

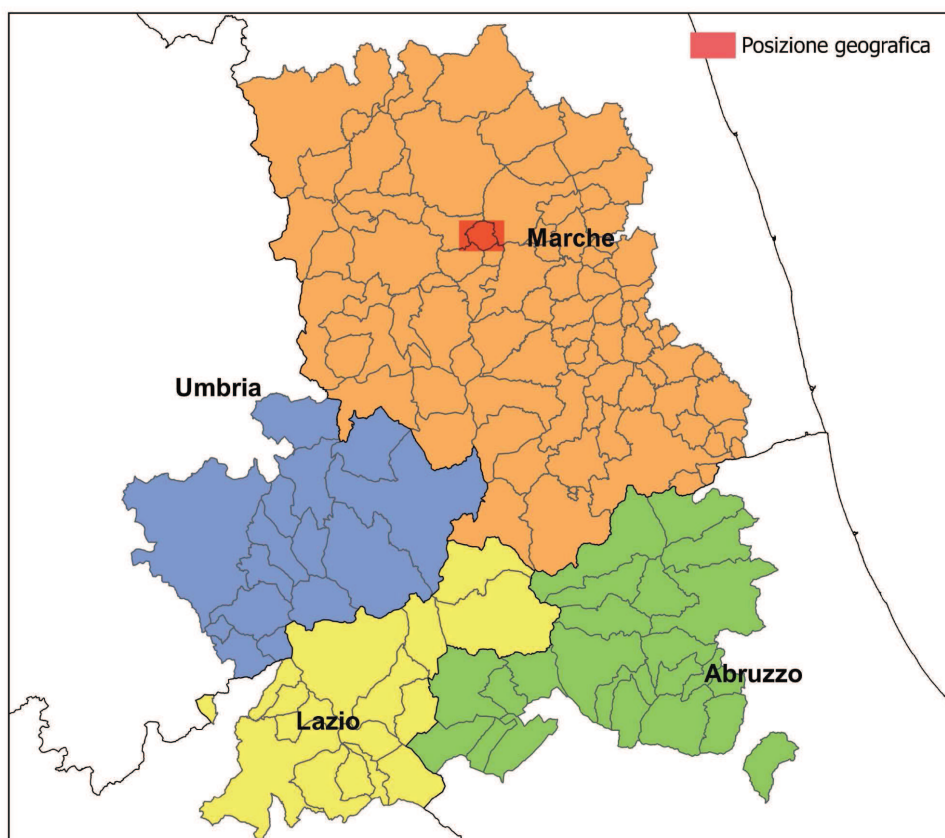


Microzonazione Sismica di Livello 1 e 3 del Comune di Belforte del Chienti ai sensi dell'Ordinanza del Commissario Straordinario n. 24 registrata il 15 maggio 2017 al n. 1065

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione

### Regione Marche Comune di Belforte del Chienti



Soggetto Realizzatore  
Dott. Geol. Ivan Losego

Data e revisione

Collaboratori:  
Dott. Geol. Piergiovanni Valentini  
Dott. Geol. Sandro Venanzi

15/01/2018

**CENTROMS**  
CENTRO PER LA  
MICROZONAZIONE SISMICA  
E LE SUE APPLICAZIONI

## INDICE

<b>Introduzione</b>	pag . 2
1.1 Riferimenti normativi e specifiche tecniche	p. 2
1.2 Selezione e delimitazione delle aree di indagine	p. 3
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento	p. 4
3. Assetto geologico-strutturale e geomorfologico dell'area	p. 11
3.1 Caratteristiche geologiche	p. 11
3.2 Caratteristiche geomorfologiche	p. 14
4. Modello del sottosuolo	p. 18
4.1 Dati geologico stratigrafici	p. 18
4.2 Dati geologico strutturali	p. 23
5 Metodologia di lavoro	p. 24
6. Dati geotecnici e geofisici	p. 26
6.1 Dati geotecnici	p. 26
6.2 Dati geofisici	p. 40
7 Interpretazioni ed incertezze	p. 42
8 Dati di nuova acquisizione e descrizione piano di indagini	p. 48
8.1 Caratteristica delle strumentazioni utilizzate	p. 48
9 Carta delle frequenze naturali dei terreni	p. 59
10 Caratteristiche sismografiche delle zone stabili	p. 59
11 Analisi di risposta sismica locale 2D	p. 74
12 Considerazioni conclusive	p. 81
Bibliografia	p. 82

## **INTRODUZIONE**

La presente relazione illustra i risultati dello Studio di Microzonazione Sismica (MS) – Livello I° e III°, ai sensi dell'Ordinanza n. 24 del 12/05/2017 del Commissario Straordinario per la Ricostruzione, effettuato tra i mesi di luglio 2017 e gennaio 2018 a seguito dell'incarico conferito al sottoscritto Dott. Geol. Ivan Losego (Soggetto Realizzatore) dal Comune di Belforte del Chienti (MC) Ente Attuatore.

Lo studio di Microzonazione Sismica di Livello I° e III° rappresenta un articolato e complesso processo di acquisizione dati generali e specifici sulla base dei quali definire una zonizzazione sismica, per tutte le aree comunali stabilite dall'Amministrazione secondo quanto indicato dal Centro MS, di tipo qualitativo nell'ambito degli studi preliminari (I° livello) e di tipo quantitativo per le indagini e conclusioni di III° livello.

Più in dettaglio si evidenzia che lo studio di I° livello, propedeutico a quello di III°, è consistito in una raccolta organica e ragionata di dati di natura geologico-stratigrafica, geofisica e geotecnica di natura bibliografica e di personale produzione a seguito dell'attività professionale svolta nel territorio nonché delle informazioni preesistenti reperibili presso l'UTC al fine di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico. Tali microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), delineate sulla base dei dati pregressi, sono poi state definitivamente individuate in conseguenza alle indagini specifiche effettuate, essenzialmente consistite in una perforazione di sondaggio attrezzata per D-H, prove MASW ed HVSR, i cui dati sono stati utilizzati per analisi numeriche della risposta sismica locale mediante modellazione sismostratigrafica con uso del software STRATA.

### **1.1 RIFERIMENTI NORMATIVI E SPECIFICHE TECNICHE**

Lo studio è stato condotto secondo le specifiche tecniche contenute nei seguenti testi di riferimento:

- OPCM n. 4007/12 del 29.02.2012 pubblicata in G.U. del 07.03.2012 che disciplina i contributi economici per gli interventi di prevenzione del rischio sismico e fa riferimento alla precedente:

- OPCM n. 3907 del 13.11.2010 pubblicata in G.U. del 01.12.2010 (modificata con OPCM n. 3925 del 23.02.11), previsti dall'Art. 11 del decreto legge 28 aprile 2009 n.39, convertito, con modificazioni, dalla Legge n. 77 del 24/06/2009;

- Decreto del Direttore del Dipartimento per le Politiche Integrate di Sicurezza e per la Protezione Civile n. 90/DPS del 19 Novembre 2012 recante disposizioni dell'OPCM n. 4007/12, "Individuazione dei territori della Regione Marche dove attuare il programma degli studi e indagini di microzonazione sismica". II° annualità.

Riparto dei fondi per la II° annualità con impegno di spesa;

- Delibera Regionale Marche n. 1/AGP\_DPS del 7 Gennaio 2013 -OPCM n. 4007/12, Indagini di microzonazione sismica e analisi di condizioni limite per l'emergenza. Approvazione degli schemi di contratto; - Indirizzi e Criteri generali per la Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (ICMS) approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle regioni e delle Province autonome;

- Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica, Versione 2.0 beta-II, Giugno 2012 - Commissione Tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907;

- Standard Versione 4.0b e s.m.i.

- Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione", AA.VV., Pàtron Editore, 2011.

## **1.2 SELEZIONE E DELIMITAZIONE AREE DI INDAGINE**

Le aree di indagine sono state scelte e localizzate in corrispondenza delle aree urbanizzate delimitata in accordo con l'UTC del Comune di Belforte del Chienti (in base a quanto indicato dal Centro MS).

Risulta ormai largamente riconosciuto che la microzonazione sismica (MZS) è uno strumento molto utile per il governo del territorio, per la progettazione e per la pianificazione per l'emergenza ai fini della prevenzione sismica e della valutazione del rischio sismico.

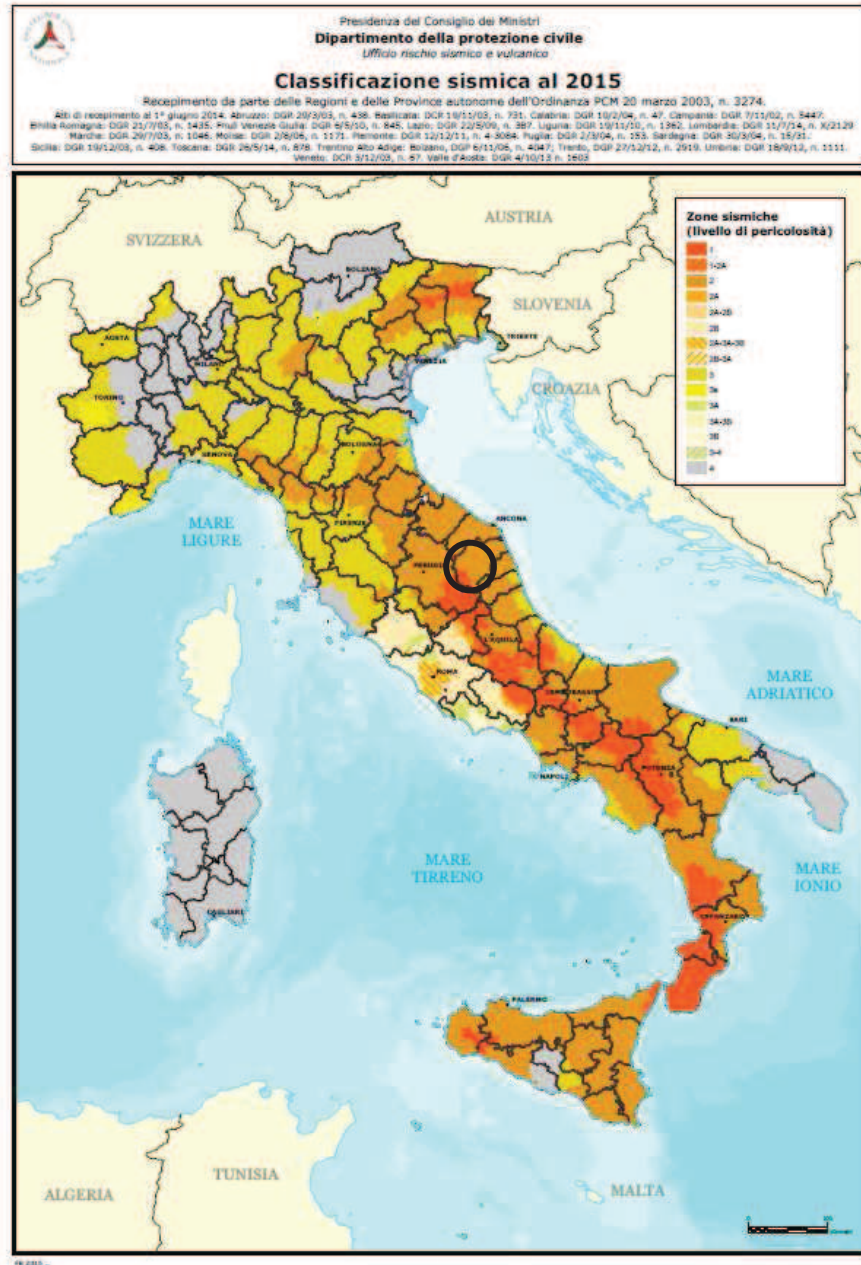


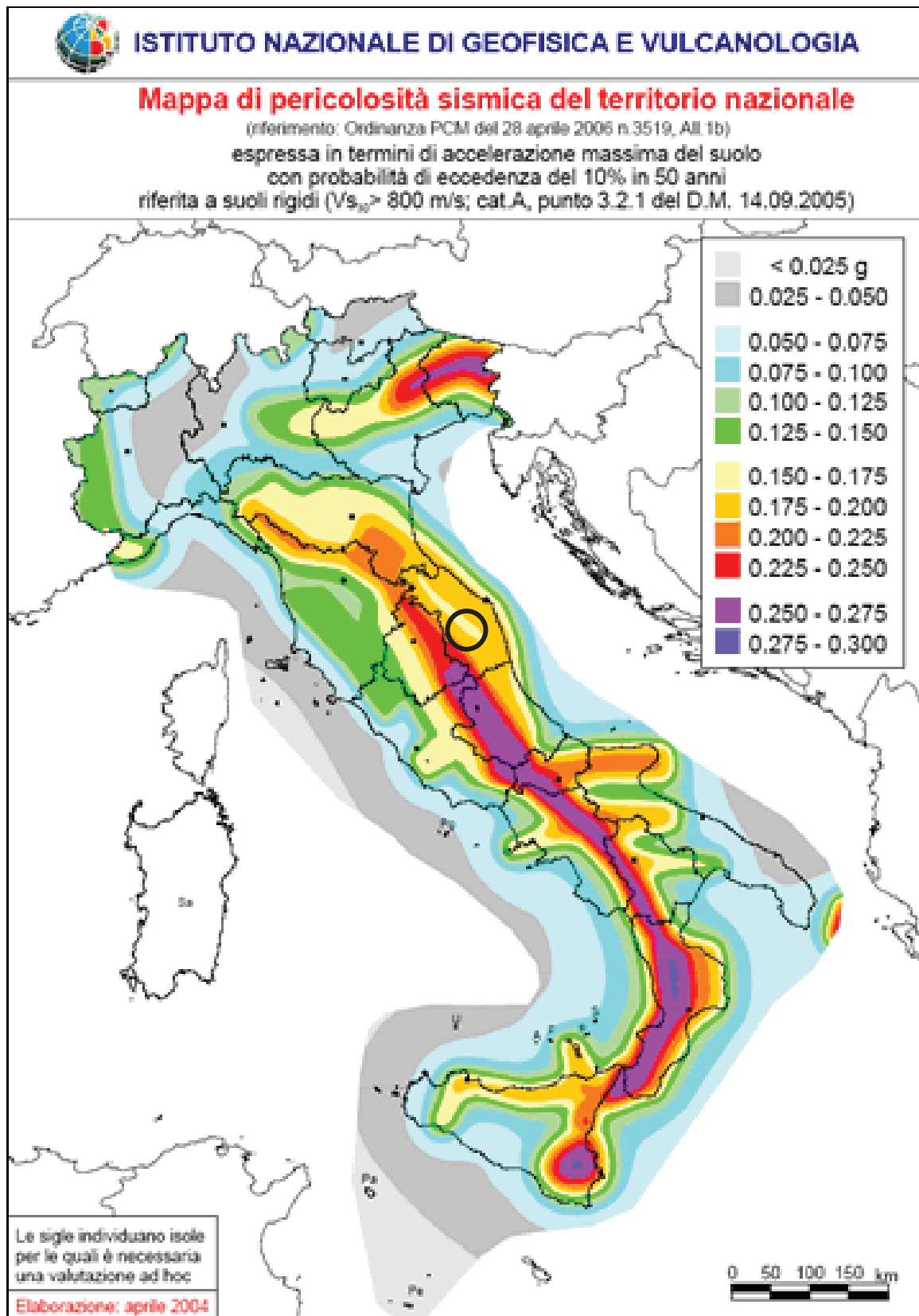
La microzonazione sismica ha infatti lo scopo di individuare e riconoscere, ad una scala sufficientemente di dettaglio (comunale o sub comunale), le condizioni geologiche locali che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso (ampiezza dello scuotimento) o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture

## **2 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO**

Il territorio del Comune di Belforte del Chienti è stato classificato di seconda categoria ai sensi del decreto del 10.02.1983, pubblicato sulla G.U. n° 80 del 23.03.1983 (S=9,C=0.07, D.M. 03.03.1975) e confermato dalla Nuova Classificazione Sismica del territorio nazionale effettuata dal Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Servizio Sismico Nazionale (marzo 2003).

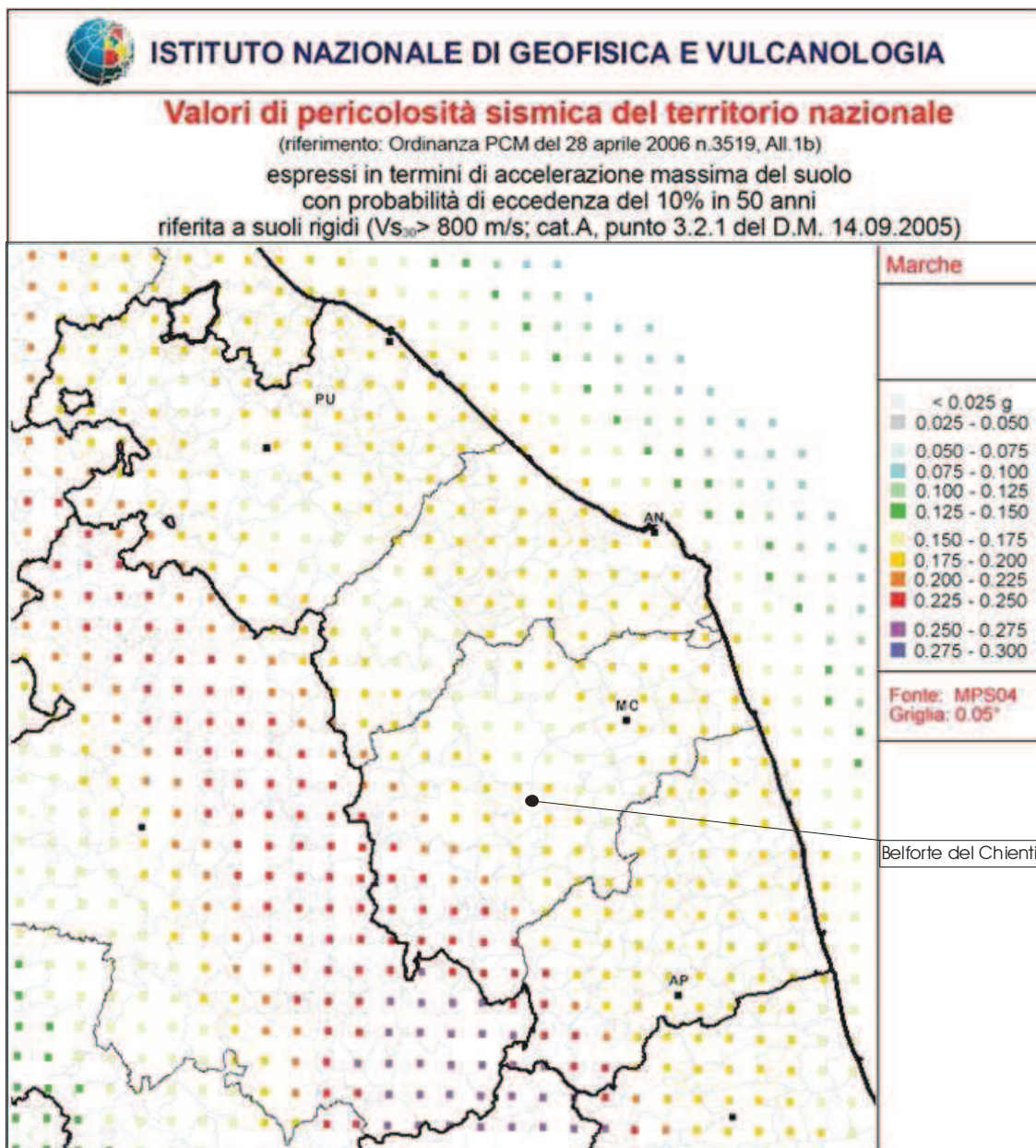
Con l'Ordinanza 3274 del 20.03.2003, recepita dalla regione Marche con DGR 1046 del 29.07.2003, aggiornata con DGR136 del 17.02.2004, include il Comune di Belforte del Chienti nella zona 2.





I valori della pericolosità sismica di base del territorio di Belforte del Chienti espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_s > 800$  m/s, cat. A, punto 3.2.1 DM 14/09/2005), risultano compresi tra 0.175g-0.200g (Zona 2).

[http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa\\_ps\\_apr04/marche.html](http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/marche.html)



In seguito, con l'Ordinanza 3907 del 13.11.2010 – allegato 7, si assegna al Comune di Belforte del Chienti un valore di base di accelerazione massima del suolo pari a  $ag$  **0,177434**.

Il sito in esame possiede una sismicità storica che è stata ricostruita attingendo ai dati del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015 (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian

Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>). Il catalogo elenca i terremoti che hanno interessato Belforte del Chienti dal 1741:

## File downloaded from CPTI15 - DBMI15

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Seismic history of Belforte del Chienti

### Belforte del Chienti

PlaceID IT\_51574

Coordinate (lat, lon) 43.163, 13.238

Comune (ISTAT 2015) Belforte del Chienti

Provincia Macerata

Regione Marche

Numero di eventi riportati 54

Effetti	In occasione del terremoto del						
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Area epicentrale	NMDP	Io Mw
	Mi	Se					
6-7	1741	04	24	09	Fabrianese	135	9 6.17
	20						
4	1795	06	19	23	Maceratese	17	6 4.70
	30						
8-9	1799	07	28	22	Appennino marchigiano	70	9 6.18
	05						
NF	1899	02	07	12	Appennino umbro-marchigiano	49	4 4.04
	35	3					
3	1899	06	22	13	Corridonia	30	5 4.08
	20						
6-7	1936	12	09	07	Caldarola	31	6-7 4.76
	34						
5	1943	10	03	08	Ascolano	170	8 5.67
	28	2					

3	1948 01 10	Loro Piceno	21	4-5 3.93	
NF	1958 06 24 06 07	Aquilano	222	7 5.04	
4-5	1960 02 24 01 51	Appennino umbro-marchigiano	25	5 4.32	
4	1962 10 05 23 00 4	Appennino maceratese	16	5-6 4.35	
4	1963 01 25 05 27	Monti Sibillini	30	5 4.31	
2	1969 09 26 23 40 3	Teramano	97	5 4.39	
4	1970 09 07 14 02 2	Appennino umbro-marchigiano	56	5 4.35	
4	1971 02 11 18 49 2	Valle del Chiascio	71	6 4.61	
3	1971 02 12 04 54 5	Valle del Chiascio	47	7 4.89	
3	1971 04 02 01 43 5	Valnerina	68	6 4.50	
4-5	1971 10 04 16 43 3	Valnerina	43	5-6 4.51	
4	1972 02 04 02 42 1	Costa anconetana	75	4.57	
3	1972 02 04 09 18 3	Costa anconetana	56	4.36	
7	1972 11 26 16 03	Marche meridionali	73	8 5.48	
5	1980 02 28 21 04 4	Valnerina	146	6 4.97	
5	1980 05 24 20 16 0	Monti Sibillini	58	5-6 4.48	
NF	1980 11 23 18 34 5	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.81	
4	1987 07 03 10 21 5	Costa Marchigiana	359	7 5.06	
4-5	1989 09 11 02 46 2	Marche meridionali	60	5 4.04	
3	1993 06 04 21 36 5	Valle del Topino	90	5-6 4.39	
3	1993 06 05 19 16 1	Valle del Topino	326	6 4.72	



4-5	1995 12 30 15 22 0	Fermano	106	5 4.19
4	1996 01 01 12 21 4	Maceratese	91	5-6 4.20
4-5	1996 01 22 18 37 4	Fermano	76	5 3.96
3	1997 09 07 23 28 0	Appennino umbro-marchigiano	57	5-6 4.19
2-3	1997 09 10 06 46 5	Appennino umbro-marchigiano	47	5 3.85
6	1997 09 26 00 33 1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8 5.66
6-7	1997 09 26 09 40 2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9 5.97
4-5	1997 10 03 08 55 2	Appennino umbro-marchigiano	490	5.22
5	1997 10 06 23 24 5	Appennino umbro-marchigiano	437	5.47
4-5	1997 10 14 15 23 1	Valnerina	786	5.62
4-5	1997 10 23 08 58 4	Appennino umbro-marchigiano	56	3.86
4-5	1997 11 09 19 07 3	Valnerina	180	4.87
4	1998 02 07 00 59 4	Appennino umbro-marchigiano	62	4.41
4	1998 03 21 16 45 0	Appennino umbro-marchigiano	141	5.00
5	1998 03 26 16 26 1	Appennino umbro-marchigiano	409	5.26
4	1998 04 05 15 52 2	Appennino umbro-marchigiano	395	4.78
5	1998 06 02 23 11 2	Appennino umbro-marchigiano	83	4.25
4-5	1999 11 29 03 20 3	Monti della Laga	62	5-6 4.15
2	2000 09 02 05 17 0	Appennino umbro-marchigiano	115	5 4.40
3-4	2000 10 24 07 52 2	Monti Sibillini	65	5 4.11
NF	2003 05 25 17 15 1	Ascolano	88	4-5 3.81

NF	2004 12 09 02 44 2	Teramano	213	5 4.09	
3	2005 04 12 00 31 5	Maceratese	131	4 3.74	
3	2005 12 15 13 28 3	Val Nerina	350	5 4.14	
3-4	2006 04 10 19 03 3	Maceratese	211	5 4.06	
3	2006 10 21 07 04 1	Anconetano	287	5 4.21	

Dai dati del catalogo si individua che il terremoto più forte che ha interessato l'area è quello del 1799 con Mw epicentrale pari a 6.18, mentre il risentimento locale è stato di Intensità 8-9.

Ancora da definire perché in fase di studio sono gli effetti dei sismi dell'estate-autunno 2016, con magnitudo nell'area dell'epicentro di 6.5, che hanno interessato con danni diversi i nuclei abitati di Belforte del Chienti.

Nella Zonazione sismogenetica ZS9 del territorio italiano l'area è inclusa nella Zona sismogenetica 918 Medio Marchigiana/Abruzzese, dove convivono modi di fagliazione diversi, compressivi a NW e distensivi a SE; nella Zona 918 il valore della Magnitudo Massima attesa MWmax è 6.37.

Dai dati del catalogo si evince che le azioni sismiche di una certa rilevanza provengono da fonti esterne al territorio di Belforte del Chienti come le sorgenti sismogenetiche dell'Appennino Umbro Marchigiano e delle Marche Meridionali (Dorsale Marchigiana e Ascolano)

### **3. ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA**

#### **3.1 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE**

Il territorio comunale di Belforte del Chienti ricade nella porzione occidentale del tratto apicale del " Bacino della Laga" (bacino marchigiano esterno) che è compreso all'incirca tra la dorsale marchigiana (ad ovest) e la dorsale minore Villa Rofanello - Taccoli (ad est) con delimitazione, a sud, dalla linea tettonica trasversale torrenti Fiastrone - Fiastrella.

L'assetto strutturale va inquadrato nell'ambito dell'area marchigiana che è caratterizzata da una notevole complessità geologica perché interessata da formazioni ed unità provenienti da domini paleogeografici e strutturali anche molto diversi; in particolare si individuano due settori principali: l'Appennino Umbro-Marchigiano, in cui affiorano alcune tra le formazioni più antiche che si rinvengono nella catena appenninica, e l'Avanfossa Marchigiana

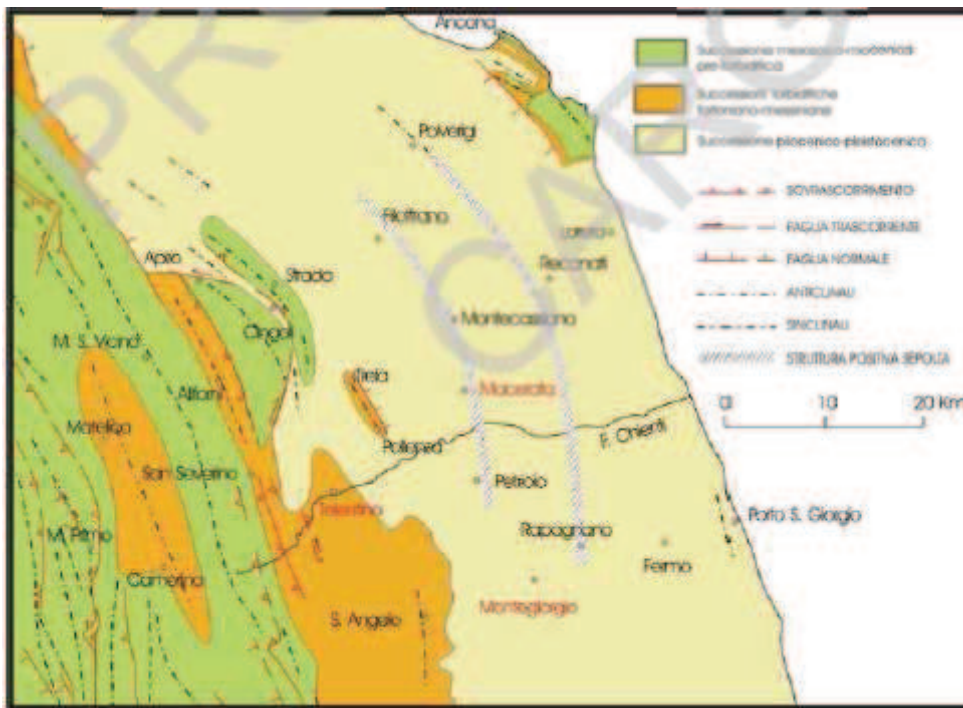
L'Umbro - Marchigiano è un settore paleo-geografico che, a partire dal Giurassico, si è differenziato dalla Piattaforma carbonatica laziale - abruzzese in seguito all'azione di un'importante fase tettonica.

La successione sedimentaria affiorante è rappresentata da unità della Serie Umbro Marchigiana pressoché continua dal Trias superiore al Neogene, dove nell'area centrale è ricoperta in discordanza da sedimenti marini depositatisi dal Pliocene medio al Pleistocene inferiore.

La sedimentazione nel Bacino Umbro Marchigiano è prevalentemente calcarea nell'intervallo Trias-Eocene mentre dall'Oligocene diventa di tipo prevalentemente terrigeno.

La fase tettonica compressiva, iniziata nel Tortoniano, ha determinato notevoli raccorciamenti ed ispessimenti in corrispondenza della catena appenninica, formando complessi edifici a thrust con vergenza orientale; tali strutture compressive, accompagnate dalla formazione di bacini di avanfossa, si sono progressivamente spostate nel tempo da W verso E modificando la morfologia del fondo marino (sistema catena avanfossa avanpaese). Nel miocene il bacino orientato in senso appenninico assume le caratteristiche di un'avanfossa torbidityca migrante verso est a spese dell'avanpaese e posta sul fronte della catena appenninica in formazione.

Il bacino marchigiano esterno, ove ricade l'area in esame, assume dal Messiniano le caratteristiche di una avanfossa torbidityca, colmata dalla Formazione della Laga. Al passaggio Messiniano-Pliocene viene coinvolto nella strutturazione del sistema a thrust appenninico.



Schema tettonico regionale (da Progetto CARG Foglio 314 Montegiorgio)

La sedimentazione di tipo marino viene chiusa dalla deposizione del ciclo plio-pleistocenico i cui materiali poggiano in discordanza sul substrato piegato ed eroso costituito dalla Formazione della Laga e dalle Argille a Colombacci.

La fase compressiva termina nel Pliocene inferiore nell'ambito della porzione interna della catena (Calamita et alii, 1990), mentre continua lungo la costa adriatica (Dramis et alii, 2002), seguita a sua volta da una fase tettonica distensiva, che ha determinato lo sviluppo di faglie normali di notevole rigetto, a principale direzione appenninica e ribassanti verso W.

Nel Pleistocene inferiore un generale sollevamento ha determinato un forte approfondimento dei sistemi idrografici (Conti et alii, 1983; Gentili & Pambianchi, 1987); infine durante tutto il Quaternario domina la morfogenesi da parte degli agenti esogeni, che si sovrappone ai processi tettonici e sedimentari (Passeri, 1994).

Nelle aree in esame successivamente alla definitiva emersione si sono sedimentate le coperture detritiche di origine continentale.

Le alluvioni terrazzate vengono suddivise in quattro ordini.

Primo e secondo ordine depositatasi nel Pleistocene inferiore medio, terzo ordine nel Pleistocene superiore e quarto ordine nell'Olocene.

### 3.2 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

Il territorio del comune di Belforte del Chienti, che non presenta elementi geomorfologici da considerare "emergenze" di particolare rilevanza, è caratterizzato, nell'insieme, da una generale corrispondenza tra assetto strutturale e morfologia.

I principali rilievi collinari sono sostanzialmente modellati sui terreni più resistenti all'erosione (arenarie massive o in orizzonti, marne, gessi lapidei, lembi di alluvioni antiche) specialmente in corrispondenza di assetti strutturali favorevoli quali pieghe anticlinali, zone tettonicamente rialzate, monoclinali, ecc.

Le conche, le valli fluviali e torrentizie si rinvengono invece in corrispondenza di allineamenti e fasce preferenziali quali allineamenti di faglie, zone rimboscate, terreni prevalentemente argillosi più erodibili.

Il territorio comunale, sotto l'aspetto morfo-strutturale, può essere suddiviso in due unità che ne riassumono gli aspetti più salienti:

- le pianure alluvionali lungo il F. Chienti ed il T. Fiastrone;
- il complesso orografico collinare.

Relativamente alla prima unità, è tesi comune che i corsi d'acqua principali (fiume Chienti e torrente Fiastrone) e le loro relative valli si sono impostati lungo allineamenti tettonici che hanno determinato l'abbassamento di tali settori richiamando le acque correnti superficiali favorendo lo sviluppo di un reticolo idrografico, guidato anche dal fattore litologico, sempre più evoluto e con "pattern sub-dentritico".

L'azione erosiva e smantellatrice delle acque correnti superficiali è favorita anche dall'interazione tra sollevamento dell'area ed oscillazioni climatiche quaternarie con approfondimento verticale, generalizzato del reticolo di drenaggio, specie durante le fasi interglaciali.

In questi periodi, in cui doveva essere presente un'estesa copertura vegetale (clima caldo-umido) che stabilizzava i versanti, le acque poco cariche di detrito potevano esplicare il loro potere erosivo sia sui sedimenti di copertura (depositi alluvionali) sia sui terreni del substrato.

Durante le fasi fredde (glaciali e periglaciali) le ingenti quantità di detrito prodotte per fenomeni di gelifrazione, provenienti dai versanti ormai spogli, causano una generale

aggradazione all'interno dell'alveo e permettendo, quindi, la messa in posto di estesi depositi alluvionali che al cessare di tali condizioni venivano fortemente incisi e terrazzati dall'erosione lineare.

Le alluvioni attuali e sub-attuali del F. Chienti, che in questo tratto presenta un andamento meandriforme attualmente tendente ad "incassarsi" ed incidere localmente il substrato, presentano esempi di "meandro abbandonato" e taglio di "meandro".

E' piuttosto evidente l'azione erosiva attuale lungo gli alvei dei corsi d'acqua i cui talweg sono localmente ubicati a vari metri di profondità rispetto al substrato ed alle più recenti coltri alluvionali.

Tale tendenza erosiva, che soprattutto in corrispondenza di meandri molto stretti ed incassati ma anche nell'ambito di tratti relativamente lineari, produce anche fenomeni di scalzamento laterale o di sponda, è da attribuire a fattori concomitanti riconducibili in maniera parziale, ma comunque significativa, agli interventi antropici proprio sui fondi vallivi.

L'estrazione di inerti in alveo, effettuata in passato in maniera selvaggia senza un'adeguata programmazione ed in assenza di studi approfonditi sul sistema fluviale, la costruzione di briglie e di invasi idroelettrici, sono stati fattori determinanti nella variazione della dinamica fluviale e del trasporto solido innescando tali fenomeni deleteri.

I depositi alluvionali terrazzati del III ordine del fiume Chienti sono piuttosto estesi e potenti e caratterizzano quindi morfologicamente il paesaggio mentre i depositi alluvionali terrazzati più antichi (pleistocene medio, medio-sup. - I e II ordine) sono invece ridotti a lembi isolati, più o meno estesi, generalmente sospesi sul fondo valle attuale e sui terrazzi più giovani.

Proprio su tali depositi del III ordine, che presentano superfici sub-pianeggianti e, ad eccezione di alcune delle aree di bordo, sono quindi caratterizzati da una sicura stabilità, insistono i principali nuclei abitativi di fondovalle.

Sulle alluvioni più antiche, meno estese ed essenzialmente ubicate in zone rilevate, in generale con abitazioni sparse, sorge tuttavia il nucleo storico di Belforte del Chienti.

Le attuali valli fluviali, nell'ambito del territorio comunale, presentano in generale sezioni trasversali piuttosto ampie raccordandosi in genere dolcemente con i versanti



colluviali ad esclusione di quei tratti interessati da forte approfondimento lineare ed erosione laterale.

E' evidente, pertanto, che la dinamica fluviale, interagendo costantemente con i terreni del suo ambito, pone problemi in alcune zone in ordine ai fenomeni erosivi che essa comporta ed alle conseguenti condizioni di effettiva instabilità delle scarpate o comunque di elevata instabilità potenziale delle stesse.

Oltre a ciò, più in generale, è evidente che la stessa dinamica fluviale interagisce con i suoi terreni di pertinenza in ordine ai possibili fenomeni di esondazione che interessano comunque, con diversi tempi di ritorno, le superfici terrazzate dei più recenti depositi del IV ordine.

La seconda unità, comprendente la restante porzione del territorio comunale, è a prevalente morfologia collinare e con litologia essenzialmente marnoso-argilloso-arenacea.

I versanti non sono in genere regolari per due ordini di fattori rappresentati dalle caratteristiche litologiche e dai vari processi morfogenetici connessi principalmente all'azione della forza di gravità.

L'importanza del primo fattore è evidente lungo quei pendii in cui si alternano gli affioramenti, o sub-affioramenti, del substrato nella sua componente arenacea e pelitica.

Con una disposizione degli strati a reggipoggio, l'alternanza di orizzonti arenacei e di quelli pelitici determina rotture di pendio corrispondenti a scarpate di evidente origine lito-strutturale modellate sui terreni arenacei complessivamente più resistenti all'azione di degradazione ad opera degli agenti esogeni rispetto alle unità argillose.

Si tratta, in definitiva, di fenomeni in cui l'alterazione e l'erosione selettive assumono un ruolo preponderante.

Il versante che si estende nella zona da Villa S. Giorgio a Madonna d'Antegiano (estrema porzione sud-orientale) è un esempio di pendio in cui il fattore litologico ed anche strutturale (monoclinale) è determinante per la conformazione dell'area.

Le porzioni di versante non uniformi, per processi legati all'azione della forza di gravità responsabile di vari tipi di dissesti, sono concentrate soprattutto nelle aree ricoperte da depositi eluvio-colluviali di spessore consistente.

Le scadenti caratteristiche fisico-meccaniche di tali terreni, essenzialmente rappresentati da limi ed argille a variabile frazione sabbiosa, eventualmente con clasti anche più grossolani generalmente in quantità non rilevante, accentuate da un generale stato di saturazione idrica, hanno favorito il manifestarsi di numerosi e talvolta diffusi dissesti (fenomeni franosi, deformazioni lente, ecc.).

Si tratta essenzialmente di frane classificabili scorrimenti traslativi, talora roto-traslativi, in qualche caso evoluti in colamenti nel tratto terminale delle stesse.

Si rinvencono inoltre fenomeni deformativi di tipo plastico e soliflussi nonché piccole frane, a luoghi anche piuttosto diffuse lungo le sponde degli alvei fluvio-torrentizi e dei fossi minori, piuttosto incisi, sempre a cinematica roto-traslative, subordinatamente di crollo in presenza di terreni ghiaiosi o lapidei.

Una zona a forte grado d'instabilità potenziale, con fratture di trazione alla sommità di parte della scarpata modellata sui litotipi argillosi sovrastanti l'orizzonte lapideo, ad esempio, è rappresentata dal sito su cui insiste la vecchia cava dimessa lungo il versante meridionale a valle di via S. Lucia (a sud-ovest del nucleo storico di Belforte).

Con pareti sui terreni gessosi lapidei pressoché verticali, in presenza di fratturazione subverticale, è evidente la condizione di marcata instabilità potenziale della scarpata che potrebbe subire crolli e per la quale, per non sussistendo pericolo d'interferenza negativa immediata con la stabilità del tratto di versante sommitale su cui insistono alcune abitazioni, dovrebbe essere comunque predisposto e realizzato un opportuno intervento di messa in sicurezza.

Un altro tratto di scarpata, modellata sui terreni arenacei ed arenaceo-pelitici in corrispondenza della rupe di Borgo S. Maria, in passato oggetto di vari distacchi che ne avevano determinato un significativo arretramento mettendo in pericolo la stabilità dei fabbricati sovrastanti, è già stato messo in sicurezza per una lunga porzione mentre la restante verrà sistemata in breve tempo.

Relativamente all'azione delle acque correnti superficiali, nel caso specifico unitamente a favorevoli condizioni lito-strutturali che ne hanno determinato l'infiltrazione in profondità, si segnala la presenza, lungo il versante settentrionale del rilievo di via S. Lucia, di due doline delle quali, i più anziani del paese, non ricordano modificazioni.

La ricostruzione verosimile dell'andamento nel sottosuolo degli orizzonti che costituiscono la formazione gessoso-solfifera, sulla base del rilevamento geologico e dei dati di sondaggio acquisiti, suggeriscono come probabile la formazione delle due doline dalla concomitanza di favorevoli condizioni lito-strutturali (roccia gessosa lapidea fratturata e, nel livello superiore, anche a carattere brecciato) che hanno consentito la progressiva evoluzione di un piccolo sistema di richiamo centripeto delle acque di pioggia magari avviato come conseguenza dell'azione erosiva nell'ambito della dinamica fluviale medio-pleistocenica.

Relativamente all'aspetto antropico, oltre alle già segnalate opere in ambito fluviale (dighe di ritenuta ed invasi artificiali quali il lago di S. Maria, ecc.), si segnala che la realizzazione di infrastrutture, opere di urbanizzazione, pratiche agricole ed edificazioni in genere hanno parzialmente modificato alcune morfologie originarie riducendo di fatto la possibilità di definire, con maggiore esattezza, i limiti di alcune aree magari dissestate come anche di alcuni terrazzi fluviali, ecc.

## **4. MODELLO DEL SOTTOSUOLO**

### **4.1 DATI GEOLOGICO-STRATIGRAFICI**

I litotipi affioranti appartengono in gran parte alla Formazione della Laga, potente sequenza torbidityca depostasi a partire dal Messiniano nell'omonimo bacino.

La successione litostratigrafica ricostruita è suddivisa in due complessi, il substrato e le coperture.

Dai termini più antichi a quelli più recenti si ha:

#### **Substrato**

##### Schlier

E' costituito da alternanze di marne, marne calcaree, marne argillose grigie e, subordinatamente, di calcari marnosi biancastri.

La biotorbuazione è molto frequente e spesso intensa.

Gli strati sono in genere medio-sottili anche se molto spesso un diffuso clivaggio oblitera ogni traccia di stratificazione.

Tale unità, che rappresenta i depositi emipelagici di avanpaese sui quali poggia la sequenza torbiditica descritta, ha uno spessore di duecento - trecento metri (età: Burdigalliano p.p. - Messiniano basale).

#### Associazione arenacea (membro pre-evaporitico)

E' costituita da arenarie giallo-marroni a granulometria da media a grossolana, in strati marcatamente lenticolari, da molto spessi a massicci.

Sono frequenti i "clay chips" (inclusi pelitici e marnosi) e gli sferoidi diagenetici (età: Messiniano medio).

Tale unità appare sporadicamente nell'area esaminata per cui il suo spessore non è ben definibile.

Le tre associazioni descritte costituiscono il membro pre-evaporitico della Formazione della Laga con il quale inizia la sedimentazione torbiditica in ambiente marino ristretto.

#### Associazione arenaceo-pelitica (membro pre-evaporitico)

E' costituita essenzialmente da alternanze di strati arenacei e strati pelitici, simili per granulometria e spessori degli strati alla corrispondente unità del membro post-evaporitico, con rapporto sabbia/argilla normalmente superiore all'unità essendo solo localmente prevalenti le argille (unità pelitico-arenacea).

La stratificazione è generalmente piano-parallela ma tali depositi risultano frequentemente caratterizzati da una geometria lenticolare a scala più ampia (età: Messiniano medio).

#### Formazione gessoso-solfifera (membro evaporitico)

E' costituita da marne argillose bituminose, di colore variabile dal nocciola al marrone scuro, nelle quali sono intercalati due livelli gessosi con diverse caratteristiche.

Il livello superiore è costituito da gesso detritico sotto forma di brecce gessose a matrice marnoso-gessosa ed in generale da gessareniti medie e grossolane con frustoli carboniosi (*debris flow* gessiferi e marnosi).

Il livello inferiore è formato da strati medio-spessi di gessi laminati con interstrati di marne fetide e di siltiti avana.

Tale materiale lapideo è stato utilizzato per la costruzione di tutti i vecchi fabbricati del Centro storico di Belforte e degli altri nuclei abitativi circostanti.

Lo spessore complessivo della Formazione si aggira intorno a sessanta - settanta metri (età: Messiniano medio).

#### Associazione arenaceo-pelitica (membro post-evaporitico)

E' costituita da alternanze di strati arenacei da spessi o molto spessi a medi, a granulometria da grossolana a fine o molto fine, e strati argillosi grigi con rapporto sabbia/argilla da alto a molto alto e comunque sempre superiore all'unità.

A est di Belforte (Colle Cavallo) tale associazione è sempre intercalata nella precedente sotto forma di vari "orizzonti" con spessore di circa trenta metri, mentre quando si trova al tetto dell'unità appresso descritta presenta un contatto erosivo, litofacies grossolane conglomeratiche (loc. Torricella) ed un andamento più estesamente tabulare (apparati di delta conoide) e spessori maggiori (età: Messiniano sup).

#### Associazione pelitico-arenacea (membro post-evaporitico)

E' costituita da alternanze di arenarie da medio-fini a molto fini, in strati sottili e medi, e di argille grigie con prevalenza di quest'ultime (rapporto sabbia/argilla da basso a molto basso e comunque sempre inferiore ad uno) (età: Messiniano sup.).

### **Coperture**

#### Depositi alluvionali terrazzati antichi (II e I ordine)

Queste alluvioni (Pleistocene medio-sup.) si rinvengono in placche anche molto potenti ed estese ad oltre quarantacinque – cinquanta metri di altezza (II ordine) e ottanta – novanta metri (I ordine) sull'attuale alveo del F. Chienti.

Gli spessori di questi sedimenti variano localmente da una ventina ad una quarantina di metri (a nord di Belforte si riscontrano spessori anche più elevati).

Si tratta sostanzialmente di unità costituite da clasti ghiaiosi prevalentemente calcarei a granulometria piuttosto uniforme, per lo più con clasti dell'ordine di tre - cinque centimetri (raramente dieci - quindici centimetri).

I clasti sono in genere isorientati, embriciati e discretamente appiattiti e talvolta vi si trovano lenti e livelletti sabbiosi ed argillosi.

Essi sono inoltre caratterizzati da stratificazione piano-parallela o ondulata anche se non mancano esempi di stratificazione incrociata.

Al tetto i depositi del II ordine presentano, talora, una cementazione non molto spinta e, normalmente insieme ai più antichi sedimenti del I ordine, si riscontra anche una forte alterazione superficiale (suoli fersiallitici).

Le alluvioni descritte sono ubicate in corrispondenza di aree rilevate sia nel Centro storico di Belforte (I ordine) sia in varie colline circostanti (II ordine) e sono state modellate a seguito della dinamica di approfondimento del reticolo idrografico non molto dissimile dall'attuale.

#### Depositi alluvionali attuali, sub-attuali e recenti del Fiume Chienti (IV ordine)

Lungo gli assi vallivi ed in special modo lungo i tratti del Fiume Chienti e del Torrente Fiastrone che attraversano il territorio comunale sono presenti materiali alluvionali attuali e sub-attuali, di modesta estensione laterale (al più qualche decina di metri), che hanno, in genere, uno spessore di alcuni metri fino ad un massimo di una decina.

I depositi alluvionali recenti (Olocene), invece, si estendono anche fino a 400 – 500 metri a cavallo dell'alveo attuale e ad altezze generalmente comprese tra cinque e venticinque metri rispetto allo stesso.

Si tratta, nell'insieme, di ghiaie a matrice limosa e sabbiosa, talora abbondante, con clasti a spigoli arrotondati e sub-arrotondati e con orizzonti sabbiosi, siltosi o argillo-siltosi, anche a geometria lenticolare, di spessore normalmente non molto elevato.

A differenza delle alluvioni antiche, l'origine di tali depositi sembra dover essere attribuita essenzialmente agli estesi disboscamenti effettuati per approvvigionamento di legname, per pascolo o per fini agricoli in epoca storica (Biondi e Coltorti, 1982) e la loro incisione si è verificata in tempi molto recenti a seguito di attività che hanno rallentato l'apporto detritico dei versanti quali, ad esempio, i rimboschimenti, le sistemazioni montane, le sistemazioni agricole, ecc. o hanno interrotto il trasporto dei materiali lungo gli



alvei (costruzione di bacini artificiali e traverse, prelievo di inerti lungo gli alvei, ecc.).

Proprio per effetto di quest'ultime attività si sono verificati, negli ultimi decenni, significativi e rapidi aumenti dell'azione erosiva fluviale che ha inciso i sedimenti anche per oltre i dieci metri (La Geologia delle Marche, 1986).

#### Depositi alluvionali terrazzati antichi (III ordine)

Si rinvengono ad altezze minime di venti - venticinque metri rispetto al talweg attuale e sono costituite da ghiaie arrotondate ed eterogenee, talora con ciottoli grossolani e blocchi a cui si alternano, a luoghi anche con discreta estensione e notevole spessore, orizzonti limosi ed argillosi, subordinatamente sabbiosi, talora anche con elevato contenuto organico.

In sx idrografica del Chienti, a sud-ovest di Borgo San Giovanni, i depositi alluvionali sono localmente rappresentati da sedimenti limosi ed argillosi di notevole spessore 15 - 20 metri.

Le alluvioni descritte sono di origine "climatica" e, come risulta da datazioni isotopiche, si sarebbero deposte nella seconda metà del Pleistocene superiore.

In alcuni tratti fluviali fortemente incisi, ad esempio a Borgo S. Maria, tali depositi alluvionali poggiano direttamente sul substrato che costituisce una scarpata d'erosione anche di notevole altezza (20 – 25 metri).

Non si hanno molti dati sull'andamento del substrato al di sotto della coltre alluvionale ma è probabile che esso sia caratterizzato da depressioni rappresentanti paleo-alvei successivamente sepolti durante la fase di aggradazione.

#### Depositi eluvio-colluviali e di frana

Si tratta prevalentemente di sedimenti limosi e limo-sabbiosi massivi e/o in lenti e livelli, inglobanti sporadicamente pezzame arenaceo, localmente gessarentitico e calcareo, a spigoli vivi o, talvolta, poco arrotondati.

Lo spessore di tali coltri è frequentemente maggiore di cinque metri e la loro tonalità generalmente scura è dovuta all'elevata percentuale di materia organica inglobata all'interno della massa ed al notevole grado di saturazione.

I depositi colluviali, che in generale si rinvencono principalmente in corrispondenza delle litologie terrigene (Formazione della Laga), derivano dall'alterazione dei terreni del substrato (orizzonti eluviali) ma sono poi stati oggetto di trasporto da parte delle acque correnti superficiali (ruscellamento diffuso), reptazione e soliflusso.

In corrispondenza di queste coltri detritiche, generalmente su pendii piuttosto acclivi ma anche in assenza di elevate pendenze, oltre al soliflusso si osservano anche lenti fenomeni deformativi di tipo plastico e, talora, colate.

## 4.2 DATI GEOLOGICO-STRUTTURALI

La zona esaminata è interessata da uno stile plicativo con pieghe ad andamento appenninico dislocate e dissecate da faglie trasversali e longitudinali alle strutture stesse.

Gli assi di tali pieghe (anticlinali strette e asimmetriche, larghe sinclinali generalmente simmetriche) presentano localmente torsioni e/o brusche interruzioni (Belforte, Filette, Colle Cavallo, Case Graziaplana) in corrispondenza di sistemi di faglie trasversali ad andamento ENE - OSO.

Esse costituiscono l'allineamento preferenziale lungo cui si è impostata la valle del F. Chienti, prolungamento verso valle della linea trasversale che incide profondamente i terreni calcarei della "dorsale marchigiana".

Detto allineamento tettonico ha agito con una componente verticale (creazione della valle strutturale del F. Chienti) e più spesso orizzontale a separazione di comparti a comportamento plicativo differente.

Ad esempio nella parte centrale dell'area oggetto di studio (Filette, Belforte del Chienti e Case Mosca) si distingue un anticlinale il cui nucleo è sbloccato da una serie di faglie longitudinali a rigetto differenziato (maggiore a Est) ed in cui, a luoghi, è permesso l'affioramento dei termini più antichi (Schlier) della locale sequenza litostratigrafica.

Tale struttura sia a nord che a sud termina più o meno bruscamente sostituita da blande strutture monocliniche (pressi di Torricella e di Garufo).

Ad Ovest di Belforte l'assetto strutturale è sempre a monoclinale ma con debole vergenza occidentale e caratteristico affioramento della Formazione gessoso-solfifera.

Nella restante porzione orientale del territorio comunale spicca la lunga sinclinale di

Colle Cavallo-Colvenale leggermente asimmetrica col fianco orientale più inclinato di quello occidentale.

## 5 METODOLOGIA DI LAVORO

Come individuato dalla normativa vigente i prodotti attesi dallo studio di MS sono sostanzialmente di tipo cartografico, accompagnati da una relazione tecnica illustrativa:

- a) carta delle indagini,
- b) carta geologica-tecnica per la microzonazione sismica,
- c) carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS),
- d) relazione tecnica illustrativa.

La predisposizione degli studi di dettaglio di microzonazione sismica prevede preliminarmente l'individuazione delle zone dove effettuare gli approfondimenti per la MS che non si estende a tutto il territorio comunale, ma unicamente alle zone urbanizzate.

Per il territorio comunale di Belforte del Chienti le aree da studiare sono state concordate, individuate e delimitate con l'Amministrazione Comunale e con il Dirigente dell'Ufficio tecnico Comunale; successivamente il CMS ha voluto che fossero comunque analizzate le aree delimitate dall'Istat.

L'area di interesse, riportata in tutti gli elaborati cartografici, riguardano il capoluogo (Centro Storico e aree limitrofe) unitamente a tutte le frazioni comunali.

### **Raccolta dati geognostici esistenti. Carta delle indagini.**

Per la redazione del lavoro e per la realizzazione degli elaborati sono stati utilizzati :

- Cartografia di dettaglio (CTR Regione Marche Scala 1:10.000) ;
- Cartografia geologica e geomorfologica di PRG a scala 1:10.000 ;
- Carta Geologica Regionale Edizione CTR Scala 1:10.000 ;
- Elaborati geologici effettuati per la redazione del P.R.G.
- Risultati delle indagini geologiche, geofisiche e geotecniche ricadenti nel Territorio

Comunale di Belforte del Chienti eseguite dallo scrivente e altri Professionisti come supporto alle pratiche edilizie.

Il totale delle indagini raccolte ed utilizzate per l'area indagata è sintetizzato nella tabella seguente .

	Tipo di indagine	Numero di indagini
Area indagata	Prove penetrometriche dinamiche medie	6
	Prove penetrometriche dinamiche DPSH	1
	Scavi geognostici	2
	Sondaggi a distruzione/Trivelsonda	63
	Sondaggi a carotaggio continuo	6
	MASW	4
	Down Hole	0

L'ubicazione di tutte le indagini considerate, è riportata nella "Carta delle indagini" secondo le specifiche contenute nel volume "Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica.

### **Descrizione della carta Geologico-Tecnica**

Nella carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica vengono rappresentate le informazioni riguardanti i litotipi affioranti, distinti tra terreni di copertura e substrato geologico; lo spessore minimo delle coperture rappresentate è di 3 metri; la litologia dei terreni è stata descritta tramite sistema di classificazione Unified Soil Classification System (leggermente modificato, ASTM, 1985).

Sono riportate inoltre le forme di superficie ritenute significative quali orli di scarpate morfologiche con altezza compresa tra 10 e 20 metri e creste, oltre ad elementi tettonico-

strutturali quali, nel caso in esame, faglie dirette, a cinematismo non definito e incerte

Vengono anche rappresentati i seguenti elementi geologici ed idrogeologici:

- giaciture degli strati;

- l'ubicazione di sondaggi che hanno raggiunto il substrato e l'ubicazione di sondaggi che non hanno raggiunto il substrato;

Vengono indicati e descritti gli elementi litologici principali e le relative caratteristiche geotecniche derivate da ai dati bibliografici reperiti.

## **6 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI**

### **6.1 Dati geotecnici**

Sono state distinte le unità litotecniche appartenenti ai depositi di copertura rispetto a quelle che compongono il substrato.

#### **UNITA' LITOLOGICO-TECNICHE DELLA COPERTURA**

Le unità litotecniche della copertura sono correlate all'unità litostratigrafiche relative ai depositi eluvio-colluviali, ai depositi alluvionali.

**SEDIMENTI A GRANA MEDIO FINE:** depositi eluvio colluviali,  
alluvioni fini

Classifica USCS: ML

Parametri geotecnici tipici:

$\gamma$  medio (peso volume) = 1,90 - 2,0 g/cmc

$\phi$  medio (angolo di attrito) = 22° - 26°

$C'$  = 0,02-0,10 kg/cmq

$E_s$  (modulo elastico) = 50 - 70 Kg/cmq

$E_d$  (modulo edometrico tra 1 e 2 Kg di carico) = 60 - 90 Kg/cmq

**SEDIMENTI A GRANA GROSSA:** alluvioni grossolane

Classifica USCS: GM, GC, GW

Parametri geotecnici tipici:

$\gamma$  medio (peso volume) = 1,80 - 2,10 g/cmc

$\phi$  medio (angolo di attrito) = 28° - 36°

Es (modulo elastico) > 100 Kg/cmq

#### UNITA' LITOLOGICO-TECNICHE DEL SUBSTRATO

SUBSTRATO ALTERNANZA DI LITOTIPI, STRATIFICATO (ALS) Formazione della Laga membro pre-evaporitico,

Parametri geotecnici medi relativi alla frazione pelitica:

$\gamma$  medio (peso volume) = 2,00 - 2,20 g/cmc

$\phi$  medio (angolo di attrito) = 25° - 28°

Cu (coesione non drenata) = 2,00 - 4,00 kg/cmq

C' (coesione drenata) = 0,20 - 0,50 kg/cmq

Ed (modulo edometrico tra 1 e 2 Kg di carico) > 90 Kg/cmq

Parametri geotecnici medi relativi alla frazione arenacea:

$\gamma$  medio (peso volume) = 2,10 - 2,20 g/cmc

$\phi$  medio (angolo di attrito) = 30° - 35°

qu (resistenza a compressione monoassiale) = 100-300 kg/cmq

Es (modulo elastico) > 200 Kg/cmq

#### SUBSTRATO ALTERNANZA DI LITOTIPI, STRATIFICATO (ALS-GES)

Formazione gessoso-solfifera

Parametri geotecnici medi:

$\gamma$  medio (peso volume) = 2,05 - 2,10 g/cmc

$\phi$  medio (angolo di attrito) = 30° - 32°

C' (coesione drenata) = 0,20 - 0,35 kg/cmq

qu (resistenza a compressione monoassiale) = 150 - 350 kg/cmq

Es (modulo elastico) > 150 Kg/cmq

#### SUBSTRATO ALTERNANZA DI LITOTIPI, STRATIFICATO (ALS - LAG 3d)

Formazione della Laga membro evaporitico e post evaporitico,

Parametri geotecnici medi relativi alla frazione pelitica:

$\gamma$  medio (peso volume) = 1,90 - 2,10 g/cmc

$\phi$  medio (angolo di attrito) = 23° - 26°



$C_u$  (coesione non drenata) = 1,00 - 3,00 kg/cmq

$C'$  (coesione drenata) = 0,10 - 0,40 kg/cmq

$E_d$  (modulo edometrico tra 1 e 2 Kg di carico) > 100 Kg/cmq

Parametri geotecnici medi relativi alla frazione arenacea:

$\gamma$  medio (peso volume) = 2,10 - 2,20 g/cmc

$\phi$  medio (angolo di attrito) = 30° - 35°

$q_u$  (resistenza a compressione monoassiale) = 150 - 350 kg/cmq

$E_s$  (modulo elastico) > 200 Kg/cmq

SUBSTRATO ALTERNANZA DI LITOTIPI, STRATIFICATO (SCH) Formazione dello Schlier

Parametri medi:

$\gamma$  medio (peso volume) = 2,15 - 2,24 g/cmc

$\phi$  medio (angolo di attrito)\* = > 35°

$E'$  (modulo di deformazione)\* = 480 Kg/cmq

(\*) i dati si riferiscono agli strati lapidei superficiali intensamente fratturati assimilabili nell'insieme ad un ammasso detritico

## Preliminare dei dati di laboratorio del campione indisturbato C.2



Università degli Studi di Napoli Federico II  
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale  
Laboratorio di Geotecnica

Committente	Centro M5
Indagine	Belforte del Chienti
Sondaggio	S1
Campione	C3
Profondità	8.50 + 9.00 m
Data apertura	08/11/2017
Operatore	Alfredo Pozzo

Diametro (mm):	85
Lunghezza (mm):	735
Data di apertura:	08/11/2017

Stato del Campione	Indisturbato	X
	Parzialmente Rimaneggiato	
	Rimaneggiato	

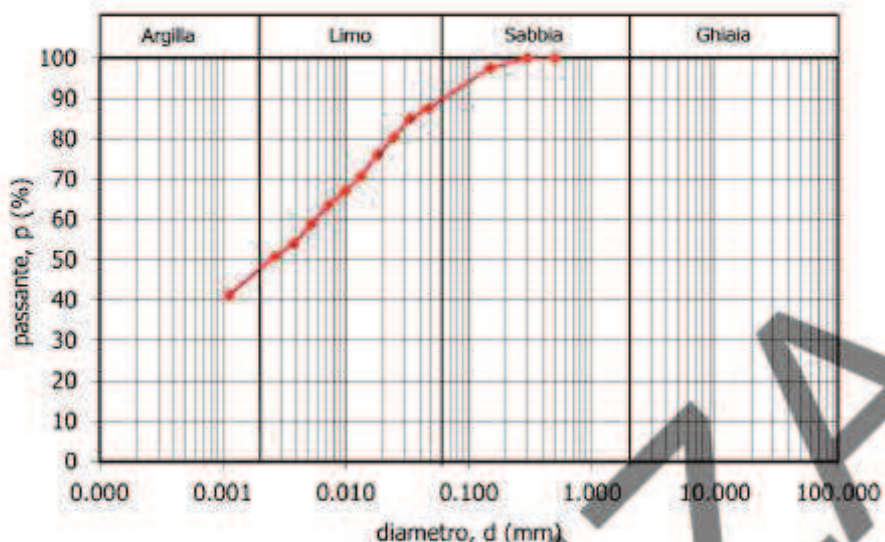
Descrizione: Limo con argilla presenza di punteggiatura organica e rare concrezioni calcaree disfatte					
Colore	Grigio-azzurro				
Plasticità	<input type="checkbox"/> Non Plastico	<input type="checkbox"/> Bassa	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Elevata	
Addensamento (Terreni granulari)	<input type="checkbox"/> Molto sciolto (D <sub>r</sub> =0.0+0.2)	<input type="checkbox"/> Sciolto (D <sub>r</sub> =0.2+0.4)	<input type="checkbox"/> Medio (D <sub>r</sub> =0.4+0.6)	<input type="checkbox"/> Denso (D <sub>r</sub> =0.6+0.8)	<input type="checkbox"/> Molto denso (D <sub>r</sub> =0.8+1.0)
Consistenza (Terreni coesivi)	<input type="checkbox"/> Molto molle (I <sub>c</sub> < 0.0)	<input type="checkbox"/> Molle (I <sub>c</sub> =0.0-0.5)	<input checked="" type="checkbox"/> Media (I <sub>c</sub> =0.5+1.0)	<input type="checkbox"/> Consistente (I <sub>c</sub> >1.0)	<input type="checkbox"/> Molto consist. (I <sub>c</sub> >>1.0)
Grado di umidità	<input type="checkbox"/> Asciutto	<input type="checkbox"/> Poco Umido	<input checked="" type="checkbox"/> Umido	<input type="checkbox"/> Molto Umido	
Alterazione	<input checked="" type="checkbox"/> Assente	<input type="checkbox"/> Debole	<input type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Elevata	
Struttura	<input checked="" type="checkbox"/> Omogenea	<input type="checkbox"/> Stratificata	<input type="checkbox"/> Scagliosa	<input type="checkbox"/> Laminata	<input type="checkbox"/> Caotica
Fratturazione	<input checked="" type="checkbox"/> Assente	<input type="checkbox"/> Moderata	<input type="checkbox"/> Elevata		
Cementazione	<input checked="" type="checkbox"/> Assente	<input type="checkbox"/> Debole	<input type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Elevata	

Proprietà fisiche			Proprietà meccaniche	
n <sub>y,w</sub>	X		Compressione uniaassiale	
Analisi granulometrica	X		TX-UU	
Limiti	X		TX-CIU	
CaCO <sub>3</sub>			TX-CID	
Sostanze organiche			Compressione edometrica	
Peso specifico del solido			Taglio anulare	
Proctor			Taglio diretto	
CBR			RC TS	X
Altro _____			Altro _____	
		Pocket: parte centrale 2.3 kg/cm <sup>2</sup>		



Università degli Studi di Napoli Federico II  
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale  
Laboratorio di Geotecnica

Committente: Centro MS  
Indagine: Belforte del Chienti  
Sondaggio: S1  
Campione: C2  
Profondità: 8.50 - 9.00 m  
Data apertura: 08/11/2017  
Operatore: Alfredo Pozzo



d (mm)	Passante (%)
0.50	100.00
0.30	100.00
0.15	97.52
0.047	87.54
0.034	85.14
0.025	80.35
0.018	76.15
0.013	70.75
0.010	67.15
0.007	63.56
0.005	58.76
0.004	54.12
0.003	50.92
0.001	41.32

Terreno: ARGILLA CON LIMO SABBIOSO

d (mm)	STACCIATURA		SEDIMENTAZIONE		
	Peso trattenuto (gr)	Peso passante (gr)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Letture areometro (gr/cm <sup>3</sup> )
0.50	0.00	65.82	0.5	20.00	1.03800
0.3	0.00	65.82	1	20.00	1.03700
0.15	1.63	64.19	2	20.00	1.035
			4	20.00	1.03325
			8	20.00	1.03100
			15	20.00	1.02950
			30	20.00	1.02800
			60	20.00	1.02600
			120	20.50	1.02400
			240	20.50	1.02225
			1440	20.00	1.01825

$C_u = 2.728$

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Peso secco totale (gr)	Metodo di preparazione	% < 0.075 mm	% ciottoli	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	Peso secco per sedimentazione (gr)	$D_{max}$ (mm)	$D_{60}$ (mm)	$D_{30}$ (mm)	$D_{10}$ (mm)
S1	C2	8.50-9.00	65.82	A secco	92	0	0	10	42	48	65.82	5.00	0.0055	-	-

Normativa di riferimento ASTM 422/90

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale - via Claudio, 21 - 80125 NAPOLI





Università degli Studi di Napoli Federico II  
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale  
Laboratorio di Geotecnica

Committente	Centro MS
Indagine	Belforte del Chienti
Sondaggio	S1
Campione	C3
Profondità	8.50 - 9.00 m
Data apertura	08/11/2017
Operatore	Antonio Cammarota

### Prova di colonna risonante e torsione ciclica

Dati iniziali								
D (mm)	H (mm)	V (cm <sup>3</sup> )	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	w (%)	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	e (°)	$S_r$ (%)	$p^*$ (kPa)
35.32	72.06	70.57	19.33	30.09	26.75	0.800	100	170

Dati fine consolidazione								
D (mm)	H (mm)	V (cm <sup>3</sup> )	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	w (%)	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	e (°)	$S_r$ (%)	$p^*$ (kPa)
34.91	71.78	68.67	19.55	28.06	19.27	0.752	100	170

Prova di colonna risonante					
$\gamma$ (%)	G (MPa)	$D_{10}$ (%)	$D_r$ (%)	$f_r$ (Hz)	G/G <sub>0</sub> (°)
0.00072	117.95	2.74	2.29	26.8	1.00
0.00106	118.83	2.73	2.31	26.9	1.01
0.00160	118.83	2.76	2.28	26.9	1.01
0.00240	117.95	2.73	2.30	26.8	1.00
0.00353	117.95	2.77	2.33	26.8	1.00
0.00530	117.07	2.78	2.38	26.7	0.99
0.00771	115.32	2.85	2.48	26.5	0.98
0.01110	113.59	2.85	2.62	26.3	0.96
0.01490	111.01	2.97	2.83	26.0	0.94
0.02000	106.78	3.14	3.26	25.5	0.91
0.02700	101.00	3.54	3.85	24.8	0.86
0.03600	91.46	3.82	4.73	23.6	0.78
0.04430	80.21	5.33	6.55	22.1	0.68
0.05180	61.81	8.76	10.80	19.4	0.52
0.05960	59.28	10.70	14.90	19.0	0.50

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale - via Claudio, 21 - 80125 NAPOLI



Università degli Studi di Napoli Federico II

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale

Laboratorio di Geotecnica

Committente	Centro MS
Indagine	Belforte del Chienti
Sondaggio	S1
Campione	C2
Profondità	8.50 ÷ 9.00 m
Data apertura	08/11/2017
Operatore	Antonio Caumarota

Prova di torsione ciclica				
$\gamma$ (%)	G (MPa)	D (%)	$f_r$ (Hz)	G/G <sub>0</sub> (/)
0.00072	92.20	2.53	0.50	1.00
0.00109	92.41	1.32	0.50	1.00
0.00136	92.26	1.64	0.50	1.00
0.00239	91.91	1.39	0.50	1.00
0.00360	91.59	1.81	0.50	0.99
0.00542	90.82	1.80	0.50	0.99
0.00547	91.46	1.74	0.50	0.99
0.00831	90.15	1.91	0.50	0.98
0.01278	87.44	2.37	0.50	0.95
0.01985	83.19	3.00	0.50	0.90
0.03290	75.13	4.37	0.50	0.81
0.05479	67.59	7.11	0.50	0.73
0.14621	37.08	19.21	0.50	0.40
0.14960	37.46	23.78	0.50	0.41
0.50981	15.27	38.96	1.50	0.17

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale - via Claudio, 21 - 80125 NAPOLI

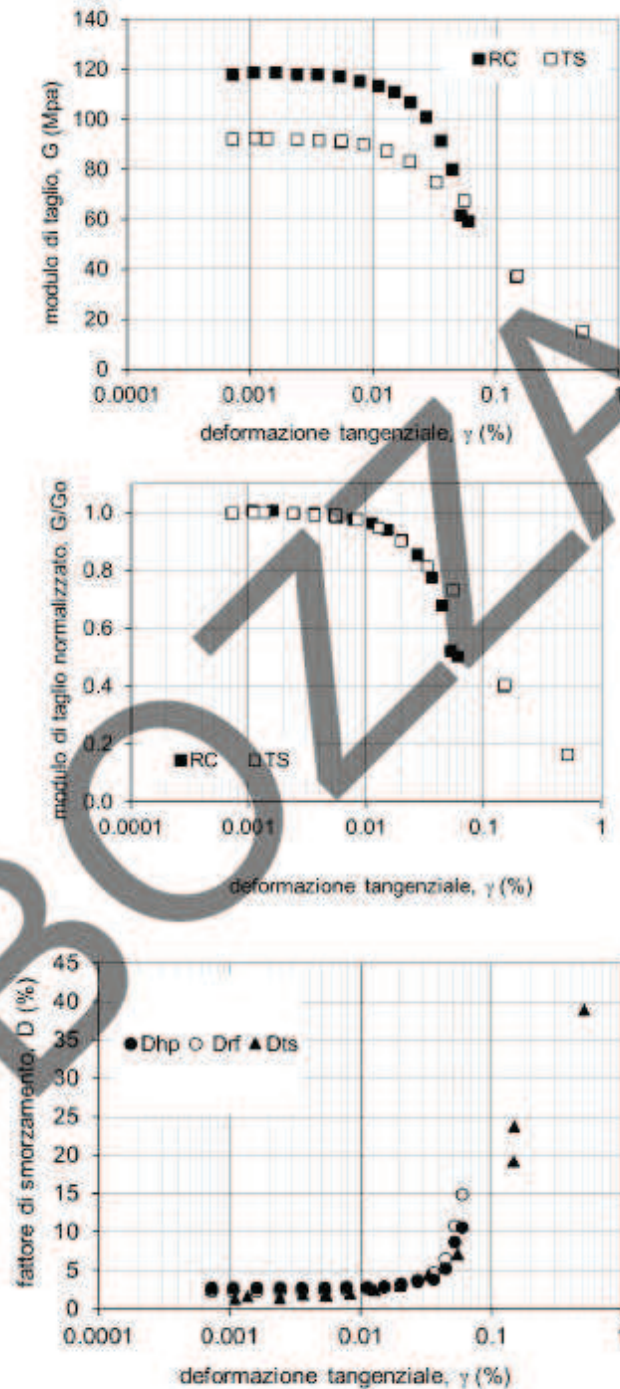


Università degli Studi di Napoli Federico II

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale

Laboratorio di Geotecnica

Committente	Centro MS
Indagine	Belforte del Chienti
Sondaggio	S1
Campione	C2
Profondità	8.50 + 9.00 m
Data apertura	08/11/2017
Operatore	Antonio Caumarota



Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale - via Claudio, 21 - 80125 NAPOLI





Università degli Studi di Napoli Federico II  
 Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale  
 Laboratorio di Geotecnica

Committente	Centro MS
Indagine	Belforte del Chianti
Sondaggio	S1
Campione	C2
Profondità	8.50 - 9.00 m
Data apertura	08/11/2017
Operatore	Antonio Cammarota

## APPENDICE

### I. L'attrezzatura sperimentale per prove di taglio torsionale

L'apparecchiatura utilizzata è la cella di taglio torsionale THOR (Figura A.1), progettata e realizzata presso l'Università di Napoli Federico II (d'Onofrio, 1996) sulla base del prototipo originario di colonna risonante 'fixed-free' messo a punto presso l'Università del Texas di Austin (Isenhower, 1979; Ni, 1987). Le caratteristiche tecniche dell'apparecchiatura sono dettagliate da d'Onofrio et al. (1999). In Tabella A.1 sono sintetizzate le principali caratteristiche del sistema, ed in Figura A.2 uno schema della catena strumentale per il controllo e l'acquisizione.

Tipo di prova		Colonna risonante / Taglio torsionale
Nome dell'apparecchiatura		THOR
Provino	Diametro esterno	36mm
	Altezza	72mm
	Accuratezza nella misura delle dimensioni e del peso del provino	0.1 mm, 0.1gr
	Metodo di preparazione del provino	Fustellamento
	Saturazione	In cella via back-pressure
	Test di B	$B > 0.95$ mediando i valori ottenuti incrementando e decrementando la pressione di cella
Contatto tra provino e apparecchiatura		Piastre rugose avvitate nella testa di carico e pietra porosa di carburo di silicio avvitate al piedistallo
Sistema di applicazione dei carichi torcenti		Tipo: Motore elettromagnetico
Accuratezza del sistema di controllo		Pressione di cella: 40 Pa attraverso convertitore E/P Contropressione: Senza controllo Sistema di applicazione dei carichi torcenti: Controllo in corrente risoluzione $1.6 \cdot 10^{-5}$ Nm (2 Pa per il provino $\varnothing$ 36 mm) Fondo scala 5 Nm Non c'è effetto della forza elettromotrice indotta
Tipo di trasduttori utilizzati		Pressione di cella: Sensore di pressione di elevate prestazioni con membrana al silicone Contropressione: Trasduttore miniaturizzato con diaframma al silicone Pressione neutra: Trasduttore miniaturizzato con diaframma al silicone Coppia torcente: Cella torsionale a strain-gage Spostamenti assiali: LVDT in corrente continua Variazioni di volume: Trasduttore differenziale di pressione/ volumometro Accelerazioni: Accelerometro piezoelettrico Rotazioni: Laser /Proximitor
Accuratezza delle misure		Pressione di cella: 1.5 Pa Contropressione: 0.7 Pa Pressione interstiziale: 0.7 Pa Coppia torcente: $6 \cdot 10^{-3}$ Nm Spostamenti assiali: 1 $\mu$ m Variazioni di volume: 0.0014 cm <sup>3</sup> Rotazioni: $2.5 \cdot 10^{-7}$ rad (prox)

Tabella A.1. Principali caratteristiche della cella di taglio torsionale THOR.



Università degli Studi di Napoli Federico II  
 Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale  
 Laboratorio di Geotecnica

<u>Committente</u>	Centro MS
<u>Indagine</u>	Belforte del Chienti
<u>Sondaggio</u>	S1
<u>Campione</u>	C2
<u>Profondità</u>	8.50 ± 9.00 m
<u>Data apertura</u>	08/11/2017
<u>Operatore</u>	Antonio Cammaroto

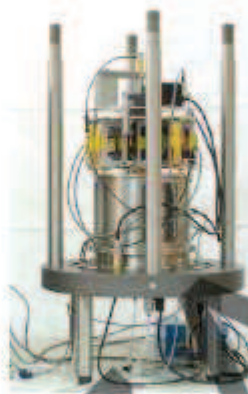


Figura A.1. L'apparecchiatura di taglio torsionale THOR.

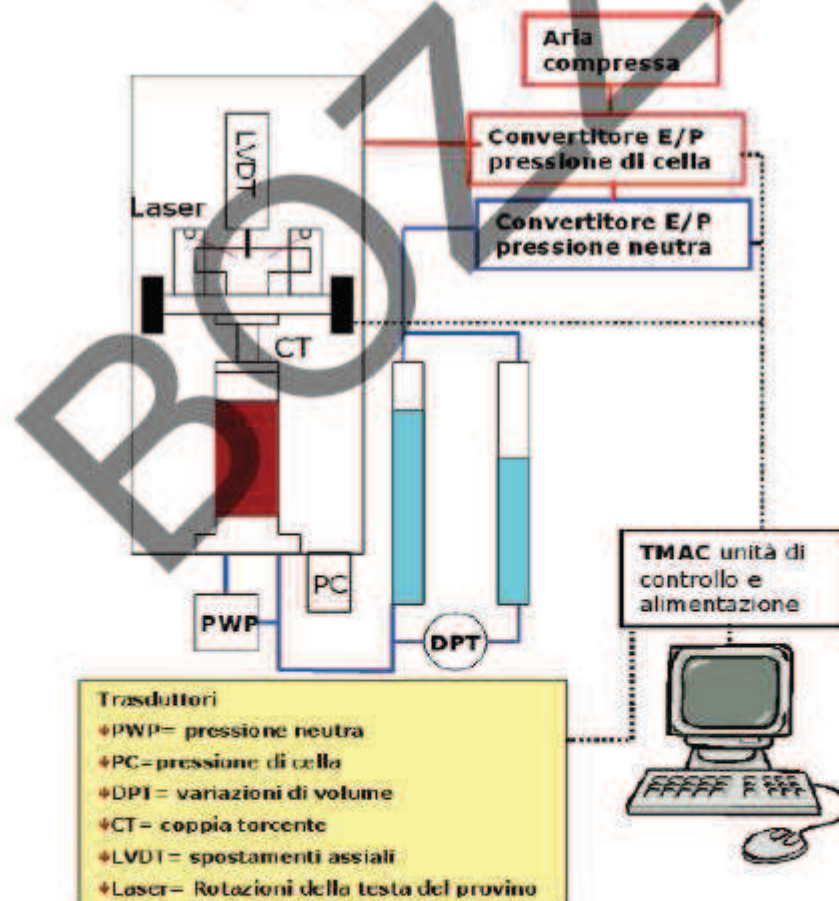


Figura A.2. Diagramma schematico del sistema di controllo e acquisizione di THOR.





Università degli Studi di Napoli Federico II  
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale  
Laboratorio di Geotecnica

<u>Committente</u>	Centro MS
<u>Indagine</u>	Belforte del Chienti
<u>Sondaggio</u>	S1
<u>Campione</u>	C2
<u>Profondità</u>	8.50 ± 9.00 m
<u>Data apertura</u>	08/11/2017
<u>Operatore</u>	Antonio Cammarota

## 2. Procedure sperimentali per le prove RC e CTS

Ciascun provino è stato sottoposto ad una prima fase di applicazione della sollecitazione sferica per ricondurre il provino alla tensione efficace stimata agente in sito.

Al termine di questa fase è stato poi applicato il carico torsionale  $M(t)$ , avente caratteristiche diverse in funzione del tipo di prova. In particolare, in relazione alla frequenza con la quale vengono fatte variare le sollecitazioni nel tempo, è possibile distinguere due tipi di prova: prove «cicliche» (torsione ciclica, CTS) e prove «dinamiche» propriamente dette (colonna risonante, RC).

I criteri di interpretazione delle prove in termini di rigidità e smorzamento sono variabili a seconda delle caratteristiche della sollecitazione torsionale applicata. Infatti, nelle prove TS l'effetto delle forze di inerzia è trascurabile e quindi l'interpretazione è di tipo «quasi statico», mentre per le prove RC è necessario fare riferimento a modelli d'analisi dinamici. I criteri descritti in seguito sono quelli pressoché universalmente adottati per l'interpretazione delle prove RC e CTS, conformi alle norme ASTM (ASTM D4015/92). Presso il DIGA sono state messe a punto, e vengono normalmente utilizzate, procedure di interpretazione più complesse, che si avvalgono della completa automazione e digitalizzazione delle prove. Queste procedure, ampiamente descritte altrove (Papa et al., 1988; Silvestri, 1991; d'Onofrio, 1996), tra l'altro consentono di aumentare l'affidabilità dei risultati anche quando il livello di deformazioni indagato è basso e quindi si è in presenza di un rapporto segnale/rumore non elevato. Per approfondimenti si rimanda a Silvestri (1991).

### 2.1 Prove di colonna risonante (RC)

Durante una prova di colonna risonante (Figura A.3) il provino è sottoposto ad una sollecitazione torsionale di ampiezza  $M$  costante e frequenza  $f$  variabile nel tempo:

$$M(t) = M \sin[2\pi f t]$$

Nell'attrezzatura utilizzata, l'estremità superiore del provino è libera, mentre la base è rigidamente vincolata al piedistallo fisso; in tal modo lo schema dinamico di riferimento è del tipo «a base fissa» o «fixed-free» (Woods, 1978).

Durante la prova, viene registrata la vibrazione della testa del provino in termini di rotazione,  $\theta$ , rilevata a seconda dei casi da una coppia di sensori laser oppure da due coppie di trasduttori di prossimità. Tale misura viene convertita in deformazioni tangenziali,  $\gamma$ , mediante le opportune costanti di taratura (d'Onofrio, 1996). La risposta del provino risulta in ogni istante isofrequenziale con la sollecitazione, mentre l'ampiezza ( $\theta$  o  $\gamma$ ) varia in relazione alla frequenza, ed attinge il valore massimo quando vengono raggiunte le cosiddette «condizioni di risonanza» ( $f = f_R$ ).

Il modulo tangenziale  $G$  viene dedotto dalla misura della velocità delle onde di taglio,  $V_s$ , ottenuta analizzando la risposta del sistema composto da provino e dispositivo di carico torsionale, sulla base di classici modelli teorici di vibrazione torsionale di solidi cilindrici (Richart et al., 1970). Dalla conoscenza delle caratteristiche fisico-geometriche del sistema,  $V_s$  e  $G$  si ricavano applicando le espressioni:

$$V_s = \frac{2\pi f_s L}{\beta}$$

$$G = \rho V_s^2$$

dove  $L$  indica l'altezza del provino e  $\rho$  la densità del terreno. La costante adimensionale  $\beta$  è funzione dell'inerzia polare di massa del provino,  $I$ , e di quella del sistema di eccitazione,  $I_0$ , secondo l'equazione:

$$\frac{I}{I_0} = \beta \tan \beta$$

Dalla curva di risposta è possibile anche ricavare il fattore di smorzamento  $D$ , individuando i valori di frequenza ( $f_1$ ,  $f_2$ ) corrispondenti ad un'ampiezza di vibrazione pari a  $\gamma_{max}/\sqrt{2}$  (metodo della «semibanda di potenza»):

$$D_{hp} = \frac{f_2 - f_1}{2 f_R}$$

A causa della non linearità e della degradazione ciclica, questo criterio non sempre fornisce una valutazione attendibile del fattore di smorzamento  $D$ . In casi del genere si può, in alternativa, ricorrere al metodo basato sull'espressione analitica del

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale - via Claudio, 21 - 80125 NAPOLI



Università degli Studi di Napoli Federico II  
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale  
Laboratorio di Geotecnica

Committente	Centro MS
Indagine	Belforte del Chienti
Sondaggio	S1
Campione	C2
Profondità	8.50 ± 9.00 m
Data apertura	08/11/2017
Operatore	Antonio Cammarota

fattore di risonanza (metodo del fattore di risonanza), cioè il rapporto tra il valore di picco,  $\gamma_{\max}$ , della curva di risposta  $\gamma(f)$  e la rotazione statica corrispondente ad una coppia di eguale ampiezza  $M$ . Da esso si ricava  $D$ , una volta noti le ampiezze  $M$  e  $\gamma_{\max}$ , ed il valore di  $G$  già calcolato, con l'espressione seguente:

$$D_{rf} = \frac{M_0 \bar{R}}{2G\gamma_{\max}}$$

Questo metodo appare in genere più attendibile di quello precedente, perché meno sensibile agli effetti della non linearità e della degradazione ciclica del terreno.

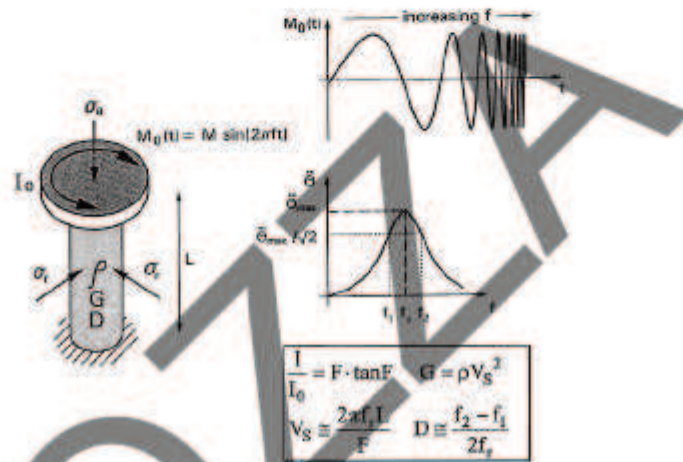


Figura A.3: Interpretazione delle prove di colonna risonante.





Università degli Studi di Napoli Federico II  
 Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale  
 Laboratorio di Geotecnica

Committente	Centro M5
Indagine	Belforte del Chienti
Sondaggio	S1
Campione	C3
Profondità	8.50 ± 9.00 m
Data apertura	08/11/2017
Operatore	Antonio Cammarota

## 2.2 Prova di torsione ciclica (CTS)

Durante una prova di torsione ciclica (Figura A.4), il provino viene sottoposto ad un momento torcente  $M(t)$  variabile nel tempo con legge sinusoidale (di ampiezza e frequenza costanti) e si misura la rotazione della testa  $\theta(t)$ .

Le tracce temporali rappresentative di momenti e rotazioni vengono tradotte in termini di andamenti  $\tau(t)$  e  $\gamma(t)$ , mediante le opportune costanti di taratura ed assumendo alcune ipotesi semplificative sulla distribuzione dello stato tensio-deformativo all'interno del provino.

Per ciascun ciclo di carico si individuano quindi i valori di picco della tensione e della deformazione tangenziali ( $\tau_{max}$  e  $\gamma_{max}$ ), e l'andamento del ciclo di isteresi risultante dall'accoppiamento di  $\tau(t)$  e  $\gamma(t)$ .

I valori di  $G$  e  $D$  vengono calcolati utilizzando le relazioni:

$$G = \frac{\tau_{pp}}{\gamma_{pp}}$$

$$D = \frac{W_d}{4\pi W_s}$$

Per l'interpretazione dei risultati relativi alle prove di torsione ciclica si è attribuita maggiore affidabilità a tecniche di regressione statistica ai bassi livelli di deformazione (adoperando una regressione sinusoidale, cfr. Papa et al., 1988); non appena i disturbi elettrici sono apparsi senz'altro trascurabili, si è ricorsi ai criteri ordinari (ampiezze picco-picco, area del ciclo di isteresi).

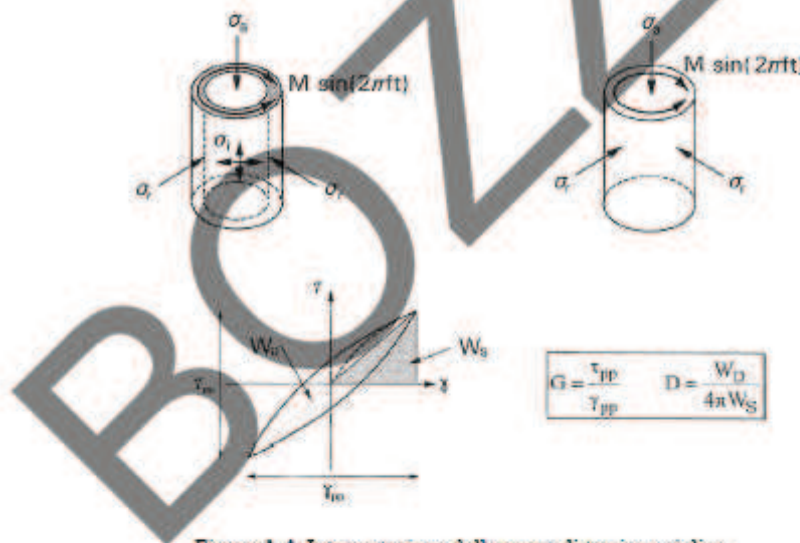


Figura A.4: Interpretazione delle prove di torsione ciclica.



Università degli Studi di Napoli Federico II  
 Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale  
 Laboratorio di Geotecnica

<u>Committente</u>	Centro MS
<u>Indagine</u>	Belforte del Chienti
<u>Sondaggio</u>	S1
<u>Campione</u>	C2
<u>Profondità</u>	8.50 + 9.00 m
<u>Data apertura</u>	08/11/2017
<u>Operatore</u>	Antonio Cammarota

#### Riferimenti

- AGI (1994) - *Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio*
- ASTM D422/90 - *Standard Test Method for particle-size analysis of soils.*
- ASTM D4318 - *Standard Test Methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of Soils.*
- ASTM D2435/96 - *Standard Test Methods for one-dimensional consolidation properties of soils using incremental loading.*
- ASTM D4015/92 - *Standard Test Methods for modulus and damping of soils by Resonant-Column method.*
- d'Onofrio A. (1996) - *Comportamento meccanico dell'argilla di Vallericcia in condizioni lontane dalla rottura* - Tesi di dottorato in Ingegneria Geotecnica, Università degli Studi di Napoli.
- d'Onofrio A., Silvestri F., Vinale F. (1999) - *A new torsional shear device* - ASTM Geotechnical Testing Journal, Vol 22-2 pp.107-117.
- Isenhour W.M. (1979) - *Torsional Simple Shear/Resonant Column properties of San Francisco Bay Mud* - M.S. Thesis, The University of Texas at Austin.
- Ni S. H. (1987) *Dynamic properties of sand under true triaxial stress states from Resonant Column/Torsional Shear tests* - Ph. D. dissertation, The University of Texas at Austin.
- Papa V., Silvestri F., Vinale F. (1988) - *Recenti sviluppi e prospettive nelle tecniche di interpretazione di prove dinamiche di taglio semplice* - Atti del Convegno del Gruppo Nazionale di Coordinamento per gli Studi di Ingegneria Geotecnica, Monselice.
- Richart F.E., Hall J.R., Woods R.D. (1970) - *Vibrations of soils and foundations* - Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Silvestri F. (1991) - *Analisi del comportamento dei terreni naturali in prove cicliche e dinamiche di taglio torsionale* - Tesi di Dottorato in Ingegneria Geotecnica, Università degli Studi di Napoli.
- Woods R.D. (1978) - *Measurement of dynamic soil properties* - Proc. "Geotechnical Engineering Division Specialty Conference on Earthquake Engineering and Soil Dynamics", ASCE, Pasadena (California).

## **Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica**

Nella Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica sono riportate tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche), derivate da carte e elaborati esistenti ed acquisite in seguito a rilevamento geologico-geomorfologico del territorio. Questi dati sono necessari alla definizione del modello di sottosuolo e funzionali alla realizzazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1).

Nella Carta prodotta, sono rappresentate le unità geologico-litotecniche distinte tra terreni di copertura e substrato geologico rigido o non rigido. Nello specifico, per le coperture lo spessore minimo considerato è di 3 metri e la litologia dei terreni è stata descritta tramite sistema di classificazione Unified Soil Classification System (leggermente modificato, ASTM, 1985), a cui è stata aggiunta una sigla che descrive l'ambiente deposizionale del litotipo.

Sono riportate inoltre le forme di superficie ritenute significative quali corpi di frana, orli di scarpate strutturali, fluviali e antropiche oltre ad elementi tettonico-strutturali quali, nel caso in esame, faglie dirette non attive (certe e presunte), strutture sinclinaliche.

Vengono altresì rappresentati i seguenti elementi geologici:

- giaciture degli strati;
- ubicazione di sondaggi che hanno raggiunto il substrato geologico e ubicazione di sondaggi che non hanno raggiunto il substrato (con indicazione della massima profondità raggiunta dalla perforazione);

Nella Carta sono inoltre riportate le tracce delle 2 sezioni geologiche rappresentative del modello del sottosuolo.

### **6.2 Dati geofisici**

Le indagini reperite sono quelle eseguite dal sottoscritto nel corso della propria attività professionale relative a progetti edilizi e urbanistici eseguiti per privati e per l'amministrazione pubblica.

Altro materiale è stato fornito dal geologo Piergiovanni Valentini che ha svolto per il

Comune indagini per interventi di risanamento di dissesti e per varianti al P.R.G..

In particolare i dati geofisici pregressi derivano da prove MASW e acquisizioni di rumore sismico ambientale (HVSR) per lo più effettuate nel Centro Storico, a Borgo Santa Maria e in località Fornaci.

### **Considerazioni acquisizione MASW**

Le colonne sismostratigrafiche, ottenute dall'elaborazione dei dati, mostrano che i terreni fini di copertura, costituiti da depositi eluvio-colluviali e/o sedimenti limosi fluviali sono caratterizzati da velocità Vs non superiori a 250-320 m/s.

Le ghiaie, invece, ampiamente presenti nel territorio esaminato, mostrano Vs abbondantemente comprese nell'intervallo 350-550 m/s.

Il substrato geologico, localmente rappresentato da diversi litotipi (Schlier, Associazione arenaceo-pelitica, Formazione gessoso-solfifera) ha mostrato la presenza di orizzonti di alterazione/fratturazione anche piuttosto spessi con valori di Vs piuttosto variabili.

Nel dettaglio sono state cartografate le seguenti unità litologiche:

#### **UNITA' DELLA COPERTURA (Pleistocene medio-Olocene)**

##### **Terreno di riporto**

RI = Caratterizzato da Limi, limi argillosi, limi sabbiosi e sabbie con ghiaietto frammisto, laterizi e materiali di origine antropica.

##### **Depositi eluvio-colluviali (> 3 m)**

ML = caratterizzati da Limi, limi argillosi, limi argillosi sabbiosi, sabbie fini limose o argillose.

CL = caratterizzati da Argille, argille sabbiose, argille limose.

##### **Depositi alluvionali**

GP = Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia

GM = Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo.

GW = Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie.

#### **UNITA' DEL SUBSTRATO (Messiniano p.p.)**



### Alternanza di litotipi stratificato

ALS = caratterizzata da Alternanze di peliti, argille, argille siltose marnose fossilifere sottilmente stratificate e strati sottili di sabbie. Rapporto sabbia/argilla a favore della facies pelitica. (membro pelitico-arenaceo) e alternanze di strati di arenarie e sabbie con intercalazioni argilloso-limose. Rapporto sabbia/argilla  $>1$

I depositi del Messiniano fanno evidenziare uno spiccato dualismo geotecnico riferibile alle due frazioni granulometriche, argille e sabbie, che compongono la successione: in particolare i depositi inferiori della serie sono rappresentati prevalentemente da litotipi arenacei che passano a depositi più argillosi nella porzione terminale.

## 7 INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

Le incertezze nell'interpretazione del territorio indagato nella sua interezza sono legate alla modesta quantità di dati relativi ad ampie porzioni delle zone edificate in quanto non interessate da interventi recenti.

Per contro in alcune zone (v. Borgo Santa Maria) la quantità di dati a disposizione è risultata decisamente soddisfacente permettendo una buona ricostruzione dell'andamento delle coperture nonché una sicura valutazione delle caratteristiche litologiche e di integrità dei litotipi del substrato.

### **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)**

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) costituisce il documento principale della microzonazione sismica di Livello 1. Tale elaborato ottenuto attraverso le risultanze degli studi effettuati nella prima fase di studio indica le aree suscettibili di eventuali problematiche a seguito di un evento sismico e sulle quali è stata poi effettuata l'indagine di III livello.

La carta delle MOPS è stata ottenuta attraverso le risultanze delle seguenti fasi di studio:

- Acquisizione di tutto il materiale bibliografico disponibile, relativo alla cartografia geologica, ai fascicoli di indagini geognostiche, geofisiche, geotecniche, edite e non,

affidenti sia ad interventi pubblici che ad opere e progetti privati.

- Ricostruzione del modello geologico stratigrafico ed individuazione di problematiche geomorfologiche del territorio comunale in esame, ottenuta attraverso l'analisi della documentazione bibliografica ed i controlli eseguiti attraverso il rilevamento geologico e geomorfologico di campagna; l'elaborato finale è costituito dalla Carta geologico tecnica a scala 1:10.000 e relative sezioni geologiche.

- Caratterizzazione qualitativa in chiave litotecnica delle principali unità litostratigrafiche cartografate.

- Elaborazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) allo scopo di individuare a scala 1:10.000 le zone le cui condizioni locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni, le infrastrutture e l'ambiente.

Lo studio di MS ha permesso l'individuazione delle seguenti zone omogenee:

1. Zone Stabili suscettibili di amplificazione sismica in cui il moto sismico è modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di suolo, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e/o geomorfologiche del territorio;

2. Zone suscettibili di Instabilità in cui i terreni sono potenzialmente soggetti ad attivazione di fenomeni di deformazione permanente a seguito di un evento sismico;

Di seguito vengono descritte le principali caratteristiche geologiche e geomorfologiche delle classi di suscettibilità di amplificazione sismica individuate e cartografate nella carta (MOPS).

Lo studio di MS di livello 1 ha definito le seguenti zone omogenee:

**ZONA 1** - In queste aree sono presenti depositi eluvio-colluviali/fluviali costituiti prevalentemente da limi, limi argillosi e sabbiosi (ML), subordinatamente sabbie con spessori vari, normalmente inferiori agli otto metri.

La consistenza è varia passando da poco consistenti nei depositi più recenti a consistenti fino a molto consistenti nei depositi più antichi e profondi. Essi poggiano normalmente su un orizzonte ghiaioso anche piuttosto spesso (fino a 10 – 12 metri), solo raramente sovrastano direttamente i sedimenti del substrato geologico che è rappresentato da (SCH, ALS-GES e LAG 1dALS).



ZONA 2 – E' caratterizzata da una spessa coltre di materiali fini limo-argillosi (ML – CL) che raggiungono la profondità di 20 metri poggiando direttamente sui sedimenti del substrato geologico.

ZONA 3 – E' la microzona più estesa a livello di tutte le aree edificate, è caratterizzata da uno spessore variabile di ghiaie (coltre alluvionale, GW-GM) poggianti direttamente sul substrato geologico.

ZONA 4 – E' la microzona in cui si sono verificati i danni più consistenti ed è caratterizzata da uno spessore di materiali per lo più fini (limi fluviali) decisamente elevato perché supera i venti metri. La stratigrafia del luoghi non è omogenea sussistendo orizzonti limo-ghiaiosi poco spessi ma anche frequenti nelle porzioni di base della coltre alluvionale; si riscontrano anche chiusure laterali degli orizzonti limosi piuttosto brusche. Il substrato è rappresentato da litofacies arenaceo-pelitiche (ALS).

ZONA 5 – Circonda la microzona 4 e differisce da essa per la sostituzione sostanziale dell'orizzonte limoso con una spessa coltre alluvionale ghiaiosa seppure con matrice limosa e limo-sabbiosa generalmente abbondante.

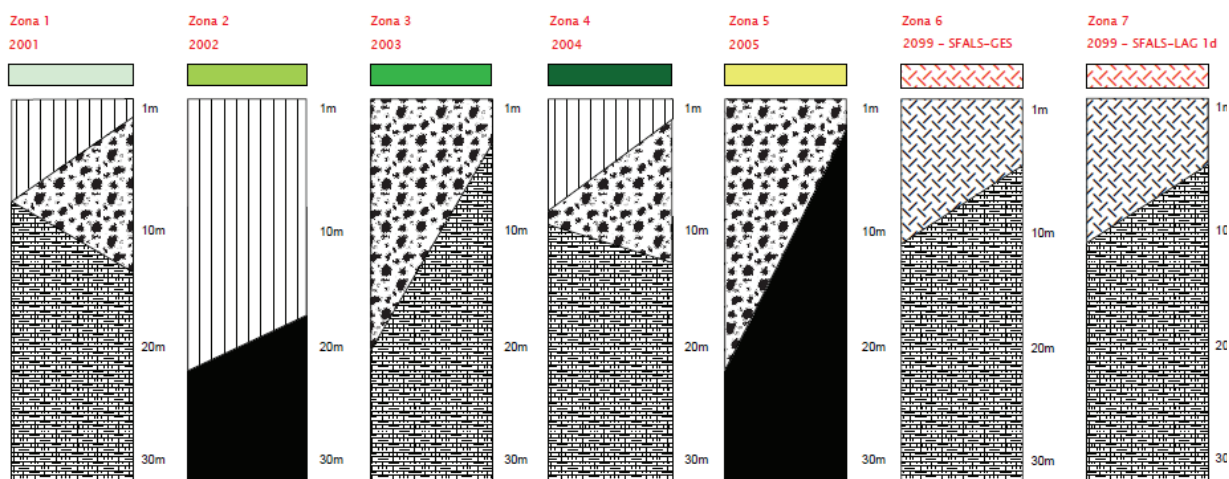
ZONA 6 – E' dislocata nella porzione più elevata del centro abitato in corrispondenza del settore occidentale del rilievo su cui è stato realizzato il Centro Storico. E' caratterizzata dalla presenza di una successione stratigrafica tutta rappresentata dai terreni del bedrock geologico che si presenta molto alterato al tetto nella sua porzione gessoso-solfifera a componente prevalentemente argillosa mentre è fratturata la sua porzione inferiore a forte componente lapidea (ALS-GES) passante ai sottostanti terreni a litofacies arenaceo-pelitica della Laga (LAG 1dALS).

ZONA 7 – E' contigua alla MOPS 6 e si caratterizza per la totale presenza del bedrock geologico della Laga (LAG 1dALS) essendo in contatto tettonico con i terreni ALS-GES. Superiormente è presente uno spesso orizzonte di forte alterazione dei sedimenti sovraconsolidati.

Per la realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, sono stati compilati, i seguenti shapefiles: Elineari, Ind\_pu, Instab, Stab. Per quanto riguarda la struttura degli shapefiles, i codici, la simbologia e colori adottati nella carta ci si

è basati secondo quanto previsto dagli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica (Versione 4.0b)”, approvati dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell’OPCM 13 novembre 2010, n.3907).

### Legenda delle MOPS



## Legenda



Limite area indagata M51



Limite area indagata M53

### Zone di attenzione per le instabilità



Zone di attenzione per le instabilità dovute a frane -  $ZA_{FR}$

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Zona 1 - 2001



Zona 2 - 2002



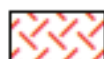
Zona 3 - 2003



Zona 4 - 2004



Zona 5 - 2005

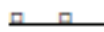


Substrato fratturato o alterato - 2099



Substrato fratturato o alterato - 2099

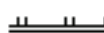
### Forme di superficie e sepolte



Orlo di scarpata morfologica (10-20m)



Orlo di terrazzo fluviale (10-20m)



Orlo di terrazzo fluviale (>20m)

Pertanto, riassumendo, le MOPS descritte risultano variamente suscettibili di amplificazione sismica locale come peraltro dimostrato dalla successiva fase analitica da cui sono stati ricavati i fattori FA.

E' stata anche individuata una fascia compresa nell'ambito delle: **Zone di attenzione per le instabilità di versante ( $ZA_{FR}$ )**

Tale zona corrisponde al tratto ampio di pendio sottostante il nucleo storico di Belforte nel quale sostanzialmente si sviluppa la viabilità di accesso al capoluogo e che è stato anche oggetto di parziali interventi di consolidamento, attualmente in attesa di nuovi interventi.

La Zona si caratterizza per la presenza di un substrato costituito dai sedimenti dello Schlier.

### **Zone di attenzione per Faglie attive e capaci ( $Z_{A_{FAC}}$ )**

Nel territorio indagato non sono presenti faglie attive e capaci né potenzialmente attive e capaci.

### **Zone di attenzione per liquefazione ( $Z_{A_{LQ}}$ )**

Nel territorio oggetto di studio non sono stati riscontrate condizioni litologico-tessiture e idrogeologiche tali da ipotizzare l'instaurarsi di fenomeni di liquefazione in caso di sisma.

La Tabella seguente riassume i risultati ottenuti.

<b>MOPS</b>	<b>FA 0.1-0.5</b>	<b>FA 0.4-0.8</b>	<b>FA 0.7-1.1</b>	<b>Note</b>
Zona 1 - 2001	1.33	1.05	1.11	
Zona 2 - 2002	1.50	1.18	1.02	
Zona 3 - 2003	1.38	1.11	1.05	
Zona 4 - 2004	2.0	1.92	1.48	
Zona 5 - 2005	1.95	1.76	1.29	
Zona 6 – 2099 Substrato Fratt. o Alter. Form. Gessoso-Solfifera	1.32	1.13	1.06	
Zona 7 – 2099 Substrato Fratt. o Alter. Formazione della Laga	1.22	1.08	1.04	

2.0 Ottenuto da analisi 2D

1.50 Ottenuto da analisi D

## 8 - DATI DI NUOVA ACQUISIZIONE E DESCRIZIONE DEL PIANO DI INDAGINI

Per lo svolgimento del presente lavoro sono state eseguite n. 6 acquisizioni sismiche con metodologia MASW e n. 10 misure del rumore ambientale a stazione singola HVSR, programma d'indagine validato dal centro MS, unitamente alla prova sismica in foro di tipo Down-Hole eseguita direttamente dal Centro MS sul foro di sondaggio attrezzato a cura dello scrivente.

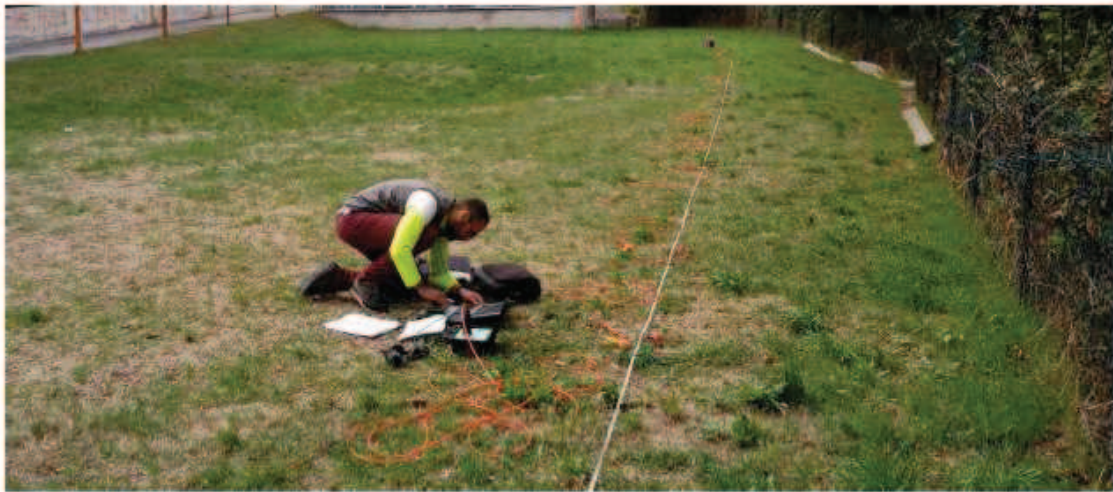
MOPS	ID MASW	ID HVSR	ID HVSR
2001	MASW 2		
2002			
2003	MASW 6	HVSR 2 HVSR 6 HVSR 7 HVSR 10	
2004	MASW 3	HVSR 3	D-H
2005	MASW 4 MASW 5	HVSR 4 HVSR 5 HVSR 8 HVSR 9	
2099 ALS-GES			
2099 LAG 3d-ALS	MASW 1	HVSR 1	

### 8.1- Caratteristiche delle strumentazioni utilizzate

Le indagini geofisiche eseguite nell'ambito del presente lavoro sono state effettuate con strumentazioni aventi le caratteristiche tecniche di seguito descritte.

#### Strumentazione per indagini sismiche MASW

Le acquisizioni MASW sono state eseguite mediante sismometro PASI mod. SU24g mediante 12 geofoni verticali e orizzontali a bassa frequenza (4.5 Hz) marca PASI (fig.1). Sono state acquisite sia la componente radiale delle onde di Rayleigh sia la componente trasversale (Onde di Love) energizzando verticalmente con massa battente su piastra e orizzontalmente su traversina in legno. La masw 4 è stata riacquisita e rielaborata con una stesa di 24 geofoni esclusivamente verticali.



**Figura 1. Array MASW.**

### **Strumentazione per indagini sismiche passive HVSR**

Le misure di rumore sismico ambientale sono state eseguite mediante SISMOMETRO Geobox SARA, con frequenza propria di 4.5 Hz (fig.2).



**Figura 2.Sismometro SARA.**

Per meglio comprendere la natura di un disturbo presente in alcune misure, nell'intervallo di frequenza degli spettri compreso tra 3-6 Hz, si è proceduto alla ripetizione delle misure di rumore sismico ambientale delle seguenti misure:

-hv1 -hv2 -hv3 -hv4 -hv6 -hv9.

Al fine di poter escludere un possibile problema tecnico della terna utilizzata per le prime misurazioni si è utilizzata una terna di geofoni Pasi modello Gemini con frequenza di 2 Hz.





SOCIETA' DI TECNOLOGIE E SERVIZI INNOVATIVI NEL SETTORE AMBIENTALE

Via della Chimica snc 02100 RIETI 0746221363 - www.geo-3d.it - info@geo-3d.it



Figura 3. Acquisitore Pasi Gemini da 2Hz.

Le nuove misure presentano in qualche caso ancora disturbi nel medesimo *range* di frequenze portando alla conclusione plausibile che si tratti di un disturbo locale costante e su tutta l'area, non attribuibile alla strumentazione usata o ad una esecuzione errata.

In altre misure l'elaborazione eseguita con finestre da 40s e una più accurata pulizia del segnale ha consentito di migliorare l'elaborazione portando ad una identificazione migliore della frequenza di risonanza.

### Software di elaborazione

L'elaborazione è stata eseguita per le tipologie di prove MASW e HVSr mediante il programma Winmasw vers. 7.1 *Academy* della soc. Eliosoft il quale permette di ricavare il profilo della Vs (velocità delle onde di taglio) mediante inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh e Love determinate tramite la tecnica MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) mediante algoritmi genetici.

### Acquisizioni MASW

Si è ottemperato a quanto previsto dai protocolli mantenendo il setting consigliato.

Per quanto riguarda la nomenclatura dei file sono stati nominati in funzione dell'ordine di acquisizione per ogni sito. La sorgente è sempre la mazza di Kg8, una piastra in alluminio, una trave di legno e il trigger è costituito da un geofono starter.



## Elaborazioni MASW

Si è eseguita un' analisi modale congiunta valutando quindi sia lo spettro ottenuto con la componente radiale delle onde di Rayleigh che quello ottenuto con le onde di Love.

Si sono elaborate le singole acquisizioni ed è stata eseguita una inversione del modello con miglior fitting rispetto allo spettro di dispersione relativo alle onde di Rayleigh e Love.

In alcuni casi si è proceduto esclusivamente all'analisi dello spettro di Rayleigh perché considerato migliore ai fini dell'interpretazione.

Sono stati prodotti due elaborati:

- uno indicato come "SINTETICO" ove sono riportati i risultati relativi al modello medio e al modello migliore, le immagini degli spettri con la modellazione e il picking, il dataset elaborato, il grafico del misfit e il profilo Vs;
- uno "TECNICO" che riporta in modo più dettagliato il processo di inversione.

La procedura standard di elaborazione ha previsto eventuale ricampionamento, la pulizia dei canali disturbati tramite il taglio o l'azzeramento e la selezione del *ground roll*.

Il coefficiente di Poisson e il fattore di qualità  $Q_s$  sono scelti dall'utente ma poi sono comunque ottimizzati dall'algoritmo di ottimizzazione e nell'elaborato tecnico sono indicati i valori minimi e massimi dello spazio di ricerca.

La base di partenza per l'interpretazione è data dal modello geologico: in questo caso infatti l'area di Belforte è costituita da substrato geologico arenaceo con velocità inferiori a 700 m/s con una copertura massima di terreni di alterazione di 20 m. Per la congruenza con le velocità e gli spessori delle coperture riscontrate si è fatto riferimento ai sondaggi eseguiti all'interno del territorio comunale che hanno riguardato la stessa formazione marnoso arenacea, in facies arenacea, la quale si presenta con velocità degli strati superficiali tra 200 e 500 m/s, velocità che aumentano sensibilmente in profondità.

## MISURE HVSR

Per l'acquisizione delle vibrazioni naturali ci si è attenuti alle indicazioni del protocollo con una registrazione di durata superiore ai 20 minuti e frequenza di campionamento superiore a 100 cps. Per l'elaborazione si è utilizzato un lisciamento degli spettri con finestre triangolari con ampiezza compresa tra 10% e 15% della frequenza centrale; le sottofinestre della serie campionata hanno una dimensione temporale compresa tra 20 e 40 sec; le frequenze degli spettri ottenuti sono comprese tra 0,25 e 20 Hz. Durante l'elaborazione gli spettri sono stati ricampionati a 128 Hz.



Nella cartella “Indagini/Documenti/Dati originali” sono contenuti i file originali di acquisizione delle misure effettuate (formato file .saf), i valori medi dei rapporti spettrali ottenuti a seguito della procedura di elaborazione e i report descrittivi dei risultati comprensivi dei fogli di campagna per l’acquisizione HVSR forniti dal Centro di MS e debitamente compilati.

La scelta della densità e della distribuzione dei punti di misura è stata effettuata in base al livello di eterogeneità messo in evidenza dal modello geologico del sottosuolo.

L’ubicazione delle indagini MASW e HVSR eseguite è visibile nella Carta delle Indagini allegata alla presente relazione.

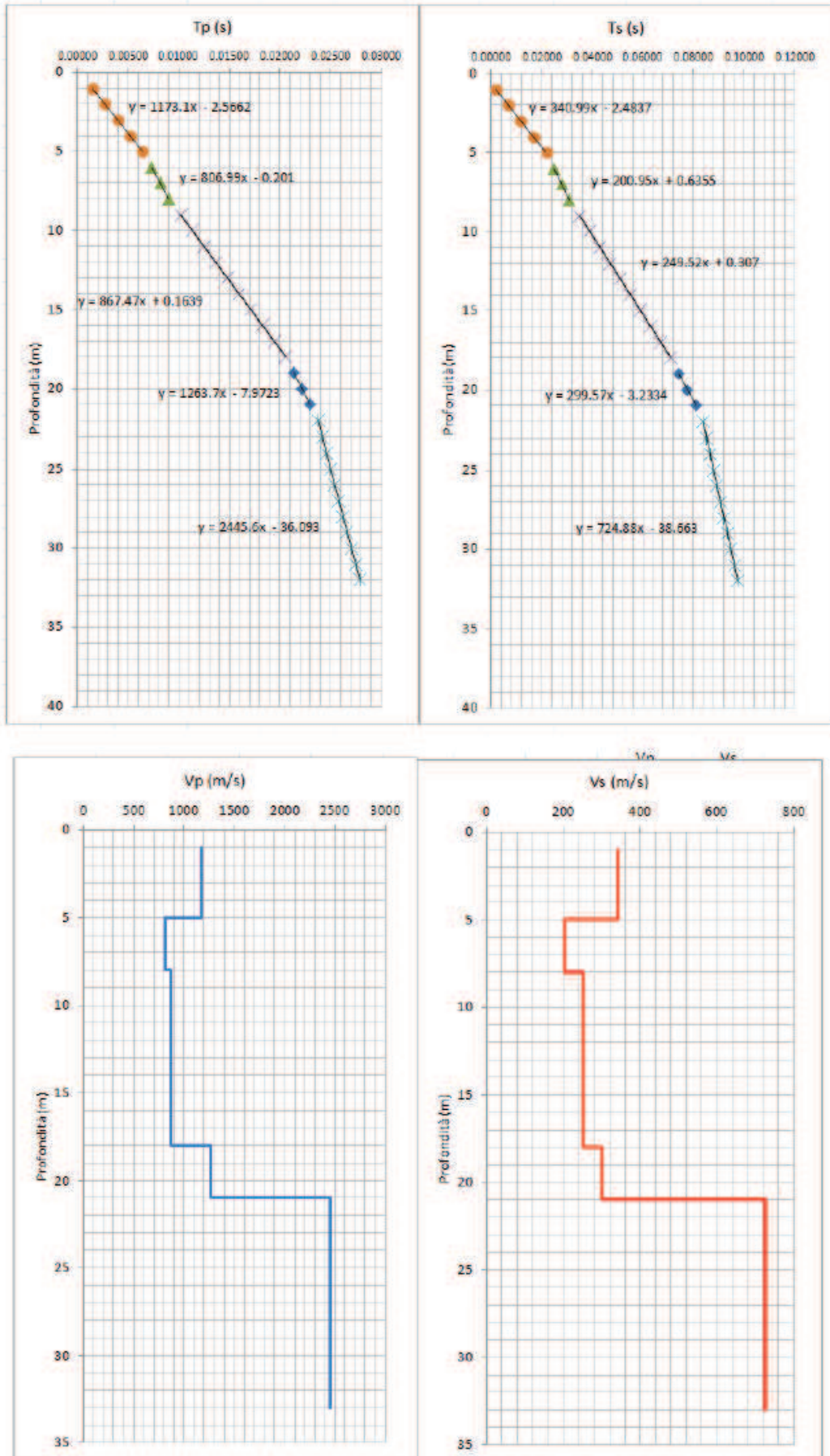
### **Strumentazione per indagine sismica down-hole**

La prova Down-hole è stata eseguita dai tecnici dello IAMC-CNR di Napoli incaricati direttamente dal Centro MS. La strumentazione utilizzata per l’esecuzione dell’indagine sismica in foro è un sismografo Geometrics-Geode 16 canali con intervallo di acquisizione di 0,5 ms e un tempo di campionamento pari a 512 ms.

<b>Macroarea</b>	Marche 2	
<b>Località</b>	Belforte del Chienti	
<b>Data di acquisizione</b>	16/10/2017	
<b>Coordinate Geografiche</b>	Lat.	43° 10' 20.28" N
	Long.	13° 14' 19.20" E
<b>Sondaggio</b>		
<b>Profondità foro (m)</b>	35	
<b>Strumentazione</b>		
<b>Sismografo</b>	Geometrics-Geode	
<b>Sensori</b>	n. 2 geofoni 3D a distanza di 1 m a 10 Hz	
<b>Sistema orientazione</b>	Aste in alluminio	
<b>Sorgente</b>	Massa Battente 5 Kg	
<b>Piastra (componente verticale)</b>	Alluminio rinforzato 30cmX30cm	
<b>Piastra (componente orizzontale)</b>	Teflon rinforzato 100cmX30cmX20cm	
<b>Parametri acquisizione</b>		
<b>Intervallo Campinamento (ms)</b>	0.500	
<b>Finestra temporale (s)</b>	1.0	
<b>Numero Campioni acquisiti</b>	2000	
<b>Distanza dal boccapozzo (m)</b>	1.5	
<b>Prima misura (m)</b>	1.0	
<b>Ultima Misura (m)</b>	33.0	



Foto - Sito di durante l'esecuzione della prova





## Sito: Belforte del Chienti

Profondità [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]
0.0 - 5.0	1173	341
5.0 - 8.0	807	201
8.0 - 18.0	867	250
18.0 - 21.0	1264	300
21.0 - 35.0	2446	725

Colonna stratigrafica sondaggio S.1 attrezzato per D-H.

GEOSTUDIO - Studio Geologico Tecnico  
Dott. Geol. Ivan Losego  
Via Della Pace, 36  
62029 Tolentino (MC) . Tel. 0733 / 973845

Comune di Belforte del Chienti		Profondità raggiunta 35.0 m	Quote P.C. 265.00 m s.m.	Certificato n° 1	Foglio 1					
Operatore		Inchiesta Infrastrutturazione Stradale	Nota Via Giovanni - Belforte del Chienti	Emissione Doc. 11/12/06 17						
Responsabile Dott. Geol. Ivan Losego		Sondaggio S.1	Tipo Sondaggio Carotaggio Continuo	Tipo Sonda	Coordinate X Y					
Code [m]	Libro	Descrizione	Quote [m]	Ricaricchi S.Q.D.	S.P.T. (n° colpi)	Profilo [m]	Velocità [m/s]	Compenso	Falso	Quotazioni
1		Massicciata stradale con pietrisco calcareo grossolano e tappetino bituminoso	0.70							
2		Limi argillo-sabbiosi di colore marrone chiaro con qualche concrezione carbonatica e screziature organiche.	3.00		1.7					
3		Ghiaia con ciottoli a matrice limo-sabbiosa	5.30		35-44 rif 4.50 PC					
4		Limo sabbioso debolmente argilloso di colore avana	7.80		8-8-6			7.80		Camp. Ind. C1
5		Ghiaietto con sabbia	8.40		7.00 PA			7.80 8.40		Camp. Ind. C2
6		Limi argillosi debolmente sabbiosi di colore grigio con qualche concrezione carbonatica.	18.00		1.2					8.50
7		Ghiaia, anche grossolana, frammista a limi argillosi grigi	19.80		2-5-7					
8		Limi argillosi debolmente sabbiosi di colore grigio con screziature di ossidazione e strie azzurrognole	20.75		12.00 PA					
9		Substrato geologico: arenarie di colore grigio da cementate a poco cementate con livelletti argillosi e prevalenti livelli sabbioso arenacei	35.00		0.9					

Responsabile: Dott. Geol. Ivan Losego

















## 9 CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI

In questa tavola sono riportati, in scala 1:5.000, i punti di misura di microtremore a stazione singola che mostrano il rapporto spettrale H/V alle diverse frequenze. I simboli riportati in carta con diversi colori e dimensioni indicano il picco di ampiezza significativo a frequenza più bassa, che corrisponde al valore di frequenza fondamentale ( $f_0$ ) e l'ampiezza relativa. Sulla base dei dati ottenuti dalle misure di microtremore sismico sono state individuate le classi di frequenza.

## 10 CARATTERISTICHE SISMOSTRATIGRAFICHE DELLE ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE LOCALE

Le indagini geofisiche eseguite nell'ambito del presente lavoro (DH, MASW, HVSR) hanno evidenziato come i litotipi del substrato geologico presenti nell'area di studio siano caratterizzati da velocità di propagazione delle onde di taglio quasi sempre inferiori a 800 m/s, tali da non poter essere considerato come bedrock sismico se non considerando la circolare di deroga al valore di 700 m/s.

Per la determinazione della profondità del bedrock rigido di riferimento, necessaria per le analisi di risposta sismica locale, si è proceduto all'inversione congiunta tra la curva di dispersione ottenuta dalla misura MASW di riferimento e significativa per ognuna delle MOPS che vincola maggiormente la parte superficiale del profilo di Vs, e la curva H/V, ottenuta dalla misura a stazione singola associata allo stendimento sismico attivo, che dà invece maggiori informazioni sull'andamento delle velocità delle onde di taglio in profondità e sull'entità del contrasto di impedenza sismico.

Di seguito, per ogni MOPS individuata, viene riportata la sismo-stratigrafia inserita nel software Strata risultata dalla combinazione dei rapporti stratigrafici con l'indagine HVSR di riferimento (*verifica della congruità del modello in condizioni elastiche*). Le indagini sismiche (MASW e Down Hole, hanno permesso di definire i range di spessore e velocità da attribuire ai terreni sovrastanti il bedrock sismico. I dati numerici inseriti nel software Strata provengono da un'analisi di dettaglio delle caratteristiche litologiche, meccaniche e sismiche dei terreni costituenti la successione stratigrafica di ognuna delle MOPS prese in esame.

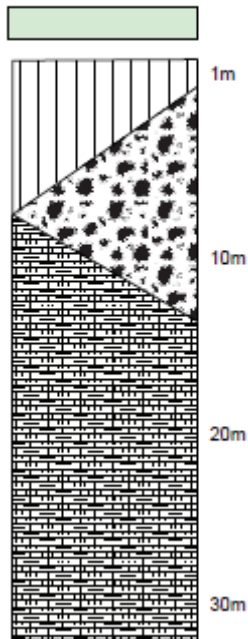
Per le MOPS 6 – 2099 ALS-GES e 2 - 2002, le analisi sono state effettuate sulle base dei soli dati stratigrafici pregressi ed in riferimento alle diverse caratteristiche fisiche e dinamiche proposte dalla bibliografia fornita nell'ambito del progetto di micro zonazione.

Tali zone, pertanto, necessitano di ulteriori studi mirati a verificare la congruenza dei risultati ottenuti con le caratteristiche dinamiche derivanti da specifiche da acquisizioni strumentali.

**MOPS 2001**

Zona 1

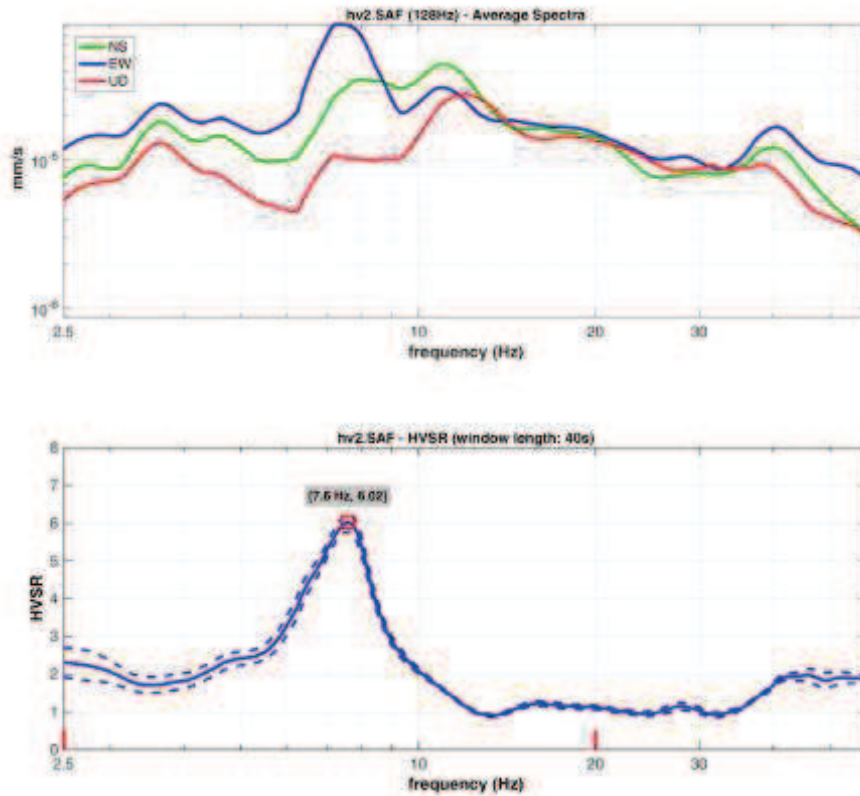
2001



Le indagini condotte descrivono sostanzialmente una successione stratigrafica formata da sedimenti fini di copertura poco consistenti sovrapposti a sedimenti limosi fluviali di spessore almeno doppio, a cui seguono ghiaie il cui spessore è variabile con medie intorno agli 8 metri. Il substrato è costituito dalla formazione dello Schlier (SCH), alterato e fratturato almeno nella prima decina di metri.

VS 30 e CATEGORIE DI TERRENO NTC 2008

**MOPS 2001 – Zona 1** $V_{s30} = 465$  m/sCategoria di terreno (NTC 2008) **B**



La misura di rumore Hv2 è stata eseguita in un'area caratterizzata da circa 10m di copertura di depositi ghiaiosi su substrato integro costituito da alternanze di materiali arenacei e argillosi.

Il picco di HVSR a  $f=7.6$  Hz per un valore del rapporto spettrale pari a 6.02 è coerente con la sismostratigrafia locale.

C:\Users\pvale\Documents\MICROZONAZIONE BELFORTE\MODELLAZIONE ID\ELABORAZIONE MOPS - FA\ELABORAZIONE MOPS.ZONA 1 - rielaborata bis\MS III Belforte del Chienti MOPS zona 1 (rielaborata bis) Input 1.strat...

File Edit Tools Window Help

General Settings Soil Types Soil Profile Motion(s) Output Specification Compute Results

Site Profile

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1 0.00	2.10	6_Treia (tutti ML)	199.00	<input checked="" type="checkbox"/> 120.00	<input checked="" type="checkbox"/> 210.00	<input checked="" type="checkbox"/>
2 2.10	4.50	MLtf (Pollenza, Urbisaglia)	354.00	<input checked="" type="checkbox"/> 300.00	<input checked="" type="checkbox"/> 400.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3 6.60	8.50	Rollins et al. (1998) (GW, GP, GM, GC)	691.00	<input checked="" type="checkbox"/> 280.00	<input checked="" type="checkbox"/> 700.00	<input checked="" type="checkbox"/>
4 15.10	10.00	Schlier (SCH) alterato	561.00	<input checked="" type="checkbox"/> 550.00	<input checked="" type="checkbox"/> 750.00	<input checked="" type="checkbox"/>
5 25.10	Half-Space	Bedrock	720.00	<input checked="" type="checkbox"/> 620.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1170.00	<input checked="" type="checkbox"/>

Variation of the Site Profile

**Toro (1992) Site Variation Model**

- Vary the shear-wave velocity of the layers
- Vary the layer thickness
- Vary the depth to bedrock

Velocity Variation Parameters

Layer Thickness Variation Parameters

Bedrock Depth Variation Parameters

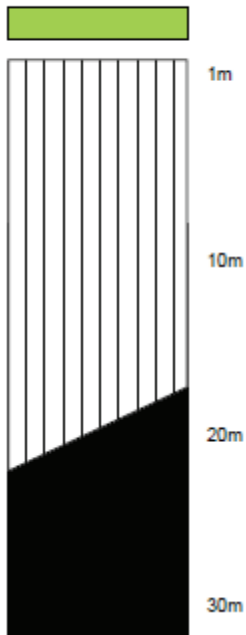
Distribution: Uniform

Standard deviation: 0,500

- Minimum depth to bedrock: 30,00
- Maximum depth to bedrock: 50,00

## MOPS 2002

Zona 2  
2002



I dati a disposizione da sondaggio pregresso descrivono la microzona come caratterizzata da una coltre di limi fluviali, di spessore consistente fino ai 18 metri, poggianti su di un substrato geologico riferibile a litofacies Arenaceo-pelitica (LAD 1d – ALS) che, nella sua porzione non alterata ha  $V_s$  minimi non minori di 700m/s.

VS 30 e CATEGORIE DI TERRENO NTC 2008

### MOPS 2002 – Zona 2

$$360 < V_{s30} < 800 \text{ m/s}$$

Categoria di terreno (NTC 2008) **B**

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	$V_s$ (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1 0.00	18.00	MLtf (Pollenza, Urbisaglia)	350.00	<input checked="" type="checkbox"/> 300.00	<input checked="" type="checkbox"/> 400.00	<input checked="" type="checkbox"/>
2 18.00	Half-Space	Bedrock	720.00	<input checked="" type="checkbox"/> 620.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1170.00	<input checked="" type="checkbox"/>

Right panel: Variation of the Site Profile

**Toro (1992) Site Variation Model**

- Vary the shear-wave velocity of the layers
- Vary the layer thickness
- Vary the depth to bedrock

Velocity Variation Parameters

Layer Thickness Variation Parameters

Bedrock Depth Variation Parameters

Distribution: Uniform

Standard deviation: 0,500

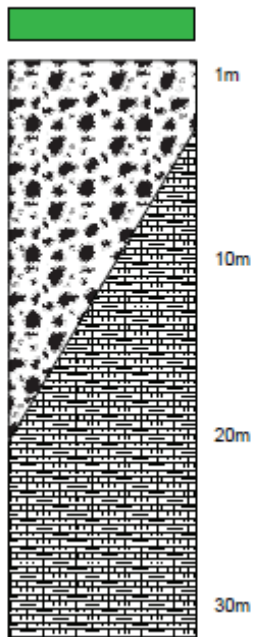
Minimum depth to bedrock: 20,00

Maximum depth to bedrock: 36,00



## MOPS 3

Zona 3  
2003



*Per la verifica della congruità del modello in condizioni elastiche è stato presa come riferimento la misura ambientale HVSR 6 e HVSR 7*

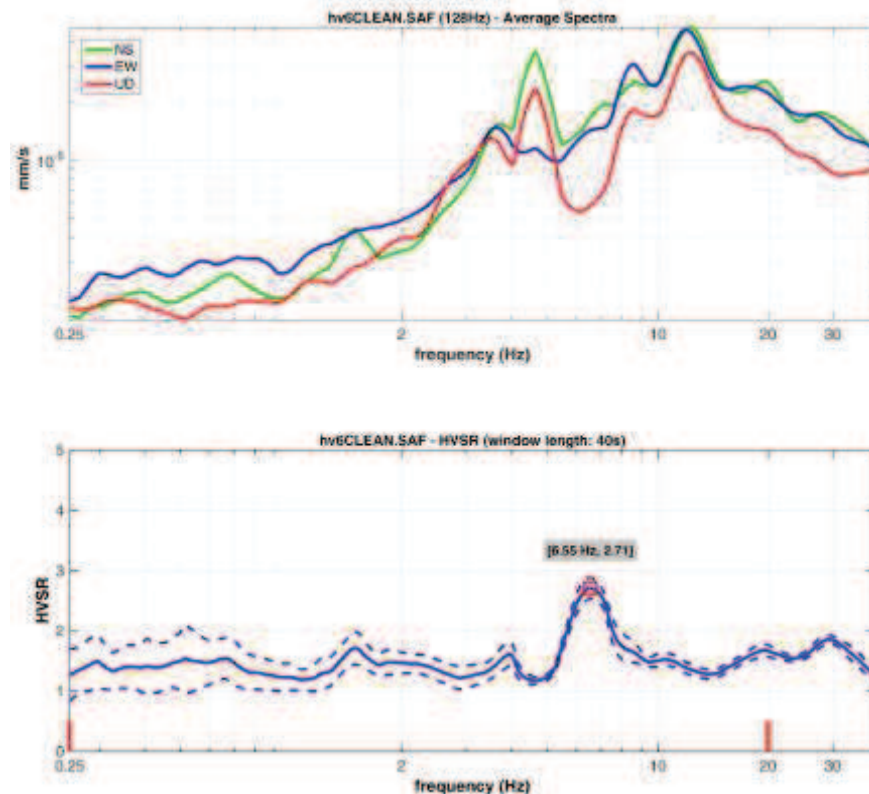
Le indagini condotte descrivono sostanzialmente una successione stratigrafica formata da sedimenti ghiaiosi a matrice limo-sabbiosa variabile i cui spessori raggiungono i 20 metri. Il substrato, ragionevolmente a componente essenzialmente/prevalentemente arenacea, si è mostrato nella sua “compattezza” da bedrock sismico come evidenziato dalla MASW 6.

VS 30 e CATEGORIE DI TERRENO NTC 2008

### MOPS 2003 – Zona 3

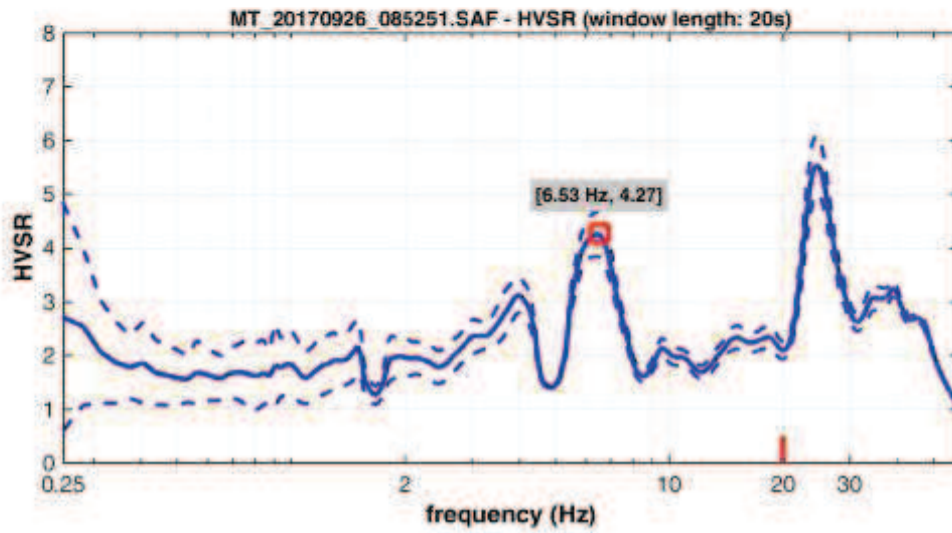
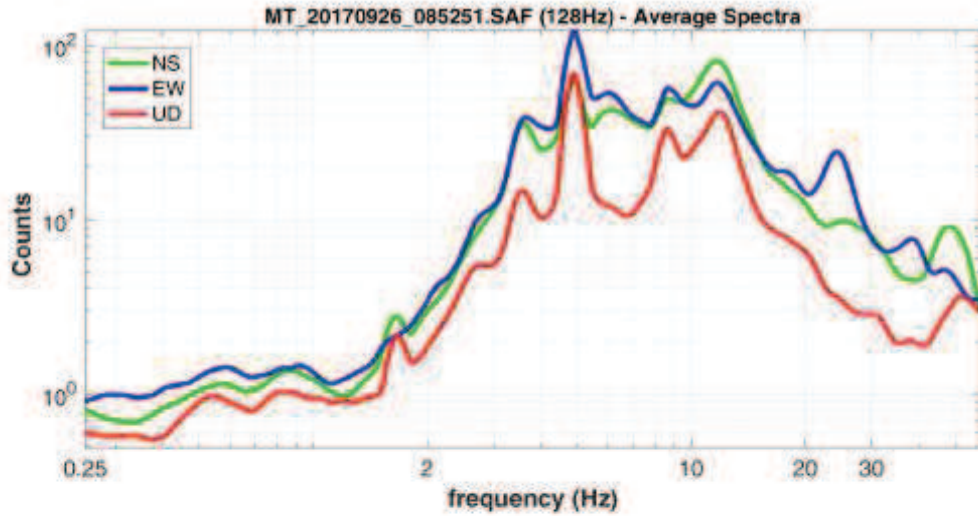
$V_{s30} = 550$  m/s

Categoria di terreno (NTC 2008) **B**

**MOPS 2003 - Indagine sismica passiva HVSR 6 – 7**

La misura di rumore Hv6 evidenzia una frequenza di picco del rapporto HVSR a  $f=6.5$  per un valore di ampiezza pari a 2.7, nonostante siano presenti a frequenze prossime, dei disturbi antropici, tale frequenza sembra non correlata a questi ultimi.

Un valore di picco pari a 4,27, alla frequenza di 6.53 Hz, è stato registrato anche nella vicina stazione HVSR 7.



C:\Users\pvale\Documents\MICROZONAZIONE BELFORTE\MODELLAZIONE ID\ELABORAZIONE MOPS - FA\ELABORAZIONE MOPS\ZONA 3\MS III Belforte del Chienti MOPS zona 3 Input 1.strata - Strata

File Edit Tools Window Help

General Settings Soil Types Soil Profile Motion(s) Output Specification Compute Results

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1 0.00	1.40	Rollins et al. (1998) (GW, GP, GM, GC)	150.00	<input checked="" type="checkbox"/> 100.00	<input checked="" type="checkbox"/> 294.00	<input checked="" type="checkbox"/>
2 1.40	20.30	Rollins et al. (1998) (GW, GP, GM, GC)	560.00	<input checked="" type="checkbox"/> 500.00	<input checked="" type="checkbox"/> 630.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3 21.70	Half-Space	Bedrock	862.00	<input checked="" type="checkbox"/> 620.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1170.00	<input checked="" type="checkbox"/>

Variation of the Site Profile

**Toro (1992) Site Variation Model**

- Vary the shear-wave velocity of the layers
- Vary the layer thickness
- Vary the depth to bedrock

Velocity Variation Parameters

Layer Thickness Variation Parameters

Bedrock Depth Variation Parameters

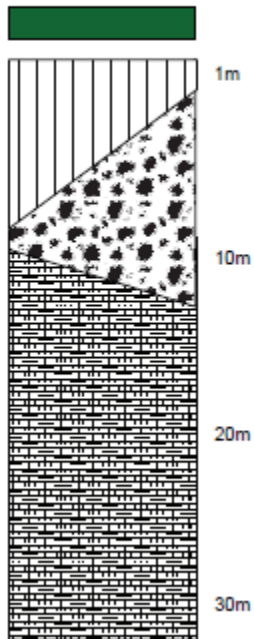
Distribution: Uniform

Standard deviation: 0,500

- Minimum depth to bedrock: 20,00
- Maximum depth to bedrock: 36,00

**MOPS 2004**

Zona 4  
2004



*Per la verifica della congruità del modello in condizioni elastiche è stato presa come riferimento la misura ambientale HVSR 3*

La stratigrafia di riferimento è quella descritta nella colonnina S.1 (sondaggio attrezzato per esecuzione prova D-H).

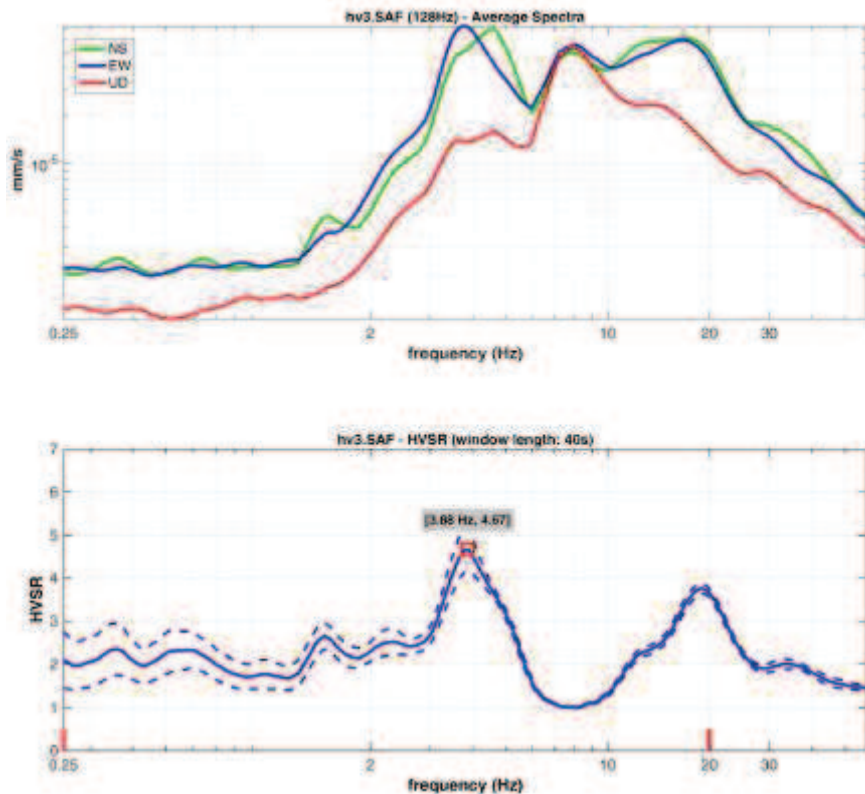
VS 30 e CATEGORIE DI TERRENO NTC 2008

**MOPS 2004 – Zona 4**

$V_{s30} = 436$  m/s

Categoria di terreno (NTC 2008) **B**

### MOPS 2004 - Indagine sismica passiva HVSR 3



La misura di rumore Hv3 è stata eseguita in un'area dove la stratigrafia è costituita da circa 10–20 m di depositi sabbiosi ed argillosi su substrato integro costituito da alternanze materiali arenacei e argillosi.

Il picco di HVSR a  $f=3.88$  Hz per un valore del rapporto spettrale pari a 4.67 è coerente con la sismostratigrafia locale anche se potrebbe risentire di disturbi antropici rilevati in questo range di frequenze. Il secondo picco netto ben identificabile alla frequenza  $f=18.9$  Hz con ampiezza di poco inferiore a 4 definisce molto probabilmente un contrasto di impedenza tra i depositi di copertura più superficiali.

C:\Users\pvale\Documents\MICROZONAZIONE BELFORTE\MODELLAZIONE ID\ELABORAZIONE MOPS - FA\ELABORAZIONE MOPS\ZONA 4 - rielaborata\ANALISI MULTIPLA\MS III Belforte del Chienti MOPS zona 4 rielaborata L...

File Edit Tools Window Help

General Settings Sol Types Sol Profile Motion(s) Output Specification Compute Results

Site Profile

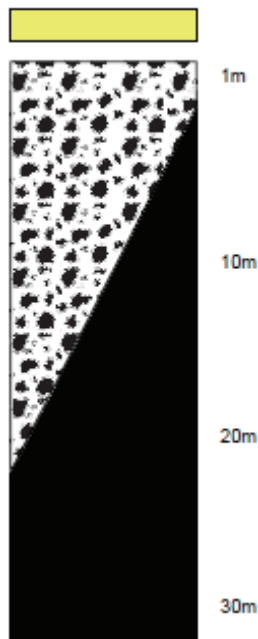
Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1 0.00	5.00	MLec Belforte	341.00
2 5.00	3.00	MLtf (Pollenza, Urbisaglia)	201.00
3 8.00	10.00	MLtf (Pollenza, Urbisaglia)	250.00
4 18.00	3.00	Rollins et al. (1998) (GW, GP, GM, GC)	300.00
5 21.00	16.00	Arenarie di Camerino (litofacies arenaceo-pelitica)	725.00
6 37.00	Half-Space	Bedrock	800.00



**MOPS 2005**

Zona 5

2005



*Per la verifica della congruità del modello in condizioni elastiche è stato presa come riferimento la misura ambientale HVSR 1*

I dati a disposizione da sondaggio pregresso descrivono la microzona come caratterizzata da una coltre di limi fluviali, di spessore consistente fino ai 18 metri, poggianti su di un substrato geologico riferibile a litofacies Arenaceo-pelitica (LAG 1d – ALS) che, nella sua porzione non alterata ha  $V_s$  minimi non minori di 700m/s

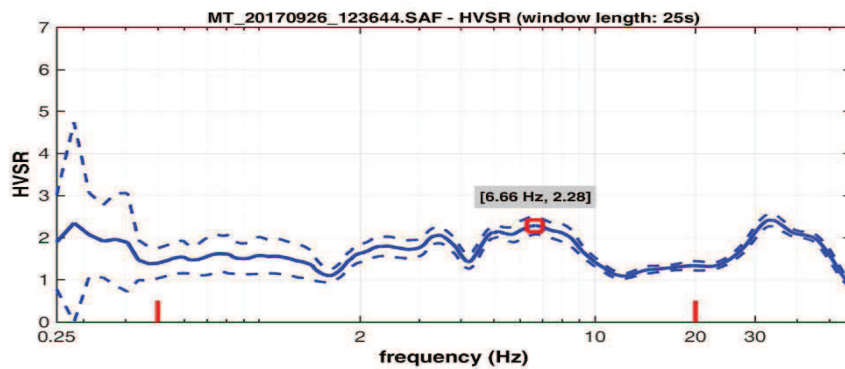
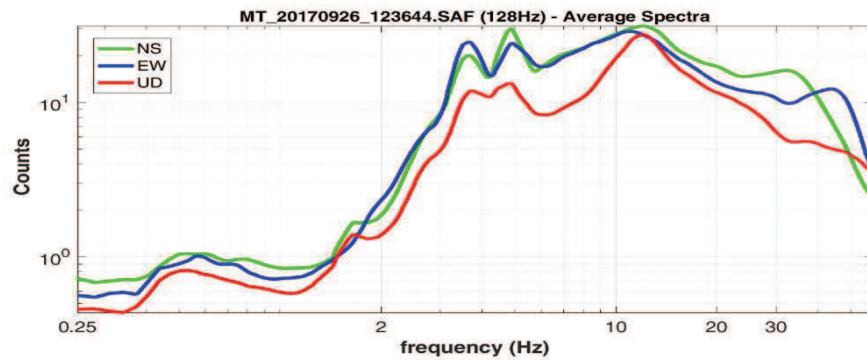
VS 30 e CATEGORIE DI TERRENO NTC 2008

**MOPS 2005 – Zona 5**

$V_{s30} = 460$  m/s

Categoria di terreno (NTC 2008) **B**

## MOPS 2005 - Indagine sismica passiva HVSR 8



La misura di rumore Hvsr8 presenta un picco a 6.66 Hz per un valore del rapporto spettrale pari a 2.28.

C:\Users\pvale\Documents\MICROZONAZIONE BELFORTE\MODELLAZIONE ID\ELABORAZIONE MOPS - FA\ELABORAZIONE MOPS\ZONA 5 - rielabora\MS III Belforte del Chienti MOPS zona 5 Input 1.strata - Strata

File Edit Tools Window Help

General Settings Soil Types Soil Profile Motion(s) Output Specification Compute Results

Site Profile

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1 0.00	8.30	Rollins et al. (1998) (GW, GP, GM, GC)	248.00	<input checked="" type="checkbox"/> 240.00	<input checked="" type="checkbox"/> 300.00	<input checked="" type="checkbox"/>
2 8.30	12.70	Rollins et al. (1998) (GW, GP, GM, GC)	350.00	<input checked="" type="checkbox"/> 300.00	<input checked="" type="checkbox"/> 460.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3 21.00	Half-Space	Bedrock	720.00	<input checked="" type="checkbox"/> 600.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1170.00	<input checked="" type="checkbox"/>

Variation of the Site Profile

**Toro (1992) Site Variation Model**

- Vary the shear-wave velocity of the layers
- Vary the layer thickness
- Vary the depth to bedrock

Velocity Variation Parameters

- Layer specific standard deviation
- Distribution: Log Normal
- Standard deviation: Custom
- 0,150
- Correlation model: Custom

Correlation Parameters

- Correl. coeff. at surface (p\_0): 0,990
- Correl. coeff. at 200 m (p\_200): 0,980
- Change in correl. with depth (A): 3,900
- Depth intercept (d\_0): 0,00 m
- Exponent (b): 0,3440

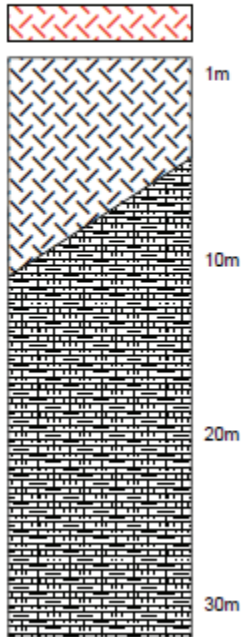
Layer Thickness Variation Parameters

Bedrock Depth Variation Parameters

## MOPS 2099 SFALS - GES

Zona 6

2099 - SFALS-GES



I dati a disposizione, da sondaggio pregresso e da rilevamento, descrivono la microzona come riferibile alla successione stratigrafica di argille limo-sabbiose sovraconsolidate, molto alterate e fetide (Formazione gessoso-solfifera ALS-GES) sovrapposte, anche con presenza di strati a consistenza lapidea (gessareniti) ai litotipi Arenaceo-pelitici (LAG 1d – ALS).

VS 30 e CATEGORIE DI TERRENO NTC 2008

### MOPS 2099 SFALS - GES – Zona 6

$360 < Vs_{30} < 800$  m/s

Categoria di terreno (NTC 2008) **B**

C:\Users\pvale\Documents\MICROZONAZIONE BELFORTE/MODELLAZIONE ID/ELABORAZIONE MOPS - FA/ELABORAZIONE MOPS/FORMAZIONE GESSOSO-SOLFIFERA rielaborata quater regressione/MS III Belforte del Chienti...

File Edit Tools Window Help

General Settings Soil Types Soil Profile Motion(s) Output Specification Compute Results

Site Profile

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1 0.00	9.00	Substrato fortemente alterato	410.00	<input checked="" type="checkbox"/> 380.00	<input checked="" type="checkbox"/> 450.00	<input checked="" type="checkbox"/>
2 9.00	21.00	ALS	600.00	<input checked="" type="checkbox"/> 550.00	<input checked="" type="checkbox"/> 650.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3 30.00	8.00	Arenarie di Camerino (litofa...	696.00	<input checked="" type="checkbox"/> 620.00	<input checked="" type="checkbox"/> 800.00	<input checked="" type="checkbox"/>
4 38.00	Half-Space	Bedrock	800.00	<input checked="" type="checkbox"/> 720.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1170.00	<input checked="" type="checkbox"/>

Variation of the Site Profile

**Toro (1992) Site Variation Model**

Vary the shear-wave velocity of the layers

Vary the layer thickness

Vary the depth to bedrock

Velocity Variation Parameters

Layer Thickness Variation Parameters

Bedrock Depth Variation Parameters

Distribution: Uniform

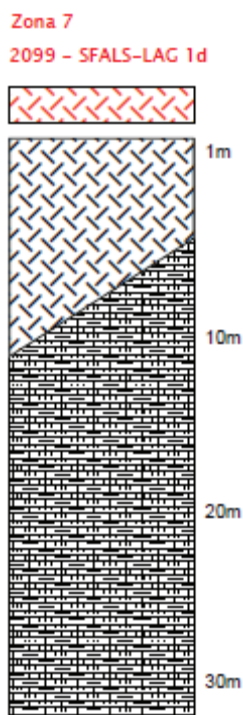
Standard deviation: 0,500

Minimum depth to bedrock: 30,00

Maximum depth to bedrock: 50,00

I parametri di velocità attribuiti ai diversi litotipi sono stati tratti dalla banca dati fornita al sottoscritto (curve G e D) Marche 2 e 1.

### MOPS 2099 SFALS – LAG 1d



*Per la verifica della congruità del modello in condizioni elastiche è stato presa come riferimento la misura ambientale HVSR 1*

Le indagini condotte evidenziano come la successione stratigrafica della microzona in oggetto sia sostanzialmente caratterizzata dalla fascia di più spinta alterazione dei terreni del substrato (LAG 1d- ALS) prevalentemente argilloso-sabbiosi fino a circa 9,0 m, passanti ad una fascia di minore alterazione per uno spessore sostanzialmente analogo al precedente, a cui seguono i termini sostanzialmente inalterati (litofacies arenaceo-pelitica).

VS 30 e CATEGORIE DI TERRENO NTC 2008

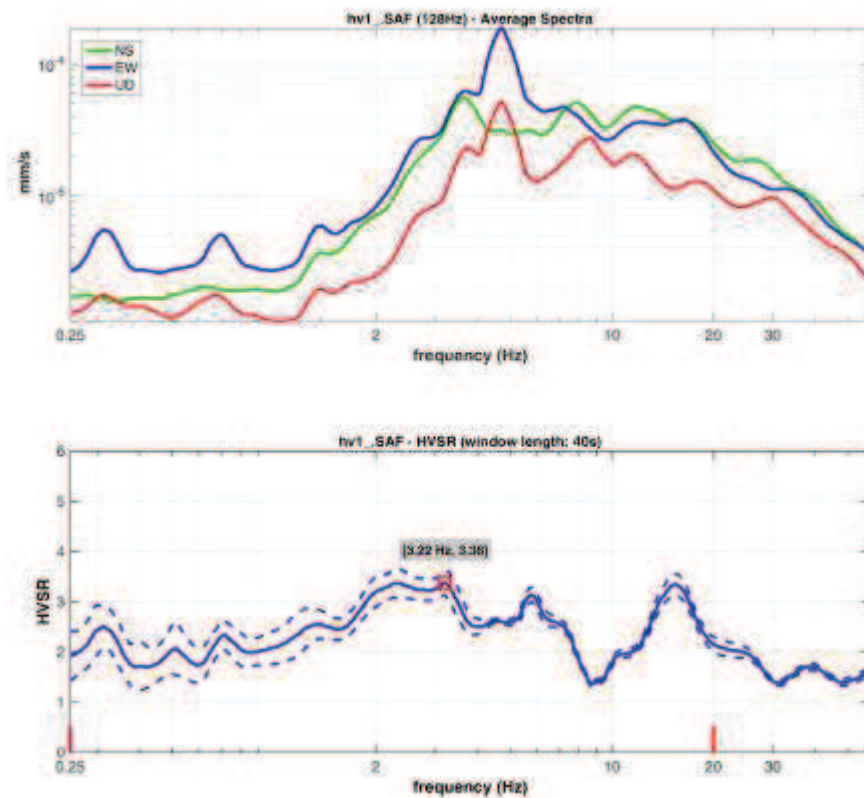
### MOPS 2099 SFALS – LAG 1d – Zona 7

$V_{s30} = 370$  m/s

Categoria di terreno (NTC 2008) **B**



## MOPS 2019 SFALS – LAG 1d - Indagine sismica passiva HVSR 1



Il picco a  $f=3.2$  Hz per un valore del rapporto spettrale pari a 3.4 non è molto aderente alla stratigrafia locale ed inoltre potrebbe risentire di un disturbo antropico locale che si rileva, a circa 5Hz, in molte aree del territorio comunale. Il secondo picco netto ben identificabile alla frequenza  $f=15.3$  Hz con ampiezza di poco inferiore al primo (3.21) definisce molto probabilmente la frequenza di risonanza  $f_0$ .

C:\Users\pvale\Documents\MICROZONAZIONE BELFORTE\MODELLAZIONE ID\ELABORAZIONE MOPS - FA\ELABORAZIONE MOPS\FORMAZIONE LAGA rielaborata regressione\MS III Belforte del Chienti MOPS Formazione Lag...

File Edit Tools Window Help

General Settings Soil Types Soil Profile Motion(s) Output Specification Compute Results

Site Profile

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1 0.00	9.00	Substrato fortemente alterato	147.00	<input checked="" type="checkbox"/> 118.00	<input checked="" type="checkbox"/> 250.00	<input checked="" type="checkbox"/>
2 9.00	9.30	Substrato fratturato (lineare)	381.00	<input checked="" type="checkbox"/> 313.00	<input checked="" type="checkbox"/> 435.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3 18.30	13.00	Arenarie di Camerino (litofacies arenaceo-pelittica)	696.00	<input checked="" type="checkbox"/> 620.00	<input checked="" type="checkbox"/> 780.00	<input checked="" type="checkbox"/>
4 31.30	Half-Space	Bedrock	800.00	<input checked="" type="checkbox"/> 800.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1100.00	<input checked="" type="checkbox"/>

Variation of the Site Profile

**Toro (1992) Site Variation Model**

Vary the shear-wave velocity of the layers

Vary the layer thickness

Vary the depth to bedrock

Velocity Variation Parameters

Layer specific standard deviation

Distribution: Log Normal

Standard deviation: Custom

0,150

Correlation model: Custom

Correlation Parameters

Correl. coeff. at surface ( $p_0$ ): 0,990

Correl. coeff. at 200 m ( $p_{200}$ ): 0,980

Change in correl. with depth ( $\Delta$ ): 3,900

Depth intercept ( $d_0$ ): 0,00 m

Exponent ( $b$ ): 0,3440

## 11 ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE 2D

Si riporta di seguito la relazione delle analisi 2D della RSL di Belforte del Chienti inviata dal Prof. Stefano Catalano.

### RELAZIONE

#### 1. Modello geotecnico

Il modello geometrico del sottosuolo per le analisi di risposta sismica locale relative al comune di Belforte del Chienti è stato definito sulla base dei risultati delle indagini geofisiche (H/V, MASW e DH) e dei rilievi di campagna, specificamente effettuati per lo studio di microzonazione sismica dell'area. Questi sono stati integrati con i dati stratigrafici già disponibili, derivanti da indagini pregresse.

La profondità e l'andamento del substrato corrispondente in parte alla formazione delle Marne con cerrogn (SFALS-CRR) e in parte al Flysch della Laga (SFLPS-LAG) sono stati definiti sulla base degli studi geologici e calibrati verificando la corrispondenza tra le funzioni di amplificazioni numeriche e quelle ricavate sperimentalmente sotto forma di rapporti HVSR misurati su *noise*. Nella Figura 1 è riportato uno stralcio della carta geologico-tecnica dell'area, dove è riportata la traccia della sezione NW-SE (in rosso) sottoposta ad analisi bidimensionale. Il profilo è invece riportato nella Figura 2. Nella stessa figura sono riportati i valori delle frequenze ottenuti dalle misure di H/V confrontati con quelli derivati dalle analisi numeriche, al fine di calibrare la profondità del bedrock.

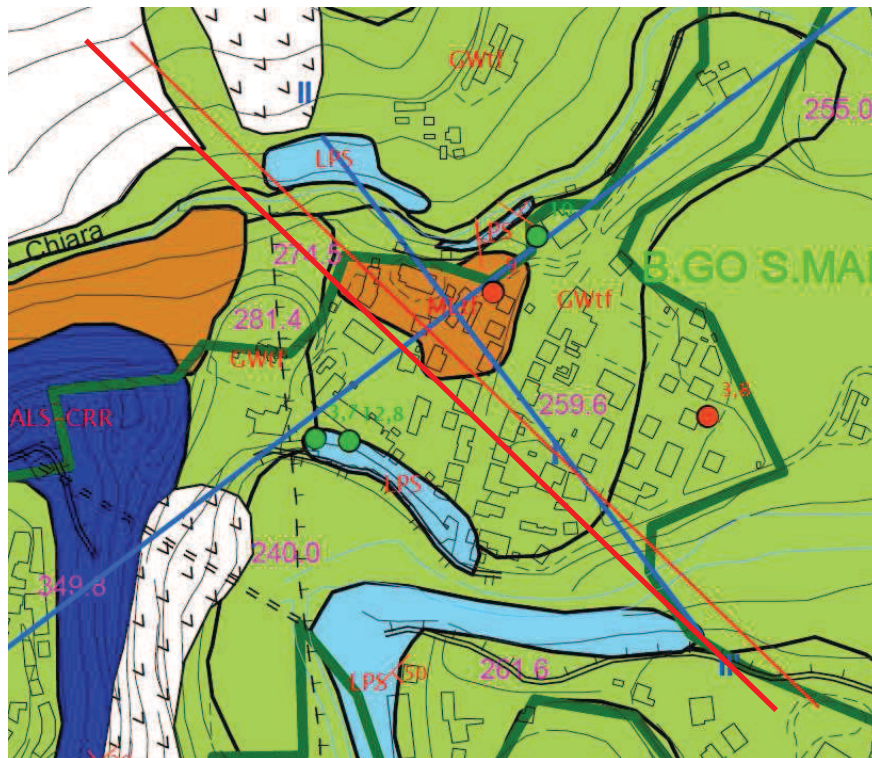


Figura 1 – Carta geologico-tecnica di Belforte del Chienti

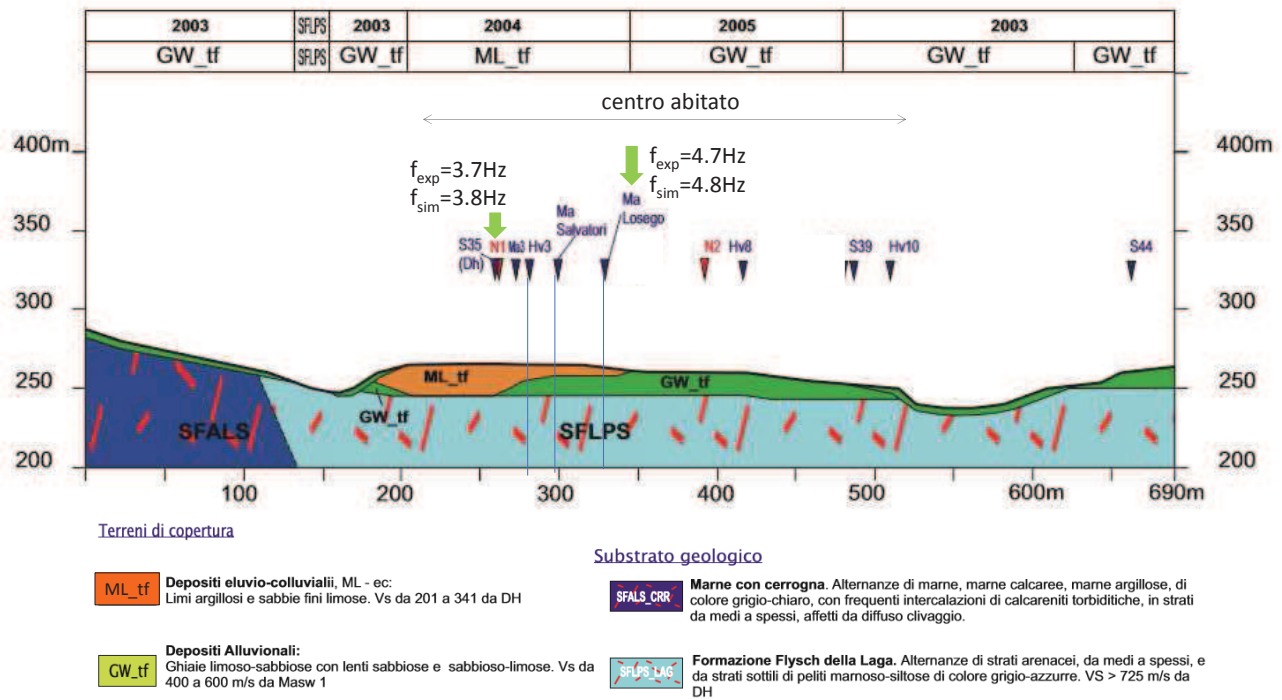


Figura 2 – Profilo sottoposto alle analisi numeriche

Le proprietà fisico-meccaniche dei terreni adottate nelle analisi sono sinteticamente riportate in Tabella I.

Denominazione	Litologia	interpretazione	spessori	$\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$V_s$ (m/s)	$\nu$	$V_p$ (m/s)	$G/G_0$ ( $\square$ )	$D$ ( $\square$ )
Depositi alluvionali (MLtf)	Limi inorganici, sabbie fini di bassa plasticità	DH	0-5	20	341	0.45	3.44	1173	Prova TS su campione Belforte
			5-21		250	0.46	3.72		
Depositi alluvionali GWtf	Ghiaie limoso-sabbiose	MASW Losego	0-25	20	350	0.46	3.63	1272	Kokusho et al. 1981
Mame con cerroigna (SFALS-CRR)	Alternanze di Mame calcaree e mame argillose	MASW 2	5-30	21.5	650	0.45	3.29	2140	Prova TS Massa Fermana
Mame con cerroigna (SFALS-CRR)	Alternanze di Mame calcaree e mame argillose	MASW 2	30-	21.5	720	0.45	3.31	2381	Lineare ( $D_0=0.5$ )
Flysch della Laga (SFLPS-LAG)	Strati arenacei spessi alternati a sottili peliti marnose	DH	-	24	725	0.45	3.37	2446	Lineare ( $D_0=0.5$ )

Tabella I – Proprietà fisiche e meccaniche dei terreni

Poiché i metodi numerici di analisi utilizzati nel presente studio fanno riferimento al tradizionale approccio di legame costitutivo visco-elastico lineare equivalente, il comportamento di ciascun materiale è stato espresso attraverso il peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ), le velocità delle onde di taglio e di compressione ( $V_s$ ,  $V_p$ ), e le curve di variazione di rigidezza e smorzamento con la deformazione al taglio,  $G(\gamma)/G_0$  e  $D(\gamma)$ .

Le velocità delle onde S sono state determinate a partire dai risultati delle prove MASW e dall'unica prova DH disponibile. Questa è stata interpretata in termini di dromocrone associate alla colonna stratigrafica del sondaggio (Figura 3), fornendo i valori medi di  $V_p$  e  $V_s$  da attribuire alle singole formazioni ai diversi campi di profondità.



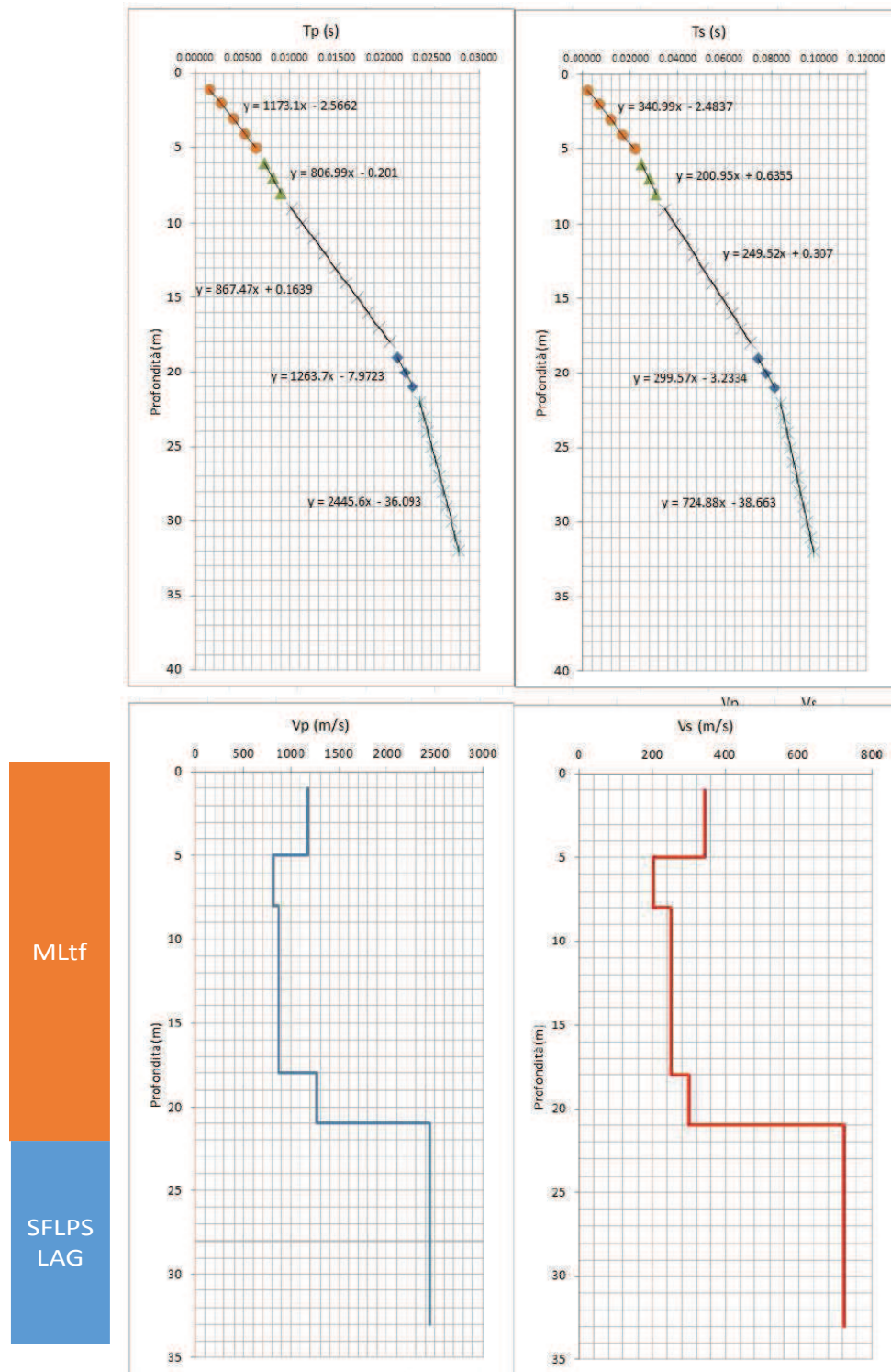


Figura 3 – Risultati prova DH: a) dromocrone; b) profilo Vp e Vs.

Ad ogni unità litologica, sono stati anche attribuiti valori dei coefficienti  $\alpha$  ( $=V_p/V_s$ ) e di Poisson  $\nu$ <sup>1</sup> relativi ai diversi campi di profondità esplorati con la prova DH. Questi parametri sono stati poi utilizzati per le analisi di risposta sismica eseguite con modelli bidimensionali.

I profili di  $V_s$  delle diverse formazioni adottate nei modelli di calcolo sono riassunti e confrontati in figura 4. In figura 5 sono invece presentate le curve di variazione di rigidezza al taglio normalizzata e

<sup>1</sup> Dalla teoria dell'elasticità  $\nu = (0.5\alpha^2 - 1)/(\alpha^2 - 1)$



fattore di smorzamento con la deformazione tangenziale, adottate per le analisi. Entrambe le figure evidenziano la notevole variabilità sia della rigidezza sia del comportamento non-lineare e dissipativo dei diversi materiali.

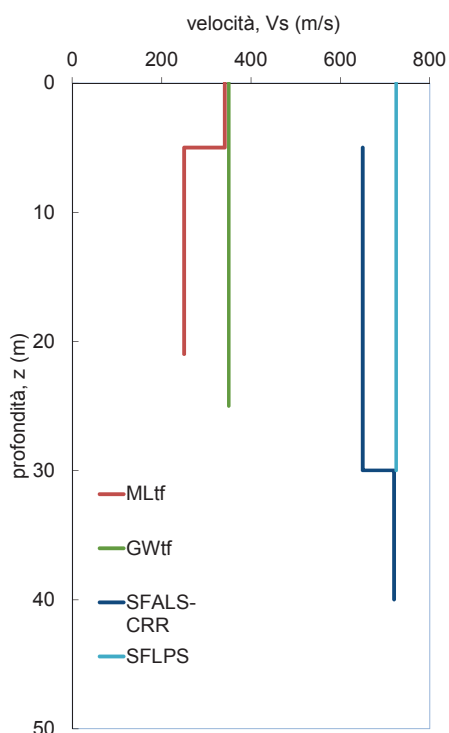


Figura 4 – Modello di velocità

Il valore medio di velocità delle onde S dei depositi alluvionali limo-argillosi (MLtf) è stato definito a partire dai risultati della prova DH. Questa mostra un primo strato, di circa 5m di materiale più rigido, con velocità pari a 341m/s, seguito da uno strato più deformabile, con velocità di 250m/s. A tali depositi, costituiti da limi Argillosi di origine alluvionale sono state attribuite curve di non-linearità di rigidezza e smorzamento ottenute da una prova di torsione ciclica eseguita su un campione prelevato a circa 8m di profondità nel foro di sondaggio predisposto per la prova DH.

Un valore di velocità delle onde di taglio di 350m/s è stato invece attribuito alle ghiaie di origine alluvionale sulla base del risultato della MASW Losego. Il comportamento non lineare di tale deposito è stato descritto attraverso risultati sperimentali di letteratura relativi a materiali con granulometria simile (Kokusho et al. 1981). Per determinare la velocità delle onde di taglio delle Marne con cerroigna (SFALS-CRR) ci si è avvalsi del risultato della MASW2 in base alla quale si individua un primo strato di alterazione con spessore di circa 25m e velocità di 650 m/s cui è stata attribuita una curva di non linearità ottenuta dai risultati di una prova di torsione ciclica su un campione prelevato nelle stesse formazioni nel comune di Massa Fermana, seguito dal substrato integro con velocità di 720m/s, assunto a comportamento lineare. Infine, il risultato della prova DH ha consentito di caratterizzare anche la velocità del substrato costituito dal Flysch della Laga, cui è stata attribuita una velocità di 725m/s e un comportamento lineare.

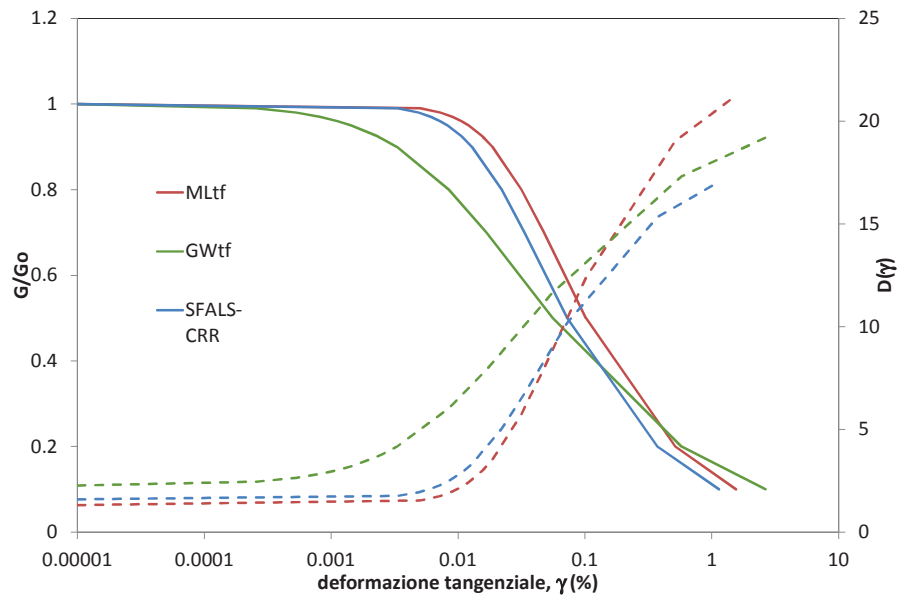


Figura 5 – Curve del decadimento del modulo di taglio e dell'andamento del fattore di smorzamento con il livello di deformazione

## 2. Analisi numeriche

Di seguito si riportano i risultati delle analisi numeriche bidimensionali condotte utilizzando il codice QUAD4M (Hudson et al., 2003). Gli input adottati nelle analisi sono stati forniti dal Centro di Microzonazione. Le amplificazioni di sito sono state valutate attraverso analisi bidimensionali di risposta sismica locale della sezione riportata in Figura 2 e orientata in direzione NO-SE. La sezione (linea rosa in Figura 6) attraversa la MOPS 2003 2004 e 2005 come riportato in Figura 6.

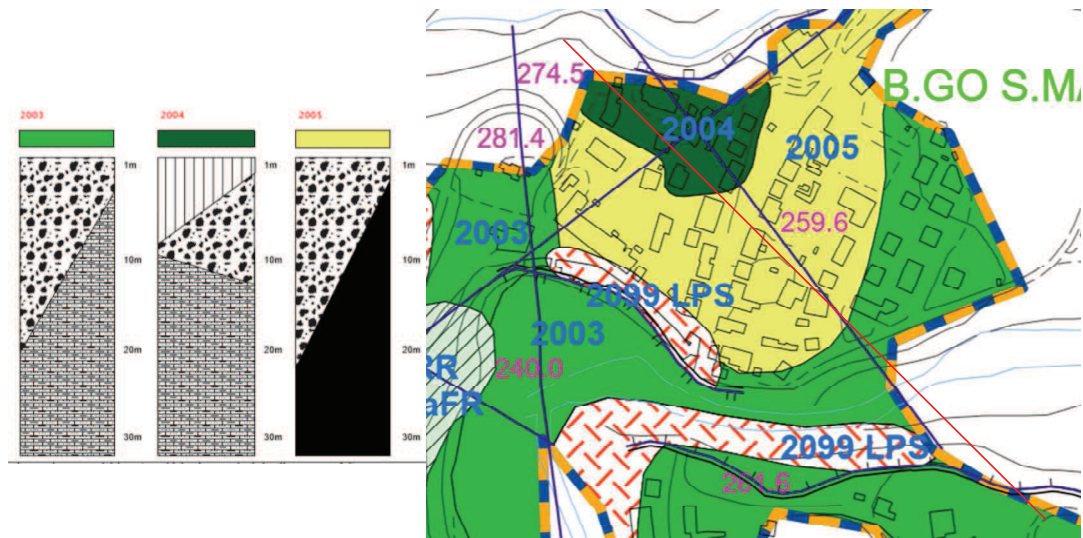


Figura 6 – Carta delle MOPS attraversate dalla sezione.

Le Figure 7-9 riportano i fattori di amplificazione medi ottenuti dall'analisi, nei campi di periodo 0.1-0.5s ( $FA_{0.1-0.5s}$ ), 0.4-0.8s ( $FA_{0.4-0.8s}$ ) e 0.7-1.1s ( $FA_{0.7-1.1s}$ ) sovrapposti all'involuppo dei loro valori massimi e minimi (linee tratteggiate in grigio). La linea rossa indica il valore del fattore di amplificazione medio nelle MOPS attraversate dalla sezione i cui valori sono riportati in Tabella II.

A prescindere dal campo di periodi considerato, i risultati evidenziano la presenza della massima amplificazione sulla cresta del rilievo, laddove si concentrano gli spessori maggiori dei terreni di copertura. E' pertanto evidente

che le massime accelerazioni sono associate alla combinazione di effetti di amplificazione topografica e stratigrafica.

Nonostante i fattori di amplificazione delle MOPS 2004 e 2005 nel campo di periodi 0.1-0.5 siano prossimi, una significativa differenza di comportamento si rileva nel campo di periodi 0.4-0.8. I valori più alti associati alla MOPS 2004 appaiono associati alle maggiori amplificazioni indotte, in questo campo di periodi, dallo strato più deformabile MLtfl.

Lievi attenuazioni del segnale sismico si rilevano in corrispondenza delle valli che cingono il rilievo.

	2003	2004	2005
$FA_{0.1-0.5}$	1.08	2.00	1.95
$FA_{0.4-0.8}$	0.94	1.83	1.33
$FA_{0.7-1.1}$	0.96	1.28	1.12

Tabella II. Fattori di amplificazione attribuiti a ciascuna MOPS.

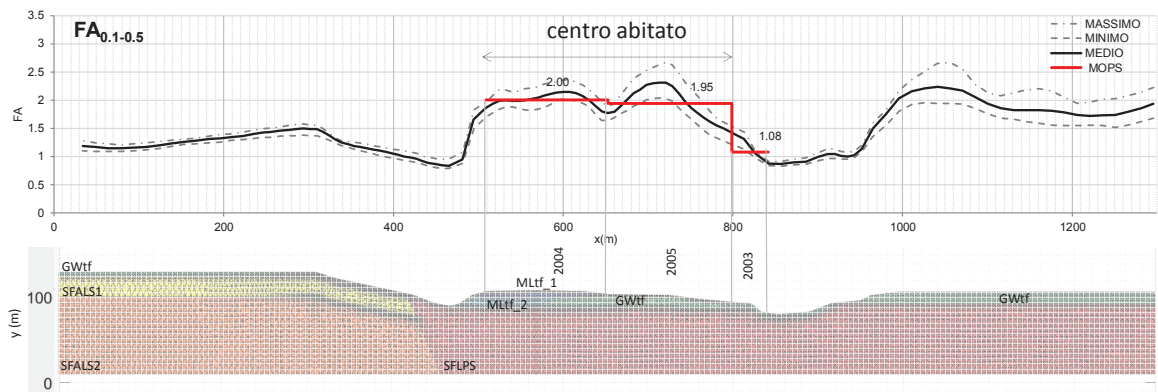


Figura 7 – Profilo del fattore di amplificazione nell'intervallo di periodi 0.1s-0.5s.

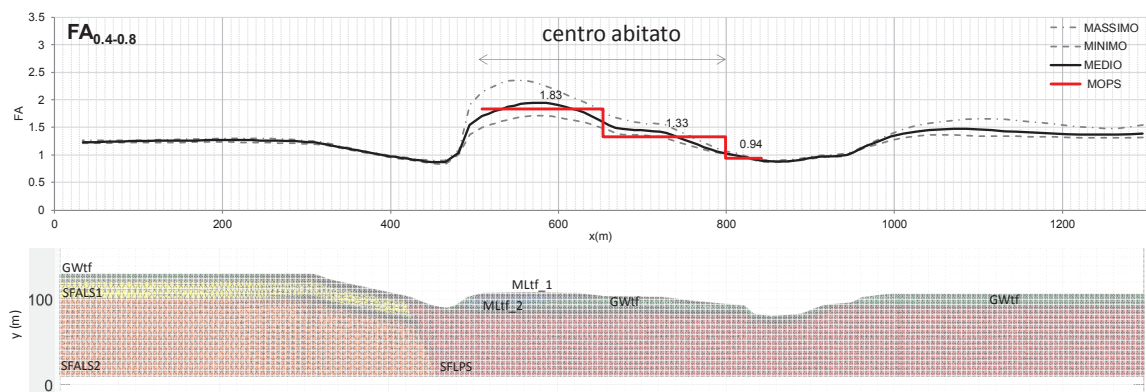


Figura 8 – Profilo del fattore di amplificazione nell'intervallo di periodi 0.4s-0.8s.

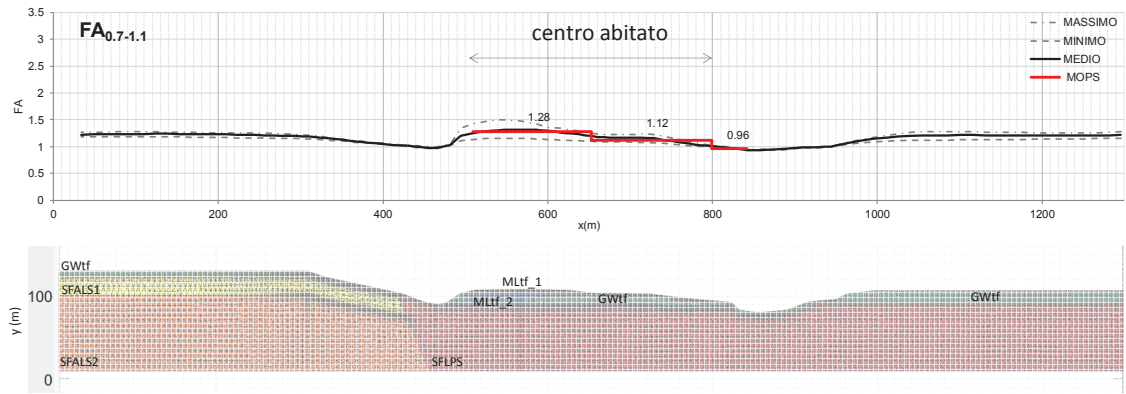


Figura 9 – Profilo del fattore di amplificazione nell'intervallo di periodi 0.7s-1.1s.

I 7 accelerogrammi in superficie e i corrispondenti spettri di risposta elastici in accelerazione associati ad ogni MOPS sono stati ottenuti individuando la verticale, all'interno della porzione di sezione competente alla medesima MOPS, caratterizzata dal fattore di amplificazione  $FA_{0.1-0.5s}$  più prossimo al valore medio.

I 7 accelerogrammi e relativi spettri di risposta in accelerazione assegnati ad ogni MOPS sono allegati alla presente relazione in un apposito file excel "acc\_Sp\_MOPS".

### 3. Riferimenti bibliografici

Hudson M., Idriss I.M., Beikae M. (2003). User's Manual for QUAD4M. Center for Geotechnical Modeling. University of California, Davis.



## 12 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La modellazione 1D effettuata per ogni MOPS, seppure con alcune approssimazioni legate al mancato raggiungimento del bedrock sismico da acquisizioni MASW nella gran parte delle modellazioni effettuate (ad eccezione della Zona 3 con  $V_s = 862$  m/s), ha suggerito di considerare nelle analisi una stima della possibile banda di variazione del bedrock sismico stesso da valutazioni delle frequenze di risonanza alla luce dei dati di velocità acquisiti sperimentalmente anche considerando curve di regressione lineare.

In ogni caso, i valori di  $F_a$  ottenuti negli intervalli di periodo considerati dalla modellazione 2D, seppure evidentemente non identici come ragionevole aspettarsi vista la più complessa modellazione che tiene conto anche dell'aspetto morfologico oltre la caratterizzazione sismo-stratigrafica, si sono rivelati in sostanziale assonanza con quelli ricavati dall'analisi 1D che, almeno per le MOPS esaminate mediante le doppie analisi, si ritiene possano dimostrare la sostanziale accettabilità dei valori ottenuti.

Si ritiene di dover sottolineare, comunque, in relazione prioritariamente alle due MOPS 2002 e 2099 ALS-GES per le quali le modellazioni sono state effettuate, come già illustrato, sulla base di dati bibliografici e di ricostruzioni parziali da sondaggio e da rilevamento geologico, che è a nostro avviso necessario esperire ulteriori e mirati studi con acquisizione di dati strumentali necessari ad una più precisa modellazione sismo stratigrafica delle aree.

Sono fatti salvi, infine, i risultati di più approfondite indagini che si dovesse ritenere utile effettuare anche in merito ad una più precisa valutazione dell'effettiva profondità del bedrock sismico, tenuto conto in particolare dell'estensione notevole di alcune MOPS (es. Zona 2003).

**BIBLIOGRAFIA**

AMBROSETTI P., CARRARO F., DEIANA G. & DRAMIS F. (1982)

-Il sollevamento dell'Italia Centrale tra il Pleistocene inferiore e il Pleistocene medio. Contr. Concl. per la realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, P.F. Geodinamica -C.N.R.

BARTOLINI C. (1980)- Alcune superfici sommitali dell'Appennino Settentrionale (prov. Lucca e di Pistoia) Geogr. Fis. Dinam. Quat. 42-60, 27.

BARTOLINI C., BIDINI D., FERRARI G. & MAGALDI D. (1984) - Pedostratigrafia e Morfostratigrafia nello studio delle superfici sommitali situate fra Serchio e Ombrone Pistoiese. Geogr. Fis. Dinam. Quat. 7,3-9.

BOCCALETTI M., CALAMITA F., CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., DEIANA G., MORATTI G., MICARELLI A. & POTETTI M. (1986) - Evoluzione dell'Appennino tosco-umbro-marchigiano durante il Neogene. Giornale di Geologia, 48 (1).

BOCCALETTI M., CALAMITA F., CENTAMORE E., DEIANA G. & DRAMIS F. (1983)- The Umbria-Marche Appennine: an example of thrusts and wrenching tectonic in a model of ensialic neogenic-quadernary deformation. Boll.Soc.Geol.It., 102.

CALAMITA F., CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., DEIANA G., DRAMIS F., MICARELLI A., PIERUCCINI U., POTETTI M. & ROMANO A. (1979) - Dati preliminari sulla neotettonica dei Fogli 132 (Norcia), 124 (Macerata; III e IV quadrante), 115 (Città di Castello; I e II quadrante). Nuovi Contr. alla realizzazione della Carta neotettonica d'Italia. Pubbl. n.251 del P.F. Geodinamica - C.N.R.

CALAMITA F., COLTORTI M., DEIANA G., DRAMIS F. & PAMBIANCHI G. (1982a) - Neotectonic evolution and Geomorfology of the Cascia and Norcia depressions (Umbria-Marche Appennine). Geogr. Fis. Din. Quat., 5.

CALAMITA F. & DEIANA G. (1986) - Evoluzione strutturale neogenico-  
quaternaria dell'Appennino umbro-marchigiano. Studi Geol. Camerti, vol. speciale "La  
geologia delle Marche", 91-98.

CASTIGLIONI B. (1934) - Studi morfologici nell' Italia centrale (A proposito di un  
recente lavoro). Boll. R. Soc. It. sez. 6, 11,22,-30.

CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., CIPRIANI N., DEIANA G. & MICARELLI A.  
(1978)- Analisi dell'evoluzione tettonico-sedimentaria dei "Bacini Minori" torbiditici del  
Miocene medio superiore nell'Appennino umbro marchigiano e laziale abruzzese:  
risultati degli studi in corso. Mem. Soc. Geol.It., 18, 135-170.

CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., DEIANA G., MICARELLI A. & PIERUCCINI  
U. (1971) - Contributo alla conoscenza del Giurassico dell'Appennino umbro-  
marchigiano. Mem.Soc. Geol.It., 8, 237-263.

CENTAMORE E., DEIANA G., DRAMIS F. & PIERUCCINI U. (1978b) - Guida  
alle escursioni nelle aree di Costacciaro - Gualdo Tadino e di Colfiorito (Appennino  
umbro-marchigiano). Progetto Finalizzato Geodinamica, Pubbl. n. 181, Istituto di  
Geologia dell'Università, Camerino.

CENTAMORE E., DEIANA G., DRAMIS F. & PIERUCCINI U. (1980) - La  
tettonica recente nell'arco appenninico umbro-marchigiano meridionale. In "Contributi  
preliminari alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia". Pubbl. n. 356, Progetto  
Finalizzato Geodinamica, 237-281.

CENTAMORE E., DEIANA G., MICARELLI A. & POTETTI M. (1986) - Il Trias-  
Paleogene delle Marche. Studi Geologici Camerti, volume speciale "La Geologia delle  
Marche", 9-27.

CHIOCCHINI M., DEIANA G., MICARELLI A., MORETTI A., PIERUCCINI U.,  
(1976) - Carta geologica dei M. Sibillini Nord-orientali. Studi geologici Camerti Vol. VII.

COLTORTI M. (1991) - Modificazioni morfologiche oloceniche nelle piane alluvionali marchigiane: alcuni esempi nei fiumi Misa, Cesano e Musone. *geogr. fis. dinam. quat.*, 14, 73- 86.

COLTORTI M., GENTILI E. & PAMBIANCHI G. (1995) - evoluzione geomorfologica recente dei sistemi idrografici delle Marche e i suoi riflessi sull'ambiente fisico. *mem. soc. geogr. it.*, 271-292.

COMMISSIONE TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907 Giugno 2012 - Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica, Versione 2.0 beta-II.

CONSIGLIO NAZIONALE RICERCHE (C.N.R.)(1993). Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (G.N.D.C.I.), Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica nell'Italia centrale (I.R.P.I.): "Carta Inventario dei Movimenti Franosi della Regione Marche ed Aree Limitrofe - scala 1:100.000". Pubblicazione G.N.D.C.I. n° 580.

COLTORTI M. & DRAMIS F. (1988) - The significance of stratified slope-waste deposits in the Quaternary of Umbria Marche Appennines Central Italy. *Z. Geomorph.* n.f. 57-70.

COLTORTI M., DRAMIS F. & PAMBIANCHI G. (1983) - Stratified slope-waste deposits in the Esino River Basin, Umbria-Marche Appennines, Central Italy. *Polarforschung* 52 (2).

COLTORTI M., DRAMIS F., GENTILI B. & PAMBIANCHI G.(1979) -Stratified slope-waste deposits in the Umbria-Marche Appennine. *Proc. 15th Meet. "Geomorphological Survey & Mapping"*, Modena.

CONTI A. DI EUSEBIO L. DRAMIS F. & GENTILI B. (1983) - Evoluzione geomorfologica recente e processi in atto nell'alveo del Tenna (Marche meridionali). *atti Congr.geogr. it.* 2(3). 53-56.



COPPOLA L., DRAMIS F., GENTILI B. & PIERUCCINI U. (1978) - Paleofrane nelle formazioni mesozoiche dell'Appennino umbro-marchigiano. Mem. Soc. Geol. It., 19.

DE FEYTER A.J. & MENICHETTI M. (1986) - Backthrusting on forelimbs of rootless anticlines: examples from the Umbro-Marchean Appennines. Atti 73 Congresso Soc. Geol. It., Roma, 81-82.

DEMANGEOT J. (1965) - Gèomorphologie des Abruzzes adriatiques. C.N.R.S. Paris.

DRAMIS F. (1983) - Morfogenesi di versante nel Pleistocene superiore in Italia: i depositi detritici stratificati. In "AIQUA, Ass. It. Studio Quat., Relazioni convegno Autunnale 1982". Geogr. Fis. Dinam. Quat., 6, 180-182.

DRAMIS F. (1984a) - Aspetti geomorfologici a fattori genetici delle deformazioni gravitative profonde. Boll. Soc. Geol. It., 103.

DRAMIS F. (1984b) - Morfogenesi di versante nel Pleistocene superiore in Italia: i depositi detritici stratificati. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 7.

DRAMIS F. & BISCI C. (1986) - Aspetti geomorfologici del territorio marchigiano. Studi Geol. Camerti volume spec. La geologia delle Marche 99 103.

DRAMIS F. & GENTILI B. & PIERUCCINI U. (1979) - La carta geomorfologica del medio bacino del Tenna (Marche centro meridionali). Geol. Appl. Idrogeol., 14(2), 197-204.

FARABOLLINI P., GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (1993) - Dinamica fluviale e antropizzazione nel fiume Tronto. Abs. Conv. Naz. Giovani Ricercatori Geol. Appl. Potenza 28-31 ottobre 1993.

GALADINI F., MESSINA P., BASILI R.E BOSI C., 1997. Faglie attive nell'appennino centro-meridionale. Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, General Assembly, 41-44 (extended abstract).

GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (1987) - Morfogenesi fluviale ed attività antropica nelle Marche centro-meridionali. Geogr. Fis Dinam. Quat., 10.204-217.

GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (1993). Carta delle deformazioni gravitative profonde di versante e grandi frane nell'Appennino centrale (Foglio 124 – Macerata).

LAVECCHIA G. (1981) - Appunti per uno schema strutturale dell'Appennino umbro-marchigiano: 3)Lo stile deformativo. Boll. Geol. Soc. It., 100, 271-278.

LAVECCHIA G., BARCHI M., BROZZETTI F. & MENICHETTI M. (1994) - Sismicità e tettonica nell'area umbro marchigiana. Boll. Geol. Soc. It., 113, 483-500.

LAVECCHIA G. & PIALLI G. (1981) - Appunti per uno schema strutturale dell'Appennino umbro-marchigiano. 1)Il basamento. Geol. Rom., 20, 183-195.

LAVECCHIA G. & PIALLI G. (1980) - Appunti per uno schema strutturale dell'Appennino umbro-marchigiano. 2)La copertura. Studi Geol. Camerti, 6, 23-30.

MAZZANTI R. & TREVISAN L. (1978)- Evoluzione della rete idrografica nell'Appennino centro settentrionale. Geogr. Fis. Quat., 1, 55-62.

NIJMAN W. (1971)-Tectonics of the Velino Sirente,Abruzzi, Central Italy. Koninkl Nederl Akad. Van Waterschappen, Reprinted from Proceeding, series B, vol. 74,n 2, p. 156-184.

PANIZZA M. (1972)- Proposta di legenda per carte geomorfologiche di dettaglio. Boll. Soc. Geol. It., 91, 207-237.

PELLEGRINI G. B. ed altri (1993) – Proposta di legenda geomorfologica ad indirizzo applicativo. Gruppo Nazionale Geografia Fisica e Geomorfologia.

RAFFY J. (1979). - Le versant tyrrhènien de l'Apennin central: étude géomorphologique. Thèse inédite, 705 p., 142 fig., 80 pl. photographiques.

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1968) - Carta geologica d'Italia. Foglio 124, "MACERATA"; Scala 1:100.000.

SCARSELLA F. (1951) - Sulla zona d'incontro dell'Umbria e dell'Abruzzo. Boll.Serv.Geol. d'It., 71.

Tolentino, li 19.01.2018

Dott. Geol. Ivan Losego