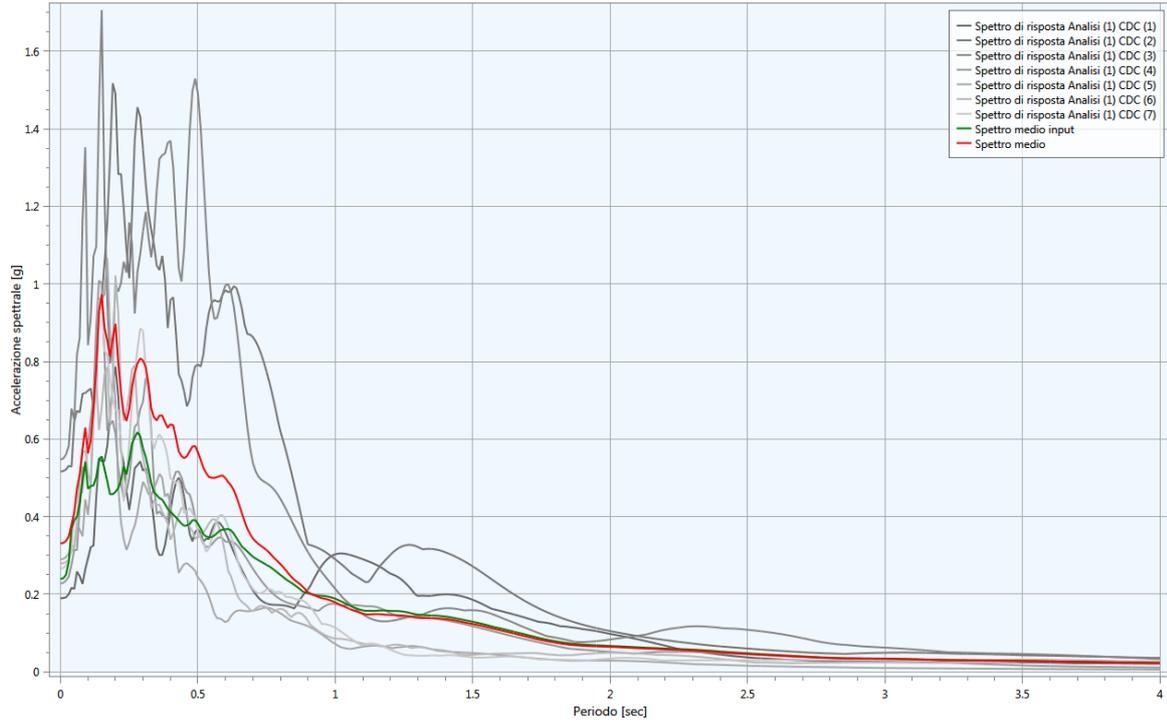
Spettro di risposta cinematico di controllo B



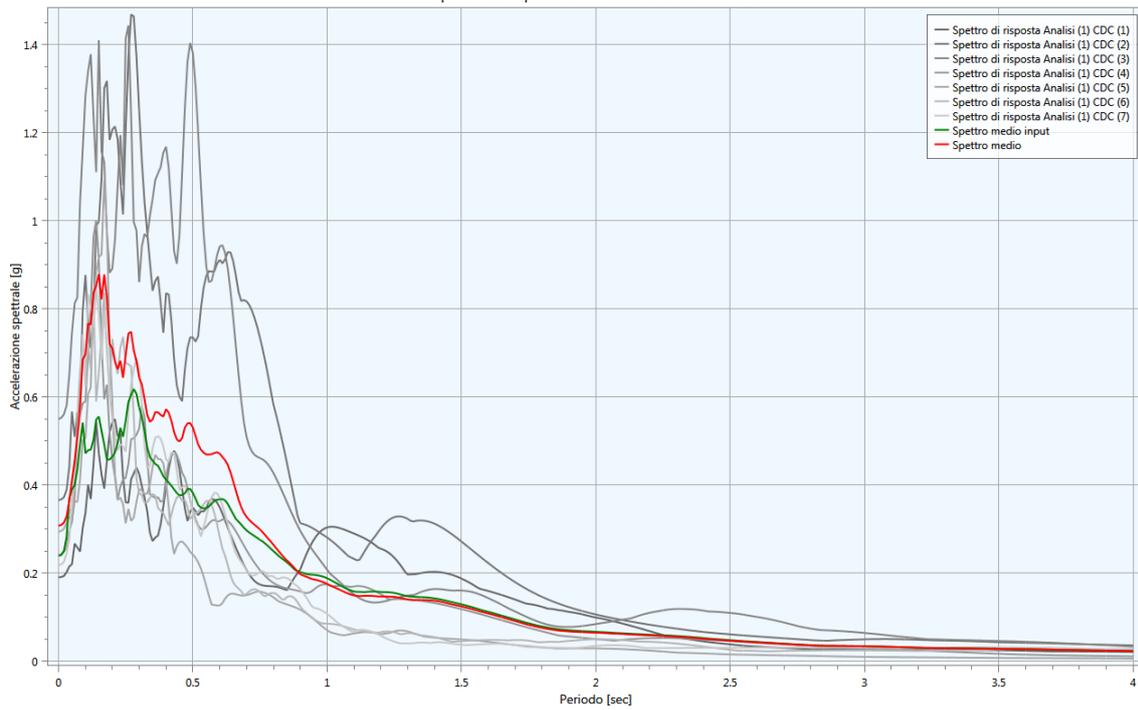
Spettro di risposta cinematico di controllo C



Spettro di risposta cinematiso di controllo D



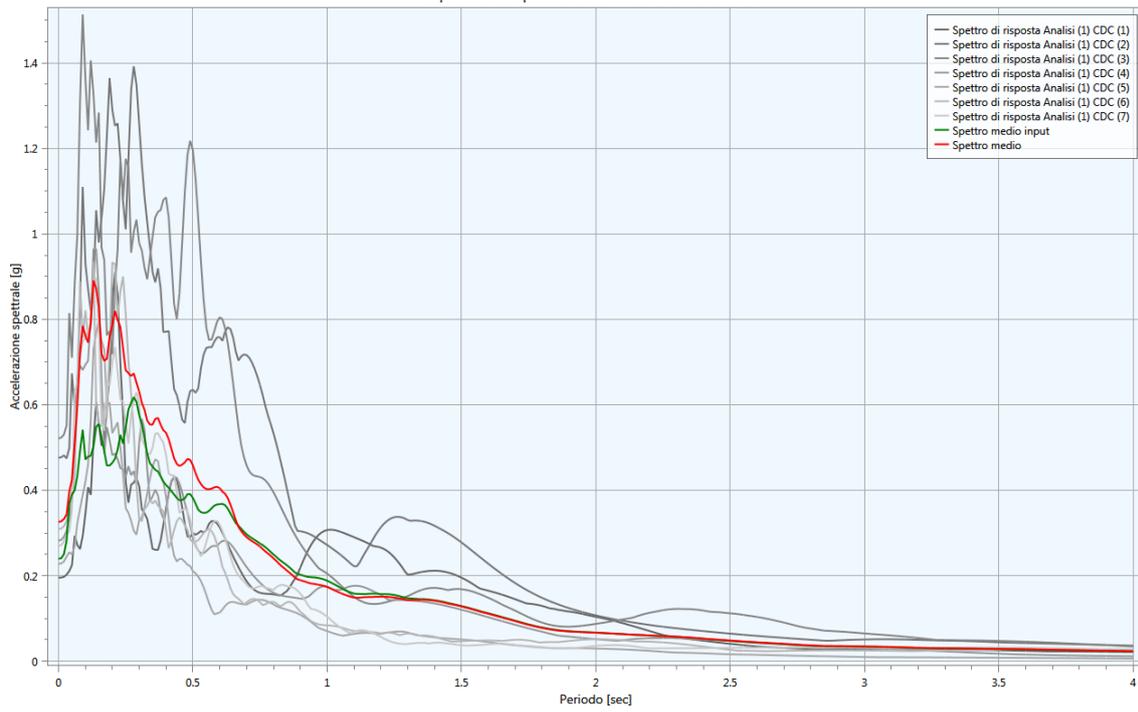
Spettro di risposta cinematiso di controllo E



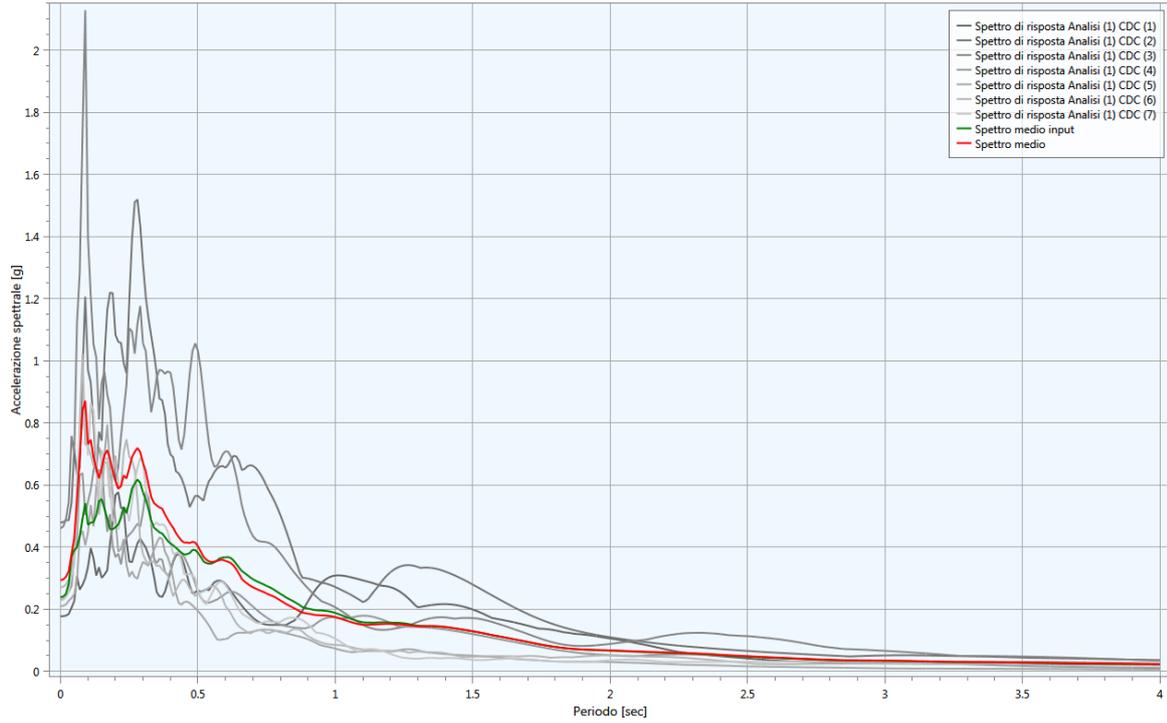
Spettro di risposta cinematico di controllo F



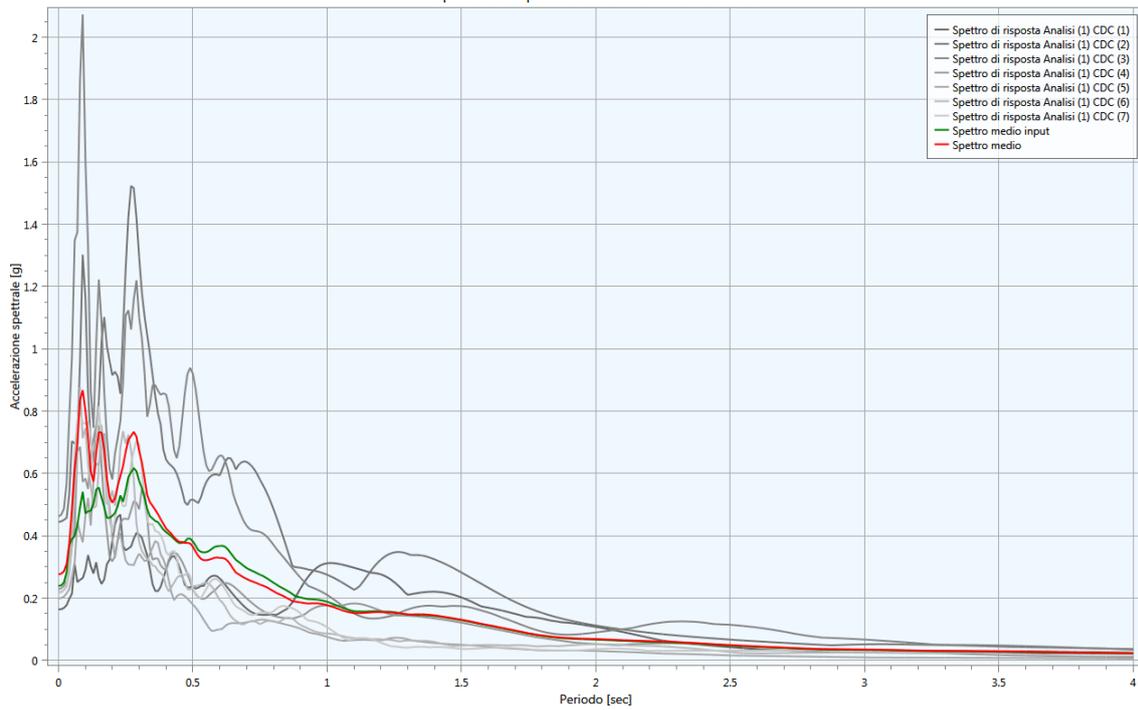
Spettro di risposta cinematico di controllo G

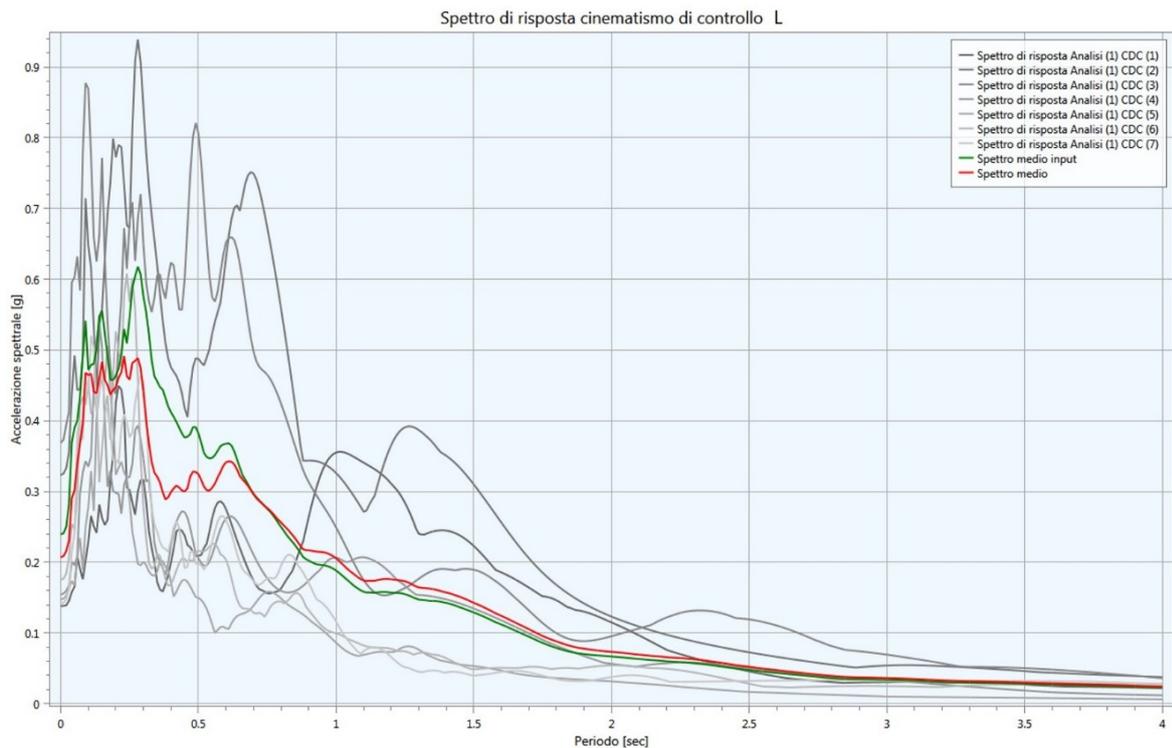


Spettro di risposta cinematiso di controllo H

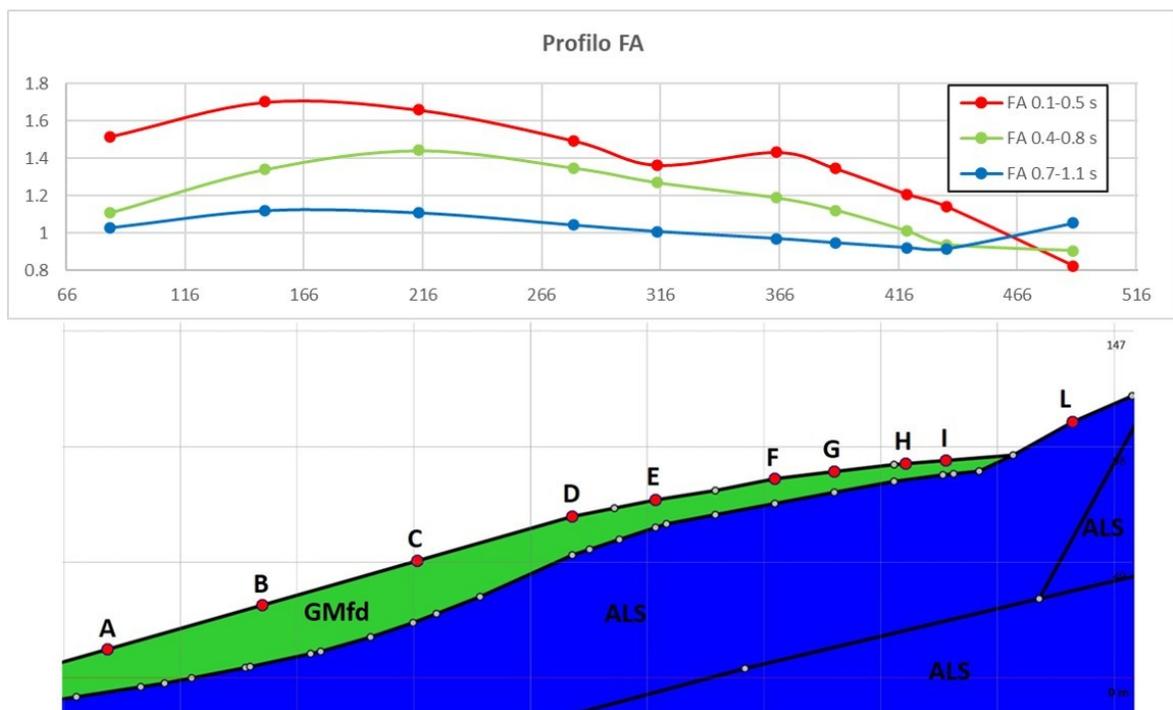


Spettro di risposta cinematiso di controllo I





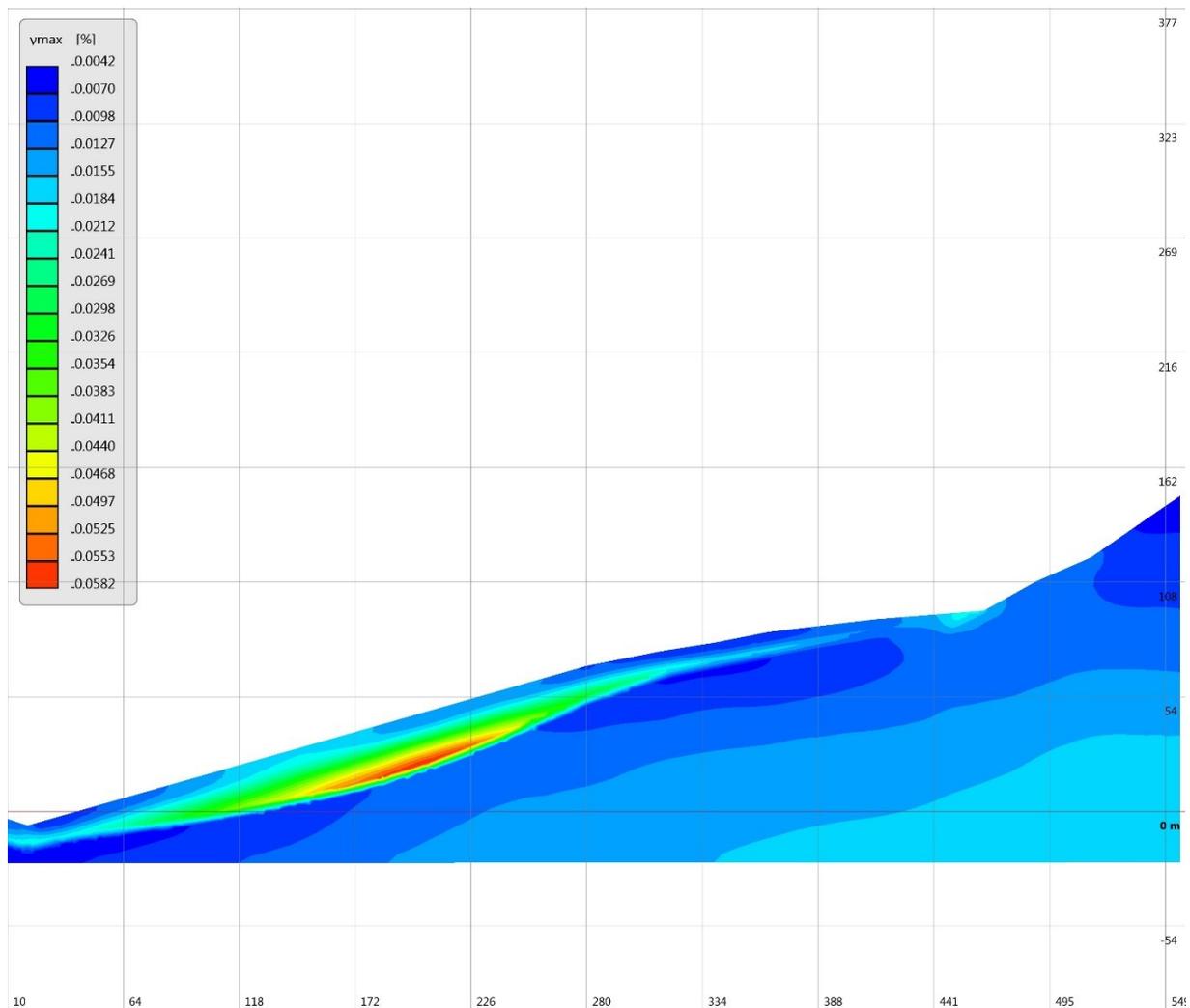
Di seguito si riportano i risultati della modellazione in termini di valori di FA per ciascun punto di controllo posto sulla superficie topografica. Nella figura seguente è rappresentato l'andamento dei valori di FA rispetto alla sezione modellata: la linea rossa rappresenta l'andamento dei valori riferiti all'intervallo di periodo 0.1-0.5 s, la linea verde all'intervallo 0.4-0.8 s, quella blu all'intervallo 0.7-1.1 s.



Nella tabella seguente alla figura tali valori sono riepilogati per ciascun punto di controllo, per i quali è anche specificato il valore in metri della distanza orizzontale rispetto al margine sinistro della sezione geologico-tecnica.

FATTORI DI AMPLIFICAZIONE IN SUPERFICIE FREE-FIELD										
Punto analisi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L
X (m)	84	149	214	280	314	365	390	419	436	490
FA _{0.1-0.5}	1.5	1.7	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.1	0.8
FA _{0.4-0.8}	1.1	1.3	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9
FA _{0.7-1.1}	1.0	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	1.1

Infine, come ultimo risultato dell'analisi RSL, viene qui di seguito mostrata la distribuzione dei valori di deformazione di taglio massimi all'interno della sezione analizzata ottenuti considerando la media dei valori ottenuti applicando i 7 accelerogrammi.



Banche dati allegate:

Output_acc.rar: Accelerogrammi calcolati a piano campagna per ciascun punto di analisi e espressi in g riferiti a ciascun accelerogramma di input con dT di 0.005 s.

Output_spe.rar: Spettri di risposta elastici in accelerazione calcolati a piano campagna per ciascun punto di analisi e espressi in g riferiti a ciascun accelerogramma di input. Sono inoltre presenti gli spettri medi di input e di output.

Valutazione delle condizioni di stabilità

Con riferimento al modello geologico e geotecnico del versante su cui insiste la frazione di Gualdo, costruito tramite rilievi ed indagini, il sottoscritto, professionista incaricato, anche tramite un'analisi di stabilità preliminare condotta su due sezioni parallele, è giunto alla conclusione che l'area del nucleo abitato di Gualdo, oggetto di approfondimento, non sia interessata da alcuna tipologia di dissesto. Ciò assume maggiore valore non solo in relazione all'assenza di evidenze morfologiche di dissesti in atto o potenziali ma anche, e soprattutto, in ragione dell'approccio estremamente cautelativo adottato nell'assegnazione dei parametri geotecnici, delle condizioni idrauliche e di carichi antropici considerati nell'analisi di stabilità preliminare. In particolare, il sottoscritto professionista incaricato ha concentrato l'attenzione su potenziali criticità che possano coinvolgere la coltre di detrito che ammantava un'ampia porzione del versante, senza prendere in considerazione possibili movimenti che, radicandosi a maggiore profondità, richiederebbero comunque approcci analitici ben più complessi. In tal senso, si rileva che nella porzione di substrato affiorante nella parte alta del versante non si ravvisano elementi morfologici (ad esempio trincee e dislocazioni di cresta) indicativi di processi deformativi ampi e profondi.

Unica frana censita, al di fuori ed a monte del centro abitato, è quella cartografata come "Zona di attenzione per Instabilità di versante Attiva / scorrimento", e censita con codice 30122003. Tale dissesto, di limitata entità, e individuato tra le quote 870e 950 m slm. resta al terzo livello di microzonazione sismica come ZA (Zona di attenzione) in quanto le tempistiche e le risorse a disposizione non erano compatibili con l'acquisizione di dati a copertura di una frana "minore" rispetto a quella su cui si è investito.

Come già segnalato dal gruppo di supporto di ISPRA, il centroMS conviene sulla conclusione che non siano presenti processi deformativi in atto o potenziali tali da considerare il versante o una parte di esso come ZS_{fr} , come del resto già suggerisce l'assetto topografico complessivo del versante che nel tratto compreso tra il fondovalle e l'abitato di Gualdo presenta nella sezione 1 una pendenza media di circa 13° e massima di circa 24° (ma solo per un breve tratto nella parte più bassa del versante) e nella sezione 2 una pendenza media di circa 16° e massima di circa 25° (ma anche in questo caso solo per un breve tratto nella parte più bassa del versante), non presenta in termini di energia di rilievo, soprattutto a ridosso dell'abitato, le condizioni predisponenti per scorrimenti della coltre di detrito, il cui angolo di attrito è stimato in 30° .

8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La zona oggetto dell'incarico, è situata in Loc. Gualdo, comune di Castel Sant'Angelo sul Nera (MC).

L'area d'indagine era stata attenzionata sulla base di una cartografia IFFI.

Pertanto si è proceduto ad effettuare un rilievo geomorfologico di dettaglio, confrontandolo con l'esame delle foto aeree dal 1978 al 2018 e con le indagini reperite (sondaggi meccanici, dphs e prove sismiche Masw e d hvsr).

L'aspetto morfologico principale è rappresentato dall'accumulo di un vasto movimento franoso che ha interessato una porzione del versante occidentale del Monte Spina di Gualdo. Questo, avvenuto in tempi remoti (identificabile come paleofrana), non ha mostrato fenomeni di riattivazione recenti, come testimoniato dall'assenza di lesioni, provocate da tali movimenti, nei numerosi edifici che costituiscono il centro abitato e che risalgono, talora, ad alcune centinaia d'anni.

Da un'attenta analisi geomorfologica emerge una sostanziale stabilità dell'area investigata.

La maggior parte delle forme osservabili e che caratterizzano l'area sono il prodotto del lungo presidio antropico e, tra le più importanti, risultano quelle create in maggior misura negli ultimi periodi attraverso la pratica agricola, l'edilizia, o la realizzazione di strade.

Dall'analisi complessiva del quadro emerso, sono state concentrate le indagini integrative nella porzione centro meridionale della frazione di Gualdo.

Nella zona studiata, si rileva una coltre detritica con spessore variabile da punto a punto, con un massimo di circa 17.50 ml nel sondaggio effettuato.

La composizione litologica e tessiturale dei litotipi riscontrati non asseconda l'instaurarsi di falde acquifere significative.

Tali osservazioni sono state confermate durante l'effettuazione delle indagini, nel corso delle quali non si sono marcate venute idriche.

Le indagini eseguite non hanno rilevato indizi di situazioni geomorfologiche problematiche, con ottime caratteristiche geotecniche dei terreni, così come le verifiche di stabilità eseguite. Unica frana censita, a monte del centro abitato, è quella cartografata come fenomeno di scorrimento attivo, e censita con codice 30122005. Tal dissesto, di limitata entità, coinvolge la parte alta della coltre detritica di versante, e si individua a quote tra le isoipsie di 870e 950 m slm. Non si hanno dati listratigrafici o di indagini pregresse nella zona del dissesto, le valutazioni della sua attività sono legate ad evidenze di superficie con fratture e gradini lungo la sede stradale della SP136 e modeste gibbosità del versante in quel tratto.

Per il sito in oggetto, è stata infine analizzata una sezione rappresentativa (sezione 1). Tale sezione ha mostrato una variabilità maggiore (compresa tra 0.8 e 1.7) nei valori di FA riferiti all'intervallo di periodo 0.1-0.5 s, ma anche una variabilità significativa per i valori riferiti all'intervallo 0.4-0.8 s. Tale variabilità è molto probabilmente legata allo spessore dell'unità GMfd. In particolare, per quanto riguarda l'intervallo 0.1-0.5 s, i valori maggiori si riscontrano per i punti di controllo B e C (1.7), dove lo spessore complessivo dell'unità GMfd raggiunge i valori massimi (circa 25 m). Per l'intervallo 0.4-0.8 s, i valori massimi si osservano in corrispondenza dei punti B (1.3), C (1.4), D (1.3) ed E (1.3). Per entrambi gli intervalli, i valori minimi (0.8-1.2) si osservano presso i punti H, I ed L, dove i depositi di versante presentano gli spessori minimi (6-8 m, punti H ed I) o sono assenti (punto L). Riguardo all'intervallo 0.7-1.1 s, è possibile notare che i valori di FA si mantengono pressoché prossimi ad 1 su tutta la superficie della sezione. Per quanto riguarda le deformazioni di taglio massime, è possibile notare che i valori maggiori (all'incirca 0.0468-0.0582 %) si trovano nella zona dei punti B e C, in prossimità del contatto tra l'unità GMfd e l'unità ALS.

Sulla base delle osservazioni esposte, in accordo con il centroMS, si ritiene che il versante oggetto di approfondimento non presenta condizioni tali da farlo classificare, in toto o in parte, quale ZS_{fr}, unica eccezione la porzione di versante a monte del centro abitato, su cui si individua una frana attiva classificata con codice 30122005.

Gli esiti prodotti dall'approfondimento dello studio di microzonazione sismica di livello III, in quanto finalizzati alla valutazione del livello di pericolosità sismica e geomorfologica alla scala dell'abitato, non possono essere considerati sostitutivi di una specifica analisi di risposta sismica locale finalizzata alla progettazione o alla verifica sismica dei singoli manufatti.

Macerata, 15 ottobre 2020

Il tecnico incaricato
Geol. Paolo GIACOMELLI

BIBLIOGRAFIA

- (2018) – Relazione di Microzonazione di livello 3 del comune di Castel Sant’Angelo sul Nera (2018) realizzata dai dott.ri Maccari, Onorati e Russi -
 - 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.
 - 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 L, SAGNOTTI L 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.
 - APAT (2005) - PROGETTO IFFI Inventario dei FenomeniFranosi in Italia.
 - CALAMITA F. (1990) - *Thrusts and fold related structures in the Umbria-MarcheApennines (Central Italy)*. Annales tectonicae, 4, 83-177.
- CENTAMORE, E., NISIO, S., (2003). Significant events in the Periadriatic foredeeps evolution (Abruzzo-Italy). Studi Geol. Camerti, Numero speciale 2003, 39-48.
- CENTAMORE E., CRESCENTI U. & DRAMIS F. EDS. (2006) - Note illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000, Foglio 304, Servizio Geologico d’Italia, APAT Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i Servizi Tecnici, pp. 115, Firenze.
 - CIOTOLI, G., M. GUERRA, S. LOMBARDI, AND A.ANNUNZIATELLIS (2007) – Geostatistical analysis of soil gas data in a high seismic intermontane basin:Fucino Plain, central Italy. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 112,.
 - D.M. 14 gennaio 2008 “Norme Tecniche per le costruzioni” e CIRCOLARE 02.02.2009.
 - GALLI P. (2000): New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction. Tectonophysics 324 (2000) 169–187.
 - 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 Provincie 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>.
 - INGV - Mappa di Pericolosità Sismica del TerritorioNazionale.
 - Piano Stralcio di Baicno per l’Assetto idrogeologico PAI della Regione Marche - Norme di Attuazione e misure di Salvaguardia.
 - VEZZANI L. & GHISSETTI F. (1998) - Carta Geologica delle Marche, scale 1:100,000. S.EL.CA., Firenze.
 - IL MANUALE INTERNAZIONALE TC4 PER LA ZONAZIONE DEI RISCHI GEOTECNICI: UN ESEMPIO DI APPLICAZIONE AL CONTESTO ITALIANO – Claudia Madià - Dipartimento di Ingegneria Civile – Università di Firenze, 2010.
 - AMBRASEYS, N. (1988). Engineering Seismology. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. Vol 17.
 - ARBOLEDA, R.A., PUNONGBAYAN, R.S. (1991). Landslides induced bythe 16 July1990 Luzon, Philippines, Earthquake. Landslide News. N. 5.
 - Association for the Development of Earthquake Prediction (1990). A Reconnaissance Report on the 1989 Loma Prieta Earthquake. (in giapponese)

- Astroza, M., Monge, J. (1991). Regional Seismic Zonation in Central Chile. Proc. IV Int. Conf. on Seismic Zonation. Vol 3.
 - Barrow, B.L., Stokoe K.E.II. (1983). Field Investigation of Liquefaction Sites in Northern California. Geotechnical Engineering Thesis. GT83-1. Civil Engineering Department University of Texas at Austin.
 - Borchardt, R. D., Gibbs, G. F. (1976). Effects of Local Geological Conditions in the S. Francisco Bay Region on Ground Motion and the Intensities of the 1906 Earthquake. Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 66
 - Building Research Institute (1969). Draft for Revision of the Building Standard Law and the Enforcement Order. B.R.I. Regulation Draft N.1.
 - Calamita F., Deiana G. (1986) - *Geodinamica dell'Appennino Umbro- Marchigiano*. Mem. Soc. Geo. It., vol. 35, 311-316, fasc. 1,
 - Calamita F., Deiana G., Invernizzi C., Matrovincenzo S. (1987) - *Analisi strutturale della linea "Ancona-Anzio" Auct. Tra Cittareale e Micigliano (Rieti)*. Boll. Soc. Geo. It. Vol 106, 365-375, fasc 3.
- CANTALAMESSA G., CASNEDI R., CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., COLALONGO M. L., CRESCENTI U., MICARELLI A., NANNI T., PASINI G., POTETTI M. & RICCI LUCCHI F. (1986) – *Il Plio-Pleistocene marchigiano-abruzzese. Guida all'escursione del 7-10 Ottobre. 73° Congresso della Soc. Geol. It., Camerino, 43 p.p*
- CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., DIDASKALOU P., MICARELLI A., NAPOLEONE G. & POTETTI M. (2002) – *Elementi di correlazione nella successione marina plio-pleistocenica del bacino periadriatico marchigiano. Studi Geologici Camerti, 1, 33-49.*
- CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., MICARELLI A., PICCINI M. & POTETTI M., With Contribution Of DIDASKALOU P., PENNESI T. & PICCINI M. (1993) - *Neogene Quaternary evolution of the Marche-Abruzzi periadriatic basin in the stretch between the Musone and Pescara rivers. International Symposium on dynamics of fluvial-coastal system and environmental changes. Field Trip Guide Book, I-19.*
- Carrubba, P., Maugeri, M. (1988). Determinazione delle proprietà dinamiche di un'argilla mediante prova di colonna risonante. Riv. Ital. di Geotecnica. N. 2.
 - Chiocchini M., Deiana G., Micarelli A., Moretti A., Pieruccini U. (1976) - *Geologia dei Monti Sibillini Nord-Orientali*. Studi Geologici Camerti, II, 7-44.
 - Chinese Building Code (1974). Earthquake resistant design code for industrial and civil buildings. TJ11-74. China Build. Publ. House. Pechino (tradotto da Chang A.C.S.)
 - Crespellani, T., Ghinelli A., Vannucchi, G. (1989). An Evaluation of the Dynamic Shear Modulus of a Cohesive Deposit near Florence, Italy. Proc. XII ICSMFE. Rio de Janeiro.
 - Crespellani, T., Vannucchi, G., Zeng, X. (1992). Seismic Hazard Analysis in the Florence Area. Eur. Earth. Eng. N. 3.
 - Crespellani, T., Madiari, C., Marcellini, A., Maugeri, M., Vannucchi, G. (1997). Zonation of geotechnical seismic hazards in Tuscany, Italy. In: Seco e Pinto P. S. (Ed.): Seismic Behaviour of Ground and Geotechnical Structures.
 - Crespellani, T. (1998). Convegno Nazionale degli Ingegneri. Ancona.
 - Deiana G., Pierantoni P.P., Centamore E. & Cantalamessa G. (2002) - *Cartografia Geologica – Nota illustrativa. Progetto N. 2 Zona Sud (Realizzazione della Cartografia Geologica e Geotematica e dei relativi supporti informatici alla scala 1:10000. Regione Marche. Servizio Urbanistica e Cartografia.*
 - Deiana G., Centamore E. (1986) – *La geologia delle Marche. Carta Geologica delle Marche – Studi geologici Camerti, Dipartimento di Scienze della Terra Università di Camerino, 145 pp..*
 - D'Elia, B. (1998). Stabilità dei pendii in zona sismica. Atti del Corso di aggiornamento su "Ingegneria Geotecnica in Zona Sismica". Pesaro.
 - Eurocode 8 (1993): Earthquake Resistant Design of Structures. Second Draft CEN/TC250/SC8. PT1: General Rules.
 - Eva, C., Giglia, C., Graziano, F., Merlanti, F. (1978). Seismicity and its relation with surface structures in the North-Western Apennines. Boll. Geop. Teor. Appl. XX. 79.
 - Evernden, J., Hibbard, R., Schneider, J. (1973). Interpretation of Seismic Intensity Data. Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 63.
 - Evernden, J., Thomson, J.M. (1985). Predicting Seismic Intensities. U.S. Geol. Survey Profes. Paper 1360.
 - Faccioli, E. e al. (1986). Elementi per una guida alle indagini di Microzonazione Sismica Quaderni de "La Ricerca Scientifica". N. 114. CNR. Roma.

- Faccioli, E. (1995). Induced Hazard: Earthquake Triggered Landslides. Proc. of the 5th Int. Conf. on Seismic Zonation. Nice.
- Fukushima, Y., Tanaka, T. (1990). A New Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground Motion in Japan. Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 80.
- Grandori, G., Perotti F., Tagliani, A. (1987). On the attenuation of macroseismic intensity with epicentral distance. Ground motion and Eng. Seism. A.S. Cakmak ed. Elsevier.
- Iaccarino, E. (1968). Attività sismica dal 1500 al 1965 in Garfagnana, Mugello e Forlivese. NEN. TR/GEO. 19. 24. Imai, T. (1977). P and S Wave Velocities of the Ground in Japan. Proc. 9th ICSMFE, Vol. 2.
- Imbesi, G., Marcellini, A., Petrini, V., Di Passio, C., Ferrini, M. (a cura di) (1986). Progetto Terremoto In Garfagnana e Lunigiana. CNR - Regione Toscana. La Mandragora Ed. Firenze.
- Ishihara, K. (1991a). Manjil Earthquake of 21 June, 1990, Iran. Landslide News. N. 5.
- Ishihara, K. (1991b). Earthquake-induced Landslides near Spitak, Armenia, USSR. Landslide News. N. 5.
- Ishihara, K., Nakamura, S. (1987). Landslides in Mountain Slopes during the Ecuador Earthquake of March 5, 1987. US-Asia Conference on Engineering for Mitigating Natural Hazards Damages.
- Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S., Sato, H. (1982).
- Microzonation for Soil Liquefaction Potential using Simplified Methods. Proc. Int. Conference on Microzonation. Vol. 3. Seattle. 30. Joyner, W.B., Boore, D.M. (1981). Peak Horizontal Acceleration and Velocity from Strong-Motion Records including Records from the 1979 Imperial Valley, California, Earthquake Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 71.
- Kagami, H., Okada, S., Ohta, Y. (1988). Versatile Application of Dense and Precision Seismic Intensity data by an Advance Questionnaire Survey. Proc. 9th World Conf. on Earthquake Engineering. Vol. 8.
- Kanagawa Prefectural Government (1986). Prediction of Seismic Damage in Kanagawa Prefecture. (in giapponese)
- Kanai, K., Tanaka, T. (1961). On Microtremors. VIII, Bull. Earthq. Res. Inst., University of Tokyo. Vol. 39.
- Keefer, D.K., Wilson, R.C. (1989). Predicting Earthquake-induced Landslides with Emphasis on Arid and Semi-arid Environments. Publications of the Inland Geological Society. Vol. 2.
- Komak Panah, A., Hafezi Mogaddas, N. (1993). Lesson learned from induced landslides in Gilan due to Manjil Earthquake. In Ishihara K. (Ed.): Performance of Ground and Soil Structures During Earthquake. Japan. Soc. Soil Mech. Found. Eng. Tokio.
- Kuribayashi, E., Tatsuoka, F. (1975). Brief Review of Soil Liquefaction during Earthquakes in Japan. Soils and Foundations. Vol. 15, N. 4.
- Lee, S. H. (1992). Analysis of the Multicollinearity of Regression Equations of Shear Wave Velocities. Soils and Foundations. Vol. 32, N. 1.
- Marcellini, A., Tenti, A. (1986). Ricostruzione dello scuotimento. In: Progetto Terremoto in Garfagnana e Lunigiana. CNR - Regione Toscana. La Mandragora Ed. Firenze.
- Mayne, P. W., Rix, G.J. (1995). Correlation between Shear Wave Velocity and Cone Tip Resistance in Natural Clays. Soils and Foundations. Vol. 35, N. 2.
- Medvedev, J. (1962). Engineering Seismology. Academia Nauk Press. Moscow.
- Midorikawa, S. (1987). Prediction of Isoseismal Map in the Kanto Plain due to Hypothetical Earthquake. Journal of Structural Engineering. Vol. 33B
- Ministero dei LL.PP. Servizio Idrografico. Annali idrologici Anni 1940-1987.
- Mora S., Vahrson, W. (1994). Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination. Bull. Assoc. Engin. Geologist. XXXI (1). 45. Muzzi, F. (1984). Personal communication.
- Nakamura, Y. (1989). A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremors on Ground Surface. QR of RTRI. Vol. 30.
- Nardi, R. (coord.) (1985÷1992). Carta geologica e carta della franosità della Garfagnana e della media valle del Serchio (Lucca), scala 1 : 10.000. CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti. S.E.L.C.A. Firenze.
- Nardi, R. (coord.) (1990). Carta geologica e carta della franosità della Lunigiana, scala 1 : 10.000. CNR - Gruppo Nazionale per

la Difesa dai Terremoti. S.E.L.C.A. Firenze.

- Ohta, Y., Goto, N. (1978). Empirical Shear Wave Velocity Equations in terms of Characteristic Soil Indexes. *Earthquake Eng. and Strct. Dyn.*. Vol. 6.
- Patacca, E., Scandone, P., Petrini, V., Franchi, F., Sargentini, M., Vitali, A. (1986). Revisione storica. In: *Progetto Terremoto in Garfagnana e Lunigiana*. CNR - Regione Toscana. La Mandragora Ed. Firenze.
- 51. Peruzza, L., Monachesi, G., Rebez, A., Slejko, D., Zerga, A. (1996). Specific macroseismic intensity attenuation of the seismogenic sources, and influences on hazard estimates. In: Thorkelsson B. (ed). *Seismology in Europe*. Icelandic Meteorological Office. Reykjavik.
- Petrini, V. (a cura di) (1995). *Pericolosità sismica e prime valutazioni di rischio in Toscana*. CNR-IRRS e Regione Toscana. Ed. Landini. Firenze.
- Pierantoni P.P., Deiana G., Galdenzi S (2013). Stratigraphic and structural features of the Sibillini Mountains (Umbria-Marche Apennines, Italy) *Ital. J. Geosci.* (Boll. Soc. Geol. It.), Vol. 132, No. 3 (2013), pp. 497-520, 11 figs., 2 extra pls.
- Pierantoni P.P., Deiana G., Romano A., Paltrinieri W., Borracini F., Mazzoli S. (2005) - *Geometrie strutturali lungo la thrust zone del fronte montuoso umbro-marchigiano-sabino*. Boll. Soc. Geo. It., 124, 395-411, 4 ff., 2 tav. f.t..
- Postpischl, D. (1985a). *Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980*. CNR. Quaderni della Ricerca Scientifica, N. 114. Vol. 2B. Bologna.
- Postpischl, D. (1985b). *Atlas of isoseismal maps of the Italian earthquakes*. CNR. Progetto Finalizzato Geodinamica.
- Rebez, A., Peruzza, L., Slejko, D. (1996). Characterization of the seismic input in the seismic hazard assessment of Italian territory. In: Thorkelsson B. (ed). *Seismology in Europe*, Icelandic Meteorological Office. Reykjavik.
- Règles de construction parasismique (1995). - Règles PS applicables aux batiments – PS92. Normes NF P 06-013. Eyrolles. Paris.
- Sabetta, F., Pugliese A. (1987). Attenuation of Peak Horizontal Acceleration and Velocity from Italian Strong-motion Records. *Bull. Seism. Soc. Am.* Vol. 77.
- Scandone P. (1997). *Linea di ricerca 2: "Sismotettonica". Rapporto sull'attività del GNDT nel triennio 1993-1995*. CNR. Roma
- Shima, E. (1978). *Seismic Microzoning Map of Tokyo*. Proc. Second Int. Conf. on Microzonation. Vol. 1.
- Stucchi, M. (1997). *Catalogo dei Terremoti Italiani*. <http://emidius.itim.mi.cnr.it>.
- Tamura, T. (1978). An Analysis of the Relationship between the Areal Distribution of Earthquake-induced Landslides and the Earthquake Magnitude. *Geographical Review of Japan*. 51-8
- Technical Committee For Earthquake Geotechnical Engineering TC4 – ISSMFE (1993).
- *Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards*. The Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- Tento, A., Franceschina L., Marcellini, A. (1992). Expected Ground Motion Evaluation for Italian Sites. 10th World Conf. on Earthquake Engineering. Vol. 1.
- Wakamatsu, K. (1992). Evaluation of Liquefaction Suscettibility Based on Detailed Geomorphological Classification. Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan. Vol. B. (in giapponese)
- Wakamatsu, K. (1997). Application of the TC4 Manual for Soil Liquefaction Assessment to the 1995 Hyogoken- Nambu (Kobe) Earthquake. In: Seco e Pinto P. S. (Ed.): *Seismic Behaviour of Ground and Geotechnical Structures*.
- Yasuda, S. (1993). Zoning for Slope Instability around Mt. Ontake In Japan (v. TC4 (1993))
- Yasuda, S. (1997). A Study on the Adaptability of Two Zoning Methods for Slope Insability. In: Seco e Pinto P. S. (Ed.): *Seismic Behaviour of Ground and Geotechnical Structures*.
- Yasuda, S., Sugitani, T. (1988). Case Histories of Slope Failure during Past Earthquakes in Japan. Proc. of the 23th JSSMFE. (in giapponese)
- Yasuda, S., Tohno, I. (1988). Sites of Reliquefaction caused by the 1983 Nihonkai-Chubu Earthquake. *Soils and Foundations*. Vol. 28, N. 2.