





Attuazione dell'Art.11 della Legge 24 Giugno 2009, n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

REGIONE ABRUZZO

Comune di CHIETI (CH)



Regione Abruzzo

Soggetti Realizzatori Geol. Ermenegildo Rossetti

Geol. Armando Mazzei

Collaboratore:

Geol. Francesca Fonticoli

Data

Giugno 2015

INDICE

1.	INTRODUZIONE		1			
2.	Definizione della pericolosità di ba	se e degli eventi di riferimento!	5			
	2.1. Sismicità storica		5			
	2.2. Sismicità dell'area		1			
	2.3. Pericolosità sismica di base		5			
	2.4 Suscettibilità dei terreni al fend	meno della liquefazione20	0			
3.		o dell'Area 2				
	3.1. Assetto geologico		2			
	3.2 Assetto geomorfologico		1			
	3.2.1 Cavità sotterranee	3	5			
	3.2.2 Dissesti storici e recenti	4	0			
	3.2.3 Principali interventi di cons	olidamento4	4			
	3.3. Assetto idrogeologico	40	6			
4.		4				
		ni49				
		Associazione pelitico-sabbiosa plio-pleistocenica (FMTa) 5	0			
		Associazione sabbioso-conglomeratica (FMT $_{d}$) e				
	•	ca (FMT _c)				
		coltre eluvio-colluviale (col)				
		epositi alluvionali terrazzati (at)				
		epositi alluvionali recenti (all)5 				
_	3					
	_	Itati				
٥.	•	8:				
	_	8:				
	9					
		me di superficie e sepolte8				
	-	sottosuolo				
		ali8				
		ee in Prospettiva Sismica8				
	=	mplificazioni locali8				
		abilità8				
	-	8				
9.	Confronto con la distribuzione dei	danni degli eventi passati8	8			
		90				
Α	LLEGATI					
•	Report misure di sismica passiva	All.	1			
•	Documentazione fotografica misure	e sismiche "	2			
	_		_			
A	PPENDICI					
•	Valutazione della pericolosità sismica (Simulazioni numeriche) A A					
•	Valutazione della pericolosità sismi	ca (Approccio semplificato NTC08) "	2			
Д	LLEGATI fuori testo					
	Carta delle indagini	Tavv. 1A-1B-1C-1D-1E (Scala 1:5.000))			
	Carta geologico-tecnica	Tavv. 2A-2B-2C-2D-2E (Scala 1:5.000	•			
	Carta delle MOPS	Tavv. 3A-3B-3C-2D-2E (Scala 1:5.000	•			
	Sezioni geologico-tecniche	(Scala 1:5.000)	•			
•	SCLIOIN SCOIDSICO ICCITICITE	(Scala 1.5.000	1			

1. INTRODUZIONE

A seguito del sisma del 6 aprile 2009, che ha interessato il territorio della Regione Abruzzo, la Presidenza del Consiglio dei Ministri, in attuazione dell'articolo 11 del D.L. 28.04.2009, n. 39 (cd. "Decreto Abruzzo"), ha emanato l'Ordinanza n. 3907 del 13.11.2010 (di seguito O.P.C.M. 3907/2010), con la quale si intraprende un programma pluriennale (2010-2016) in materia di prevenzione del rischio sismico.

Tra le attività promosse e finanziate dall'O.P.C.M. 3907/2010 rientrano gli studi di microzonazione sismica (di seguito MS) di Livello 1, da effettuare sul territorio regionale secondo procedure e modalità stabilite dalla citata Ordinanza e dalla DGR n. 333 del 20 maggio 2011 della Regione Abruzzo.

L'O.P.C.M. 3907/2010, all'art. 5 comma 3, dispone che le Regioni individuino, con proprio provvedimento, i territori nei quali è prioritaria la realizzazione degli studi di MS, definendo, come soglia generale di ammissibilità al finanziamento, il valore di accelerazione massima al suolo "ag" superiore o uguale a 0,125 g, come specificato nell'Allegato 2 e nell'Allegato 7 della medesima Ordinanza.

La Regione Abruzzo ha quindi avviato, in modo graduale e progressivo, studi di MS mediante finanziamenti adeguati per il conseguimento di elaborazioni di Livello 1 su tutto il territorio regionale.

Lo studio di MS di Livello 1 ha l'obiettivo di individuare porzioni di territorio contraddistinte da un comportamento sismico omogeneo. Il quadro conoscitivo necessario a realizzare tale livello si basa sulla raccolta dei dati pregressi: rilievi geologici, geomorfologici e geologico-tecnici, sondaggi, indagini geofisiche. La sintesi dei dati e delle cartografie disponibili consente di realizzare i seguenti prodotti:

- Carta delle indagini, nella quale sono ubicate e distinte per tipologia tutte le indagini puntuali e lineari disponibili
- Carta geologico-tecnica e sezioni, nella quale sono descritte le diverse unità litologiche riconosciute e definiti i rapporti stratigrafici
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)
- Relazione illustrativa.

In particolare, nella carta delle MOPS sono rappresentate:

- Zone stabili: senza effetti di modificazione del moto sismico rispetto ad un terreno rigido (Vs≥800 m/s) e pianeggiante (pendenza <15°);
- **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:** amplificazioni litostratigrafiche per Vs<800 m/s e spessori >5 m, amplificazioni topografiche su rilievi di roccia;
- Zone di attenzione per le instabilità: esposte ad attivazione di fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazione, fagliazione superficiale).

Nell'ambito del Programma Regionale di Mitigazione del Rischio Sismico, l'Amministrazione comunale di Chieti, ha affidato, con Disciplinare d'incarico professionale del 13 febbraio 2014, ai sottoscritti Geol. Armando MAZZEI e Geol. Ermenegildo ROSSETTI (*Soggetti Realizzatori*) e al Geol. Francesca Fonticoli (*Collaboratore*), iscritta da meno di 5 anni all'Albo professionale, la realizzazione della MS di Livello 1, in attuazione alla D.G.R. n. 333/2011,

L'incarico consiste nell'espletamento delle attività professionali volte alla realizzazione della *Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica* (in seguito MOPS) da effettuarsi secondo gli standard tecnici nazionali e regionali di riferimento di cui all'art. 2, nella loro versione più aggiornata possibile (al momento, rispettivamente, Versione 3.0 e Versione 1.2).

In particolare, con riferimento all'art. 2 sopra citato, i sottoscritti sono tenuti al rispetto delle indicazioni contenute nei seguenti documenti tecnici di riferimento (cfr. art. 5 comma 7 ed art. 6 dell'O.P.C.M. 3907/2010):

- Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (di seguito I.C.M.S.) ¹, redatti dal Dipartimento della Protezione Civile (in seguito D.P.C.) ed approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome;
- Microzonazione sismica per la ricostruzione dell'area aquilana, redatto dal D.P.C. e dalla Regione Abruzzo a seguito dell'evento sismico del 2009;
- 3. Specifiche tecniche per la redazione degli elaborati cartografici ed informatici relativi al primo livello 1 delle attività di MS (di seguito Linee Guida) redatte dalla Regione Abruzzo al fine di uniformare gli I.C.M.S. alle caratteristiche regionali.

¹ F. Bramerini, G. Di Pasquale, G. Naso, M. Severino - Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (Parti I, II e III), 2088.

Per l'informatizzazione degli studi di MS, si osserveranno i seguenti standard di rappresentazione cartografica di riferimento di cui alle stesse Linee Guida:

- Standard di rappresentazione cartografica e archiviazione informatica Specifiche tecniche per la redazione in ambiente GIS degli elaborati cartografici della MS definiti dal D.P.C.;
- 2. **Standard di rappresentazione cartografica e archiviazione informatica** *Simbologia per la stesura della Carta delle Indagini secondo quanto previsto dagli I.C.M.S.* definiti dal D.P.C..

Lo studio ha, inoltre, dato piena esecuzione alle seguenti attività:

- 1. Attività preliminare: i Soggetti Realizzatori, a seguito di sopralluoghi sul territorio comunale e all'acquisizione dei dati utili, hanno redatto una Relazione Preliminare trasmettendola all'Ente Attuatore che, a sua volta, ha provveduto a trasmetterla al Tavolo Tecnico di Monitoraggio all'uopo istituito dalla Regione Abruzzo. L'elaborato ha riportato le procedure, le modalità operative da adottare per la realizzazione dello studio di MS, la bibliografia dei documenti disponibili nonché il cronoprogramma delle attività. In allegato è riportata la Carta Tecnica Regionale (scala 1:15.000) con la perimetrazione delle macroaree da sottoporre agli studi di MS.
 - Alla Relazione Preliminare è stata allegata la Carta Tecnica Regionale (scala 1:5.000) con la perimetrazione delle aree da sottoporre agli studi di MS di cui all'Art. 3.
- 2. <u>Attività intermedia</u>: non è stata prevista, per ragioni di urgenza, e quindi verranno sottoposti al Tavolo Tecnico direttamente gli elaborati previsti nella seguente attività.
- 3. <u>Attività conclusiva</u>: i Soggetti Realizzatori restituiscono, in formato cartaceo e digitale (cfr. Art. 5), i seguenti elaborati finali:
- a) Carta delle Indagini (scala 1:5.000)
- b) Carta Geologico-Tecnica (scala 1:5.000)
- c) Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (scala 1:5.000)
- d) Sezioni geologico-tecniche (scala 1:5.000).

Il presente documento rappresenta la **Relazione Illustrativa** e ad essa sono allegate (fuori testo) le Carte sopra citate.

La definizione delle aree di studio e le relative perimetrazioni sono state fornite dall'Amministrazione comunale.

Le cartografie prodotte al termine della fase finale riportano, però, perimetrazioni più estese rispetto a quelle richieste per avere una visione completa dei fenomeni e/o degli assetti geologici presenti nelle diverse aree rilevate.

Resta inteso che l'Amministrazione comunale, messa a conoscenza dell'ampliamento delle originarie perimetrazioni, le accetti ufficialmente con la contestuale ed ufficiale consegna dello studio al competente ufficio regionale.

Il presente studio è stato sviluppato attraverso uno specifico rilevamento geologico, che ha tenuto conto delle informazioni reperibili nella letteratura ufficiale, e in accordo con gli Standard Nazionali di rappresentazione e archiviazione informatica nazionali (Versione 3.0) e le Linee Guida della Regione Abruzzo (Versione 1.2).

Lo Studio tiene conto delle differenze sostanziali tra le specifiche tecniche nazionali e regionali soprattutto per quanto riguarda sia la tipologia di dati richiesti per la redazione della Carta Geologico-Tecnica sia per la connessa struttura di archiviazione dei dati alfanumerici e cartografici. In particolare, per l'adeguamento della Carta Geologico-Tecnica agli Standard di rappresentazione nazionali è stata utilizzata la Tavola di conversione delle Unità Litotecniche riportata nelle Linee Guida regionali.

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

2.1. Sismicità storica

In un articolo pubblicato su una rivista del 1929 ("Le Cento Città d'Italia") si legge:

"La collina di Chieti è formata principalmente di arenaria compatta e friabile, a strati orizzontali, interrotta da borse e ciottoli calcarei; e di argilla sottostante, con banchi affioranti di argilla fittile finissima. Nell'una e nell'altra formazione, si rinvengono fossili, e specialmente conchiglie; vi furono rinvenuti anche un teschio di elefante e denti attribuiti a rinoceronti.

Una simile assisa attutisce gli effetti dei terremoti che altrove, nel territorio abruzzese, sono gravi e talvolta fatali".

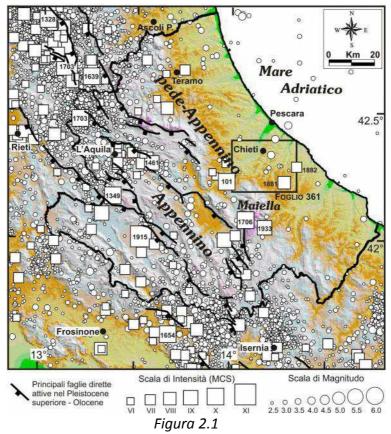
In effetti, nel capoluogo teatino non si sono mai verificati eventi sismici catastrofici.

Nel periodo che va dal 1315 al 2004, le massime intensità (7-8 gradi della scala Mercalli) sono state registrate nel 1706 e 1933 (terremoti con epicentro nella Majella) e nel 1915 (terremoto di Avezzano).

Il territorio in esame è collocato presso la costa adriatica e si sviluppa a cavallo di due zone sismotettoniche: la fascia pede-appenninica e la zona fra il pede-appennino e l'Adriatico. La prima include la Majella, che è stata interessata da due terremoti distruttivi negli ultimi 300 anni; la seconda è caratterizzata da modesta attività sismica. Queste caratteristiche di sismicità sono documentate principalmente dalle informazioni di sismologia storica, che per l'area abruzzese coprono un intervallo di tempo di quasi 2000 anni (*GRUPPO DI LAVORO CPTI*, 1999).

I dati di sismologia strumentale, che coprono l'ultimo ventennio, non mostrano, ad eccezione del terremoto di L'Aquila, attività sismica di rilievo o particolari concentrazioni di terremoti. Si osservano alcuni eventi sismici di piccola magnitudo (M 4.0), localizzati fra la Majella, Chieti e la costa, attribuibili principalmente al periodo di attività sismica del febbraio e luglio 1992. E' bene tenere presente che questo settore dell'Italia centrale non è mai stato ben coperto dal monitoraggio sismico, sia a scala nazionale (Rete Sismica Nazionale dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) che a scala locale (Rete Regionale dell'Abruzzo). E' quindi possibile che parte dell'attività sismica locale non compaia nei cataloghi dei terremoti strumentali, perché sfuggita all'osservazione sismologica o per difficoltà di localizzazione degli ipocentri. Ad ogni modo, è verosimile ritenere che se parte delle informazioni sono mancanti, queste sono relative a terremoti di piccola magnitudo

(M<4.0) e microsismicità (M<3.0), poiché terremoti o sequenze sismiche di energia superiore non sarebbero passati inosservati.



Epicentri dei terremoti storici relativi al periodo 217 a.C. - 1992 (quadrati) con Intensità maggiore o uguale al VI grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) (da Catalogo CPTI, Gruppo di Lavoro CPTI, 1999) e dei terremoti strumentali (cerchi) registrati dal 1983 al 2003 dalla Rete Sismica Nazionale dell'IINGV.

In figura sono riportate le tracce di superficie delle principali faglie attive dell'area appenninica.

Fra i terremoti storici, quelli di maggiore rilievo sono sicuramente gli eventi sismici della Majella del 3 novembre 1706, con intensità epicentrale (I_0) pari al IX-X grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) e magnitudo macrosismica (Ma nel catalogo CPTI di Figura 2.1) pari a 6.6, e del 26 settembre 1933 (I_0 = VIII-IX grado MCS, Ma = 5.6). Le zone epicentrali di questi eventi sismici sono localizzate a sud dell'area in studio.

La zona epicentrale dell'evento del 1706 è localizzabile nella porzione centrale della montagna della Majella. L'area epicentrale dell'evento del 1933 è posta poco più a sud-est, nei pressi di Lama dei Peligni. Entrambi questi terremoti hanno provocato gravi danni in tutta l'area circostante la Majella, inclusi i centri abitati ed in particolare la fascia compresa fra Lettomanoppello-Turrivalignani ed Orsogna.

Dalla distribuzione degli epicentri dei terremoti storici di Figura 2.1, si osserva un terzo terremoto di intensità elevata (I_0 = IX-X grado MCS, Ma = 6.3) posizionato immediatamente ad ovest (San Valentino in Abruzzo Citeriore).

Si tratta di un evento di età romana, databile al 101 d.C., la cui localizzazione è basata su una sola osservazione macrosismica: un'epigrafe, attualmente conservata nell'abbazia di San Clemente a Casauria, che ricorda la ricostruzione di una "pesa pubblica" nei pressi di San Valentino in Abruzzo Citeriore, distrutta da un terremoto. La posizione dell'epicentro non è ben vincolata; secondo alcuni studiosi, l'area epicentrale potrebbe essere più a sud-ovest di quella riportata nel catalogo, nella zona di Sulmona.

Recenti studi sulle sorgenti sismotettoniche e sull'attività delle faglie nel Massiccio della Majella (Pizzi et alii, 2010), che è considerato come area epicentrale dei due maggiori terremoti storici del 1706 e del 1933, basati su rilevamenti geologici e geomorfologici, hanno definito la geometria e il cinematismo delle faglie del Tardo Pleistocene-Olocene. Queste faglie mostrano un cinematismo prevalentemente normale e sono organizzate come un complesso sistema di fagliazione dextral en-echelon.

Un sistema di fagliazione di questo tipo è riconducibile ad una tettonica estensionale, che ha la sua espressione in superficie nei sistemi di faglie normali che post-datano le strutture compressive, bordano bacini sintettonici quaternari e spesso dislocano morfologie e depositi di età tardo-quaternaria.

Fra i terremoti con area epicentrale all'interno della zona coperta dal Foglio 361 meritano di essere ricordati due eventi del XIX secolo che a distanza di 5 mesi colpirono la zona compresa fra la Majella e la costa adriatica, a sud di Chieti. Si tratta del terremoto del 10 settembre 1881 (I₀ = VIII grado MCS, Ma = 5.4), noto nei cataloghi come terremoto di Lanciano, e quello del 12 febbraio 1882 (I₀ = VII grado MCS, Ma = 4.9), noto come terremoto di Chieti. Il primo provocò il massimo danneggiamento ad Orsogna (VIII grado) e Lanciano (VII-VIII grado) ed ebbe una vasta area, compresa fra le pendici orientali della Majella (Guardiagrele) e la costa adriatica (Ortona), con risentimenti pari al VII grado. Il secondo fu anch'esso caratterizzato da una vasta area di VII grado, compresa fra Castel Frentano-Orsogna-Chieti e la costa adriatica. Sebbene si tratti di terremoti relativamente piccoli (M<5.5), le informazioni macrosismiche a disposizione sono numerose, soprattutto per l'evento del 1881, e di conseguenza l'area epicentrale è piuttosto ben vincolata.

Per i terremoti del 1881 e 1882 non si dispone di informazioni sulle caratteristiche delle strutture tettoniche che li hanno originati. I rilevamenti geologici nell'ambito del progetto CARG non offrono informazioni conclusive al riguardo. Infatti, non sono presenti strutture tettoniche di superficie di importanza rilevante ad attività recente, ma solo faglie minori. Certamente, la presenza di questi terremoti è indicativa di una tettonica attiva e le strutture sismogenetiche potrebbero essere localizzate in profondità, al di sotto delle unità plioquaternarie della Formazione di Mutignano. Da dati storici raccolti dall'anno 1000 ad oggi, si evince che la massima intensità sismica registrata nel territorio comunale è pari al VII-VIII grado della scala Mercalli.

Tutto ciò premesso, si precisa quanto segue.

Il Comune di Chieti, nella nuova zonazione della Regione Abruzzo, è stato inserito, nell'anno 2003, tra i comuni sismici (Fig. 2.2).

La sismicità storica di Chieti è ricostruita attraverso l'interrogazione del *Database delle Osservazioni Macrosismiche dei Terremoti Italiani DBMI11* (a cura di M. Locati, R. Camassi, M. Stucchi – 2011) che elenca i principali terremoti in una certa area sulla base di almeno tre osservazioni relative a danneggiamenti occorsi e del *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI11* (a cura di A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini, M. Stucchi – 2011) che consente di conoscere i parametri dei principali terremoti avvenuti in una certa area dall'anno 1000 al 2004.

Nella Tab. 2.1 e nella Fig. 2.3 sono riportati gli anni dei principali eventi sismici e le relative intensità: da esse si rileva che i terremoti che hanno prodotto le maggiori intensità (6 < I[MCS] < 8) sono quelli elencati in Tab. 2.2, nella quale è evidenziato (in grassetto) quello dell'anno 1882 che avrebbe avuto Chieti come epicentro.

La sismicità è mediamente elevata (Zona 2) e quindi ci si dovrebbe confrontare con un campo di deformazione (indotto dalla possibile sollecitazione sismica) non particolarmente elevato, con un valore di accelerazione sismica massima $a_g \le 0,25g$.

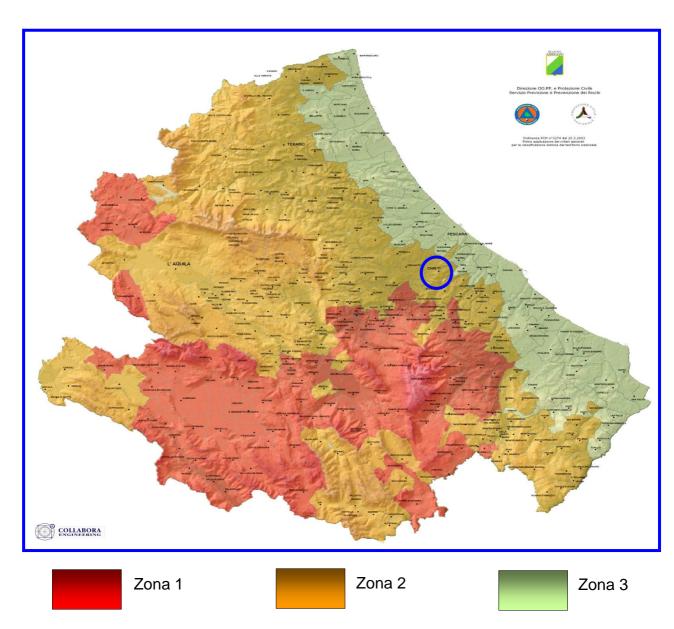


Figura 2.2 Classificazione sismica della Regione Abruzzo

Storia sismica di Chieti [42.351, 14.169]

Numero di eventi: 51											
Effetti					In occasione del terremoto del:						
I[MCS]	Data				Ax	Np Io Mw					
NR	1315	12	03		Castelli dell'Aquilano	13	85.57 ±0.34				
6	1456	12	05		MOLISE	199	11 7.22 ±0.13				
5	1627	07	30	10:50	Gargano	65	10 6.66 ±0.20				
6	1688	06	05	15:30	Sannio	216	11 6.98 ±0.12				
3	1694	09	08	11:40	Irpinia-Basilicata	251	10 6.79 ±0.10				
6-7	1703	01	14	18:00	Appennino umbro-reatino	199	11 6.74 ±0.11				
7-8	1706	11	03	13:00	Maiella	99	10-11 6.83 ±0.16				
F	1719	06	27	06:30	Alta Valnerina	16	8 5.53 ±0.31				
5	1805	07	26	21:00	Molise	223	10 6.62 ±0.11				
F	1841	02	21		S.MARCO IN LAMIS	13	6-7 5.27 ±0.28				
3	1841	06	10		Valle dell'Aventino	11	7 4.95 ±0.56				
F	1850	12	30	05:30	Celano-Cerchio	4	6-7 4.93 ±0.34				
4	1851	08	14	13:20	Basilicata	103	10 6.38 ±0.17				
4	1873	03	12	20:04	Marche meridionali	196	8 5.95 ±0.10				
F	1873	07	12	06:06	Monti della Meta	62	7-8 5.35 ±0.20				
2	1875	03	17	23:51	Romagna sud-orientale	144	5.93 ±0.16				
4-5	1875	12	06		S.MARCO IN LAMIS	97	85.98 ±0.16				
6-7	1881	09	10	07:00	Abruzzo meridionale	29	8 5.59 ±0.32				
7	1882	02	12		CHIETI	8	7 5.21 ±0.77				
3	1884	01	10		ATRI	12	5-6 4.60 ±0.50				
3	1885	04	10	01:44	Avezzano	44	5 4.66 ±0.24				
4-5	1889	12	08		APRICENA	122	75.69 ±0.13				
2-3	1901	07	31	10:38	Monti della Meta	76	75.23 ±0.17				
3-4	1905	08	25	20:41	SULMONA	39	65.16 ±0.26				
F	1907	01	23	00:20	Adriatico centrale	93	5.06 ±0.15				
3	1913	10	04	18:26	Matese	205	7-8 5.37 ±0.11				
7	1915	01	13	06:52	Avezzano	1041	11 7.00 ±0.09				
2	1915	01	14	07:18	Marsica	12					
3-4	1917	01	03	01:35	Marsica est	57					
2	1917	04	26	09:35	Valtiberina	134	9-10 5.89 ±0.11				
4	1919	10	21	00:24	Gargano	28	5-65.09 ±0.26				
3	1925	09	24	13:33	Molise occidentale	50	75.20 ±0.17				
5	1930	07	23	00:08	Irpinia	547	10 6.62 ±0.09				
4	1930	10	30	07:13	SENIGALLIA	263	8 5.81 ±0.09				
7	1933	09	26	03:33	Maiella	326	9 5.95 ±0.09				
5	1950	09	05	04:08	GRAN SASSO	386	8 5.68 ±0.07				
3					L'Aquila	152	7-8 5.21 ±0.11				
4	1962	08	21	18:19	Irpinia	262	9 6.13 ±0.10				
3-4					Friuli		9-10 6.46 ±0.09				
5	1979	09	19	21:35	Valnerina	694	8-9 5.86 ±0.09				
2-3					Marsica sud-est	69	5-6 4.99 ±0.09				
5					Irpinia-Basilicata	1394	10 6.89 ±0.09				
6					Appennino abruzzese	912	8 5.89 ±0.09				
4-5					Appennino abruzzese	342	5.50 ±0.09				
4					Potentino	1374					
4					Appennino umbro-marchigiano						
3-4					Appennino umbro-marchigiano						
3					Appennino umbro-marchigiano						
4-5					Subapp. Dauno	645	5.72 ±0.09				
NF					Molise	516					
NF	2004	12	09	02:44	Zona Teramo	224	5-6 4.18 ±0.09				

Tabella 2.1 (fonte: INGV)

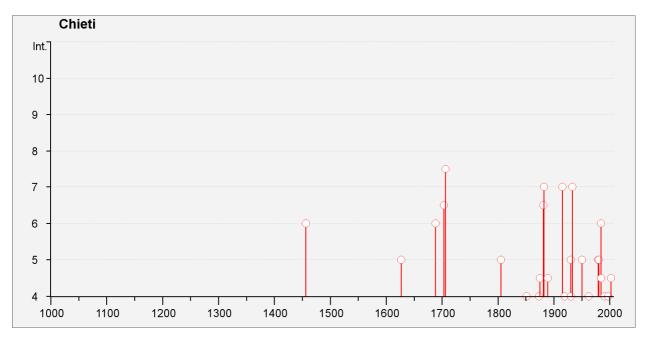


Figura 2.3 (fonte: INGV)

I [MCS]	Data	Epicentro	Mw		
6	1456	MOLISE	7.22		
6	1688	Sannio	6.98		
6-7	1703	Appennino Umbro-reatino	6.74		
7-8	1706	Majella	6.83		
6-7	1881	Abruzzo meridionale	5.59		
7	1882	CHIETI (vicinanze)	5.21		
7	1915	Avezzano	7.00		
7	1933	Majella	5.95		
6	1984	Appennino abruzzese	5.89		

Tabella 2.2

2.2. Sismicità dell'area

Attraverso l'applicazione webgis è possibile consultare in maniera interattiva le mappe di pericolosità sismica. In particolare per la zona di Chieti si hanno dei valori di accelerazione del suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) variabili da 0,150 ag a 0,200 ag (accelerazione massima del suolo) nei quattro punti della maglia di riferimento (Fig. 2.4).

L'analisi della disaggregazione dei valori di ag riporta, per ogni nodo della griglia di calcolo, la valutazione del contributo percentuale alla stima di pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di valori di magnitudo e distanza; questa informazione è riportata sia in forma grafica (Fig. 2.5) sia in forma tabellare (Tab. 2.3).

Per ogni nodo della griglia sono anche riportati, dopo la tabella, i valori medi di M-D-ε.

Questo tipo di analisi è pratico per l'individuazione della sorgente sismogenetica che contribuisce maggiormente a produrre il valore di scuotimento stimato in termini probabilistici ed è utile nelle analisi di microzonazione.

La zona, intesa in senso lato, è caratterizzata da terremoti storici che, in alcuni casi, hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo, ma con scarsi risentimenti a Chieti.

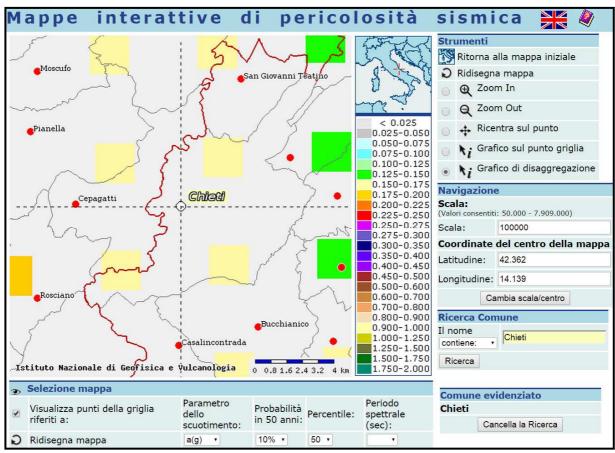


Figura 2.4 (fonte: INGV)

La massima probabilità per la distanza epicentrale inferiore ai 10 km è pari all'23,4% e si ha per magnitudo compresa tra 4.5 e 5.0.

Il valore medio di magnitudo è 5,290, per una distanza epicentrale di 12 km con un ϵ di 0,729.

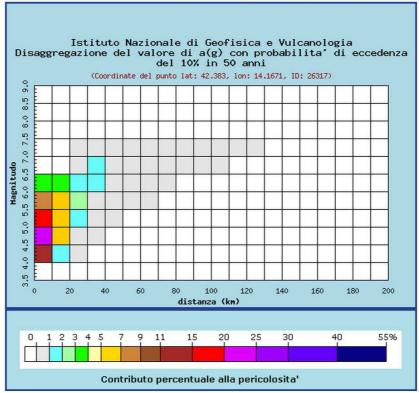


Figura 2.5 (fonte: INGV)

		Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 42.383, lon: 14.1671, ID: 26317)										
Distanza in	km	Magnitudo										
		3.5-4.	0 4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0	-10	0.00	0 11.400	23.400	15.400	8.680	3.680	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	-20	0.00	0 1.540	5.210	6.090	5.580	3.370	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	-30	0.00	0.023	0.518	1.450	2.150	1.850	0.284	0.177	0.000	0.000	0.000
30	-40	0.00	0.000	0.004	0.217	0.893	1.300	1.100	0.778	0.000	0.000	0.000
40	-50	0.00	0.000	0.000	0.007	0.207	0.622	0.819	0.679	0.000	0.000	0.000
50	-60	0.00	0.000	0.000	0.000	0.021	0.237	0.507	0.494	0.000	0.000	0.000
60	-70	0.00	0.000	0.000	0.000	0.002	0.056	0.280	0.329	0.000	0.000	0.000
70	-80	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.144	0.220	0.000	0.000	0.000
80	-90	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047	0.115	0.000	0.000	0.000
90-:	100	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.065	0.000	0.000	0.000
100-1	110	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.029	0.000	0.000	0.000
110-:	120	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000
120-:	130	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
130-:	140	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-:	150	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-:	160	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170		0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180		0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190		0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200		0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Valori medi												
Magnitudo Distanza Epsilon		Epsilon										
5.290 12.		.000	0.729									

Tabella 2.3 (fonte: INGV)

Per il territorio in esame si può fare riferimento alla Zona sismogenetica 918 Medio-Marchigiana/Abruzzese (Fig. 2.6), essendo ubicato in prossimità del suo margine meridionale.

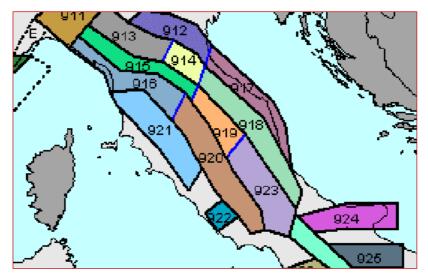


Figura 2.6 (fonte: INGV)

Le zone sismogenetiche comprendono le aree in cui le caratteristiche sismiche sono simili; ossia dove l'attività sismica è riconducibile alla medesima struttura o sorgente tettonica e agli stessi meccanismi di fagliazione.

In particolare nella zona 918 si verificano terremoti prevalentemente compressivi nella porzione nord-occidentale e probabilmente distensivi in quella sud-orientale; si possono altresì avere meccanismi trascorrenti. La zona è caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di Magnitudo. Nella zona 918 la Magnitudo massima attesa MW_{Max} è pari a 6.37, ossia nella zona sorgente non sono stati registrati terremoti con Magnitudo superiore.

Studi più recenti (P. Vannoli et alii, 2012) hanno permesso di ricostruire nel dettaglio l'assetto sismotettonico dell'Appennino Centrale (Fig. 2.7); dallo stralcio cartografico seguente si evince che il territorio di Chieti non è interessato da alcuna sorgente sismogenetica individuale (ISS) o composita (CSS) la cui proiezione sul terreno è rappresentata da vari poligoni di diverso colore.

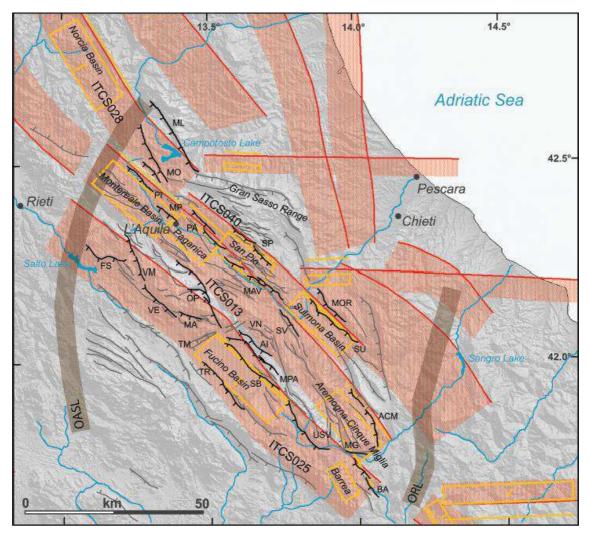


Figura 2.7 (fonte: Vannoli et alii, 2012)

2.3. Pericolosità sismica di base

L'area esaminata, come si è visto, è inserita in Zona sismica 2 nell'OPCM 3274 del 2003 e anche nella Classificazione Sismica del territorio nazionale al 2012 della Protezione Civile (Fig. 2.8).

In base a questa classificazione, nel Comune di Chieti si potrebbero verificare terremoti di intensità abbastanza forte.

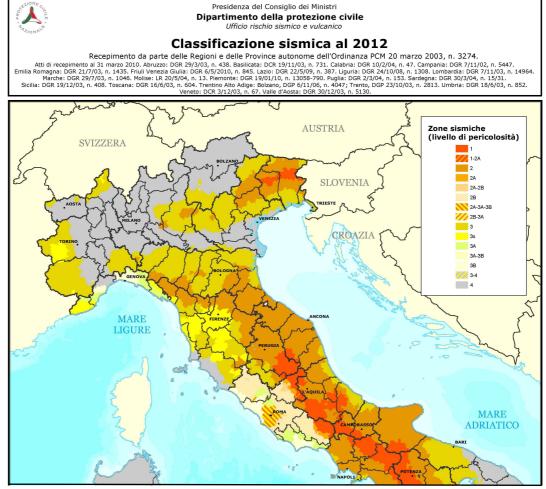


Figura 2.8 (fonte: INGV)

Nella *Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale* (Fig. 2.9), come da O.P.C.M. 3519 del 2006, espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (V_{s,30}>800), il territorio è incluso, come risulta anche dalla precedente Fig. 2.3, nella fascia caratterizzata da valori compresi tra 0,150 e 0,175 g.

In particolare, nell'O.P.C.M. 3807 del 2010, al Comune di Chieti, dichiarato sismico dall'O.P.C.M. 3274 del 2003 (Zona 2), viene attribuito il valore ag = 0,175024.

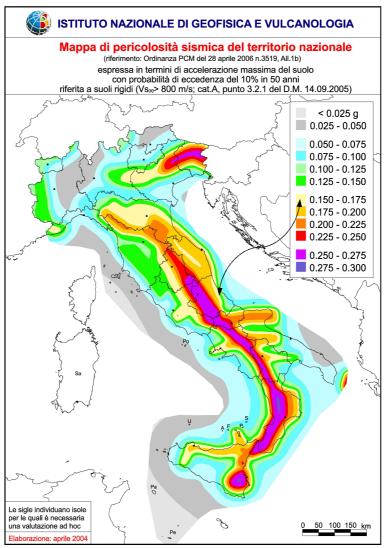


Figura 2.9 (fonte: INGV)

Con l'entrata in vigore del D.M. 14.01.2008, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più con il criterio "zona dipendente".

L'azione sismica di progetto, in base alla quale valutare il rispetto dei diversi *stati limite* presi in considerazione, viene definita partendo dalla "*pericolosità di base*" del sito, che rappresenta l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

La *Pericolosità sismica di base* di un generico sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (Periodo di riferimento T_r , espresso in anni), nel sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato (Probabilità di eccedenza P_{vr}).

I valori di pericolosità sismica sono espressi in termini di:

 accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (Categoria A), con superficie topografica orizzontale (Categoria T1); • ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente Se(T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{vr} nel periodo di riferimento T_r .

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{vr} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g = accelerazione orizzontale massima del terreno
- F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T^*_c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per un generico sito, la stima della *pericolosità simica di base* su reticolo di riferimento di 10.751 nodi nell'intervallo di riferimento viene fornita dal Dipartimento della Protezione Civile e dal Consiglio Superiore dei LL.PP sulla base dei dati forniti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Per il sito in esame (rif. centro storico) i valori dei parametri a_g , F_o e T^*_c e gli spettri di risposta elastici in funzione del periodo di ritorno T_r sono indicati nelle Figg. 2.10 e 2.11 (da programma SPETTRI-NTC, Versione 1.0.3, Ministero Superiore dei Lavori Pubblici).

Si precisa tuttavia che i valori dei parametri e gli spettri riportati di seguito sono sitospecifici e non possono essere utilizzati per tutto il territorio comunale.

L'azione sismica così individuata in condizioni ideali per un determinato sito varia in funzione della *Risposta Sismica Locale* (*RSL*) che tiene conto delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite dal segnale sismico, trasmettendosi dal substrato rigido alla superficie, e prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche e dalla morfologia del sito.

La valutazione della *RSL* riguarderà, ovviamente, ogni singolo intervento e dovrà essere definita mediante specifiche analisi oppure si, se ne ricorrono le condizioni, si potrà fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di *Categorie di sottosuolo di riferimento* e sulle *condizioni topografiche locali*, secondo le modalità previste dalle NTCO8.

Al riguardo si rimanda all'App. 1 e all'App. 2 nelle quali sono riportate valutazioni della pericolosità sismica in corrispondenza di quattro ambiti caratteristici (v. oltre).

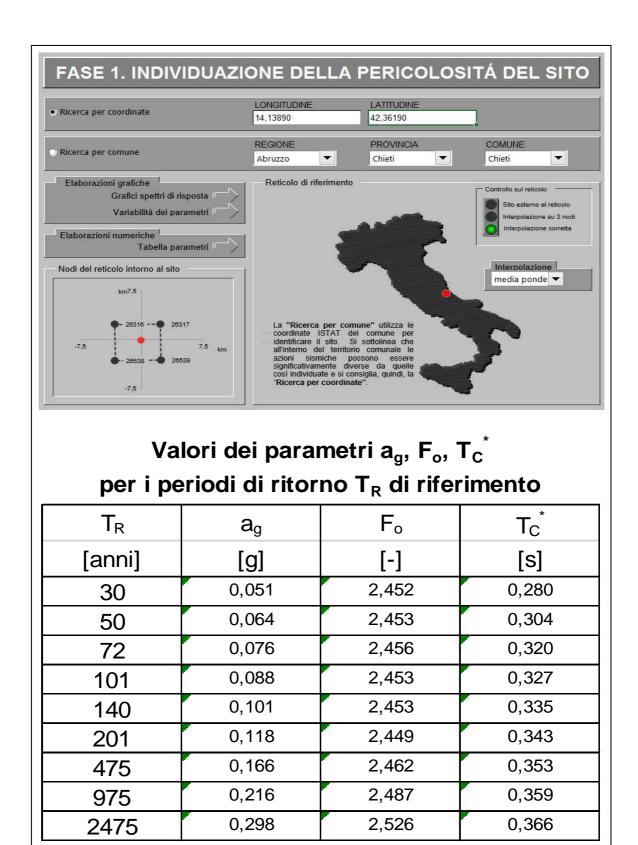


Figura 2.10 (fonte: Min. LL.PP.)

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento

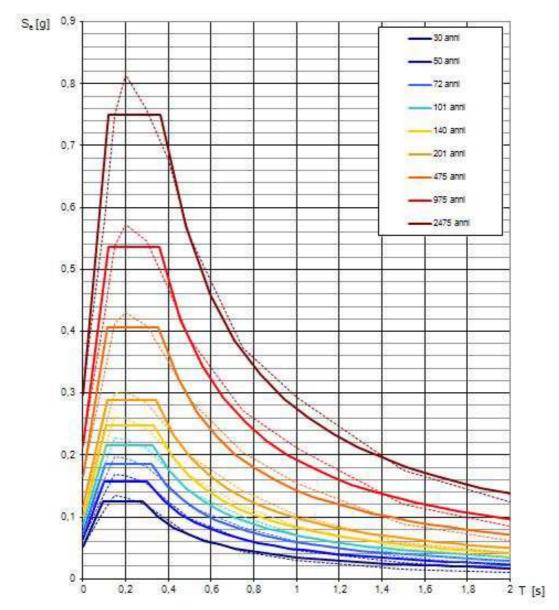


Figura 2.11 (fonte: Min. LL.PP.)

2.4 Suscettibilità dei terreni al fenomeno della liquefazione

Per quanto concerne il problema della *suscettibilità alla liquefazione* si fa riferimento sia agli "*Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica, Linee guida, Parte II*" (riportati qui di seguito per quanto di interesse) sia alle NTC08 (§ 7.11.3.4.2), che, sia pure con qualche differenza, indicano che nei terreni sabbiosi saturi i fenomeni di liquefazione sono bassi o nulli se si verifica almeno una delle seguenti condizioni:

- 1. Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
- 2. Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di 0.1g;

- 3. Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni *free-field* minore di 0.15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
 - frazione di fine ², FC, superiore al 20%, con indice di plasticità PI > 10;
 - FC > 35% e resistenza $(N_1)_{60} > 20$;
 - FC < 5% e resistenza (N₁)₆₀ > 25

dove $(N_1)_{60}$ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT, definito dalla relazione: $(N_1)_{60} = N_{SPT}C_{N_r}$, in cui il coefficiente C_{N_r} , è ricavabile dall'espres-sione $C_N = (p_\alpha/\sigma'_\nu)^{0.5}$ essendo p_α la pressione atmosferica e σ'_ν la tensione efficace verticale.

- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle Norme (a) nel caso di materiale con coefficiente di uniformità Uc < 3.5 e (b) per coefficienti di uniformità Uc > 3.5.
- 5. Profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna.

Con riferimento alle condizioni ora indicate e tenendo conto delle caratteristiche geologiche del territorio esaminato, si esclude la possibilità di liquefazione nell'Associazione sabbioso-conglomeratica di tetto, sia per le ottime caratteristiche di resistenza sia per la profondità della falda superiore a 15 m, e nei sedimenti pelitici dei versanti collinari, per le caratteristiche granulometriche.

Nella pianura alluvionale del fiume Pescara invece, anche se è poco probabile, non si può escludere con certezza il verificarsi di tali fenomeni in zone localizzate in quanto interessate da lenti sabbiose con attitudine a sviluppare processi di liquefazione. Tuttavia solo con indagini geognostiche mirate, atte ad individuare la presenza locale di tali lenti sature con caratteristiche di resistenza e di addensamento sfavorevoli, è possibile stabilire la potenzialità del sedimento a manifestare il fenomeno della liquefazione.

_

² La frazione di fine è definita come la frazione passante al setaccio 200 ASTM (0.074 mm).

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1. Assetto geologico

Le cartografie geologiche di riferimento per l'Abruzzo sono costituite dalla "Carta Geologica d'Italia" e dalla "Carta geologica dell'Abruzzo" di L. Vezzani & F. Ghisetti, entrambe a scala 1:100.000 e risalenti al secolo scorso.

La cartografia più recente, ma incompleta, è la "Carta Geologica d'Italia" del Progetto CARG a cura dell'ISPRA, a scala 1:50.000.

Per il territorio di Chieti sono quindi disponibili il:

- 1. foglio 141 (Pescara) della Carta Geologica d'Italia, rilevato nel 1960-62 e pubblicato nel 1963;
- 2. foglio Est della Carta geologica dell'Abruzzo, pubblicato nel 1998;
- 3. foglio 361 del Progetto CARG (in attesa di stampa pubblicato sul web).

Il presente lavoro è stato quindi svolto partendo dall'analisi della cartografia ufficiale sopra descritta, facendo però specifico riferimento alla Carta Geologica d'Italia del progetto CARG che, oltre ad essere la più recente e ad aver usufruito di un rilevamento di campagna su base topografica a scala 1:10.000, è stata redatta seguendo criteri aggiornati anche per quanto riguarda la nomenclatura.

L'area in esame è ubicata nel settore orientale della Majella che rappresenta la più esterna tra le unità carbonatiche presenti nel segmento centro meridionale della catena appenninica.

Dal punto di vista tettonico la zona si inquadra nello schema strutturale abruzzese, con scaglie tettoniche embriciate a vergenza orientale, con accavallamenti evidenti in superficie in corrispondenza della catena, ma pure presenti in profondità nell'avanfossa.

Pieghe e sovrascorrimenti coinvolgono, in questo settore frontale della catena centroappenninica, la successione carbonatica triassico-miocenica di piattaforma-bacino pelagico (margine continentale di Adria), i depositi messiniani evaporitici e silicoclastici di avanfossa, quelli silicoclastici del Pliocene inferiore di avanfossa o di bacino satellite.

L'anticlinale della Majella costituisce la struttura più esterna affiorante dalla catena appenninica abruzzese. Tale piega presenta una culminazione assiale in corrispondenza dell'area della Majella (Fig. 3.1); immerge verso N e prosegue per altri 30 km al disotto dei depositi plio-pleistocenici nella contigua struttura di Villadegna-Cellino. Verso S, la piega è

bordata dalla rampa obliqua Sangro Volturno, ad E della quale le strutture della catena che coinvolgono la piattaforma apula si rinvengono al disotto delle unità alloctone molisanosannitiche.

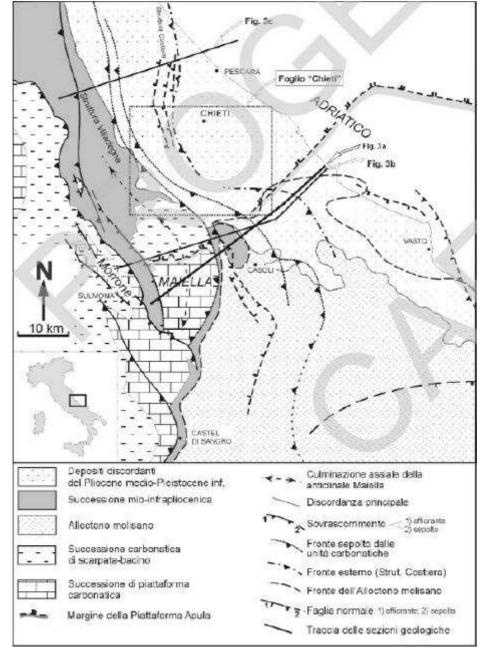


Figura 3.1 – Schema strutturale del settore esterno abruzzese (fonte: Note illustrative Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 foglio 361 Chieti, ISPRA)

Nel settore nord-orientale dell'anticlinale della Majella è presente la discordanza angolare tra la successione carbonatica e i depositi silicoclastici della *Formazione di Mutignano*. Questi ultimi depositi hanno sigillato la storia deformativa che ha portato allo sviluppo dell'anticlinale della Majella. Il *tilting* che ha coinvolto questa formazione, connesso al

sollevamento regionale del settore periadriatico, ha portato allo sviluppo del caratteristico assetto monoclinalico con immersione a N-E e con pendenza progressivamente decrescente in senso O-E. Presso la linea di costa, l'associazione sabbioso-conglomeratica, che chiude la sedimentazione marina, mostra una pendenza di 3°-5°.

In questo contesto strutturale si inserisce l'area di studio.

In particolare, l'area è compresa tra il fiume Alento e il fiume Pescara che lungo il loro percorso attraversano le formazioni geologiche appartenenti all'avanfossa pliocenica e quaternaria (Vezzani & Ghisetti, 1997) e all'Unità Alanno-Majella.

Il territorio in esame si localizza nel settore dell'avanfossa (Bacino di Pescara) più prossimo alla linea di costa.

I terreni che caratterizzano questa fascia di territorio appartengono ai termini di età Pliocenica e Pleistocenica della suddetta avanfossa (Fig. 3.2) e sono costituiti da una sequenza deposizionale silico-clastica terrigena e sabbiosa, potente fino a 3.000 m, cui segue, a colmamento del settore centrale dell'avanfossa periadriatica, una successione di depositi grossolani in facies di spiaggia sommersa, di spiaggia, di conoide e/o di laguna costiera (Crescenti, 1971).

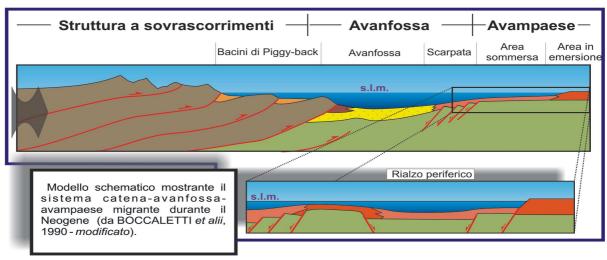


Figura 3.2

Dal punto di vista litologico, la sequenza è caratterizzata da una alternanza di argille illitico montmorillonitiche, argille marnose (con carbonati chimici e clastici), arenarie e sabbie (quarzoso feldspatiche) che si chiude al tetto con episodi clastici più grossolani costituiti da ghiaie eterometriche, in matrice sabbiosa, o cementate.

In linea generale, la successione possiede caratteristiche abbastanza omogenee, anche se

a luoghi sono presenti numerose eteropie di facies in relazione soprattutto all'accelerata evoluzione del bacino durante il Pliocene inferiore, medio e superiore ed al controllo tettonico sinsedimentario operato da elementi tettonici paralleli e trasversali all'asse del depocentro principale.

In discontinuità sul substrato, già fortemente deformato in età Miocene superiore (Messiniano), il ciclo deposizionale inizia nel Pliocene inferiore con sequenze argillosomarnose, più o meno siltose, attribuibili all'associazione di facies emipelagiche di piattaforma sommersa che evolvono rapidamente ad alternanze di peliti areanacee ed argille marnose che si depongono invece secondo meccanismi di correnti di torbida e risedimenti per slumping profondi. Nel Pleistocene la sequenza deposizionale prosegue con prevalente sedimentazione di argille grigio-azzurre, a luoghi siltose, cui si intercalano saltuariamente episodi sabbiosi e conglomeratici. Il bacino di sedimentazione va lentamente colmandosi diacronicamente con lo spostamento delle linee di riva verso Est con cui si attua la generale regressione nel Pleistocene inferiore. In prossimità della linea di costa il sottosuolo è costituito da sabbie e ghiaie della spiaggia antica e attuale che, con spessore di circa 6-10 m, sormontano direttamente il substrato argilloso. Nella Fig. 3.3 si evidenzia l'ubicazione del territorio comunale di Chieti nello schema geologico semplificato dell'Abruzzo (L. D'Alessandro et alii, 2005).

Con riferimento alla cartografia del **Progetto CARG** si può precisare che il substrato geologico del territorio è costituito in netta prevalenza dall'associazione pelitico-sabbiosa della *Formazione di Mutignano* (FMT) del *Pliocene superiore-pleistocene p.p.*, con affioramento, prevalente, dell'associazione sabbioso-conglomeratica (FMT_d) e, subordinato, dell'associazione sabbioso-pelitica (FMT_c). L'associazione pelitico-sabbiosa (FMT_a) è affiorante solo in piccoli lembi.

In un'area molto limitata, ubicata nel settore settentrionale del territorio comunale, è presente un lembo della Successione di transizione dal marino continentale del *Pliocene* costituita dalle argille e conglomerati di Ripa Teatina (RPT).

Il quaternario è rappresentato da *depositi alluvionali terrazzati* e da *depositi olocenici* alluvionali e da estese e diffuse coltri eluvio-colluviali.

Per le formazioni e i depositi sopra indicati si riportano qui di seguito, in sintesi, le descrizioni fornite dal CARG che saranno ulteriormente precisate nel § 8.2.

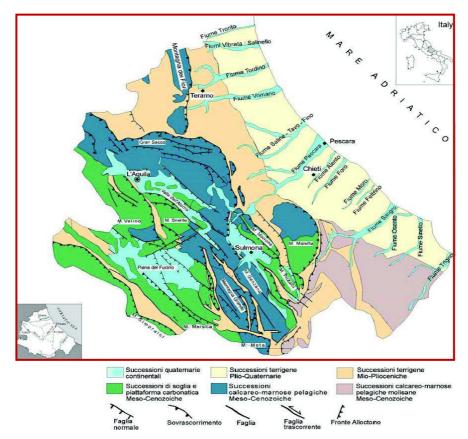


Figura 3.3 - Schema geologico semplificato dell'Abruzzo (L. D'Alessandro et alii, 2005)

SUCCESSIONE DI TRANSIZIONE DAL MARINO AL CONTINENTALE DEL PLIOCENE PLEISTOCENE p.p.

Argille e conglomerati di Ripa Teatina (RPT)

Argille e limi grigio-verdastri di ambiente lagunare o di stagno costiero incisi da ghiaie poligeniche in matrice sabbiosa o microconglomeratica, con ciottoli eterometrici a prevalente composizione calcarea. Le ghiaie passano frequentemente a sabbie grigio-giallastre a stratificazione incrociata, di ambiente fluvio-deltizio.

FORMAZIONE DI MUTIGNANO

PLIOCENE SUPERIORE- PLEISTOCENE p.p.

Associazione sabbioso-conglomeratica (FMT_d)

Sabbie e arenarie di colore giallastro, frequentemente bioturbate, con intercalazioni di livelli di ghiaie e di conglomerati composti da ciottoli di qualche centimetro. Sia le sabbie che i conglomerati sono in genere stratificati in set tabulari.

Associazione sabbioso-pelitica (FMT_c)

Alternanza di sabbie e sabbie siltose di colore giallo-ocra, a diverso grado di cementazione, e argille e argille siltose grigiastre sottilmente laminate.

Associazione pelitico-sabbiosa (FMT_a)

Argille ed argille marnose di colore grigio con intercalazioni di sottili livelli sabbiosi e sabbiosolimosi. Granulometricamente, in base alle numerose prove di laboratorio, sono da classificare come *limi con argilla debolmente sabbiosi*.

DEPOSITI QUATERNARI

Questi depositi sono costituiti da una gran varietà di litotacies riferibili a depositi di frana, depositi antropici, depositi alluvionali, coltri eluvio-colluviali e depositi alluvionali terrazzati. Il limite inferiore è sempre erosivo sui depositi delle successioni marine o sui sintemi pleistocenici della successione continentale; il limite superiore è costituito da una superficie deposizionale, in molti casi attiva.

Depositi di frana (fra)

Depositi caratterizzati da litologie differenti a seconda delle unità coinvolte. In generale sono formati da litotipi prevalentemente argillosi e sabbiosi o da blocchi conglomeratici e arenacei.

Riporto antropico (ant)

Materiale derivante dall'attività antropica, caratterizzato prevalentemente da terreni di riporto di varia natura e origine.

Depositi alluvionali (all)

Depositi alluvionali recenti la cui litologia è caratterizzata da ghiaie sabbiose del Fiume Pescara e del Fiume Alento e da limo sabbioso in corrispondenza dei fossi minori.

Coltre eluvio-colluviale (col)

Depositi a sedimentazione gravitativa e/o da ruscellamento diffuso e/o concentrato, derivanti dai processi di alterazione del substrato geologico di natura argillosa e sabbiosa.

Depositi alluvionali terrazzati (at n)

Depositi alluvionali, terrazzati e disposti in diversi ordini ad altezze variabili sul fondovalle, in destra idrografica del Fiume Pescara ed in sinistra idrografica del Fiume Alento, costituiti da ghiaie sabbiose, sabbie limose, limi sabbiosi e torbe.

Con specifico riferimento agli affioramenti più significativi viene riportata qui di seguito la relativa documentazione fotografica con didascalie esplicative.



Foto 3.1 Depositi di frana lungo la testata del fosso Canino



Foto 3.2 Associazione sabbioso-conglomeratica affiorante nella ex cava del Villaggio del fanciullo



Foto 3.3 Particolare dell'Associazione sabbioso-conglomeratica affiorante nella ex cava del Villaggio del fanciullo



Foto 3.4 Associazione sabbioso-conglomeratica affiorante lungo Via dei Frentani



Foto 3.5 Particolare dell'Associazione sabbioso-conglomeratica affiorante nella ex cava di Via dei Frentani



Foto 3.6
Associazione sabbioso-conglomeratica affiorante lungo Via Ciampoli



Foto 3.7 Depositi alluvionali terrazzati affioranti nella zona del Villaggio del Mediterraneo

3.2 Assetto geomorfologico

La conformazione del territorio è determinata dall'azione dei processi esogeni di modellamento geomorfologico (erosione, trasporto, deposito) e dalla tipologia dei sedimenti sui quali tali processi agiscono.

Nel territorio di Chieti sono sostanzialmente presenti, come si è visto, due litotipi, sabbie e/o arenarie e argille, con caratteristiche tra loro molto diverse: i primi sono poco erodibili e danno origine ad aree sub-pianeggianti localizzate in posizione sommitale e confinate da versanti molto acclivi e scarpate sub-verticali; i secondi danno origine ad una morfologia collinare caratterizzata da blande pendenze e forme più dolci.

Oltre ad una conformazione tipicamente collinare, il territorio comunale è caratterizzato da estese aree pianeggianti localizzate nel fondovalle del Fiume Pescara e dovute al progressivo accumulo di depositi alluvionali.

Lungo la porzione collinare del territorio sono riconoscibili diverse forme geomorfologiche, di distacco e di accumulo, riconducibili a fenomeni franosi, mentre nella piana alluvionale le uniche aree attive sono quelle prossime all'incisione fluviale. I processi erosivi e la tipologia dei movimenti franosi dipendono dalla natura dei sedimenti: le sabbie e le arenarie sono più competenti dei materiali argillosi e possono sviluppare superfici di rottura a rapida evoluzione. In questo caso i fenomeni franosi più frequenti sono i *crolli* e si verificano prevalentemente in corrispondenza delle scarpate sub-verticali marginali. Le argille, invece, determinano una franosità più articolata oltre che protratta nel tempo, con periodi di stasi ed accelerazioni improvvise. La permeabilità dei sedimenti svolge un ruolo fondamentale tra le cause scatenanti i movimenti franosi. Le sabbie sono molto più permeabili delle argille e consentono all'acqua di filtrare per porosità e raggiungere la falda localizzata in corrispondenza del contatto sabbie-argille, mentre nelle argille e nelle coltri eluvio-colluviali l'acqua ristagna negli strati più superficiali ed è rilasciata lentamente nei periodi di siccità. Queste continue variazioni di contenuto d'acqua provocano profonde alterazioni e possono mobilizzare le parti alterate verso valle in modo rapido oppure lento e progressivo.

Lungo i versanti più acclivi ed in corrispondenza dei numerosi fossi che incidono il colle di Chieti, i depositi argillosi sono mobilizzati per *colamento*, per *scorrimento*, per *deformazione superficiale lenta* o per più processi combinati (*frane complesse*).

Nel colamento i sedimenti argillosi superficiali s'imbibiscono a tal punto da assumere caratteristiche simili a quelle di liquidi viscosi. In questo caso, tra la massa spostata e quella in posto, non si distingue una netta superficie di separazione ma una zona di scorrimenti distribuiti. Le evidenze morfologiche si manifestano tramite ondulazioni del terreno, contropendenze, gradini e ristagni d'acqua, fessure e crepe longitudinali.

Nel caso in cui tra la massa spostata e quella in posto si distingue una netta superficie di scorrimento, si parla di scorrimento rotazionale o traslativo.

Le deformazioni superficiali lente hanno sul territorio una diffusione tale da rivestire una grande importanza ai fini della pianificazione territoriale. In questo caso il movimento ha origine per assorbimento di acqua attraverso le fessure che si formano nel terreno durante i periodi di siccità; lo spessore della coltre imbibita non supera generalmente i due metri ed il movimento che ne consegue è solitamente lento. Gli indicatori principali sono: pali ed alberi inclinati, dossi e avvallamenti. Le deformazioni superficiali possono coinvolgere i sedimenti argillosi anche lungo versanti con pendenze modeste (fino a 5°).

Le frane complesse sono dovute all'azione combinata di più fenomeni tra quelli sopra descritti.

L'assetto geomorfologico del territorio è comunque fortemente influenzato dalle caratteristiche litotecniche delle descritte formazioni geologiche e dall'azione modellante operata dalle acque ruscellanti.

In particolare, le principali caratteristiche geomorfologiche del territorio risultano legate:

- alle zone di accumulo dei terreni di copertura (colluvi),
- alla geometria e consistenza dei litotipi che caratterizzano la sequenza deposizionale regressiva.

Le principali forme di modellamento dei versanti sono quelle qui di seguito descritte.

a) Orli di scarpata

Si tratta di forme di rottura del pendio, con diversa geometria, diffuse sul ciglio dei versanti con cornici verticali sostenute da sabbie e sabbie cementate e che limitano le superfici sommitali subpianeggianti relative ad un paleopaesaggio relitto modellato in un contesto di energia di rilievo meno elevata di quella attuale.

b) Scarpate di erosione selettiva

La differente resistenza all'erosione normale e al degrado chimico e fisico delle formazioni descritte, insieme alla differente pendenza limite dei pendii che le formazioni litologiche menzionate possono sostenere, ha determinato nell'evoluzione morfologica dell'area numerose irregolarità nella forma e normalizzazione dei versanti. Nel caso specifico, le scarpate di erosione selettiva sono presenti nella formazione sabbiosa dove si hanno cambi di litologia o dove si ha il passaggio alle argille. La loro morfologia si estrinseca in pareti acclivi al cui piede, dove invece affiorano le argille, il pendio assume per contro deboli pendenze.

c) Scarpate di origine antropica

Si rinvengono all'interno della formazione sabbiosa e possono essere ricondotte alla competenza meccanica di tale formazione a sostenere tagli "verticali". Scarpate di origine antropica si rinvengono un po' ovunque in relazione soprattutto all'edificato suburbano e a fronti ed aree di cava anche modeste ormai da tempo inutilizzate.

Con riferimento a quanto già descritto in precedenza circa le relazioni tra struttura geologica, successione litostratigrafica ed evoluzione geomorfologica, l'attuale confor-

mazione fisiografica, caratterizzata da numerosi orli di scarpata di erosione fluviale e di origine antropica, è il risultato del modellamento operato sia da fattori morfogenetici naturali, controllati anche dalle variazioni del livello del mare e da quelle climatiche di età storica, sia dall'uso del suolo ai fini agricoli ed insediamentali. Questi ultimi talora sono stati eseguiti senza le necessarie opere di presidio idrogeologico ed hanno esposto nel tempo, secondo una catena di causa ed effetto, le opere stesse e quelle preesistenti a processi di erosione o di accumulo.

Le caratteristiche del territorio sono evidenziate, in una vista unitaria, nella Fig. 3.3 (DTM del comprensorio comunale con sovrapposizione dei corpi di frana del PAI).

Nella Fig. 3.4 si può invece osservare il quadro generale della pericolosità idrogeologica del territorio comunale individuata dal Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della regione Abruzzo derivante dalla Fig. 3.3.

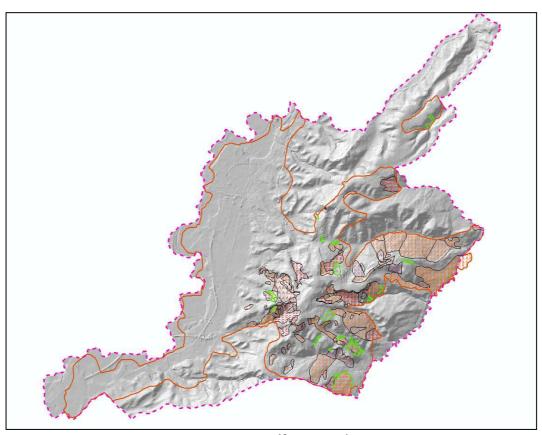


Figura 3.3 (fonte: PAI)

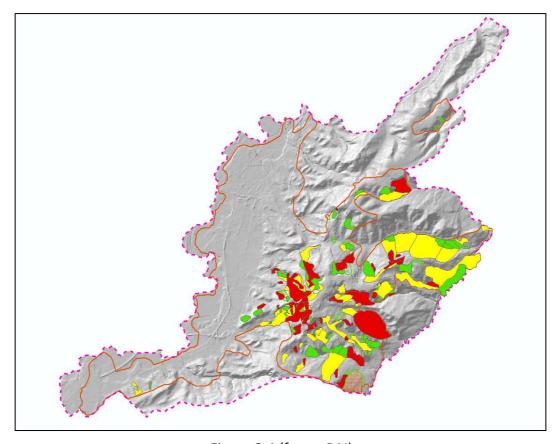


Figura 3.4 (fonte: PAI)

3.2.1 Cavità sotterranee

Nel centro storico di Chieti si sono verificati nel corso degli anni crolli ed aperture di voragini con dinamica rapida, ovverosia senza che fossero insorte deformazioni, fessurazioni o quant'altro che potesse evidenziare i rapidi processi di dissesto in atto.

L'origine dei dissesti non va ricercata nell'assetto geologico del sottosuolo teatino, bensì nella rete di infrastrutture idriche (acquedotti e fogne) e nella presenza di cavità.

La rete infrastrutturale e gli ipogei, di epoca romana e di epoca medioevale e moderna, sono "stratificati" nella storia della città ma, a parte pochi indizi, è incerta l'esatta ubicazione dei tracciati. Molte condutture storiche sono state interrotte od occluse dallo sviluppo urbanistico della città, altre sono ancora in uso o indirettamente in uso. Nel centro storico, sotto i cortili e gli scantinati di edifici, sono presenti anche cisterne e pozzi di presa per acqua.

Le cavità sotterranee sono state realizzate in tempi più recenti e sono costituite sia da ambienti unici che articolati con aperture (oggi in parte occluse) sulla scarpata morfologica che limita il centro storico o con accessi dall'alto "a pozzo" in gran parte non identificati. I numerosi e differenti tipi di cavità hanno avuto varie funzioni (cave, neviere, "abitazioni" e ricoveri) e subito sicuramente nel tempo differenti utilizzazioni fino al loro quasi totale oblio nella memoria storica.

Le principali cavità sotterranee sono state esplorate e studiate da tecnici, con l'ausilio di speleologi dello Speleo Club di Chieti, che hanno ricostruito il tracciato dei cunicoli sotterranei ed hanno progettato, in alcuni casi, interventi di consolidamento delle volte. In tempi recenti sono stati eseguiti i lavori di consolidamento delle ampie grotte e dei cunicoli che si snodano al disotto dell'incrocio tra la Via Spaventa e la Via A. Herio, in corrispondenza del palazzo del Genio Civile.

Altri cunicoli, di cui si conosce il percorso, sono stati individuati nei pressi della Via 123° Fanteria, tra Via Ciampoli e Via Nicolodi, tra Via dei Tintori Via S. Agata e il Palazzo Mezzanotte e tra Fonte Grande e Palazzo De Majo.

L'ubicazione delle cavità conosciute è indicata nella Tav. 2D, mentre qui di seguito vengono riportati gli stralci planimetrici delle aree sopra citate con il tracciato dei cunicoli sotterranei.

La documentazione cartografica (Figg. 3.5÷3.9) è stata fornita dal Dott. Geol. Silvano Agostini, geologo della Soprintendenza Archeologica di Chieti, dal Prof. Leandro D'Alessandro dell'Università di Chieti "G. D'Annunzio" e dallo SPELEO CLUB di Chieti.

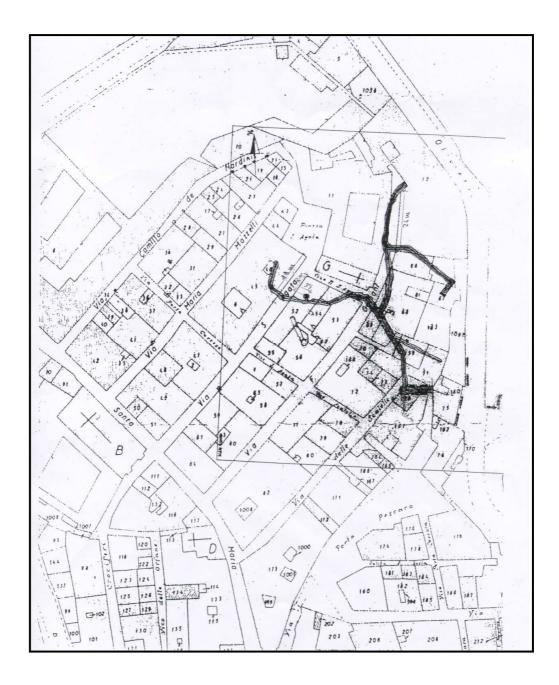


Figura 3.5

Tracciato dei cunicoli sotterranei tra Via dei Tintori e il Palazzo Mezzanotte

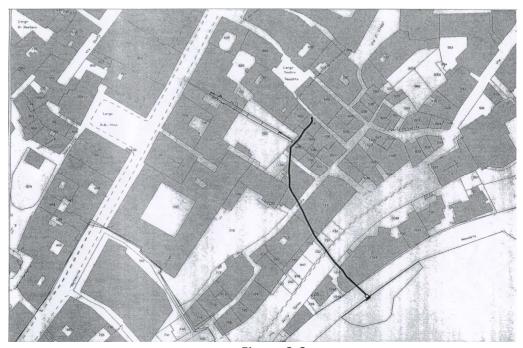


Figura 3.6 Tracciato dei cunicoli sotterranei tra Fonte Grande e Palazzo De Majo

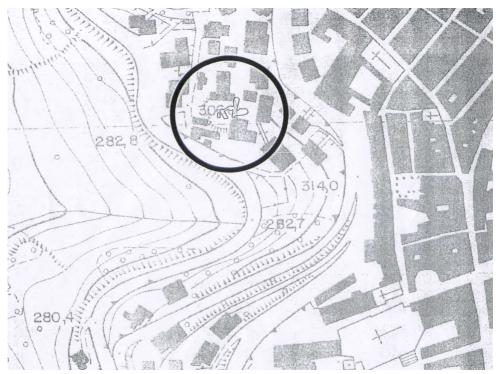


Figura 3.7
Tracciato dei cunicoli sotterranei in Via 123° Fanteria

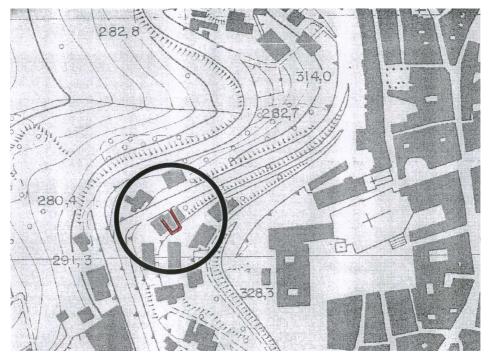


Figura 3.8 Tracciato dei cunicoli sotterranei tra Via Ciampoli e Via Nicolodi

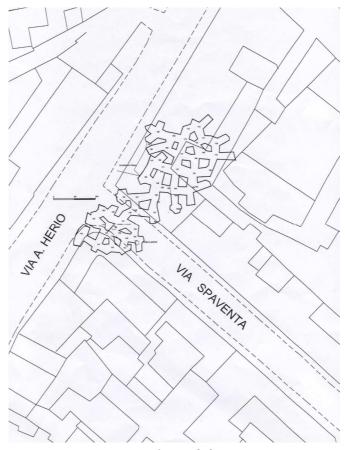


Figura 3.9 Tracciato dei cunicoli sotterranei tra Via Spaventa e Via A. Herio

3.2.2 Dissesti storici e recenti

Nell'ambito degli Studi eseguiti dal "Consorzio Geolab" nel 1992 per il Risanamento idrogeologico del Colle, sono state censite in ordine cronologico le maggiori frane verificatesi da 1827 in poi. Tale elenco è stato implementato con i dati presenti negli archivi comunali e completato, su segnalazione dell'Amministrazione comunale, anche con i più recenti dissesti verificatisi in tempi recenti che hanno peraltro richiesto urgenti interventi di consolidamento (frana di S. Maria Calvona nel 2104 e frana di fosso S. Chiara del 6 marzo 2015). In quest'ultimo caso, trattandosi di una frana che ha interessato un'area non pericolosa, il Comune ha incaricato il Geol. Fabio Ferri ad eseguire lo studio geologico per i lavori di messa in sicurezza del versante e per presentare alla Regione l'istanza per la modifica della cartografia. Sulla base della documentazione fornita dal tecnico è stata riportata la nuova perimetrazione della frana nella Carta geologico-tecnica ed è stata ampliata la Zona di attenzione nella Carta delle MOPS.

Di seguito si fornisce l'elenco cronologico dei dissesti e uno stralcio planimetrico con l'ubicazione degli eventi precisando che in alcuni casi la localizzazione del fenomeno può risultare imprecisa in quanto la trattazione coeva all'evento è spesso incerta o incompleta.

- 1) Frana all'altezza della Chiesa rurale della Madonna della Misericordia (7 giugno 1827)
- 2) Franamento nel tratto di strada "Cavallerizza" (25 maggio 1887): cedimento del terreno al di sopra delle grotte ricavate da una incontrollata escavazione
- 3) Eventi franosi in località Madonna degli Angeli a causa di intense precipitazioni(tra il 1888 e la fine del secolo XIX)
- 4) Eventi franosi in località Madonna della Misericordia a causa di intense precipitazioni(tra il 1888 e la fine del secolo XIX)
- 5) Frana lungo la ferrovia elettrica presso il cimitero (23 febbraio 1983)
- 6) Frana nei pressi della Caserma Berardi (24 febbraio 1938)
- 7) Frana alla testata del fosso S. Chiara a valle della strada di circonvallazione (inverno 1937-1938): dovuta alle piogge persistenti ed alle abbondanti nevicate
- 8) Frana nella zona del "rettifilo Pasqualone" (inverno 1937-1938): dovuta alle condizioni meteorologiche ed a seguito della realizzazione della Colonnetta
- 9) Movimenti di scoscendimento nei pressi della Caserma della Milizia (attuale sede della legione dei Carabinieri) (gennaio 1940)

- 10) Frane in contrada S. Barbara (inverno 1941-1942): le frane hanno reso impraticabili parecchi edifici
- 11) Frana in Via Tricalle (23 gennaio 1943): crollo di un blocco di arenaria sulla abitazioni sottostanti nei pressi del gasometro
- 12) Scoscendimento della scarpata tra Via Principessa di Piemonte e Via delle Terme Romane (novembre 1948): le frane hanno minacciato la stabilità degli edifici soprastranti e la Chiesa di Mater Domini
- 13) Franamento del terreno di riporto costituente la scarpata a valle di Via Asinio Herio (febbraio 1954): dovuto alle abbondanti nevicate. La frana ha interessato le gabbionate poste nell'ambito dei lavori di consolidamento del pendio a monte di fosso S. Chiara.
- 14) Movimenti franosi nella zona di S. Maria degli Angeli (inverno 1955-1956): le avverse condizioni meteorologiche hanno danneggiato gravemente la Chiesa in costruzione ed un fabbricato di civile abitazione
- 15) Scivolamento di terriccio nell'officina del gas in località Tricalle (dicembre 1958): le causa è da attribuire ad un violento temporale.
- 16) Dissesto del versante a valle di Borgo Marfisi (ottobre-novembre 1959): causato dagli sbancamenti eseguiti a valle nella cava di argilla situata in località S. Maria Calvona
- 17) Movimento franoso tra la Via Tricalle e la sottostante S.S. 81 (autunno-inverno 1959): le precipitazioni abbondanti hanno provocato il dissesto che ha interessato alcuni fabbricati prospicienti la Via Tricalle, tra questi quello della Società Cooperativa Edilizia Dipendenti. Il movimento è limitato alla coltre superficiale.
- 18) Frana in località Borgo Marfisi (dicembre 1960): il dissesto ha provocato la caduta di un muro di contenimento; la causa è riconducibile ai lavori riguardanti la coltivazione della cava sottostante, nonostante l'intervento di sospensione.
- 19) Frana in località S. Barbara (dicembre 1960): le precipitazioni abbondanti hanno provocato lo scivolamento di una gran massa di terra
- 20) Dissesto a valle della Via Tricalle (1962): tra questa ed il tratto compreso tra la progressiva km 138.100 e km 138.300 della S.S. 81 si sono verificati lenti movimenti che hanno danneggiato alcuni fabbricati. Il dissesto si estende a valle fino al Fosso Fagnani
- 21) Movimento franoso in località S. Barbara (26 giugno 1963): il dissesto ha provocato il crollo di un muro nel fossato sottostante

- 22) Dissesti statici in un fabbricato incompleto della Chiesa di Madonna degli Angeli (26 aprile 1966): apertura di crepe sulle murature
- 23) Frana (5-6 settembre 1967) in corrispondenza della testata del fosso S.Anna (zona ex Ospedale Civile): a seguito di violente precipitazioni un imponente movimento franoso ha coinvolto oltre 15.000 m² di suolo determinando nel punto di distacco una ripida scarpata lunga oltre 100 m, con rigetti di circa 25 m, rendendo necessario lo sgombero di 50 famiglie.
- 24) Dissesti lungo i versanti di Fosso Pila (marzo-aprile 1973): causati da precipitazioni intense
- 25) Frana lungo fosso Canino in corrispondenza della Via Majella (primavera 1980).
- 26) Frana a ridosso della scuola S. Andrea (primavera 1991): improvviso movimento franoso interessante i terreni superficiali provocando danni alla stabilità della struttura scolastica:
- 27) Frana in località Filippone (primavera 1991): improvviso movimento franoso a monte del campo sportivo che ha provocato seri danni alle strutture di grandi edifici
- 28) Crollo abitazioni in Via dei Tintori (marzo 1994): improvviso crollo dovuto ad infiltrazioni idriche e a cedimenti delle volte di cavità sotterranee
- 29) Dissesti nella zona di Via Pianell (gennaio 2003): a seguito di violente precipitazioni, fenomeni gravitativi hanno interessato la coltre superficiale a valle di Via Pianell, richiedendo lo sgombero immediato di un fabbricato di civile abitazione
- 30) Dissesti nella zona di Via Tirassegno (gennaio 2003): a seguito di violente precipitazioni, fenomeni gravitativi hanno interessato la coltre superficiale a valle di Via Tirassegno, richiedendo lo sgombero immediato di un fabbricato di civile abitazione
- 31) Dissesti nella zona di S. Maria Calvona (2014): a valle di alcune abitazioni poste in Via S. Maria Calvona, a seguito di intense precipitazioni, si sono avute nuove riattivazioni, protratte nel tempo, del corpo di frana di tipo colamento già perimetrato nel PAI. La frana interessa la testata del fosso Canino e, a seguito del pericolo incombente per la pubblica incolumità, la Regione Abruzzo ha finanziato un progetto di consolidamento prevalentemente mediante la realizzazione di muri in c.a., paratie e opere di regimazione idraulica.
- 32) Dissesti lungo fosso S. Chiara: a seguito di precipitazioni intense avvenute il 6 marzo del 2015, si è attivata una frana lungo il fosso S. Chiara, poco a valle di Via Colonnetta, in

prossimità della Chiesa di Madonna della Misericordia. Gli studi condotti hanno evidenziato che si tratta di una frana di tipo complesso che ha una lunghezza media di circa 200 m, una profondità della superficie di scivolamento di 7 m e coinvolge un volume non inferiore a 200.000 m³. Su richiesta dell'Amministrazione comunale e sulla base della documentazione tecnica fornitaci dal tecnico incaricato, la nuova frana è stata riportata nella Carta Geologico-tecnica e classificata come Zona di attenzione nella Carta delle MOPS. Il Comune ha avviato con la Regione la procedura tecnico-amministrativa per la modifica del PAI.

Nella planimetria seguente sono riportati i dissesti per i quali è stato possibile individuare l'ubicazione.

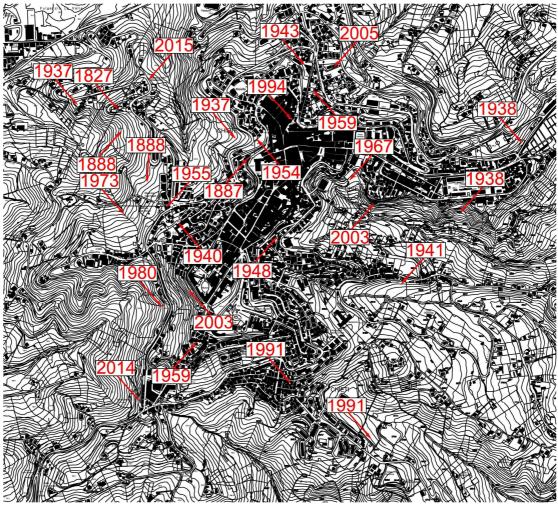


Figura 3.10 (fonte: Studio geologico per il PRG - E. Rossetti & A. Mazzei, 2004)

3.2.3 Principali interventi di consolidamento

Per le caratteristiche di franosità del territorio comunale sono stati eseguiti numerosi interventi di consolidamento nel corso degli anni.

In particolare, gli interventi pubblici hanno riguardato i principali fossi e sono quelli previsti nel "Piano di interventi urgenti per diminuire il rischio derivante da dissesti idrogeologici nel Comune di Chieti" (Ord. N. 2816 del Min. Int. 24 luglio 1998) ad eccezione dei lavori di consolidamento nella zona di Via Pianell e di Via Tirassegno, realizzati o in corso d'opera con O.P.C.M. del 31.01.2003.

Di seguito si descrivono sinteticamente gli interventi di consolidamento principali che hanno interessato i singoli fossi:

Fosso S. Anna - area del parcheggio di Via Papa Giovanni XXII

Gli interventi di consolidamento riguardano l'area della testata del fosso. Si tratta di muri in terra rinforzata, aventi un'altezza massima di 15 m, ed hanno lo scopo di eliminare gli effetti di degradazione della scarpata sottostante alcuni fabbricati di civile abitazione ed un piazzale adibito a parcheggio.

Altri interventi consistono nella realizzazione di chiodature e strutture in c.a..

Fosso S. Anna - area a valle di Via Ferri

Gli interventi realizzati hanno la funzione di consolidamento della sede stradale e di stabilizzazione della scarpata sottostante Via Ferri. Sono stati realizzati una paratia di pali tirantata (zona di monte) e muri di placcaggio in c.a. (posti su due livelli lungo la scarpata). I muri, ancorati al terreno con tiranti, sono stati dotati di microdreni. Tra i due ordini di muri di placcaggio e nella zona di valle sono state realizzate chiodature del terreno e opere a verde di regimazione idraulica.

Fosso S. Anna lungo Via Tirassegno

Gli interventi eseguiti riguardano la posa in opera di reti metalliche con biostuoia ancorate al terreno a protezione della parete sub-verticale di monte e la realizzazione di una paratia di micropali nella zona di valle.

Fosso Di Renzo

Gli interventi consistono prevalentemente nella realizzazione di briglie e gabbioni sul fosso nella zona di Fontanelle. Lungo il versante, invece, sono stati realizzati isolati interventi con paratie di pali a protezione di strutture pubbliche e private.

Fosso Fontanelle

Gli interventi realizzati riguardano l'area a monte del campo sportivo di Filippone, dove nel 1991 si sono verificati movimenti gravitativi, e consistono in una paratia di pali a protezione degli edifici lesionati e in una paratia di pali tirantata posta più a valle in prossimità del campo sportivo. Tra le due paratie è stata realizzata una rete drenante per la regimazione idraulica delle acque di scorrimento superficiali e di infiltrazione.

Fosso Pizzaglia

Gli interventi di consolidamento riguardano l'area a valle di Via Quarantotti e quella a valle di Via Cutelli. Nel primo caso, nella zona di monte sono state realizzate paratie di pali tirantate e gabbionate che si estendono per gran parte della Via Quarantotti, immediatamente a valle della strada stessa. Lungo il pendio posto tra la sede stradale e la Scuola Media "G. Chiarini, è stata realizzata una struttura costituita da micropali su tre file e da tiranti, integrata con gabbioni e dreni sub-orizzontali.

A valle di Via Cutelli gli interventi realizzati consistono in gabbionate e paratie di pali tirantate.

Fosso Canino

Gli interventi di consolidamento riguardano essenzialmente l'area a valle di Via Pianell, dove sono in fase di realizzazione paratie di micropali e drenaggi. Per l'area a valle di Via Majella e di Via Madonna della Vittora sono previsti altri lavori di consolidamento. Questi ultimi interventi interesseranno:

- un lungo tratto dell'incisione del fosso ed alcuni rami secondari;
- il pendio tra la Via Madonna della Vittoria (zona dei campi da tennis) e il fosso stesso;
- una fascia del versante a monte ed a valle di Via Majella
- un'area poco estesa a valle di Via Majella, nella zona della Chiesa di S. Maria Calvona;
- un'area limitata in località Case lezzi.
- Le opere previste sono le seguenti:

- paratie tirantate
- strutture di sostegno in terra rinforzata
- drenaggi
- briglie
- · sistemazioni agro-forestali.

Fosso Pila

Gli interventi di consolidamento del Fosso Pila interessano l'area di Via de Turre, tutto il fronte di Via Majella, l'area a Valle di Via Madonna della Misericordia e l'incisione stessa del fosso.

Le opere prevedono l'esecuzione di trincee drenanti, dreni suborizzontali, pozzi strutturali e drenanti e opere di regimazione idraulica consistenti nel: consolidamento di briglie esistenti e nella realizzazione di nuove briglie e gabbioni lungo il fosso.

Fosso S. Chiara

Le opere consistono nella realizzazione di briglie, nel rivestimento dell'alveo e in lavori di colmata. Le briglie sono state realizzate sia lungo il ramo principale (ad integrazione e completamento di quelle esistenti) sia lungo quello secondario.

L'alveo è stato rivestito con materassi in pietrame.

La colmata, atta a ripristinare il profilo originario del fosso, è stata eseguita con la posa in opera di un rilevato.

3.3. Assetto idrogeologico

Il territorio comunale di Chieti si presenta, dal punto di vista idrogeologico, molto eterogeneo.

La permeabilità dei sedimenti, ossia la capacità che hanno i terreni di lasciarsi attraversare dall'acqua quando questa è sottoposta ad un carico idraulico, dipende, prevalentemente, dalle caratteristiche granulometriche: in generale, nelle sabbie e nelle arenarie l'acqua è libera di filtrare verso il basso per porosità; nelle argille, invece, la ridotta dimensione delle particelle ne ostacola il passaggio. I rapporti di sovrapposizione stratigrafica, quindi, determinano l'accumulo o meno di falde acquifere.

Nel caso specifico, le argille marnose grigio-azzurre hanno un coefficiente di permeabilità che varia da 10^{-7} m/s a 10^{-9} m/s. Questa formazione presenta una porosità totale molto

elevata (40-50%), ma una porosità efficace (percentuale di vuoti intergranulari comunicanti) così bassa da non permettere all'acqua gravifica di infiltrarsi o scorrere al suo interno. Questo orizzonte svolge, quindi, il ruolo di acquiclude per i sovrastanti depositi permeabili sabbioso-arenacei; questi ultimi, caratterizzati da una elevata permeabilità per porosità (10³÷10⁻⁵ m/s), in quanto nei terreni sono presenti numerosi piccoli vuoti intergranulari tra loro comunicanti e nei quali l'acqua si muove a velocità tale da poter essere utilmente captata, costituiscono un acquifero abbastanza omogeneo e isotropo.

La falda idrica presente nei sedimenti sabbioso-arenacei, al di sotto del centro urbano, è molto influenzata dalle perdite delle reti idrica e fognaria, mentre l'urbanizzazione del colle ha diminuito considerevolmente l'infiltrazione di acqua meteorica e conseguentemente la possibilità di ricarica dell'acquifero stesso.

Al margine della collina di Chieti, anularmente e nella zona di contatto tra i depositi permeabili sommitali e quelli impermeabili sottostanti, si segnalano numerose sorgenti per limite di permeabilità (Civita, 1972), molte delle quali risultano oggi obliterate a seguito dell'espansione urbanistica recente.

Tra le sorgenti principali esistenti si segnalano: Fonte Vecchia, Fonte Ricciuti, Fonte Grande e Fonte Pizzaglia.

Il substrato argilloso impermeabile, come detto, è sovrastato lungo i versanti dalla coltre eluvio-colluviale. Le caratteristiche granulometriche dei depositi più superficiali sono eterogenee, sia in senso orizzontale sia in senso verticale, con tenori molto variabili di limo ed argilla. La permeabilità dei sedimenti non consente lo sviluppo di falde acquifere di una certa importanza, tuttavia, laddove la coltre ha spessori più elevati ed in aree morfologicamente favorevoli (impluvi e fossi) e dove la frazione grossolana nel sedimento è rilevante, si rinvengono falde e filtrazioni idriche che possono essere utilizzate a scopo irriguo mediante pozzi, ma che non costituiscono comunque accumuli interessanti per uno sfruttamento intensivo.

Nella piana alluvionale del Fiume Pescara e nelle vicinanze del Fiume Alento sono presenti falde superficiali collegate ai fiumi stessi e largamente utilizzate a scopi irrigui ed industriali. Anche in questo caso l'estrema eterogeneità dei sedimenti condiziona la permeabilità; generalmente, i pozzi in queste aree raggiungono il substrato argilloso sottostante in modo da intercettare le filtrazioni idriche presenti nei sedimenti a granulometria medio-fine

superficiali ma, soprattutto, la ricca falda presente nelle ghiaie sabbiose poste a diretto contatto con il substrato impermeabile.

Ai fini del presente studio, la determinazione del livello della falda assume importanza per quanto riguarda il problema della liquefazione. In particolare, nella piana alluvionale del fiume Pescara la falda è rinvenibile ad una quota inferiore a 15 m. Tale condizione potrebbe essere predisponente, come si è accennato in precedenza, in caso di forti terremoti per fenomeni di liquefazione *in zone localizzate* con terreni sabbiosi saturi poco addensati.

Nelle zone alte della città di Chieti, nel centro urbano e a San Salvatore, la falda è rinvenibile nell'orizzonte sabbioso-arenaceo a profondità superiori a 15 m e pertanto in queste zone i sedimenti non sono suscettibili di liquefazione.

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

La caratterizzazione geotecnica e geofisica deriva dall'analisi delle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche disponibili, dalle registrazioni di sismica passiva a stazione singola, realizzate per il presente studio, e dall'esperienza più che quarantennale maturata nell'ambito del territorio comunale di Chieti e in contesti geologici analoghi.

Gli elementi di documentazione acquisiti [sondaggi (principalmente), prove penetrometriche (SPT, CPT, CPTU, SCPT, DPSH), prove dilatometriche (DMT e SDMT), prove di laboratorio e prospezioni sismiche] sono numerosi, ma spesso le descrizioni litologiche delle stratigrafie sono contrastanti.

In tutto, tra oltre 1.200 indagini reperite, sono state utilizzate quelle riportate nella seguente tabella (n. 1.009).

CPT	123	Prova penetrometrica statica
CPTU	11	Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU
DL	14	Prova penetrometrica dinamica leggera
DP	61	Prova penetrometrica dinamica pesante
DMT	3	Prova dilatometrica (Marchetti)
HVSR	21	Microtremori a stazione singola
SCPT	2	Prova penetrometrica con cono sismico
SDMT	6	Prova con dilatometro sismico
SD	7	Sondaggio a distruzione di nucleo
SDS	3	Sondaggio a distruzione di nucleo che intercetta il substrato
SI	3	Sondaggio con inclinometro
SS	369	Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
S	178	Sondaggio a carotaggio continuo
SPT	99	Prova Standard Penetration Test
-	83	Prova di laboratorio
-	26	Prove sismiche (Masw e sismica a rifrazione)

Per quanto riguarda le indagini geofisiche le prove non sono numerose, ma si può fare riferimento a quelle di sismica passiva, appositamente eseguite per il presente studio, e soprattutto a n. 4 prospezioni di sismica a rifrazione effettuate sulle associazioni e sui depositi più significativi del territorio in esame (v. oltre).

4.1. Proprietà geotecniche dei terreni

Nel presente paragrafo vengono analizzate ed indicate le principali caratteristiche fisicomeccaniche dei diversi litotipi e il campo di valori più rappresentativo dei parametri geotecnici, sulla base dei numerosi elementi di documentazione disponibili (sopra indicati), oltre, naturalmente, ai dati riportati nella letteratura specializzata.

I sedimenti a granulometria fina, con componente coesiva prevalente su quella granulare, sono stati parametrizzati sulla base dei risultati delle prove geotecniche di laboratorio e delle prove CPT e DMT, mentre i depositi sabbioso-arenacei sono stati caratterizzati mediante l'analisi statistica dei risultati di prove Standard Penetration Test (SPT).

In particolare, sono stati analizzati i risultati di prove geotecniche in sito e di laboratorio effettuate nell'ambito dei più recenti studi geologici e geotecnici che hanno interessato terreni della stessa natura e struttura di quelli in esame (in particolare per le opere di consolidamento della collina di Chieti).

Sostanzialmente, la parametrizzazione riguarda le:

- associazioni sabbioso-conglomeratiche (FMT_c) e pelitico-sabbiose (FMT_a) della Formazione di Mutignano [l'associazione sabbioso-pelitica (FMT_b) ha caratteristiche intermedie e alquanto variabili da luogo a luogo];
- coltri eluvio-colluviali;
- depositi alluvionali.

4.1.1 Proprietà geotecniche dell'Associazione pelitico-sabbiosa plio-pleistocenica (FM T_a)

Tali depositi rappresentano l'Associazione pelitica di base della Formazione di Mutignano che nella letteratura specializzata vanno spesso sotto il nome "Formazione delle argille grigio-azzurre plio-pleistoceniche". Le argille rappresentano il substrato geologico della fascia pede-montana del versante adriatico dell'Appennino centro-meridionale. Benché nel comportamento geotecnico le argille plio-pleistoceniche manifestino molti punti in comune, le argille plioceniche e quelle pleistoceniche differiscono fra loro, in particolare per quanto riguarda la granulometria, i caratteri di plasticità ed il grado di consolidazione.

La composizione granulometrica della formazione argillosa varia da quella di un'argilla limosa fino a quella di un limo sabbioso; comunque, il litotipo prevalente è un limo con argilla. I vari termini si alternano fra loro in strati di modesto spessore e spesso contengono sottilissime intercalazioni di sabbia fine, di spessore millimetrico; la stratificazione è sempre regolare.

Il contenuto in CaCO₃ è in genere elevato (dal 20 fino al 40%): esso è attribuibile alla presenza di abbondante microfauna a guscio calcareo, mentre la matrice è povera in carbonati.

Data la composizione chimico-mineralogica (prevalentemente quarzoso-calcarea), il peso specifico dei granuli varia entro limiti ristretti (da 26 a 27 kN/m³).

Il contenuto in sostanze organiche è sempre trascurabile.

Per quanto riguarda le caratteristiche di plasticità si possono indicare i valori riportati qui di seguito.

Età dei terreni	Limite di liquidità w _L (%)	Indice di plasticità I _P (%)
Terreni pleistocenici	30÷50	10÷25
Terreni pliocenici	40÷60	15÷35

Complessivamente, tali terreni possono essere classificati come "argille di medio-alta plasticita".

Il contenuto d'acqua allo stato naturale w_n è mediamente pari al 15 \div 20%, prossimo al limite di plasticità o lievemente inferiore (l'indice di consistenza relativa risulta pertanto prossimo o addirittura superiore all'unità). È stata frequentemente osservata una lieve tendenza di w_n a diminuire con l'aumentare della profondità dal piano campagna.

Salvo rari casi di campioni estremamente superficiali, il grado di saturazione S_r è sempre prossimo all'unità (0.95÷1.0); conseguentemente, è ragionevole porre l'angolo di resistenza al taglio in condizioni non drenate ϕ_u pari 0° per verifiche a breve termine.

Il peso di volume secco γ_d varia da 15 a 18 kN/m³, mentre il peso di volume γ_n naturale varia da 19 a 21 kN/m³. Tutti i depositi plio-pleistocenici mostrano chiaramente di essere stati sovraconsolidati per carico; la letteratura specializzata riporta valori del carico di preconsolidazione σ' di circa 1.000÷1.200 kPa per le argille pleistoceniche e superiori a 2.000 kPa per quelle plioceniche. Al riguardo, però, si fa presente che, per campioni superficiali, sono state osservate pressioni σ' inferiori a 1.000 kPa attribuibili a fenomeni di "softening".

Il coefficiente di permeabilità k, determinato indirettamente da prove edometriche su campioni intatti, risulta mediamente pari a $10^{-8} \div 10^{-7}$ cm/s. Tenendo conto dello stato di fessurazione (del resto comune a tutte le argille sovraconsolidate), è ragionevole ammettere che il coefficiente di permeabilità possa essere alquanto superiore.

Concludendo, volendole inserire nello schema di classificazione dei terreni proposto da Morgenstern (1980), le argille plio-pleistoceniche possono essere definite come "terreni naturali a grana fine saturi, dilatanti, strutturati, fessurati".

a) Resistenza in termini di sforzi totali

Dato l'intenso grado di fessurazione proprio delle argille in esame, la resistenza al taglio in condizioni non drenate (a breve termine) dovrebbe essere misurata su provini di grandi dimensioni, con diametro almeno pari a 70 mm; prove condotte su provini aventi dimensioni minori forniscono, infatti, valori molto dispersi.

Il diagramma sforzo/deformazione mostra sempre un tipico comportamento di tipo "strain softening", con un marcato picco di resistenza per ridotti valori della deformazione assiale (poche unità per cento) ed una notevole diminuzione dopo il picco. I già più volte citati Esu e Martinetti hanno trovato che la resistenza non drenata tende ad aumentare con la profondità nello strato superficiale allentato e rammollito (fino a $10 \div 15$ m), rimanendo poi all'incirca costante, con valori della resistenza sempre superiore a 100 kPa; la resistenza non drenata tende inoltre a diminuire, per la medesima ragione, in prossimità dei fronti di scavo.

Alla coesione non drenata cu possono pertanto essere attribuiti i seguenti valori estremi:

$$c_{11} = 100 \div 300 \text{ kPa}$$

con i valori più bassi relativi ai terreni più superficiali e quelli più elevati relativi al substrato inalterato.

b) Resistenza in termini di sforzi efficaci

Il comportamento dei terreni argillosi, sottoposti a prova in condizioni drenate, è tipico dei terreni sovraconsolidati fessurati: la coesione intercetta c', per i valori di picco, risulta infatti diversa da zero. In base ai numerosi risultati di prove triassiali e di taglio diretto pubblicati da Esu e Martinetti (1965) si possono indicare i parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate riportati nella seguente tabella.

Età dei terreni	Angolo di attrito φ' (°)	Coesione <i>c'</i> (kPa)
Terreni pleistocenici	24÷28	50÷60
Terreni pliocenici	28÷34	50÷100

(fonte: Esu & Martinetti, 1965)

I valori di tutti i parametri sopra riportati sono congruenti con i risultati ottenuti dalle numerose prove di laboratorio eseguite sui terreni in esame, ad eccezione di quelli relativi alla coesione c', sempre inferiori a quelli indicati nella letteratura specializzata (mediamente c'÷15-30 kPa) e dell'angolo di attrito che non ha mai raggiunto 34°. I valori ricavati dagli Autori sopra citati (in particolare i valori di c') possono in effetti trovare giustificazione solo nella presenza di legami di tipo cementizio e comunque potrebbero essere accettati solo per campioni molto profondi. La Tab. 4.1 riassume quanto sopra detto e riporta i valori dei parametri geotecnici caratteristici del litotipo.

Peso di volume naturale	γ	$19 \div 21 \text{ kN/m}^3$
Contenuto d'acqua	W	15 ÷ 20 %
Limite Liquido	Wı	30 ÷ 50 %
Indice di plasticità	Ιp	10 ÷ 25 %
Angolo d'attrito interno	φ΄	24°÷28°
Coesione efficace	c'	10÷30 kPa
Coesione non drenata	Cu	150÷300 kPa
Modulo edometrico	М	15÷25 MPa
Coefficiente di permeabilità	k	< 10 ⁻⁹ m/sec

Tabella 4.1 Valori dei parametri geotecnici dell'Associazione pelitico-sabbiosa (FMTa)

4.1.2. Proprietà geotecniche dell'Associazione sabbioso-conglomeratica (FM T_d) e dell'Associazione sabbioso-pelitica (FM T_c)

Le proprietà granulometrica di queste due Associazioni sono simili, hanno un comportamento prevalentemente attritivo e possono essere assimilati in un unico orizzonte geotecnico. I principali parametri si evincono dai risultati delle prove in situ eseguite; tra queste senza dubbio la più usata è la prova di penetrazione dinamica standard, comunemente detta SPT. Questo tipo di prova, introdotta in Italia verso la fine degli anni '60, è molto utilizzata e, nonostante la sua empiricità e la sua soggezione a fattori non controllabili, fornisce dati correlabili direttamente a parametri utilizzabili in formule geotecniche.

La prova SPT indica un valore caratteristico denominato N_{SPT} che rappresenta il numero di colpi necessario ad infiggere nel terreno una punta o un campionatore standardizzati per 30 cm.

I valori medi emersi da un studio specifico sulle sabbie (Buccolini et alii, 1997) e quelli derivanti da esperienze degli scriventi sono riportati, rispettivamente nella Tab. 4.2 e nella Tab. 4.3: al riguardo, però, si deve tener presente che, soprattutto per quanto riguarda le proprietà meccaniche, i dati risultano alquanto dispersi. ³

Litotipo	γ (kN/m ³)	Gs	s (%)	a (%)	W (%)	WL (%)	IP (%)	c' (kPa)	φ' (°)
Sabbia		2.721	62	9	21.4	11		0	35

Tabella 4.2

 $\label{eq:Valori medi dei parametri geotecnici della Formazione sabbiosa} \gamma (peso di volume), Gs (gravità specifica), s (contenuto in sabbia), a (contenuto in argilla), W (umidità naturale), W (limite liquido), IP (indice di plasticità), c' (coesione), <math display="inline">\phi'$ (angolo di attrito)

(fonte: Buccolini et alii, 1997)

Peso di volume naturale	γ	$20 \div 21 \text{ kN/m}^3$
Contenuto d'acqua	W	20 ÷ 25%
Angolo d'attrito interno	φ'	>35°
Coesione efficace	c'	0 kPa
Coefficiente di permeabilità	k	> 10 ⁻⁵ m/sec

Tabella 4.3 Valori dei parametri geotecnici dell'Associazione sabbioso-conglomeratica (FMTd) e sabbioso-pelitica (FMTc)

Analizzando i valori delle caratteristiche fisico-meccaniche sopra riportati, si evince che l'Associazione prevalentemente sabbiosa sommitale ha, in generale, ottime proprietà geotecniche e presenta alti valori di resistenza al taglio e bassa compressibilità dovuti sia all'elevato grado di addensamento sia ai processi diagenetici che hanno determinato frequentemente fenomeni di cementazione trasformando le sabbie in arenarie e le ghiaie in puddinghe: ciò determina condizioni favorevoli per la stabilità dei versanti e per la realizzazione di costruzioni, ad eccezione delle zone prossime ai cigli di scarpata.

4.1.3 Proprietà geotecniche della coltre eluvio-colluviale (col)

La coltre eluvio-colluviale sormonta essenzialmente l'orizzonte pelitico. I litotipi sono stati testati in sito ed in laboratorio più del substrato che ricoprono, perché la maggior parte degli edifici e delle opere sono stati fondati proprio su di essi; inoltre, nel caso di movimenti franosi, è proprio la coltre colluviale quella più soggetta a mobilitarsi.

³ I valori si riferiscono alle sabbie più o meno cementate. I conglomerati di tetto, localmente anche fortemente cementati (puddinghe), possiedono valori sensibilmente superiori.

Di seguito si distingue la porzione colluviale, intesa come coltre imbibita che ha maggiormente subito l'azione di degradazione e di trasporto da parte degli agenti esogeni, da quella eluviale che, pur evidenziando segni di alterazione, conserva quasi inalterate le proprietà geotecniche del substrato da cui ha origine.

La composizione granulometrica della porzione colluviale è simile a quella eluviale: si tratta in entrambi i casi di limi argillosi con percentuali variabili di sabbia.

Anche in questo caso, dall'analisi dei risultati di tutte le prove geotecniche di laboratorio disponibili si ottiene la seguente parametrizzazione geotecnica riportata nella Tab. 4.4.

		Coltre colluviale	Coltre eluviale
Peso di volume naturale	γ	$19 \div 20 \text{ kN/m}^3$	$19 \div 20 \text{ kN/m}^3$
Contenuto d'acqua	W	30÷40 %	20÷30 %
Limite Liquido	wl	30÷40 %	35÷45 %
Indice di plasticità	lp	20÷30 %	20÷30 %
Angolo d'attrito interno	φ'	22°÷23°	25°÷27°
Coesione efficace	c'	0÷10 kPa	5÷15 kPa
Coesione non drenata	Cu	80÷100 kPa	100÷200 kPa
Modulo edometrico	Mo	5÷10 MPa	10÷20 MPa
Coefficiente di permeabilità	k	< 10 ⁻⁶ m/sec	< 10 ⁻⁷ m/sec

Tabella 4.4
Parametri geotecnici caratteristici della coltre eluvio-colluviale (col)
sovrastante l'Associazione pelitico-sabbiosa

4.1.4 Proprietà geotecniche dei depositi alluvionali terrazzati (at)

Le caratteristiche fisico-meccaniche dei depositi terrazzati alluvionali presenti lungo la valle del Fiume Pescara rivestono una grande importanza ai fini urbanistici in quanto su di essi fondano la maggior parte delle infrastrutture e degli edifici realizzati nella zona di Brecciarola fino al confine comunale con S. Giovanni Teatino.

Tali sedimenti sono molto eterogenei e possono presentare notevoli discontinuità orizzontali e verticali. Dall'analisi, dallo studio e dalla comparazione dei risultati delle numerose prove in situ eseguite (prove dilatometriche, prove penetrometriche e prove di laboratorio), è stata possibile la caratterizzazione dei singoli litotipi, ma va precisato che l'intervallo di valori dei parametri caratteristici è molto ampio in quanto, per l'estrema eterogeneità dell'ambiente di sedimentazione, si hanno forti variazioni sia granulometriche sia geotecniche. Il prospetto riepilogativo (Tab. 4.5) fornisce i parametri geotecnici dei

depositi alluvionali terrazzati distinti in tre unità geotecniche corrispondenti ai rispettivi litotipi, come precedentemente descritti.

		Limi argillosi debolmente sabbiosi	Limi argillosi torbosi	Ghiaie sabbiose
Peso di volume naturale	??	18÷19 kN/m³	16÷18 kN/m ³	20÷21 kN/m³
Contenuto d'acqua	w	30÷35 %	60÷80 %	
Limite Liquido	Wı	30÷40 %	70÷80 %	
Indice di plasticità	Ip	15÷25 %	20÷30 %	
Angolo d'attrito interno	φ′	22°÷24°	18°÷20°	> 35°
Coesione efficace	c'	0 kPa	0 kPa	
Coesione non drenata	Cu	50÷100 kPa	30÷50 kPa	
Coefficiente di permeabilità	k	10 ⁻⁶ m/s	10 ⁻⁶ m/s	10 ⁻³ m/s

Tabella 4.5 Parametri geotecnici caratteristici dei depositi alluvionali terrazzati (at)

I risultati ottenuti evidenziano che i depositi alluvionali a granulometria fina possiedono scadenti caratteristiche fisico-meccaniche: soprattutto per quanto riguarda i sedimenti limo-argillosi e torbosi, mentre sono alti i valori dei parametri delle sottostanti ghiaie sabbiose.

4.1.5 Proprietà geotecniche dei depositi alluvionali recenti (all)

L'estrema variabilità della composizione granulometrica di tali depositi, sia verticalmente sia orizzontalmente, unitamente ad un ambiente di sedimentazione estremamente dinamico, che produce ripetute alternanze di fasi di erosione e di deposizione, non consentono la parametrizzazione geotecnica del litotipo.

4.2. Dati geofisici

In mancanza di dati geofisici numerosi, sono state effettuate n.12 registrazioni di sismica passiva a stazione singola, in corrispondenza delle sezioni geologiche (v. fuori testo, Tavv. 2 e 3 e Sezioni geologico-tecniche) e, su richiesta del Tavolo Tecnico regionale, ulteriori n.6 misure nelle aree urbanizzate del centro urbano di Chieti e della zona dello Scalo, elaborate secondo la tecnica HVSR che consente la misura immediata della frequenza di risonanza fondamentale del sottosuolo. Tutte le registrazioni hanno avuto una durata di 20 minuti.

Nella Tab. 4.6 sono riportati i valori H/V dei picchi, la relativa frequenza fondamentale di risonanza e la corrispondente MOPS.

I report delle misure e la relativa documentazione fotografica sono riportati nell'All. 1 e nell'All. 2. I grafici delle frequenze fondamentali di vibrazione sono inoltre restituiti anche nella Carta delle MOPS.

Si fa presente che dall'analisi dello spettro delle singole componenti nelle misure M1 e M8 non sono evidenziati picchi significativi.

Misura	H/V	Hz	MOPS
P862	-	-	11
P863	1,60	0,59	3
P864	1,53	5,00	4
P865	2,35	1,34	7
P866	3,07	1,34	10
P867	2,55	1,34	8
P868	2,46	1,34	5
P869	-	-	2
P870	2,42	1,25	1
P871	2,25	1,09	9
P872	2,07	1,34	12
P873	1,97	1,34	6
P874	2,11	1,38	3
P875	-	-	Zona di attenzione per instabilità di versante
P876	1,60	1,38	6
P877		-	9
P878	-	-	9
P879		-	5

Tabella 4.6

Per quanto concerne le prospezioni di sismica a rifrazione, di cui si è detto in precedenza, si precisa che esse sono state eseguite ed elaborate, in collaborazione con l'Università degli Studi D'Annunzio, in occasione degli studi geologici per il PRG, nell'anno 2004.

I risultati, che come si è detto, riguardano le associazioni e i depositi principali del territorio comunale, sono riportati nel § 7 e nell'App. 1, ai quali si rimanda per analisi e valutazioni di dettaglio. Si fa qui solo presente che sia le prospezioni sopra indicate sia le 26 misure sismiche acquisite hanno evidenziato valori delle velocità delle onde di taglio nei primi 30 m ($V_{s,30}$) ricedenti nell'intervallo 180÷800 m/s che portano a classificare il sottosuolo nella:

Categoria B

oppure

Categoria C.

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Il modello del sottosuolo è stato ricostruito sulla base di tutti i dati acquisiti che hanno evidenziato come il substrato geologico marino presente su tutto il territorio in esame è caratterizzato dalla Formazione di Mutignano (FMT) presente con le associazioni sotto riportate.

Il substrato, che ha una potenza di diverse centinaia di metri, è sormontata dall'associazione sabbioso-pelitica (FMT_c) e dall'associazione sabbioso-conglomeratica (FMT_d) che chiude il ciclo regressivo del Calabriano e che ha uno spessore di diverse decine di metri.

Quest'ultima associazione, affiorante nelle parti più elevate dei rilievi collinari, ha un andamento tabulare e termina con ripide scarpate generalmente di origine erosiva.

I versanti sostenuti dall'associazione FMT_a sono caratterizzati dalla presenza di coperture di varia natura e genesi (riporti, colluvi, detriti, alluvioni, ecc.) e, in alcuni casi, da frane che interessano sia dette coperture (soggette prevalentemente a deformazioni superficiali lente) sia i depositi marini (interessati da frane rotazionali o roto-traslazionali).

Sono frequenti anche colate rapide che interessano principalmente gli orli di scarpata (naturali e soprattutto antropici): questi ultimi fenomeni, in maniera numerosa e diffusa, si sono avuti anche recentemente in occasione delle piogge di fine novembre e di inizio dicembre 2013 e sono sempre da ricondurre ad assenza o ad inadeguatezza di regimazione idraulica o a mancanza di manutenzione delle opere esistenti.

I depositi alluvionali dei fiumi Pescara ed Alento sono costituiti da orizzonti ghiaiososabbiosi e limo-argillosi, spesso con nuclei e livelli torbosi, che sormontano il substrato con spessore variabile da 15 a 30 m circa.

Questi depositi sono variabili per spessore e disposizione, sia in senso orizzontale sia in senso verticale: per questa ragione la loro successione stratigrafica non è inquadrabile in precisi schemi sistematici.

Inoltre, lo studio della storia urbanistica cittadina e le fonti documentali storiche offrono ulteriori elementi di supporto alle indagini censite per meglio comprendere il modello geologico del sottosuolo soprattutto della parte alta della città, dove l'intensa urbanizzazione cela la continuità degli affioramenti e la morfologia originaria del colle, e per meglio interpretare i risultati stratigrafici emersi nel corso di alcuni sondaggi. Infatti, l'espansione

urbanistica della Città di Chieti è stata notevolmente influenzata dalle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del territorio e dalle trasformazioni antropiche.

Dall'osservazione delle antiche iconografie della città si evince chiaramente come l'antico nucleo urbano si estendeva alla sommità del colle, pianeggiante lungo il crinale, solcato lungo i ripidi bordi dalle incisioni di numerosi fossi che affluiscono nei fiumi Alento e Pescara.

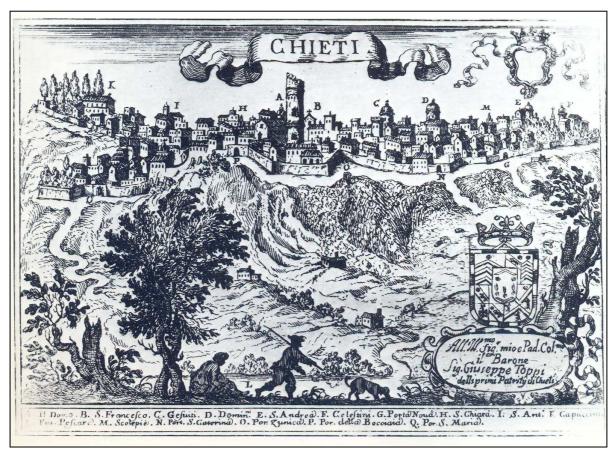


Figura 5.1 - Iconografia del 1704 (fonte: Il Palazzo de Majo e l'architettura barocca a Chieti, Gianfranco Spagnesi, Multigrafica Ed. 1981)

Il primo insediamento urbano risale all'epoca romana i cui resti (teatro ed anfiteatro, templi e muri) sono tuttora visibili nel quartiere della Civitella che occupa la sommità del colle. Le antiche Terme sono invece poste lungo il versante orientale.

Dal periodo romano la città si è sviluppata nelle varie fasi storiche lungo il crinale che per la sua posizione elevata sulla vallata del Pescara ha favorito la crescita del ruolo strategico militare e politico della città sui territori circostanti. Per questo ruolo Chieti dovette dotarsi di fortificazioni murarie ed alla fine del XVI sec. la "forma" della città appariva come riportato nella pianta seguente.

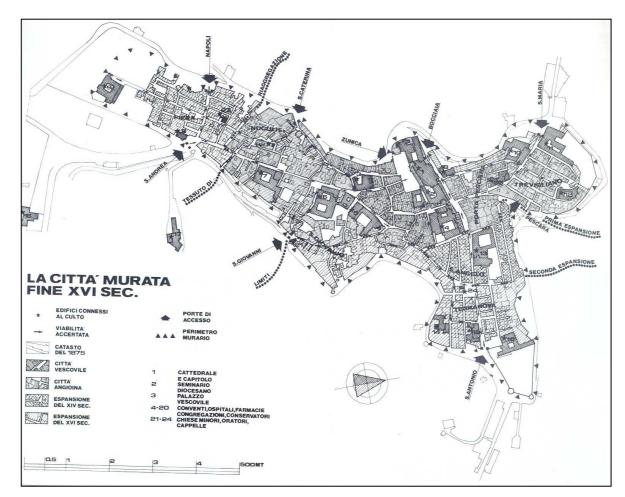


Figura 5.2 - Città murata (fonte: Teate Antiqua-La Citta di Chieti, AA.VV. 1991, Ed. Vecchio Faggio)

Fino agli inizi del XX sec. la città non ha avuto una grande espansione urbanistica ma si è sviluppata progressivamente crescendo su se stessa, occupando le aree ancora libere e/o mediante sostituzioni edilizie, come dimostrano le piante seguenti della città del 1839 e del 1904.

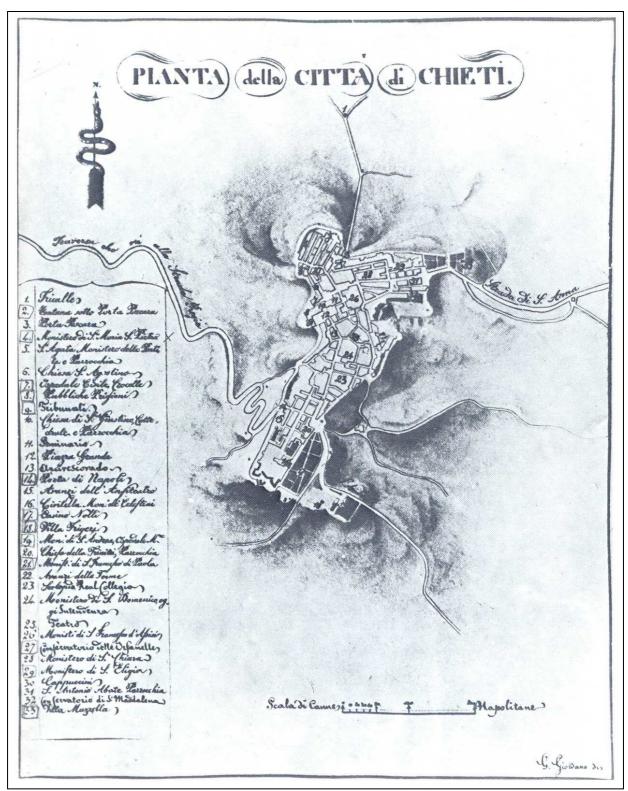


Figura 5.3 - Pianta del 1839 (fonte: Il Palazzo de Majo e l'architettura barocca a Chieti, Gianfranco Spagnesi, Multigrafica Ed. 1981)

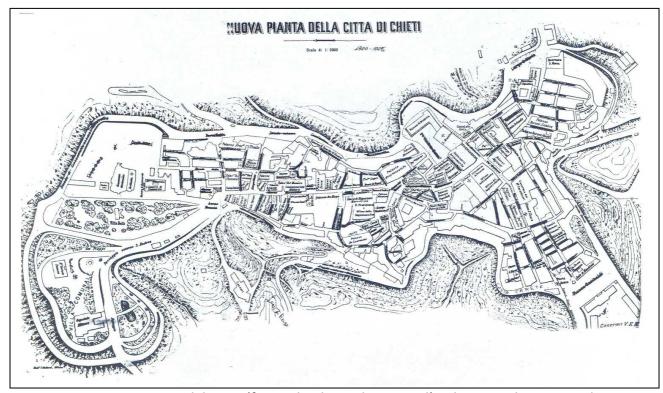


Figura 5.4 - Pianta del 1904 (fonte: Il Palazzo de Majo e l'architettura barocca a Chieti, Gianfranco Spagnesi, Multigrafica Ed. 1981)

Il rallentamento dello sviluppo teatino è dovuto non solo a ragioni soprattutto storiche, economiche e politiche, ma anche per la instabilità dei pendii appena fuori le mura.

Infatti, la franosità storica dei versanti, ampiamente documentata fin dall'epoca romana, ha fortemente condizionato nel tempo i rapporti fra la città ed il territorio limitrofo, in particolare impedendo insediamenti nei dintorni per la coltivazione dei campi ed ostacolando la viabilità ed il collegamento con la sottostante vallata.

Questi brevi cenni sulla storia urbanistica di Chieti hanno quindi offerto utili suggerimenti per meglio comprendere e ricostruire il modello geologico del sottosuolo della parte alta urbanizzata della città. I principali risultati di questa analisi possono essere sintetizzati nei seguenti punti.

1) Il centro storico di Chieti, compreso nel perimetro delle antiche mura, è stato fondato sull'associazione sabbioso-conglomeratica di chiusura della Formazione di Mutignano in quanto tali terreni, avendo ottime caratteristiche geotecniche di resistenza al taglio e di capacità portante, hanno favorito la costruzione degli edifici e delle infrastrutture con interventi e soluzioni tecniche non particolarmente onerosi. La stessa sabbia veniva estratta poco al di sotto delle abitazioni ed utilizzata in campo edilizio.

- 2) Nelle aree più esterne, invece, affiora la coltre di alterazione eluvio-colluviale che ricopre il substrato geologico locale. Tali depositi hanno caratteristiche geotecniche più scadenti rispetto all'associazione sabbiosa soprastante e in alcune aree, con conformazioni morfologiche sfavorevoli, hanno dato e possono dar luogo a manifestazioni erosive e gravitative. La franosità delle aree periferiche la si riscontra nelle numerose testimonianze storiche (v. oltre)
- 3) Gli edifici, le strade e le infrastrutture realizzati in tempi più recenti al di fuori dell'antica cinta muraria occupano per lo più la testata dei fossi che solcano i versanti collinari e che sono stati colmati non di rado con grandi quantità di terreno di riporto. Ne sono testimonianza i sondaggi realizzati in prossimità di Via della Liberazione, a valle di Via A. Herio e a valle di Via Majella in cui, in alcuni casi, il terreno di riporto raggiunge lo spessore di circa 16 m. Questi manufatti poggiano, con fondazioni dirette o profonde, sulla coltre eluvio-colluviale. La morfologia di queste zone è stata profondamente modificata rispetto alla condizione originaria come si evince chiaramente da due foto panoramiche comparative della zona del Polo Tecnico della Provincia (ex Carceri) e dell'area del Terminal dei bus di Via Gran Sasso Figg. 5.5-5.8).



Figura 5.5 (fonte: Chieti: Immagini e memorie, F. De Tiberiis, C. Gasbarri, L. Gorgoni Lanzetta, E. Spedicato, 1991- Ed. Vecchio Faggio)



Figura 5.6



Figura 5.7 (fonte: Chieti: Immagini e memorie, F. De Tiberiis, C. Gasbarri, L. Gorgoni Lanzetta, E. Spedicato, 1991- Ed. Vecchio Faggio)



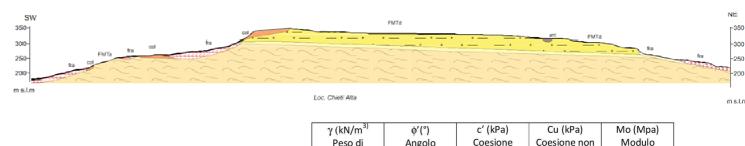
Figura 5.8

Pertanto, sulla base dei dati indiretti, riferibili allo sviluppo urbanistico cittadino, è possibile estendere il modello del sottosuolo delle aree periferiche anche a quelle più interne del centro storico, completamente urbanizzate, dove non vi sono sondaggi ed affioramenti. E' verosimile ipotizzare, inoltre, che in queste aree vi sia in superficie del terreno di riporto che occupa vaste zone e che può avere spessori anche significativi considerando che la città è cresciuta su se stessa per secoli.

Il riporto tuttavia può essere cartografato ed identificato solo se si hanno a disposizione dati diretti.

Le Figg. 5.9 e 5.10 mostrano i modelli geologici e geotecnici in corrispondenza della sezione che attraversa in centro storico (Sez. 4-4') e lungo una sezione che interessa la zona collinare e la piana alluvionale (Sez. 7-7'). Le sezioni qui riproposte, con l'indicazione dei parametri fisico-meccanici, sono riportate, unitamente a tutte le altre, nell'apposita carta fuori testo. Inoltre nei due esempi seguenti sono riportate le sezioni stratigrafiche sia secondo gli Standard di rappresentazione regionali sia secondo quelli nazionali.

Modellazione secondo gli standard di rappresentazione regionali



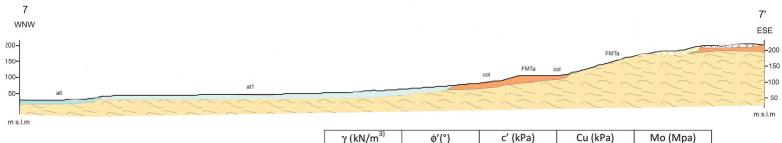
		$\gamma (kN/m^3)$	φ′(°)	c' (kPa)	Cu (kPa)	Mo (Mpa)
		Peso di	Angolo	Coesione	Coesione non	Modulo
		volume	d'attrito	drenata	drenata	edometrico
U.G.C.	Coltre eluvio-colluviale (col)	19-20	22-23	0-10	80-100	5-10
	Associazione sabbioso-conglomeratica (FMTd)	20-21	>35	0		
U.G.M.	Associazione sabbioso-pelitica (FMTc)	20-21	/33	O		-
	Associazione pelitico-sabbiosa (FMTa)	19-21	24-28	10-30	150-300	15-25

Modellazione secondo gli standard di rappresentazione nazionali



Figura 5.9

Modellazione secondo gli standard di rappresentazione regionali



		$\gamma (kN/m^3)$	φ'(°)	c' (kPa)	Cu (kPa)	Mo (Mpa)
		Peso di	Angolo	Coesione	Coesione non	Modulo
		volume	d'attrito	drenata	drenata	edometrico
	Depositi alluvionali recenti					
	eterogenei (all)	AMANI	1000	***************************************		10.000000
	Coltre eluvio-colluviale (col)	19-20	22-23	0-10	80-100	5-10
U.G.C.	Depositi alluvionali terrazzati (at): Limi argillosi debolmente sabbiosi	18-19	22-24	0	50-100	-
	Depositi alluvionali (at): Limi argillosi torbosi	16-18	18-20	0	30-50	1
	Depositi alluvionali (at): Ghiaie sabbiose	20-21	>35	0	I	-

Modellazione secondo gli standard di rappresentazione nazionali



Figura 5.10

6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Le principali incertezze di carattere generale derivano dalla presenza di un tessuto urbano ad alta densità (centro storico e Chieti scalo) che, in alcuni casi, comporta difficoltà nel definire esattamente i limiti tra le diverse formazioni in assenza di indagini puntuali.

Tuttavia, vista la relativa semplicità del contesto geologico-geomorfologico e i numerosi sondaggi acquisiti, la cartografia geologico-tecnica si può ritenere, alla scala utilizzata, sufficientemente corretta e comunque tale da non inficiare le scelte urbanistiche.

Per quanto riguarda le indagini geofisiche, le incertezze sono invece maggiori e quindi è opportuno prevedere l'acquisizione di dati puntuali per meglio caratterizzare la Risposta Sismica Locale nell'ambito di eventuali varianti al Piano Regolatore vigente. ⁴

Si è detto più volte che il sottosuolo del territorio indagato non presenta, *in generale*, forti contrasti di velocità delle onde di taglio, ma localmente sono possibili effetti di rilievo della RSL dovuti ad amplificazioni stratigrafiche (v. analisi sviluppate nell'App. 1 e nell'App. 2) e/o topografiche.

Le incertezze riguardanti casi particolari e aree specifiche che potrebbero avere valenza sulla RSL e che necessitano di ulteriori approfondimenti, si riferiscono a:

1) Fenomeni di instabilità

Per quanto concerne i possibili fenomeni d'instabilità, essi sono principalmente dovuti a:

- a) movimenti gravitativi di versante,
- b) cedimenti differenziali,
- c) fenomeni di liquefazione dei terreni monogranulari saturi,
- d) faglie attive e capaci.

Per i fenomeni sopra elencati i movimenti di versante e le faglie attive e capaci non destano incertezze in quanto i primi sono ben definiti, mentre non vi sono nel territorio esaminato faglie di questo tipo.

Sono invece da precisare alcuni aspetti relativi ai possibili fenomeni di instabilità di cui ai punti b) e c).

Per la progettazione delle singole opere le risultanze del presente studio non sono utilizzabili, se non in prima approssimazione, in quanto è necessario attenersi alle indagini e agli studi previsti dalle NTC08.

Per quanto concerne i cedimenti differenziali, il Tavolo Tecnico (TT) regionale, nella seduta del 31/03/2015, ha chiarito che i cedimenti differenziali assumono rilievo solo se riguardano le aree di contatto stratigrafico o tettonico di litotipi con caratteristiche fisicomeccaniche molto diverse (rif. ICMS, 2008). Nella pianura alluvionale del fiume Pescara le problematiche di cedimento riscontrate sono difficilmente riconducibili alla suddetta categoria poiché risultano dalle caratteristiche geotecniche delle unità, ossia, alla presenza di sedimenti ad elevata compressibilità (es. torba, argille organiche, ecc.).

Questo processo, pur rappresentando un fattore di elevata criticità geotecnica anche in situazioni dinamiche, esula dalla scala di risoluzione propria degli Studi di MS in quanto necessita di conoscenze, stratigrafico/geotecniche, approfondite alla scala della singola struttura/fondazione.

Pertanto il TT regionale, evidenziando la complessità geologica e geomorfologica delle pianure alluvionali e dei rapporti stratigrafici tra le unità sedimentarie che possono contemplare localmente lenti ed orizzonti sabbiosi in falda intercalati nelle profondità d'interesse e liquefacibili e tenuto conto che le torbe possono subire perdite di resistenza (non liquefazione) e deformazioni verticali e laterali, transitorie o permanenti, a causa di un terremoto, e che l'influenza della presenza di strati di torbe sulla RSL di un deposito dipende da molti fattori e non è generalizzabile, ha stabilito di dare maggiore risalto ai processi di liquefazione rinviando il tema dei "cedimenti differenziali" a successivi approfondimenti.

Per quanto concerne il problema della *suscettibilità alla liquefazione*, nel § 2.4 sono state indicate le condizioni affinché il fenomeno della liquefazione nei terreni sabbiosi saturi è basso o nullo; sinteticamente, tali condizioni sono:

- Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
- Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di 0.1g;
- Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di 0.15g e terreni con caratteristiche granulometriche e resistenza particolari;
- Terreni con distribuzione granulometrica non idonea a manifestare fenomeni di liquefazione
- Profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna'.

Con riferimento alle condizioni ora indicate, si esclude la possibilità di liquefazione nell'Associazione sabbioso-conglomeratica di tetto, sia per le ottime caratteristiche di

resistenza sia per la profondità della falda superiore a 15 m, e nei sedimenti pelitici dei versanti collinari, per le caratteristiche granulometriche.

Nella pianura alluvionale del Pescara invece non si può escludere, come si è visto, con certezza il verificarsi di tali fenomeni in zone localizzate su lenti sabbiose con attitudine a sviluppare processi di liquefazione in quanto la profondità della falda è sempre <15 m.

I dati geologici, geotecnici e idrogeologici disponibili, anche se abbastanza numerosi, sono incompleti per una verifica di questo tipo (es. mancanza di analisi granulometriche e prove SPT) che necessita invece di indagini mirate atte ad accertare la possibilità di occorrenza delle condizioni energetiche scatenanti il fenomeno della liquefazione.

Tenuto conto che la distribuzione e lo spessore dei depositi alluvionali con caratteristiche sedimentologiche e geomorfologiche articolate (dovute alla dinamica evolutiva laterale/longitudinale e verticale dei corsi d'acqua fluviali) non sono facilmente determinabili e che i dati disponibili sono insufficienti, è impossibile delimitare con precisione le aree suscettibili di instabilità per fenomeni di liquefazione, alla scala di approfondimento dello Studio di MS di Livello 1.

Pertanto, occorrerà procedere in queste aree ad ulteriori indagini ed approfondimenti per la verifica di instabilità alla liquefazione/cedimenti. Gli approfondimenti consisteranno nella esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo atti ad individuare la presenza di lenti ed orizzonti sabbiosi in falda di spessore significativo, prove penetrometriche in foro (SPT) al fine di verificare lo stato di addensamento e resistenza dei granuli e analisi granulometriche per determinare la composizione del sedimento. La soggiacenza della falda potrà essere rilevata con la posa in opera di piezometri.

L'area di approfondimento riguarda quindi, secondo le indicazioni del TT, l'intera pianura alluvionale del fiume Pescara.

2) Probabile presenza di spessori significativi di terreno di riporto in aree urbanizzate

Un ulteriore elemento d'incertezza con valenza sulla RSL è dato dalla possibile presenza di spessori elevati di terreno di riporto in corrispondenza di aree fortemente urbanizzate che occupano la testata di fossi preesistenti. Comparando infatti le mappe storiche della città con l'assetto urbanistico attuale si nota come l'espansione della città sia avvenuta in alcuni casi con l'occupazione di aree in cui originariamente erano presenti impluvi.

Queste aree sono principalmente due e sono ubicate a nord e a sud del crinale su cui attualmente è presente l'edificio del Polo tecnico provinciale (ex Carceri). Originariamente infatti vi era un sentiero che dall'attuale Piazza Trento e Trieste (Trinità) scendeva verso E e raggiungeva le vecchie carceri (v. figure di § 5). Il crinale fungeva da spartiacque tra il fosso meridionale che aveva origine dalla zona a valle della Villa comunale, all'incirca in corrispondenza dell'edificio del catasto, e il fosso settentrionale che aveva origine subito a valle della Trinità e scendeva verso l'area delle Terme Romane, sotto Via Principessa di Piemonte. Attualmente queste aree, per la loro favorevole posizione, hanno subito profonde trasformazioni antropiche che hanno modificato lo stato dei luoghi originario. Tale trasformazione è probabilmente avvenuta mediante l'apporto di volumi significativi di terreno di riporto, come testimoniano le stratigrafie di alcuni sondaggi realizzati nella zona (v. Sondaggi nn. 459, 460, 461, 612, 615).

Pertanto queste aree potranno essere oggetto di ulteriori approfondimenti volti ad accertare l'estensione e lo spessore del riporto che assume molta importanza ai fini dell'amplificazione del segnale simico, considerando che nella zona sono presenti numerosi ed importanti edifici di civile abitazione anche strategici (Casa di cura Spatocco).

3) Frane con forme molto angolose innaturali

Molte frane cartografate nel PAI e riportate pedissequamente nel presente studio hanno spesso conformazioni e perimetri innaturali completamente avulsi dal contesto morfologico circostante. In particolare si fa riferimento a forme troppo angolose non compatibili con la tipologia di dissesto indicata e con l'assetto topografico. Nella maggior parte dei casi si tratta di errori materiali dovuti alla scala di rappresentazione adottata dal PAI (1:25.000). Tali errori potranno essere corretti con studi più approfonditi trasponendo le frane su cartografie a scala di dettaglio (1:5.000), in accordo con le procedure tecnico-amministrative per le Varianti alle cartografie del PAI indicate nelle Norme di attuazione. Le frane di questo tipo sono molto numerose e pertanto a titolo meramente esemplificativo si evidenzia il caso di una frana dovuta a deformazioni superficiali lente attive che oltre ad interessare il versante a valle di Via Ferri si estende ad angolo acuto nel piano sommitale pianeggiante, fino a lambire la Caserma Berardi, come riportato nella Fig. 6.1.

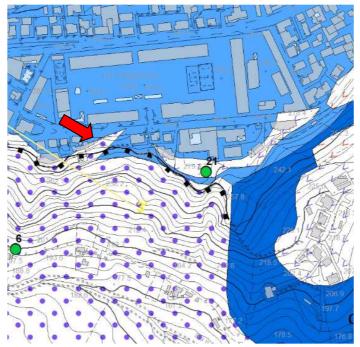


Figura 6.1 - Stralcio Carta Geologico-Tecnica Tav. 2C

4) Frana di recente formazione

Su segnalazione del Comune di Chieti è stata perimetrata una frana attivatasi a seguito di precipitazioni molto intense occorse in data 6 marzo 2015. Il movimento franoso si estende lungo il versante sinistro del fosso S. Chiara, a valle di Via della Colonnetta, in prossimità della Chiesa di Madonna della Misericordia. Gli studi condotti hanno evidenziato che si tratta di una frana di tipo complesso che ha una lunghezza media di circa 200 m, una profondità della superficie di scivolamento di 7 m e coinvolge un volume non inferiore a 200.000 m³.

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Lo studio di MS di Livello 1 relativo alle aree urbane del territorio comunale di Chieti ha seguito le indicazioni degli "Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica" ai fini della valutazione della pericolosità sismica e, conseguentemente, per la definizione del rischio sismico.

Dette conoscenze sono importanti per la programmazione territoriale e per la pianificazione urbanistica, nonché per l'organizzazione dell'emergenza e, in prima approssimazione, anche per orientare le indagini e gli studi previsti dalle NTCO8.

Sulla base di tutti i dati acquisiti, riguardanti le indagini geognostiche presenti sul territorio e le caratteristiche geologiche e geomorfologiche locali, lo Studio di MS ha lo scopo di valutare la pericolosità sismica locale mediante l'identificazione di porzioni del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo.

Per quanto concerne la redazione della cartografia, si fa innanzitutto presente che nella Carta Geologico-Tecnica sono riportate le frane presenti nel PAI, comprese quelle modificate nell'ambito del Primo Progetto di Variante in corso di adozione e che i limiti tra i diversi affioramenti non sempre coincidono con quelli riportati nella Carta Geologica d'Italia del Progetto CARG, sia per il rilevamento a maggior scala sia per i numerosi dati di sondaggio disponibili. Inoltre la Carta.

L'elaborato di sintesi del presente studio è costituito dalla *Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS),* redatta per ciascuna delle aree urbanizzate del territorio e adeguatamente estesa rispetto alla perimetrazione fornita dall'Amministrazione comunale.

Nella Carta delle MOPS sono individuate le:

- zone in cui il moto sismico non subisce modifiche rispetto a quello previsto su roccia rigida affiorante (*Categoria di sottosuolo A* delle NTC08 e dell'Eurocodice 8) e superficie topografia pianeggiante, e per le quali le azioni attese sono quelli forniti dagli studi di pericolosità simica di base;
- zone in cui il moto sismico subisce modifiche rispetto a quello atteso nelle condizioni di cui al punto precedente, per cause stratigrafiche e/o topografiche;
- zone in cui il sisma può provocare fenomeni di deformazione permanente quali

instabilità di versante, cedimenti differenziali, liquefazione, ecc.).

Lo studio di MS consiste, però, in un approccio *qualitativo*, in quanto basato su informazioni e dati già esistenti, non sempre congruenti tra loro (per mancanza di standardizzazione), e quindi rappresenta un supporto propedeutico ai veri e propri studi di MS di Livello 2 e 3.

La carta individua, come accennato in precedenza, le microzone nelle quali sono possibili le temibili conseguenze prodotte dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.).

Le microzone omogenee sono classificate nelle tre categorie evidenziate e già descritte nel § 1, ossia:

- 1. zone stabili,
- 2. zone stabili suscettibili di amplificazioni locali,
- 3. zone suscettibili di instabilità.

Per quanto concerne le zone di cui al punto 3., si è già evidenziato che l'instabilità è riferita a:

- movimenti gravitativi di versante,
- cedimenti differenziali,
- fenomeni di liquefazione dei terreni monogranulari saturi,
- faglie attive e capaci.

La Carta delle MOPS riporta n. 12 Zone a comportamento sismico omogeneo, descritte in dettaglio nel successivo § 8.3.1, e, con apposita rappresentazione, i risultati delle misure di sismica passiva a stazione singola.

I grafici H/V di dette misure presentano, in generale, picchi poco significativi (H/V \approx 2) ad eccezione della misura P866,con H/V = 3,07 alla frequenza di 1,34 Hz.

Grazie ai numerosi dati disponibili, i risultati acquisiti sono da ritenere attendibili per i fini richiesti al presente lavoro.

Per quanto concerne la valutazione della pericolosità sismica, di base e di sito, si propone anche un ulteriore contributo costituito dal documento riportato nell'App. 1 (simulazioni numeriche dinamiche in campo monodimensionale) e dalle analisi comparative restituite nell'App. 2 (approccio semplificato delle NTCO8) riguardanti gli stessi siti.

Le valutazioni riguardano n. 3 ambiti caratteristici del territorio di Chieti:

- 1) l'associazione sabbioso-conglomeratica di tetto (FMT_d);
- la coltre eluvio-colluviale (col);
- 3) i depositi alluvionali terrazzati (at n), nei quali sono state eseguite n. 2 misure.

Rimandando, per valutazioni di dettaglio, agli elaborati dell'App. 1 e dell'App. 2, si espongono sinteticamente qui di seguito i risultati ottenuti che costituiscono un approfondimento rispetto a quanto richiesto alla MS di Livello 1.

La realizzazione di quattro basi sismiche a rifrazione ha permesso una buona conoscenza del modello geologico-tecnico delle aree indagate, anche se esse rappresentano un areale limitato nei confronti dell'intero territorio comunale di Chieti.

Per tale ragione, i risultati dell'indagine non possono essere assunti a base delle progettazioni definitive ed esecutive e quindi le amplificazioni locali vanno determinante caso per caso con indagini specifiche e puntali.

Nonostante le limitazioni sopra indicate è stato comunque possibile acquisire un primo quadro conoscitivo dal quale emerge in maniera chiara come le aree soggette a significativa amplificazione locale risultino essere quelle in cui sono presenti rilevanti spessori delle coltri eluvio-colluviali. In tali aree campione, pertanto, le modellazioni dinamiche sono state approfondite e dettagliate, considerando diversi spessori delle coltri (da 2 a 24 metri per incrementi di 2 metri) poggianti su un substrato argilloso. I parametri di input sono stati desunti dai valori medi acquisiti a seguito delle campagne di esplorazione geofisica.

I risultati delle indagini mostrano come, per spessori della coltre eluvio-colluviale compresi tra 6 e 18 metri, siano presenti amplificazioni non trascurabili (eccedenti oltre il 20% lo spettro d'ordinanza), con picchi d'amplificazione strettamente dipendenti dalla potenza della coltre (a spessori maggiori corrispondono picchi d'amplificazione caratterizzati da periodi maggiori).

Tutto ciò premesso, sulla base delle indagini ed elaborazioni sviluppate, appare evidente come, nelle porzioni di territorio considerate, le aree maggiormente sottoposte a possibile amplificazione locale legata ad effetti "stratigrafici" (contatti tra litotipi a diversa rigidità

sismica) vanno individuate nelle zone dove le coltri eluvio-colluviali, litologicamente costituite prevalentemente da limi e caratterizzate da valori molto bassi in termini di Vs, hanno uno spessore compreso tra 6 e 18 metri.

Infine, c'è da considerare l'effetto d'amplificazione sulla risposta sismica locale, fornito da cause di natura topografica, come ad esempio in corrispondenza delle numerose scarpate presenti nell'area del Comune di Chieti. Le scarpate vanno quindi considerate come zone in cui all'amplificazione locale connessa con le caratteristiche stratigrafiche sopra distinte si aggiunge una possibile aggravante legata alla presenza di effetti morfologici, in grado di favorire la focalizzazione delle onde sismiche.

La valutazione dell'azione sismica (di base e di sito) può essere verificata anche con metodi semplificati di tipo pseudo-statico, salvo nei casi in cui la superficie topografica e/o il profilo stratigrafico presentino irregolarità molto marcate, nonché in terreni capaci di sviluppare pressioni interstiziali elevate e/o subire perdite rilevanti di rigidezza sotto carico ciclico.

Dette analisi, effettuate in corrispondenza dei punti centrali delle basi sismiche, sono riportate nell'App. 2 e mostrano, congruentemente con quanto sopra evidenziato, che le amplificazioni stratigrafiche rilevate con questo approccio possono non essere cautelative.

Infatti, i fattori di amplificazione risultano sensibilmente più elevati nel caso delle simulazioni numeriche.

Al riguardo si deve far presente che le problematiche sono numerose e oggetto di dibattiti e di interpretazioni ancora lontane dall'essere risolti. Infatti, le NTC08 prevedono, per la definizione dell'azione sismica, la necessità di valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi (v. Cap. 3.2.2 elle NTC08) e che, in loro assenza, si possa fare riferimento all'approccio semplificato che si basa sull'individuazione di "Categorie di sottosuolo" di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III) attraverso la misura delle V_{s,30} o di altri parametri geotecnici (N_{SPT,30} e c_{u,30}), come accennato nel § 2.

La collocazione della valutazione dell'azione sismica "ex abrupto" al § 3 delle NTC08, ben prima quindi della definizione del "modello geologico", posto solo al § 6, risente evidentemente dell'impostazione ingegneristica di tutta la normativa.

L'applicabilità dell'approccio semplificato dovrebbe, al contrario, essere valutata solo dopo aver definito il modello geologico di riferimento in modo chiaro ed esaustivo, in

relazione sia alle condizioni geologico-stratigrafiche e strutturali sia in funzione dell'importanza del progetto per quanto attiene:

- 1) tipologia, qualità e quantità delle indagini geotecniche e geofisiche;
- percorribilità e utilizzabilità dell'approccio semplificato o, viceversa, se è più opportuna o addirittura necessaria l'analisi di risposta sismica locale attraverso la definizione degli specifici spettri di risposta di sito e di progetto.

In particolare, si dovrebbe escludere l'approccio semplificato quando le condizioni stratigrafiche e la morfologia sepolta del bedrock indicano la possibilità che si verifichino effetti di sito bidimensionali e/o quando le conoscenze geologiche fanno presumere la presenza di elevati contrasti di velocità tra copertura e bedrock anche a profondità superiori a 30 m e/o quando indagini geognostiche e geotecniche o misure di rumore sismico ambientale abbiano evidenziato forti contrasti di consistenza e/o di velocità negli strati più superficiali.

Il riferirsi esclusivamente alla $V_{s,30}$ (definita come la misura della velocità equivalente delle onde di taglio nei primi trenta metri sotto la base della fondazione) e alle Categorie di sottosuolo può risultare in taluni casi eccessivamente cautelativo, in altri può invece sottostimare notevolmente lo spettro di risposta di sito.

Con riferimento a quanto sopra precisato, si deve rilevare che dall'anno dell'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 e della Circolare esplicativa 2 febbraio 2009, n. 617, l'aspetto legato alla pericolosità sismica e alla progettazione di strutture sismoresistenti ha assunto un'importanza crescente e che, come si è messo in evidenza, l'approccio semplificato per la definizione dell'azione sismica, attraverso l'utilizzo di Categorie di sottosuolo, è tuttora utilizzato nella stragrande maggioranza dei progetti, nonostante i suoi evidenti limiti, che spesso comportano notevoli ed evidenti incertezze e ambiguità. Nel 2009 l'analisi numerica della risposta sismica locale era un argomento quasi misterioso, generalmente riservato al mondo accademico e a pochi cultori. A cinque anni dall'entrata in vigore delle NTC08, si avverte, però, un rapido (e sempre più auspicabile) cambiamento nel mondo professionale, grazie alla divulgazione tramite seminari e corsi formativi e alla circolazione di notizie e scambi di opinioni attraverso internet.

In effetti, il tema della RSL con metodi numerici è oggi alla portata di tutti i tecnici che desiderano approfondire l'argomento, ad esempio attraverso l'utilizzo del software STRATA,

(programma di RSL numerica 1D di libero utilizzo, che costituisce il più recente sviluppo della famiglia SHAKE) che consente anche analisi probabilistiche con il metodo Monte Carlo e permette, quindi, di superare alcuni inconvenienti legati alla inevitabile variabilità e incertezza dei dati di input.

Per quanto concerne, poi, l'utilizzo del metodo della V_{s,30}, introdotto da Borcherdt nel 1994, quale indice per l'analisi dello scuotimento del suolo a fini di protezione civile, si deve osservare che esso fu successivamente adottato da diverse normative per le costruzioni come semplice indice dell'amplificazione locale dovuta alla stratigrafia (Fa). Molti Autori hanno, però, posto in risalto la scarsa o nulla significatività di questo parametro nella definizione dell'amplificazione locale. In particolare, la Castellaro et alii hanno presentato un riesame dell'assunto di Borcherdt mettendo in evidenza la reale mancanza di correlazione tra V_{s,30} e Fa, poiché tale assunto deriva dall'illusorio effetto di una correlazione su scala bilogaritmica con asse delle ordinate compresso, com'è visibile nella Fig. 7.1 che mostra il grafico originale di Borcherdt (in alto) e quello ridisegnato dalla Castellaro et alii in scala lineare (in basso) nel quale risulta evidente che il coefficiente di correlazione R è prossimo a zero, ossia i dati mostrano che non ha senso esprimere Fa in funzione di V_{s,30}.

Una ulteriore "critica" alle NTC08 riguarda la valutazione e l'utilizzo di periodi (o frequenze) di risonanza del suolo rispetto a quelle delle strutture (edifici, infrastrutture, ecc.), che a loro volta, sono caratterizzati da un periodo proprio di vibrazione. Nel caso dei fabbricati, ad esempio, i periodi di vibrazione dipendono essenzialmente dall'altezza degli stessi e il loro comportamento, durante il sisma, viene assimilato a quello degli "oscillatori semplici" (pendoli). Generalmente, quindi:

- fabbricati alti, snelli e flessibili, si caratterizzano per oscillazioni ampie e di più lungo periodo;
- fabbricati bassi, tozzi e rigidi, si caratterizzano per oscillazioni contenute e di breve periodo.

Risentimenti particolari si hanno quando il periodo di vibrazione del terreno o comunque il periodo fondamentale (frequenza fondamentale) coincide con il periodo proprio del fabbricato (frequenza della struttura), determinando, in questi casi, dannosi effetti di doppia risonanza.

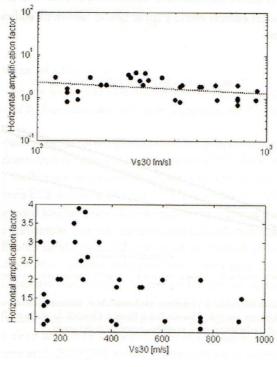


Figura 7.1

Per tale ragione anche nel caso di approccio semplificato è opportuna, quando non già desumibile da studi di MS o dalle altre indagini sismiche finalizzate alla determinazione dello spessore della copertura ed alla misura delle Vs e Vs,30, la stima della frequenza fondamentale di vibrazione del terreno mediante misure di rumore sismico ambientale a stazione singola (microtremori) procedendo a:

- misurare la frequenza fondamentale di vibrazione del terreno;
- misurare (edificio esistente) o valutare (edificio in progetto) la frequenza propria dell'edificio;
- confrontare e valutare se esistono problemi di risonanza, e decidere se e quali accorgimenti utilizzare per modificare il sistema di riferimento;

avvertendo che la massima amplificazione del moto sismico corrispondente alla frequenza di risonanza "principale" del terreno può avvenire a frequenze diverse da quelle per le quali si ha la massima accelerazione, spesso al di fuori del range di frequenze di interesse per lo specifico fabbricato in studio.

Si noti che le misure di microtremori a stazione singola sono utili da un lato per verificare la presenza o meno di forti contrasti di velocità negli strati più superficiali, situazione che spesso comporta lo "sforamento" dello spettro di risposta elastico di sito rispetto agli spettri

di normativa, dall'altro per estendere in profondità, possibilmente fino al bedrock sismico, il profilo di velocità Vs desunto da altre metodologie di indagine come le down-hole e cross-hole o le MASW attive, scopo per il quale sono sempre più utilizzate anche misure passive con array bidimensionali (MASW passive, ESAC, ecc.).

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, con le modalità precisate dalle NTC08, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni stratigrafiche locali del sottosuolo, effettivamente presenti nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie; tali modifiche caratterizzano la RSL che rappresenta, in sintesi, l'azione sismica quale emerge in "superficie" a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite per effetti morfologici o nella trasmissione dal substrato rigido alle coperture.

Le situazioni geologiche e morfologiche, in cui le condizioni locali possono portare a una modificazione del segnale sismico in arrivo al sito su roccia sono essenzialmente tre:

- i depositi costituiti da terreni stratificati di caratteristiche meccaniche diverse da quelle della roccia sottostante (effetti stratigrafici 1D);
- i depositi di valle con bordi e morfologie del substrato irregolari dove le onde sismiche possono subire fenomeni di rifrazione e riflessione con generazione all'interfaccia di onde superficiali e concentrazioni di energia (effetti di bordo 2D-3D);
- la sommità di rilievi collinari, creste, promontori costituiti da formazioni rocciose, profili di versanti, pendii, bordi di terrazzi (effetti topografici).

I diversi profili sismostratigrafici del sottosuolo, in base alle caratteristiche di spessore e di rigidezza elastica (prodotto della densità per la velocità al quadrato) delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio Vsh (componente orizzontale delle onde di taglio) all'interno delle coperture.

La risposta sismica locale è condizionata, oltre che da fattori morfologici, cioè dalla collocazione del sito (valle stretta, cresta, pendio etc.), anche e soprattutto dalla natura dei depositi sollecitati dalla vibrazione sismica: questi infatti amplificano l'accelerazione massima in superficie rispetto a quella che ricevono alla loro base, agendo al contempo da filtro del moto sismico, diminuendone l'energia complessiva ma modificandone la

composizione con accentuazione di alcune frequenze e smorzamento di altre. A parità di impedenza sismica (prodotto della velocità delle onde di taglio Vs per la densità) del bedrock, l'amplificazione inoltre è tanto più elevata quanto minore è l'impedenza sismica dei terreni di copertura.

In definitiva, i risultati del presente studio si ritengono attendibili e, quindi, i dati acquisiti possono essere senz'altro utilizzati, in prima approssimazione, per scelte urbanistiche, tenendo comunque anche conto delle analisi e valutazioni aggiuntive sviluppate.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1. Carta delle Indagini

La Carta riporta l'ubicazione e il tipo d'indagini eseguite per caratterizzare il sottosuolo.

Le ubicazioni delle indagini raccolte sono state riportate nella Carta delle indagini, realizzata sia in formato cartaceo che digitale (GIS) in scala 1:5.000, con opportuni ingrandimenti a scale maggiori.

I dati sono stati rappresentati in forma simbolica e per tipologia, secondo la legenda prevista negli standard nazionali per l'informatizzazione degli studi di MS con riferimento agli I.C.M.S. a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile (versione 3.0 –II, Ottobre 2013).

Ad ogni sito puntuale è attribuito un numero univoco, a cui corrispondono le ultime tre cifre del codice ID_SPU assegnato ad ogni sito, nel database relazionale "ind_pu" e "ind_ln". Per i siti lineari, è stata utilizzata la lettera L seguita dalle ultime due cifre del codice ID_SLN assegnato ad ogni sito, nel database relazionale "ind_ln". Nel caso in cui in uno stesso sito si siano sovrapposte indagini di varia tipologia, non distinguibili con simboli diversi all'attuale scala della carta, è stata utilizzata una nuova simbologia indicante "Indagini multiple".

L'insieme degli elementi di documentazione raccolti, ha permesso di selezionare, escludendo le prove di laboratorio (n. 83), un totale di circa 800 dati puntuali e 26 dati lineari, rappresentati, in forma simbolica e per tipologia.

Da un'analisi della cartografia, si evidenzia che la maggior parte dei punti di indagine è localizzata nell'area di Chieti Alta che rappresenta, inoltre, l'area più intensamente urbanizzata.

8.2. Carta Geologico-Tecnica

Sulla base delle indagini reperite ed effettuate e del rilevamento sul terreno, è stata redatta una Carta geologico-tecnica in scala 1:5.000 corredata da 10 sezioni stratigrafiche (1-1', 2-2', 3-3', 4-4', 5-5', 6-6', 7-7', 8-8', 9-9' e 10-10').

La Carta in esame è stata elaborata in conformità con gli Standard di rappresentazione nazionali secondo i criteri di conversione indicati nelle Linee guida regionali. Il foglio CARG di riferimento-è il foglio 361 "Chieti".

8.2.1. Caratteristiche Geologico-Tecniche

La suddivisione dei terreni di copertura e del substrato è avvenuta secondo criteri litotecnici.

A) Terreni di copertura

Per quanto riguarda i terreni di copertura, lo spessore minimo considerato è stato di 3 m circa. Essi si compongono di:

Riporto antropico (RI) - Materiale derivante dall'attività antropica, caratterizzato prevalentemente da terreni di riporto. Può contenere localmente alcuni metri di materiale colluviale alla base.

Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla riferibili ad un ambiente di piana inondabile pi e di terrazzo fluviale tf (GC). - Si tratta dei depositi alluvionali recenti e terrazzati la cui litologia prevalente è ghiaioso-sabbiosa.

Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, riferibili ad un ambiente deposizionale eluvio-colluviale ec e di terrazzo fluviale tf (ML). – In questa categoria sono compresi i depositi alluvionali terrazzati disposti ad altezze variabili sul fondovalle, in destra idrografica del Fiume Pescara ed in sinistra idrografica del Fiume Alento, e i depositi eluvio-colluviali a litologia prevalentemente limoso-argillosa

Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, riferibili ad un ambiente deposizionale eluvio-colluviale ec e di terrazzo fluviale tf (MH). – Si tratta dei depositi alluvionali terrazzati disposti ad altezze variabili sul fondovalle, in destra idrografica del Fiume Pescara ed in sinistra idrografica del Fiume Alento, e dei depositi eluvio-colluviali a litologia prevalentemente limoso-sabbiosa

Sabbie limose, miscela di sabbia e limo, riferibili ad ambiente di terrazzo fluviale tf (SM) – Si tratta di porzioni di sedimenti terrazzati alluvionali a componente prevalentemente sabbioso-limosa

B) Substrato Geologico

Substrato Granulare cementato stratificato (GRS) — Questa tipologia di Substrato comprende le sabbie e arenarie di colore giallastro, frequentemente bioturbate, con intercalazioni di livelli di ghiaie e di conglomerati composti da ciottoli di qualche centimetro, sempre ben sciacquati ed embriciati, in prevalenza calcarei o, subordinatamente, silicei dell'Associazione sabbioso-conglomeratica di tetto della Formazione di Mutignano (FMTd) e le argille e conglomerati cosiddette di Ripa Teatina (RPT)

Substrato Coesivo sovraconsolidato stratificato (COS) – Il Substrato è riferito all'alternanza di sabbie e sabbie siltose di colore giallo-ocra, a diverso grado di cementazione, ed argille e argille siltose grigiastre sottilmente laminate che compongono l'Associazione sabbioso-pelica della Formazione di Mutignano (FMTc)

Substrato Coesivo sovraconsolidato (CO) – Si tratta delle argille ed argille marnose di colore grigio con intercalazioni di sottili livelli sabbiosi e sabbioso-limosi fossiliferi dell'Associazione pelitica di base (FMTa) della Formazione di Mutignano.

8.2.2. Instabilità di versante e forme di superficie e sepolte

Nella Carta Geologico-Tecnica sono riportate anche le principali frane, le scarpate morfologiche e le cavità presenti nel territorio comunale di Chieti.

La fonte bibliografica principale da cui sono state estratte le informazioni relative ai fenomeni franosi è il foglio 361 del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini Idrografici di Rilievo Regionale Abruzzesi e del Bacino Interregionale del Fiume Sangro "Fenomeni Gravitativi e Processi Erosivi". E' stato, inoltre, ritenuto opportuno cartografare alcuni corpi di frana segnalati nel foglio geologico di riferimento 361 Chieti ed una frana di neoformazione.

Le instabilità di versante presenti sono riconducibili a: *scorrimenti* (attivi, quiescenti e inattivi), *colate* (attive e quiescenti), *fenomeni gravitativi di tipo complesso* (attivi e quiescenti) e *fenomeni gravitativi non definiti* (attivi e quiescenti) ma attribuibili, secondo il PAI, a deformazioni superficiali lente.

Nella Carta GT sono state ubicate le scarpate di origine morfologica distinguendo quelle di altezza compresa tra 10 m e 20 m e quelle di altezza maggiore di 20 m.

Infine sono indicate con appositi tematismi le aree con cavità sepolte e le cavità isolate.

8.2.3. Elementi idrogeologici e di sottosuolo

Per chiarezza di rappresentazione, nella Carta Geologico-Tecnica, sono stati riportati, in corrispondenza di zone ad alta densità di sondaggi, solo quelli più significativi presenti nella Carta delle Indagini. In questo caso sono stati utilizzati due tipi di simbologia: uno che rappresenta un sondaggio che ha raggiunto il substrato (colore verde) e l'altro che non l'ha raggiunto (colore rosso). Per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici si rimanda alla Carta delle Indagini nella quale è indicata, in corrispondenza del sondaggio, la quota del livello di falda, ove presente.

8.2.4. Elementi tettonico strutturali

Nella Carta GT sono riportate le giaciture degli strati e l'andamento di una faglia diretta, inattiva, presente nel CARG.

8.3. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

La carta delle MOPS è, come si è visto, l'elaborato di sintesi dello studio di MS di Livello 1 in quanto individua le zone del territorio a comportamento sismico omogeneo sia per caratteristiche stratigrafiche che topografiche.

Nell'area di studio le zone sono state distinte in due raggruppamenti:

- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale: ciascuna zona è rappresentata da una colonnina stratigrafica rappresentativa, i cui dati sono stati desunti da interpretazioni geologiche e indagini geognostiche.
- zone di attenzione per instabilità: nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio (non sono necessariamente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto).

Nell'elaborato non figurano zone stabili in quanto il substrato geologico, riferibile alla Formazione di Mutignano, ha velocità delle onde di taglio inferiori a quelle che competono ad un substrato sismico ($V_{s,30}$ >800m/s).

8.3.1. Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Nell'ambito del territorio in esame si possono distinguere le seguenti zone.

- Zona 1: caratterizzata da substrato geologico con velocità inferiore a 800 m/s, costituito da argille e argille marnose, limi e argille sabbiose
- Zona 2: caratterizzata substrato geologico con velocità inferiore a 800 m/s, costituito da sabbie e arenarie di spessore variabile da 10 m a 50 m
- Zona 3: caratterizzata da corpi ghiaiosi canalizzati con spessore massimo di 25 m poggianti su argille e limi
- Zona 4: caratterizzata da limo sabbioso e limo argilloso, con spessori tra 3 e 20 m, su substrato argilloso-marnoso
- Zona 5: caratterizzata da sabbia limosa di circa 10-15 m di spessore su substrato argilloso marnoso
- Zona 6: caratterizzata da limo sabbioso e limo argilloso, con spessori tra 3 e 15 m, su sabbie e arenarie
- Zona 7: caratterizzata da ghiaie e ghiaie sabbiose, su substrato argilloso -marnoso. Gli spessori sono compresi tra 3 e 15 m
- Zona 8: caratterizzata da limo argilloso con strati metrici di torba e ghiaia a varie profondità, spessore compreso tra 3 e 35 m, poggianti su substrato argillosomarnoso
- Zona 9: caratterizzata da terreno di riporto con spessori variabili tra 3 e 20 m, poggiante su substrato argilloso-marnoso
- Zona 10: caratterizzata da terreno di riporto con spessori variabili tra 3 e 20 m, poggiante su sabbie, arenarie, limi ed argille sabbiose
- Zona 11: caratterizzata da terreno di riporto con spessori variabili tra 3 e 20 m, poggiante sui depositi eluvio -colluviali, limoso argillosi e limoso sabbiosi
- Zona 12: caratterizzata da terreno di riporto con spessori variabili tra 3 m e 20 m poggiante sui depositi alluvionali ghiaiosi e ghiaioso sabbiosi che coprono il substrato argilloso marnoso

8.3.2. Zone di attenzione per instabilità

Nell'area di Chieti sono state riconosciute tre tipologie di Zone di attenzione per instabilità:

- Zona di attenzione per instabilità di versante
- Zona di attenzione per liquefazione
- Zona di attenzione per crollo cavità

Le zone di attenzione per *instabilità di versante* sono state cartografate con tre colori diversi, in base allo stato di attività di ciascun fenomeno franoso, mentre la zona di attenzione per *liquefazione*, che interessa la pianura alluvionale del Pescara, è stata indicata con appositi retini previsti dagli standard di rappresentazione. Alle zone di attenzione per cavità è stato assegnato un tematismo dedicato di colore pieno.

Tra le forme di superficie presenti nell'area, sono state cartografate scarpate morfologiche con altezza superiore a 20 m e con altezza compresa fra i 10 e i 20 m.

Nella carta delle MOPS, sono riportati i grafici delle frequenze di risonanza e i rapporti H/V.

I risultati attenuti sono stati esposti in precedenza (§ 4.2.), mentre i report delle registrazioni e le relative elaborazioni, comprensive dei controlli SESAME, sono riportati nell'All. 1 e la documentazione fotografica dei punti di misura nell'All. 2.

8.4. Sezioni geologico-tecniche

Le tracce delle sezioni sono indicate nelle Tavv. 2 e 3 (fuori testo), mentre le sezioni sono riportate in una apposita tavola, anch'essa fuori testo. Sono state redatte sezioni significative riguardanti l'intera area di studio; tra queste è riportata anche una sezione tratta dallo Studio per il "Primo Progetto di Variante del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico" riguardante la zona di Fontanelle. Su ciascuna sezione sono riportate sinteticamente le colonnine stratigrafiche dei sondaggi più significativi e, in alcuni casi, i grafici delle misure sismiche.

9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

Come detto nel § 2 a Chieti non vi sono testimonianze storiche che attestino danni sugli edifici a seguito di terremoti né è possibile derivare gli *effetti* di terremoti con epicentro prossimo o locale sull'edificato di Chieti sulla base dei database ufficiali (DBMI11 e CPTI11).

In definitiva, il territorio di Chieti dovrebbe essere considerato esocentrico rispetto all'origine di terremoti distruttivi. Infatti, le strutture edilizie, pur non essendo realizzate con criteri antisismici, non risultano interessate estesamente da fenomeni fessurativi ⁵ conseguenti a terremoti antichi e/o recenti, compreso quello aquilano. In quest'ultimo caso, però, sono da segnalare dei casi isolati di danneggiamento a fabbricati (sede comunale e Palazzo di Giustizia, ubicati entrambi nella piazza Vittorio Emanuele II, e alcune palazzine lungo Via Amiterno a Chieti Scalo).

In base a quanto sopra evidenziato non è quindi possibile procedere alla redazione di una carta dei danni riferibili ad eventi sismici del passato e inseribili nella carta MOPS.

Le analisi sviluppate nel corso dello studio e l'osservazione delle situazioni riportate nei diversi elaborati cartografici prodotti consentono, però, di valutare, in prima approssimazione, la pericolosità sismica del territorio e conseguentemente, attraverso stime della vulnerabilità del tessuto urbano esposto, i possibili rischi derivanti da un evento sismico.

Tra le aree più vulnerabili in caso di terremoti si annoverano quelle sovrastanti le cavità antropiche e quelle in frana.

Le aree interessate da cavità antropiche sono riportate nella Carta delle MOPS e nella Carta Geologico-Tecnica e hanno sicuramente rilevanza ai fini della pericolosità sismica in quanto potrebbero verificarsi crolli delle volte e delle pareti in caso di scuotimenti di una certa intensità.

La rete infrastrutturale e gli ipogei, di epoca romana e di epoca medioevale e moderna, sono "stratificati" nella storia della città.

Molte condutture storiche sono state interrotte od occluse dallo sviluppo urbanistico della città, altre sono ancora in uso o indirettamente in uso. Nel centro storico, sotto i cortili e gli scantinati di edifici, sono presenti anche cisterne e pozzi di raccolta di acqua.

⁵ La presenza di fenomeni fessurativi presenti in alcuni dei palazzi storici sono dovuti alla vetustà delle strutture e alla mancanza di manutenzioni e di ristrutturazioni.

Geol. Armando MAZZEI

Le cavità sotterranee sono state realizzate in tempi più recenti e sono costituite sia da ambienti unici che articolati con aperture (oggi in parte occluse) sulla scarpata morfologica che limita il centro storico o con accessi dall'alto "a pozzo" in gran parte non identificati. I numerosi e differenti tipi di cavità hanno avuto varie funzioni (cave, neviere, "abitazioni" e ricoveri) e sono stati diversamente utilizzati nel tempo fino al loro quasi totale oblio nella memoria storica. Le principali cavità sotterranee sono state esplorate e studiate da tecnici, con l'ausilio di speleologi dello Speleo Club di Chieti, che hanno ricostruito il tracciato dei cunicoli sotterranei ed hanno progettato, in alcuni casi, interventi di consolidamento delle volte. Di recente sono stati eseguiti lavori di consolidamento delle ampie grotte e dei cunicoli che si snodano al disotto dell'incrocio tra la Via Spaventa e la Via A. Herio, in corrispondenza del palazzo del Genio Civile.

Altri cunicoli, di cui si conosce il percorso, sono stati individuati nei pressi della Via 123° Fanteria, tra Via Ciampoli e Via Nicolodi, tra Via dei Tintori Via S. Agata, il Palazzo Mezzanotte e tra Fonte Grande e Palazzo De Majo.

Le ubicazioni delle cavità isolate e areali si basano sui dati forniti dal Dott. Geol. Silvano Agostini, geologo della Soprintendenza Archeologica di Chieti, dal Prof. Leandro D'Alessandro dell'Università di Chieti "G. D'Annunzio" e dallo SPELEO CLUB di Chieti.

Contrariamente alla mancanza di testimonianze storiche riguardanti i danni provocati dai terremoti vi sono invece numerose segnalazioni riferibili alle frane che vanno dal periodo compreso tra il 1827 ed i giorni nostri che, però, non risultano correlabili ad eventi sismici.

In conclusione, i risultati del presente studio, come già evidenziato, si ritengono attendibili e sufficienti per la programmazione territoriale e per la pianificazione urbanistica, nonché per l'organizzazione dell'emergenza e, in prima approssimazione, anche per orientare le indagini e gli studi previsti dalle NTC08.

Ad integrazione di quanto previsto negli I.C.M.S. sono stati, infine, sviluppati anche alcuni contributi relativi alla RSL di livello superiore a quello oggetto dello studio, sia per mettere in evidenza alcune carenze normative, sia per evidenziare la complessità della materia e il suo carattere multidisciplinare.

Giugno 2015

I SOGGETTI REALIZZATORI

Geol. Armando MAZZEI

Geol. Ermenegildo ROSSETTI

Bibliografia

Agostini S., Carlino C., Rossetti E. (1994) – *Cisterne e terme romane di Chieti: monitoraggio ed interventi di risanamento.* Atti VIII Congresso Nazionale Geologi, Roma

Alberti A., Lipparini T., Stampanoni G. (1967) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 141 (Pescara)*. Servizio Geologico d'Italia

Ambrosetti P., Carraro F., Deiana G., Dramis F. (1982) – Il sollevamento dell'Italia centrale tra il Pleistocene inferiore ed il Pliocene medio. Contributi conclusivi per la realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia. Pubb. n. 513 del P. G. Geod. C.N.R.

AA.VV. (2000-2002) – Piano di interventi urgenti per eliminare il rischio derivante da dissesti idrogeologici nel Comune di Chieti – Relazione tecnica Sottobacini: Fosso Fagnani, Fosso S. Anna, Fosso Di Renzo, Fosso Pizzaglia, Fosso Canino, Fosso Pila, Fosso S. Chiara.

AA.VV. (1991) - Teate Antiqua-La Citta di Chieti, , Ed. Vecchio Faggio

Baldoni A. – Le frane della Città di Chieti (1955-1956)

Balduzzi A., Crescenti U., D'Amato C., Tonna M. (1980) – Il Plio-Pleistocene del sottosuolo Abruzzese-Marchigiano tra Ascoli Piceno e Pescara. Geol. Rom. n. 19

Barsanti P., D'Intinosante V., Ferrini M. & Signanini P. (2000) – *Note sulla sismica a rifrazione con onde di taglio per la caratterizzazione sismica dei terreni*. Atti del XIX Convegno Nazionale GNGTS, Roma.

Boncio P. et alii (2009) – The instrumental seismicity of the Abruzzo Region in Central Italy. (1881-2003): Seismotectonic implication. Ital. J. Geosci. (Boll. Soc. Geol. It.), Vol. 128, No.2 (2009)

Buccolini M. et alii (1997-1998) — Progetto Chieti — Comitato tecnico-scientifico per i dissesti idrogeologici: Carta dei fenomeni franosi e Carta della perimetrazione

Buccolini M., D'Alessandro L., Genevois R., Sciarra N. (1994) – Fontanelle landslide in Chieti territory (Abruzzo Italy) 7th International I.A.E.G. Congress-BalKema.

Cantalamessa G., Casnedi R., Centamore E., Chiocchini U., Colalongo M. L., Crescenti U., Micarelli A., Nanni T., Pasini G., Potetti M., Ricci Lucchi F. in collaborazione dell'AGIP Minerariae di Cristallini C. e di Di Lorito L. (1986) – *Il Plio-pleistocene marchigiano abruzzese* Cong. Soc. Geol. d'Ital. 73

Casnedi R., Crescenti U., Tonna M. (1982) — Evoluzione dell'avanfossa adriatica meridionale nel Pleistocene sulla base dei dati del sottosuolo abruzzese. Mem. Soc. Geol. d'Ital. 24

Cavasinni G. (1994) – Studio geologico relativo al settore di sud-ovest del Piano Particolareggiato "Chieti Scalo 1"

Celebi M. (1995) – Northridge (California) earthquake: unique ground motions and resulting spectral and site effects. Proc. V International Conference on Seismic Zonation. Nizza, Francia, Vol. II.

Ceris (1989) — Studio geologico-tecnico ai fini urbanistici delle zone di Madonna degli Angeli e di Madonna del Freddo

Ceris (1989) – Dissesti idrogeologici nella zona di Fontanelle-Fosso Di Renzo

Ceris (1992) — Studio geologico-tecnico ai fini urbanistici. Relazione geologico-tecnica con prescrizioni geotecniche di salvaguardia su aree individuate dall'Amministrazione a supporto della variante al P.R.G.: a) strada Mad. Della Vittoria, b) ad W di V.le Gran Sasso, c) ad W di V.le Majella, d) a N di Costa Saponara (località Colonnetta), e) ad W degli impianti sportivi di Mad. degli Angeli, f) località Mad. delle Grazie, g) località Mad. del Freddo, h) località Tricalle

Cherubini C., D'Intinosante V., Ferrini M., Rainone M.L., Puccinelli A., D'Amato Avanzi G., Signanini P. & Vessia G. (2004) – *Valutazione della risposta sismica locale attraverso l'applicazione di metodologie multidisciplinari comparate: gli esempi di Fivizzano e Licciana Nardi (Toscana Settentrionale)*. XI Congresso Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia", Genova 25-29 gennaio.

Civita M. (1972) – Schematizzazione idrogeologica delle sorgenti normali e delle relative opere di captazione. Mem. e note Ist. Geol. Appl., 12, Napoli

CNR-GNDT (1986) – Attività nel settore della difesa dai terremoti.

Consorzio Geolab Chieti (1992) - AA. VV. Risanamento idrogeologico del colle di Chieti

Crescenti U., Menditto G., Pace C. (1982) - Studio geologico-tecnico del Comune di Chieti

D'Alessandro L. (1988) — Relazione geologico-tecnica per il Piano Particolareggiato del centro storico di Chieti De Tiberiis F., Gasbarri C., Gorgoni Lanzetta L., Spedicato E. (1991) - *Chieti: Immagini e memorie Ed. Vecchio Faggio*

Fugazza E. (1972-1973) – Studio geologico-tecnico delle zone interessate da P.R.G.

Gruppo di Lavoro (2004) – Redazione della Mappa di pericolosità sismica prevista dall'OPCM 3274/2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile.

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale — Carta geologica d'Italia 1:50.000 — Progetto CARG

Locati M., Camassi R., Stucchi M. (2011) – Database delle Osservazioni Macrosismiche dei Terremoti Italiani DBMI11.

Mazzei A. (2003) – Studio geologico per i Piani Particolareggiati denominati "Crocifisso", "Tricalle", "S. Martino" Committente: Comune di Chieti

Mazzei A. (2008) – Studio geologico per la realizzazione del tunnel pedonale Terminal-Largo Barbella Committente: Comune di Chieti

Mazzei A. (2009) – Studio geologico per la realizzazione del Complesso immobiliare City Experience in località S. Salvatore.

Nakamura Y. (1989) – A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Q.R. of R.T.R.I.

Pizzi et alii (2010) – The instrumental seismicity of the Abruzzo Region in Central Italy (1981 – 2003): seismotectonics implications. Ital. J. Geosci. Vol. 128, No 2

Rovida A., R. Camassi, P. Gasperini, M. Stucchi (2011) Locati M., Camassi R., Stucchi M. (2011) – *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI11*

Rainone M.L., Signanini P. & D'Intinosante V. (2003) – *Metodi geofisici integrati per la ricostruzione del sottosuolo e per la caratterizzazione dinamica dei terreni negli studi di microzonazione sismica: l'esempio di Pieve Fosciana (LU)*. Quaderni di Geologia Applicata, 10 (1). pp. 75-88.

Rainone M.L., Ferrini M., Signanini P. & D'Intinosante V. (2004) – Evaluation of local amplification in the seismic microzonation: comparison between punctual multidisciplinary integrated studies and macroseismic methods in Fivizzano's area (Toscana, Italy). Geotechnical and Geological Engineering, Volume 22, Issue 2, 2004, Pages 227 – 244.

Regione Abruzzo: Carta geomorfologica e del dissesto dei bacini idrografici di rilievo regionale L. 18.05.89 n.183

Rivista: Le Cento Città d'Italia Illustrate – Chieti la Città Aerea, Casa Editrice Sonzogno, Milano (1927)

Rossetti E. (1989) – Centro direzionale "Femminella di Chieti (Theate Center)"

Rossetti E. (1998) – Programma di riqualificazione urbana: realizzazione di opere e strutture ospedaliere, sanitarie, residenziali e non residenziali in Chieti

Rossetti E. (1999) – Programma di riqualificazione urbana per realizzazione di interventi residenziali e terziari in Chieti (Delibera CIPE 23.04.1997 relativa al finanziamento di grandi progetti infrastrutturali a valere sull'art. 4 L. 341/95)

Rossetti E. (2004) – Studio geologico per la Variante generale al PRG di Chieti.Committente: Comune di Chieti

Rossetti E. (2007) – Studio geologico per la Variante urbanistica denominata "Piano dei Servizi" di Chieti. Committente: Comune di Chieti

Rossetti E. (2009) – Studio geologico per la realizzazione del Villaggio Mediterraneo nell'ambito dei Giochi del Mediterraneo – Pescara 2009.

Scutti A. (1997) — *Studio geologico-tecnico dei dissesti nella zona di Chieti*. Università degli Studi di Ferrara — Facoltà di Scienze Geologiche — Rel. Prof. E. Semenza

Sesame project (2004) – Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio thecnique on ambient vibrations. Measurements processing and interpretation.

Signanini P., D'Intinosante V. & Rainone M.L. (2003) – La valutazione dell'amplificazione locale negli studi di microzonazione sismica: comparazione tra i risultati ottenibili da studi multidisciplinari puntuali integrati e con metodi macrosismici nel comune di Fivizzano (MS). Atti del I Congresso dell'Associazione Italiana di Geologia Applicata ed Ambientale, Chieti

G. Spagnesi (1981) - Il Palazzo de Majo e l'architettura barocca a Chieti, Multigrafica Ed. Vannoli et alii (2012) — Active faulting in the Majella Massif (central Appenines, Italy). Vezzani L., Ghisetti F.(1998) — Regione Abruzzo: Carta geologica dell'Abruzzo

PRINCIPALI SITI INTERNET CONSULTATI

http://autoritabacini.regione.abruzzo.it/

http://protezionecivile.regione.abruzzo.it/index.php/microzonazione

http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/361_CHIETI/Foglio.html

http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/

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

http://esse1.mi.ingv.it/

Report misure di sismica passiva

Allegato 1

CHIETI_M1

Instrument: TEP-0028/01-09

Data format: 16 byte Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 05/09/14 15:33:06 End recording: 05/09/14 15:53:07 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analyzed 95% trace (manual window selection)

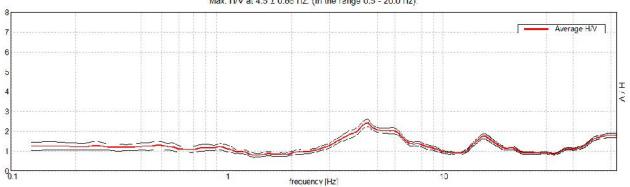
Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s

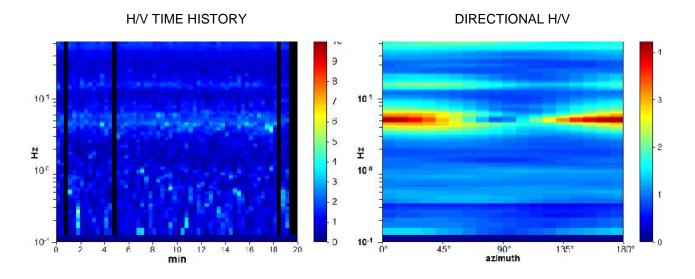
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

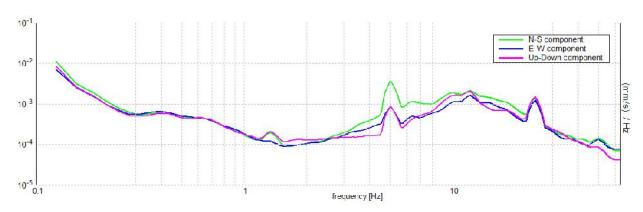
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

Max. II/V at 4.5 ± 0.86 Hz. (In the range 0.5 - 20.0 Hz).





SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the Grilla manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 4.5 ± 0.86 Hz (in the range 0.5 - 20.0 Hz).

	or a reliable H/V curve 3 should be fulfilled]		
f ₀ > 10 / L _w	4.50 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	4950.0 > 200	OK	
$\uparrow_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0.5Hz$ $\uparrow_A(f) < 3 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0.5Hz$	Exceeded 0 out of 217 times	ОК	
Criteria	for a clear H/V peak		
	for a clear H/V peak out of 6 should be fulfilled]		
	•	ОК	
[At least 5	out of 6 should be fulfilled]	OK OK	
[At least 5] Exists f in $[f_0/4, f_0] A_{H/V}(f) < A_0/2$	out of 6 should be fulfilled] 2.875 Hz		
[At least 5] Exists f ⁻ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ Exists f ⁺ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.875 Hz 8.438 Hz	OK	NO
[At least 5] Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$ Exists f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$ $A_0 > 2$	2.875 Hz 8.438 Hz 2.40 > 2	OK	NO NO

L _w	window length
n _w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ _f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
\dot{A}_0	H/V peak amplitude at frequency fo
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f - `	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^{-}) < A_0/2$
f +	frequency between f₀ and 4f₀ for which A _{H/V} (f +) < A₀/2
σ _A (f)	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve
()	should be multiplied or divided
σ _{logH/V} (f)	standard deviation of log A _{H/V} (f) curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
ε(f ₀) [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 f ₀
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

NOTA: I primi 3 criteri della tabella SESAME indicano se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata.

E' necessario che questi criteri siano tutti soddisfatti.

I secondi 6 criteri della tabella SESAME indicano se il picco è significativo da un punto di vista statistico. E' bene che ne siano soddisfatti il maggior numero possibile, ma eventuali NO anche su tutte le righe non implicano necessariamente che la registrazione è stata effettuata male, bensì stanno a significare che non ci sono picchi significativi (una registrazione su roccia sana darebbe NO su tutti questi criteri).

CHIETI_M2

Instrument: TEP-0028/01-09

Data format: 16 byte Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 05/09/14 16:10:44 End recording: 05/09/14 16:30:45 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

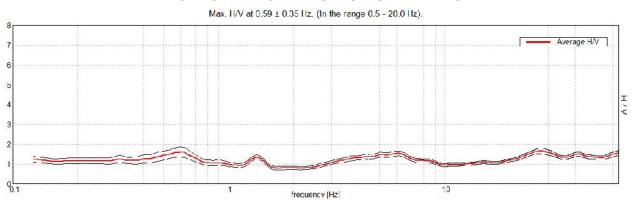
0h20'00". Trace length: Analyzed 97% trace (manual window selection)

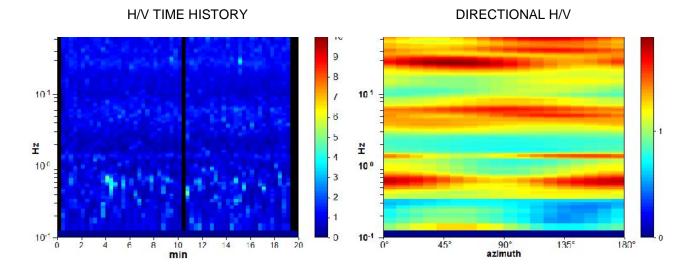
race length: 0h20'00 Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

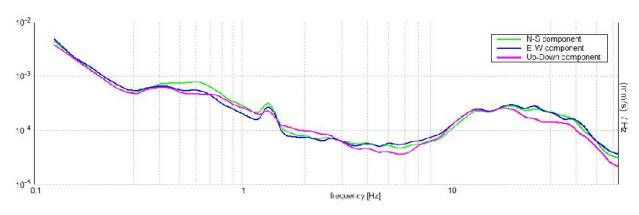
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO





SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the Grilla manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 0.59 ± 0.35 Hz (in the range 0.5 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]				
$f_0 > 10 / L_w$	0.59 > 0.50	ОК		
$n_c(f_0) > 200$	665.0 > 200	OK		
$\uparrow_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0.5Hz$ $\uparrow_A(f) < 3 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0.5Hz$	Exceeded 0 out of 30 times	ок		
Cuit a ui	- for a algorithm and			
	a for a clear H/V peak 5 out of 6 should be fulfilled]			
	•		NO	
[At least	•	ОК	NO	
[At least : Exists f ⁻ in [f ₀ /4, f ₀] $A_{H/V}(f^{-}) < A_0 / 2$	5 out of 6 should be fulfilled]	ОК	NO NO	
[At least section of the section of	5 out of 6 should be fulfilled] 1.625 Hz	ОК		
[At least section of the section of	5 out of 6 should be fulfilled] 1.625 Hz 1.60 > 2	ОК	NO	

L_{w}	window length
n _w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σf	standard deviation of H/V peak frequency
ε(f ₀)	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
\dot{A}_0	H/V peak amplitude at frequency f ₀
A _{H/∨} (f)	H/V curve amplitude at frequency f
f - `	frequency between f ₀ /4 and f ₀ for which A _{H/V} (f ⁻) < A ₀ /2
f +	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve
	should be multiplied or divided
σ _{logH/V} (f)	standard deviation of log A _{H/V} (f) curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$						
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0	
ε(f ₀) [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 f ₀	
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58	
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20	

NOTA: I primi 3 criteri della tabella SESAME indicano se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata.

E' necessario che questi criteri siano tutti soddisfatti.

I secondi 6 criteri della tabella SESAME indicano se il picco è significativo da un punto di vista statistico. E' bene che ne siano soddisfatti il maggior numero possibile, ma eventuali NO anche su tutte le righe non implicano necessariamente che la registrazione è stata effettuata male, bensì stanno a significare che non ci sono picchi significativi (una registrazione su roccia sana darebbe NO su tutti questi criteri).

CHIETI_M3

Instrument: TEP-0028/01-09

Data format: 16 byte Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 05/09/14 16:37:06 End recording: 05/09/14 16:57:07 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

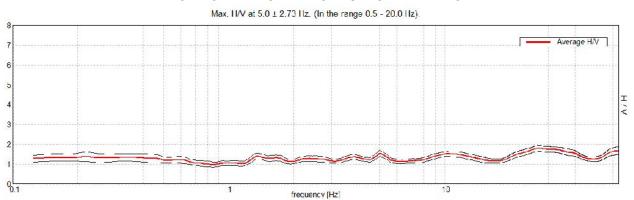
0h20'00". Trace length: Analyzed 98% trace (manual window selection) Sampling rate: 128 Hz

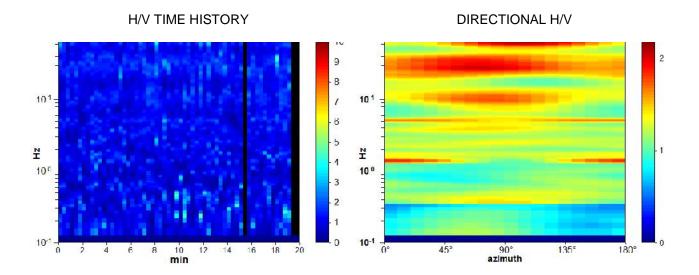
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

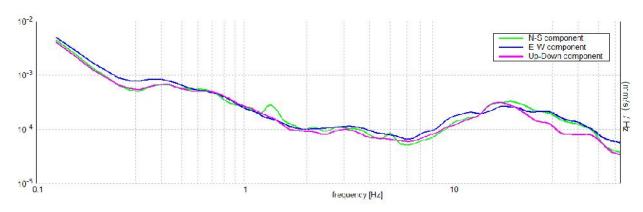
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO





SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the Grilla manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 5.0 ± 2.73 Hz (in the range 0.5 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]				
$f_0 > 10 / L_w$	5.00 > 0.50	OK		
$n_c(f_0) > 200$	5700.0 > 200	OK		
$\uparrow_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0.5Hz$ $\uparrow_A(f) < 3 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0.5Hz$	Exceeded 0 out of 241 times	ОК		
Criteria	for a clear H/V neak			
	for a clear H/V peak out of 6 should be fulfilled]			
	-		NO	
[At least 5	-		NO NO	
[At least 5 Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$	-			
[At least 5] Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$ Exists f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$	out of 6 should be fulfilled]		NO	
[At least 5] Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$ Exists f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$ $A_0 > 2$	out of 6 should be fulfilled] 1.53 > 2		NO NO	

L_w	window length
n _w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σf	standard deviation of H/V peak frequency
ε(f ₀)	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f ₀
A _{H/∨} (f)	H/V curve amplitude at frequency f
f - `	frequency between f ₀ /4 and f ₀ for which A _{H/V} (f ⁻) < A ₀ /2
f +	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
σ _A (f)	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve
	should be multiplied or divided
σ _{logH/V} (f)	standard deviation of log A _{H/V} (f) curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$						
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0	
ε(f ₀) [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 f ₀	
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58	
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20	

NOTA: I primi 3 criteri della tabella SESAME indicano se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata.

E' necessario che questi criteri siano tutti soddisfatti.

I secondi 6 criteri della tabella SESAME indicano se il picco è significativo da un punto di vista statistico. E' bene che ne siano soddisfatti il maggior numero possibile, ma eventuali NO anche su tutte le righe non implicano necessariamente che la registrazione è stata effettuata male, bensì stanno a significare che non ci sono picchi significativi (una registrazione su roccia sana darebbe NO su tutti questi criteri).

CHIETI_M4

Instrument: TEP-0028/01-09

Data format: 16 byte Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 08/09/14 09:33:26 End recording: 08/09/14 09:53:27 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

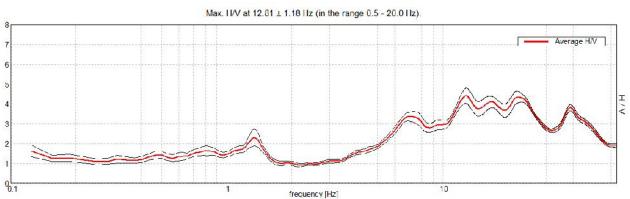
Trace length: 0h20'00". Analyzed 82% trace (manual window selection)

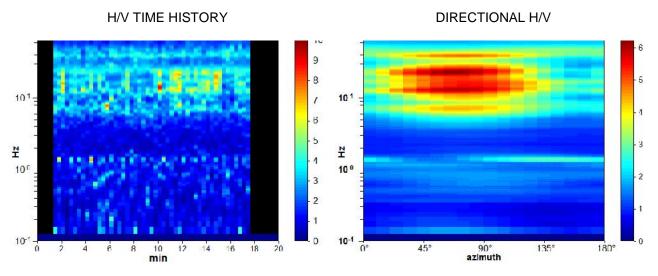
Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

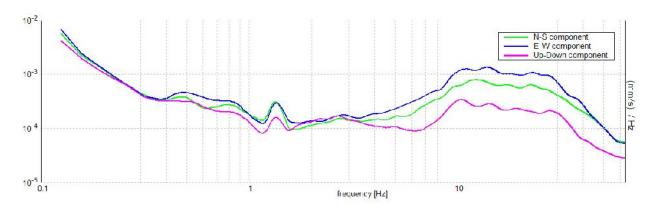
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO





SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the Grilla manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 12.81 \pm 1.18 Hz (in the range 0.5 - 20.0 Hz).

	or a reliable H/V curve 3 should be fulfilled]		
$f_0 > 10 / L_w$	12.81 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	12556.3 > 200	OK	
$\uparrow_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0.5Hz$ $\uparrow_A(f) < 3 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0.5Hz$	Exceeded 0 out of 616 times	ОК	
	for a clear H/V peak out of 6 should be fulfilled]		
Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$	5.438 Hz	OK	
Exists f + in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f +) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	4.42 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \uparrow_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.09232 < 0.05	·	NO
$\uparrow_{f} < \lor (f_{0})$	1.18283 < 0.64063		NO

L _w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
Of	standard deviation of H/V peak frequency
ε(f ₀)	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
A ₀	H/V peak amplitude at frequency fo
A _{H/∨} (f)	H/V curve amplitude at frequency f
f -	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^{-1}) < A_0/2$
f +	frequency between f₀ and 4f₀ for which A _{H/V} (f +) < A₀/2
$\sigma_{A}(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve
, ,	should be multiplied or divided
_{σlogH/} √(f)	standard deviation of log A _{H/V} (f) curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

	Thres	shold values for	σ_f and $\sigma_A(f_0)$		
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
ε(f ₀) [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 f ₀
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

NOTA: I primi 3 criteri della tabella SESAME indicano se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata.

E' necessario che questi criteri siano <u>tutti</u> soddisfatti.

I secondi 6 criteri della tabella SESAME indicano se il picco è significativo da un punto di vista statistico. E' bene che ne siano soddisfatti il maggior numero possibile, ma eventuali NO anche su tutte le righe non implicano necessariamente che la registrazione è stata effettuata male, bensì stanno a significare che non ci sono picchi significativi (una registrazione su roccia sana darebbe NO su tutti questi criteri).

CHIETI_M5

Instrument: TEP-0028/01-09

Data format: 16 byte Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 08/09/14 10:33:42 End recording: 08/09/14 10:53:43 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

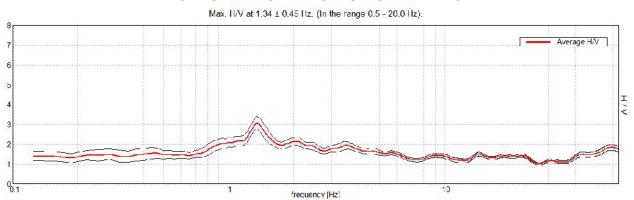
Trace length: 0h20'00". Analyzed 92% trace (manual window selection)

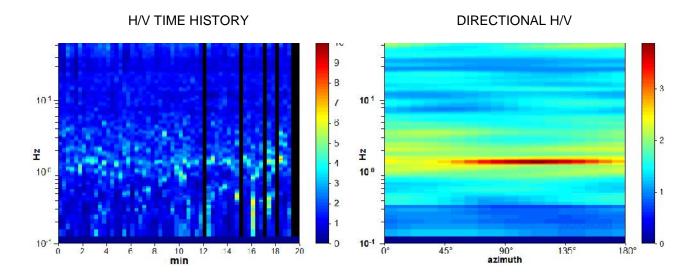
Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

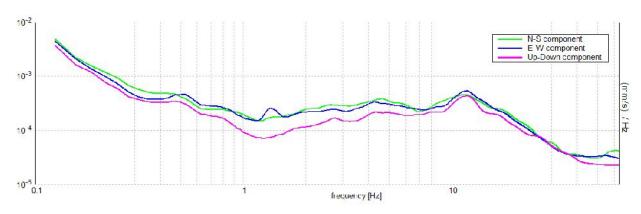
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO





SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the Grilla manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 1.34 ± 0.45 Hz (in the range 0.5 - 20.0 Hz).

	for a reliable H/V curve		
$f_0 > 10 / L_w$	1.34 > 0.50	ОК	
$n_c(f_0) > 200$	1451.3 > 200	OK	
$\uparrow_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0.5Hz$ $\uparrow_A(f) < 3 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0.5Hz$	Exceeded 0 out of 66 times	ок	
Critoria	a for a clear H/V neak		
	a for a clear H/V peak 5 out of 6 should be fulfilled]		
	•	ОК	
[At least s	5 out of 6 should be fulfilled]	OK OK	
[At least 8] Exists f^- in $[f_0/4, f_0] A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	5 out of 6 should be fulfilled] 0.719 Hz		
[At least f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ $A_0 > 2$	5 out of 6 should be fulfilled] 0.719 Hz 5.156 Hz	OK	NO
[At least f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.719 Hz 5.156 Hz 3.07 > 2	OK	NO NO

L_{w}	window length
n _w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σf	standard deviation of H/V peak frequency
ε(f ₀)	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
\dot{A}_0	H/V peak amplitude at frequency f ₀
A _{H/∨} (f)	H/V curve amplitude at frequency f
f - `	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^{-1}) < A_0/2$
f +	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
σ _A (f)	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve
	should be multiplied or divided
σ _{logH/V} (f)	standard deviation of log A _{H/V} (f) curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ _f and σ _A (f ₀)					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
ε(f ₀) [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 f ₀
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

NOTA: I primi 3 criteri della tabella SESAME indicano se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata.

E' necessario che questi criteri siano tutti soddisfatti.

I secondi 6 criteri della tabella SESAME indicano se il picco è significativo da un punto di vista statistico. E' bene che ne siano soddisfatti il maggior numero possibile, ma eventuali NO anche su tutte le righe non implicano necessariamente che la registrazione è stata effettuata male, bensì stanno a significare che non ci sono picchi significativi (una registrazione su roccia sana darebbe NO su tutti questi criteri).

CHIETI_M6

Instrument: TEP-0028/01-09

Data format: 16 byte Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 08/09/14 11:27:14 End recording: 08/09/14 11:47:15 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

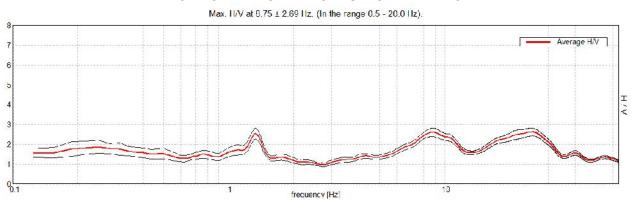
Trace length: 0h20'00". Analyzed 95% trace (manual window selection)

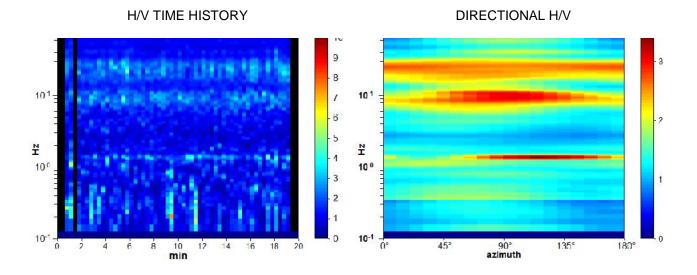
Trace length: 0h20'00 Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

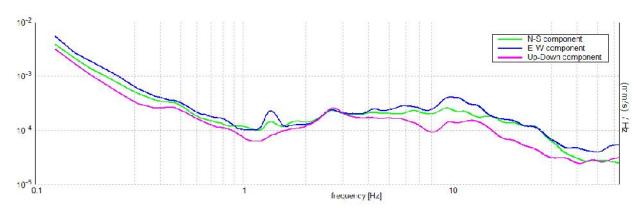
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO





SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the Grilla manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 8.75 ± 2.69 Hz (in the range 0.5 - 20.0 Hz).

	or a reliable H/V curve 3 should be fulfilled]		
$f_0 > 10 / L_w$	8.75 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	9625.0 > 200	OK	
$\uparrow_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0.5Hz$ $\uparrow_A(f) < 3 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0.5Hz$	Exceeded 0 out of 421 times	ОК	
	for a clear H/V peak out of 6 should be fulfilled]		
[תנופמנים	out of o should be fulfilled		
Exists f in $[f_0/4, f_0] A_{H/V}(f) < A_0 / 2$	3.906 Hz	OK	
Exists f + in $[f_0, 4f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
A ₀ > 2	2.60 > 2	OK	NO
$f_{\text{peak}}[A_{\text{H/V}}(f) \pm \uparrow_{\text{A}}(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.30794 < 0.05		
$\uparrow_{f} < \lor (f_{0})$	2.69445 < 0.4375		NO
$\uparrow_{A}(f_0) < {}_{\scriptscriptstyle{H}}(f_0)$	0.2122 < 1.58	OK	

L_{w}	window length
n _w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f ₀	H/V peak frequency
Of	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f ₀
A _{H/∨} (f)	H/V curve amplitude at frequency f
f - ` `	frequency between f ₀ /4 and f ₀ for which A _{H/V} (f ⁻) < A ₀ /2
f +	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
σ _A (f)	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve
	should be multiplied or divided
σ _{logH/V} (f)	standard deviation of log A _{H/V} (f) curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
ε(f ₀) [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 f ₀
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

NOTA: I primi 3 criteri della tabella SESAME indicano se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata.

E' necessario che questi criteri siano <u>tutti</u> soddisfatti.

I secondi 6 criteri della tabella SESAME indicano se il picco è significativo da un punto di vista statistico. E' bene che ne siano soddisfatti il maggior numero possibile, ma eventuali NO anche su tutte le righe non implicano necessariamente che la registrazione è stata effettuata male, bensì stanno a significare che non ci sono picchi significativi (una registrazione su roccia sana darebbe NO su tutti questi criteri).

CHIETI_M7

Instrument: TEP-0028/01-09

Data format: 16 byte Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 08/09/14 12:04:28 End recording: 08/09/14 12:24:29 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

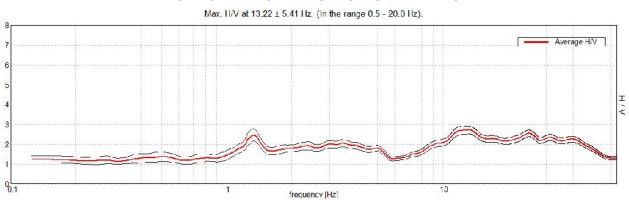
Trace length: 0h20'00". Analyzed 87% trace (manual window selection)

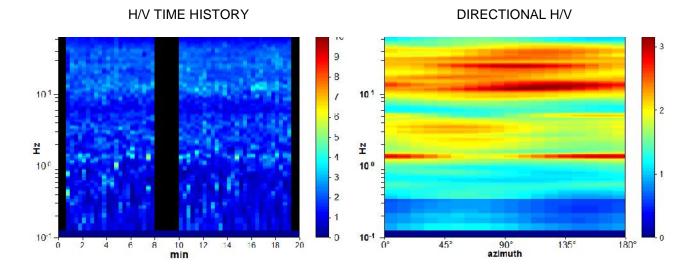
race length: 0h20'00 Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

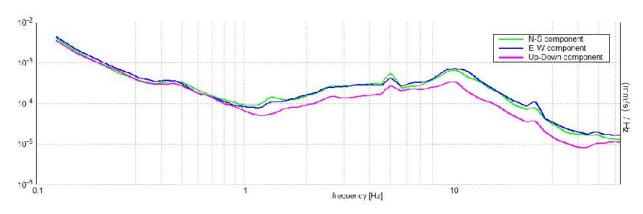
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO





SINGLE COMPONENT SPECTRA



Max. H/V at 13.22 ± 5.41 Hz (in the range 0.5 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]					
$f_0 > 10 / L_w$	13.22 > 0.50	OK			
$n_{c}(f_{0}) > 200$	13218.8 > 200	OK			
$\uparrow_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0.5Hz$ $\uparrow_A(f) < 3 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0.5Hz$	Exceeded 0 out of 636 times	ок			
	for a clear H/V peak				
	out of 6 should be fulfilled]				
Exists f in $[f_0/4, f_0] A_{H/V}(f) < A_0 / 2$	6.781 Hz	ОК			
Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$ Exists f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	-	ок	NO		
	-	ОК	NO		
Exists f + in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	6.781 Hz		NO NO		
Exists f + in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f +) < A_0 / 2$ $A_0 > 2$	6.781 Hz 2.71 > 2				

L _w	window length
n _w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ _f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f ₀
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f - `	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^{-}) < A_0/2$
f +	frequency between f₀ and 4f₀ for which A _{H/V} (f +) < A₀/2
$\sigma_{A}(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve
	should be multiplied or divided
σιοgΗ/∨ (f)	standard deviation of log A _{H/V} (f) curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$						
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0	
ε(f ₀) [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 f ₀	
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58	
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20	

NOTA: I primi 3 criteri della tabella SESAME indicano se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata.

E' necessario che questi criteri siano tutti soddisfatti.

Instrument: TEP-0028/01-09

Data format: 16 byte Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 08/09/14 15:55:50 End recording: 08/09/14 16:15:51 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

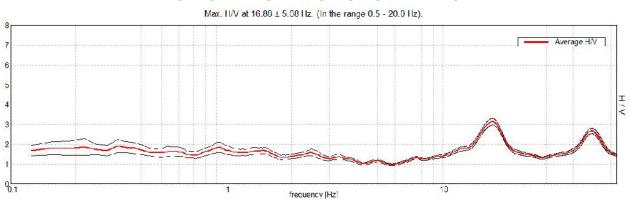
Trace length: 0h20'00". Analyzed 83% trace (manual window selection)

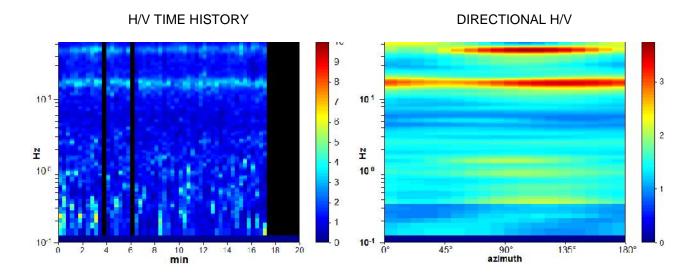
race length: 0h20'00 Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s

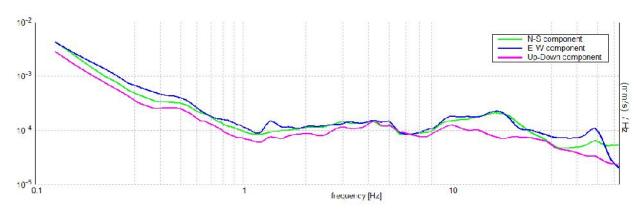
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO







Max. H/V at 16.88 ± 5.08 Hz (in the range 0.5 - 20.0 Hz).

	or a reliable H/V curve 3 should be fulfilled]		
$f_0 > 10 / L_w$	16.88 > 0.50	ОК	
$n_c(f_0) > 200$	16875.0 > 200	OK	
$\uparrow_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0.5Hz$ $\uparrow_A(f) < 3 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0.5Hz$	Exceeded 0 out of 811 times	ок	
Criteria	for a clear H/V neak		
	for a clear H/V peak out of 6 should be fulfilled]		
	-	ОК	
[At least 5	out of 6 should be fulfilled]	OK OK	
[At least 5 Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$	out of 6 should be fulfilled] 11.031 Hz		
[At least 5] Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$ Exists f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$	out of 6 should be fulfilled] 11.031 Hz 22.594 Hz	OK	NO
[At least 5] Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$ Exists f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$ $A_0 > 2$	out of 6 should be fulfilled] 11.031 Hz 22.594 Hz 3.12 > 2	OK	NO NO

L_w	window length
n _w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f ₀	H/V peak frequency
Of	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f ₀
A _{H/∨} (f)	H/V curve amplitude at frequency f
f -``	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^{-}) < A_0/2$
f +	frequency between f₀ and 4f₀ for which A _{H/V} (f +) < A₀/2
σ _A (f)	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve
	should be multiplied or divided
σ _{logH/V} (f)	standard deviation of log A _{H/V} (f) curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$						
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0	
ε(f ₀) [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 f ₀	
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58	
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20	

NOTA: I primi 3 criteri della tabella SESAME indicano se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata.

E' necessario che questi criteri siano <u>tutti</u> soddisfatti.

Instrument: TEP-0028/01-09

Data format: 16 byte Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 08/09/14 16:34:48 End recording: 08/09/14 16:54:49 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

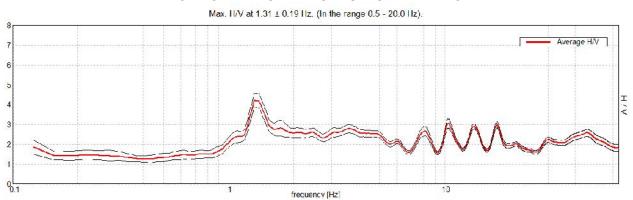
Trace length: 0h20'00". Analyzed 88% trace (manual window selection)

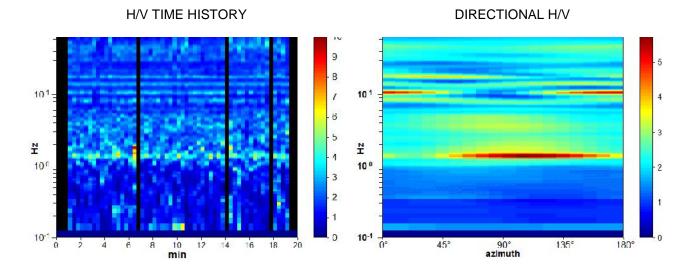
Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s

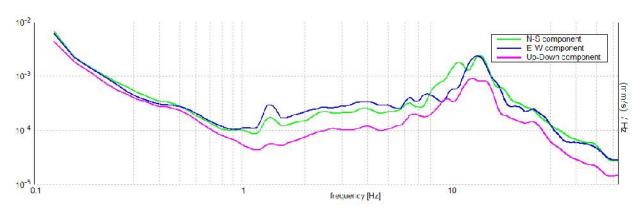
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO







Max. H/V at 1.31 \pm 0.19 Hz (in the range 0.5 - 20.0 Hz).

	for a reliable H/V curve 3 should be fulfilled]					
$f_0 > 10 / L_w$	1.31 > 0.50	ОК				
$n_c(f_0) > 200$	1365.0 > 200	OK				
$\uparrow_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0.5Hz$ $\uparrow_A(f) < 3 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0.5Hz$ Exceeded 0 out of 64 times						
Criteri	a for a clear H/V peak					
[At least	5 out of 6 should be fulfilled]					
[At least Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$	•	OK				
	5 out of 6 should be fulfilled]	ОК	NO			
Exists f in $[f_0/4, f_0] A_{H/V}(f) < A_0/2$	5 out of 6 should be fulfilled]	ОК	NO			
Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$ Exists f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	5 out of 6 should be fulfilled] 1.0 Hz		NO NO			
Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$ Exists f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$ $A_0 > 2$	5 out of 6 should be fulfilled] 1.0 Hz 4.22 > 2					

L_{w}	window length
n _w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f ₀	H/V peak frequency
Of	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency fo
A _{H/∨} (f)	H/V curve amplitude at frequency f
f - ` ´	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f +	frequency between f₀ and 4f₀ for which A _{H/V} (f +) < A₀/2
$\sigma_{A}(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve
()	should be multiplied or divided
σ _{logH/V} (f)	standard deviation of log A _{H/V} (f) curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$						
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0	
ε(f ₀) [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 f ₀	
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58	
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20	

Instrument: TEP-0028/01-09

Data format: 16 byte Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 09/09/14 09:53:57 End recording: 09/09/14 10:13:58 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

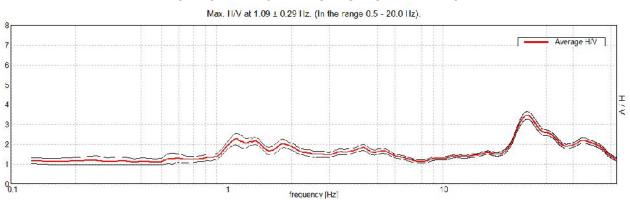
0h20'00". Trace length: Analyzed 88% trace (manual window selection)

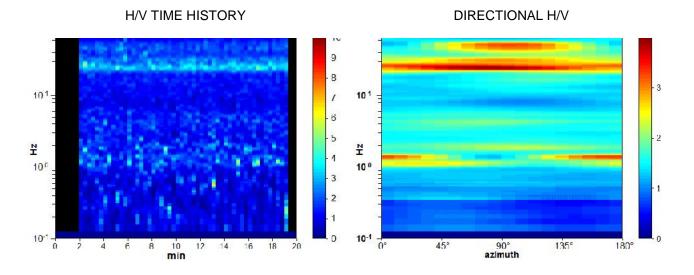
race length: 0h20'00 Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s

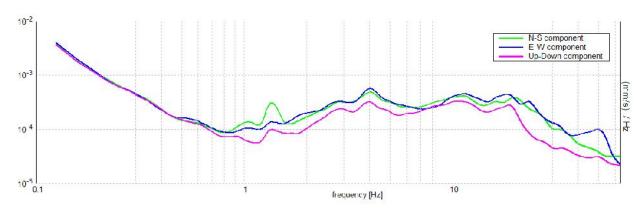
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO







Max. H/V at 1.09 ± 0.29 Hz (in the range 0.5 - 20.0 Hz).

	for a reliable H/V curve 3 should be fulfilled]				
f ₀ > 10 / L _w	1.09 > 0.50	OK			
$n_c(f_0) > 200$	1137.5 > 200	OK			
$\uparrow_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0.5Hz$ $\uparrow_A(f) < 3 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0.5Hz$ Exceeded 0 out of 54 times					
Cuitoui	a for a clear LIM work				
	a for a clear H/V peak 5 out of 6 should be fulfilled]				
	•	ОК			
[At least	5 out of 6 should be fulfilled]	ок	NO		
[At least Exists f ⁻ in [f ₀ /4, f ₀] $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	5 out of 6 should be fulfilled]	ок	NO		
[At least Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$ Exists f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$	5 out of 6 should be fulfilled] 0.469 Hz		NO NO		
[At least Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$ Exists f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$ $A_0 > 2$	5 out of 6 should be fulfilled] 0.469 Hz 2.25 > 2				

L_w	window length
n _w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f ₀	H/V peak frequency
Of	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f ₀
A _{H/∨} (f)	H/V curve amplitude at frequency f
f -``	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^{-}) < A_0/2$
f +	frequency between f₀ and 4f₀ for which A _{H/V} (f +) < A₀/2
σ _A (f)	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve
	should be multiplied or divided
σ _{logH/V} (f)	standard deviation of log A _{H/V} (f) curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$						
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0	
ε(f ₀) [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 f ₀	
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58	
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20	

NOTA: I primi 3 criteri della tabella SESAME indicano se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata.

E' necessario che questi criteri siano <u>tutti</u> soddisfatti.

Instrument: TEP-0028/01-09

Data format: 16 byte Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 09/09/14 10:32:28 End recording: 09/09/14 10:52:29 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

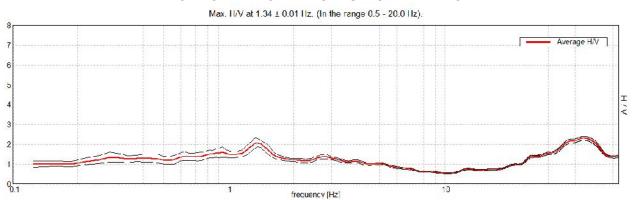
Trace length: 0h20'00". Analyzed 80% trace (manual window selection)

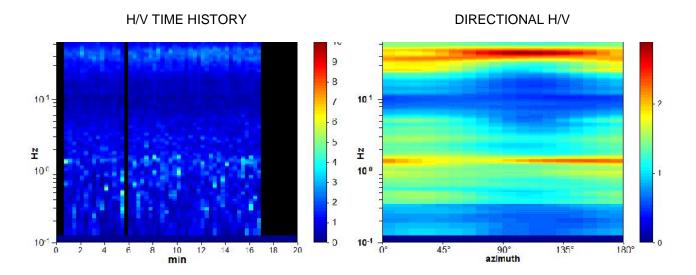
race length: 0h20'00 Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s

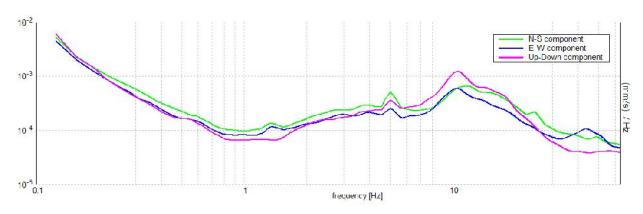
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO







Max. H/V at 1.34 ± 0.01 Hz (in the range 0.5 - 20.0 Hz).

	for a reliable H/V curve				
$f_0 > 10 / L_w$	1.34 > 0.50	OK			
$n_c(f_0) > 200$					
$\uparrow_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0.5Hz$ $\uparrow_A(f) < 3 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0.5Hz$	Exceeded 0 out of 66 times	ок			
[At least	a for a clear H/V peak 5 out of 6 should be fulfilled]		NO		
[At least Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$	5 out of 6 should be fulfilled]	OK	NO		
[At least Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$ Exists f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$	5 out of 6 should be fulfilled] 4.219 Hz	OK OK	NO		
[At least Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$ Exists f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$ $A_0 > 2$	5 out of 6 should be fulfilled]	OK OK OK	NO		
[At least Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$ Exists f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$	5 out of 6 should be fulfilled] 4.219 Hz 2.07 > 2	OK	NO		

L _w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σf	standard deviation of H/V peak frequency
ε(f ₀)	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f ₀
A _{H/∨} (f)	H/V curve amplitude at frequency f
f - ` ´	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f_0) < A_0/2$
f +	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve
()	should be multiplied or divided
$\sigma_{\text{logH/V}}(f)$	standard deviation of log A _{H/V} (f) curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$						
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0	
ε(f ₀) [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 f ₀	
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58	
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20	

Instrument: TEP-0028/01-09

Data format: 16 byte Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 09/09/14 10:57:09 End recording: 09/09/14 11:17:10 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

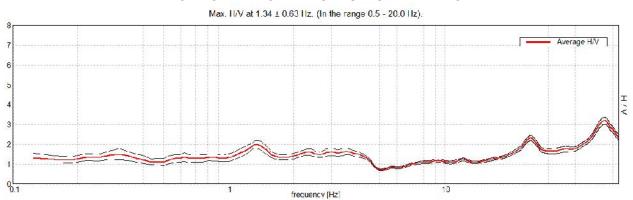
Trace length: 0h20'00". Analyzed 93% trace (manual window selection)

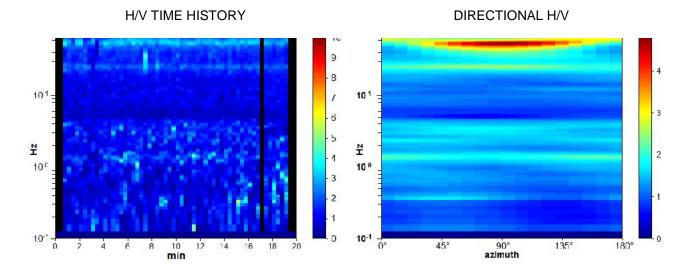
race length: 0h20'00 Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s

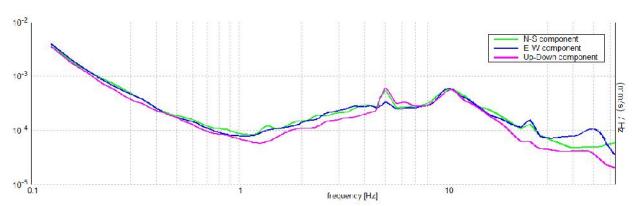
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO







Max. H/V at 1.34 ± 0.63 Hz (in the range 0.5 - 20.0 Hz).

[A]	I 3 should be fulfilled]				
$f_0 > 10 / L_w$	1.34 > 0.50	OK			
n _c (f ₀) > 200	1478.1 > 200	OK			
$\uparrow_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0.5Hz$ $\uparrow_A(f) < 3 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0.5Hz$ Exceeded 0 out of 66 times					
Criteria	a for a clear H/V peak				
	a for a clear H/V peak 5 out of 6 should be fulfilled]				
	-		NO		
[At least	-	ОК	NO		
[At least Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$	5 out of 6 should be fulfilled]	ОК	NO NO		
[At least Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$ Exists f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	5 out of 6 should be fulfilled] 4.656 Hz	ОК			
[At least Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$ Exists f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$ $A_0 > 2$	5 out of 6 should be fulfilled] 4.656 Hz 1.97 > 2	ОК	NO		

L_{w}	window length
n _w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ _f	standard deviation of H/V peak frequency
ε(f ₀)	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency fo
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f - `	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f_0) < A_0/2$
f +	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_{A}(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve
	should be multiplied or divided
σ _{logH/V} (f)	standard deviation of log A _{H/V} (f) curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$						
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0	
ε(f ₀) [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 f ₀	
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58	
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20	

NOTA: I primi 3 criteri della tabella SESAME indicano se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata.

E' necessario che questi criteri siano tutti soddisfatti.

CHIETI_M 13,

Instrument: TEP-0028/01-09

Data format: 16 byte Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 05/06/15 13:05:35 End recording: 05/06/15 13:25:36 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; TRG + TRG - Trace length: 0h16'00". Analyzed 73% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 5%

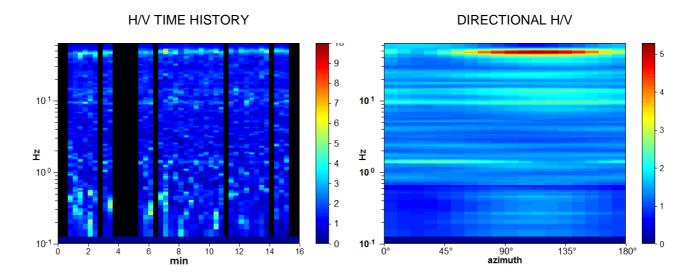
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

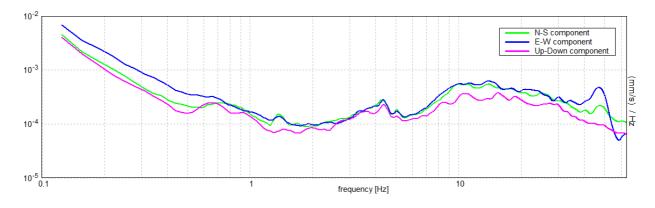
Max. H/V at 9.38 ± 1.22 Hz. (In the range 0.5 - 20.0 Hz).

Average H/V

frequency [Hz]

Picco f_0 a 1.38 con H/V = 2.11





Max. H/V at 9.38 \pm 1.22 Hz (in the range 0.5 - 20.0 Hz). *Picco* f_0 a 1.38

	for a reliable H/V curve		
$f_0 > 10 / L_w$	1.38 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	907.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0.5Hz$ $\sigma_A(f) < 3 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0.5Hz$	Exceeded 0 out of 67 times	ок	
0-1(1	- f		
	a for a clear H/V peak 5 out of 6 should be fulfilled]		
	•		NO
[At least	•		NO NO
[At least : Exists f in [f ₀ /4, f ₀] $A_{H/V}(f) < A_0 / 2$	•	ОК	
[At least section of the section of	5 out of 6 should be fulfilled]	ОК	
[At least section of the section of	5 out of 6 should be fulfilled] 2.11 > 2	ОК	NO

L _w	window length
n _w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σf	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f ₀
A _{H/∨} (f)	H/V curve amplitude at frequency f
f =``	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f_0) < A_0/2$
f +	frequency between f₀ and 4f₀ for which A _{H/V} (f +) < A₀/2
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve
	should be multiplied or divided
$\sigma_{\text{logH/V}}(f)$	standard deviation of log A _{H/V} (f) curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$						
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 – 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0	
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 f ₀	
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58	
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20	

NOTA: I primi 3 criteri della tabella SESAME indicano se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata.

\mathbf{E}' necessario che questi criteri siano $\underline{\mathbf{tutti}}$ soddisfatti.

CHIETI_M 14,

Instrument: TEP-0028/01-09

Data format: 16 byte Full scale [mV]: n.a.

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; TRG + TRG - Trace length: 0h20'00". Analyzed 93% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

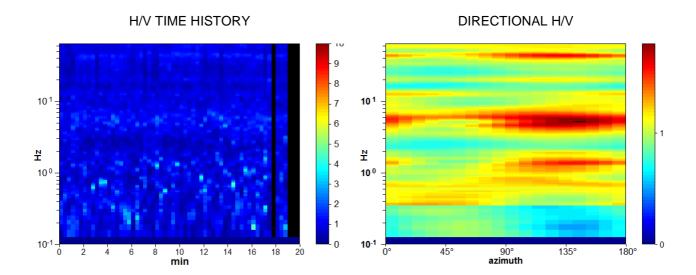
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

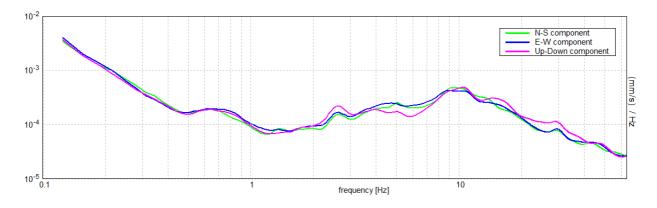
Max. H/V at 5.69 ± 0.46 Hz. (In the range 0.5 - 20.0 Hz).

Assenza di picchi significativi

frequency [Hz]

10





Max. H/V at 5.69 ± 0.46 Hz (in the range 0.5 - 20.0 Hz). ASSENZA DI PICCHI SIGNIFICATIVI

	or a reliable H/V curve 3 should be fulfilled]		
f ₀ > 10 / L _w	5.69 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	6370.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0.5Hz$ $\sigma_A(f) < 3 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0.5Hz$	Exceeded 0 out of 274 times	ок	
Oul4 - ul -			
	for a clear H/V peak out of 6 should be fulfilled]		
	•		NO
[At least 5	•		NO NO
[At least 5 Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$	•		
[At least 5] Exists f ⁻ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ Exists f ⁺ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	out of 6 should be fulfilled]		NO
[At least 5] Exists f ⁻ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ Exists f ⁺ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ $A_0 > 2$	out of 6 should be fulfilled] 1.55 > 2		NO NO

L _w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ _f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f ₀
A _{H/∨} (f)	H/V curve amplitude at frequency f
f - ` `	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^{-1}) < A_0/2$
f +	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve
	should be multiplied or divided
σ _{logH/∨} (f)	standard deviation of log A _{H/V} (f) curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$						
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 – 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0	
ε(f ₀) [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 f ₀	
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58	
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20	

NOTA: I primi 3 criteri della tabella SESAME indicano se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata.

E' necessario che questi criteri siano tutti soddisfatti.

CHIETI_M 15,

Instrument: TEP-0028/01-09

Data format: 16 byte Full scale [mV]: n.a.

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; TRG + TRG - Trace length: 0h20'00". Analyzed 95% trace (manual window selection)

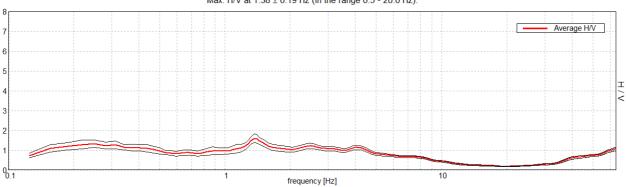
Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

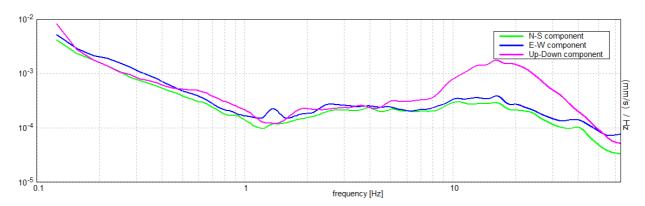
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

Max. H/V at 1.38 \pm 0.19 Hz (in the range 0.5 - 20.0 Hz).



H/V TIME HISTORY DIRECTIONAL H/V 9 8 10¹ 10 ¹ 7 6 - 5 H H 4 10⁰ 10⁰ 3 - 2 - 0 10⁻¹ 10⁻¹ 90° azimuth 12 135° 180° 14 16



Max. H/V at 1.38 ± 0.19 Hz (in the range 0.5 - 20.0 Hz).

[A	Il 3 should be fulfilled]				
$f_0 > 10 / L_w$	1.38 > 0.50	OK			
$n_c(f_0) > 200$	1540.0 > 200	OK			
$\sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0.5Hz$ $\sigma_A(f) < 3 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0.5Hz$ Exceeded 0 out of 67 times					
Criteri	a for a clear H/V peak				
[At least	a for a clear H/V peak 5 out of 6 should be fulfilled]				
	•		NO		
[At least	•	ОК	NO		
[At least Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$	5 out of 6 should be fulfilled]	ОК	NO NO		
[At least Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$ Exists f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	5 out of 6 should be fulfilled] 5.125 Hz	ОК			
[At least Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ Exists f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ $A_0 > 2$	5 out of 6 should be fulfilled] 5.125 Hz 1.60 > 2	ОК	NO		

L _w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ _f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f ₀
A _{H/∨} (f)	H/V curve amplitude at frequency f
f - ` `	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^{-1}) < A_0/2$
f +	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve
	should be multiplied or divided
σ _{logH/∨} (f)	standard deviation of log A _{H/V} (f) curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

	Thres	shold values for	σ_f and $\sigma_A(f_0)$		
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 – 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
ε(f ₀) [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 f ₀
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

NOTA: I primi 3 criteri della tabella SESAME indicano se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata.

E' necessario che questi criteri siano \underline{tutti} soddisfatti.

CHIETI_M 16,

Instrument: TEP-0028/01-09

Data format: 16 byte Full scale [mV]: n.a.

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

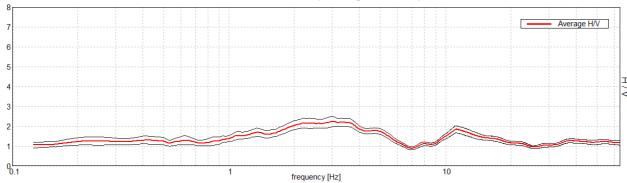
Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

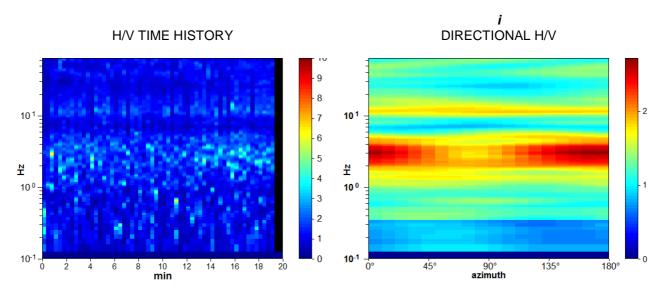
Smoothing: 10%

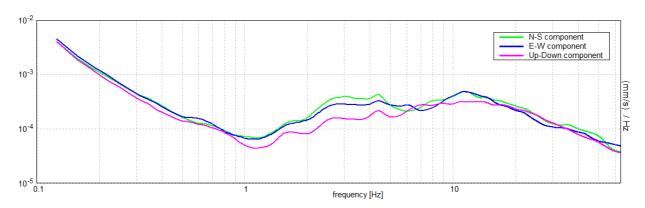
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

Max. H/V at 3.03 ± 0.79 Hz. (In the range 0.5 - 20.0 Hz).



Assenza di picchi significativi





Max. H/V at 3.03 ± 0.79 Hz (in the range 0.5 - 20.0 Hz). ASSENZA DI PICCHI SIGNIFICATIVI

	or a reliable H/V curve 3 should be fulfilled]		
$f_0 > 10 / L_w$	3.03 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	3637.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0.5Hz$ $\sigma_A(f) < 3 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0.5Hz$	Exceeded 0 out of 146 times	ОК	
Criteria	for a clear H/V peak out of 6 should be fulfilled]		I
Criteria	for a clear H/V peak		NO
Criteria [At least 5	for a clear H/V peak	OK	NO
Criteria [At least 5 Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$	for a clear H/V peak out of 6 should be fulfilled]	OK OK	NO
	for a clear H/V peak out of 6 should be fulfilled]		NO NO
Criteria [At least 5] Exists f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$ Exists f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$ $A_0 > 2$	for a clear H/V peak out of 6 should be fulfilled] 6.25 Hz 2.23 > 2		

L _w	window length
n _w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f ₀	H/V peak frequency
σ f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f ₀
A _{H/∨} (f)	H/V curve amplitude at frequency f
f = ``	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^{-1}) < A_0/2$
f +	frequency between f ₀ and 4f ₀ for which A _{H/V} (f +) < A ₀ /2
σ _A (f)	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve
	should be multiplied or divided
σ _{logH/V} (f)	standard deviation of log A _{H/V} (f) curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
ε(f ₀) [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 f ₀
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

NOTA: I primi 3 criteri della tabella SESAME indicano se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata.

E' necessario che questi criteri siano tutti soddisfatti.

CHIETI_M 17,

Instrument: TEP-0028/01-09

Data format: 16 byte Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 05/06/15 17:51:08 End recording: 05/06/15 18:11:09
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; TRG + TRG - Trace length: 0h20'00". Analyzed 80% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 5%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

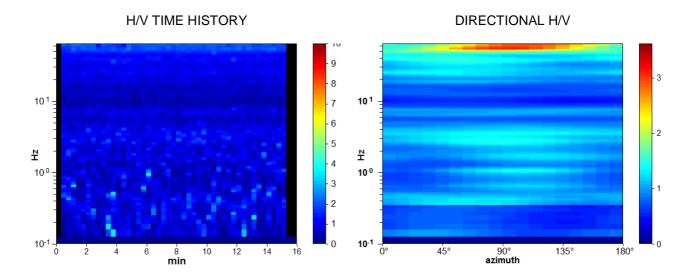
Max. H/V at 3.44 ± 1.34 Hz. (In the range 0.5 - 20.0 Hz).

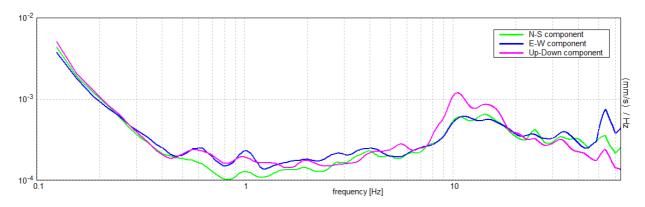
Average H/V

Average H/V

frequency [Hz]

Assenza di picchi significativi





Max. H/V at 3.44 ± 1.34 Hz (in the range 0.5 - 20.0 Hz). ASSENZA DI PICCHI SIGNIFICATIVI

	or a reliable H/V curve 3 should be fulfilled]		
$f_0 > 10 / L_w$	3.44 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	3093.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0.5Hz$ $\sigma_A(f) < 3 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0.5Hz$	Exceeded 0 out of 166 times	ОК	
	for a clear H/V peak out of 6 should be fulfilled]		
Exists f in $[f_0/4, f_0] A_{H/V}(f) < A_0 / 2$			NO
Exists f ⁻ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ Exists f ⁺ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	8.594 Hz	OK	NO
	8.594 Hz 1.31 > 2	OK	NO NO
Exists f + in [f ₀ , 4f ₀] $A_{H/V}(f +) < A_0 / 2$		ОК	
Exists f + in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ $A_0 > 2$	1.31 > 2	ок	NO

L _w	window length
n _w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f ₀	H/V peak frequency
σ _f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
\dot{A}_0	H/V peak amplitude at frequency f ₀
A _{H/∨} (f)	H/V curve amplitude at frequency f
f = ` ´	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^{-}) < A_0/2$
f +	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve
	should be multiplied or divided
$\sigma_{\text{logH/V}}(f)$	standard deviation of log A _{H/V} (f) curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz] < 0.2 0.2 - 0.5 0.5 - 1.0 1.0 - 2.0 > 2.0					
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 f ₀
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

NOTA: I primi 3 criteri della tabella SESAME indicano se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata.

\mathbf{E}' necessario che questi criteri siano $\underline{\mathbf{tutti}}$ soddisfatti.

CHIETI_M 18,

Instrument: TEP-0028/01-09

Data format: 16 byte Full scale [mV]: n.a.

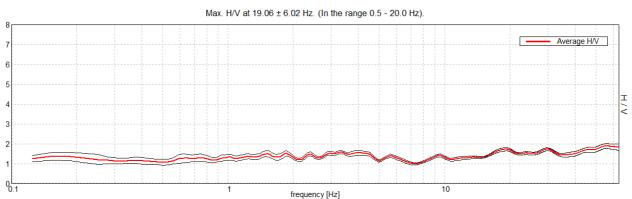
Start recording: 05/06/15 18:18:13 End recording: 05/06/15 18:38:14 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; TRG + TRG -Trace length: 0h20'00". Sampling rate: 128 Hz Analyzed 85% trace (manual window selection)

Window size: 20 s

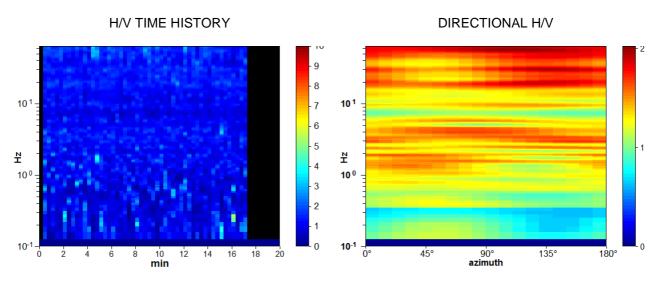
Smoothing type: Triangular window

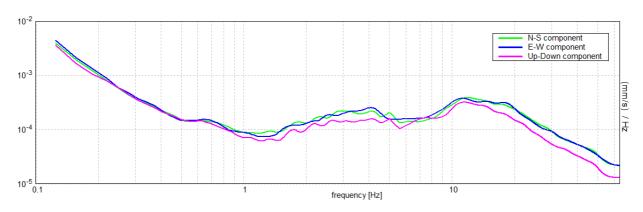
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



Assenza di picchi significativi





Max. H/V at 19.06 ± 6.02 Hz (in the range 0.5 - 20.0 Hz). ASSENZA DI PICCHI SIGNIFICATIVI

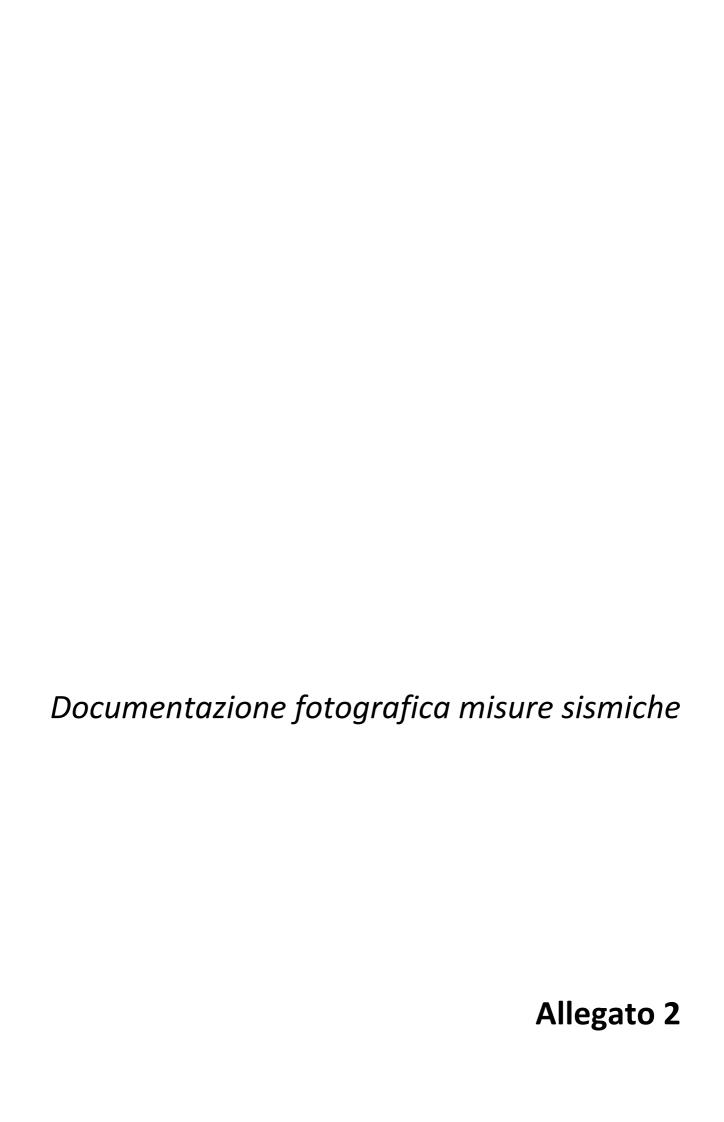
Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]					
$f_0 > 10 / L_w$	19.06 > 0.50	OK			
$n_c(f_0) > 200$	19443.8 > 200	OK			
$\sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0.5Hz$ $\sigma_A(f) < 3 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0.5Hz$	$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5Hz$ Exceeded 0 out of 916				
	Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]				
Exists f in $[f_0/4, f_0] A_{H/V}(f) < A_0 / 2$			NO		
Exists f + in $[f_0, 4f_0] A_{H/V}(f +) < A_0 / 2$					
A ₀ > 2					
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.316 < 0.05		NO		
$\sigma_f < \epsilon(f_0)$	6.02372 < 0.95313		NO		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.0854 < 1.58	OK			

L _w	window length
n _w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
O f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f ₀
A _{H/∨} (f)	H/V curve amplitude at frequency f
f =	frequency between f₀/4 and f₀ for which A _{H/V} (f ⁻) < A₀/2
f +	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve
	should be multiplied or divided
σ _{logH/V} (f)	standard deviation of log A _{H/V} (f) curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 – 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 f ₀
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

NOTA: I primi 3 criteri della tabella SESAME indicano se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata.

E' necessario che questi criteri siano tutti soddisfatti.





Misura sismica M1



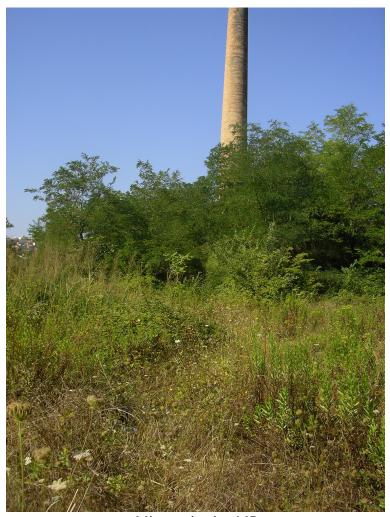
Misura sismica M2



Misura sismica M3



Misura sismica M4



Misura sismica M5



Misura sismica M6



Misura sismica M7



Misura sismica M8



Misura sismica M9



Misura sismica M10



Misura sismica M11



Misura sismica M12



Misura sismica M13



Misura sismica M14



Misura sismica M15



Misura sismica M16



Misura sismica M17



Misura sismica M18

Valutazione della pericolosità sismica (Simulazioni numeriche dinamiche in campo monodimensionale)
Appendice 1

1. CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DEI TERRENI: GENERALITÀ E TECNICHE

La parametrizzazione dinamica dei terreni costituisce, com'è noto, un aspetto fondamentale non solo nell'ambito degli studi per la risposta sismica locale, ma anche in molti problemi geologico-tecnici. Più in particolare, la misura della velocità delle onde di taglio (Vs), consente la determinazione di un'importante caratteristica meccanica del terreno: la c.d. rigidezza iniziale (G_0 o G_{max}), in altre parole la rigidezza a livelli di deformazione molto bassi.

La recente ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003, relativa alla nuova normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica, tra i numerosi aspetti innovativi, prevede, per quanto riguarda l'aspetto legato all'amplificazione dei terreni sotto l'azione sismica, la caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico, definendo cinque differenti tipologie di suoli da individuare in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m di terreno ($\mathbf{V}_{s,30}$) e/o, indirettamente, dai valori \mathbf{N}_{SPT} e \mathbf{c}_{u} .

Alla luce anche di questo nuovo quadro normativo, le metodologie geofisiche, se opportunamente e correttamente applicate, possono rappresentare, come è noto, un valido strumento di caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce. Qui di seguito, dopo una sintetica introduzione dedicata alle principali caratteristiche delle onde sismiche ed alle problematiche connesse con il comportamento dei terreni e delle rocce alle piccole deformazioni, sono presentate alcune tra le tecniche geofisiche più comunemente utilizzate

per la parametrizzazione dinamica: al riguardo, verranno anche illustrate brevemente le loro procedure operative e discussa criticamente la loro applicabilità.

Come è noto, in un mezzo continuo, sottoposto a sollecitazioni dinamiche, si generano vibrazioni che si trasmettono sotto forma di onde elastiche. E' possibile individuare due tipi principali di tali onde (Fig. 1.1):

- onde di corpo (P ed S);
- onde superficiali (onde di Rayleigh ed onde di Love).

Le onde P conosciute anche come onde di compressione o longitudinali corrispondono ad una deformazione elastica attraverso fasi di compressione e dilatazione. La direzione di oscillazione delle particelle del mezzo trasmittente coincide con quella di propagazione.

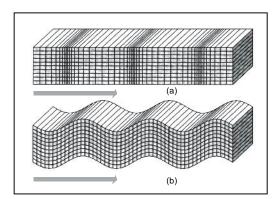
La velocità di propagazione delle onde P è data da:

$$V_{\rm p} = \sqrt{\frac{k + 4 \sim /3}{\dots}}$$

dove k è il modulo di bulk, μ il modulo di taglio (rigidità) e ρ la densità del mezzo trasmittente. Le onde S, anche conosciute come onde di taglio o trasversali, determinano all'interno del mezzo attraversato, una direzione di oscillazione delle particelle ortogonale alla direzione di propagazione, con una velocità pari a:

$$V_{S} = \sqrt{\frac{\tilde{}}{...}}$$

Poiché la rigidità di un fluido è nulla, le onde di taglio non possono essere trasmesse da tali mezzi. La velocità delle onde P è sempre maggiore, a parità di mezzo attraversato, rispetto alla velocità delle onde S. La propagazione delle onde di corpo segue le leggi dell'ottica geometrica, quindi esse subiscono rifrazioni e riflessioni lungo interfacce tra mezzi differenti per proprietà fisico-meccaniche.



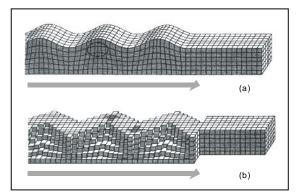


Figura 1.1
A sinistra: movimento delle particelle in un'onda P (a) e in un'onda S (b).
A destra: movimento delle particelle in un'onda di Rayleigh (a) e in un'onda di Love (b).

Le onde in grado di propagarsi nei pressi di una superficie libera, sono conosciute come onde superficiali. Le onde di Rayleigh, causano un movimento ellittico retrogrado delle particelle del mezzo attraversato su un piano verticale comprendente la direzione di propagazione. Possono essere trasmesse sulla superficie di un semispazio uniforme o in un mezzo in cui la velocità cambia con la profondità. Le onde di Love si originano nelle formazioni stratificate, e vibrano in un piano parallelo alla superficie libera perpendicolarmente alla direzione di propagazione, attenuandosi in profondità. Le onde superficiali hanno velocità di

propagazione, a parità di condizioni del mezzo attraversato, minore rispetto alle onde di corpo e a differenza di queste ultime sono dispersive, cioè le loro differenti componenti a lunghezza d'onda diversa viaggiano con velocità differenti. Lo studio delle caratteristiche di dispersione delle onde superficiali può costituire metodo per la determinazione della velocità di propagazione delle Vs e dell'attenuazione sismica nelle porzioni più superficiali della superficie terrestre.

Per quanto riguarda le principali proprietà dinamiche dei terreni, è opportuno premettere che la complessa natura e geometria dei meccanismi di generazione e propagazione di onde sismiche nel sottosuolo e l'altrettanto complessa risposta del terreno alle sollecitazioni dinamiche derivanti, sembrerebbero pregiudicare la trattabilità del problema della c.d. risposta sismica locale. Il problema va affrontato, quindi, operando una serie di necessarie riduzioni e semplificazioni, in termini sia di azioni sia di risposta del materiale. Tenuto conto che per sottosuoli naturali, a causa della rapidità delle azioni e del fatto che essi si trovano per gran parte sotto falda, ci si trova in condizioni di drenaggio impedito, il fenomeno sismico produce deformazioni volumetriche trascurabili, rispetto a quelle distorsionali. Per questo appare giustificato ricondurre la modellazione meccanica di un fenomeno sismico all'analisi degli effetti prodotti da un insieme di onde S, che si propagano dal substrato alla superficie, con un campo di spostamenti del terreno praticamente orizzontale. L'assunzione è oltretutto validata dal fatto che, da un punto di vista ingegneristico, il moto più significativo ai fini della verifica sismica dei manufatti è quello orizzontale.

Ciò premesso, e rimandando alla ricca letteratura esistente sull'argomento, vale qui la pena rimarcare come la fenomenologia di un evento sismico pur estremamente complessa richiede comunque l'analisi del comportamento meccanico del terreno in condizioni di taglio semplice, vale a dire in corrispondenza di un processo di carico che sottopone l'elemento di sottosuolo, a partire dalle condizioni geostatiche (σ'_{V_0} , σ'_{h_0}), ad un a tensione tangenziale variabile nel tempo (Fig. 6.2) con legge irregolare $\tau(t)$. Il legame tensione-deformazione tangenziale si manifesta non lineare, non reversibile (con dissipazione d'energia meccanica) e fortemente dipendente dalla storia delle sollecitazioni applicate.

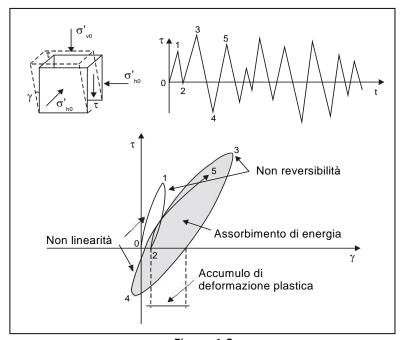


Figura 1.2 Comportamento di un elemento di terreno sottoposto ad una sollecitazione di taglio semplice variabile nel tempo con legge irregolare Tratto da Lanzo & Silvestri (1999)

Per un singolo processo di carico-scarico-ricarico in termini di tensioni tangenziali il terreno mostra un comportamento efficacemente rappresentabile da una coppia di parametri:

- il modulo di rigidezza al taglio (G);
- il fattore di smorzamento D (damping ratio).

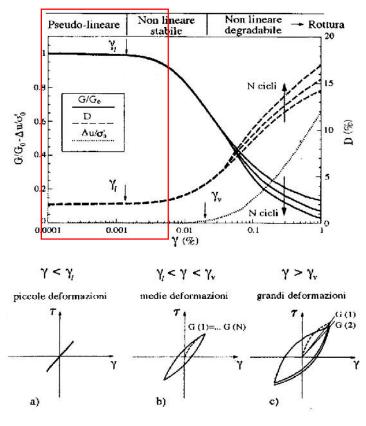


Figura 1.3

Livelli deformativi ed aspetti del comportamento meccanico del terreno in condizioni di taglio semplice ciclico (da Lanzo & Silvestri, 1999)

Questi parametri mostrano una variazione in base al livello di deformazione tangenziale γ impresso sull'elemento di terreno (Fig. 1.3). Sono, infatti, individuabili tre campi di comportamento distinti ma contigui per piccole, medie e grandi deformazioni (fino a rottura). In Fig. 6.3 sono rappresentati anche gli andamenti qualitativi della non linearità tra tensioni e deformazioni tangenziali.

Come si può notare, il modulo di taglio G assume un valore iniziale massimo (G_0), che si mantiene pressoché costante fino ad un valore di soglia di linearità della deformazione esprimibile con γ L. Tale comportamento si verifica in un range di deformazione compreso tra lo 0.0001% e lo 0.001% in base alle caratteristiche granulometriche e mineralogiche del terreno. Durante un ciclo completo, il processo mostra un valore dell'energia dissipata molto basso (D tendente a 0), rispetto all'energia immessa. Il legame τ – γ è quindi rappresentabile con un modello lineare elastico o visco-elastico.

Le tecniche geofisiche basate su metodi sismici, operano in tale range di deformazione e rappresentano, pertanto, un indispensabile strumento d'indagine per la caratterizzazione dinamica dei terreni per bassi livelli di deformazione.

Tenuto conto della sismicità di riferimento per il Comune di Chieti (**Zona 2**) e per la quale si ritiene con buona probabilità di confrontarsi con un campo di deformazione (indotto dalla possibile sollecitazione sismica) sostanzialmente modesto, le tecniche geofisiche sono sicuramente le più attendibili per la caratterizzazione dinamica dei terreni.

7

Le metodiche di indagine, utilizzate, come si è detto, per la determinazione dei parametri relativi alla velocità delle onde di corpo e più in particolare della velocità delle onde di taglio (Vs), sono ascrivibili alle c.d. metodologie sismiche, basate cioè sulla propagazione di onde di corpo e/o superficiali generate da masse battenti.

Tali metodologie possono sinteticamente essere così distinte:

- Sismica a rifrazione con onde P ed SH;
- Sismica a riflessione HR con onde P ed SH;
- Sismica in foro (down-hole P-SH; VSP);
- Tecniche mediante onde di superficie (SASO FK EROS). Tali tecniche, tra loro analoghe ma non sempre perfettamente equivalenti, presentano vantaggi e limiti ascrivibili sia ai principi teorici su cui si basano, sia alle condizioni geologiche s.l. in cui ci ritrova ad applicarle.

Nelle aree prese in esame, si è ritenuto, sulla base dei contesti geologici presenti, nonché per motivi logistici ed economici, di utilizzare il metodo sismico a rifrazione con utilizzo sia di onde P sia di onde SH.

Qui di seguito ne vengono illustrate le principali modalità operative.

2. INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE

Tale metodica di prospezione consiste, come è noto, nel generare un'onda sismica nel terreno attraverso una adeguata sorgente di energia (massa battente, esplosivo) e nel misurare il tempo impiegato da questa a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino agli apparecchi di ricezione (geofoni) seguendo le leggi di rifrazione dell'ottica, cioè rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due mezzi sovrapposti e caratterizzati da valori di densità (e del modulo elastico) crescenti con l'aumentare della profondità.

L'apparecchiatura necessaria per tali prospezioni è costituita da una serie di geofoni che sono spaziati lungo un determinato allineamento (base sismica) e da un sistema di registrazione che consente di determinare l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di arrivo delle onde dirette e/o rifratte a ciascun geofono. Se in un sistema di assi cartesiani si riportano i tempi di arrivo delle onde sismiche in funzione della loro distanza dal punto di scoppio, si ottiene una famiglia di curve tempi-distanze che dipendono dalle caratteristiche geologiche locali. Tali curve vengono dette "dromocrone". Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali (Vp) e di taglio (Vs) dei mezzi attraversati ed il loro spessore.

Il metodo sismico a rifrazione, pur consentendo una discreta caratterizzazione del sottosuolo, è tuttavia soggetto alle seguenti principali limitazioni:

- un livello potrà essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde longitudinali in esso risulterà superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);
- un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;
- un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore
 ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché
 mascherato dagli "arrivi" dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto).

2.1 Modalità d'acquisizione e di elaborazione dati

Per l'esecuzioni delle basi sismiche a rifrazione è stato utilizzato un sismografo EG&G Geometrics Strataview (Foto 2.1) con stendimento di 12 geofoni per le basi ST1 ed ST2 e di 24 geofoni per le linee sismiche denominate ST3 ed ST4. La geometria di acquisizione utilizzata per l'esecuzione delle basi sismiche a rifrazione ha previsto una spaziatura intergeofonica di 5 metri. Per l'energizzazione, sia in onde di compressione P sia in onde di taglio SH, sono state utilizzate masse battenti (Foto 2.2).



Foto 2.1
Sismografo utilizzato (EG&G Geometrics Strataview)



Foto 2.2 Sistema di energizzazione in onde SH

L'interpretazione delle basi sismiche è stata effettuata preliminarmente con il metodo dei tempi intercetti, in modo da definire, in prima approssimazione, le velocità dei mezzi e le profondità sotto i punti di scoppio. Successivamente è stato usato il metodo del delay-time per ottenere la profondità dei rifrattori sotto ogni singolo geofono.

2.2 Risultati delle prospezioni sismiche

In dettaglio si ha, con riferimento alle sezioni litostratigrafiche interpretative riportate nelle Figg. 2.4 e 2.5):

BASE ST1:

- dalla superficie fino a 2.8÷3.9 m di profondità si incontra un primo strato a bassa velocità (Vp = 335÷450 m/s e Vs = 210÷265 m/s) sismicamente correlabile allo strato "areato" costituito nell'area dall'alterazione superficiale dei depositi sabbiosi, affioranti diffusamente nell'area;
- segue un secondo strato caratterizzato da velocità Vp = 690÷800m/s e Vs = 390÷445 m/s, riferibili alla formazione sabbiosa.

Non è stato rilevato un terzo rifrattore più veloce entro i primi 15-20 m di profondità, che è all'incirca la massima indagata da una linea di 60 m.

BASE ST2:

➢ dalla superficie fino a 5.0÷8.5 m di profondità si incontra un primo strato a bassa velocità
(Vp = 300÷385 m/s e Vs = 135÷150 m/s) sismicamente correlabile allo strato "areato"
costituito nell'area dalla coltre eluvio-colluviale di natura limosa; Dal processing del
dataset in onde P risulta una differente geometria del primo rifrattore (a geometria
suborizzontale a circa 5.0-5.5 metri dal piano campagna), ascrivibile al livello della falda

acquifera, misurata tramite l'utilizzo di un freatimetro in concomitanza delle fasi di acquisizione di campagna, nell'adiacente sondaggio;

- segue un secondo sismostrato caratterizzato da velocità Vp = 1460÷1680m/s e Vs = 190÷220 m/s, riferibili a limi argillosi;
- segue un terzo sismostrato caratterizzato da velocità Vp = 2085m/s e Vs = 600 m/s, riferibile a depositi argillosi. Il tetto di questo strato è posto a profondità dell'ordine di 17 m dal piano campagna.

Non è stato rilevato un terzo rifrattore più veloce entro i primi 15-20 m di profondità, che è all'incirca la massima indagata da una linea di 60 m.

BASE ST3:

- dalla superficie fino a 1.3÷2.8 m di profondità si incontra un primo strato a bassa velocità (Vp = 200÷265m/s e Vs = 120÷170m/s) sismicamente correlabile allo strato "areato" costituito nell'area da copertura vegetale;
- segue un secondo livello caratterizzato da velocità Vp = 515÷590m/s e Vs = 220÷270 m/s, riferibili ad una facies limosa e caratterizzato da uno spessore compreso tra 5.5 e
 8.0 m;
- segue un terzo strato caratterizzato da velocità Vp = 1430÷1565m/s e Vs = 425÷445
 m/s, riferibile ad una facies ghiaiosa in condizioni di saturazione.

infine si ha un quarto sismostrato caratterizzato da velocità Vp = 2000m/s e Vs = 690 m/s, riferibile ai depositi argillosi. Il tetto di questo strato è posto a profondità dell'ordine di 13.5-17 m dal piano campagna.

Non è stato rilevato un quinto rifrattore più veloce entro i primi 30-40 m di profondità, che è all'incirca la massima indagata da una linea di 120 m.

BASE ST4:

- ➢ dalla superficie fino a circa 3 metri di profondità si incontra un livello a bassa velocità
 (Vp = 240÷305 m/s e Vs = 195÷230 m/s) sismicamente correlabile con depositi limosi
 sopra falda; al di sotto di tale livello, per uno spessore compreso tra 16 e 21 metri, si
 assiste ad un incremento delle Vp (1210÷1260 m/s), mentre non si assiste a variazione
 in termini di Vs. Tale livello è correlato con i depositi limosi in condizione di saturazione.
- > segue un secondo sismostrato caratterizzato da velocità Vp = 1960÷2000m/sec e Vs = 460÷560 m/sec, riferibili ad una facies ghiaiosa.

Non è stato rilevato un terzo rifrattore più veloce entro i primi 30-40 m di profondità, che è all'incirca la massima indagata da una linea di 120 m.

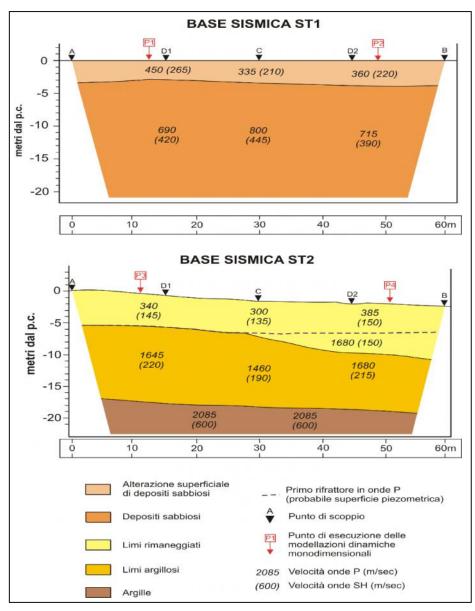


Figura 2.4 – Sezioni litostratigrafiche delle basi sismiche ST1 ed ST2

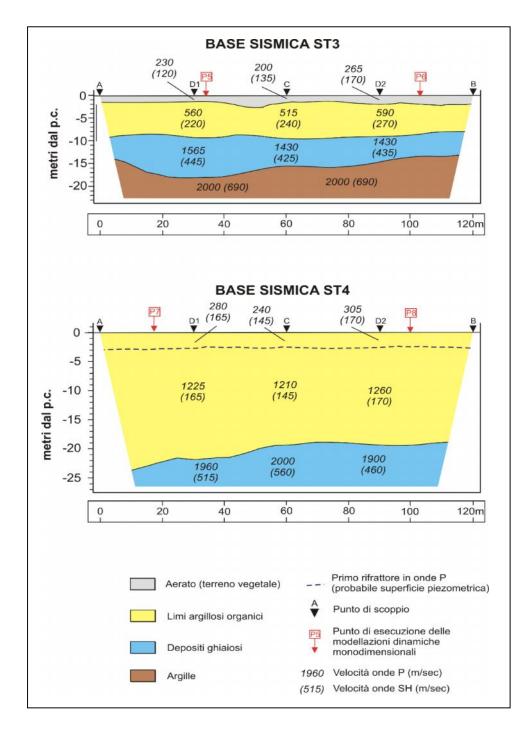


Figura 2.5 – Sezioni litostratigrafiche delle basi sismiche ST3 ed ST4

3. MODELLAZIONE NUMERICA MONODIMENSIONALE

I parametri relativi alle caratteristiche geometriche e fisico-meccaniche in campo dinamico, acquisiti nella campagna di esplorazione multidisciplinare del sottosuolo, sono serviti per la definizione del modello geologico-tecnico del sottosuolo e sono stati utilizzati come dati di input per l'esecuzione di simulazioni numeriche dinamiche in campo monodimensionale, al fine di verificare l'attitudine del sito in esame all'attivazione di effetti locali e di valutarne l'entità.

Le simulazioni sono state effettuate attraverso il codice di calcolo ProShake 1.1 (Schnabel et alii, 1972; Idriss & Sun, 1992), che simula il terreno come mezzo elastico-equivalente (Tab. 3.1). Con tale approccio il comportamento dinamico dei terreni è caratterizzato dalla curva di decadimento del modulo di rigidezza al taglio G/G0 e dalle curve di incremento di smorzamento $\xi/\xi0$ (Tab. 3.2).

CODICE DI CALCOLO	GEOMETRIA E CONDIZIONI AL CONTORNO	LEGAME COSTITUTIVO	METODO DI ANALISI	FONTE
PROSHAKE 1.1	1-D frontiera e base	Monofase lineare equivalente	Continuo Dominio freguenze	Berkley-Davis Shnabel et al. (1972)
	elastica	Visco-elastico	Dominio frequenze	Idriss & Sun (1992)

Tabella 3.1
Caratteristiche del codice di calcolo ProShake 1.1 per l'analisi monodimensionale della risposta sismica locale

Numericamente le analisi monodimensionali implementano le funzioni di trasferimento alle interfacce tra due strati sovrapposti nell'ipotesi di propagazione monodimensionale delle onde di taglio S, in presenza di strati con giaciture pian parallele ed in condizioni di simmetria radiale.

	DEFORMAZIONE TANGENZIALE (%)							
LITOTIPO		0.0001	0.001	0.01	0.1	1		
TERRENO VECETALE	G/G ₀	0.98	0.95	0.78	0.38	0.06		
TERRENO VEGETALE		0.50	1.50	3.90	10.80	17.00		
Lung	G/G₀	1.00	1.00	0.87	0.41	0.08		
LIMI		2.00	2.50	4.75	9.25	20.00		
CARRIE	G/G ₀	1.00	0.99	0.85	0.37	0.08		
SABBIE		0.24	0.80	2.80	9.80	21.00		
CHAIF	G/G₀	1.00	0.87	0.55	0.2	0.05		
GHIAIE		0.05	1.90	5.30	15.30	24.40		
Apouls	G/G ₀	1	1	0.94	0.66	0.24		
ARGILLE		0.24	0.80	2.80	9.80	21.00		

Tabella 3.2

Valori del damping (<) e del modulo di taglio normalizzato (G/G_0), in funzione della deformazione, utilizzati come parametri di input nelle modellazioni dinamiche.

3.1 Input sismico

L'area comunale di Chieti ha risentito in epoca storica recente di una serie di eventi sismici, legati principalmente all'evoluzione geodinamica della Catena Appenninica Centro-Meridionale (Catalogo dei Forti Terremoti CFTI 461 A.C., 1997).

L'intensità macrosismica locale riferibile all'area comunale si attesta su valori medi, non superando mai in epoca recente il valore di 7,5 (Scala M.C.S.), relativo ai due eventi sismici precedentemente citati.

La carenza di registrazioni accelerometriche, direttamente riferibili al sito di Chieti, ha condizionato la definizione del terremoto di input da utilizzare nelle simulazioni numeriche in campo dinamico.

Tuttavia è stata scelta, in termini cautelativi, una forma d'onda in grado di considerare un'ampia finestra spettrale (Fig. 3.1). Tale forma d'onda, inoltre, è stata normalizzata in base al valore di PGA (Peak Ground Acceleration) indicato dal Servizio Sismico Nazionale, per il Comune di Chieti.

Per tutte le analisi effettuate è stato quindi impiegato, come input sismico, un accelerogramma normalizzato col valore di PGA che, per un tempo di ritorno di 475 anni, è pari a 0.10999 g (Tabb. 3.3 e 3.4).

	CHIETI.EQ
N° of acceleration values	2600
Peak acceleration (g)	0.1099
Time step (sec)	0.010
Cutoff Frequency (Hz)	20
N° of Terms in Fourier Series	4096

Tabella 3.3 Parametri relativi al terremoto di input utilizzato nelle modellazioni numeriche

COMUNE DI	CHIETI
COD_ISTAT: 13	3069022
PGA_47M	0.04953
PGA_95M	0.06434
PGA_475M	0.10999
PGA_47S	0.06428
PGA_95S	0.08612
PGA_475S	0.15869
PGA_975S	0.20031
PGA 2475S	0.26765

Tabella 3.4 Valori di Peak Ground Acceleration (Servizio Sismico Nazionale) In grassetto è evidenziato il valore utilizzato per le analisi dinamiche

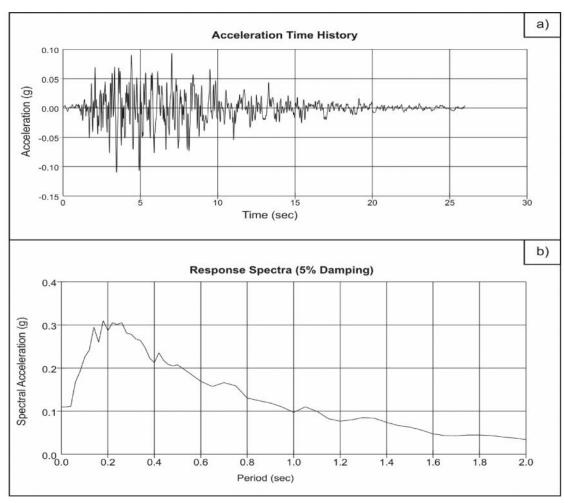


Figura 3.1
Terremoto di input: a) accelerogramma, b) spettro di risposta

PUNTI DI MISURA		STRATIGRAFIA	
	SABBIE ALTERATE	SABBIE	Argille
P1	1 (H=2.9,Vs=265)	2 (H=47.1,Vs=420)	3 (Vs=645)
D2	SABBIE ALTERATE	SABBIE	ARGILLE
P2	1 (H=3.9,Vs=220)	2 (H=46.1,Vs=390)	3 (Vs=645)
D2	LIMI ALTERATI	LIMI	ARGILLE
P3	1 (H=5.0,Vs=145)	2 (H=12.0,Vs=220)	3 (Vs=600)
P4	RIPORTO	SABBIE	Argille
P4	1 (H=8.0,Vs=150)	2 (H=10.0,Vs=215)	3 (Vs=600)
D.C	T. VEGETALE	Limi	GHIAIE
P5	1 (H=1.3,Vs=120)	2 (H=8.0,Vs=220)	3 (H=8.8,Vs=445)
D.C	T. VEGETALE	Limi	GHIAIE
P6	1 (H=1.9,Vs=170)	2 (H=6.5,Vs=270)	3 (H=4.9,Vs=435)
D7	Limi	GHIAIE	Argille
P7	2 (H=22.5,Vs=165)	3 (H=7.5,Vs=515)	3 (Vs=645)
ne	Limi	GHIAIE	Argille
P8	2 (H=19.5,Vs=170)	3 (H=11.5,Vs=460)	3 (Vs=645)

Tabella 3.5

Spessori (H) espressi in metri e velocità delle onde di taglio (Vs) in metri al secondo dei sismostrati individuati dalle prospezioni effettuate nell'area ed utilizzati nell'input delle modellazioni dinamiche

Per le sopramenzionate verticali, in ottemperanza alla nuova legislazione antisismica (O.P.C.M. 3274/03) è stata stimata la categoria di suolo di fondazione in base al valore del Vs₃₀ (Tab. 3.7) con la seguente espressione.

$$Vs 30 = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{hi}{Vi}}$$

PUNTI DI MISURA	Vs ₃₀ (m/sec)	CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE
P1	398	В
P2	354	С
Р3	271	С
P4	250	С
P5	356	С
P6	412	В
P7	203	C
P8	226	С

Tabella 3.6 – Valori di Vs₃₀ e relative categorie di suolo di fondazione, secondo la O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003, per ognuno dei 6 punti di misura delle modellazioni dinamiche monodimensionali

Nella Tab. 3.5 sono riportate le velocità delle onde di taglio nei diversi "strati" di terreno, mentre la Tab. 3.6 riporta le verticali in cui sono state eseguite le analisi numeriche da cui si evince che i punti P1 e P6 ricadono nella Categoria B e le rimanenti verticali nella Categoria C, con valori del Vs₃₀ compresi tra 203 e 412 m/s.

Le categorie B e C sono definite dall'O.P.C.M. 3274 come segue:

Categoria B

"Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate, o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, con caratteristiche geotecniche che migliorano con la profondità, e valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità V_{s30} compresi fra 360 e 800 m/s, ovvero con resistenza penetrometrica $N_{spt} > 50$ o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa".

Categoria C

"Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate, o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine di metri fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi fra 180 e 360 m/s, ovvero con resistenza penetrometrica 15<N $_{spt}$ < 50 o coesione non drenata 70<c $_{u}$ <250 kPa".

Le Figg. 3.2-3.4 illustrano i risultati delle modellazioni eseguite in termini di spettri di risposta elastici al 5% di smorzamento. Dall'osservazione dei suddetti grafici è possibile notare come per i punti di misura siano riscontrabili amplificazioni locali, talora di entità non trascurabile, con massimo valore di PSA (Pseudoaccelerazione) pari a circa 0.82 g (punto di misura P5). Ad eccezione delle analisi relative alla base sismica ST1 (Punti di misura P1 e P2), caratterizzate da minime amplificazioni, le altre verticali di modellazione presentano amplificazioni che sistematicamente eccedono lo spettro di normativa previsto dall'O.P.C.M. 3274/03, talora ben oltre il valore del 20%, (verticali P3, P4, P5 e P6). L'assetto litostratigrafico, desunto dall'elaborazione delle indagini sismiche a rifrazione, mostra, per ognuna delle suddette verticali, la presenza di non trascurabili spessori di depositi limoargillosi, caratterizzati dinamicamente da valori molto bassi in termini di Vs).

Infatti, prendendo ad esempio i punti di analisi P5, P6, P7 e P8 (Fig. 3.4) è possibile notare come sempre la totalità dell'amplificazione sia riscontrabile all'interfaccia tra il primo livello sismico e la superficie, mentre all'interfaccia sottostante, relativa al contatto tra i limi e le

sottostanti ghiaie, l'amplificazione è praticamente nulla e ben al di sotto dello spettro di normativa.

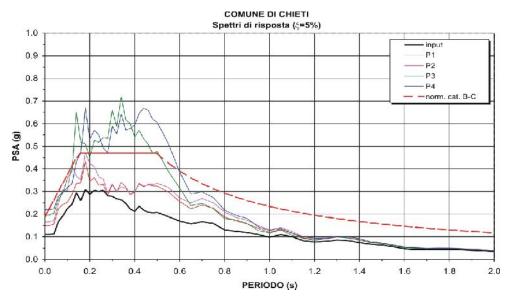


Figura 3.2
Spettri lineari di accelerazione in funzione delle componenti in periodi

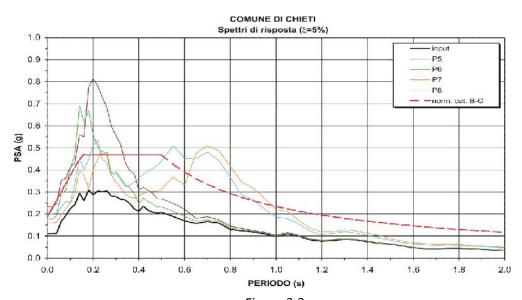


Figura 3.3
Spettri lineari di accelerazione in funzione delle componenti in periodi

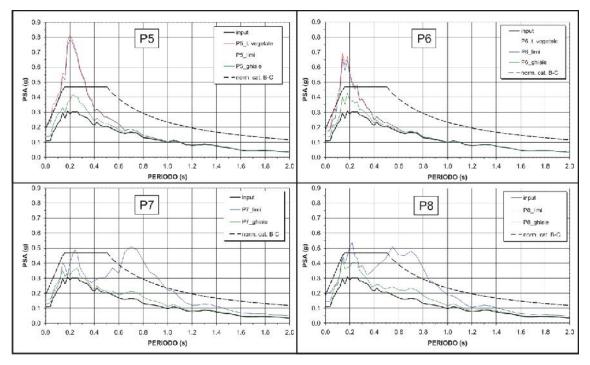


Figura 3.4 – Spettri lineari di accelerazione in funzione delle componenti in periodi

Sono stati anche calcolati i Fattori d'amplificazione, dal rapporto tra le intensità spettrali, su due intervalli differenti (0.1-0.5 sec e 0.1-2.5 sec) come suggerito dal modello di Housner (1959):

$$FA = \frac{\int_{0.5}^{0.5} PSV_{out}(T)dT}{\int_{0.5}^{0.5} PSV_{in}(T)dT}$$

$$FA = \frac{\int_{0.1}^{2.5} PSV_{out}(T)dT}{\int_{0.1}^{2.5} PSV_{in}(T)dT}$$

$$\int_{0.1}^{2.5} PSV_{in}(T)dT$$

I valori desunti (Fig. 3.5) sono compresi tra un minimo di 1.33 (punto di analisi P7) ed un massimo di 2.34 (punto di analisi P4) per l'intervallo tra 0.1-0.5 s, mentre i valori massimi per l'intervallo 0.1-2.5 s (rappresentativo dell'amplificazione di grandi strutture con risonanza per alti valori di periodo) raggiunge i valori maggiori (1.74 ed 1.70) per i punti di analisi P7 e P8 (in cui i depositi limo-argillosi hanno spessori molto elevati).

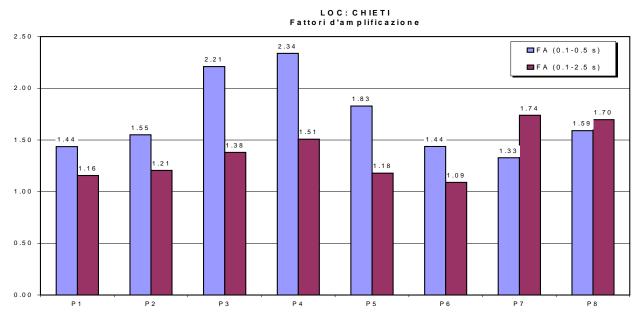


Figura 3.5 – Fattori d'amplificazione

4. VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI LOCALI

La realizzazione di quattro basi sismiche a rifrazione ha permesso una buona conoscenza del modello geologico-tecnico delle aree indagate, anche se esse rappresentano un areale limitato nei confronti dell'intero territorio comunale di Chieti.

Per tale ragione, i risultati dell'indagine non possono essere assunti a base delle progettazioni definitive ed esecutive e quindi le amplificazioni locali vanno determinante caso per caso con indagini specifiche e puntali.

Nonostante le limitazioni sopra indicate è stato comunque possibile acquisire un primo quadro conoscitivo dal quale emerge in maniera chiara come le aree soggette a significativa amplificazione locale risultino essere quelle in cui sono presenti rilevanti spessori delle coltri eluvio-colluviali. In tali aree campione, pertanto, le modellazioni dinamiche sono state approfondite e dettagliate, considerando diversi spessori delle coltri (da 2 a 24 metri per incrementi di 2 metri) poggianti su un substrato argilloso. I parametri di input sono stati desunti dai valori medi acquisiti a seguito delle campagne di esplorazione geofisica.

I risultati (Figg. 4.1÷4.13) mostrano come, per spessori della coltre eluvio-colluviale compresi tra 6 e 18 metri, siano presenti amplificazioni non trascurabili (eccedenti oltre il 20% lo spettro d'ordinanza), con picchi d'amplificazione strettamente dipendenti dalla potenza della coltre (a spessori maggiori corrispondono picchi d'amplificazione caratterizzati da periodi maggiori).

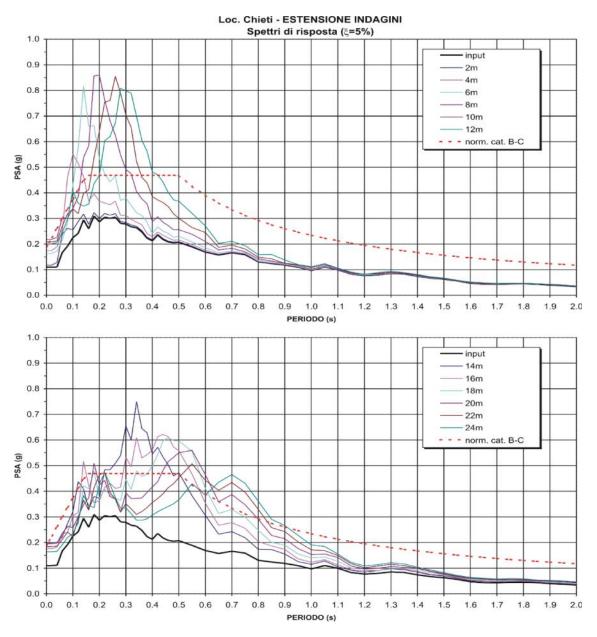


Figura 4.1 – Spettri lineari di accelerazione in funzione delle componenti in periodi

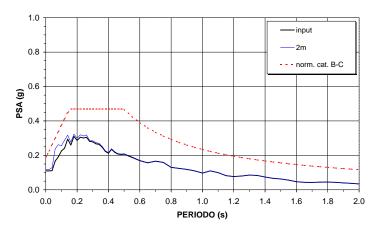


Figura 4.2 - Spettro lineare di accelerazione in funzione delle componenti in

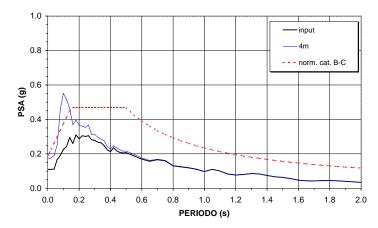


Figura 4.3 – Spettro lineare di accelerazione in funzione delle componenti in periodi, nell'ipotesi di uno spessore delle coltri pari a 4 m

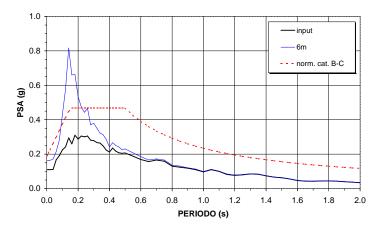


Figura 4.4 – Spettro lineare di accelerazione in funzione delle componenti in periodi, nell'ipotesi di uno spessore delle coltri pari a 6 m

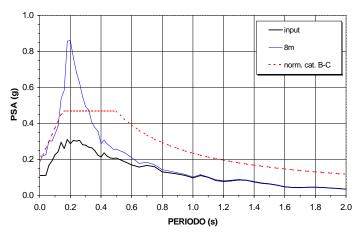


Figura 4.5 – Spettro lineare di accelerazione in funzione delle componenti in

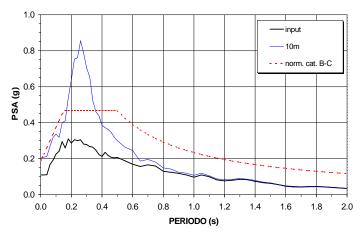


Figura 4.6 – Spettro lineare di accelerazione in funzione delle componenti in periodi, nell'ipotesi di uno spessore delle coltri pari a 10 m

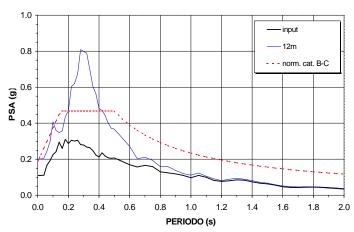


Figura 4.7 – Spettro lineare di accelerazione in funzione delle componenti in periodi, nell'ipotesi di uno spessore delle coltri pari a 12 m

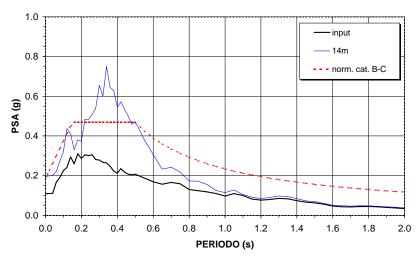


Figura 4.8 – Spettro lineare di accelerazione in funzione delle componenti in periodi, nell'ipotesi di uno spessore delle coltri pari a 14 m

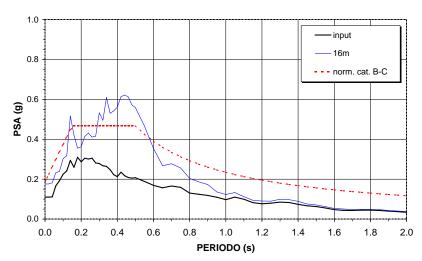


Figura 4.9 – Spettro lineare di accelerazione in funzione delle componenti in periodi, nell'ipotesi di uno spessore delle coltri pari a 16 m

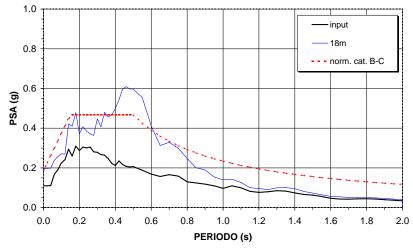


Figura 4.10 – Spettro lineare di accelerazione in funzione delle componenti in periodi, nell'ipotesi di uno spessore delle coltri pari a 18 m

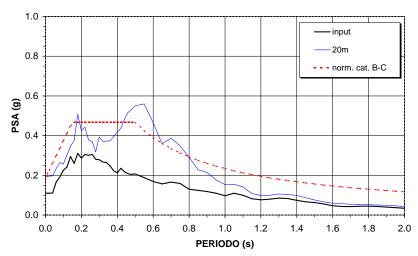


Figura 4.11 – Spettro lineare di accelerazione in funzione delle componenti in periodi, nell'ipotesi di uno spessore delle coltri pari a 20 m

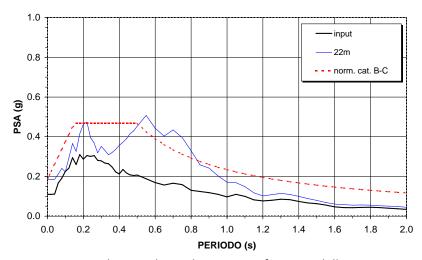


Figura 4.12 – Spettro lineare di accelerazione in funzione delle componenti in periodi, nell'ipotesi di uno spessore delle coltri pari a 22 m

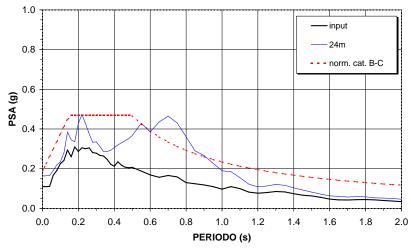


Figura 4.13 – Spettro lineare di accelerazione in funzione delle componenti in periodi, nell'ipotesi di uno spessore delle coltri pari a 24 m

Valutazione della pericolosità sismica (Approccio semplificato NTC08)

Appendice 2

1 PREMESSA

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli *stati limite*, che possono verificarsi durante un determinato *periodo di riferimento* della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica, che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo la *vita nominale* dell'opera, che congiuntamente alla *classe d'uso*, permette di determinare quel *periodo di riferimento*;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, una volta definite le relative *probabilità di superamento*, è possibile stabilire il *periodo di ritorno* associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la *pericolosità sismica di base* per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

2 VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Nelle NTC08 il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_{R} = V_{N} \cdot C_{U} (2.1)$$

dove:

 V_R = periodo di riferimento

 V_N = vita nominale

 C_U = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale V_N , secondo le NTC08, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità:

- V_N 10 anni per le opere provvisorie, provvisionali e le strutture in fase costruttiva che però abbiano una durata di progetto 2 anni.
- V_N 50 anni per le opere ordinarie, ponti, infrastrutture e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- \bullet V_N 100 anni per grandi opere, ponti, infrastrutture e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica.

Nel caso specifico $V_N = 50$ anni.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC08 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. $C_{IJ} = 0.7$;

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. $C_{IJ} = 1.0$;

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. $C_{IJ} = 1.5$;

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie, ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica. $C_{IJ} = 2.0$;

Nel caso in esame viene presa in considerazione la **classe d'uso II** a cui è associato il coefficiente d'uso $C_U = 1$.

Una volta ottenuti V_N e C_U , è possibile calcolare il periodo di riferimento V_R , che qui vale: $V_R = 50 * 1 = 50$ anni.

3 STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO

Le NTC08 prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

- > **Stato Limite di Operatività** (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- > **Stato Limite di Danno** (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- > Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- > Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le NTC08, in presenza di azioni sismiche, richiedono le verifiche allo SLO solo per gli elementi non strutturali e per gli impianti di strutture di classi d'uso III e IV (NTC08, punto 7.1). Lo SLO si utilizza anche come riferimento progettuale per quelle opere che devono restare operative durante e subito dopo il terremoto. Le verifiche allo SLC sono, invece, richieste solo per le costruzioni o ponti con isolamento e/o dissipazione (NTC08, punto 7.10).

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento* P_{VR} (Tabella 3.1), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento V_R , si verifichi almeno un evento sismico (n 1) di $\mathbf{a_g}$ prefissata ($\mathbf{a_g}$ = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza } = $1/T_R$ ($\mathbf{T_R}$ = periodo di ritorno).

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	$P_{VR} = 81\%$
Stato limite di esercizio: danno	SLD	$P_{VR} = 63\%$
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	$P_{VR} = 10\%$
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	$P_{VR} = 5\%$

Tabella 3.1- Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento VR

Fissati V_R e P_{VR} associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni, mediante l'espressione riportata nell'**Allegato A** delle NTC08:

$$T_{R} = -\frac{V_{R}}{\ln(1 - P_{VR})}$$
 (3.1)

Tale relazione tra P_{VR} (probabilità) e T_R (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è $V_R = 50$ anni, il tempo di ritorno T_R sarà:

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	$T_{\mathbf{R}} = 30$
Stato limite di esercizio: danno	SLD	$T_{\mathbf{R}} = 50$
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	$T_{\mathbf{R}} = 475$
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	$T_{\mathbf{R}} = 975$

Tabella 3.2- Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento VR

4 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC08, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC08 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV http://esse1-gis.mi.ingv.it/, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC08 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno T_R (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'**Allegato A** alle NTC08:

 $\mathbf{a}_{\mathbf{g}}$ = accelerazione orizzontale massima;

 $\mathbf{F_0}$ = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

 $\mathbf{T_{C}}^*$ = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

 $\mathbf{a}_{\mathbf{p}}$, il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

 ${\bf F_0}$ e ${\bf T_C}^*$ i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti in tabella (Tabella 4.1), contenuta nell'**Allegato B** delle NTC08, per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

			T	$T_{\mathbf{R}} = 30$)	$T_{\mathbf{R}} = 50$		$T_{\mathbf{R}} = 72$		2	$T_{\mathbf{R}} = 101$		1	
ID	LON	LAT	$\mathbf{a_g}$	F0	T*c	$\mathbf{a_g}$	F0	T*c	$\mathbf{a_g}$	F0	T*c	ag	F0	T*c
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

Tabella 4.1

Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno T_R corrispondente alla V_R e P_{VR} fissate, il valore del generico parametro p ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione (Figura 4.1), a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC08:

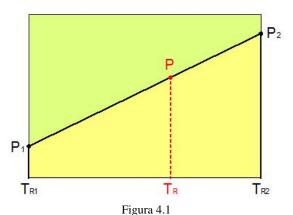
$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$
(4.1)

nella quale p è il valore del parametro di interesse (a_g, F_o, T_C^*) corrispondente al periodo di ritorno T_R desiderato, mentre $p_{1,2}$ è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno $T_{R1,2}$.

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri p possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle NTC08:

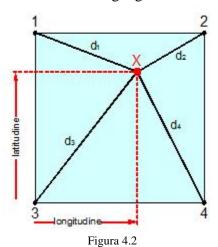
$$p = \frac{\sum_{i=1}^{4} \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^{4} \frac{1}{d_i}}$$
 (4.2)

nella quale p è il valore del parametro di interesse (a_g, F_o, T_C^*) corrispondente al punto considerato, p_i è il valore di tale parametro nell'i-esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e d_i è la distanza del punto in esame dall'i-esimo vertice della suddetta maglia.



Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella Figura 4.2



Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC08, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza d tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R \cdot \arccos[\sin(\ln t) \cdot \sin(\ln t) + \cos(\ln t) \cdot \cos(\ln t) \cdot \cos(\ln t)]$$
 (4.3)

dove R = 6371 è il raggio medio terrestre in km, mentre lat α , lon α , lat β e lon β sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma

appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di $\pm 0,01$ g ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.

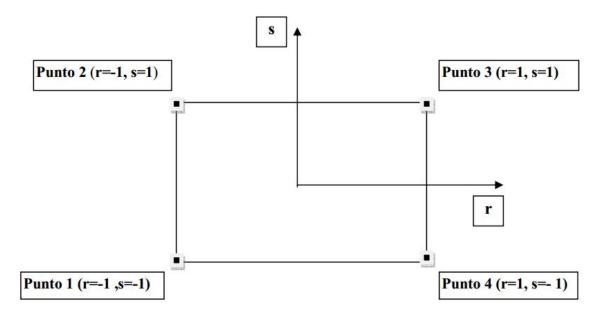


Figura 4.3 - Applicazione dell'interpolazione bilineare.

Definiti i 4vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1-r) \cdot (1-s)/4 \qquad (4.4)$$

$$h_2 = (1-r) \cdot (1+s)/4 \qquad (4.5)$$

$$h_3 = (1+r) \cdot (1+s)/4 \qquad (4.6)$$

$$h_4 = (1+r) \cdot (1-s)/4 \qquad (4.7)$$

Tra le coordinate x,y di un punto generico e le coordinate r, s dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^{4} h_{i} \cdot x_{i} = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot x_{1} + (1-r) \cdot (1+s) \cdot x_{2} + (1+r) \cdot (1+s) \cdot x_{3} + (1+r) \cdot (1-s) \cdot x_{4}]$$

$$(4.8)$$

$$4y = \sum_{i=1}^{4} h_{i} \cdot y_{i} = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot y_{1} + (1-r) \cdot (1+s) \cdot y_{2} + (1+r) \cdot (1+s) \cdot y_{3} + (1+r) \cdot (1-s) \cdot y_{4}]$$

$$(1+r) \cdot (1-s) \cdot y_{4}]$$

$$(4.9)$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di r ed s, si determinano i parametri a_g , F0, T_c^* dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^{4} h_i \cdot p_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot p_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot p_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot p_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot p_4]$$
 (4.10)

Dove *p* rappresenta il parametro cercato.

5 Pericolosità sismica di sito

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

5.1 Coefficienti sismici

I coefficienti sismici orizzontale K_h e verticale K_V dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (T_R) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_{R} = -\frac{V_{R}}{\ln(1 - P_{VR})}$$
 (5.1)

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R non può essere inferiore a 35 anni.

5.2 Stabilità dei pendii e fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti K_h e K_V sono così determinati:

$$K_{h} = {}_{s} \cdot \left(\frac{a_{\text{max}}}{g}\right) (5.2)$$

$$K_{v} = \pm 0.5 \cdot K_{h} \quad (5.3)$$

Con

 S_S coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito; a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

I valori di sono riportati nella tabella 5.1.

	Categoria di sottosuolo				
	A B, C, D, E				
	S	S			
0.2< ag(g) 0.4	0.30	0.28			
0.1< ag(g) 0.2	0.27	0.24			
ag(g) 0.1	0.20	0.20			

Tabella 5.1- Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\text{max}} = S_{S} \cdot S_{T} \cdot a_{g} \quad (5.4)$$

 S_S (effetto di amplificazione stratigrafica) (0.90 Ss 1.80) è funzione di F0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

 S_T (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

T1:
$$S_T = 1.0$$
; **T2**: $S_T = 1.20$; **T3**: $S_T = 1.2$; **T4**: $S_T = 1.40$.

5.3 Muri di sostegno

Per i muri di sostegno pendii i coefficienti K_h e K_V sono così determinati:

$$K_{h} = {}_{s} \cdot \left(\frac{a_{\text{max}}}{g}\right) (5.5)$$

$$K_{v} = \pm 0.5 \cdot K_{h} \quad (5.6)$$

Con:

m coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno assume valore unitario altrimenti assume i valori riportati nella Tabella 5.2.

	Categoria di sottosuolo					
	A B, C, D, E					
	m m					
$0.2 < a_g(g) \ 0.4$	0.31	0.31				
$0.1 < a_g(g) \ 0.2$	0.29	0.24				
ag(g) 0.1	0.20 0.18					

Tabella 5.2 - Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

 a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\text{max}} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.7)$$

S è il coefficiente comprendente l'effetto di amplificazione stratigrafica Ss e di amplificazione topografica ST.

 $\boldsymbol{a_g}$ accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

5.4 Paratie

In mancanza di studi specifici, a_h (accelerazione orizzontale) può essere legata all'accelerazione di picco a_{max} attesa nel volume di terreno significativo per l'opera mediante la relazione:

$$a_h = K_h \cdot g = \cdot \cdot a_{max}$$
 (5.8)

dove:

g è l'accelerazione di gravità;

 K_h è il coefficiente sismico in direzione orizzontale;

1 è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera. Può essere ricavato a partire dall'altezza complessiva **H** della paratia e dalla categoria di sottosuolo mediante il diagramma in Figura 5.1:

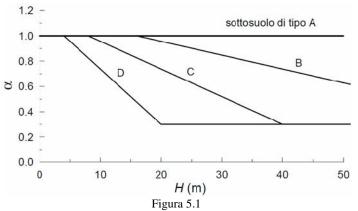


Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità .

Per la valutazione della spinta nelle condizioni di equilibrio limite passivo deve porsi = 1.

1 è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza. Il valore del coefficiente può essere ricavato dal diagramma riportato in Figura 5.2, in funzione del massimo spostamento u_s che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza.

Per
$$u_s = 0$$
 si ha $= 1$; $u_s \le 0.005 \cdot H$

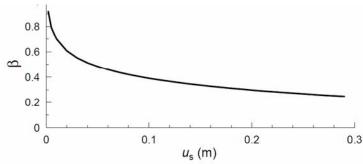


Figura 5.2 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento

L'accelerazione di picco $a_{\mbox{max}}$ è valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale, ovvero come

$$a_{\text{max}} = S_{\text{S}} \cdot S_{\text{T}} \cdot a_{\text{g}} \quad (5.9)$$

dove:

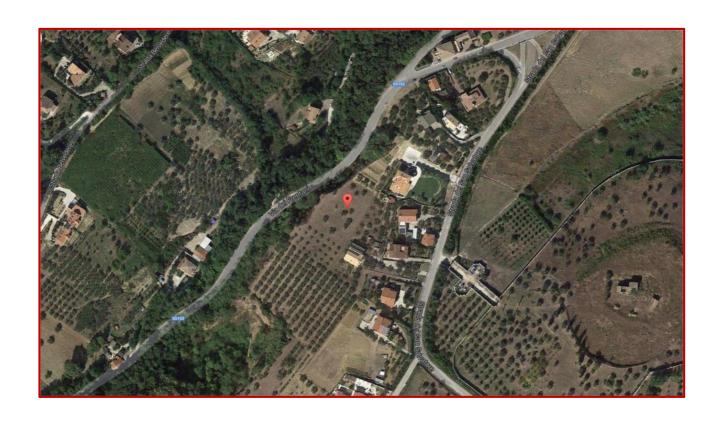
S è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T) , di cui al § 3.2.3.2;

 $\mathbf{a_g}$ è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Se
$$\cdot \le 0.2$$
 deve assumersi $K_h = 0.2 \cdot a_{max}/g$

RIFERIMENTO BASE SISMICA ST1 (App. 1)

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE



Vita nominale (Vn): 50 [anni]

Classe d'uso: II Coefficiente d'uso (Cu): 1

Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni] Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni] Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni] Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 42,37335 [°] Longitudine (WGS84): 14,17476 [°] Latitudine (ED50): 42,37432 [°] Longitudine (ED50): 14,17566 [°]

		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	1	
Punto	ID	Latitudine (ED50)	Longitudine (ED50)	Distanza
		[°]	[°]	[m]
1	26317	42,383030	14,167090	1197,18
2	26318	42,382610	14,234800	4944,53
3	26540	42,332620	14,234170	6679,70
4	26539	42,333030	14,166540	4652,10

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC08, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

\mathbf{r}			4		1
Р	п	n	IT.	ึ	

I unto I				
Stato limite	Tr	ag	F ₀	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0,049	2,449	0,281
SLD	50	0,061	2,470	0,307
SLV	475	0,158	2,467	0,355
SLC	975	0,207	2,485	0,358
Punto 2	1		-	-
Stato limite	Tr	ag	F ₀	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0,045	2,460	0,285
SLD	50	0,056	2,482	0,311
SLV	475	0,139	2,516	0,367
SLC	975	0,180	2,525	0,371
Punto 3	1	,	,	,
Stato limite	Tr	ag	F_0	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0,047	2,449	0,285
SLD	50	0,058	2,488	0,310
SLV	475	0,149	2,489	0,361
SLC	975	0,194	2,501	0,365
Punto 4	1			
Stato limite	Tr	ag	F_0	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0,051	2,452	0,280
SLD	50	0,063	2,455	0,307
SLV	475	0,164	2,462	0,354
SLC	975	0,214	2,485	0,359
Punto d'indagine				
Stato limite	Tr	ag	F ₀	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0,049	2,451	0,282
SLD	50	0,061	2,471	0,308
SLV	475	0,155	2,476	0,357
SLC	975	0,203	2,493	0,361

Coefficiente di smorzamento viscoso : Fattore di alterazione dello spettro elastico = $[10/(5+)]^{(1/2)}$:

5 % 1,000

Categoria sottosuolo:

B

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di _{Vs,30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero N_{SPT,30} maggiore di 50 nei terreni a grana grossa e c_{u,30} maggiore di 250 kPa nei terreni a grana fine).

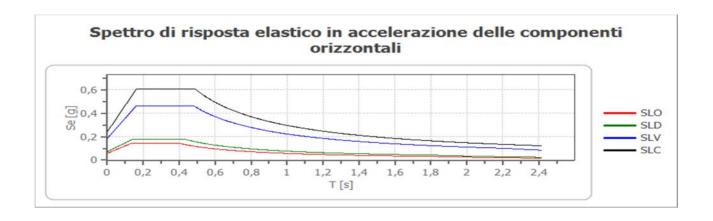
Categoria topografica:

T1

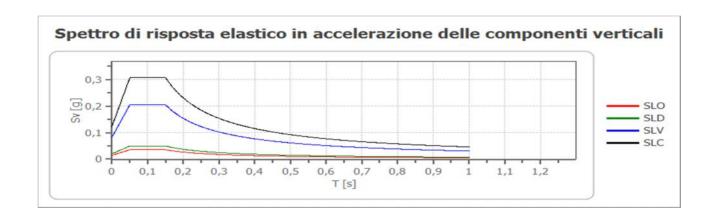
Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,012	0,015	0,045	0,068
kv	0,006	0,007	0,022	0,034
amax [m/s²]	0,573	0,712	1,828	2,386
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280



	cu	ag	F_0	Tc*	Ss	Cc	St	S		TB	TC	TD	Se(0)	Se(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO	1,0	0,049	2,451	0,282	1,200	1,420	1,000	1,200	1,000	0,134	0,401	1,795	0,058	0,143
SLD	1,0	0,061	2,471	0,308	1,200	1,390	1,000	1,200	1,000	0,143	0,428	1,842	0,073	0,179
SLV	1,0	0,155	2,476	0,357	1,200	1,350	1,000	1,200	1,000	0,161	0,482	2,221	0,186	0,461
SLC	1,0	0,203	2,493	0,361	1,200	1,350	1,000	1,200	1,000	0,162	0,487	2,411	0,243	0,607



	cu	ag	F ₀	Tc*	Ss	Cc	St	S		TB	TC	TD	Se(0)	Se(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO	1,0	0,049	2,451	0,282	1	1,420	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,015	0,036
SLD	1,0	0,061	2,471	0,308	1	1,390	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,020	0,050
SLV	1,0	0,155	2,476	0,357	1	1,350	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,083	0,205
SLC	1,0	0,203	2,493	0,361	1	1,350	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,123	0,307

RIFERIMENTO BASE SISMICA ST2 (App. 1)

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE



Vita nominale (Vn): 50 [anni]

Classe d'uso: II Coefficiente d'uso (Cu): 1

Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni] Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni] Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni] Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 42,33636 [°] Longitudine (WGS84): 14,16378 [°] Latitudine (ED50): 42,33733 [°] Longitudine (ED50): 14,16467 [°]

Punto	ID	Latitudine (ED50)	Longitudine (ED50)	Distanza
		[°]	[°]	[m]
1	26538	42,333400	14,098890	5424,58
2	26539	42,333030	14,166540	502,63
3	26317	42,383030	14,167090	5085,09
4	26316	42,383400	14,099380	7417,30

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC08, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

\mathbf{r}			4		1
Р	п	n	IT.	ึ	

I unto I				
Stato limite	Tr	ag	F_0	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0,054	2,455	0,280
SLD	50	0,068	2,439	0,300
SLV	475	0,174	2,463	0,351
SLC	975	0,226	2,493	0,360
Punto 2		-		-
Stato limite	Tr	ag	F ₀	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0,051	2,452	0,280
SLD	50	0,063	2,455	0,307
SLV	475	0,164	2,462	0,354
SLC	975	0,214	2,485	0,359
Punto 3		,	,	,
Stato limite	Tr	ag	F_0	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0,049	2,449	0,281
SLD	50	0,061	2,470	0,307
SLV	475	0,158	2,467	0,355
SLC	975	0,207	2,485	0,358
Punto 4				
Stato limite	Tr	ag	F_0	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0,053	2,453	0,279
SLD	50	0,066	2,443	0,299
SLV	475	0,170	2,454	0,351
SLC	975	0,222	2,486	0,357
Punto d'indagine				
Stato limite	Tr	ag	F ₀	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0,051	2,452	0,280
SLD	50	0,064	2,455	0,306
SLV	475	0,165	2,462	0,353
SLC	975	0,215	2,485	0,359
1	1	,		,

Coefficiente di smorzamento viscoso :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico = $[10/(5+)]^{(1/2)}$:

1,000

Categoria sottosuolo:

 \mathbf{C}

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s,30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero N_{SPT,30} compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa c_{u,30} compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).

Categoria topografica:

T1

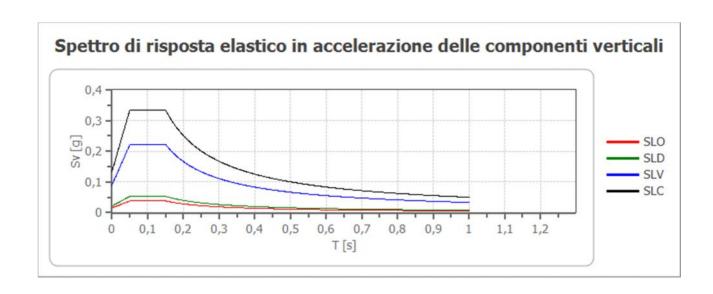
Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,019	0,058	0,083
kv	0,008	0,010	0,029	0,042
amax [m/s²]	0,750	0,937	2,357	2,909
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280



	cu	ag	F_0	Tc*	Ss	Cc	St	S		TB	TC	TD	Se(0)	Se(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO	1,0	0,051	2,452	0,280	1,500	1,600	1,000	1,500	1,000	0,149	0,448	1,804	0,077	0,188
SLD	1,0	0,064	2,455	0,306	1,500	1,550	1,000	1,500	1,000	0,158	0,474	1,855	0,096	0,235
SLV	1,0	0,165	2,462	0,353	1,460	1,480	1,000	1,460	1,000	0,174	0,523	2,258	0,240	0,592
SLC	1,0	0,215	2,485	0,359	1,380	1,470	1,000	1,380	1,000	0,176	0,528	2,460	0,297	0,737



	cu	ag	F_0	Tc*	Ss	Cc	St	S		TB	TC	TD	Se(0)	Se(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO	1,0	0,051	2,452	0,280	1	1,600	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,016	0,038
SLD	1,0	0,064	2,455	0,306	1	1,550	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,022	0,053
SLV	1,0	0,165	2,462	0,353	1	1,480	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,090	0,222
SLC	1,0	0,215	2,485	0,359	1	1,470	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,135	0,334

RIFERIMENTO BASE SISMICA ST3 (App. 1)

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE



Vita nominale (Vn): 50 [anni]

Classe d'uso:

Coefficiente d'uso (Cu): 1

Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni] Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni] Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni] Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 42,32491 [°]
Longitudine (WGS84): 14,08820 [°]
Latitudine (ED50): 42,32588 [°]
Longitudine (ED50): 14,08910 [°]

Punto	ID	Latitudine (ED50)	Longitudine (ED50)	Distanza
		[°]	[°]	[m]
1	26537	42,333740	14,031260	4834,08
2	26538	42,333400	14,098890	1160,56
3	26760	42,283400	14,098440	4785,86
4	26759	42.283730	14.030850	6701.75

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC08, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

D.		_	4.	_	1
	ш	n	L	1	

Punto I				
Stato limite	Tr	ag	F_0	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0,057	2,460	0,281
SLD	50	0,072	2,433	0,299
SLV	475	0,180	2,478	0,352
SLC	975	0,233	2,513	0,362
Punto 2		,	,	,
Stato limite	Tr	ag	F_0	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0,054	2,455	0,280
SLD	50	0,068	2,439	0,300
SLV	475	0,174	2,463	0,351
SLC	975	0,226	2,493	0,360
Punto 3		,	,	,
Stato limite	Tr	ag	F_0	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0,056	2,456	0,281
SLD	50	0,070	2,427	0,307
SLV	475	0,177	2,474	0,352
SLC	975	0,230	2,505	0,362
Punto 4		*	,	,
Stato limite	Tr	ag	F_0	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0,059	2,457	0,282
SLD	50	0,074	2,430	0,298
SLV	475	0,184	2,495	0,353
SLC	975	0,237	2,534	0,364
Punto d'indagine				
Stato limite	Tr	ag	F_0	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0,055	2,456	0,281
SLD	50	0,070	2,435	0,300
SLV	475	0,176	2,470	0,352
SLC	975	0,228	2,502	0,361

Coefficiente di smorzamento viscoso : Fattore di alterazione dello spettro elastico = $[10/(5+)]^{(1/2)}$:

5 %

1,000

Categoria sottosuolo:

 \mathbf{C}

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s,30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero N_{SPT,30} compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa c_{u,30} compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).

Categoria topografica:

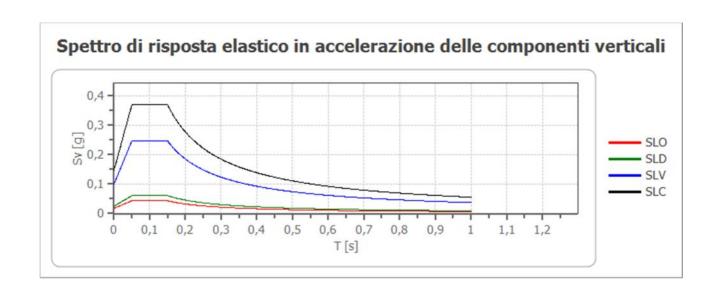
T1

Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,017	0,021	0,061	0,087
kv	0,008	0,010	0,030	0,044
amax [m/s²]	0,813	1,024	2,487	3,047
Beta	0,200	0.200	0,240	0.280



	cu	ag	F_0	Tc*	Ss	Cc	St	S		TB	TC	TD	Se(0)	Se(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO	1,0	0,055	2,456	0,281	1,500	1,600	1,000	1,500	1,000	0,150	0,449	1,821	0,083	0,204
SLD	1,0	0,070	2,435	0,300	1,500	1,560	1,000	1,500	1,000	0,156	0,469	1,878	0,104	0,254
SLV	1,0	0,176	2,470	0,352	1,440	1,480	1,000	1,440	1,000	0,173	0,520	2,304	0,254	0,626
SLC	1,0	0,228	2,502	0,361	1,360	1,470	1,000	1,360	1,000	0,177	0,531	2,514	0,311	0,777



	cu	ag	F ₀	Tc*	Ss	Cc	St	S		TB	TC	TD	Se(0)	Se(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO	1,0	0,055	2,456	0,281	1	1,600	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,018	0,043
SLD	1,0	0,070	2,435	0,300	1	1,560	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,025	0,060
SLV	1,0	0,176	2,470	0,352	1	1,480	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,100	0,246
SLC	1,0	0,228	2,502	0,361	1	1,470	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,147	0,369

RIFERIMENTO BASE SISMICA ST4 (App. 1)

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE



Vita nominale (Vn): 50 [anni]

Classe d'uso:

Coefficiente d'uso (Cu):

Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 42,38023 [°]
Longitudine (WGS84): 14,14372 [°]
Latitudine (ED50): 42,38120 [°]
Longitudine (ED50): 14,14462 [°]

Punto	ID	Latitudine (ED50)	Longitudine (ED50)	Distanza
		[°]	[°]	[m]
1	26316	42,383400	14,099380	3724,15
2	26317	42,383030	14,167090	1856,44
3	26539	42,333030	14,166540	5651,17
4	26538	42,333400	14,098890	6509,63

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC08, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr	ag	F_0	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0,053	2,453	0,279
SLD	50	0,066	2,443	0,299
SLV	475	0,170	2,454	0,351
SLC	975	0,222	2,486	0,357

Punto 2

State	limite	Tr	ag	F_0	Tc*
		[anni]	[g]	[-]	[s]
S	LO	30	0,049	2,449	0,281
S	LD	50	0,061	2,470	0,307
S	LV	475	0,158	2,467	0,355
S	SLC	975	0,207	2,485	0,358

Punto 3

Stato limite	Tr	ag	F_0	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0,051	2,452	0,280
SLD	50	0,063	2,455	0,307
SLV	475	0,164	2,462	0,354
SLC	975	0,214	2,485	0,359

Punto 4

Stato limite	Tr	ag	F ₀	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0,054	2,455	0,280
SLD	50	0,068	2,439	0,300
SLV	475	0,174	2,463	0,351
SLC	975	0,226	2,493	0,360

Punto d'indagine

I amo a maagiii				
Stato limite	Tr	ag	F_0	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0,051	2,451	0,280
SLD	50	0,064	2,457	0,304
SLV	475	0,164	2,463	0,353
SLC	975	0,214	2,486	0,358

Coefficiente di smorzamento viscoso :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico = $[10/(5+)]^{(1/2)}$:

1,000

Categoria sottosuolo:

 \mathbf{C}

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $N_{SPT,30}$ compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa $c_{u,30}$ compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).

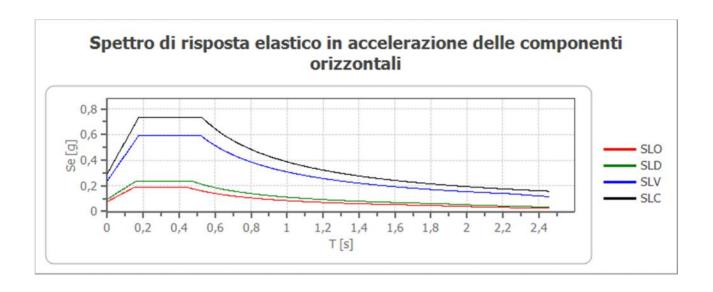
Categoria topografica:

T1

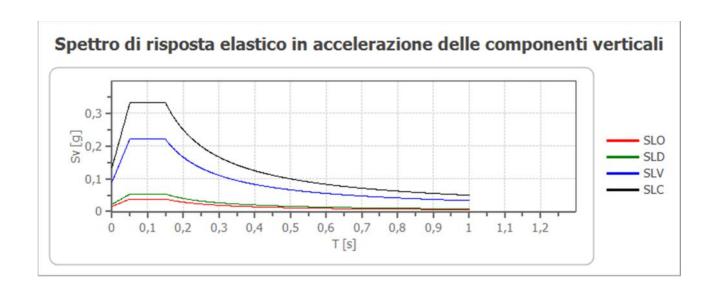
Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,019	0,057	0,083
kv	0,008	0,010	0,029	0,041
amax [m/s²]	0,749	0,936	2,349	2,897
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280



	cu	ag	F_0	Tc*	Ss	Cc	St	S		TB	TC	TD	Se(0)	Se(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO	1,0	0,051	2,451	0,280	1,500	1,600	1,000	1,500	1,000	0,150	0,449	1,804	0,076	0,187
SLD	1,0	0,064	2,457	0,304	1,500	1,560	1,000	1,500	1,000	0,158	0,474	1,854	0,095	0,234
SLV	1,0	0,164	2,463	0,353	1,460	1,480	1,000	1,460	1,000	0,174	0,523	2,256	0,240	0,590
SLC	1,0	0,214	2,486	0,358	1,380	1,470	1,000	1,380	1,000	0,176	0,527	2,456	0,295	0,734



	cu	ag	F ₀	Tc*	Ss	Cc	St	S		TB	TC	TD	Se(0)	Se(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO	1,0	0,051	2,451	0,280	1	1,600	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,016	0,038
SLD	1,0	0,064	2,457	0,304	1	1,560	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,022	0,053
SLV	1,0	0,164	2,463	0,353	1	1,480	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,090	0,221
SLC	1,0	0,214	2,486	0,358	1	1,470	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,134	0,332