



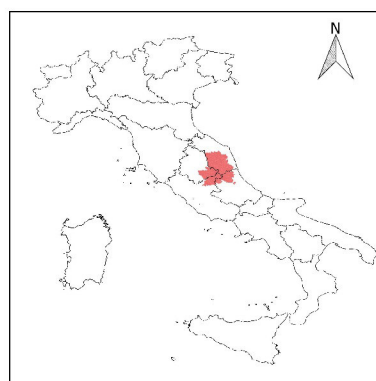
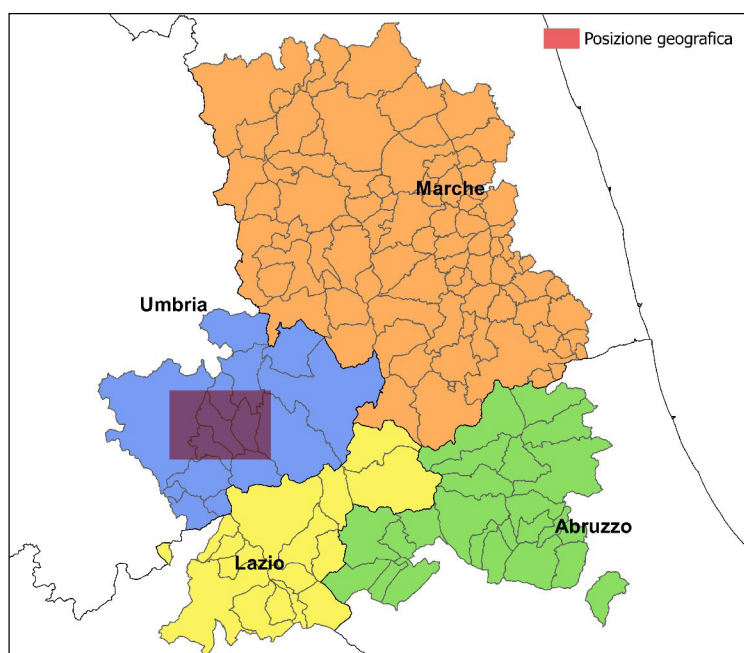
COMMISSARIO STRAORDINARIO RICOSTRUZIONE SISMA - 2016

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Umbria Comune di Sant'Anatolia di Narco



Soggetto realizzatore
RTP MS3

Geol. Margherita Lemmi
Geol. Oliviero Lolli
Geol. Sandro Zeni

Data e revisione
Dicembre 2017

rev.2

CENTROMS

CENTRO PER LA
MICROZONAZIONE SISMICA
E LE SUE APPLICAZIONI

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI SANT'ANATOLIA DI NARCO

ai sensi dell'Ordinanza del Commissario Straordinario n. 24 registrata il 15.05.2017 al n. 1065.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

INDICE

1. Introduzione
 - 1.1. Finalità degli studi
 - 1.2. Inquadramento geografico
 - 1.3. Documenti di base
 - 1.4. Aree di studio
2. Programma di lavoro e cronoprogramma delle indagini
3. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento
 - 3.1. Sismicità storica
 - 3.2. Sismicità recente - Sequenza sismica 2016-2017
 - 3.3. Pericolosità sismica di base
4. Assetto geologico e geomorfologico dell'area
 - 4.1. Inquadramento geologico
 - 4.2. Assetto stratigrafico
 - 4.3. Elementi tettonici
 - 4.4. Assetto geomorfologico
 - 4.5. Assetto geologico e geomorfologico delle aree in studio
5. Dati geotecnici e geofisici
 - 5.1. Dati pregressi
 - 5.2. Dati acquisiti
 - 5.2.1. Profili in tecnica MASW
 - 5.2.2. Profili sismici a rifrazione
 - 5.2.3. Acquisizioni HVSR
 - 5.2.4. Sondaggio geognostico DH
 - 5.2.5. Archiviazione e specifiche sulle nuove indagini
6. Metodologie di elaborazione e risultati
 - 6.1. Inversioni congiunte
 - 6.2. Profili sismici a rifrazione
 - 6.3. Modellazione 1D
 - 6.4. Modellazione 2D
7. Modello del sottosuolo

- 7.1. Carta geologico-tecnica
 - 7.1.1. Substrato
 - 7.1.2. Terreni di copertura
- 7.2. Carta delle MOPS
 - 7.2.1. Aree stabili
 - 7.2.2. Aree stabili suscettibili di amplificazione
- 8. Interpretazioni e incertezze
- 9. Categoria del sottosuolo
- 10. Elaborati cartografici
- 11. Bibliografia

Allegati

- Carta delle Indagini in scala 1:5.000
- Carta delle Frequenze naturali dei terreni in scala 1:5.000
- Carta Geologico-Tecnica per la MS (CGT_MS)
- Sezioni geologico-tecniche
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)
- Carte di Microzonazione Sismica (MS)
- Accelerogrammi calcolati in superficie
- Spettri di risposta in accelerazione

1. INTRODUZIONE

In ottemperanza all'Ordinanza n. 24 del 12 maggio 2017 *“Assegnazione dei finanziamenti per gli studi di microzonazione sismica di III livello ai Comuni interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 agosto 2016 e proroga di termini di cui all'ordinanza n. 13 del 9 gennaio 2017”*, emanata dal Commissario Straordinario del Governo per la ricostruzione nei territori interessati dal sisma del 24 agosto 2016, il Comune di Sant'Anatolia di Narco (PG) ha assegnato l'incarico di eseguire gli studi di microzonazione di Livello 3 al raggruppamento temporaneo di professionisti denominato RTP_MS3, composto da Geol. Margherita Lemmi, Geol. Oliviero Lolli, Geol. Sandro Zeni, appositamente costituitosi con atto del 12 giugno 2017.

1.1. FINALITÀ DEGLI STUDI

Lo studio di MS di livello III, come ribadito nel “Disciplinare di incarico professionale per lo studio di microzonazione sismica di livello 3 del Comune di Sant'Anatolia di Narco” del 07.07.2017, è finalizzato a quantificare la pericolosità sismica locale delle microzone e alla redazione delle Carte di microzonazione sismica di livello 3 alla scala 1:5.000. Lo studio consente di associare valori dei fattori di amplificazione FA e spettri medi di risposta alle zone soggette ad amplificazione sismica per effetti di sito e fornisce ai Comuni uno strumento da utilizzare per la pianificazione e la progettazione nelle località individuate per gli approfondimenti di livello 3.

L'auspicio è che i risultati degli studi di microzonazione di livello 3 possano costituire la base metodologica per affidabili analisi di Risposta Sismica Locale in ogni specifico sito che necessiti di nuovi interventi edilizi, di adeguamento o di ricostruzione degli edifici in un territorio ad elevata pericolosità sismica, al fine di una riduzione programmata e consapevole del rischio.

Lo studio è stato realizzato, in coordinamento con il Centro per la Microzonazione Sismica del CNR (CentroMS o CMS nel testo), secondo le indicazioni contenute nei seguenti documenti tecnici di riferimento:

- **Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (I.C.M.S.)**, redatto dal Dipartimento della protezione Civile; approvato il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle regioni e delle provincie Autonome;
- **Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica, versione 4.0b** redatto dalla Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica (CTMS), Roma, ottobre 2015.

1.2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il Comune di Sant'Anatolia di Narco, in Provincia di Perugia (Regione Umbria), è un'area montuosa con rilievi che culminano nella cima di M. Coscerno (1.685 m s.l.m.) (Appennino umbro-marchigiano, Umbria sud-orientale), profondamente incisi dal F. Nera, che attraversa il territorio da nord a sud. L'area rientra nel bacino idrografico del F. Tevere, di competenza dell'Autorità di Bacino omonima (AB Tevere; <http://www.abtevere.it>).

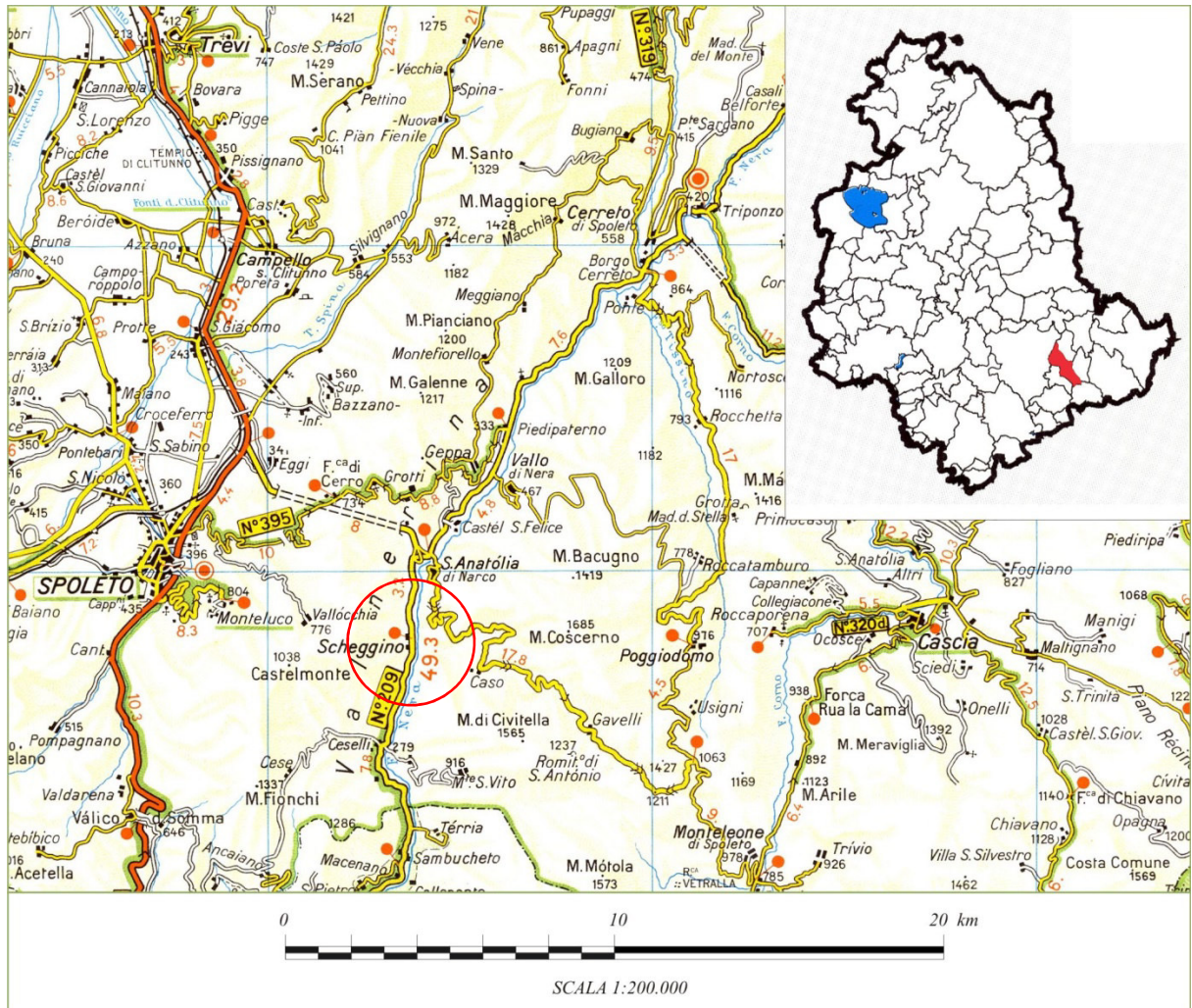


Fig. 1 – Inquadramento geografico. Area di studio: Sant'Anatolia di Narco.

La valle del F. Nera, dove si trova l'area oggetto di studio (centro abitato di Sant'Anatolia di Narco), divide la dorsale di M. Maggiore - M. Fionchi, ad ovest, dalla dorsale di M. Coscerno – M. Aspra, ad est (Fig. 1). Il territorio rientra nel comprensorio della Valnerina, di inestimabile valore paesaggistico e naturalistico, ma anche storico e culturale.

DOCUMENTI DI BASE

Lo studio di Microzonazione Sismica di livello III (MS3) si pone in continuità con gli studi di Microzonazione Sismica di livello I (MS1) e II (MS2):

REGIONE UMBRIA, COMUNE DI SANT'ANATOLIA DI NARCO (2013) – *OPCM n. 4007 del 29 febbraio 2012 – Annualità 2011; DGR 1112/2012 Interventi di prevenzione del rischio sismico. Effettuazione delle indagini di Microzonazione Sismica (MZS) - Microzonazione sismica di I e II Livello*. Geol. Biagio Marco Sotera, 8 ottobre 2013.

Per l'espletamento degli studi di approfondimento di MS3, incentrati su nuove acquisizioni geofisiche, sulla realizzazione di un sondaggio con prova down hole, sulle modellazioni e redazioni delle cartografie tematiche, è stato necessario ricorrere a strumenti di base quali cartografie e studi pregressi di seguito brevemente illustrati.

CARTOGRAFIA DI BASE

Le principali basi cartografiche di riferimento per l'area studiata sono:

- ◆ IGM – Carta Topografica d'Italia in scala 1:50.000, F.° 336 "Spoleto";
- ◆ IGM – tavoletta in scala 1:25.000, F.° 131 II S.E. "S. Anatolia di Narco";
- ◆ Regione Umbria - Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000, Sezione 336060 "Scheggino" e Sezione 336070 "Sant'Anatolia di Narco".

Come base delle carte tematiche di MS3 sono state utilizzate le basi topografiche in scala 1:5.000 - Sezioni 336061 e 336074.

I dati cartografici sono stati integrati dalle informazioni derivanti da immagini del territorio derivanti sia da foto aeree (tra cui volo EIRA 1971) sia, soprattutto, da immagini satellitari (<http://earth.google.com>).

CARTOGRAFIA TEMATICA

Per l'inquadramento geologico si è ricorso alla cartografia geologica ufficiale:

- Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, F.° 131 FOLIGNO (Servizio Geologico d'Italia, 1967);
- Carta Geologica Regionale in scala 1:10.000, Sez. 336060 "Scheggino" (REGIONE UMBRIA, 2001) – 336070 "Sant'Anatolia di Narco" (REGIONE UMBRIA, 1993-1995);
- Carta Geologica in scala 1:50.000 F.° 336 SPOLETO (ISPRA, 2011).

Per ulteriori informazioni sono stati consultati i prodotti disponibili nel portale cartografico regionale (<http://www.umbriageo.regione.umbria.it>).

INDAGINI PREGRESSE

Oltre alle indagini pregresse raccolte ed eseguite nel corso degli studi di MS1 e MS2 (REGIONE UMBRIA, COMUNE DI SANT'ANATOLIA DI NARCO; 2013), archiviate anche nella banca dati delle indagini geognostiche e geofisiche della Regione Umbria (<http://www.regione.umbria.it/paesaggio-urbanistica/banca-dati-delle-indagini-geognostiche-e-geofisiche-per-google-earth>), non sono state reperite ulteriori indagini eseguite entro l'area perimetrata per gli studi di MS3, stante anche il fatto che gli interventi edilizi, in questi ultimi anni, hanno avuto carattere sporadico e con essi le indagini geognostiche e geofisiche.

Indagini per interventi post sisma 2016, al momento degli studi di MS3, a nostra conoscenza, non erano state ancora effettuate.

STUDI PREGRESSI

Gli approfondimenti di studio per la MS3 tengono conto di numerosi studi specialistici di geologia, geomorfologia e idrogeologia condotti nell'area di Sant'Anatolia di Narco che vanta, nel gruppo montuoso di M. di Civitella – M. Coscerno e nella dorsale di M. Maggiore, importanti emergenze geologiche e geomorfologiche. Si citano a titolo di esempio solo alcuni di questi studi, ritenuti più importanti:

ISPRA – SERV. GEOL. D'IT. (2011) – *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 336 SPOLETO*. Coordinatore Scientifico: A.V. Damiani

ACCORDI B. & MORETTI A. (1967) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 131 FOLIGNO*. Serv. Geol. d'It., pp. 61. Poligrafica & Cartevalori, Ercolano (Napoli).

CARDINALI M., DRAGONI W. & GUZZETTI F. (1989) - *Prime osservazioni sui probabili fenomeni gravitativi di versante del Monte Coscerno (Valle del Nera, Appennino umbro-marchigiano)*. Boll. Soc. Geol. It., **108** (3): 373-378.

BARCHI M., CARDINALI M., GUZZETTI F. & LEMMI M. (1993) - *Relazioni tra movimenti di versante e fenomeni tettonici nell'area del M. Coscerno-M. di Civitella, Valnerina (Umbria)*. Boll. Soc. Geol. It., **112**: 83-111.

BARCHI M & LEMMI M. (1996) - *Geologia dell'area di Monte Coscerno–M. di Civitella, Valnerina (Umbria sud-orientale)*. Boll. Soc. Geol. It., **115**: 601-624.

Per l'**inquadramento idrogeologico** dell'area si rimanda in particolare al seguente studio:

BONI C. & PREZIOSI E. (1993) – *Una possibile simulazione numerica dell'acquifero basale di M. Coscerno – M. Aspra (bacino del F. Nera)*.

Per verificare la perimetrazione delle aree in frana o a rischio idrogeologico sono stati consultati:

- schede delle *Aree ad elevato rischio idrogeologico D.L. 180/98* (AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME TEVERE, 2000);
- elaborati del *Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico – PAI* (AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME TEVERE, 2002);
- schede dell'*Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia* (IFFI) (Regione Marche, Sistema Informativo territoriale; www.cartografia.marche.it);
- *Carta Inventario dei Fenomeni Franosi della Regione Umbria ed aree limitrofe* redatta dal Consiglio Nazionale delle Ricerche – CNR IRPI (GUZZETTI & CARDINALI, 1989).

1.3. AREE DI STUDIO

L'area oggetto di studio di approfondimenti per la MS3 è stata individuata dagli enti attuatori, Regione Umbria e Comune di Sant'Anatolia di Narco, e corrisponde a Sant'Anatolia di Narco capoluogo, con il centro storico e la zona di espansione nella valle del F. Nera e del F.so delle Scentelle, come da carta di Fig. 2.

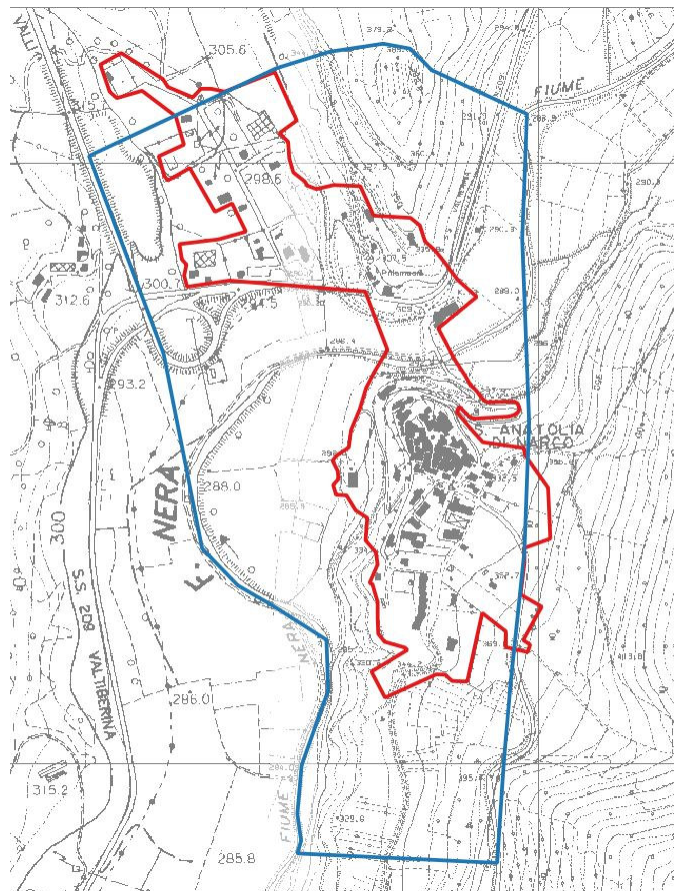


Fig. 2 – Delimitazione area di studio MS3. Con la linea rossa è perimetrata l'area ISTAT, oggetto di studi di MS3; la perimetrazione con la linea verde indica l'area di studio di MS1.

L'area ISTAT è descritta nella seguente tabella:

OBJECTID	COD_ISTAT	COD_REG	COD_PRO	PRO_COM	LOC2011	LOC	TIPO_LOC	DENOMINAZIONE
36991	10054045	10	54	54045	5404510003	10003	1	Sant'Anatolia di Narco

Le caratteristiche altimetriche, di popolazione residente, entità edificato e superfici (in m²) dell'area ISTAT sono riportate nella successiva tabella.

DENOMINAZIONE	ALTITUDINE	CENTRO_CL	POPRES	MASCHI	FAMIGLIE	ABITAZIONI	EDIFICI	SHAPE LENG	SHAPE AREA
Sant'Anatolia di Narco	328	1	268	142	118	155	118	4138,14	241321,45

Il centro abitato di Sant'Anatolia di Narco, capoluogo dell'omonimo comune e sede comunale, centro storico di grande interesse artistico e culturale, ha subito danni lievi e localizzati a seguito del sisma del 24 agosto 2016, che si sono aggravati con i successivi forti terremoti del 26 ottobre e del 30 ottobre 2016. Il centro storico, anche grazie agli interventi di ristrutturazione attuati in passato, ha conservato la sua integrità e funzionalità, stante anche la distanza dagli epicentri dei forti terremoti dello sciame sismico 2016-2017, che ha contribuito ad attenuare il moto sismico.

2. PROGRAMMA DI LAVORO E CRONOPROGRAMMA DELLE INDAGINI

Il programma di lavoro si è svolto come da disciplinare di incarico, Art. 2 Attività:

1. Raccolta ed elaborazione dei dati pregressi;
2. Definizione del piano di indagini integrative minime (30 agosto 2017), con n. 3 MASW, n. 3 profili sismici a rifrazione in onde P, n. 9 HVSR, n. 1 sondaggio per *down hole* (DH1), concordato con il referente del CentroMS, Prof.ssa Floriana Pergalani;
3. Integrazione dei rilievi geologico tecnici di dettaglio;
4. Esecuzione delle indagini integrative;
5. Archiviazione dei dati e dei metadati;
6. Realizzazione della Carta delle frequenze naturali dei terreni;
7. Revisione della Carta Geologico tecnica e sezioni geologico tecniche;
8. Definizione del modello di sottosuolo finalizzato allo studio di MS;
9. Revisione della Carta delle MOPS;
10. Esecuzione di analisi numeriche monodimensionali (1D) di risposta sismica locale;
11. Realizzazione delle Carte di MS di livello 3, con indicazione dei fattori di amplificazione e degli spettri di risposta in accelerazione;
12. Redazione della relazione illustrativa.

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

Il territorio di Sant'Anatolia di Narco rientra in un settore dell'Appennino umbro marchigiano ad elevata sismicità (Fig. 3); oltre ad essere zona epicentrale, l'area risente dei terremoti più numerosi ed intensi che si originano nelle adiacenti zone sismiche orientali (es. nursino, casciano, aquilano).

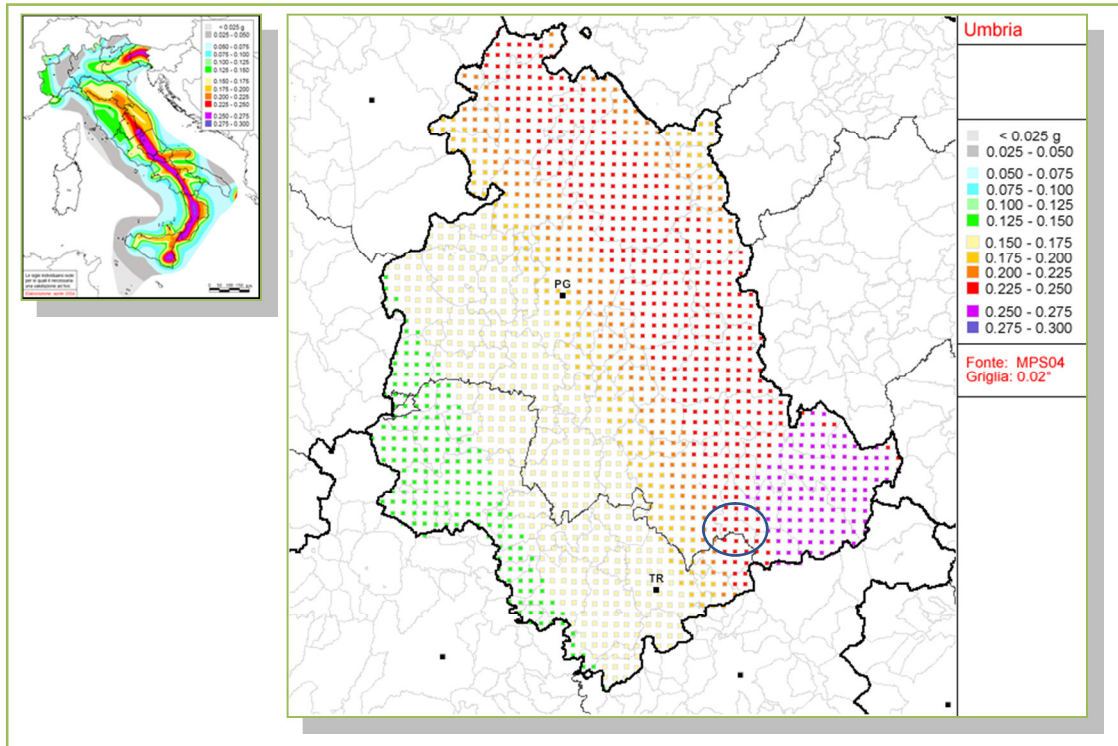


Fig. 3 – MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA. Mappa dell'Umbria di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006).

In relazione all'O.P.C.M. n. 3274, l'area di studio ricade nella zona 923 "Appennino Abruzzese" con MwMax pari a 7.06, al limite con la zona 919 "Appennino umbro" con MwMax pari a 6.37 (Fig. 4).

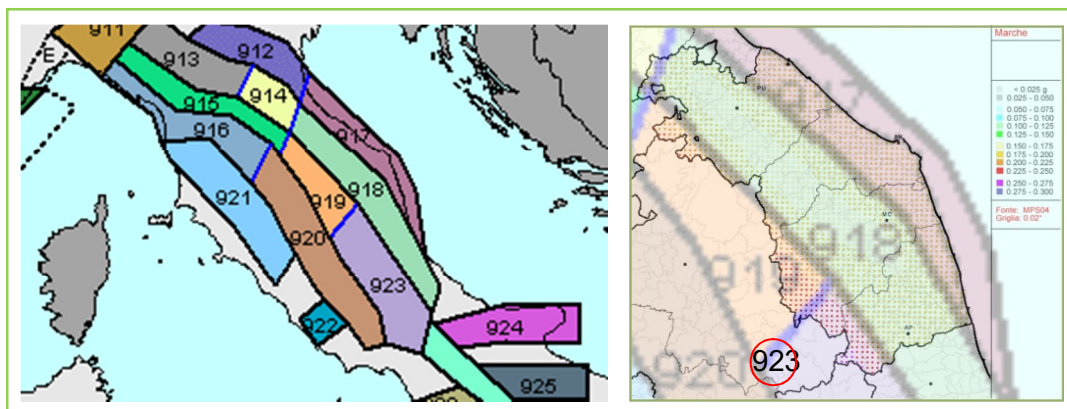


Fig. 4 – Zone sismogenetiche. La zona studiata (cerchio rosso) ricade per lo più nella zona sismogenetica ZS9 n. 923, Appennino Abruzzese.

3.1. SISMICITÀ STORICA

Al fine di analizzare la pericolosità sismica del territorio di Sant'Anatolia di Narco, sono stati estratti dal catalogo DBMI11 dell'INGV (<http://emidius.mi.ingv.it>) i terremoti che hanno prodotto danni documentati.

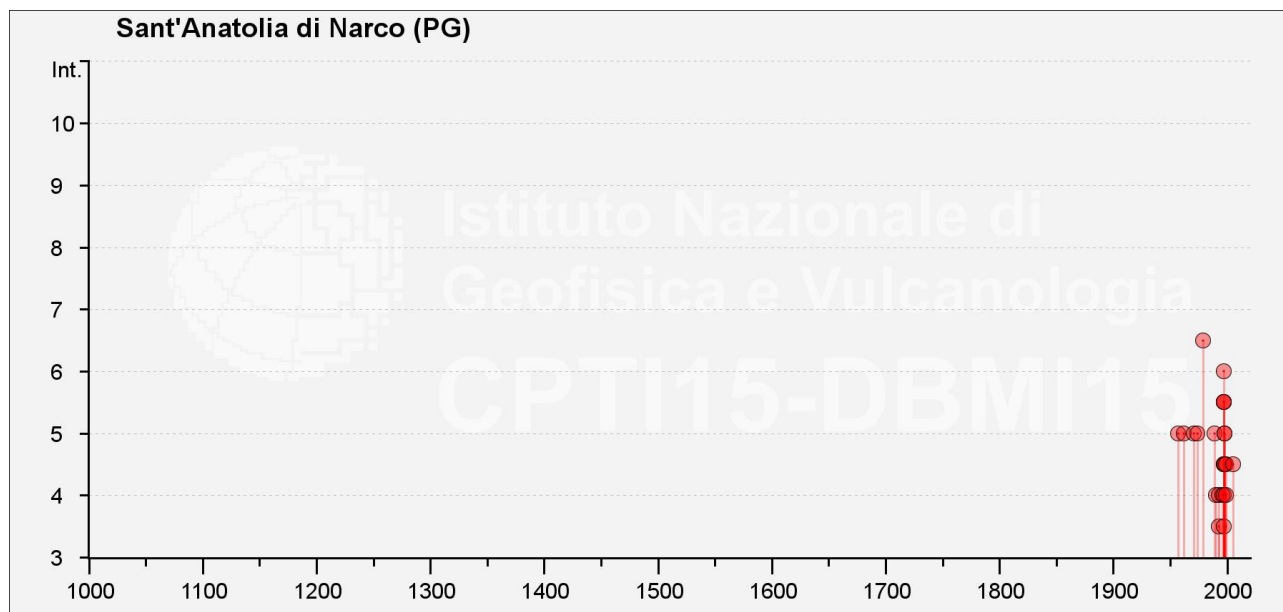
Nell'area studiata le intensità macrosismiche possono raggiungere il grado 7 - 8 della scala MCS (Mercalli Cancani Sieberg); intensità di 4 - 5 MCS sono ben più frequenti e possono avere tempi di ritorno di poche decine di anni.

Nella tabella, Is è l'intensità MCS locale, mentre I_{max} è l'intensità massima epicentrale.

File downloaded from CPTI15 - DBMI15					
Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015					
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia					
Seismic history of	Sant'Anatolia di Narco				
PlaceID	IT_49565				
Coordinates (lat, lon)	42.734, 12.836				
Municipality (ISTAT 2015)	Sant'Anatolia di Narco				
Province	Perugia				
Region	Umbria				
No. of reported earthquakes	36				
Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
F	1876 05 22 00 30	Spoletto	14	5-6	4,57
5	1957 07 19 09 04 07.00	Valle Umbra	58	6-7	4,58
5	1962 08 30 12 10	Valnerina	35	7	5,02
F	1969 09 26 23 40 39.00	Teramano	97	5	4,39
5	1971 04 02 01 43 54.00	Valnerina	68	6	4,5
5	1974 12 02 01 55 15.00	Valnerina	27	7-8	4,58
F	1978 07 30 05 19 23.00	Ternano	25	7	4,32
6-7	1979 09 19 21 35 37.00	Valnerina	694	8-9	5,83
NF	1980 11 23 18 34 52.00	Irpinia-Basilicata	1394	10	6,81
NF	1989 11 19 03 40 22.54	Valnerina	38	5	4,13
5	1989 12 22 06 48 13.91	Valle Umbra	114	5	4,44
4	1990 09 12 02 59 44.87	Valle Umbra	62	5-6	4,12
3-4	1993 06 04 21 36 50.60	Valle del Topino	90	5-6	4,39
4	1993 06 05 19 16 17.02	Valle del Topino	326	6	4,72
NF	1994 06 02 17 38 13.82	Aquilano	106	5	4,21
4	1996 10 20 19 06 55.57	Appennino laziale-abruzzese	100	5	4,36
3-4	1997 09 07 23 28 05.79	Appennino umbro-marchigiano	57	5-6	4,19
NF	1997 09 09 16 54 47.50	Appennino umbro-marchigiano	39	5-6	3,78
NF	1997 09 10 06 46 50.78	Appennino umbro-marchigiano	47	5	3,85
5-6	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5,66
5-6	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5,97

4-5	1997 10 03 08 55 22.07	Appennino umbro-marchigiano	490		5,22
5-6	1997 10 06 23 24 53.29	Appennino umbro-marchigiano	437		5,47
6	1997 10 14 15 23 10.64	Valnerina	786		5,62
4-5	1997 10 23 08 58 43.96	Appennino umbro-marchigiano	56		3,86
4	1997 11 09 19 07 33.27	Valnerina	180		4,87
2	1998 02 16 13 45 19.00	Valnerina	33		3,75
4-5	1998 03 21 16 45 09.21	Appennino umbro-marchigiano	141		5
5	1998 03 26 16 26 17.03	Appennino umbro-marchigiano	409		5,26
5	1998 04 05 15 52 21.01	Appennino umbro-marchigiano	395		4,78
2	1998 08 15 05 18 08.89	Reatino	233	5-6	4,42
4-5	1999 10 10 15 35 51.91	Alto Reatino	79	4-5	4,21
4	1999 11 29 03 20 33.86	Monti della Laga	62	5-6	4,15
NF	2000 09 02 05 17 02.41	Appennino umbro-marchigiano	115	5	4,4
NF	2000 12 16 07 31 07.66	Ternano	129	5-6	4,29
4-5	2005 12 15 13 28 39.59	Val Nerina	350	5	4,14

Dei terremoti catalogati si riporta il relativo diagramma che evidenzia una **intensità massima di 6 - 7 gradi MCS** per il terremoto del 1979.



CLASSIFICAZIONE SISMICA

Il territorio comunale di Sant'Anatolia di Narco è attualmente classificato come **Zona Sismica di I Categoria** (Ord. n. 3274 del 20 marzo 2003, All. 1) o **Zona 1** (Elenco Zone Sismiche della Regione Umbria).

3.2. SISMICITÀ RECENTE - SEQUENZA SISMICA 2016-2017

Lo sciame sismico iniziato il 19 settembre 1979 è stato per tutta la Valnerina un grave evento, con interi centri abitati distrutti e intensità pari al 6 - 7 grado per Sant'Anatolia di Narco ed il suo territorio. La sequenza sismica del 1997-1998 dell'Appennino umbro-marchigiano ha avuto un forte risentimento, minore rispetto al 1979, essendo l'area epicentrale più distante e spostata più a nord.

Nuovamente Sant'Anatolia di Narco e il suo territorio hanno sofferto per i forti terremoti succedutisi nella sequenza sismica iniziata il 24 agosto 2016 e tuttora in atto. Il terremoto più distruttivo della sequenza del 2016 – 2017, ad oggi, è quello del 30 ottobre 2016, ora italiana 07:40, con Mw 6.5 con una stima di intensità massima raggiunta nel territorio in studio pari a 6 - 7 grado scala MCS (Mercalli Cancani Sieberg), paragonabile quindi all'evento del 1979 (Fig. 5).

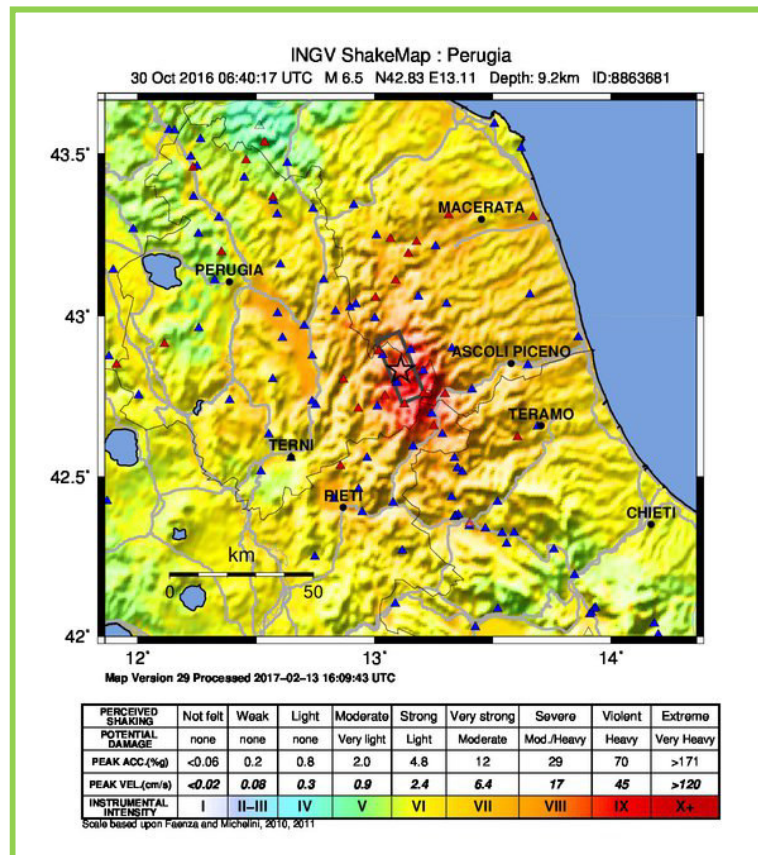
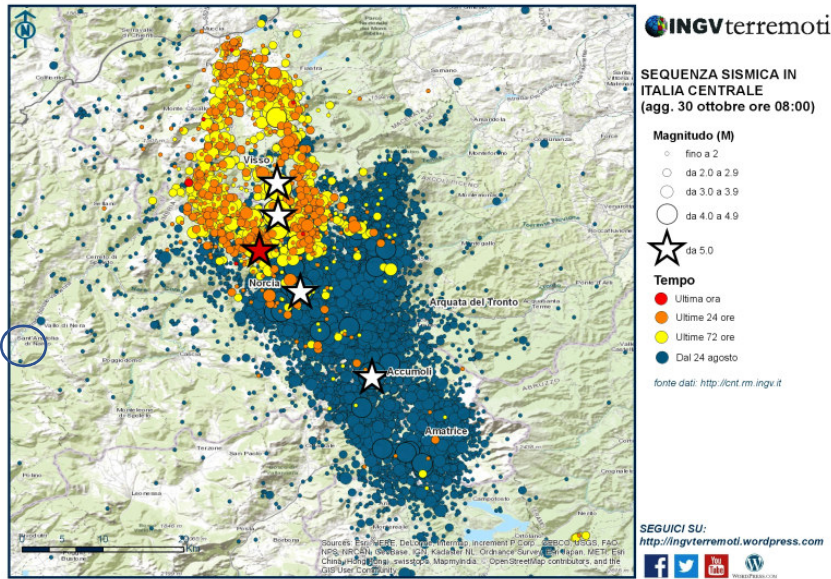


Fig. 5 – Mappa di scuotimento del terremoto del 30 ottobre 2016 MW 6.5

Il terremoto del 30 ottobre è stato preceduto da due forti terremoti avvenuti il 26 ottobre di Mw 5,4 delle ore 19:10 e Mw 5,9 delle ore 21:18 (ora italiana) con epicentri molto prossimi a Visso (Fig. 6); gli epicentri dei forti terremoti dello sciame del 2016-2017 si trovano ad est dell'area in studio e ad una distanza maggiore di 30 km.



2016-08-24 01:36:32.000 UTC;
H: 8.1 km; M: 6.0

2016-08-24 02:33:28.890 UTC;
H: 8.0; M: 5.3

2016-10-26 17:10:36.340 UTC;
H: 8.7 km; M: 5.4

2016-10-26 19:18:05.850 UTC;
H: 7.5 km; M: 5.9

2016-10-30 06:40:17.360 UTC;
H: 9.2; M: 6.5

H : profondità
M: magnitudo

Fig. 6 – Sequenza sismica iniziata il 24 agosto 2016. Aggiornamento del 30 ottobre 2016, ore 08:00. L'epicentro del terremoto più forte del 30 ottobre 2016 è contrassegnato dalla stella rossa; a sud di questa le stelle bianche indicano i terremoti del 24 agosto 2016 mentre le due stelle a nord posizionano gli epicentri dei due forti terremoti del 26 ottobre.

Si riporta l'elenco degli eventi con magnitudo maggiore o uguale a 4.0 succedutisi dal 24 agosto 2016 al 30 dicembre 2017 estratto da ISIDE, data base di INGV (<http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>).

#Data Da: 2016/08/01 A: 2017/12/30				
#Area Comune: Cascia Distanza (km): 50.0				
#Magnitudo Min: 4.0 Max: 10.0 Tipo: Mag pref				
#Profondità (km) Min: ND Max: ND				
#Terremoti totali: 72				
#Tempo Origine (UTC)	Latitudine	Longitudine	Profondità	Magnitudo
2016-08-24 01:36:32.000	42.698	13.234	8.1	6.0--Mw
2016-08-24 01:37:26.580	42.712	13.253	9.0	4.5--ML
2016-08-24 01:56:00.580	42.601	13.276	7.7	4.3--Mw
2016-08-24 02:33:28.890	42.792	13.151	8.0	5.3--Mw
2016-08-24 03:40:10.930	42.614	13.244	10.7	4.1--Mw
2016-08-24 04:06:50.980	42.771	13.124	6.2	4.4--Mw
2016-08-24 11:50:30.560	42.820	13.160	9.8	4.5--Mw
2016-08-24 17:46:09.500	42.659	13.215	10.3	4.2--Mw
2016-08-24 23:22:05.830	42.654	13.210	11.8	4.0--Mw
2016-08-25 03:17:16.700	42.745	13.193	9.0	4.3--Mw
2016-08-25 12:36:05.210	42.600	13.282	7.5	4.4--Mw
2016-08-26 04:28:25.910	42.605	13.292	8.7	4.8--Mw
2016-08-27 02:50:59.310	42.843	13.238	7.8	4.0--Mw
2016-08-28 15:55:35.390	42.823	13.232	8.7	4.2--Mw
2016-09-03 01:34:12.150	42.770	13.132	8.9	4.2--Mw
2016-09-03 10:18:51.210	42.861	13.217	8.3	4.3--Mw

2016-10-16 09:32:35.480	42.748	13.176	9.2	4.0--Mw
2016-10-26 17:10:36.340	42.880	13.128	8.7	5.4--Mw
2016-10-26 19:16:57.080	42.879	13.157	8.4	4.3--ML
2016-10-26 19:18:05.850	42.909	13.129	7.5	5.9--Mw
2016-10-26 21:42:01.940	42.863	13.121	9.9	4.5--Mw
2016-10-27 03:19:27.130	42.843	13.143	9.2	4.0--Mw
2016-10-27 03:50:24.080	42.984	13.120	8.7	4.1--Mw
2016-10-27 08:21:45.600	42.873	13.097	9.4	4.3--Mw
2016-10-27 17:22:22.920	42.839	13.099	9.0	4.2--Mw
2016-10-29 16:24:33.170	42.811	13.095	10.9	4.1--Mw
2016-10-30 06:40:17.360	42.832	13.111	9.2	6.5--Mw
2016-10-30 06:41:17.010	42.772	13.136	9.3	4.3--ML
2016-10-30 06:43:08.810	42.767	13.138	9.7	4.0--ML
2016-10-30 06:44:30.670	42.855	13.085	8.3	4.4--ML
2016-10-30 06:55:54.210	42.751	13.231	10.9	4.1--ML
2016-10-30 06:56:05.780	42.799	13.108	10.5	4.2--ML
2016-10-30 07:01:32.690	42.777	13.223	9.4	4.0--ML
2016-10-30 07:05:56.340	42.796	13.161	9.1	4.1--ML
2016-10-30 07:06:45.200	42.874	13.057	9.9	4.1--ML
2016-10-30 07:07:53.690	42.715	13.188	10.2	4.1--ML
2016-10-30 07:08:35.450	42.713	13.142	9.9	4.2--ML
2016-10-30 07:13:05.210	42.693	13.226	10.6	4.2--ML
2016-10-30 07:34:47.900	42.927	13.133	9.5	4.0--ML
2016-10-30 07:38:59.030	42.682	13.157	10.7	4.0--ML
2016-10-30 08:35:58.560	42.837	13.079	10.3	4.3--Mw
2016-10-30 11:21:08.660	43.062	13.066	7.7	4.0--Mw
2016-10-30 11:58:17.460	42.845	13.057	9.8	4.0--Mw
2016-10-30 12:07:00.210	42.842	13.076	9.7	4.5--Mw
2016-10-30 13:34:54.400	42.806	13.166	9.6	4.1--Mw
2016-10-30 18:21:09.000	42.782	13.150	8.5	4.0--Mw
2016-10-31 03:27:40.300	42.761	13.086	10.6	4.0--Mw
2016-10-31 07:05:44.890	42.839	13.126	9.5	4.0--Mw
2016-11-01 07:56:40.340	42.990	13.135	8.3	4.8--Mw
2016-11-01 18:03:07.660	42.800	13.157	9.4	4.0--ML
2016-11-03 00:35:01.290	43.028	13.049	8.1	4.7--Mw
2016-11-12 14:43:33.860	42.719	13.206	9.8	4.1--Mw
2016-11-14 01:33:43.970	42.859	13.156	10.9	4.1--ML
2016-11-29 16:14:02.690	42.529	13.280	11.1	4.4--Mw
2016-12-11 12:54:52.970	42.905	13.118	8.5	4.3--ML
2017-01-18 09:25:40.390	42.545	13.277	10.0	5.1--Mw
2017-01-18 10:14:09.900	42.531	13.284	9.6	5.5--Mw
2017-01-18 10:15:33.400	42.528	13.285	8.8	4.7--ML
2017-01-18 10:16:39.600	42.538	13.268	8.2	4.6--ML
2017-01-18 10:24:14.200	42.581	13.311	8.7	4.0--ML
2017-01-18 10:25:23.730	42.503	13.277	9.4	5.4--Mw
2017-01-18 10:39:24.700	42.533	13.271	10.3	4.1--ML
2017-01-18 11:07:37.170	42.620	13.256	10.7	4.1--Mw

2017-01-18 13:33:36.740	42.473	13.275	9.5	5.0--Mw
2017-01-18 15:16:10.420	42.600	13.288	9.0	4.3--Mw
2017-01-18 19:32:31.890	42.581	13.233	10.9	4.2--Mw
2017-02-03 03:47:55.870	42.993	13.020	7.1	4.0--Mw
2017-02-03 04:10:05.320	42.992	13.017	7.1	4.2--Mw
2017-04-27 21:16:58.780	42.957	13.046	7.9	4.0--Mw
2017-04-27 21:19:42.650	42.952	13.047	7.9	4.0--Mw
2017-07-22 02:13:08.050	42.567	13.326	13.3	4.0--Mw
2017-12-03 23:34:11.200	42.624	13.325	7.6	4.0--Mw

Lo sciame, che ha avuto una ripresa il 18 gennaio 2017 nella zona di Campotosto, è tuttora in atto. Ad oggi i dati riportano un lento e progressivo esaurimento della sismicità, con una diminuzione media sia del numero di eventi al giorno sia di intensità (Fig. 7).

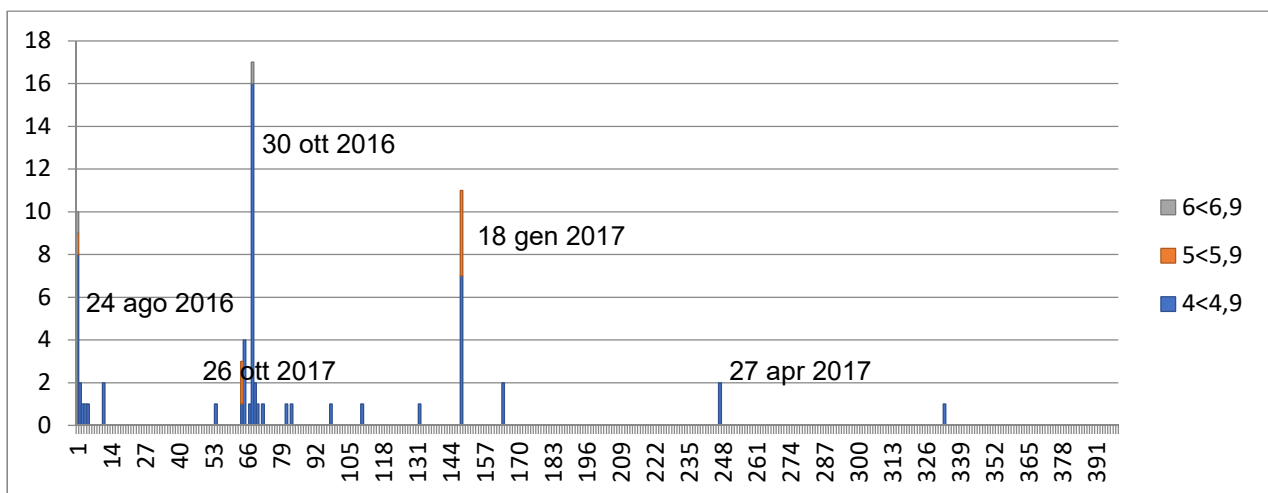
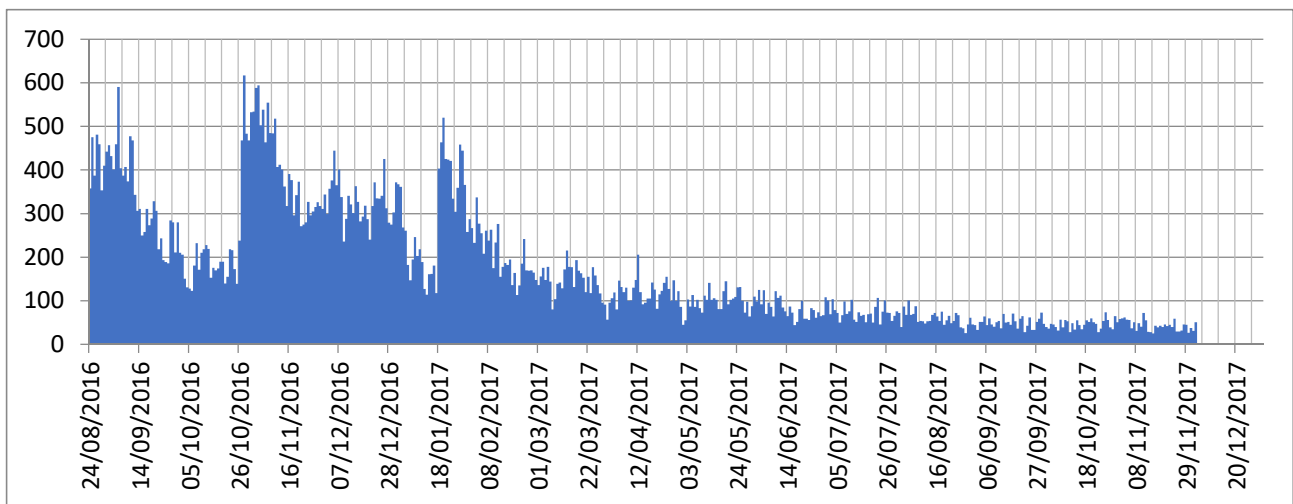


Fig. 7 – Sequenza sismica 2016-2017. Grafico 1: n.° eventi al giorno (di magnitudo qualsiasi), dal 24 agosto 2016 al 03 dicembre 2017. Grafico 2: n.° eventi con $M \geq 4.0$.

3.3. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La **pericolosità sismica di base** è definita in termini di **accelerazione orizzontale massima attesa a_g** in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (di categoria A) con superficie topografica orizzontale, nonché di **ordinate dello spettro di risposta elastico** in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{V_R} , nel periodo di riferimento V_R (NTC, 2008; § 3.2).

MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA

Si riporta in Fig. 8 la mappa di pericolosità sismica in termini di accelerazione massima del suolo a_g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, pari ad un periodo di ritorno T_R di riferimento di 475 anni, riferita a suoli rigidi; la mappa è estratta da <http://esse1-gis.mi.ingv.it> (Gruppo di Lavoro MPS - 2004. *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003*. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, 2004).

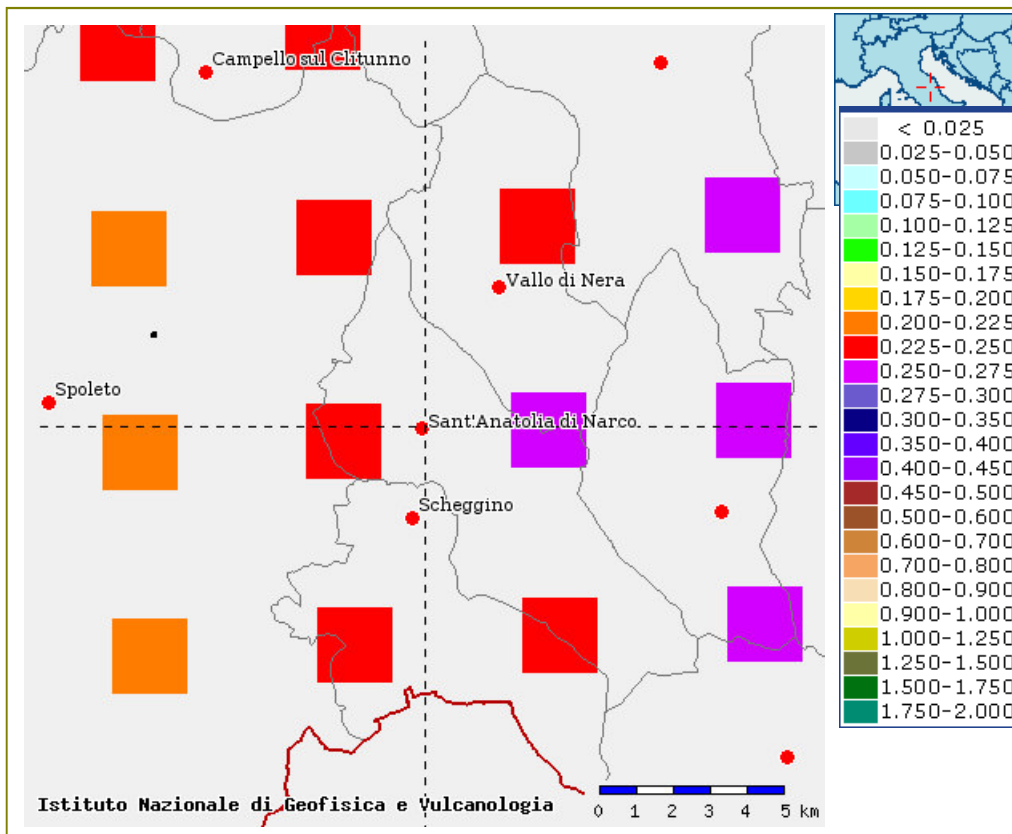


Fig. 8 – Mappa di pericolosità sismica. Parametro a_g . Probabilità in 50 anni: 10%. 50° percentile. Per a_g si riscontrano valori tra 0.225 g e 0.250 g.

4. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

4.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il territorio di Sant'Anatolia di Narco ricade nell'Appennino Umbro-marchigiano meridionale (Umbria sud-orientale) una catena a pieghe e sovrascorrimenti con direzioni assiali da "appenniniche" (direzione NNO – SSE) a meridiane (direzione N-S), strutturatasi a partire dal Miocene superiore, dislocata da successive strutture a componente distensiva plio-pleistoceniche, in parte tuttora attive e responsabili della sismicità dell'area.

L'area di studio, evidenziata in Fig. 9 dal cerchio, è caratterizzata da depositi alluvionali del F. Nera, da depositi fluviali antichi terrazzati e da substrato roccioso calcareo (Scaglia s.l.).

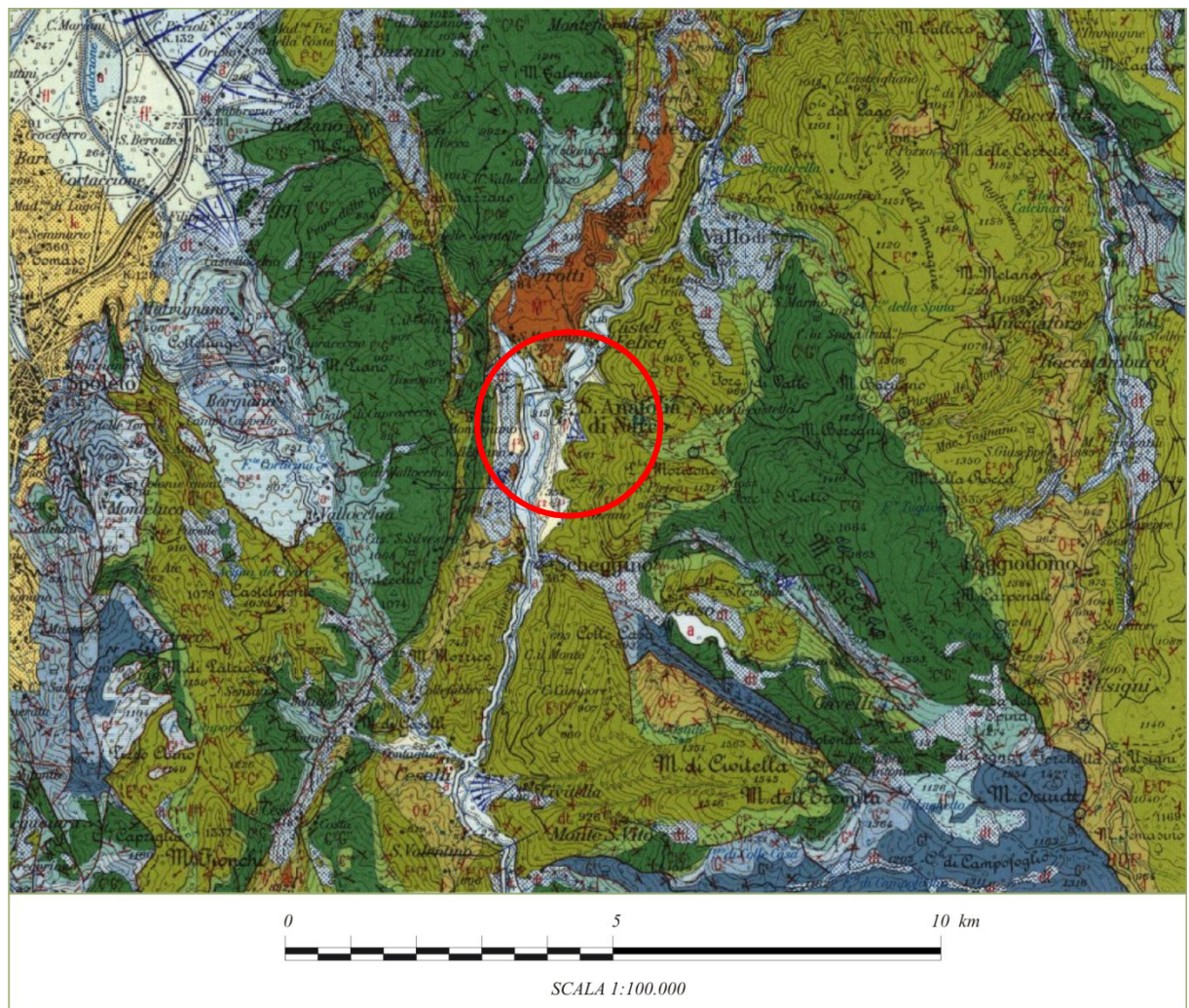
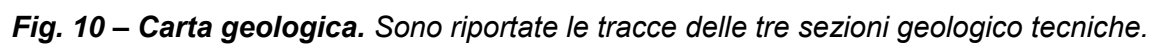


Fig. 9 – Inquadramento geologico. Stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, F.° 131 "Foligno". L'area studiata è evidenziata dal cerchio rosso.

Al fine di restituire un modello geologico attendibile, su cui fare le successive analisi di risposta sismica, è stata dedicata particolare cura alla carta geologica che interpreta dati di rilevamento di campagna pregressi e di nuova acquisizione (Fig. 10). Ne deriva una cartografia che si discosta in alcuni particolari da quella della carta geologica regionale in scala 1:10.000, utilizzata come base per la redazione della Carta Geologico Tecnica (CGT).



4.2. ASSETTO STRATIGRAFICO

I rilievi montuosi sono costituiti da rocce prevalentemente calcaree riferibili alle formazioni della "Successione umbro marchigiana" dal Calcare Massiccio al Bisciario che costituiscono il **substrato geologico** (Fig. 11). Nell'area di studio affiorano Scaglia Rossa, Scaglia Variegata e Scaglia Cinerea.

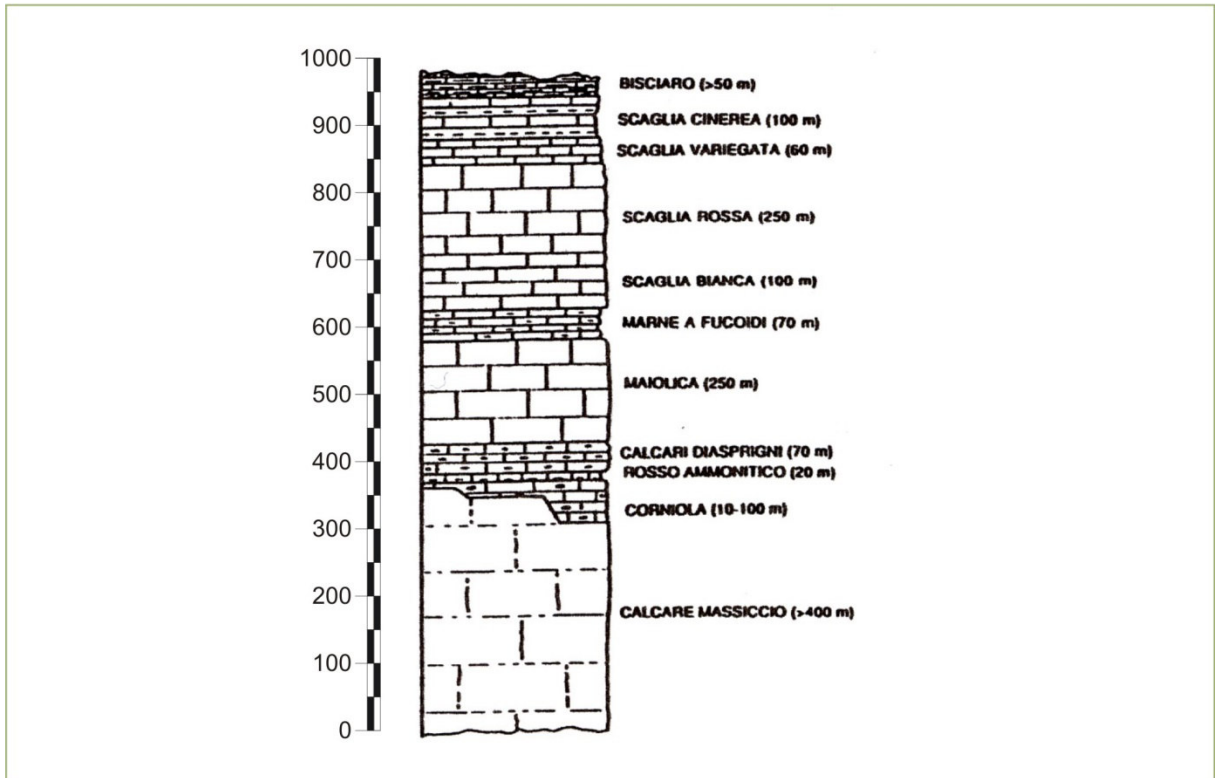


Fig. 11 – Stratigrafia. Schema dei rapporti stratigrafici della successione umbro marchigiana nell'area di M. Coscerno. Scala 1:10.000. Da: BARCHI et al., 1993.

I **terreni di copertura** sono le unità litostratigrafiche più importanti per quanto riguarda la risposta sismica locale e le interazioni con gli edifici; su tali terreni insiste infatti la maggior parte dell'edificio di Sant'Anatolia di Narco, come evidenziato anche nella Carta Geologico Tecnica.

Si fornisce di seguito una descrizione delle unità rappresentate nella Carta Geologica di Fig. 10.

TERRENI DI COPERTURA

(UNITÀ STRATIGRAFICHE QUATERNARIE)

Deposito antropico – h

Deposito di materiale non cementato, da sciolto a moderatamente addensato, a granulometria variabile; materiale di riporto di origine antropica, costituito per lo più da terreni di risulta di scavi o da materiale di scarto edile. Spessore di pochi metri. Permeabilità variabile, in funzione della granulometria. $N_{spt} = 10$. $Dr = 30\%$.

OLOCENE

Deposito di frana quiescente - a_{1b}

Depositi caotici, eterometrici, messi in posto per fenomeni franosi senza indizi di evoluzione. Frane per lo più in roccia. Spessore da metrico a decametrico. Permeabilità variabile, in funzione della litologia.

OLOCENE

Detrito di falda – a_{3a}

Depositi di versante essenzialmente gravitativi, a granulometria variabile, in genere prevalentemente grossolana, da ben classati a fortemente eterometrici. Clasti a spigoli vivi o subangolosi, in accumuli massivi o grossolanamente stratificati. Spessore da metrico a decametrico. Permeabilità medio alta, in funzione della granulometria; può ospitare falde acquifere. Depositi da poco a moderatamente addensati; il grado di addensamento aumenta con la profondità.

PLEISTOCENE SUPERIORE –OLOCENE

Deposito alluvionale – b

Depositi alluvionali attuali e recenti, in rapporto con l'attuale morfologia e dinamica fluviale. Depositi a granulometria variabile, organizzati in cicli deposizionali gradati di spessore per lo più metrico, con ghiaie e ghiaie sabbiose, sabbie e sabbie limose, passanti a limi e limi argillosi fino ad argille grigie ricche di sostanze organiche. Depositi caratterizzati da rapide variazioni verticali e laterali delle litofacies, con corpi a geometria lenticolare, che colmano le valli principali. Ghiaie prevalenti nelle aree di alveo. Verso i bordi delle valli, i depositi alluvionali si interdigitano con depositi di versante, sia eluvio colluviali che detritici. Spessori variabili, fino a qualche decina di metri (60 m) al centro delle valli principali. Permeabilità variabile in funzione della granulometria, alta nelle ghiaie e ghiaie sabbiose. Depositi granulari da poco a moderatamente addensati; il grado di addensamento aumenta con la profondità. Depositi coesivi talora molto plastici. Livelli sabbiosi e limoso sabbiosi in zona satura soggetti a possibili fenomeni di liquefazione.

OLOCENE

Deposito alluvionale terrazzato – b_n

Depositi alluvionali non in rapporto con la morfologia attuale. Granulometria variabile, con prevalenza di ghiaie e ghiaie sabbiose; intercalazioni di livelli di sabbie e sabbie limose o limi argillosi e argille spesso pedogenizzate. Spessori metrici. Permeabilità in genere medio alta. Depositi moderatamente addensati fino ad addensati.

PLEISTOCENE - OLOCENE

Travertino – tr (Sintema di Rieti – SRI nel F. 336 Spoleto)

Depositi travertinosi biancastri e giallognoli prevalentemente litoidi, fitoermali, da massivi a grossolanamente stratificati, subordinatamente sabbiosi. Affiorano fra Sant'Anatolia di Narco e Scheggino, in sinistra orografica del F. Nera, con spessori di oltre dieci metri. Superiormente passano a depositi fluviali ghiaiosi terrazzati. I travertini appoggiano sulla Scaglia Rossa con contatto inclinato. Ambiente di cascata.

PLEISTOCENE SUPERIORE ?



Fig. 12 – Travertino. Deposito litoide, massivo, con resti di alberi incrostati da carbonato di calcio, affiorante a sud-ovest del centro storico di Sant'Anatolia di Narco, dove forma scarpate e pareti subverticali che sovrastano la valle del F. Nera.

SUBSTRATO GEOLOGICO

Scaglia Cinerea - SCC

Marne e marne argillose grigio-verdi o grigio-cenere alternate, alla base, con calcari marnosi grigi in strati di spessore da centimetrico a decimetrico. Localmente intercalazioni di calcareniti grigie in strati di 10 - 60 cm. Passaggio alla sottostante Scaglia Variegata graduale. Ambiente di sedimentazione pelagico. Fauna a foraminiferi planctonici. Spessore variabile da 60 a 110 m.

EOCENE SUPERIORE P.P. - AQUITANIANO P.P.

Scaglia Variegata - VAS

Calcari marnosi rossi e grigio verdi in strati sottili (2 - 20 cm) alternati a marne e marne argillose rosse e grigio-verdi, prevalenti verso l'alto. A luoghi intercalazioni di calcareniti. Passaggio alla sottostante Scaglia Rossa abbastanza graduale, con diminuzione progressiva della componente pelitica, aumento dello spessore medio degli strati e omogenizzazione del colore sui toni del rosso. Ambiente di sedimentazione pelagico. Fauna a foraminiferi planctonici. Spessore variabile da 40 a 80 m.

EOCENE MEDIO P.P. - EOCENE SUPERIORE P.P.

Scaglia Rossa - SAA

Calcari micritici di colore rosato più o meno intenso, più raramente biancastri per decolorazione, alternati a interstrati pelitici molto sottili. Noduli liste e strati di selce da grigio rosato a rosso amaranto. Talora sono presenti intercalazioni calcarenitiche di colore grigio o bianco, anche di notevole spessore. Parte cretacea della formazione quasi esclusivamente calcarea e caratterizzata da strati più spessi (10 - 40 cm); parte paleogenica a strati più sottili e con intercalazioni marnoso-argillose relativamente più

spesse, di un colore rosso-mattone più intenso di quello del calcare. Passaggio alla sottostante Scaglia Bianca abbastanza graduale. Ambiente di sedimentazione pelagico. Contenuto fossilifero a foraminiferi planctonici e nannofossili calcarei. Spessore variabile da 250 a 350 m.

TURONIANO INFERIORE *P.P.* - EOCENE MEDIO *P.P.*

4.3. ELEMENTI TETTONICI

La valle del F. Nera presso Sant'Anatolia di Narco segue una struttura sinclinalica con nucleo in Scaglia Cinerea, compresa tra l'anticlinale di M. Galenne ad ovest e l'anticlinale di M. Coscerno ad est con la quale si raccorda. La sinclinale rovescia a direzione nord-sud è dislocata ad ovest dalla "faglia della Valnerina", una importante faglia trascorrente destra a direzione NNE-SSO.

L'abitato di Sant'Anatolia di Narco, centro storico e quartieri a sud, si trova sulle pendici del M. Coscerno, in corrispondenza del fianco occidentale dell'anticlinale. Mentre le successive faglie a componente diretta sono evidenti nella valle di Caso e Gavelli, non se ne hanno evidenze nella zona di studio.

La roccia appare sempre con grado di fratturazione alto, conferito dalla presenza di numerose discontinuità a spaziatura centimetrica e decimetrica (stratificazione, clivaggio, *joints*).

4.4. ASSETTO GEOMORFOLOGICO

Le forme del rilievo sono fortemente condizionate dall'assetto geologico strutturale. Ciò emerge sia dalla forma del reticolo idrografico, sia dalla frequente corrispondenza tra rilievi e anticlinali (es. M. Coscerno) o tra valli e sinclinali (es. valle del F. Nera); la prossimalità tra forma topografica e struttura geologica è sintomatica di un territorio soggetto ad evoluzione tettonica, tuttora in atto, in cui le azioni morfogenetiche non riescono a compensarne il dinamismo.

L'elemento geomorfologico caratterizzante l'area di studio è la **valle del F. Nera**; i depositi alluvionali di fondovalle colmano una profonda incisione valliva che sussiste come **morfologia sepolta**. Il F. Nera, nella sua precedente fase erosiva, ha re-inciso depositi alluvionali e travertinosi antichi che rimangono come terrazzi in sinistra del F. Nera, con orlo di terrazzo posto 35 m al di sopra del fondovalle attuale. Sulla superficie di questo **terrazzo alluvionale** sorge il centro abitato di Sant'Anatolia di Narco.

L'attuale morfologia delle valli evidenzia una evoluzione del reticolo idrografico.

Il F. Nera a Palombara, in corrispondenza di un restringimento della valle, abbandona un percorso vallivo stretto a direzione NNE-SSO, con ripidi versanti rocciosi, per proseguire in un tratto di valle più ampia a direzione nord-sud con versanti spesso caratterizzati da

depositi detritici di copertura e da depositi alluvionali terrazzati in sinistra idrografica (tratto compreso tra Sant'Anatolia di Narco e Scheggino). Proprio in località Palombara le indagini geofisiche per gli studi di MS3 hanno riscontrato spessori dei depositi alluvionali di pochi metri, evidenziando una **soglia rocciosa** a direzione nord-sud continua tra il rilievo dove sorge il centro storico di Sant'Anatolia di Narco e la dorsale rocciosa posta subito a nord, oltre la valle del F. Nera. Tale soglia prima di essere incisa dal F. Nera fungeva da **sbarramento**, creando un dislivello tra la parte a monte e quella a valle; allora il paleoalveo del corso d'acqua principale superava tale soglia con una cascata con formazione di **depositi travertinosi**; una volta incisa la soglia rocciosa, i travertini e i soprastanti depositi alluvionali ghiaiosi sono rimasti come depositi non più in relazione con la dinamica fluviale; mano a mano che il F. Nera erodeva la soglia rocciosa abbassando il suo livello di base, tali depositi sono rimasti a quote superiori formando un terrazzo alluvionale.

Il tratto di valle del F. Nera tra Sant'Anatolia di Narco e Scheggino con la valle secondaria del F.sso delle Scentelle, proveniente da Forca di Cerro (dorsale di M. Fionchi – M. Maggiore) si presenta più larga e profonda; le indagini geofisiche evidenziano spessori della copertura che raggiungono 60 m, con effetti significativi anche per la risposta sismica locale. La morfologia di questo tratto di valle del F. Nera fa supporre un contributo tettonico alla genesi di questo piccolo **bacino allungato** in direzione meridiana, stante anche la presenza, poche centinaia di metri ad ovest, della faglia della Valnerina, che qui si manifesta con strutture per lo più transpressive.

4.5. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELLE AREE IN STUDIO

Volendo riassumere i caratteri geologici e geomorfologici già descritti, si specifica quanto di seguito, in riferimento alle sezioni geologico tecniche AN-1, AN-2, AN-3 (Fig. 13) le cui tracce sono riportate in Fig. 10.

Il **centro storico di Sant'Anatolia di Narco** (Sezione AN-2) appoggia su depositi alluvionali terrazzati per lo più ghiaiosi spessi pochi metri in appoggio discordante sul substrato roccioso costituito da Scaglia Rossa, con calcari stratificati con un grado di fratturazione generalmente alto; la giacitura degli strati è immergente di ca. 30° verso O-NO (Fig. 10). Il sondaggio eseguito per il presente studio appena fuori il perimetro del centro storico, in Piazza Marconi, evidenzia uno spessore dei terreni di copertura di circa 6 m. I versanti del rilievo sono acclivi, interessati da modeste frane quiescenti, che non interferiscono con l'edificato.

La **zona adiacente al centro storico** (sezione AN-1 e AN-2), con le scuole e nuovi quartieri residenziali, appoggia su depositi alluvionali antichi spessi anche oltre 20 m, in appoggio sulla Scaglia Rossa o, più a sud, al bordo del terrazzo alluvionale, su depositi

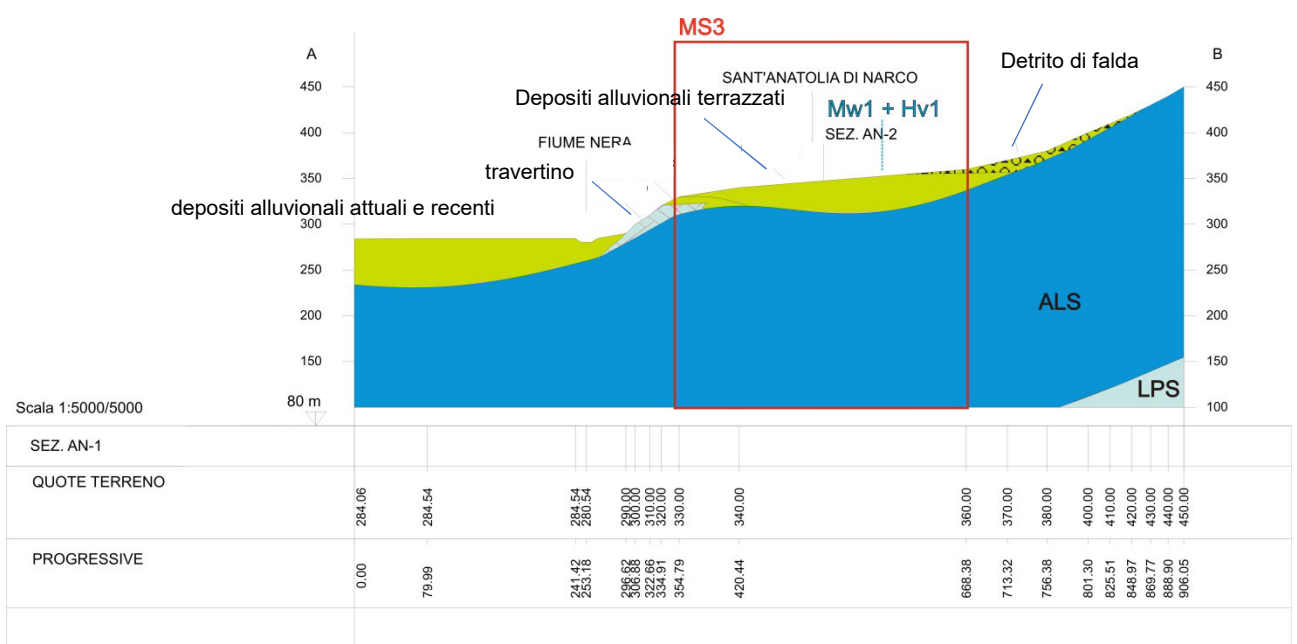
travertinosi litoidi, molto porosi, spessi anche venti metri. Superiormente i depositi alluvionali terrazzati sono ricoperti da depositi detritico alluvionali di una conoide proveniente da un fosso secondario e da detriti di versante. Il terrazzo alluvionale è bordato da un orlo di scarpata verso ovest, che scende rapidamente, anche con pareti subverticali, verso la valle del F. Nera.

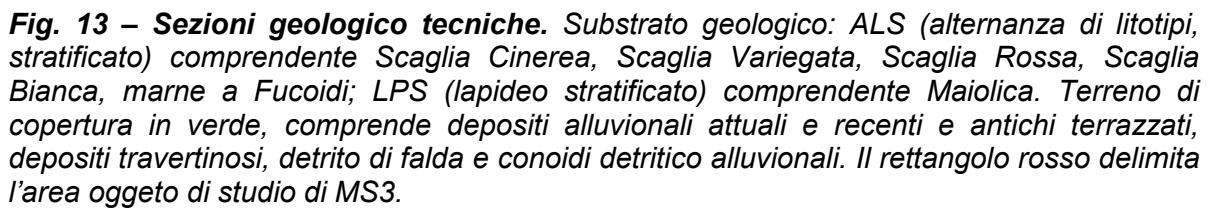
La zona di fondovalle in località **Palombara** (sezione AN-2), con area residenziale e commerciale, è caratterizzata da depositi alluvionali con spessori inferiori a 10 metri.

La zona di fondovalle **tra Palombara e San Martino** (sezione AN-3), fino al cimitero, percorsa dal tracciato della ex ferrovia Spoleto – Norcia ed oggi attraversata dalla strada delle Tre Valli Umbre in uscita dalla galleria di Forca di Cerro, è caratterizzata da depositi alluvionali con spessore variabile minimi ai bordi della valle e massimi al centro di essa dove si stimano spessori della copertura di m 50 – 60 (valle laterale profonda). Qui sono attendibili significativi effetti amplificativi sismici.

La zona con case sparse sul **rilievo a nord di Sant'Anatolia di Narco** (sezione AN-2), in destra orografica del F. Nera, è costituita da substrato roccioso con successione diritta dalla Scaglia Rossa paleogenica, affiorante a lato della strada Valnerina, in loc. Palombara, alla Scaglia Variegata fino alla Scaglia Cinerea. I fianchi del colle, caratterizzato da cresta rocciosa stretta, sono piuttosto ripidi, ma appaiono stabili.

Riguardo ai dati sulla franosità e sui fenomeni alluvionali (es. F.so Scentelle, loc. Renare) si rimanda alla relazione per la MS1 e MS2 (REGIONE UMBRIA, COMUNE DI SANT'ANATOLIA DI NARCO, 2013).





5. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

5.1. DATI PREGRESSI

La Carta delle Indagini (CdI) rende conto delle acquisizioni in situ che sono state eseguite nelle aree oggetto di studio, in particolare nel corso degli studi di MS1 e MS2: n. 1 sondaggio a carotaggio continuo, presso le scuole, n. 2 profili sismici a rifrazione, n. 3 MASW, n. 4 HVSr.

I dati pregressi forniscono informazioni puntuali non sempre estendibili su una area più ampia; la sporadicità areale delle indagini pregresse ha richiesto una nuova campagna indagini.

5.2. DATI ACQUISITI

Per il presente studio si è proceduto a nuove acquisizioni integrative minime necessarie per gli studi di microzonazione sismica di livello 3, di tipo geofisico e geognostico, riferibile al sondaggio geognostico a carotaggio continuo attrezzato per una prova geofisica di tipo *down hole*. La campagna d'indagini MS3 è stata svolta in base al piano delle indagini preventivamente concordato ed approvato dal coordinamento del CMS Macroarea Umbria (18 agosto 2017).

Le indagini integrative appositamente eseguite per lo studio di MS3 sono le seguenti:

- n. 3 profili in tecnica MASW,
- n. 3 Profili Sismici a Rifrazione in onde P,
- n. 9 acquisizioni HVSr,
- n. 1 prova Down Hole in foro (a cura del CMS).

Per ogni indagine è stata elaborata una scheda di campagna ed un rapporto sull'indagine, archiviati nella cartella "Documenti" del progetto GIS.

In funzione dei seguenti criteri (Art. 3 del Disciplinare di incarico):

- 1) Distribuzione dati pregressi
- 2) Livello presunto di pericolosità relativa
- 3) Tracce delle sezioni

sono state ubicate le nuove indagini minime integrative. L'ubicazione tiene conto della distribuzione e tipologia delle indagini pregresse e della zonazione in microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), in quanto ogni MOPS deve essere caratterizzata nei parametri sismici.

Le indagini integrative sono così distribuite nell'area di studio:

SITO	MASW+RIFRA	HVSR	DH	SEZIONI litotecniche
PARTE ALTA CAPOLUOGO	01	02	01	02
VALLE del F. NERA	01	03		02
VALLE LATERALE PROFONDA	01	03		01
PARTE ALTA NORD	-	01		01

Nella tabella seguente si riportano le nuove indagini per la campagna MS3, riportando sulla stessa riga le acquisizioni eseguite nel medesimo sito. Accanto all'indagine si riporta la corrispondente sigla della Carta delle Indagini MS3.

INDAGINI INTEGRATIVE PER STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA di livello III DEL COMUNE DI CASCIA - 2017

N.	HVSR	Cdl	MASW+RIF	Cdl	DH	località
1	HVSR01	P21	MASW01+RIFRA01	L12	P20	PARTE ALTA CAPOLUOGO
2	HVSR02	P22	MASW02+RIFRA02	L13		VALLE LATERALE
3	HVSR03	P23	MASW03+RIFRA03	L14		VALLE F. NERA
4	HVSR04	P24				VALLE F. NERA
5	HVSR05	P25				VALLE F. NERA
6	HVSR06	P26				PARTE ALTA NORD
7	HVSR07	P27				VALLE LATERALE
8	HVSR08	P28				PARTE ALTA CAPOLUOGO
9	HVSR09	P29				VALLE LATERALE

5.2.1. PROFILI IN TECNICA MASW - Metodologia d'indagine e array sismico

L'analisi delle onde superficiali è stata effettuata utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione. Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo con dinamica a 24 bit (PASI GEA24). Nell'esecuzione della prova MASW è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di battuta di 8,00 Kg, la sorgente è stata posta ad una distanza di 5, 7/10 m dal primo geofono (Optimum Field Parameters of an MASW Survey, PARK *et al.*, 2005; DAL MORO, 2008), con *shots* coniugati, per complessive n. 4 acquisizioni. I dati sperimentali, acquisiti sono stati elaborati ed interpretati attraverso l'utilizzo del *software* Geopsy.

Riassunto modalità esecutive delle indagini MASW :

- Numero geofoni utilizzati 12-24
- Array sismico lineare - Spaziatura tra i geofoni da 1,00 a 2,00 m
- Tempo di campionamento 1,00 ms (1000 Hz) - Tempo di registrazione 2 s

I valori ottenuti vengono successivamente riportati su un diagramma frequenza-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo.

5.2.2. PROFILI SISMICI A RIFRAZIONE onde P

E' stata utilizzata come strumentazione il SISMOGRAFO PASI mod. GEA24. Le restituzioni delle misure dei tempi d'arrivo delle onde sismiche sono state interpretate con l'ausilio del software Seisimager. L'investigazione del sottosuolo è stata svolta mediante un profili sismici a rifrazione in onde P operando con n.3 shots. Si è interpretato i primi tempi d'arrivo (FBP) mediante il metodo dell'intercetta (2 shots end-line e 1 shot middle-line).

Riassunto modalità esecutive delle indagini in RIFRAZIONE ONDE P:

Numero geofoni utilizzati 12-24

Array sismico lineare - Spaziatura tra i geofoni da 1,00a 2,00 m

Tempo di campionamento 0,250 ms (4000 Hz) - Tempo di registrazione 0,5 s

5.2.3. ACQUISIZION HVSR - Modalità di esecuzione

Le misure sono state eseguite con due tromografi triassiali per microtremori ambientali (velocimetro GEOBOX SARA SS05 con periodo proprio $t = 2$ s (0,50 Hz)). Le acquisizioni sono state svolte secondo le linee guida SESAME 2004 con tempi di acquisizione $t = 1200$ s. L'elaborazione è stata svolta con l'ausilio del software Geopsy impostato con i seguenti parametri:

- Window Sampling = 25 s
- Smoothing type = Konno & Ohmachi
- Smoothing constant = 40
- Use cosine taper width = 5%
- Frequency sampling output = 0,50-50,00 Hz
- Number of samples = 200

La "Tecnica di Nakamura" è finalizzata principalmente all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito; infatti la curva, se le misure sono andate a buon fine e se si verificano determinate condizioni di contrasto di impedenza sismica (o contrasti di rigidità tra le stratificazioni presenti nel sottosuolo), può essere utilizzata per valutare la frequenza o le frequenze proprie di sito in corrispondenza del massimo o dei massimi individuati sulla curva stessa. In presenza di altre significative indagini, le curve HVSR, dette anche curve di ellitticità dei rapporti spettrali, possono contribuire ad individuare le caratteristiche sismo-stratigrafiche e di rigidità del sito indagato.

5.2.4. SONDAGGIO GEOGNOSTICO DH

L'ubicazione del sondaggio geognostico a carotaggio continuo, la cui realizzazione era prevista nel programma di indagine dello Studio di Microzonazione di livello III, è stata individuata con cura in modo che possa essere rappresentativo di una delle microzone più significative, dal punto di vista dello sviluppo areale e volumetrico dei terreni di copertura e dell'inquadramento urbanistico dell'area. Avendo a disposizione solo questa indagine diretta si è voluto individuare, in particolare, un'area in cui fosse più probabile intercettare il basamento geologico e/o il bedrock sismico, come poi in effetti è stato riscontrato, in una zona prossima al nucleo storico più importante. Ciò al fine di poter utilizzare i dati sia geognostici che geofisici, della successiva prova Down Hole in foro eseguita a cura del CMS, con maggiore efficacia per la ricostruzione del modello sismo-stratigrafico, nell'ambito delle modellazioni monodimensionali (1D). Il foro, come previsto nel disciplinare, è stato condizionato per permettere l'esecuzione della prova Down Hole a cura del CMS. Tutte le fasi di esecuzione, prelievo delle carote e condizionamento del foro, compresa la cementazione e l'installazione del pozzetto di protezione, sono state attentamente seguite in fase di direzione del cantiere da parte dei componenti di RTP_MS3, redattori della presente Relazione.

La stratigrafia del Sondaggio geognostico a carotaggio continuo, con tutte le informazioni acquisite in fase di direzione di cantiere è riportata nella cartella "Documenti" del progetto GIS.



Fig. 14 – Sondaggio geognostico. Il sondaggio, iniziato il 18 settembre 2017, è stato ubicato a Sant'Anatolia di Narco capoluogo, Piazza Marconi, adiacente i giardini pubblici e appena fuori il centro storico.

5.2.4. ARCHIVIAZIONE E SPECIFICHE SULLE NUOVE INDAGINI

Le indagini geofisiche, sia HVSR che MASW con i Profili Sismici a Rifrazione, sono corredate da una scheda di campagna che riporta le condizioni specifiche di prova, gli eventuali disturbi esterni per agevolare l'individuazione di eventuali transienti e da una sintetica illustrazione dei diagrammi e dei risultati ottenuti. Tale documentazione è disponibile all'interno del progetto GIS secondo lo standard previsto.

Anche la localizzazione e la georeferenziazione delle indagini sono presenti all'interno dello specifico Database delle indagini lineari e puntuali, collegato alla *Carta delle Indagini* in scala 1:5000.

6. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

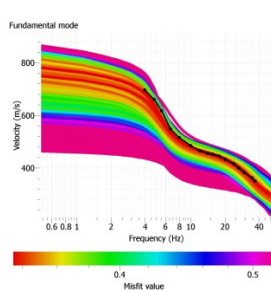
6.1. INVERSIONI CONGIUNTE

L'inversione congiunta dei risultati delle indagini MASW e le acquisizioni HVSR è stata effettuata con il modulo Dinver del Software Geopsy come previsto nei protocolli.

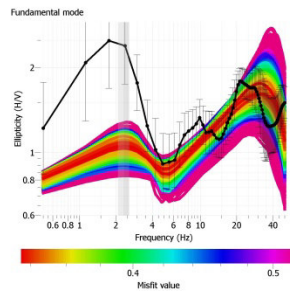
Le inversioni sono state eseguite su almeno 5 run vincolati, 5 run liberi e prendendo il "best misfit". Il miglior modello ottenuto ha fornito i parametri geofisici per la caratterizzazione delle singole zone (MOPS).

I migliori modelli ottenuti con le inversioni sono rappresentati di seguito:

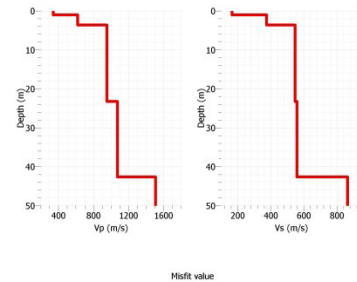
MASW1+HVSR1



DISPERSION CURVES

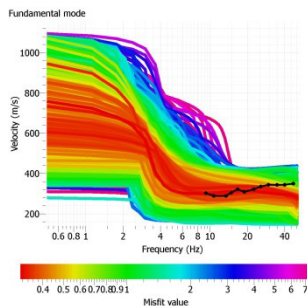


ELLIPTICITY CURVES

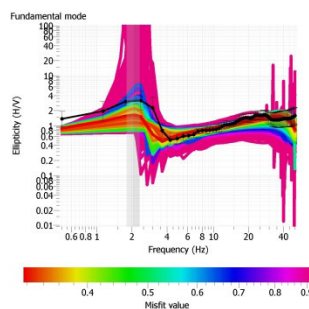


GROUND PROFILE

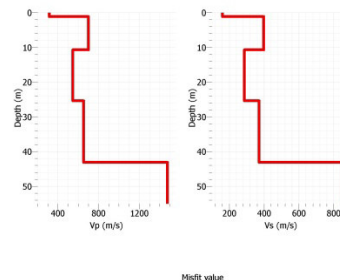
MASW2+HVSR2



DISPERSION CURVES

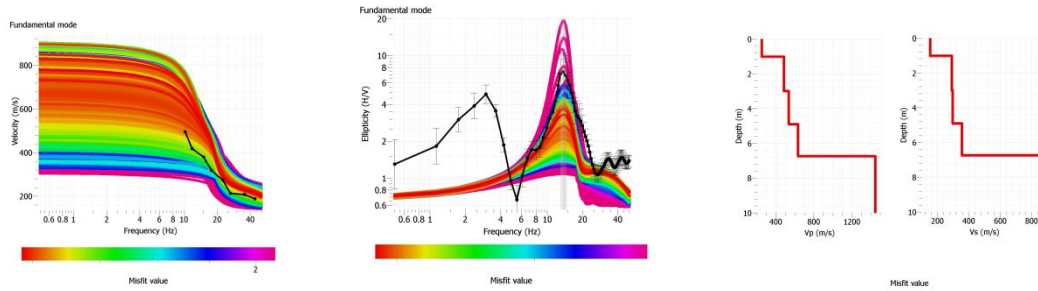


ELLIPTICITY CURVES



GROUND PROFILE

MASW3+HVS3



DISPERSION CURVES

ELLIPTICITY CURVES

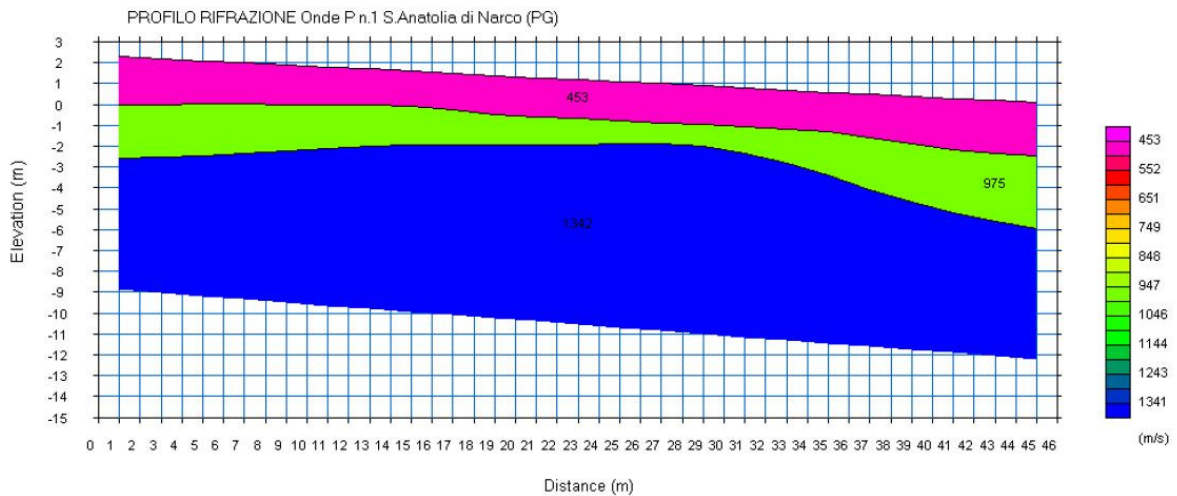
GROUND PROFILE

6.2. PROFILI SISMICI A RIFRAZIONE onde P

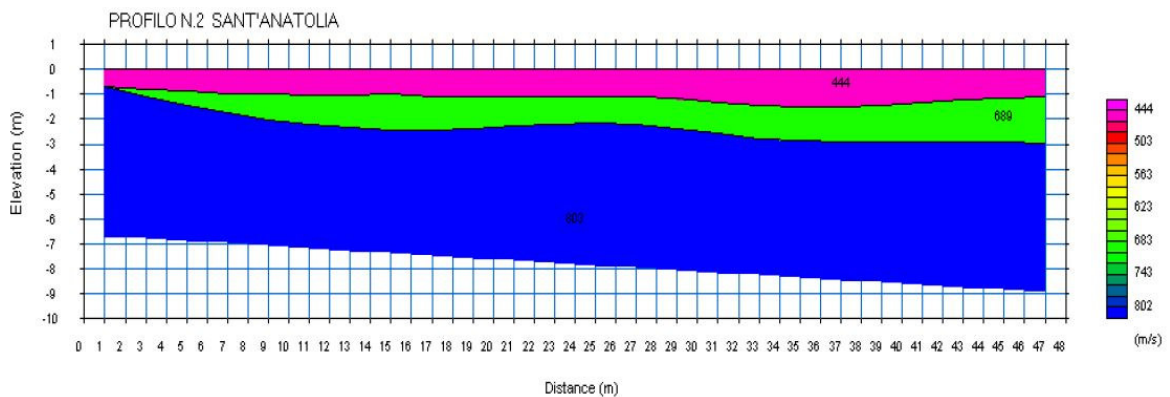
La finalità delle indagini è la caratterizzazione sismo-stratigrafica del sottosuolo, mirata all'individuazione delle varie superfici rifrangenti presenti e le relative velocità di propagazione delle onde meccaniche Vp, per poter discriminare sismostrati significativi, interpretabili come orizzonti geologici.

I modelli ricavati dalle elaborazioni sono rappresentati di seguito:

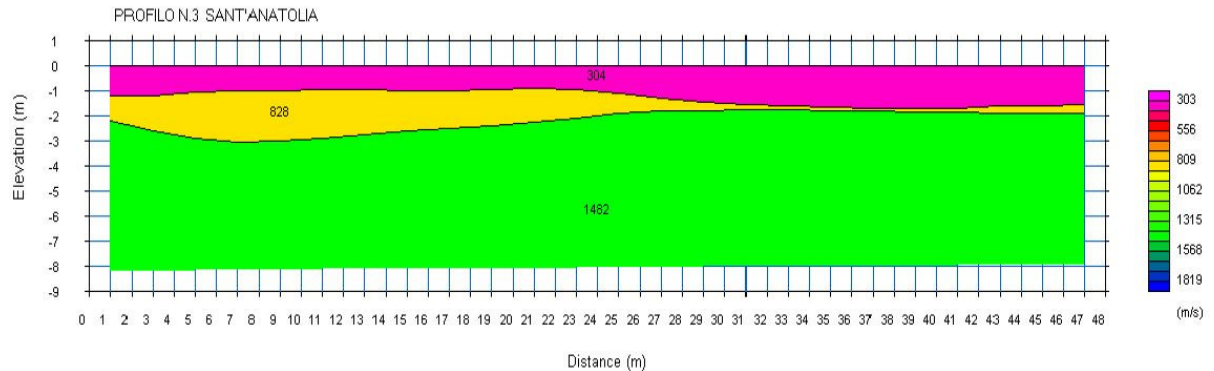
RIFRA01 Sant'Anatolia - Parte Alta - Capoluogo (rif. MASW1)



RIFRA02 Sant'Anatolia - Valle laterale (rif. MASW2)



RIFRA03 Sant'Anatolia - Valle laterale (rif. MASW3)



6.3. MODELLAZIONE 1D

La metodologia usata per le modellazioni monodimensionali (1D), suggerita e proposta dal coordinamento Macroarea Umbria del CMS, è stata effettuata con analisi probabilistica per tenere conto di alcune delle principali incertezze dei dati di input, quali la velocità delle onde Vs, lo spessore dei sismo-strati, la profondità del *bedrock* sismico.

L'analisi è stata condotta con il codice di calcolo STRATA con un approccio lineare equivalente. I dati di input per quanto riguarda le caratteristiche specifiche delle singole zone (MOPS) e la loro variabilità che determina una buona parte delle incertezze del modello, sono stati assunti sulla base delle specifiche indagini geofisiche eseguite o disponibili e dei risultati delle inversioni congiunte delle indagini MASW e HVSR, in termini di profondità del *bedrock* sismico e velocità di propagazione delle onde di taglio Vs. Il risultato è, in sostanza, un valore 'medio' delle amplificazioni e dello spettro di risposta elastico attribuibili a tutta la microzona.

La seguente tabella sintetizza i dati di input del modello dal punto di vista sismostratigrafico:

COMUNE	MOPS	SPESSORE MIN (m)	SPESSORE MAX (m)	TIPO_GT	SIGLA GEOL o Descrizione	LOG	Vs med (m/s)	Vs Min (m/s)	Vs max (m/s)
S.ANATOLIA	1041			ALS	SAA, VAS, SCC	SS	848	823	865
	2001	0	20	GP-GM	dep. di versante prev. Ghiaiosi - trav.	TC	500	350	640
				ALS	SAA	SS	848	823	865
	2002	20	40	GP-GM	dep. di versante prev. Ghiaiosi	TC	560	545	560
				ALS	SAA	SS	848	823	865
	2003	0	20	GM	dep. alluvionali a gran. mista	TC	330	290	370
				ALS	SAA, VAS, SCC	SS	848	823	865
	2004	20	40	GM	dep. alluvionali a gran. mista	TC	360	290	370
				ALS	SAA, VAS, SCC	SS	848	823	865
	2005	40	60	GM	dep. alluvionali a gran. mista	TC	370	370	370
				ALS	SAA, VAS, SCC	SS	848	823	865

Per la caratterizzazione geotecnica, le curve di decadimento e smorzamento, ci si è avvalsi della documentazione messa a disposizione dalla struttura di coordinamento Macroarea Umbria del CMS, correlandoli con i dati delle indagini dirette disponibili.

Gli accelerogrammi di input sono stati selezionati e forniti dalla struttura di coordinamento del CMS. Si tratta di accelerogrammi registrati scelti fra quelli che maggiormente rappresentano il territorio oggetto di studio e che hanno caratterizzato la recente sequenza sismica, in particolare del 26 e 30 ottobre 2016. Si riporta di seguito lo specifico report di sintesi fornito dal coordinamento Macroarea Umbria del CMS:

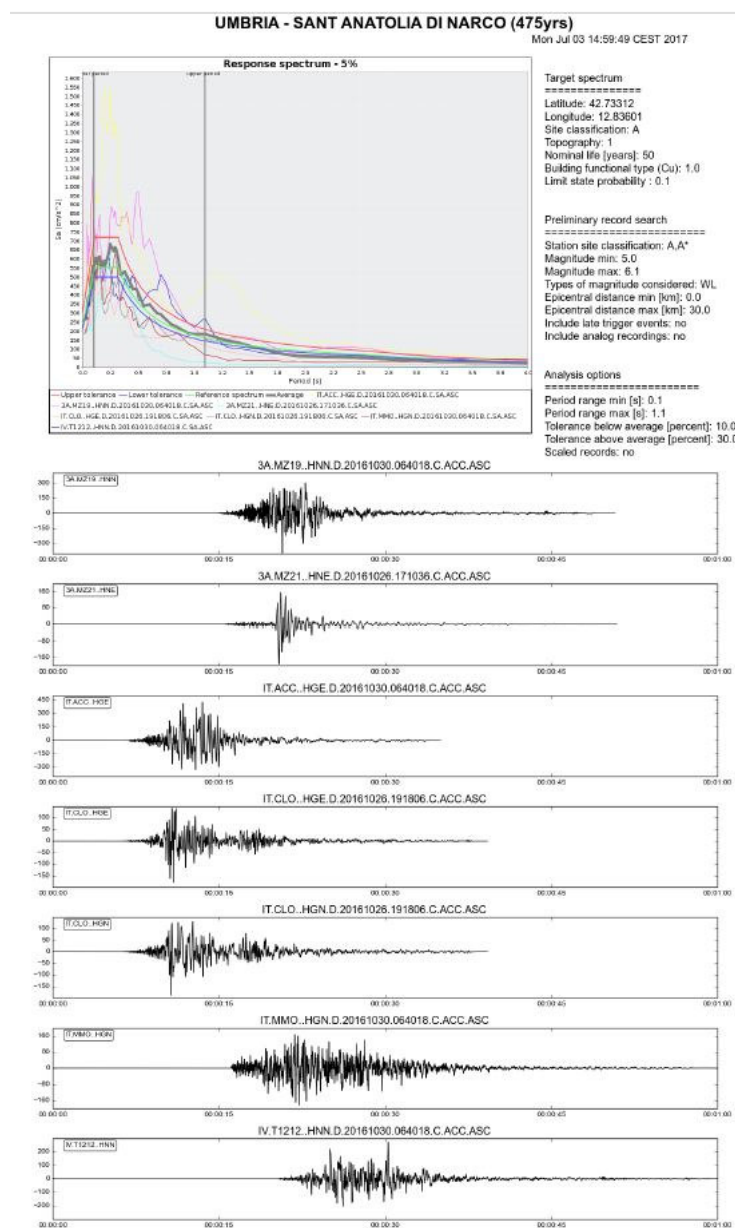


Fig. 15 – Accelerogrammi di input.

Le modellazioni monodimensionali (1D) hanno riguardato le MOPS 2001, 2002 e parte della 2003.

Per la porzione sud della MOPS 2003 (Valle del F. Nera) si è infatti preferito un approccio con modellazione monodimensionale 1D, considerati i diversi spessori e la sostanziale differenza geometrica delle due valli interessate (Valle del F. Nera con modesti spessori di copertura, almeno fino alla soglia costituita dal substrato litoide della Formazione della Scaglia Rossa, e valle laterale profonda del F.so delle Scentelle).

I valori di FA ricavati con modellazione bidimensionale (2D) sono stati considerati rappresentativi solamente per la porzione di pertinenza della valle laterale profonda delle Scentelle, la cui morfologia sepolta induce le amplificazioni misurate, mentre per la porzione Sud della MOPS 2003 si è preferito un approccio con modellazione monodimensionale 1D, considerati i diversi spessori e la sostanziale differenza geometrica delle due valli interessate (Valle del F. Nera e valle laterale profonda). I risultati sono stati confrontati, per la stessa MOPS, e sono illustrati nel successivo cap. 7.2.2..

6.4. MODELLAZIONE 2D

L'analisi di risposta sismica condotta mediante l'uso del codice STRATA con un approccio lineare equivalente 1D, non consente di tenere conto di effetti indotti dalla presenza di marcate variazioni laterali nelle proprietà sismiche dei corpi geologici sepolti, né di quelli provocati da morfologie complesse della superficie del terreno. Questi ultimi effetti possono indurre marcate variazioni dello scuotimento anche a piccola scala ovvero all'interno della specifica Microzona Omogenea in Prospettiva Sismica (MOPS), la cui effettiva omogeneità è garantita solo in prima approssimazione, ovvero alla scala della microzonazione sismica. Anche gli esiti prodotti dallo studio di microzonazione sismica di livello 3, in quanto finalizzati alla valutazione del livello di pericolosità sismica alla scala dell'abitato, non possono essere considerati sostitutivi di una specifica analisi di risposta sismica locale (RSL) finalizzata alla progettazione o alla verifica sismica del singolo manufatto. Tuttavia può risultare utile valutare preliminarmente l'entità degli effetti non considerabili nella modellazione 1D della risposta sismica, mediante l'uso di appositi abachi o modellazioni più avanzate.

A questo scopo sono stati esaminati i risultati di una modellazione numerica 2D, effettuata direttamente da una specifica struttura del Coordinamento Macroarea Umbria del CMS, su una sezione rappresentativa delle condizioni del sottosuolo di parte del territorio indagato (sezione geologica AN_3 - Valle Laterale Profonda del F.so delle Scentelle), in modo da valutare il valori di FA ottenuti e poterli considerare rappresentativi di specifici areali, attribuibili alle diverse MOPS. L'analisi condotta dal Centro di Microzonazione Sismica è

stata sviluppata seguendo le prescrizioni definite nei protocolli operativi definiti nell'ambito delle attività di microzonazione sismica nell'area dell'Italia Centrale.

In specifici intervalli della sezione giudicati rappresentativi degli effetti attesi, sono stati ricavati i fattori di amplificazione (FA) nelle tre fasce di periodo di vibrazione, gli spettri di risposta relativi ai sette accelerogrammi rappresentativi della pericolosità sismica di riferimento (moto di input) e i sette accelerogrammi alla superficie. Per la MOPS 2003 i valori di FA ricavati con modellazione bidimensionale (2D) sono stati considerati rappresentativi solamente per la porzione di pertinenza della Valle laterale profonda, la cui morfologia sepolta induce le amplificazioni misurate, mentre per la porzione Sud della MOPS 2003 si è preferito un approccio con modellazione monodimensionale 1D, considerati i diversi spessori e la sostanziale differenza geometrica delle due valli interessate (Valle del F. Nera con modesti spessori di copertura, almeno fino alla soglia costituita dal substrato litoide della Formazione della Scaglia Rossa, e Valle laterale profonda). I risultati sono stati confrontati con quelli ricavabili dalla modellazione 2D per la stessa MOPS e sono illustrati nel successivo cap. 7.2.2.

Lungo la sezione AN1, sempre a cura della specifica U.O. del CMS, sono stati anche verificati con modellazione 2D eventuali effetti di amplificazione topografica. L'analisi non ha indicato particolari condizioni di amplificazione, per cui per le MOPS 2001 (Zona1) e 2002 (Zona2) si è fatto riferimento alle sole amplificazioni 'stratigrafiche' derivanti da modellazione 1D.

7. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Ai fini della Microzonazione Sismica, il sottosuolo è ricondotto ad unità geologico-litotecniche distinte tra terreni di copertura e substrato geologico, ognuna caratterizzata da specifica litologia e caratteristiche fisico meccaniche. In genere, le stesse unità litostratigrafiche geologiche (es. depositi alluvionali, depositi detritici, ecc.) essendo contraddistinte da specifici caratteri litologici, stratigrafici, genetici, rappresentano anche unità geologico-litotecniche.

7.1. CARTA GEOLOGICO-TECNICA











La Carta Geologico-Tecnica (CGT) in scala 1:5.000 è stata elaborata sulla base di una Carta Geologica appositamente redatta come elaborato intermedio, interno agli studi di MS3, che tiene conto di precedenti cartografie e di nuovi rilievi di campagna finalizzati ad accertare i limiti delle unità litostratigrafiche e loro caratteristiche (Fig. 10). In particolare con il nuovo sondaggio DH1 ed il rilevamento di superficie sono state accertate situazioni che modificano la precedente CGT per gli studi di MS1 e MS2, che quindi non è sovrapponibile con la CGT di MS3.

Il substrato geologico e i terreni di copertura rappresentati nella Carta Geologica come unità litostratigrafiche siglate secondo le indicazioni di ISPRA per la cartografia CARG (<http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/progetto-carg-cartografia-geologica-e-geotematica/sigle-unita-stratigrafiche>) sono descritti in dettaglio nel cap. 4 (par. 4.2. Assetto stratigrafico).


Le unità geologico tecniche rappresentate nella CGT di MS3 di Sant'Anatolia di Narco sono riassunte nella Legenda seguente:

Legenda




Elementi geologici ed idrogeologici

-  Giacitura strati
-  Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico (m)
-  Pozzo o sondaggio che ha non raggiunto il substrato geologico (m)
-  Traccia della sezione geologica
-  Picco isolato
-  Cresta
-  Orlo di terrazzo fluviale (10-20m)
-  Asse di valle sepolta stretta ($C \geq 0.25$)
-  Conoide alluvionale
-  Falda detrica





Instabilità di versante

-  FR_Q – scorrimento

Terreni di copertura

-  GP – Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia
-  GM – Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
-  RI – Terreni contenenti resti di attività antropica

Substrato Geologico

-  ALS – Alternanza di litotipi, stratificato
-  LPS – Lapideo stratificato
-  SFLP – Lapideo, fratturato/alterato
-  SFLPS – Lapideo stratificato, fratturato/alterato

Nella tabella seguente si elencano le unità geologico tecniche (che corrispondono alle unità litostratigrafiche geologiche) effettivamente presenti all'interno delle aree oggetto di studi di MS di livello 3.

	1. Sigla_CGT	Unità litostrat.	2.Nome formazione	3. Descrizione	4. US	5. Tipo_gt	6. Tipo_i
FRANE	FR-Q	a1b	Deposito di frana di scorrimento in roccia quiescente	Depositi caotici, eterometrici, con prevalenza di blocchi rocciosi per lo più calcarei	TCf		3022
TERRENI DI COPERTURA	RI	h	Deposito antropico	Depositi di materiale non cementato, da sciolto a moderatamente addensato, a granulometria variabile	TCd	RI	
	GMfd	a3a	Detrito di falda	Depositi di versante a granulometria variabile, in genere prevalentemente grossolana. Clasti a spigoli vivi o subangolosi, per lo più calcarei e marnosi. Accumuli massivi o grossolanamente stratificati	TCd	GM	
	GMes	b	Deposito alluvionale	Depositi alluvionali attuali e recenti a granulometria variabile, da ghiaioso sabbiosi a argilloso limosi, con rapide variazioni laterali e verticali delle litofacies	TCd	GM	
	GMca	b	Deposito alluvionale	Depositi alluvionali attuali e recenti in conoide alluvionale e detritico alluvionale	TCd	GM	
	GPtf	bn	Deposito alluvionale terrazzato	Depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi e ghiaioso sabbiosi, con lenti di sabbie, sabbie limose, limi argillosi, argille	TCd	GP	
	GPca	bn	Deposito alluvionale terrazzato	Depositi alluvionali e detritico alluvionali di conoide quiescente	TCd	GP	
	SFLP	tr	travertino	Depositi eterometrici a granulometria prevalentemente grossolana	TCd		
SUBSTRATO GEOLOGICO	ALS	SCC	Scaglia Cinerea	Marne e marne argillose grigio verdi, alternate a luoghi con calcari marnosi grigi, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico.	SG	ALS	
	ALS	VAS	Scaglia Variegata	Calcari marnosi rossi e grigio verdi in strati sottili (2 - 20 cm) alternati a marne e marne argillose rosse e grigio verdi. Intercalazioni di strati calcarei di spessore decimetrico (calcareniti).	SG	ALS	
	ALS	SAA	Scaglia Rossa	Calcari rosati in strati medi con sottili interstrati pelitici. Selce in liste e noduli. Presenti spessi strati calcarenitici bianchi.	SG	ALS	

7.1.1. SUBSTRATO

Il substrato geologico che interessa direttamente le aree di studio, che corrisponde anche al substrato sismico, è rappresentato dalle seguenti formazioni rocciose della Successione umbro-marchigiana:

SUBSTRATO	Tipo_gt	HVSR
SCAGLIA CINEREA	ALS	
SCAGLIA VARIEGATA	ALS	
SCAGLIA ROSSA	ALS	HV6

Le unità sono state inserite nel tipo_gt ALS – alternanza di litotipi, stratificato.

I rapporti stratigrafici fra le unità sono rappresentate in Fig. 11. Alla descrizione geologica riportata nel paragrafo 4.2., si aggiunge di seguito una descrizione dei caratteri geotecnici e fisici.

SCAGLIA CINEREA

La formazione marnoso calcarea stratificata in strati sottili interessa solo una piccola area d versante al bordo della valle del F.so delle Scentelle, zona San Martino. L'unità è presente in parte nel sottosuolo al di sotto dei depositi alluvionali della stessa valle larga e profonda, dove è interessata da una piega sinclinalica. La deformazione plicativa conferisce alla roccia un elevato grado di fratturazione, più pervasivo nelle litologie marnose rispetto a quelle calcareo marnose.

L'alternanza di vari litotipi stratificati determina la classificazione dell'unità nel tipo_gt ALS. Superficialmente e per qualche metro di profondità si riscontra un grado di alterazione medio.

SCAGLIA VARIEGATA

La formazione calcareo marnosa stratificata in strati sottili e medi interessa solo un'areale ridotto sul bordo orientale della valle del F.so delle Scentelle, ma caratterizza il substrato al di sotto dei depositi di copertura della stessa valle. Gli strati sono in giacitura diritta sul rilievo ad est della valle dove immergono verso O-NO di ca. 30° in continuità con la sottostante Scaglia Rossa; presentano giacitura rovescia e grado di fratturazione più elevato sul versante ad ovest della valle del F.so delle Scentelle a causa della sinclinale.

L'alternanza di vari litotipi stratificati determina la classificazione dell'unità nel tipo_gt ALS. Superficialmente e per pochi metri di profondità si riscontra un grado di alterazione medio.

L'unità, per la limitatissima estensione, non è stata indagata con indagini geofisiche; le caratteristiche sono intermedie tra Scaglia Rossa e Scaglia Cinerea.

SCAGLIA ROSSA

La formazione calcarea stratificata in strati medi e sottili interessa il rilievo su cui sorge il centro storico di Sant'Anatolia di Narco ed il rilievo a nord, in destra idrografica del F. Nera, dove affiora estesamente in corrispondenza della strada Valnerina (loc. Palombara).

La roccia ha un grado di fratturazione medio e medio alto.

L'unità è stata ascritta al tipo_gt ALS che meglio descrive la presenza di alternanze di litologie calcaree (prevalenti) con strati calcareo marnosi e liste e noduli di selce; porzioni dell'unità prevalentemente calcaree con strati per lo più medi, a grado di fratturazione medio, potrebbero meglio essere ascritte al tipo_gt LPS (lapideo, stratificato).

L'unità è stata indagata con indagine geofisica sul rilievo roccioso che separa la valle del F.so delle Scentelle dalla valle del F. Nera (HV6).

7.1.2. TERRENI DI COPERTURA

I terreni di copertura, già esaurientemente descritti nel paragrafo 4.2., a cui si rimanda, sono in genere caratterizzati da granulometria variabile e da variazioni di litofacies sia verticali che laterali rapide, per cui è molto difficile ascrivere le unità litologico-tecniche ad un unico tipo_gt.

Nel presente studio la scelta del tipo_gt riflette la classe granulometrica prevalente su areali estesi; non si esclude che per situazioni arealmente ristrette la stessa unità possa essere descritta in un'altra classe granulometrica, secondo il sistema di classificazione *Unified Soil Classification System* (leggermente modificato, ASTM, 1985) (si veda Standard 4.0, Fig. 1.1.2-1).

Nella tabella riassuntiva seguente si riportano le unità dei terreni di copertura, specificandone:

- tipo_gt prevalente (classificazione del suolo in base alla granulometria);
- MOPS corrispondente;
- indagini eseguite in corrispondenza dell'unità.

ad integrazione della descrizione già fornita delle caratteristiche litologiche, sedimentologiche, genetiche e di spessore (paragrafo 4.2. assetto stratigrafico).

	Sigla_CGT	Unità litostratigrafica	Tipo_gt	MOPS	HVSR	MASW	INVERSIONI	DH
TERRENI DI COPERTURA	RI	h	RI					
	GMfd	a3a	GM	2001 2002	HVSR04			
	GMes	b	GM	2003 2004 2005	HVSR02 HVSR03 HVSR05	MASW02+RIFRA02 MASW03+RIFRA03	MASW02+HV02 MASW03+HV03	
	GMca	b	GM	2003 2004 2005	HVSR07 HVSR09			
	GPtf	bn	GP	2001 2002	HVSR08			DH1
	GPca	bn	GP	2001 2002	HVSR01	MASW01+RIFRA01	MASW01+HV01	
	SFLP	tr		2001 2002				

Le singole indagini sono descritte in schede dedicate, allegate nella cartella Documenti del progetto GIS, e in altre parti della presente relazione (capitoli 5 e 6).

7.2. CARTA DELLE MOPS

Le microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) sono state ridefinite, all'interno dei perimetri delle località oggetto di questo lavoro, rispetto agli studi di MS1 e MS2, così che la nuova carta delle MOPS, interna all'area di studio, restituisce una zonizzazione più continua, coerente con l'assetto stratigrafico e geologico e con i dati delle nuove indagini geofisiche e geognostiche.

Per delimitare le MOPS è stato necessario interpretare le sezioni geologico tecniche dalle quali stimare gli spessori delle coperture, verificati con le indagini geofisiche e con il procedimento di inversione congiunta delle acquisizioni MASW e HVSR eseguite nello stesso sito.

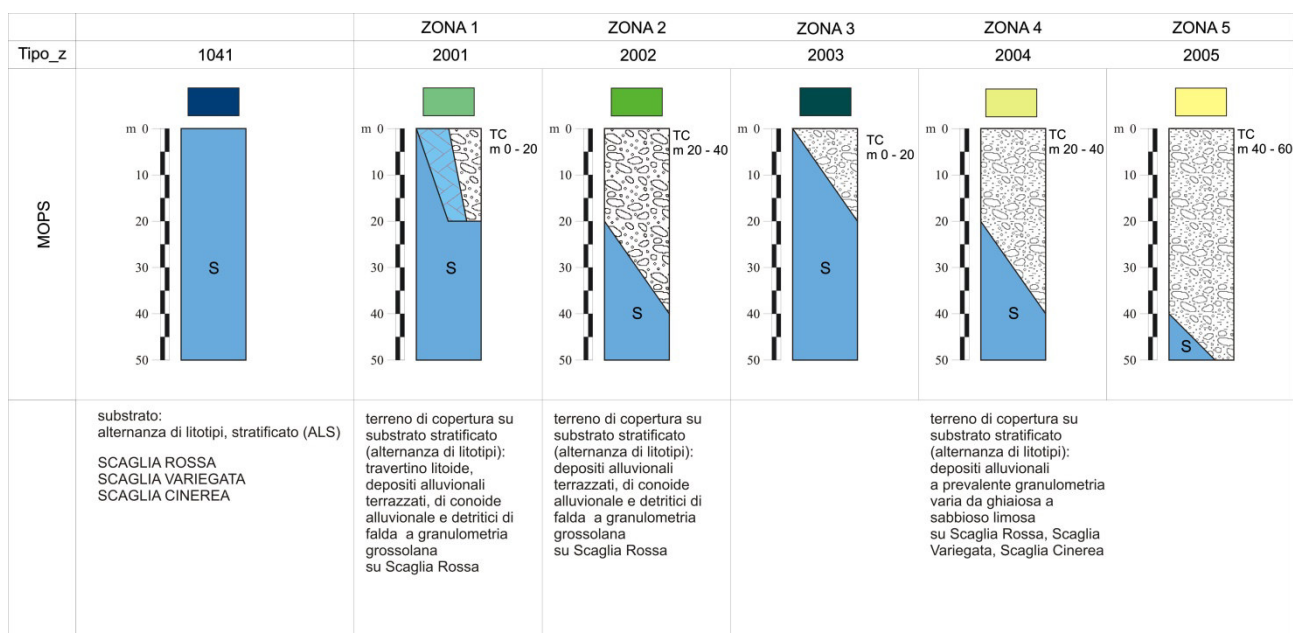
La zona stabile 1041 è indicativa della presenza del substrato roccioso dove sono attendibili scuotimenti in caso di sisma senza effetti significativi di amplificazione.

Le zone stabili suscettibili di amplificazione 2001, 2002, 2003, 2004 e 2005 sono state definite tenendo conto principalmente dello spessore dei terreni di copertura e dell'assetto stratigrafico e litologico; le MOPS 2001 e 2002 sono relative ai depositi detritici di versante

e ai depositi alluvionali terrazzati; le MOPS 2003, 2004 e 2005 sono relative ai depositi alluvionali attuali e recenti del fondovalle del F. Nera e del F.so delle Scentelle.

La Carta delle MOPS rappresenta quindi le microzone più significative, dove è stato possibile eseguire le necessarie indagini e modellazioni nei tempi e con le risorse che il progetto ha consentito.

Le MOPS definite per gli sudi di MS3 sono rappresentate nella figura e nella tabella seguenti. I travertini sono stati inseriti nella MOPS 2001 e sono stati considerati come terreno di copertura a causa dell'elevata porosità e friabilità dell'ammasso litoide (roccia tenera).



COMUNE	MOPS	SPESSORE MIN (m)	SPESSORE MAX (m)	TIPO_GT	SIGLA GEOL o Descrizione	LOG	Vs med (m/s)	Vs Min (m/s)	Vs max (m/s)
S.ANATOLIA	1041			ALS	SAA, VAS, SCC	SS	848	823	865
	2001	0	20	GP-GM	dep. di versante prev. Ghiaiosi - tra	TC	500	350	640
				ALS	SAA	SS	848	823	865
	2002	20	40	GP-GM	dep. di versante prev. Ghiaiosi	TC	560	545	560
				ALS	SAA	SS	848	823	865
	2003	0	20	GM	dep. alluvionali a gran. mista	TC	330	290	370
				ALS	SAA, VAS, SCC	SS	848	823	865
	2004	20	40	GM	dep. alluvionali a gran. mista	TC	360	290	370
				ALS	SAA, VAS, SCC	SS	848	823	865
	2005	40	60	GM	dep. alluvionali a gran. mista	TC	370	370	370
				ALS	SAA, VAS, SCC	SS	848	823	865

7.2.1. AREE STABILI (tipo_z = 1000)

Le aree stabili corrispondono alle zone dove è affiorante o subaffiorante il substrato roccioso. Queste sono state classificate nella zona 1, tipo_z 1041, corrispondente a substrato con alternanze litologiche, stratificato. Nelle zone stabili, effetti amplificativi possono essere indotti dalla topografia, come per esempio zone di cresta, e/o dalla stratigrafia allorché è presente una coltre di alterazione del substrato di spessore superiore a 3 m. o il grado di fratturazione è molto alto (es. Scaglia Cinerea).

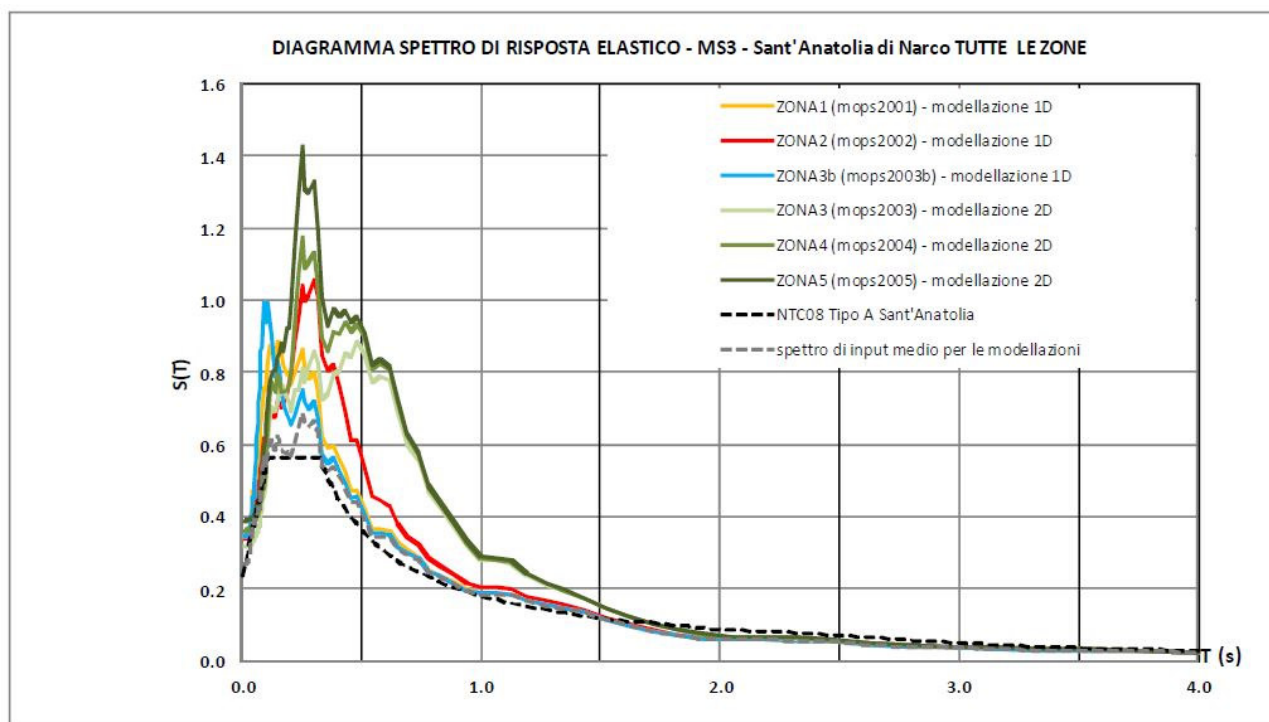
Nella zona studiata, le aree stabili 1041 corrispondono agli areali di affioramento della roccia (substrato geologico), individuabili sui versanti del colle del centro storico di Sant'Anatolia di Narco verso la valle del F. Nera, al rilievo a nord di Palombara.

In conclusione, anche nelle aree stabili sono sempre necessarie indagini puntuali di progetto per accertare l'eventuale presenza di un forte grado di fratturazione e/o di alterazione superficiale della roccia e relativo spessore della coltre fratturata/alterata, dato che orizzonti superficiali di alterazione con spessori anche superiori a 3 m., soprattutto in rocce stratificate con alternanze di litotipi per lo più marnosi, possono dare problematiche di amplificazione in porzioni localizzate definite come stabili.

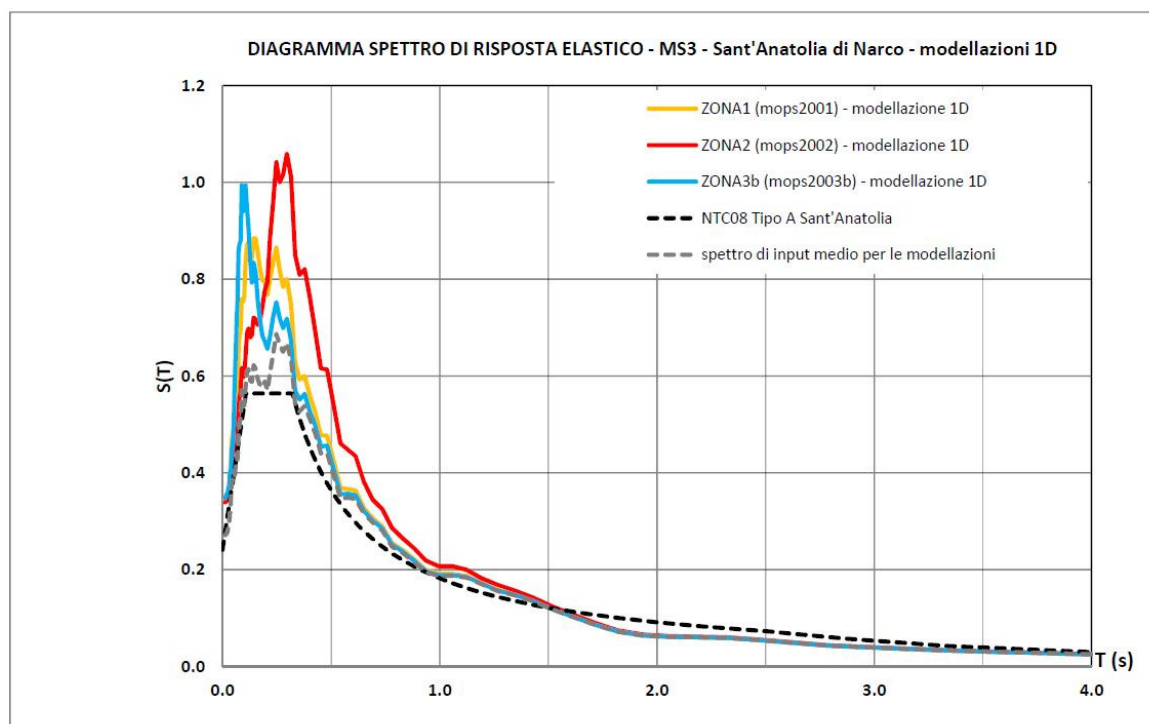
7.2.2. AREE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE (tipo_z = 2000)

Le aree stabili suscettibili di amplificazione sono state individuate sulla Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) che rappresenta la sintesi dei nuovi dati acquisiti e di quelli pregressi. Le colonne stratigrafiche tipo delle singole MOPS e gli intervalli delle caratteristiche litologiche, geometriche e geofisiche hanno consentito la ricostruzione di modelli geologici e sismostratigrafici. L'analisi numerica probabilistica nelle modellazioni monodimensionali (1D) ha permesso di tenere conto degli intervalli di variazione che caratterizzano le singole MOPS e la modellazione 2D (Sez. AN-3) di tenere conto gli effetti indotti dalle variazioni laterali della valle più profonda del F.so delle Scentelle.

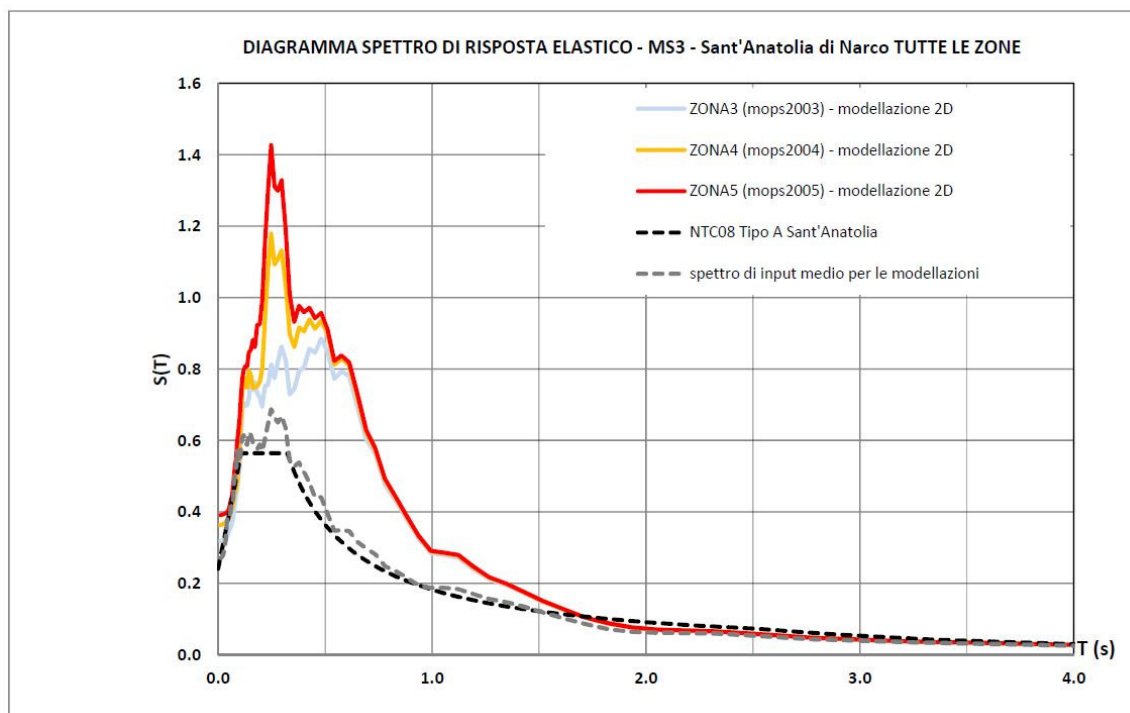
I risultati di tutte le modellazioni riferite a ciascuna MOPS sono rappresentati nel seguente diagramma come Spettri di Risposta elastici in accelerazione:



Un utile confronto fra gli Spettri di Risposta elastici derivanti dalle modellazioni monodimensionali (1D) applicate alle MOPS 2001, 2002 e 2003b è riportato nella figura seguente:



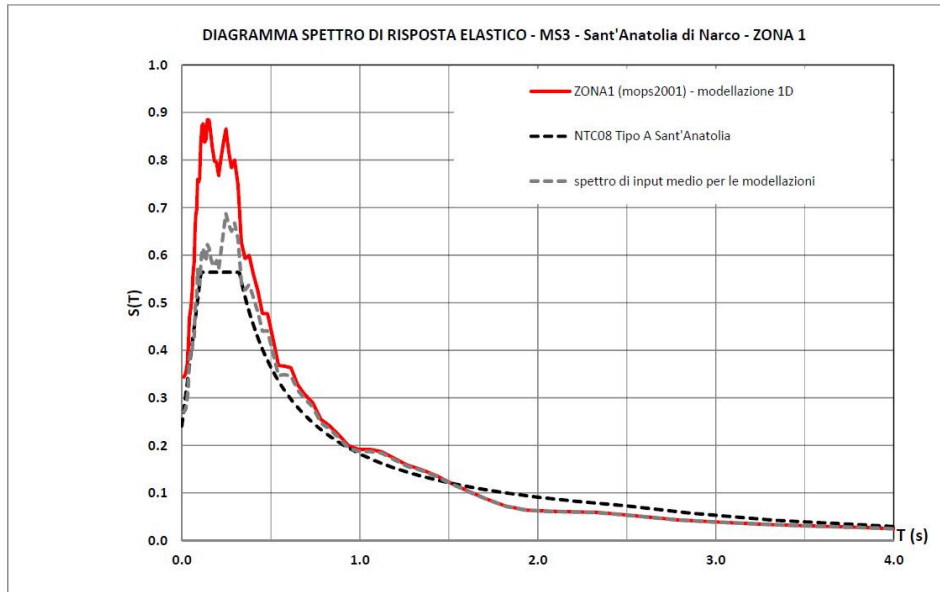
mentre la modellazione 2D, curata direttamente dall'U.O. della Macroarea Umbria, ha fornito i seguenti risultati:



					ZONA5	ZONA4	ZONA3
fa .1-0.5		1.16	1.39	1.66	1.85	1.67	1.44
fa .4-0.8		1.38	2.02	2.16	2.22	2.18	2.07
fa .7-1.1		1.41	1.73	1.79	1.83	1.81	1.76

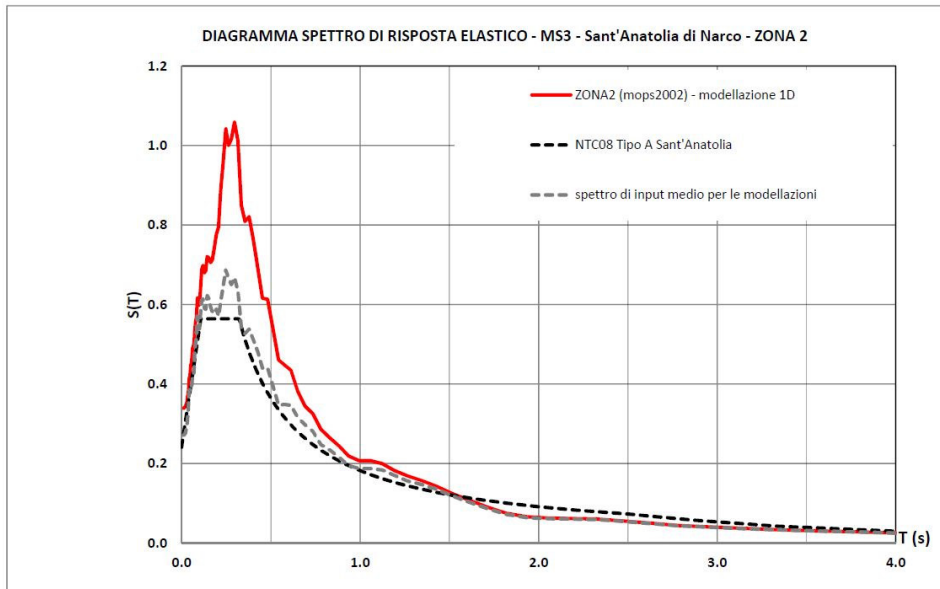
Vengono anche di seguito riportati i singoli spettri di risposta in accelerazione e i tre fattori di amplificazione per ciascuna delle MOPS analizzate:

ZONA1 (MOPS 2001):



FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.23	1.06	1.03

ZONA2 (MOPS 2002):

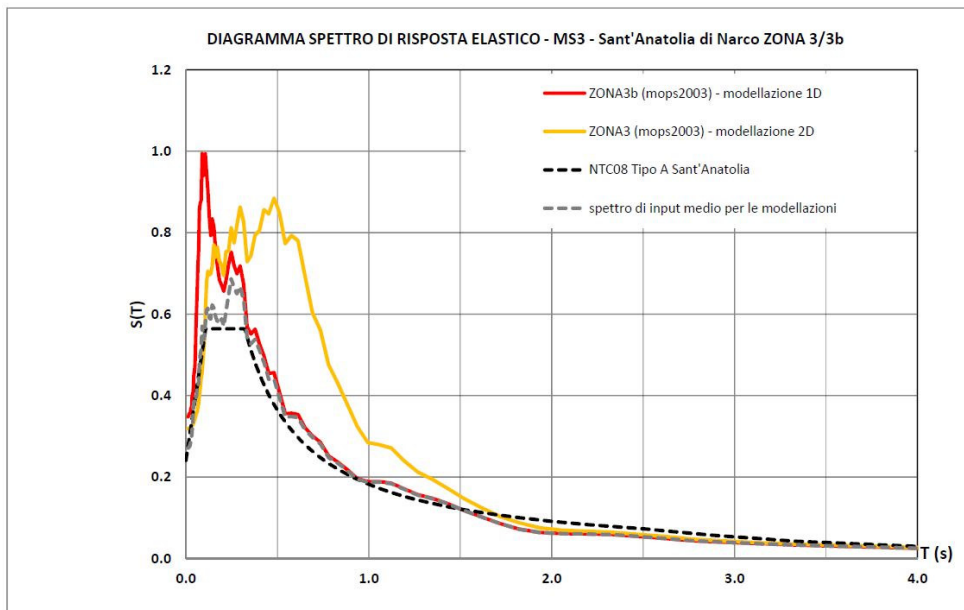


FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.42	1.28	1.15

ZONA3/3b (MOPS 2003):

Nella carte delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica la MOPS 2003 caratterizza la zona di contatto fra la copertura detritico alluvionale e il rilievo orientale della valle trasversale di direzione NNW-SSE in cui affiora il substrato stratificato ALS (Formazione della Scaglia Rossa) e si estende fino alla valle principale del F. Nera, in località Palombara. In tale ultima porzione, il ridotto spessore dei depositi alluvionali, di cui si è avuto riscontro con le indagini geofisiche, rende poco attendibile l'estensione dei risultati della modellazione 2D. In accordo con il coordinamento Macroarea Umbria del CMS, si è pertanto optato per una verifica con modellazione monodimensionale 1D. Nelle carte di Microzoanzone la MOPS 2003 risulta pertanto ulteriormente suddivisa in una porzione Nord, in cui sono attribuiti i valori di FA derivati dalla modellazione 2D, e in una porzione Sud (ZONA 3b) i cui valori di FA derivano da modellazione 1D.

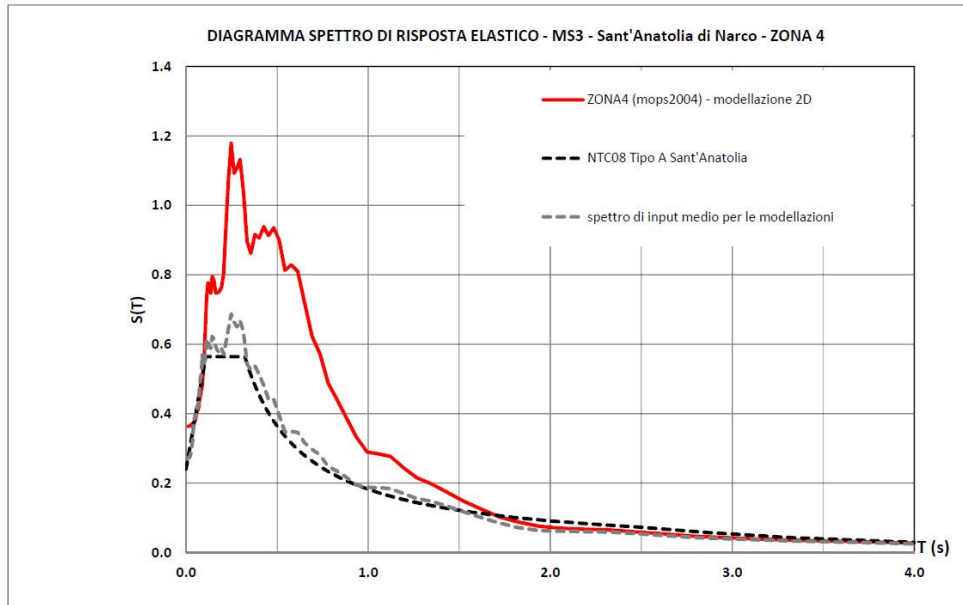
Per utile confronto, nel seguente diagramma che rappresenta lo Spettro di Risposta Elastico, sono rappresentati entrambi gli Spettri elastici in accelerazione ricavati dalle due modellazioni.



Si osserva che la zona Sud (Valle del Nera) con spessori ridotti di depositi alluvionali presenta amplificazioni elevate per bassi periodi (T), per lo più al di fuori degli intervalli previsti nelle Carte di Microzoanzone, mentre la zona Nord della valle più profonda è caratterizzata da amplificazioni elevate per tutti e tre gli intervalli, e particolarmente per i periodi (T) intermedi (Frequenze comprese fra 1.25 e 2.5 Hz)

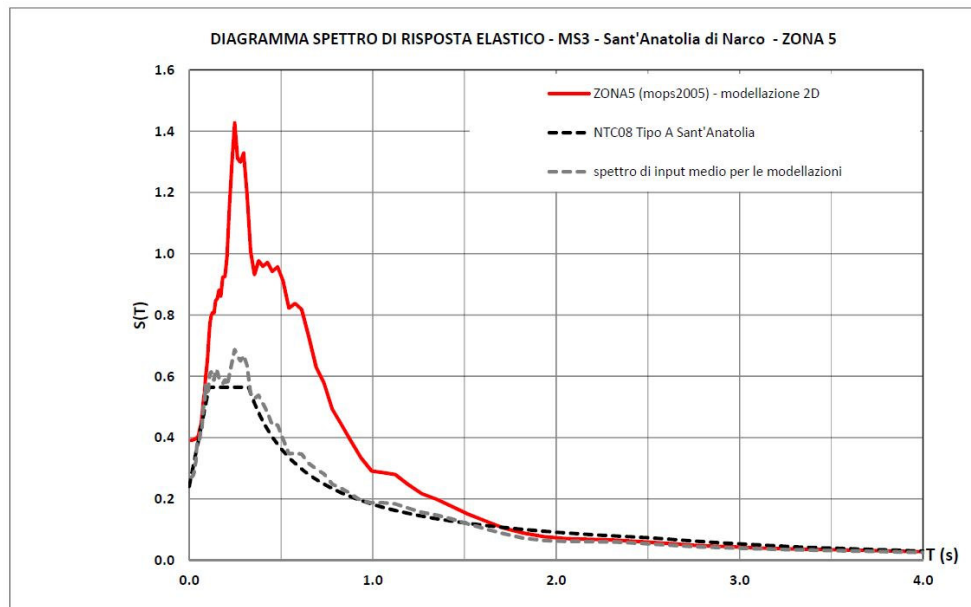
FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1	ZONA
1.44	2.07	1.76	ZONA 3
1.13	1.02	1.01	ZONA 3b

ZONA4 (MOPS 2004):



FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.67	2.18	1.81

ZONA5 (MOPS 2005):



FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.85	2.22	1.83

E' importante inoltre specificare che nelle microzone 1, 2 e 3b, in cui sono state eseguite modellazioni monodimensionali (1D), sono state ipotizzate condizioni ideali che rendono applicabili tali modellazioni, ovverosia presenza di successioni stratigrafiche orizzontali sufficientemente estese da poter trascurare effetti bidimensionali, quali morfologie sepolte, forti eteropie laterali, versanti, valli strette. Non sempre tali condizioni corrispondono alla reale situazione locale, pertanto i risultati ottenuti devono essere valutati criticamente caso per caso. La stessa metodologia utilizzata per le modellazioni 1D (approccio attraverso analisi probabilistica) tiene conto di alcune delle principali incertezze dei dati di input, quali la velocità delle onde Vs, lo spessore dei sismostrati, la profondità del *bedrock* sismico. Il risultato è, in sostanza, un valore 'medio' delle amplificazioni e dello spettro di risposta elastico attribuibili a tutta la microzona e tali valori possono essere considerati rappresentativi di ogni singola zona e costituire una ottima base di partenza per programmare le attività di ricostruzione.

7.3. CARTA DELLE MOPS LIVELLO 1

Nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica in scala 1:5.000 sono riportate, nelle aree esterne al perimetro di MS3, le microzone degli studi di microzonazione sismica del Livello 1.

Le microzone del livello 1 delle località non interessate dagli studi di approfondimento di livello 3 e non contigue a tali aree di studio (Grotti, Agelli-Borgo Agelli, Castel San Felice, Caso, Gavelli) sono riportate nella Carta delle MOPS in scala 1:10.000 (Tav.2). Tutte le zone del Livello 1 sono state riportate senza variazioni, in conformità agli studi di MS di livello 1 validati.

Se ne fornisce di seguito una descrizione sintetica, rimandando per approfondimenti agli studi di microzonazione sismica di livello 1 (REGIONE UMBRIA, COMUNE DI SANT'ANATOLIA DI NARCO; 2013 - Soggetto realizzatore: Geol. B. Marco Sotera).

7.3.1. AREE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE (tipo_z = 2000)

Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali del livello 1 degli studi di MS sono state rinominate con numerazione progressiva da 2011 a 2022, al fine di evitare sovrapposizioni ed ambiguità nella banca dati. La seguente descrizione è tratta dai precedenti studi di MS1 (Si confronti anche figura pag. 50 - colonne litostratigrafiche sintetiche):

- Zona 11 (2011 – ex Zona 1 del livello MS1) – Cresta in substrato lapideo stratificato.
- Zona 12 (2012 – ex Zona 2 del livello MS1) – Travertini prevalentemente massivi (h = 20 m) su substrato lapideo stratificato.
- Zona 13 (2013 – ex Zona 3 del livello MS1) – Ghiaie da molto addensate a cementate (h = 40 m) su substrato lapideo stratificato e travertini massivi.
- Zona 14 (2014 – ex Zona 4 del livello MS1) – Sabbia limosa e limo sabbioso con ghiaie (h = 10 m)
- Zona 15 (2015 – ex Zona 5 del livello MS1) – Ghiaie con matrice limoso sabbiosa (h = 15 m) su substrato lapideo stratificato e travertini massivi.
- Zona 16 (2016 – ex Zona 6 del livello MS1) – Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (h = 10 m)
- Zona 17 (2017 – ex Zona 7 del livello MS1) – Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia (h = 10 m)
- Zona 18 (2018 – ex Zona 8 del livello MS1) – Limi inorganici, sabbie fini, limi micacei (h = 5 m)
- Zona 19 (2019 – ex Zona 9 del livello MS1) – Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla (h = 10 m)
- Zona 20 (2020 – ex Zona 10 del livello MS1) – Limi e argille di origine alluvionale con lenti di ghiaie pulite (h = 10 m)
- Zona 21 (2021 – ex Zona 11 del livello MS1) – Limi inorganici, sabbie fini, limi micacei (h = 10 m)
- Zona 22 (2022 – ex Zona 12 del livello MS1) – Ghiaia sabbiosa da mediamente addensata a addensata (h = 35 m).

7.3.2. Zone di Attenzione per instabilità di versante ZAfr

Negli studi di livello 1 sono state individuate le seguenti zone suscettibili di instabilità di versante:

- 3015 - corpo di frana attiva, non definita;
- 3025 - corpo di frana quiescente, non definita;
- 3045 - corpo di frana non definito;

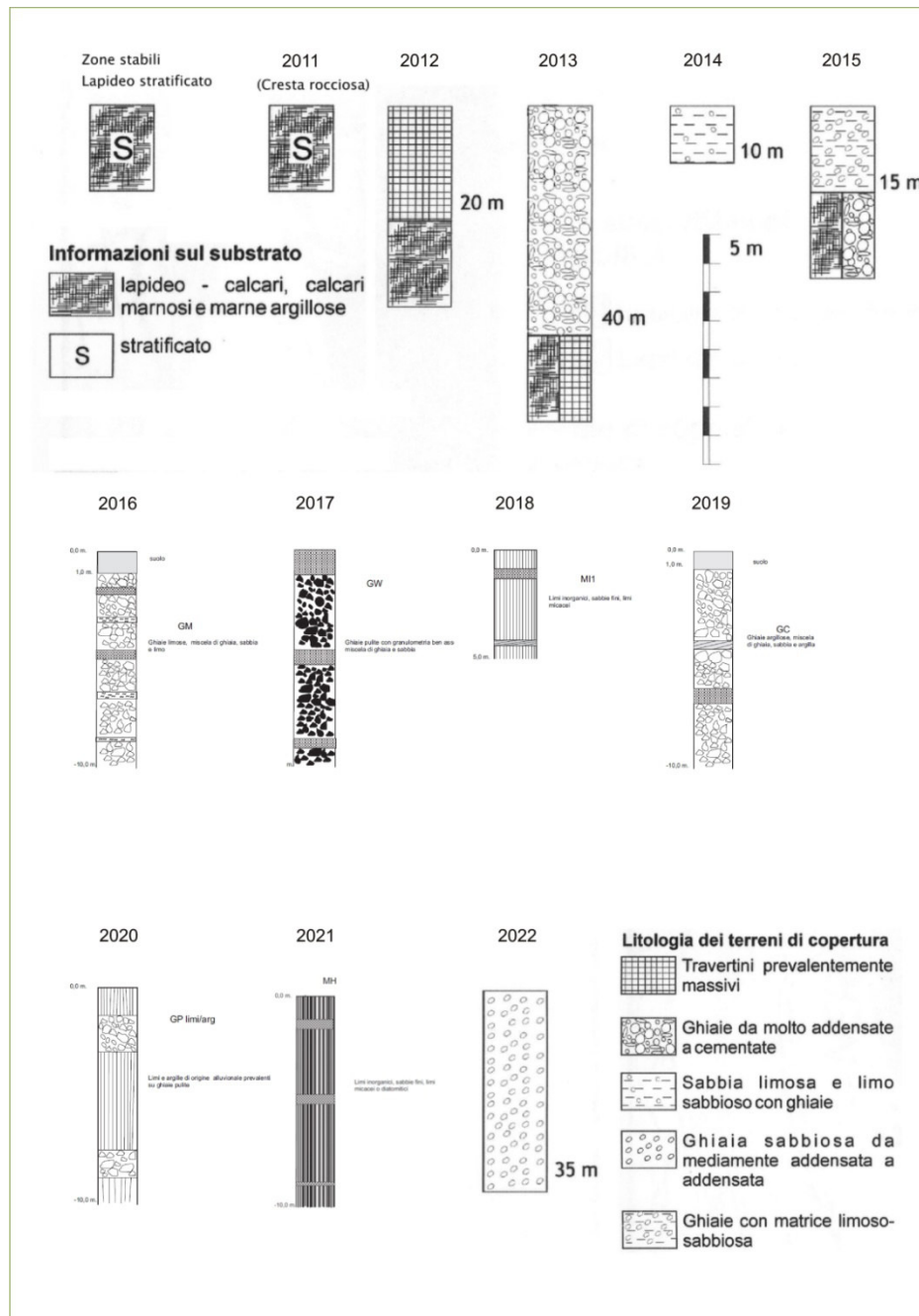
Nei codici di 8 cifre, riportati nelle Carte delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, le ultime 4 cifre sono riferite alla probabile tipologia di zona stabile suscettibile ad amplificazione, associabile alla zona di attenzione per instabilità di versante (ZAfr), secondo quanto indicato nello Standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Microzonazione sismica, Versione 4.0b.

7.3.3. AREE STABILI

Negli studi di livello 1 il substrato è stato descritto:

- 1011 – substrato lapideo stratificato
- 1021 – substrato granulare cementato

Colonne litostratigrafiche sintetiche (figura tratta dalla Carta delle Microzone omogenee in Prospettiva Sismica di livello 1 - Regione Umbria, Comune di Sant'anaolia di Narco; 2013 - Soggetto realizzatore: Geol. B. Marco Sotera):



8. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Le principali incertezze del presente studio sono legate alla variazione locale degli spessori dei terreni di copertura ed alle variazioni litologiche laterali, in particolare all'interno dei depositi alluvionali di fondo valle e in misura nei depositi di detrito di falda e di conoide alluvionale. La stessa metodologia utilizzata, con analisi probabilistica, tiene conto di alcune delle principali incertezze dei dati di input, quali la velocità delle onde Vs, lo spessore dei sismostrati, la profondità del bedrock sismico.

Il risultato è, in sostanza, un valore 'medio' delle amplificazioni e dello spettro di risposta elastico attribuibili a tutta la microzona. Pertanto modelli geologici e sismostratigrafici diversi dovranno essere valutati caso per caso.

In definitiva i valori di amplificazioni ottenuti dalle modellazioni e sintetizzati nelle carte FA0105, FA0408, FA0711 possono essere considerati rappresentativi di ogni singola zona e costituire un'ottima base di partenza per programmare le attività edilizie e di ricostruzione. In ogni caso si ritiene non possano essere utilizzati tout court senza ulteriori indagini dirette e geofisiche di norma necessarie per caratterizzare il modello geologico tecnico e sismostratigrafico dei siti di ogni singolo intervento di ricostruzione, come peraltro previsto dalla normativa tecnica vigente. Anzi si auspica che i risultati degli studi di microzonazione di livello 3 possano costituire la base metodologica di ogni specifica località per affidabili analisi di Risposta Sismica Locale per la costruzione o ri-costruzione degli edifici in un territorio ad elevata pericolosità sismica, al fine di una riduzione programmata e consapevole del rischio.

9. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Le vigenti Norme Tecniche per le costruzioni (NTC08) richiedono di valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto. Tali analisi di Risposta Sismica locale (RSL) sono effettuate alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico sulla base di dettagliate indagini geologiche, geotecniche e geofisiche, pianificate e programmate dai progettisti. In assenza di tali analisi di RSL la normativa prevede si possa fare riferimento all'approccio semplificato che si basa sull'individuazione delle categorie di 'sottosuolo' di riferimento. Anche in questo caso sono tuttavia necessarie specifiche e dettagliate indagini geologiche, geotecniche e geofisiche, pianificate e programmate dai progettisti alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico. I risultati degli studi di Microzonazione costituiscono un'ottima base di partenza per programmare e pianificare tali indagini di approfondimento sito-specifiche.

In tale ottica si fornisce un quadro di sintesi delle possibili attribuzioni di categorie di sottosuolo attraverso l'approccio semplificato, nell'ambito delle singole zone e MOPS individuate, ottenuto considerando le possibili variazioni nell'ambito dell'analisi probabilistica utilizzata per le modellazioni monodimensionali (1D), che tengono conto di alcune delle principali incertezze dei dati di input, quali la velocità delle onde Vs, lo spessore dei sismostrati, la profondità del bedrock sismico. Nella seconda colonna si riportano le categorie di sottosuolo attribuibili sulla base dei valori medi di Vs e della profondità del bedrock, che caratterizzano le colonne sismostratigrafiche di ciascuna mops:

COMUNE DI SANT'ANATOLIA DI NARCO			
ZONA	MOPS	CAT. SOTTOSUOLO NTC08	
		ATTRIBUZIONI POSSIBILI	VALORE MEDIO DELLA MOPS
1	2001	A/E/S2	S2
2	2002	B/S2	B
3	2003	E/S2	E
4	2004	B/C/E/S2	C
5	2005	B	B

La seguente tabella sintetizza le variazioni che sono state attribuite a ciascuna zona (MOPS), sulla base delle specifiche indagini geofisiche eseguite o disponibili, delle inversioni congiunte dei risultati delle indagini MASW e HVSR, in termini di profondità del bedrock sismico e velocità di propagazione delle onde di taglio Vs:

COMUNE	MOPS	SPESSORE MIN (m)	SPESSORE MAX (m)	TIPO_GT	SIGLA GEOL o Descrizione	LOG	Vs med (m/s)	Vs Min (m/s)	Vs max (m/s)
S.ANATOLIA	1041			ALS	SAA, VAS, SCC	SS	848	823	865
	2001	0	20	GP-GM	dep. di versante prev. Ghiaiosi - tra	TC	500	350	640
				ALS	SAA	SS	848	823	865
	2002	20	40	GP-GM	dep. di versante prev. Ghiaiosi	TC	560	545	560
				ALS	SAA	SS	848	823	865
	2003	0	20	GM	dep. alluvionali a gran. mista	TC	330	290	370
				ALS	SAA, VAS, SCC	SS	848	823	865
	2004	20	40	GM	dep. alluvionali a gran. mista	TC	360	290	370
				ALS	SAA, VAS, SCC	SS	848	823	865
	2005	40	60	GM	dep. alluvionali a gran. mista	TC	370	370	370
				ALS	SAA, VAS, SCC	SS	848	823	865

La velocità equivalente delle onde di taglio Vs30 è stata anche calcolata con i valori desunti dalla prova Down Hole in foro appositamente predisposto (DH1). Il valore calcolato è pari a Vs30 = 623 m/s. Va considerato che il substrato geologico è stato intercettato alla

profondità di 6 m. dal p.c., mentre il bedrock sismico corrisponde alla profondità di 13 m. dal p.c. per la presenza di un consistente strato di alterazione (cfr. log sondaggio geognostico DH1 e risultati prova Down Hole). I valori di VsH, con il bedrock sismico posto a 13 m. dal p.c. secondo i risultati della prova down hole, sono pari a ca. 473 m/s. Tale valore è pertanto congruente con quello medio attribuito alla zona1 (MOPS2001) e i valori minimo e massimo lungo la verticale DH1 rientrano nell'intervallo di variazione di tale microzona, in cui è compreso il sito di indagine.

10. ELABORATI CARTOGRAFICI

Sono state realizzate e fanno parte integrante del presente studio le cartografie previste nel disciplinare predisposto dal CMS.

Un primo gruppo di cartografie sono state prodotte e consegnate al termine della prima fase di lavoro ed hanno riguardato:

- La Carta delle Indagini in scala 1 : 5.000
- La carta CGT in scala 1 : 5.000
- La carta delle Sezioni Geologico-Tecniche in scala 1 :5.000
- La Carta delle Frequenze in scala 1 : 5.000
- La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica in scala 1 : 5.000.

Nella seconda fase sono state prodotte:

- La Carta di Microzonazione Sismica FA0105s
- La Carta di Microzonazione Sismica FA0408s
- La Carta di Microzonazione Sismica FA0711s

11. BIBLIOGRAFIA

ACCORDI B. & MORETTI A. (1967) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 131 FOLIGNO*. Serv. Geol. d'It., pp. 61. Poligrafica & Cartevalori, Ercolano (Napoli).

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME TEVERE (2002) - *Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico*. Adottato dal Comitato Istituzionale con delibera n. 101 del 1 agosto 2002. N.° 3 CD-ROM.

BARCHI M., CARDINALI M., GUZZETTI F. & LEMMI M. (1993) - *Relazioni tra movimenti di versante e fenomeni tettonici nell'area del M. Coscerno-M. di Civitella, Valnerina (Umbria)*. Boll. Soc. Geol. It., **112**: 83-111.

BARCHI M., GUZZETTI F., LAVECCHIA G., LOLLI O. & BONTEMPO R. (1988) – *Sezioni geologiche bilanciate attraverso il sistema a pieghe umbro-marchigiano: 1. La sezione*

Trevi-Valle dell'Ambro. Boll. Soc. Geol. It., **107**: 109-130.

BARCHI M., LAVECCHIA G., GALADINI F., MESSINA P., MICHETTI A. M., PERUZZA L., PIZZI A., TONDI E. & VITTORI E. (a cura di) (2000) - *Sintesi delle conoscenze sulle faglie attive in Italia Centrale: parametrizzazione ai fini della caratterizzazione della pericolosità sismica*. CNR-GNDT, Volume congiunto dei Progetti 5.1.2, 6a2, 5.1.1, Esagrafica, Roma.

BARCHI M & LEMMI M. (1996) - *Geologia dell'area di Monte Coscerno–M. di Civitella, Valnerina (Umbria sud-orientale)*. Boll. Soc. Geol. It., **115**: 601-624.

BONI C., BONO P. & CAPELLI G. (1986) – *Schema idrogeologico dell'Italia centrale*. Mem. Soc. geol. It., 35: 991-1012.

BONI C. & PREZIOSI E. (1993) – *Una possibile simulazione numerica dell'acquifero basale di M. Coscerno – M. Aspra (bacino del F. Nera)*.

BOSCHI E., GUIDOBONI E., FERRARI G. & VALENSISE G. (1998) - *I terremoti dell'Appennino umbro-marchigiano. Area Sud orientale dal 99 a.C. al 1984*. Istituto Nazionale di Geofisica, SGA Storia Geofisica Ambientale. pp. 267, Editrice Compositori, Bologna.

BROZZETTI F. & LAVECCHIA G. (1994) – *Seismicity and related extensional stress field: the case of the Norcia seismic zone (Central Italy)*. Annales Tectonicae, **8**, 1: 36-57.

CALAMITA C., COLTORTI M., PICCININI D., PIERANTONI P.P., PIZZI A., RIPEPE M., SCISCIANI V. & TURCO E. (2000) – *Quaternary faults and seismicity in the Umbro-Marchean Apennines (Central Italy): evidence from the 1997 Colfiorito earthquake*. J. Geodyn., **29**: 245-264.

CALAMITA F., COLTORTI M., PIERANTONI P.P., FARABOLLINI P. & PIZZI A. (1994) – *Le faglie normali quaternarie e la sismicità nella dorsale appenninica umbro-marchigiana: l'area di Colfiorito*. Studi Geol.Camerti, **14**.

CARDINALI M., DRAGONI W. & GUZZETTI F. (1989) - *Prime osservazioni sui probabili fenomeni gravitativi di versante del Monte Coscerno (Valle del Nera, Appennino umbro-marchigiano)*. Boll. Soc. Geol. It., **108** (3): 373-378.

CENCETTI C., DRAGONI W. & NEJAD MASSOUM M. (1989) - *Contributo alle conoscenze delle caratteristiche idrogeologiche del Fiume Nera (Appennino Centro-Settentrionale)*. Geologia Appl. e Idrogeologia, Vol. XXIV, Bari, pp. 191 - 210.

CELLO G., MAZZOLI S., TONDI E. & TURCO E. (1997) – *Active tectonics in the Central Apennines and possible implication for seismic hazard analysis in peninsular Italy*. Tectonophysics, **272**: 43-68.

CHIARALUCE L., BARCHI M., COLLETTINI C., MIRABELLA F. & PUCCI S. (2005) – *Connecting seismically active normal faults with Quaternary geological structures in a complex extensional environment: The Colfiorito 1997 case history (northern Apennines, Italy)*. Tectonics, **24**, TC1002, doi:10.1029/2004TC001627; pp.16.

CNR/GNDT – SSN – REGIONE MARCHE, REGIONE UMBRIA (1998) - *Microzonazione sismica speditiva delle località più danneggiate dalla sequenza di terremoti dell'Umbria-Marche iniziata il 26 settembre 1997*.

COLACICCHI R., BALDANZA A. & PARISI G. (1985) – *Torbiditi carbonatiche nella Scaglia Rossa del bacino umbro-marchigiano: stratigrafia, sedimentologia e confronto con le torbiditi silicoclastiche*. Geol. Romana, **24**: 35-72.

COLTORTI M., FARABOLLINI P., GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (1996) – *Geomorphological evidence for anti-Apennine faults in the Umbro-Marchean Apennines and in the peri-adriatic basin, Italy*. *Geomorphology*, **15**: 33-45.

GRUPPO DI LAVORO MS - AQ (2010) – *Microzonazione sismica per la ricostruzione dell'area aquilana*. Regione Abruzzo – Dipartimento della Protezione Civile, L'Aquila, s vol. e Cd-rom.

GUZZETTI F. & CARDINALI M. (1989) – *Carta inventario dei movimenti franosi della Regione dell'Umbria ed aree limitrofe*. C.N.R. – I.R.P.I. Perugia, C.N.R. – G.N.D.C.I.. Pubbl. G.N.D.C.I. n. 204, carta a scala 1:100.000.

GUZZETTI F., REICHENBACH P. & GHIGHI S. (2004) - *Rockfall hazard and risk assessment along a transportation corridor in the Nera Valley, Central Italy*. *Environmental Management*, **34** (2): 191-208.

IDRISS I. M., LYSMER J., HWANG R.N. & SEED H. B. (1994) - *QUAD-4: a computer program for evaluating the seismic response of soil structures by variable damping finite element procedures*. Center for Geotechnical Modeling, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, 1994

ISPRA – SERV. GEOL. D'IT. (2011) – *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 336 SPOLETO*. Coordinatore Scientifico: A.V. Damiani

MARTINI G., CASTANETTO S. & NASO G. (2011) – *La carta geologico tecnica per gli studi di MS*. Supplemento alla rivista "Ingegneria sismica", Anno XXVIII, n. 2.

MESSINA P., GALADINI F., GALLI P. & SPOSATO A. (2002) – *Quaternary basin evolution and present tectonic regime in the area of the 1997-1998 Umbria-Marche seismic sequence (central Italy)*. *Geomorphology*, **42**: 97-116.

MONACO P., NOCCHI M. & PARISI G. (1987) – *Analisi stratigrafica e sedimentologica di alcune sequenze pelagiche dell'Umbria sud-orientale dall'Eocene inferiore all'Oligocene inferiore*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **106**: 71-91.

REGIONE UMBRIA, COMUNE DI SANT'ANATOLIA DI NARCO (2013) – *OPCM n. 4007 del 29 febbraio 2012 – Annualità 2011; DGR 1112/2012 Interventi di prevenzione del rischio sismico. Effettuazione delle indagini di Microzonazione Sismica (MZS) - Microzonazione sismica di I e II Livello*. Geol. Biagio Marco Sotera, 8 ottobre 2013.

REGIONE UMBRIA, CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE I.R.R.S. (2000) – *La microzonazione sismica speditiva relativa ai terremoti del 1997-98 in Umbria*. Tipolito Visconti, Terni.

REGIONE UMBRIA – REGIONE MARCHE (1998) - *Manuale per il rilevamento e l'identificazione delle zone suscettibili di amplificazioni o instabilità dinamiche locali*. Dicembre 1998

SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA (1994) - *Guide geologiche regionali: Appennino Umbro Marchigiano (Coordinatore: L. Passeri)*. pp. 301, BE-MA Editrice.