



## COMUNE DI BARNI

### PROVINCIA DI COMO

VIA BRICCHI, 3 - 22030 BARNI (CO)

## **AGGIORNAMENTO DELLO STUDIO GEOLOGICO DI SUPPORTO AL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO**

AI SENSI DELL'ART. 57 L.R. 11/03/2005 N.12 e D.G.R. 28 MAGGIO 2008 N. 8/7374

**DATA**

**GENNAIO 2014 – aggiornamento FEBBRAIO 2015**

**APPROVATO**

con ..... di .....  
n.° ..... del .....

#### **Il Professionista**

Dott. Geol. Massimo Riva



#### **Collaboratore estensore**

Dott. Geol. Michela Innocenti

#### **Comune di Barni**

Il responsabile del  
procedimento

Il segretario comunale

**Dott. Massimo Riva Geologo** - c.f. RVI MSM 61H17 E507N - Part. Iva 01776580134

Via Previati 16, 23900 LECCO - Tel (0341) 286095 - Fax (0341) 361843

E-Mail [ufficiotecnico@sgtl.it](mailto:ufficiotecnico@sgtl.it) - Sito [www.sgtl.it](http://www.sgtl.it) – Posta certificata [sgtl@epap.sicurezzapostale.it](mailto:sgtl@epap.sicurezzapostale.it)

|         |            |           |
|---------|------------|-----------|
| Redatto | Verificato | Approvato |
| MI      | MR         | MR        |

## INDICE

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. PREMESSA</b>                                                                    | <b>2</b>  |
| <b>1. CARTA DEL DISSESTO CON LEGENDA UNIFICATA PAI</b>                                | <b>3</b>  |
| <b>1.1 Adeguamento alla Normativa Pai 2001</b>                                        | <b>3</b>  |
| <b>2. ANALISI SISMICA E CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</b>                  | <b>5</b>  |
| <b>2.1 Cenni storici e terremoti di riferimento</b>                                   | <b>5</b>  |
| <b>2.2 Cenni normativi</b>                                                            | <b>6</b>  |
| <b>2.3 Analisi della sismicità e carta della pericolosità sismica locale</b>          | <b>8</b>  |
| 2.3.1 Effetti di sito o di amplificazione sismica locale                              | 8         |
| 2.3.2 Effetti di instabilità                                                          | 8         |
| <b>2.4 Analisi della sismicità locale</b>                                             | <b>9</b>  |
| <b>2.5 Metodologia per la redazione della carta della pericolosità sismica locale</b> | <b>12</b> |
| <b>3. CARTA DEI VINCOLI GEOLOGICI</b>                                                 | <b>15</b> |
| <b>3.1 Vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino ai sensi della L. 183/89</b>  | <b>15</b> |
| <b>3.2 Vincoli di polizia idraulica</b>                                               | <b>15</b> |
| <b>3.3 Zone di tutela assoluta e rispetto dei pozzi e sorgenti pubblici</b>           | <b>15</b> |
| <b>4. CARTA DI SINTESI</b>                                                            | <b>16</b> |
| <b>5. CARTA DI FATTIBILITA' GEOLOGICA</b>                                             | <b>17</b> |

## ALLEGATI AL TESTO

**ALLEGATO 1**    *Approfondimento sismico di secondo livello per Scuola di Infanzia di Via Lubert*

## ALLEGATI FUORI TESTO

|                  |                                                                                |                       |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>TAVOLA 1</b>  | <i>Carta del dissesto del territorio con legenda uniformata PAI</i>            | <i>scala 1:5.000</i>  |
| <b>TAVOLA 2</b>  | <i>Carta della pericolosità sismica locale di primo e secondo livello</i>      | <i>scala 1:5.000</i>  |
| <b>TAVOLA 3</b>  | <i>Carta dei vincoli geologici</i>                                             | <i>scala 1:5.000</i>  |
| <b>TAVOLA 4</b>  | <i>Carta di sintesi</i>                                                        | <i>scala 1:5.000</i>  |
| <b>TAVOLA 5a</b> | <i>Carta della fattibilità geologica dell'intero territorio comunale</i>       | <i>scala 1:5.000</i>  |
| <b>TAVOLA 5b</b> | <i>Carta della fattibilità geologica della zona urbanizzata</i>                | <i>scala 1:2.000</i>  |
| <b>TAVOLA 5c</b> | <i>Carta della fattibilità geologica su carta tecnica regionale (base CTR)</i> | <i>scala 1:10.000</i> |

## 1. PREMESSA

Il Comune di Barni possiede uno Studio Geologico di Supporto al Piano Regolatore Generale, redatto dallo scrivente nel Maggio 2000, ai sensi della L.R. 24.11.97 n.41 e relativi indirizzi di cui alla D.G.R. della Regione Lombardia n. 5/36147 del 18.05.93.

A seguito dell'emanazione dei nuovi *“Criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11 marzo 2005, n. 12”*, e DGR 8/7374 del 28 maggio 2008, è richiesto che tutti i comuni, pur in possesso di uno studio geologico di supporto alla pianificazione, lo aggiornino ai sensi della normativa vigente relativamente alla componente sismica e relativamente alla cartografia di sintesi, dei vincoli e di fattibilità.

Il presente studio a supporto del Piano di Governo del territorio del Comune di Barni (CO) è stato pertanto condotto secondo quanto previsto dai criteri attuativi della L.R. 12/05 e DGR 8/7374 e si considera composto dalla presente relazione illustrativa, dalla cartografia allegata fuori testo e dalla normativa allegata.

Si segnala inoltre che il Comune ha fornito allo scrivente copia dello studio d'individuazione del Reticolo Minore idraulico comunale e regolamento di polizia idraulica (ai sensi della L.R. 1/2000 e D.G.R. n. 7/13950 del 1 agosto 2003), redatto nel luglio 2008 a cura del Dott. Geol. F. Rossini e Dott. Geol. S. Azzan; nel gennaio 2010 è stato fatto inoltre uno studio di ridefinizione delle fasce di rispetto del Torrente Lambro, facente parte integrante del reticolo minore idraulico comunale, redatto dagli stessi professionisti.

Oltre alla presente relazione e ai suoi allegati si è proceduto perciò alla:

- Redazione di una Carta del Dissesto del Territorio con Legenda Uniformata PAI;
- Redazione di una Carta della Pericolosità Sismica Locale di primo e secondo livello;
- Redazione della Carta dei Vincoli secondo la normativa recente;
- Redazione della Carta di Sintesi;
- Redazione della Carta di Fattibilità, alla luce di tutta la nuova cartografia prodotta ed estesa all'intero territorio comunale.

Quanto esposto di seguito riguarda solamente le modalità con cui è stato eseguito l'aggiornamento dello studio geologico; la relazione geologica e tutti gli allegati cartografici che accompagnavano il precedente studio vengono, perciò, tenuti come riferimento per qualsiasi consultazione e approfondimento per gli aspetti geologici, geomorfologici, idrogeologici, climatici e geotecnici di base.

## 1. CARTA DEL DISSESTO CON LEGENDA UNIFICATA PAI

Si propone una Carta dei Dissesti con legenda uniformata PAI per l'adeguamento alla normativa PAI 2001, ai sensi dell'art. 17, comma 5, della Legge n. 183 del 18 maggio 1989 in materia di disposizioni di carattere integrativo per l'applicazione del PAI in campo urbanistico.

L'adeguamento è necessario in quanto il Comune di Barni risulta inserito nell'elenco di individuazione dei comuni compresi nella D.G.R. 11 dicembre 2001, n.7/7365 che non risulta abbiano avviato l'iter di cui all'art. 18 delle N.d.A. del PAI (tabella 1, allegato 13, della D.G.R. 28 maggio 2008, n. 8/7374).

Si è proceduto perciò alla redazione di una cartografia PAI, basandosi su:

- Riferimenti bibliografici e storici;
- Anche dati regionali (quadro dei dissesti, inventario dei fenomeni franosi);
- Rilievi nel territorio comunale.

### 1.1 Adeguamento alla Normativa Pai 2001

Tale adeguamento è stato eseguito prendendo come riferimento lo schema di lavoro proposto dalla Direttiva, ai sensi dell'art. 17, comma 5, della legge n. 183 del 18 Maggio 1989, per l'applicazione del Piano Stralcio per l'Assetto idrogeologico del Bacino del fiume Po (PAI) in campo urbanistico.

Il lavoro ha compreso una prima fase di raccolta e analisi critica dei dati e della cartografia esistenti, e una seconda fase con le dovute modifiche e aggiunte richieste dalla nuova legge.

E' stata perciò redatta la cartografia dei dissesti mediante l'utilizzo della legenda uniformata PAI riguardo con perimetrazione dei dissesti riportati nelle diverse cartografie sopra citate.

I dissesti riportati sono recepiti nella carta tal quali o riperimetrati sulla base di rilievi in sito, alla luce della nuova cartografia prodotta e adeguati alla scala di redazione della carta (redazione multiscala 1.5.000).

In sintesi nella carta si evidenziano, pertanto, le seguenti aree di dissesto:

- **area di frana attiva (Fa)**

per le quali si rimanda all'art. 9 comma 2 delle N.d.A. del PAI

- **area di frana quiescente (Fq)**

per le quali si rimanda all'art. 9 comma 3 delle N.d.A. del PAI.

- **aree a pericolosità molto elevata non perimetrata, per esondazione e dissesti morfologici di carattere torrentizio (Ee)**

per le quali si rimanda all'art. 9 comma 5 delle N.d.A. del PAI.

- **aree a pericolosità media o moderata non perimetrata per esondazione e dissesti morfologici di carattere torrentizio (Em)**

per le quali si rimanda all'art. 9 comma 6bis delle N.d.A. del PAI.

- **aree a pericolosità media o moderata per fenomeni di trasporto in massa su conoidi non recentemente riattivatisi o completamente protette (Cn)**

per le quali si rimanda all'art. 9 comma 9 delle N.d.A. del PAI.

Le normative con dicitura estesa sono riportate nelle Norme geologiche di piano.

*La Carta del Dissesto con legenda uniformata PAI è riportata alla Tavola 1, allegata fuori testo al presente studio.*

## 2. ANALISI SISMICA E CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

### 2.1 Cenni storici e terremoti di riferimento

Dall'esame delle banche sismiche nazionali raccolte dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia non risultano specifiche segnalazioni di eventi sismici all'interno del Comune di Barni, si riportano perciò le registrazioni disponibili per il vicino comune di Asso e del comune di Erba.

Ad Asso sono stati registrati storicamente 5 eventi sismici rilevanti, mentre ad Erba 8 eventi sismici, di seguito riportati.

#### EVENTI SISMICI NEL COMUNE DI ASSO

| Is  | An Me Gi Or         | Area epicentrale | Studio | nMDP | Io  | Mw   |
|-----|---------------------|------------------|--------|------|-----|------|
| NF  | 1898 03 04          | CALESTANO        | DOM    | 260  | 6-7 | 5.07 |
| 4   | 1901 10 30 14 49 58 | Salo'            | CFTI   | 191  | 8   | 5.67 |
| 5-6 | 1918 04 24 14 21    | LECCHESI         | DOM    | 34   | 6   | 5.07 |
| NF  | 1991 11 20 01 54 19 | ALPI CENTRALI    | BMING  | 469  | 5   | 4.80 |
| NF  | 1995 10 29 13 00 28 | BRESCIA-BERGAMO  | BMING  | 408  | 5-6 | 4.57 |

#### EVENTI SISMICI NEL COMUNE DI ERBA

| Is  | Anno Me Gi Or       | Area epicentrale | Studio | nMDP | Io   | Mw   |
|-----|---------------------|------------------|--------|------|------|------|
| 5   | 1901 10 30 14 49 58 | Salo'            | CFTI   | 191  | 8    | 5.67 |
| 3   | 1909 01 13 00 45    | BASSA PADANA     | DOM    | 799  | 6-7  | 5.53 |
| 2-3 | 1913 12 07 01 28    | NOVI LIGURE      | DOM    | 56   | 5    | 4.72 |
| 3-4 | 1914 10 26 03 45    | TAVERNETTE       | DOM    | 67   | 7    | 5.36 |
| 5   | 1914 10 27 09 22    | GARFAGNANA       | DOM    | 618  | 7    | 5.79 |
| 3   | 1920 09 07 05 55 40 | Garfagnana       | CFTI   | 638  | 9-10 | 6.48 |
| 4   | 1983 11 09 16 29 52 | Parmense         | CFTI   | 835  | 6-7  | 5.10 |
| NF  | 1991 11 20 01 54 19 | ALPI CENTRALI    | BMING  | 469  | 5    | 4.80 |

|            |                                              |
|------------|----------------------------------------------|
| <b>An</b>  | Tempo origine: anno                          |
| <b>Me</b>  | Tempo origine: mese                          |
| <b>Gi</b>  | Tempo origine: giorno                        |
| <b>Or</b>  | Tempo origine: ora                           |
| <b>Mi</b>  | Tempo origine: minuti                        |
| <b>Se</b>  | Tempo origine: secondi                       |
| <b>AE</b>  | Denominazione dell'area dei maggiori effetti |
| <b>Io</b>  | Intensità epicentrale nella scala MCS        |
| <b>Maw</b> | Magnitudo momento                            |
| <b>Is</b>  | Intensità al sito (scala MCS)                |

La massima intensità osservata nel Comune di Asso, riportata nella banca dati, è pari al 5°-6° grado della scala MCS (Mercalli, Cancani, Sieberg), relativa al terremoto del 1918 e del 5° nel comune di Erba, relativa ai terremoti del 1901 con epicentro a Salò e del 1914, con epicentro nella Garfagnana.

La scala MCS (Mercalli Cancani Sieberg) ha 12 gradi che vanno da 1° ("impercettibile"), a 12° ("grandemente catastrofico"); il 5° grado è definito "Scossa molto forte", percepita da tutti con

spavento e fuga all'esterno, non contempla comunque danni strutturali se non screpolature di intonaci deboli.

## 2.2 Cenni normativi

Per l'applicazione della normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica (ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 Marzo 2003) l'intero territorio nazionale è suddiviso in zone sismiche, con grado di pericolosità crescente da 4 a 1 (vedi allegato A della normativa: classificazione sismica dei comuni italiani); ciascuna zona è contrassegnata da un valore del parametro di accelerazione di picco orizzontale al suolo ( $a_g$ ) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale, secondo la tabella a pagina seguente

| zona | accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni<br>[ $a_g/g$ ] | accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche)<br>[ $a_g/g$ ] |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | > 0,25                                                                                          | 0,35                                                                                                       |
| 2    | 0,15-0,25                                                                                       | 0,25                                                                                                       |
| 3    | 0,05-0,15                                                                                       | 0,15                                                                                                       |
| 4    | <0,05                                                                                           | 0,05                                                                                                       |

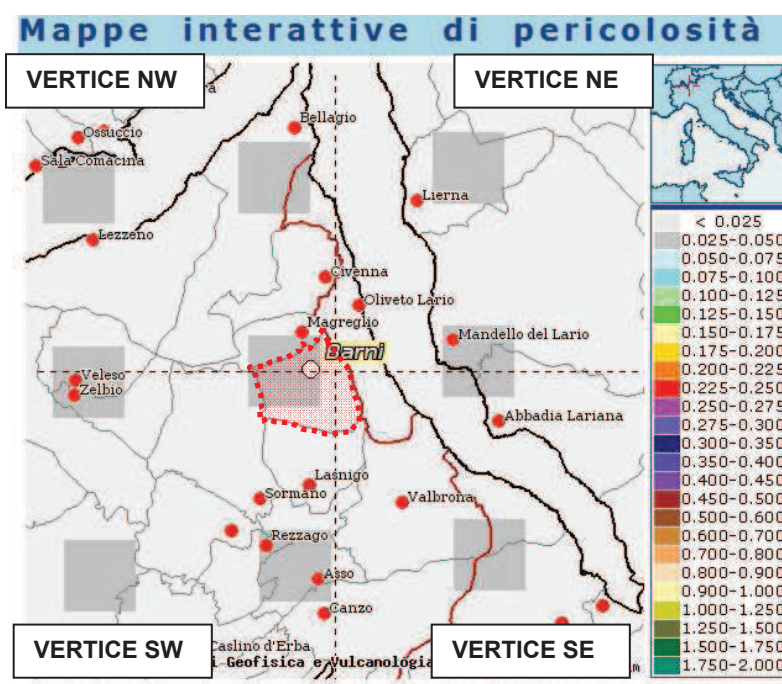
**Zona 1:** è la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti

**Zona 2:** zona in cui possono verificarsi terremoti abbastanza forti

**Zona 3:** zona in cui possono verificarsi scuotimenti modesti

**Zona 4:** zona meno pericolosa; possibilità di danni sismici basse

**Il territorio del Comune di Barni è stato inserito in zona 4 (classificazione regionale), caratterizzata da un valore di  $a_g$  minore di 0.05 g.**

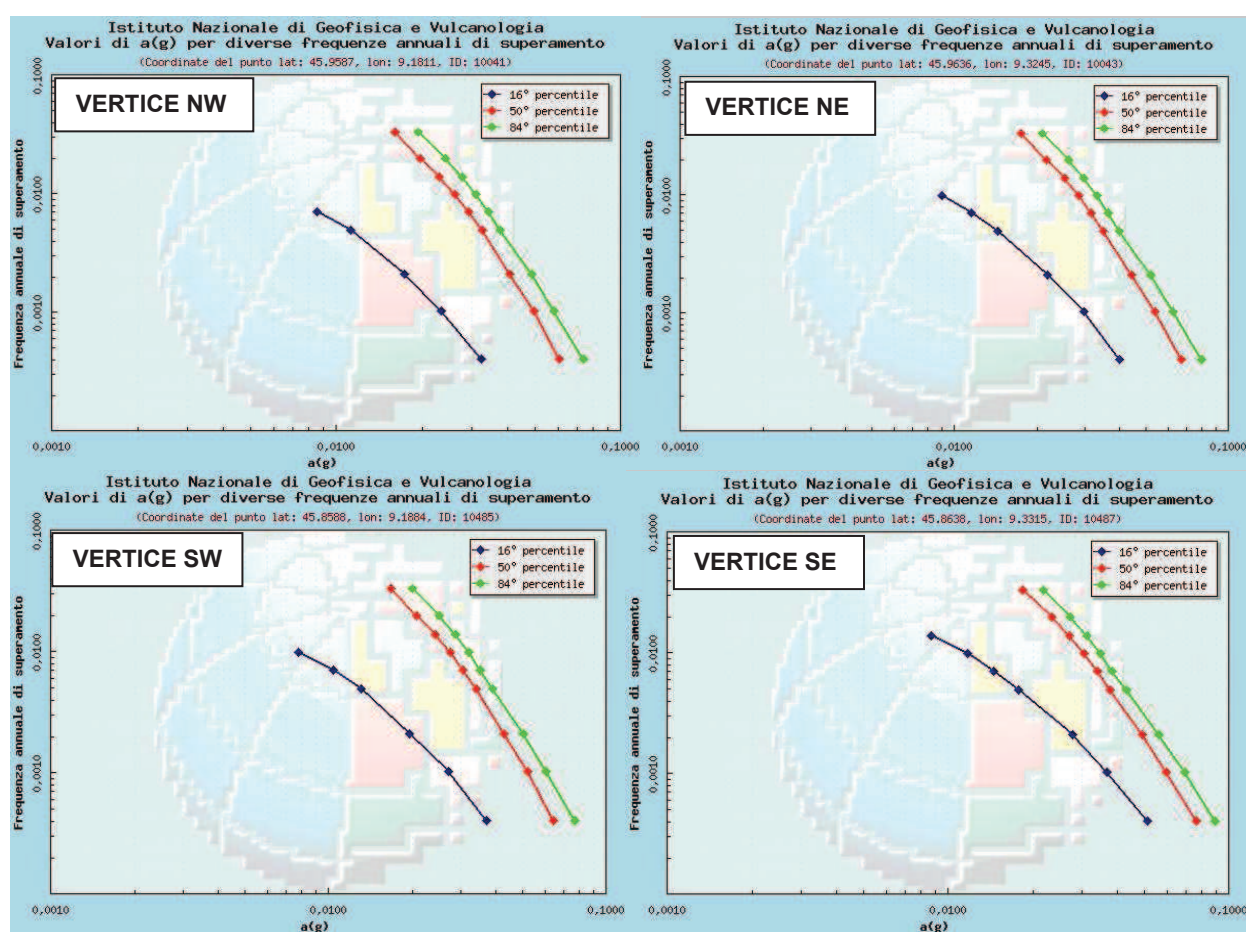


La figura precedente riporta la mappa di pericolosità del territorio Nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s).

Anche secondo tale carta, il territorio comunale di Barni è caratterizzato da valori di accelerazione massima attesa compresi fra 0.025 e 0.050.

Dal punto di vista della normativa tecnica associata alla nuova classificazione sismica, dal 5 marzo 2008 è in vigore il D.M. 14 gennaio 2008 “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni”, che sostituisce il precedente D.M. 14 settembre 2005, dal 1 luglio 2009, data di entrata in vigore del decreto, la progettazione antisismica, per tutte le zone sismiche e per tutte le tipologie di edifici è regolata dal D.M. 14 gennaio 2008.

Entrando maggiormente nel dettaglio, si riportano di seguito i grafici di superamento in funzione di  $a_g$ , per i 4 vertici della maglia di riferimento (identificati dai quadrati colorati nell'immagine precedente); tali grafici possono essere eventualmente utilizzati come riferimenti per analisi sismiche di dettaglio in fase progettuale.



### **2.3 Analisi della sismicità e carta della pericolosità sismica locale**

Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona (condizioni locali) possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base, producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area. Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei materiali coinvolti; pertanto ha una rilevanza fondamentale l'identificazione della categoria di terreno presente in una determinata area. In funzione delle caratteristiche dei terreni presenti nel Comune si distinguono due grandi tipi di effetti locali; quelli di sito o di amplificazione sismica locale e quelli dovuti a instabilità.

#### **2.3.1 Effetti di sito o di amplificazione sismica locale**

Tali effetti interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese, e sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento) relativo a una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti al bedrock a causa dell'interazione delle onde sismiche con particolari condizioni locali.

Tali effetti si distinguono in due gruppi che possono essere contemporaneamente presenti nello stesso sito.

**Effetti di amplificazione topografica:** si verificano quando le condizioni locali sono rappresentata da morfologie superficiali più o meno articolate e da irregolarità topografiche in generale; tali condizioni favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta del rilievo e seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello di fatto; se l'irregolarità topografica è rappresentata dal substrato roccioso si verifica solo l'effetto di amplificazione topografica, mentre nel caso di rilievi costituiti da materiale non roccioso l'effetto amplificatorio è la risultante tra effetto topografico e litologico.

**Effetti di amplificazione litologica:** si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche; tali condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno e fenomeni di risonanza.

#### **2.3.2 Effetti di instabilità**

Interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese e sono rappresentati in generale da fenomeni di instabilità consistenti:

1. nel caso di versanti in equilibrio precario si possono verificare fenomeni di riattivazione e neoformazione di movimenti franosi per cui il sisma rappresenta un fenomeno d'innescò, sia direttamente a causa dell'accelerazione esercitata sul suolo, sia indirettamente a causa dell'aumento delle pressioni interstiziali.
2. nel caso di aree interessate da particolari strutture geologiche sepolte e/o affioranti in superficie tipo contatti stratigrafici o tettonici quali faglie sismogenetiche, si possono verificare movimenti relativi verticali o orizzontali tra diversi settori.
3. nel caso di terreni particolarmente scadenti dal punto di vista delle proprietà fisico meccaniche, inoltre, si possono verificare fenomeni di scivolamento e rottura connessi a deformazioni permanenti del suolo, per terreni granulari sopra falda sono possibili cedimenti a causa di fenomeni di densificazione e addensamento del materiale, mentre per terreni fini sabbiosi saturi sono possibili fenomeni di liquefazione.
4. nel caso di siti interessati da carsismo sotterraneo o da particolari strutture vacuolari presenti nel sottosuolo, si possono verificare fenomeni di subsidenza più o meno accentuati in relazione al crollo parziale o totale di cavità sotterranee.

## **2.4 Analisi della sismicità locale**

La metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale in adempimento a quanto previsto dal D.M. del 14 gennaio 2008, della D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003 e del d.d.u.o n. 19904 del 21 novembre 2003, si basa su tre livelli successivi di approfondimento, in funzione della zona sismica di appartenenza e degli scenari di pericolosità sismica locale.

Si specifica a questo proposito che, ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008, la determinazione delle azioni sismiche in fase di progettazione, non è più valutata riferendosi a una zona sismica territorialmente definita, bensì sito per sito, secondo i valori riportati nell'Allegato B al citato D.M.; la suddivisione del territorio in zone sismiche (ai sensi dell'o.p.c.m. 3274/03) individua unicamente l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in fase pianificatoria. Tutti i comuni devono eseguire almeno il **livello 1**, ossia il riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti.

Questo livello prevede la realizzazione della **carta di pericolosità sismica locale** (PSL), nella quale deve essere individuata la perimetrazione areale delle diverse situazioni tipo (secondo la tabella di seguito riportata) in grado di determinare gli effetti sismici locali.

| Sigla      | SCENARIO DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE                                                                            | EFFETTI                            |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Z1a</b> | Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi                                                                        | <i>Instabilità</i>                 |
| <b>Z1b</b> | Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti                                                                    |                                    |
| <b>Z1c</b> | Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana                                                               |                                    |
| <b>Z2a</b> | Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili,...) | <i>Cedimenti</i>                   |
| <b>Z2b</b> | Zone con depositi granulari fini saturi                                                                                | <i>Liquefazioni</i>                |
| <b>Z3a</b> | Zona di ciglio H>10m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco...)                                                 | <i>Amplificazioni topografiche</i> |
| <b>Z3b</b> | Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo appuntite - arrotondate                                                          |                                    |
| <b>Z4a</b> | Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi          | <i>Amplificazioni litologiche</i>  |
| <b>Z4b</b> | Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio - lacustre                                |                                    |
| <b>Z4c</b> | Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)                            |                                    |
| <b>Z4d</b> | Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio - colluviale                                    |                                    |
| <b>Z5</b>  | Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico - meccaniche molto diverse        | <i>Comportamenti differenziali</i> |

**Il livello 2 è obbligatorio per i comuni ricadenti in zona 4 per le aree di PSL (pericolosità sismica locale) Z3 e Z4, nel caso di progettazione di costruzioni strategiche rilevanti (come da elenco contenuto nella D.G.R. N. 14964/2003), fermo restando la possibilità del Comune di estendere tale livello studio anche alle altre categorie di edifici.**

**Per le aree ricadenti in ambiti di pericolosità sismica locale Z1 e Z2, nella definizione di eventuali previsioni concernenti edifici strategici o rilevanti, non è previsto un approfondimento di 2° livello, ma il passaggio diretto ad approfondimenti di 3° livello.**

Per le aree ricadenti in ambiti di pericolosità sismica di tipo Z5, nella definizione di eventuali previsioni concernenti edifici strategici o rilevanti, è fatto obbligo in fase progettuale di rimuovere la limitazione o di adottare opportuni accorgimenti progettuali atti a garantire la sicurezza dell'edificio.

**Nel Comune di Barni è stato eseguito il secondo livello in quanto è previsto un progetto di ristrutturazione della Scuola per l'Infanzia di via Lubert, si rimanda all'allegato 1 per l'analisi.**

L'applicazione del 2° livello consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale le strutture in progetto, ossia il fattore di amplificazione sismico (FA) calcolato è superiore di quello di soglia comunale fornito dal Politecnico di Milano.

Per le aree con Fa superiore a quello della soglia dettata dalla normativa regionale (vedere tabella sotto riportata), si dovrà procedere alle indagini e agli approfondimenti del terzo livello o in alternativa utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.

| VALORI DI SOGLIA PER IL COMUNE DI BARNI |               |              |              |              |
|-----------------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
|                                         | Valori soglia |              |              |              |
| COMUNE                                  | Suolo tipo B  | Suolo tipo C | Suolo tipo D | Suolo tipo E |
| Barni (periodo 0,1-0,5)                 | 1.4           | 1.9          | 2.2          | 2.0          |
| Barni (periodo 0,5-1,5)                 | 1.7           | 2.4          | 4.2          | 3.1          |

Per il tipo di Suolo, la classificazione può essere basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio  $V_s$ , o sul numero medio di colpi NSPT ottenuti in una prova penetrometrica dinamica, o sulla coesione non drenata media  $c_u$ ; in base alle grandezze sopra definite s'identificano le seguenti categorie del suolo di fondazione:

**Categoria A** *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  superiori a 800 m/s, comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m;*

**Categoria B** *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina);*

**Categoria C** *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina);*

- Categoria D** Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  inferiori a 180 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} < 15$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} < 70$  kPa nei terreni a grana fina);
- Categoria E** Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con  $V_s > 800$  m/s);

a cui aggiungono le categorie:

- Categoria S1** Depositi di terreni caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  inferiori a 100 m/s (ovvero  $10 < c_u < 20$  kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argilla altamente organiche;
- Categoria S2** Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Per le aree caratterizzate da pericolosità sismica locale per effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione, non è prevista l'applicazione degli studi di 2° livello, ma il passaggio diretto a quelli di 3° livello.

#### **ANALISI DELLA SISMICITÀ LOCALE (SECONDO LIVELLO)**

L'approfondimento di studio sismico è stato condotto in Comune di Barni per l'area della Scuola dell'Infanzia in Via Lubert, dove è previsto un progetto di ristrutturazione; l'area rientra in scenari di pericolosità sismica locale dovuti a possibili amplificazioni di tipo litologico (scenario Z4) e dovuti al potenziale verificarsi di cedimenti (scenario Z2a).

Dato che lo scenario Z2 prevede un passaggio diretto all'approfondimento di terzo livello, **in fase progettuale**, ci si è occupati in questa fase del solo approfondimento di secondo livello.

Per il dettaglio dello studio eseguito e della metodologia di acquisizione dei dati, si rimanda all'allegato 1 a fine testo.

#### **2.5 Metodologia per la redazione della carta della pericolosità sismica locale**

Per la definizione delle diverse aree di possibile amplificazione sismica ed elementi lineari di amplificazione ci si è basati sulla cartografia d'inquadramento esistente ossia sulla carta geologica, geomorfologica e strutturale.

Per gli scenari di pericolosità sismica Z1 ci si è basati sulla carta del dissesto e sulle acclività dei versanti.

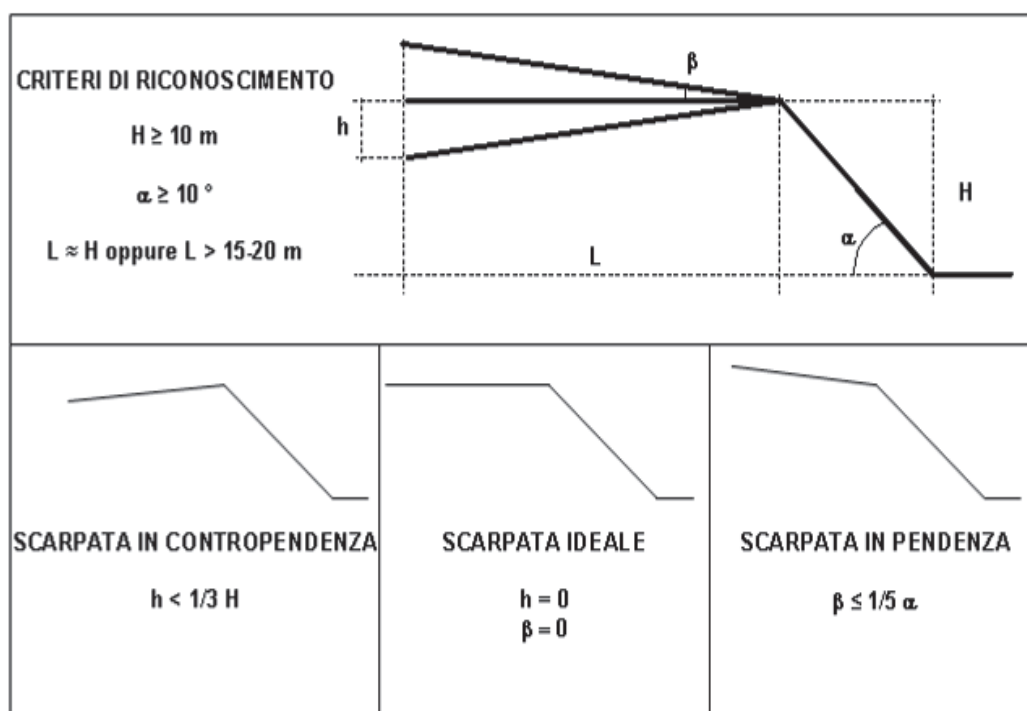
Per quanto riguarda le aree Z2a ossia aree soggette a cedimenti sono state individuate zone con depositi scadenti all'interno del territorio comunale in corrispondenza della piana su cui sorge parte del nucleo urbanizzato, in sponda idrografica sinistra del torrente Lambro.

Per l'individuazione degli elementi lineari Z3 creste e scarpate ci si è basati principalmente sulla carta geomorfologica e in linea generale sulla base fotogrammetrica al 2.000 comunale e sulla base del CTR scala 1:10.000.

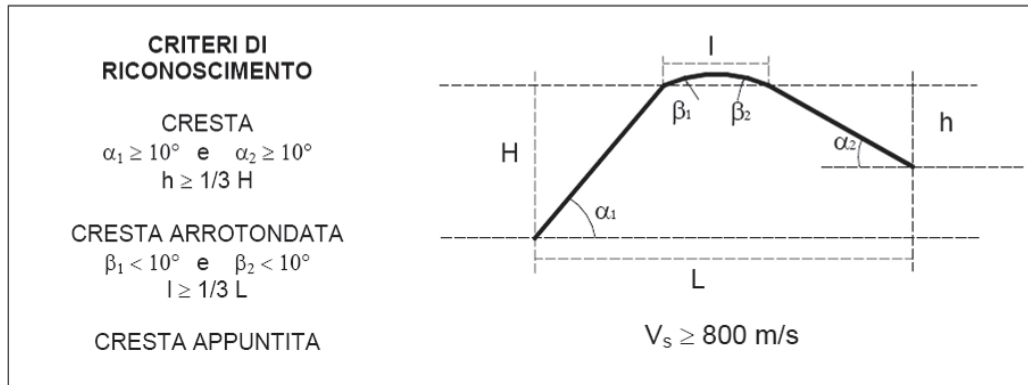
L'individuazione di tali elementi lineari è avvenuta mediante le procedure di verifica proposte dalla Regione.

Ossia sono state cartografate i tratti di cresta e di cigli di scarpata aventi i requisiti richiesti dall'allegato 5 ai criteri attuativi della L.R. n. 12 11/3/05 e successive modifiche o aggiornamenti .

#### EFFETTI MORFOLOGICI – SCARPATA - SCENARIO Z3a



### EFFETTI MORFOLOGICI – CRESTE - SCENARIO Z3b



Per l'individuazione delle zone Z4 e Z5 si è fatto riferimento prevalentemente alle carte geologiche - strutturali e geomorfologiche comunali nonché a indagini e bibliografia esistente.

La Carta della Pericolosità Sismica Locale di primo e secondo livello è riportata alla Tavola 2 allegata fuori testo al presente studio.

### 3. CARTA DEI VINCOLI GEOLOGICI

Nella cartografia dei vincoli eseguita in scala 1:5.000 su tutto il territorio comunale, sono state rappresentate le limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative e piani sovraordinati in vigore, di contenuto prettamente geologico con particolare riferimento ai seguenti.

#### **3.1 Vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino ai sensi della L. 183/89**

Sulla carta dei vincoli è rappresentato il quadro del dissesto proposto in aggiornamento con il presente studio, con le aree identificate dalla carta del dissesto del territorio con legenda unificata PAI. La normativa di riferimento sovraordinata è quella di cui alle N.d.A. del Pai, riportata per esteso alle Norme Geologiche di Piano (si veda la parte terza).

#### **3.2 Vincoli di polizia idraulica**

Sono rappresentate le fasce di rispetto indicate nel Reticolo Minore comunale del territorio comunale di Barni, redatto dal Dott. Geol. F. Rossini e Dott. S. Azzan (luglio 2008) e allo studio di ridefinizione delle fasce di rispetto del Torrente Lambro (gennaio 2010), parte integrante del reticolo idrico comunale.

Dato il recente aggiornamento della base cartografica, sulla carta sono evidenti alcune difformità fra le fasce di cui allo studio citato e l'andamento effettivo dei corsi d'acqua riportato sul DBT comunale, le fasce riportate sono perciò da considerarsi ai soli fini identificativi del corso d'acqua vincolato e non all'effettiva perimetrazione del vincolo stesso.

*Per le limitazioni all'interno delle fasce idrauliche dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo minore comunale si rimanda al regolamento di polizia idraulica comunale vigente.*

#### **3.3 Zone di tutela assoluta e rispetto dei pozzi e sorgenti pubblici**

Sono riportate sulla carta dei vincoli le aree di tutela assoluta e di rispetto delle sorgenti captate e dei pozzi a uso idropotabile per le quali si rimanda all'art. 94 del Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 che norma le zone di tutela assoluta e di rispetto.

La dicitura normativa per esteso è riportata alle Norme Geologiche di Piano.

*La Carta dei Vincoli Geologici è riportata alla Tavola 3 allegata fuori testo al presente studio.*

## **4. CARTA DI SINTESI**

La carta di sintesi è stata redatta su tutto il territorio comunale in scala 1:5.000 e rappresenta delle aree omogenee dal punto di vista della pericolosità/vulnerabilità riferita allo specifico fenomeno che la genera, identificandole sulla base di quanto già esposto e descritto a proposito della cartografia d'inquadramento del PRG (geologica e strutturale, idrogeologica, geomorfologica e dinamica di dettaglio) e dei rilievi eseguiti.

La mosaicatura della pericolosità appunto "sintetizzata" nella carta, deriva essenzialmente dall'analisi di dettaglio dei dissesti già eseguita per la Carta del Dissesto, incrociata con un'analisi delle pendenze dei versanti e dello stato delle criticità (torrenti, linee di debolezza,...), infine affinata localmente attraverso la sovrapposizione degli elementi mappate con le recenti orto-foto e rilievi mirati in sito.

Di seguito sono riportati gli ambiti di pericolosità e vulnerabilità considerati durante il presente studio e riportati sulla carta di sintesi.

### **Aree a pericolosità/vulnerabilità elevata o molto elevata**

- *aree di frana attiva (pericolosità molto elevata)*
- *aree di frana quiescente (pericolosità elevata)*
- *aree con presenza di doline-cavità carsiche (pericolosità elevata)*
- *aree incluse o prossime alle sedi degli alvei torrentizi sede di potenziali dissesti morfologici (vulnerabilità elevata)*
- *aree potenzialmente allagabili da esondazioni Torrente Lambro (vulnerabilità elevata)*
- *aree di conoide quiescente, potenzialmente interessate da fenomeni di trasporto solido su conoide (vulnerabilità elevata)*

### **Aree a pericolosità/vulnerabilità media**

- *aree con presenza di versanti acclivi (pericolosità media)*
- *aree pedemontane di raccordo alla piana (pericolosità media)*
- *aree inserite in ambiti collinari – montani (pericolosità media)*
- *aree caratterizzate da scadenti caratteristiche geotecniche e alta vulnerabilità della falda (vulnerabilità media)*

### **Aree a pericolosità/vulnerabilità bassa**

*La Carta di Sintesi è riportata alla Tavola 4 allegata al presente studio.*

## 5. CARTA DI FATTIBILITA' GEOLOGICA

In osservanza alla L.R. 12/05 e s.m.i. è stata aggiornata la cartografia di fattibilità dell'intero territorio comunale, con la redazione di una carta di fattibilità in scala 1:5.000 e 1:2.000, per le aree urbanizzate, e in scala 1:10.000, su base CTR.

L'attribuzione delle classi di fattibilità è stata eseguita attraverso l'analisi della carta dei vincoli e di sintesi, nonché attraverso considerazioni morfologiche e territoriali.

L'attribuzione delle classi di fattibilità è stata effettuata attribuendo a ogni poligono della Carta di Sintesi, una Classe di Fattibilità secondo il fattore di pericolosità/vulnerabilità presente, seguendo le indicazioni della tabella sotto riportata (che segue la linea della Tabella 1 dei criteri attuativi della L.R. 12/05 per la componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT), distinguendo diverse sottoclassi in funzione del fenomeno associato o del vincolo sovraordinato.

| <b>AMBITO DI PERICOLOSITA' (Poligono in Carta di Sintesi)</b>                       | <b>CLASSE DI FATTIBILITA'</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| <i>AREE PERICOLOSE DAL PUNTO VISTA DELL'INSTABILITA' DEI VERSANTI</i>               |                               |
| Aree di frana attiva                                                                | <b>4B</b>                     |
| Aree di frana quiescente                                                            | <b>4A</b>                     |
| Aree con presenza di versanti molto acclivi sede di potenziali fenomeni gravitativi | <b>4A</b>                     |
| Aree con presenza di versanti acclivi                                               | <b>3B</b>                     |
| Aree inserite in contesti collinari - montani                                       | <b>3A</b>                     |
| <i>AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA IDROGEOLOGICO</i>                            |                               |
| Aree interessate da carsismo-doline                                                 | <b>4C</b>                     |
| <i>AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA IDRAULICO</i>                                |                               |
| Alvei torrentizi                                                                    | <b>4A</b>                     |
| Aree potenzialmente allagabili                                                      | <b>3E</b>                     |
| Aree di conoide quiescente                                                          | <b>3D</b>                     |
| <i>AREE CHE PRESENTANO SCADENTI CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</i>                     |                               |
| Aree con limitata capacità portante, con possibili zone di ristagno                 | <b>3C</b>                     |
| <i>AREE A PERICOLOSITA'/VULNERABILITA' BASSA</i>                                    |                               |
| Aree a pericolosità geologica, idrogeologica e idraulica bassa                      | <b>2</b>                      |

Nei casi di presenza simultanea di due o più ambiti di pericolosità/vulnerabilità, è stata in ogni caso attribuita la classe di fattibilità più alta.

Per maggiori dettagli si rimanda alle Norme Geologiche di Piano.

*La Carta della Fattibilità Geologica è riportata alle Tavole allegate al presente studio:*

- alle Tavole 5a e 5b a scala 1:5.000 e 1:2.000 (solo aree urbanizzate)
- alla Tavola 5c a scala 1:10.000 su base CTR

A cura di Dott. Geologo Massimo Riva



Con la collaborazione di Dr.ssa Geologo Michela Innocenti

## **ALLEGATO 1**

Approfondimento sismico di secondo livello

per Scuola di Infanzia di Via Lubert

**Comune di Barni (CO)**

**- Aggiornamento Studio Geologico di supporto al Piano del Governo del Territorio -**

**COMUNE DI BARNI**

PROVINCIA DI COMO

Via Bricchi, 3 – 22030 Barni (CO)

**INDAGINE SISMICA, APPROFONDIMENTO  
SISMICO DI SECONDO LIVELLO E VALUTAZIONE  
DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO  
(spettri di risposta RSL)**

PROGETTO DI VERIFICA E RISTRUTTURAZIONE SCUOLA PER  
L'INFANZIA IN COMUNE DI BARNI (CO)



Lecco – Agosto 2013



**Dott. Massimo Riva Geologo** - c.f. RVI MSM 61H17 E507N - Part. Iva 01776580134

Via Previati 16, 23900 LECCO - Tel (0341) 286095 - Fax (0341) 361843

E-Mail [ufficiotecnico@sgtl.it](mailto:ufficiotecnico@sgtl.it) - Sito [www.sgtl.it](http://www.sgtl.it) – Posta certificata [sgtl@epap.sicurezzapostale.it](mailto:sgtl@epap.sicurezzapostale.it)

|         |            |           |
|---------|------------|-----------|
| Redatto | Verificato | Approvato |
| AV      | MR         | MR        |

## INDICE

|       |                                                                                |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | PREMESSA .....                                                                 | 2  |
| 2     | ACQUISIZIONE DATI DI CAMPAGNA.....                                             | 3  |
| 2.1   | ELABORAZIONE DATI.....                                                         | 7  |
| 2.2   | COMMENTO AI RISULTATI.....                                                     | 7  |
| 3     | APPROFONDIMENTO DI SECONDO LIVELLO (L.R. 12/05 e s.m.i.).....                  | 9  |
| 3.1   | INQUADRAMENTO NORMATIVO E D'ANALISI .....                                      | 9  |
| 3.2   | ANALISI DELLA SISMICITA' LOCALE (SECONDO LIVELLO) .....                        | 9  |
| 3.2.1 | CALCOLO SULLA SCHEDA LIMOSO-ARGILLOSA TIPO 2 .....                             | 11 |
| 3.3   | COMMENTO AI RISULTATI DELL'ANALISI DI SECONDO LIVELLO .....                    | 13 |
| 4     | CALCOLO SPETTRO ELASTICO DI RISPOSTA (NTC2008 – APPROCCIO “SEMPLIFICATO”)..... | 14 |
| 4.1   | AZIONI SISMICHE E STATI LIMITE.....                                            | 14 |
| 4.2   | DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI E DEI COEFFICIENTI SISMICI.....                   | 15 |
| 4.3   | RISULTATI IN TERMINI DI SPETTRO ELASTICO .....                                 | 15 |
| 5     | CALCOLO SPETTRO ELASTICO DI RISPOSTA (NTC2008 – APPROCCIO “RIGOROSO”).....     | 18 |
| 5.1   | DEFINIZIONE DELL'INPUT SISMICO .....                                           | 19 |
| 5.1.1 | DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI SISMICI DI BASE.....                              | 19 |
| 5.1.2 | DATI DI DISAGGREGAZIONE.....                                                   | 19 |
| 5.1.3 | ESTRAZIONE ACCELEROGRAMMI DI INPUT .....                                       | 22 |
| 5.1.4 | DEFINIZIONE DELLA SISMOSTRATIGRAFIA DI INPUT.....                              | 24 |
| 5.1.5 | TRASFORMAZIONE DELLO SPETTRO DI INPUT .....                                    | 24 |
| 5.2   | ESECUZIONE DELL'ANALISI .....                                                  | 25 |
| 5.3   | RISULTATO DELL'ANALISI (SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO) .....                    | 27 |
| 5.3.1 | SPETTRO NORMALIZZATO E SPETTRO DI PROGETTO.....                                | 28 |
| 6     | CONCLUSIONI E COMMENTI AL FLUSSO DI CALCOLO.....                               | 30 |

## ALLEGATI A FINE TESTO

|   |                                              |    |
|---|----------------------------------------------|----|
| 7 | Bibliografia essenziale .....                | 32 |
| 8 | Allegato 1 – metodo MASW e HVSr.....         | 33 |
| 9 | Allegato 2 – documentazione fotografica..... | 39 |

## 1 PREMESSA

Per conto dell'Amministrazione Comunale di Barni (CO) si redige la presente relazione di inquadramento e approfondimento sismico per la valutazione della pericolosità sismica locale e della risposta sismica elastica, a supporto del progetto di verifica e ristrutturazione della Scuola per l'Infanzia in Comune di Barni (CO).

L'analisi suddetta si rende necessaria in quanto l'edificio si inquadra come rilevante ai sensi della normativa di riferimento nazionale e regionale, ovvero:

- D.M. 14 gennaio 2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni);
- L.R. 11 marzo 2005 n.12 e s.m.i. (in particolare DGR 30 novembre 2011 – n. IX/2616).

A tal fine è stata eseguita un'indagine in sito di misura diretta delle onde sismiche per la valutazione del profilo di velocità delle onde di taglio in profondità; i risultati, unitamente alla ricerca di serie temporali storiche nei database di riferimento, ha permesso l'elaborazione dei dati e quindi di restituire in forma semplificata e in forma rigorosa la parametrizzazione sismica del sito e della struttura, per quanto di competenza dello scrivente.



Dal momento che il Comune di Barni è in fase di valutazione dell'Aggiornamento Geologico Sismico a supporto del suo PGT, si intende la presente relazione non solo a supporto del progettista strutturista, ma valida anche ai fini dell'approfondimento sismico di secondo livello previsto dalla normativa di riferimento degli studi geologici in ambito pianificatorio (DGR n. IX/2616 del 30 novembre 2011).

Tale studio è perciò da recepire ai fini della valutazione della pericolosità sismica locale, in ambito di PGT.

## 2 ACQUISIZIONE DATI DI CAMPAGNA

Come primo passo nell'approfondimento delle condizioni sismiche locali e per la valutazione della risposta sismica a un'eventuale sollecitazione naturale, è necessario definire il tipo di suolo e caratterizzarlo dal punto di vista sismico, in ragione della velocità di propagazione delle onde di taglio (profilo delle Vs) e delle sue variazioni con la profondità.

Diventa perciò di grande importanza la definizione del parametro normativo di riferimento, ossia il profilo delle velocità delle onde di taglio nei primi 30 m (Vs30).

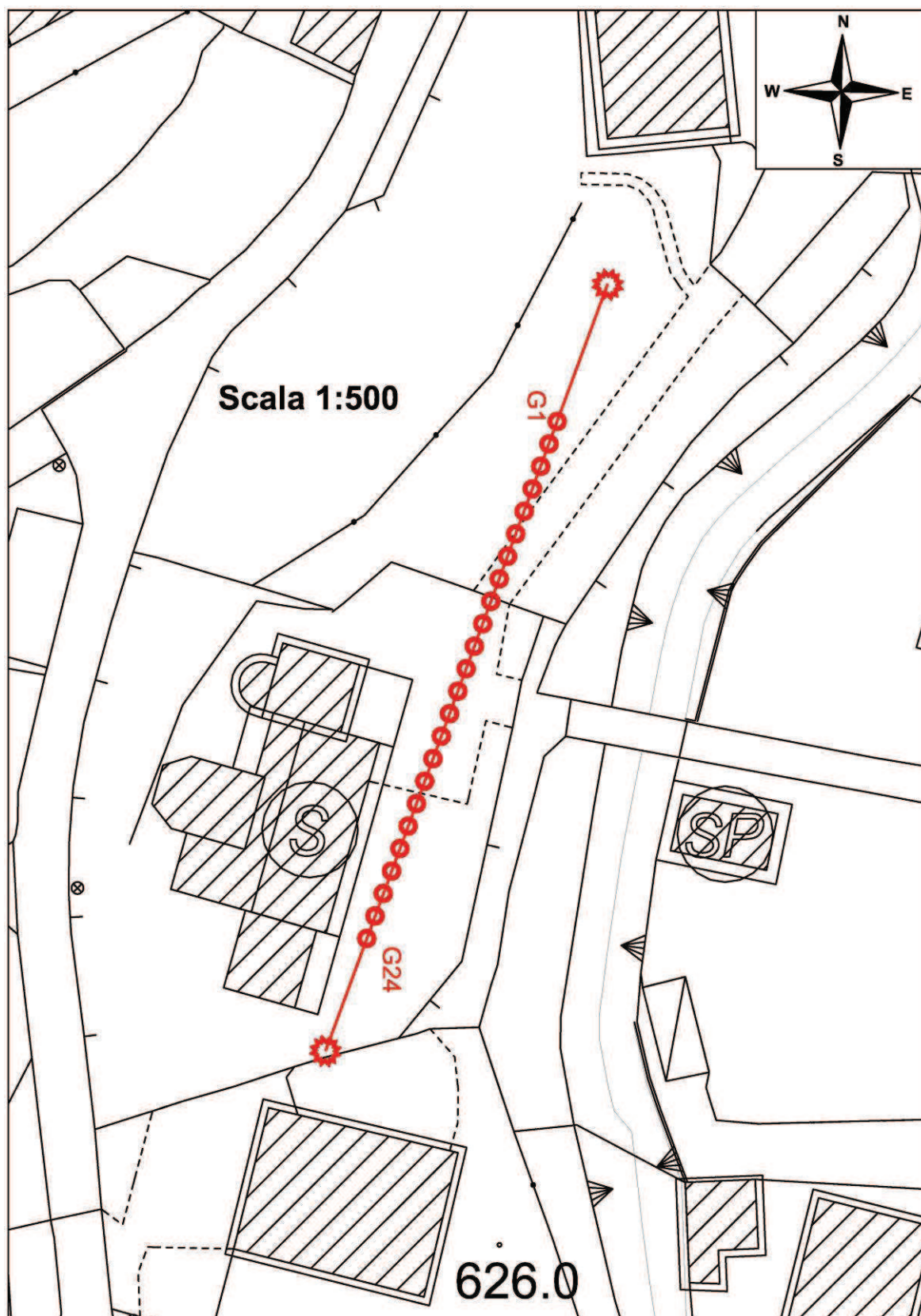
Pertanto, in data 19.07.2013, è stata eseguita una registrazione sismica in sito (tipo MASW attiva, si veda allegato a fine testo per maggiori dettagli), secondo un allineamento simmetrico di 24 geofoni posti ad interasse di 2,0 m e con energizzazioni del terreno poste a 10,0 m dai geofoni estremi.

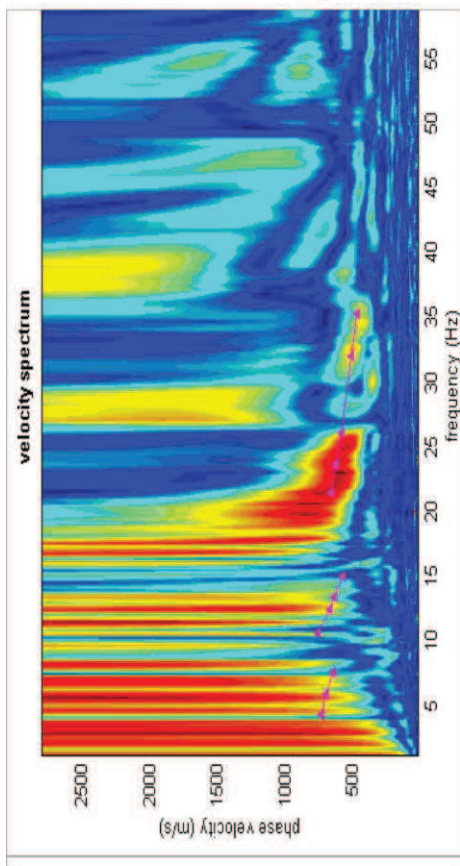
L'indagine di tipo attivo è stata integrata e tarata con una di tipo passivo (metodologia HVSR – microtremori), come visibile nel riquadro in basso a sinistra della foto, attraverso la misura dei microsismi per basse frequenze, eseguita con l'ausilio di un geofono triassiale (si veda allegato 1 per maggiori dettagli).



Di seguito si riportano l'ubicazione dei geofoni e della linea MASW registrata su fotogrammetrico comunale e relativi grafici e tabelle d'elaborazione.

Si consideri che tutto quanto estratto sia come dato, sia come interpretazione, fa riferimento ad una posizione circa centrale rispetto all'allineamento, ciò comporta un'ottima caratterizzazione del sito in quanto quest'ultimo si trova in posizione molto vicina alla struttura.





### LEGENDA

Curva di dispersione misurata

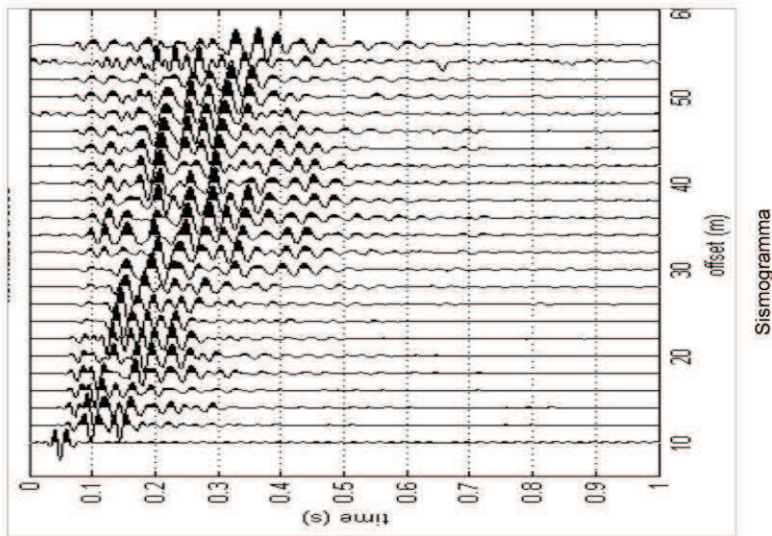
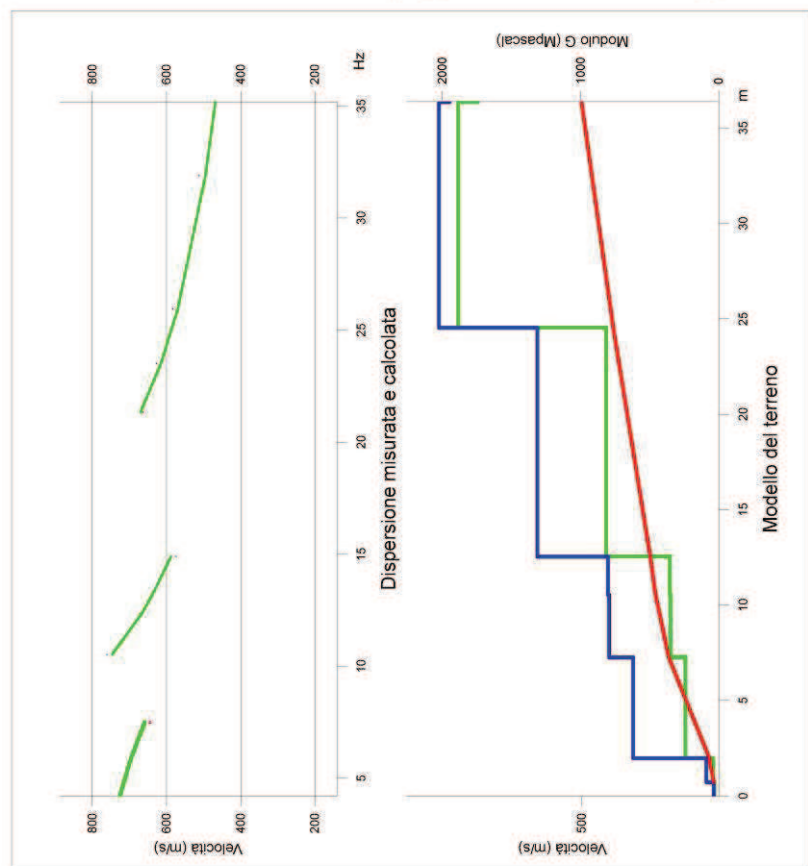
Curva di dispersione calcolata

Velocità sismica delle onde S

Modulo di taglio (Mpasca)

VsX

Il valore approssimato del peso di volume per il calcolo del parametro G è dato dalla formula  $D=1.5 + Vs/1000$



### TABELLA DI CALCOLO

| Da Prof. | a Prof. | Vs  | H/Vi  | VsX | G    |
|----------|---------|-----|-------|-----|------|
| 0        | .7      | 140 | .0051 | 140 | 32   |
| .7       | 2       | 160 | .0079 | 152 | 42   |
| 2        | 7.2     | 359 | .0147 | 262 | 240  |
| 7.2      | 10.5    | 425 | .0077 | 298 | 348  |
| 10.5     | 12.5    | 428 | .0047 | 313 | 352  |
| 12.5     | 24.5    | 620 | .0194 | 413 | 815  |
| 24.5     | 36.4    | 888 | .0133 | 500 | 1883 |

VALORE CALCOLATO VS30 = 458 m/s

## PROVA SISMICA VS30

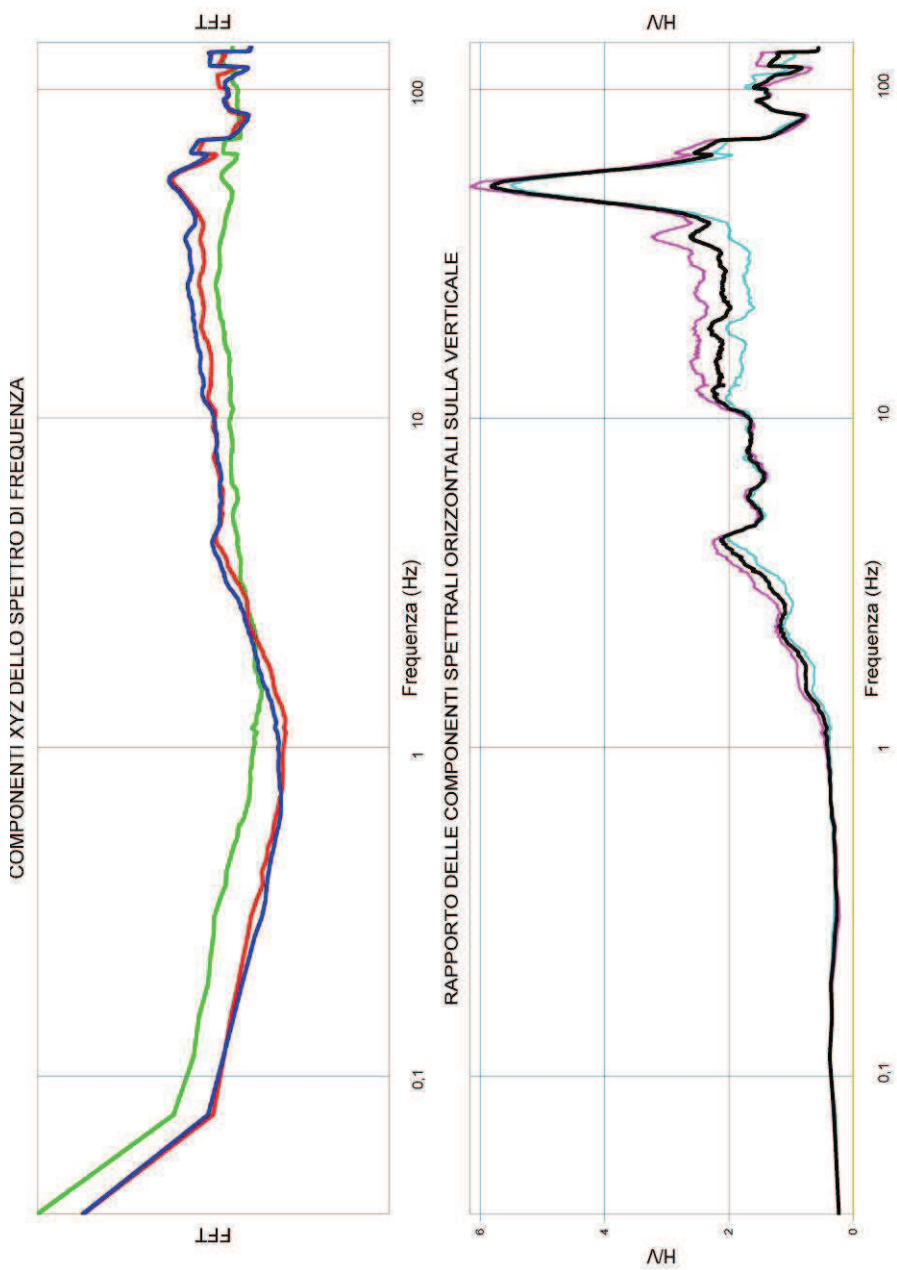
Località: Barni (LC)

Scuola per l'Infanzia

Metodologia MASW

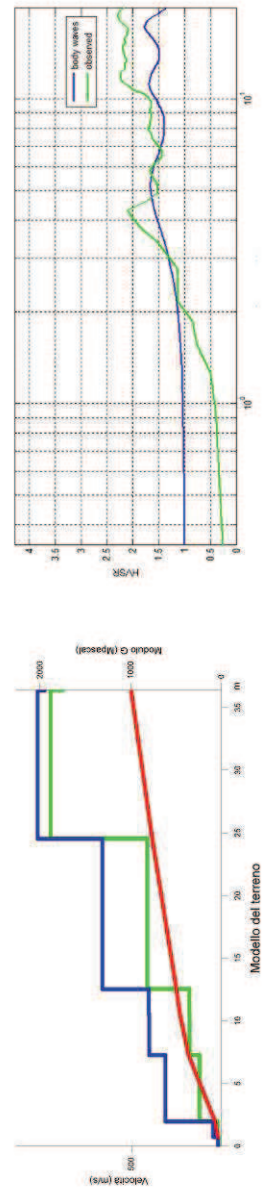
## VELOCITA' DELLE ONDE S

Luglio 2013



Assenza di Picchi alle frequenze Significative

|                                              |  |
|----------------------------------------------|--|
| <b>PROVA HV</b>                              |  |
| Località: Barni (LC)                         |  |
| Scuola per l'Infanzia                        |  |
| Metodo Nakamura                              |  |
| <b>SPETTRI DI FREQUENZA<br/>PROVA G10075</b> |  |
| Luglio 2013                                  |  |



## 2.1 ELABORAZIONE DATI

L'elaborazione della curva di dispersione ottenuta dai sismogrammi registrati ha permesso di ricostruire il profilo sismico dell'andamento della Vs con la profondità, identificando i seguenti sismo strati:

| Profondità (m) |      | Velocità onde Vs (m/s) | Spessore/velocità $H_i/V_i$ | Velocità media $V_{s_x}$ (m/s) | Mod. di taglio G (MPa) |
|----------------|------|------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------|
| da             | a    |                        |                             |                                |                        |
| 0              | 0,7  | 140                    | 0,0051                      | 140                            | 32                     |
| 0,7            | 2,0  | 160                    | 0,0079                      | 152                            | 42                     |
| 2,0            | 7,2  | 359                    | 0,0147                      | 262                            | 240                    |
| 7,2            | 10,5 | 425                    | 0,0077                      | 298                            | 348                    |
| 10,5           | 12,5 | 428                    | 0,0047                      | 313                            | 352                    |
| 12,5           | 24,5 | 620                    | 0,0194                      | 413                            | 815                    |
| 24,5           | 36,4 | 888                    | 0,0133                      | 500                            | 1883                   |

E' possibile così calcolare il valore del parametro Vs30, ovvero la velocità media di propagazione

delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità, secondo l'espressione: 
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

**PER IL SITO IN ESAME IL VALORE DI Vs30 E' PARI A 458 m/s**

## 2.2 COMMENTO AI RISULTATI

### *Tipo di suolo sismico*

Per il tipo di Suolo, la classificazione può essere basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio Vs, o sul numero medio di colpi NSPT ottenuti in una prova penetrometrica dinamica, o sulla coesione non drenata media  $c_u$ ; in base alle grandezze sopra definite s'identificano le seguenti categorie del suolo di fondazione:

- Categoria A *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi*, caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m;
- Categoria B *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina);
- Categoria C *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Categoria D  | terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina);<br><i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina); |
| Categoria E  | <i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s);                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Categoria S1 | Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_u < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argilla altamente organiche;                                                                                                                                                                                                  |
| Categoria S2 | Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

Analizzando il profilo sismico ottenuto è possibile notare come, a tutti gli effetti, il suolo non sia classificabile entro nessuna delle categorie previste, rientrerebbe pertanto nel campo della categoria S2 (per la quale non è codificato alcun spettro normativo).

La legislazione in campo di micro zonazione sismica (D.M. 2008) dice che le aree d'indagine che presentano bedrock sismico (materiale con  $V_s > 800$  m/s), vanno valutate sulla base dello spessore di materiale lento che sta sopra il bedrock.

La pericolosità sismica di un sito simile, in caso di terremoto, è dovuta a due ragioni principali:

- corpo rigido (bedrock) che appunto “rigidamente” trasmette le sollecitazioni al corpo poco coeso sovrastante;
- amplificazione sismica stratigrafico – litologica, in questi casi generalmente molto ampia.

Nel caso in esame ci viene in aiuto proprio la misura passiva d'integrazione (H/V), la quale non registra picchi importanti alle frequenze significative, pertanto il suolo (viste anche le condizioni al limite delle categorie e la  $V_{s30}$ ), potrebbe essere classificato come suolo B.

Gli approfondimenti di cui ai seguenti capitoli hanno lo scopo di dettagliare in ogni caso il discorso, procedendo dapprima con l'approfondimento di secondo livello previsto per gli edifici rilevanti in zone a pericolosità sismica locale dovuta a potenziali effetti di amplificazione, quindi con l'analisi approfondita prevista dalle NTC2008 secondo l'approccio “rigoroso”.

Con il primo approfondimento (secondo livello), andremo a definire il Fattore d'amplificazione al sito in esame da confrontare con i valori calcolati e tabellati dal Politecnico di Milano, in modo da valutare se lo spettro normativo sopra definito (suolo B), rientra nei parametri di pericolosità sismica locale o se occorre applicare uno spettro maggiore.

Con il secondo approfondimento si vuole invece stimare l'effettiva amplificazione possibile al sito a partire dall'analisi degli eventi sismici naturali (estrazione di accelerogrammi naturali), elaborando gli eventi sismici naturali raccolti nei database di riferimento, filtrandoli attraverso il profilo  $V_s$  ottenuto dalla registrazione in sito ed elaborando un output che rappresenti l'effettiva risposta elastica del suolo (uscendo del tutto quindi dall'“approccio semplificato” e quindi dalle categorie di suolo).

### 3 APPROFONDIMENTO DI SECONDO LIVELLO (L.R. 12/05 e s.m.i.)

#### 3.1 INQUADRAMENTO NORMATIVO E D'ANALISI

La metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale in adempimento a quanto previsto dal D.M. del 14 gennaio 2008, della D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003 e del d.d.u.o n. 19904 del 21 novembre 2003, si basa su tre livelli successivi di approfondimento, in funzione della zona sismica di appartenenza e degli scenari di pericolosità sismica locale.

Il comune di Barni si sta dotando di uno studio di approfondimento sismico di primo livello, eseguito in ambito di stesura del PGT (si ricorda che tale studio è tutt'ora in fase di adozione/approvazione).

Tuttavia, per l'area di progetto è da prevedersi un ulteriore approfondimento di secondo livello, in quanto il sito ricade in uno scenario di pericolosità sismica dovuto alla presenza di depositi superficiali (possibilità di amplificazione litologica – scenario Z4), e tali approfondimenti sono obbligatori ai sensi della normativa vigente<sup>1</sup>, in quanto il progetto in esame rientra nella categoria delle costruzioni strategiche/rilevanti.

Si riporta pertanto di seguito l'approfondimento sismico di secondo livello (litologico), finalizzato alla definizione del Fattore di Amplificazione (Fa) locale, da utilizzarsi in seguito per la parametrizzazione sismica del sito.

#### 3.2 ANALISI DELLA SISMICITA' LOCALE (SECONDO LIVELLO)

L'analisi di seguito riportata e dettagliata è riferita allo studio di possibili di tipo litologico (scenario Z4), ovvero potenziali fenomeni di amplificazione che si possono verificare quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche; tali condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno e fenomeni di risonanza.

Le conoscenze della litologia e stratigrafia dell'area, non sono state ritenute sufficienti per dettagliare e ricostruire un profilo sismico significativo, è stata pertanto, come già detto, eseguite delle indagini mirate alla sua definizione puntuale con metodologia tipo MASW attiva.

Durante la campagna geognostica (19.07.2013), è stata acquisita una registrazione di sismica a onde superficiali, con la definizione di alcuni profili sismici e il calcolo delle Vs30 (si veda capitolo precedente per i dettagli).

Il **periodo di oscillazione naturale** del sito (Tp) si calcola attraverso la conoscenza dettagliata della distribuzione in profondità delle Vs, fino allo strato con  $V_s \geq 800$  m/s.

Di seguito si riporta il profilo misurato delle Vs con la profondità:

| profondità (m) | spessore strato (m) | Vs (m/s)   | profondità (m) | spessore strato (m) | Vs (m/s)   |
|----------------|---------------------|------------|----------------|---------------------|------------|
| Da 0 a 0,7     | 0,7                 | <b>140</b> | Da 10,5 a 12,5 | 2,0                 | <b>428</b> |
| Da 0,7 a 2,0   | 1,3                 | <b>160</b> | Da 12,5 a 24,5 | 12,0                | <b>620</b> |
| Da 2,0 a 7,2   | 5,2                 | <b>359</b> | Da 24,5 a 36,4 | 11,9                | <b>888</b> |
| Da 7,2 a 10,5  | 3,3                 | <b>425</b> |                |                     |            |

<sup>1</sup> Ai sensi della L.R. 12/05 e s.m.i., l'approfondimento sismico di livello 2 è obbligatorio per i comuni ricadenti in zona 4 per le aree di PSL (pericolosità sismica locale) Z3 e Z4, nel caso di progettazione di costruzioni strategiche rilevanti (come da elenco contenuto nella D.G.R. N. 14964/2003), fermo restando la possibilità del Comune di estendere tale livello studio anche alle altre categorie di edifici.

Tale modello è stato modificato secondo le linee guida della dgr IX/2616 allegato 5, in quanto lo strato superficiale ha spessore < 4 m; per poter quindi effettuare la scelta della curva di riferimento si considera lo strato superficiale equivalente cui assegnare una Vs calcolata come media pesata del valore di Vs degli strati superficiali la cui somma supera i 4 m di spessore (nel caso in esame la media è calcolata sui primi 3 strati):

$$\frac{H_1 V_{s1} + H_2 V_{s2}}{H_1 + H_2}$$

$$\frac{0,7 \cdot 140 + 1,3 \cdot 160 + 5,2 \cdot 359}{0,7 + 1,3 + 5,2} = 301,78 \text{ m/s} \quad (\text{Vs riferita a uno spessore di 7,2 m})$$

Il modello equivalente applicato diventa perciò:

| profondità (m) | spessore strato (m) | Vs (m/s)   |
|----------------|---------------------|------------|
| Da 0 a 7,2     | 7,2                 | <b>302</b> |
| Da 7,2 a 10,5  | 3,3                 | <b>425</b> |
| Da 10,5 a 12,5 | 2,0                 | <b>428</b> |
| Da 12,5 a 24,5 | 12,0                | <b>620</b> |
| Da 24,5 a 36,4 | 11,9                | <b>888</b> |

Si calcola quindi il periodo proprio del sito (Tp), necessario per la valutazione dell'amplificazione, considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità dello strato con Vs ≥ 800 m/s (nel nostro caso perciò fino allo strato con letto a 36,4 m)

L'equazione per il calcolo di Tp è:

$$Tp = \frac{4 \sum_{i=1}^n h_i}{\left( \frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

Applicando l'equazione si ottiene per il sito considerato:

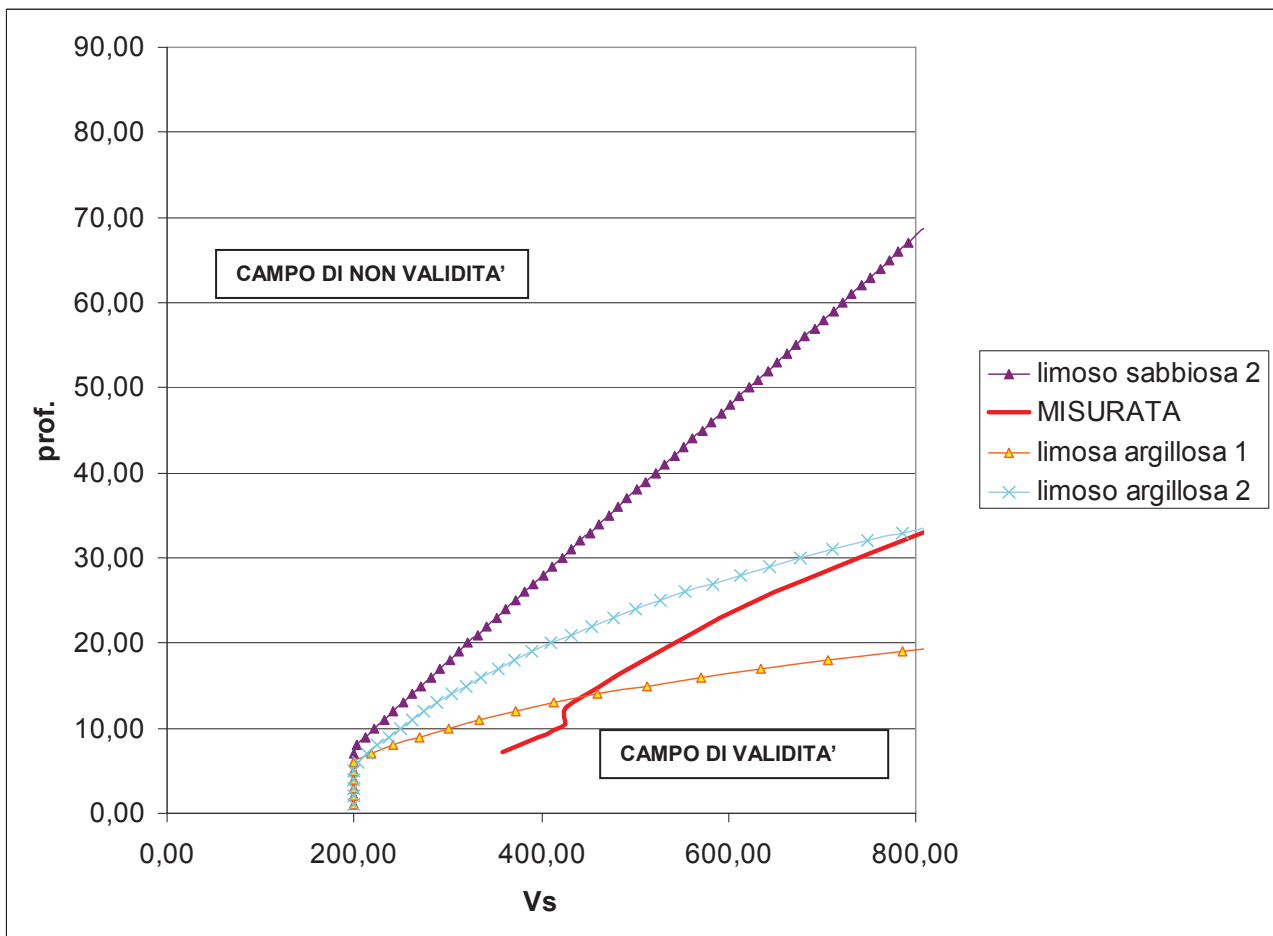
$$Tp = \frac{145,6}{\left[ \frac{22438,50}{36,40} \right]} = \mathbf{0.24s}$$

Non essendo noti allo scrivente i dettagli progettuali previsti per l'edificio (es. quote fondazioni esistenti e/o in progetto), a titolo cautelativo, tutte le elaborazioni sono state eseguite calcolando il fattore di amplificazione a quota piano campagna, sia per un intervallo di periodo tra 0.1s e 0.5s (di solito preso in considerazione per strutture basse, regolari e rigide), sia per l'intervallo 0.5s e 1.5s (riferito a strutture più alte e flessibili).

Dall'andamento del profilo sismico a base di calcolo è possibile scegliere la scheda di valutazione (di cui all'All. 5 della dgr IX/2616) più idonea; dall'analisi dei campi di validità (identificati sui gradienti delle Vs) e dei parametri indicativi (granulometria e comportamento del materiale).

Nel caso in esame l'andamento più simile è quello della scheda limoso - argillosa tipo2; di seguito si riporta la curva limite che separa i campi di validità per le litologie considerate (di cui all'All. 5

della dgr IX/2616) e la curva di campagna registrata, risulta quindi evidente che il profilo sismico dell'area ricade nel campo di validità sia della limosa argillosa tipo 2.



Secondo tale scheda, è possibile identificare la curva di riferimento per il calcolo del  $F_a$  sulla base della velocità dello strato superficiale.

### 3.2.1 CALCOLO SULLA SCHEDA LIMOSO-ARGILLOSA TIPO 2

Nel caso è possibile fare riferimento all'equazione della curva 3 riportata alla scheda, in quanto il primo strato, alla profondità di 7,2 m, ha una velocità sismica superiore ai 300 m/s.

*Il calcolo del  $F_a$  è stato perciò eseguito secondo l'equazione della curva 3.*

**Periodo 0.1s – 0.5s**

L'equazione utilizzata è quella del tratto polinomiale della curva 3 (in quanto  $0.05 \leq T_p \leq 0.40$ ):

$$F_{a_{0.1-0.5}} = -10.6T_p^2 + 7.6T_p + 0.46$$

$$F_{a_{0.1-0.5}} = -10.6 \cdot (0.24)^2 + 7.6 \cdot 0.24 + 0.46 = 1,67344$$

Quindi il fattore d'amplificazione locale per il sito considerato nel periodo 0.1-0.5s risulta:

$$F_{a_{0.1-0.5}} = 1,7$$

Periodo 0.5s - 1.5s

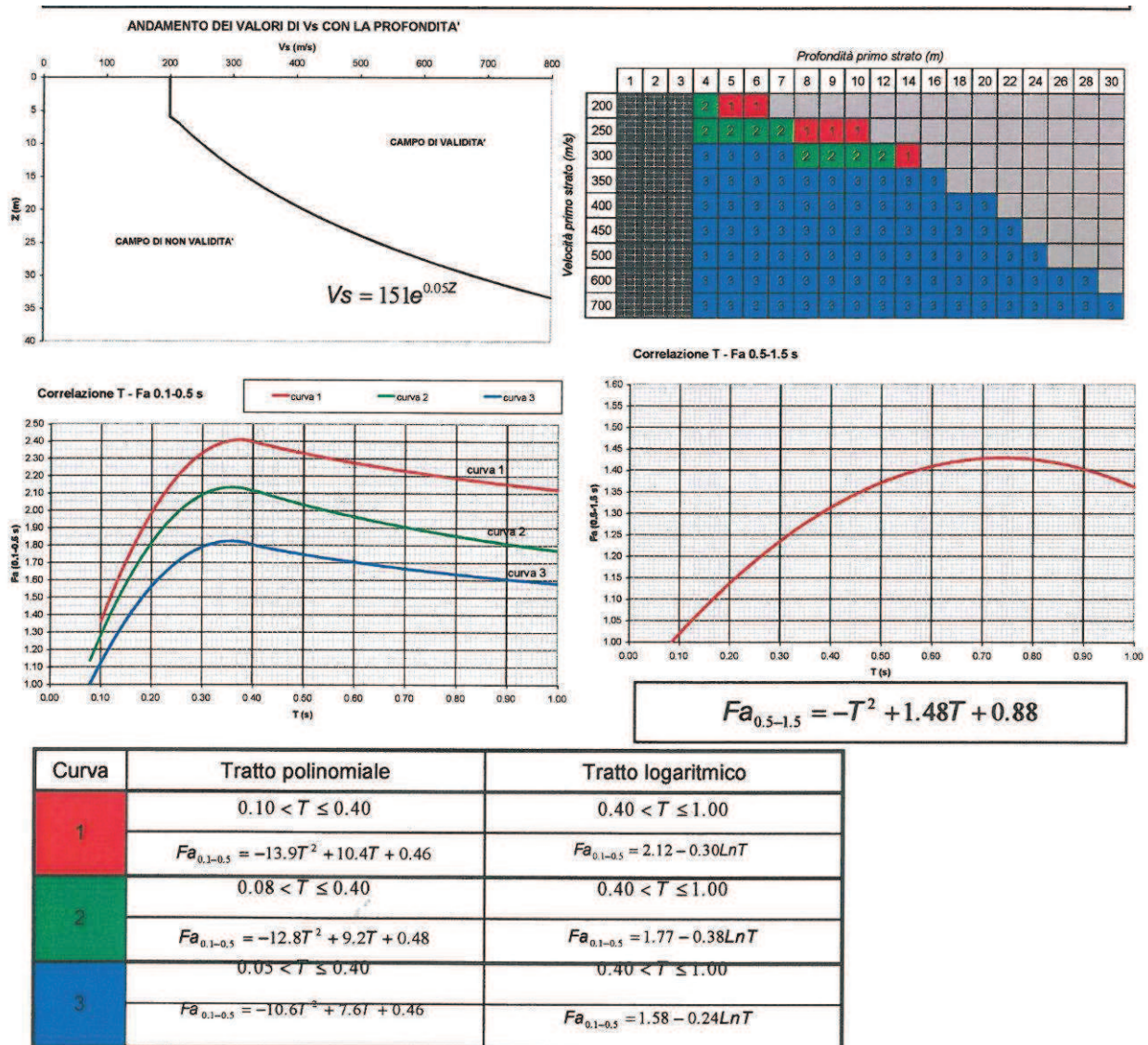
L'equazione utilizzata è la curva di correlazione parabolica:

$$Fa_{0.5-1.5} = -Tp^2 + 1.48Tp + 0.88$$

$$Fa_{0.5-1.5} = -(0,24)^2 + 1,48 \cdot 0,24 + 0,88 = 1.1776$$

Quindi il fattore d'amplificazione locale per il sito considerato nel periodo 0.5-1.5s risulta:

$$Fa_{0.5-1.5} = 1,2$$



Estratto scheda litologica dell'Allegato 5 DGR n. IX/2616

### 3.3 COMMENTO AI RISULTATI DELL'ANALISI DI SECONDO LIVELLO

Pur non avendo a disposizione dati progettuali, vista la struttura dell'edificio esistente, si ritiene a ragione che il Fattore di amplificazione che meglio approssima le condizioni di rischio sismico locali sia quello calcolato per un breve periodo e pari a **1.7** (salvo che il progetto non preveda strutture con periodi maggiori a 0,5 s).

Si ricorda che l'applicazione del 2° livello consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale le strutture in progetto, ossia il fattore di amplificazione sismico ( $F_a$ ) calcolato è superiore di quello di soglia comunale fornito dal Politecnico di Milano.

Per le aree con  $F_a$  superiore a quello della soglia dettata dalla normativa regionale (vedere tabella sotto riportata), si dovrà procedere alle indagini e agli approfondimenti del terzo livello o in alternativa utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.

| VALORI DI SOGLIA PER IL COMUNE DI BARNI<br>(estratto da soglie_lomb.xls diffuso da regione Lombardia) |              |               |              |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
|                                                                                                       |              | Valori soglia |              |              |
| COMUNE                                                                                                | Suolo tipo B | Suolo tipo C  | Suolo tipo D | Suolo tipo E |
| Barni (periodo 0,1-0,5)                                                                               | 1.4          | <b>1.9</b>    | 2.2          | 2.0          |
| Barni (periodo 0,5-1,5)                                                                               | 1.7          | 2.4           | 4.2          | 3.1          |

Nel caso in esame non è possibile applicare “alla lettera” la normativa, in quanto non sono contemplati valori soglia di raffronto per i suoli sismici di tipo S2, anche se è possibile osservare che il Fattore d'Amplificazione calcolato è superiore alla soglia prevista per la categoria B, mentre è compatibile **con un suolo sismico di tipo C**.

Alla luce di ciò si ritiene che l'attribuzione alla categoria B prima ipotizzata, non sia sufficientemente cautelativa, quindi si ritiene più appropriato utilizzare lo spettro della categoria C.

## 4 CALCOLO SPETTRO ELASTICO DI RISPOSTA (NTC2008 – APPROCCIO “SEMPLIFICATO”)

### 4.1 AZIONI SISMICHE E STATI LIMITE

Le *azioni sismiche di progetto*, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base del sito” di costruzione, che è descritta dalla *probabilità* che, in un fissato lasso di tempo (“periodo di riferimento VR”), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità pari ad almeno un valore prefissato; la probabilità è denominata “*Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento ( $P_{VR}$ )*”.

Ai fini delle NTC 2008, le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento ( $P_{VR}$ ), a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_o$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- $T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Nei confronti delle azioni sismiche, gli stati limite, sia ultimi sia di esercizio, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite ultimi dinamici (SLU) sono:

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

Gli stati limite di esercizio (SLE) da considerare sono:

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

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l’azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva Tab. 3.2.I. estratta dalle NTC.

Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{V_k}$  al variare dello stato limite considerato

| Stati Limite              |     | $P_{V_k}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$ |
|---------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------|
| Stati limite di esercizio | SLO | 81%                                                                     |
|                           | SLD | 63%                                                                     |
| Stati limite ultimi       | SLV | 10%                                                                     |
|                           | SLC | 5%                                                                      |

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di PVR forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

Per il caso in esame determineremo i parametri sismici con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), applicando, sulla scorta dell'analisi di secondo livello prodotta al capitolo precedente, uno spettro di normativa di suolo di tipo C (approccio semplificato).

## 4.2 DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI E DEI COEFFICIENTI SISMICI

Al fine di valutare i parametri sismici caratteristici è stato utilizzato il foglio di calcolo rilasciato dal Ministero dei Lavori Pubblici, (le coordinate geografiche del sito in esame sono state però acquisite dal software on-line "PS" della Geostru).

Di seguito si riportano i dati di input

- Coordinate geografiche decimali: lat. = 45,913439 long. = 9,267211
- Coefficiente d'uso: 1,5 (edificio in classe III)
- Vita Nominale (ipotizzata): 50 anni
- Stato limite considerato: SLV
- Categoria di sottosuolo **Categoria C**
- Categoria Topografica (da morfologia locale, rif. Tab. 3.2.IV NTC): Categoria T1 – pendii con  $\alpha < 15^\circ$

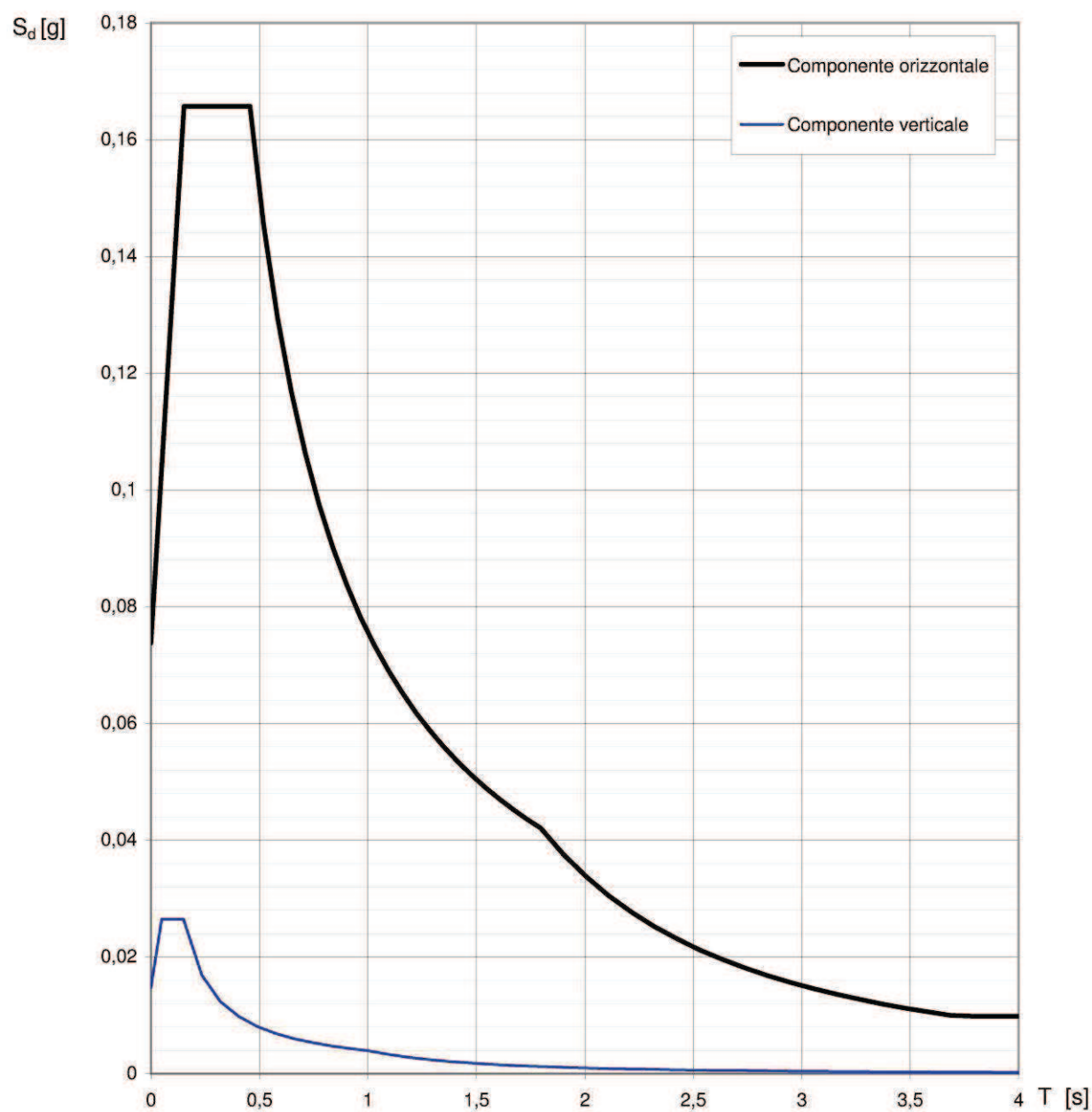
| STATO LIMITE | $T_R$<br>[anni] | $a_g$<br>[g] | $F_0$<br>[-] | $T_c^*$<br>[s] |
|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| SLO          | 45              | 0,020        | 2,593        | 0,165          |
| SLD          | 75              | 0,025        | 2,594        | 0,192          |
| <b>SLV</b>   | <b>712</b>      | <b>0,049</b> | <b>2,696</b> | <b>0,288</b>   |
| SLC          | 1462            | 0,059        | 2,755        | 0,306          |

## 4.3 RISULTATI IN TERMINI DI SPETTRO ELASTICO

In sintesi si riportano i parametri per lo spettro elastico della componente orizzontale, nei confronti dello SLV e ipotizzando uno smorzamento del 5%:

| Parametri indipendenti |         | Parametri dipendenti (spettro normalizzato) |         |       |         |
|------------------------|---------|---------------------------------------------|---------|-------|---------|
| $a_g$                  | 0,049 g | S (coeff. di fondazione)                    |         | 1,500 |         |
| $F_0$                  | 2,696   | $\eta$                                      |         | 0,833 |         |
| $T_c$                  | 0,288 s | $T_B$                                       | 0,152 s | Se    | 0,166 g |
| $S_S$                  | 1,500   | $T_c$                                       | 0,456 s | Se    | 0,166 g |
| $C_c$                  | 1,583   | $T_D$                                       | 1,797 s | Se    | 0,042 g |
| $S_T$                  | 1,000   |                                             |         |       |         |

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV**

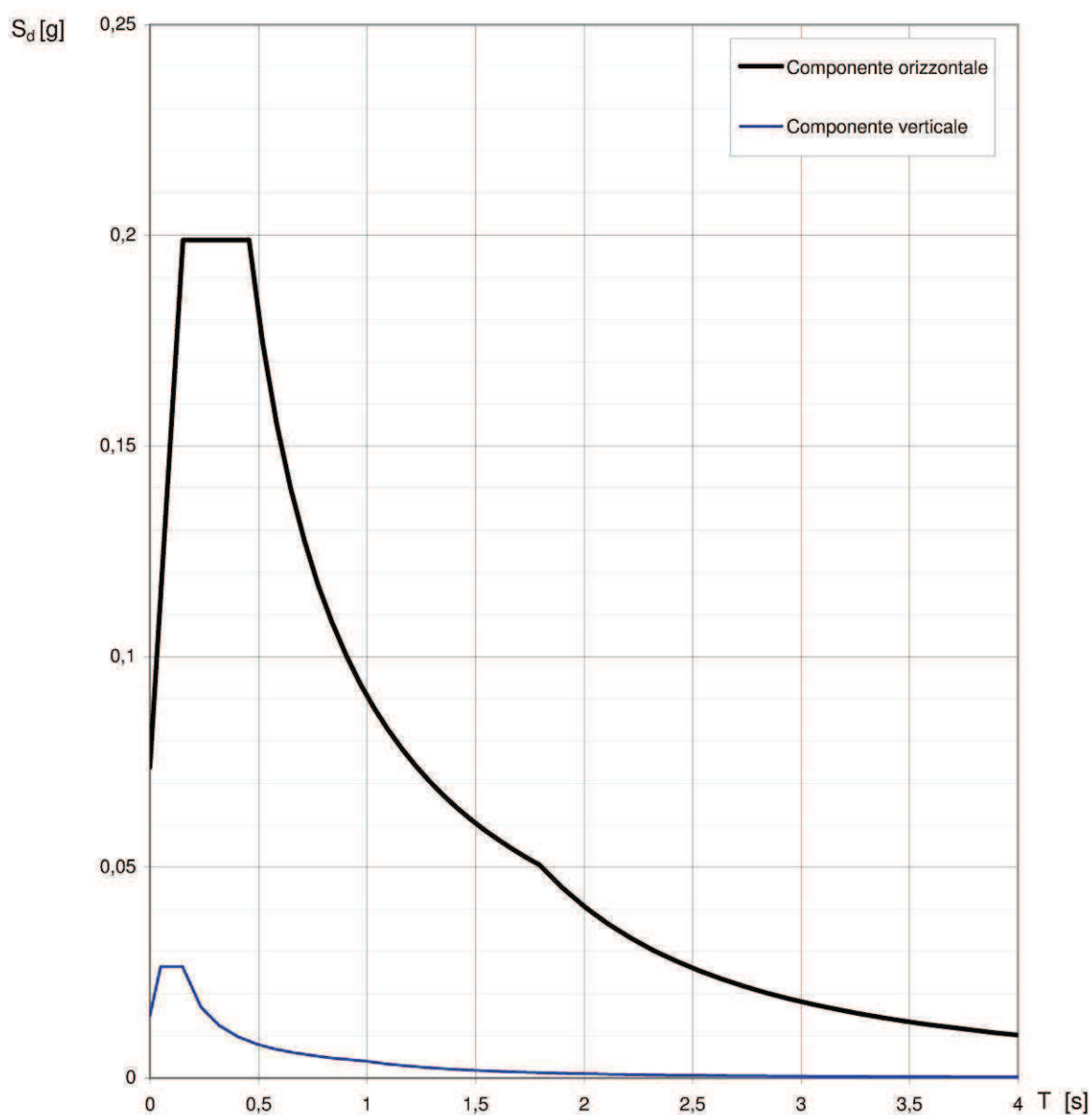


### 1.1 RISULTATI IN TERMINI DI SPETTRO DI PROGETTO

A titolo puramente indicativo si riportano qui anche i parametri per lo spettro di progetto della componente orizzontale, nei confronti dello SLV e **ipotizzando** un fattore di struttura pari a 1,5 (dato da confermare, non fornito dal progettista).

| Parametri indipendenti |         | Parametri dipendenti (spettro normalizzato) |         |       |         |
|------------------------|---------|---------------------------------------------|---------|-------|---------|
| $a_g$                  | 0,049 g | S (coeff. di fondazione)                    |         | 1,500 |         |
| $F_0$                  | 2,696   | $\eta$                                      |         | 1,000 |         |
| $T_C$                  | 0,288 s | $T_B$                                       | 0,152 s | Se    | 0,199 g |
| $S_S$                  | 1,500   | $T_C$                                       | 0,456 s | Se    | 0,199 g |
| $C_C$                  | 1,583   | $T_D$                                       | 1,797 s | Se    | 0,052 g |
| $S_T$                  | 1,000   |                                             |         |       |         |

#### Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



## 5 CALCOLO SPETTRO ELASTICO DI RISPOSTA (NTC2008 – APPROCCIO “RIGOROSO”)

La valutazione della risposta sismica locale mediante analisi monodimensionale (approccio “rigoroso”), permette di definire una **reale risposta sismica** stratigrafica di terreni non affetti da problematiche bidimensionali (sia sepolte, sia topografiche). Quest’approccio è ritenuto la via ufficiale dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008) e consente, in determinati contesti sismo stratigrafici e mediante il confronto con la relativa categoria di sottosuolo, elementi di risparmio rispetto all’approccio semplificato di normativa (categorie di sottosuolo), poiché identifica amplificazione per intervalli di periodi solitamente più limitati rispetto a quelli di normativa; inoltre l’approccio semplificato spesso sottostima di molto l’azione sismica di progetto.

Di seguito si procederà alla definizione dello spettro di risposta elastico secondo quest’approccio “rigoroso”, in quanto ci troviamo in un casso limite, dove, come ampiamente commentato al capitolo precedente, la situazione locale sismostratigrafica non rientra in nessuna delle 5 categorie di sottosuolo previste dalla norma (categoria S2).

Le NTC2008 al capitolo 3.2.3.1 indicano quali sono i parametri che il progettista deve considerare nell’analisi dell’azione sismica di progetto e cioè:

- Accelerazione massima attesa in superficie;
- Accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie
- Accelerogrammi

Il flusso di calcolo a seguire si compone pertanto dei seguenti passaggi dettagliati nei relativi paragrafi:

### 1. DEFINIZIONE DELL’INPUT SISMICO

- Determinazione dei parametri sismici (accelerazione attesa, tempi di ritorno, magnitudo, ...);
- Estrazione degli accelerogrammi naturali;
- Definizione del modello sismostratigrafico del sito (profilo Vs, densità...)
- Calcolo dello **spettro di risposta di input** (utile per il confronto con l’analogo dato finale);
- Trasformazione del moto di input dal dominio del tempo al dominio delle frequenze (spettro di Fourier).

### 2. ESECUZIONE DELL’ANALISI

- Modifica dello spettro di input nell’attraversare il profilo locale (metodo iterativo), sulla base del modello sismostratigrafico definito dall’indagine in sito;
- Definizione dello spettro di output relativo alla modifica di quello di input;
- Definizione dell’accelerogramma di output (anti trasformata di Fourier), tramite il quale il software andrà a calcolare il risultato voluto, ovvero lo **spettro di risposta di output**.

### 3. NORMALIZZAZIONE

- Per poter essere utilizzato dallo strutturista lo spettro elastico di risposta verrà normalizzato e verrà confrontato con quello già calcolato nell’approccio semplificato (spettro della categoria C);
- Infine, sempre a titolo puramente indicativo, si fornirà lo spettro di risposta di progetto.

## 5.1 DEFINIZIONE DELL'INPUT SISMICO

### 5.1.1 DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI SISMICI DI BASE

La determinazione dei parametri sismici di riferimento segue la medesima procedura di quanto già esposto nel capitolo precedente per l'approccio semplificato, di seguito ci limitiamo pertanto a riportarli.

- Coordinate geografiche decimali: lat. = 45,913439 long. = 9,267211
- Coefficiente d'uso : 1,5 (edificio in classe III)
- Vita Nominale (ipotizzata): 50 anni
- Stato limite considerato: SLV
- Categoria di sottosuolo **Categoria C**
- Categoria Topografica (da morfologia locale, rif. Tab. 3.2.IV NTC): Categoria T1 – pendii con  $\alpha < 15^\circ$

| STATO LIMITE | $T_R$<br>[anni] | $a_g$<br>[g] | $F_o$<br>[-] | $T_c^*$<br>[s] |
|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| SLO          | 45              | 0,020        | 2,593        | 0,165          |
| SLD          | 75              | 0,025        | 2,594        | 0,192          |
| <b>SLV</b>   | <b>712</b>      | <b>0,049</b> | <b>2,696</b> | <b>0,288</b>   |
| SLC          | 1462            | 0,059        | 2,755        | 0,306          |

### 5.1.2 DATI DI DISAGGREGAZIONE

La corretta stima dello spettro non può prescindere da una serie di conoscenze, quali la dimensione della faglia sismo genetica, le modalità del percorso dalla sorgente al sito e le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni attraversati.

Purtroppo attualmente poche delle suddette caratteristiche sono sufficientemente conosciute sebbene si siano notevolmente sviluppate nel corso degli ultimi anni le attività di monitoraggio sismico.

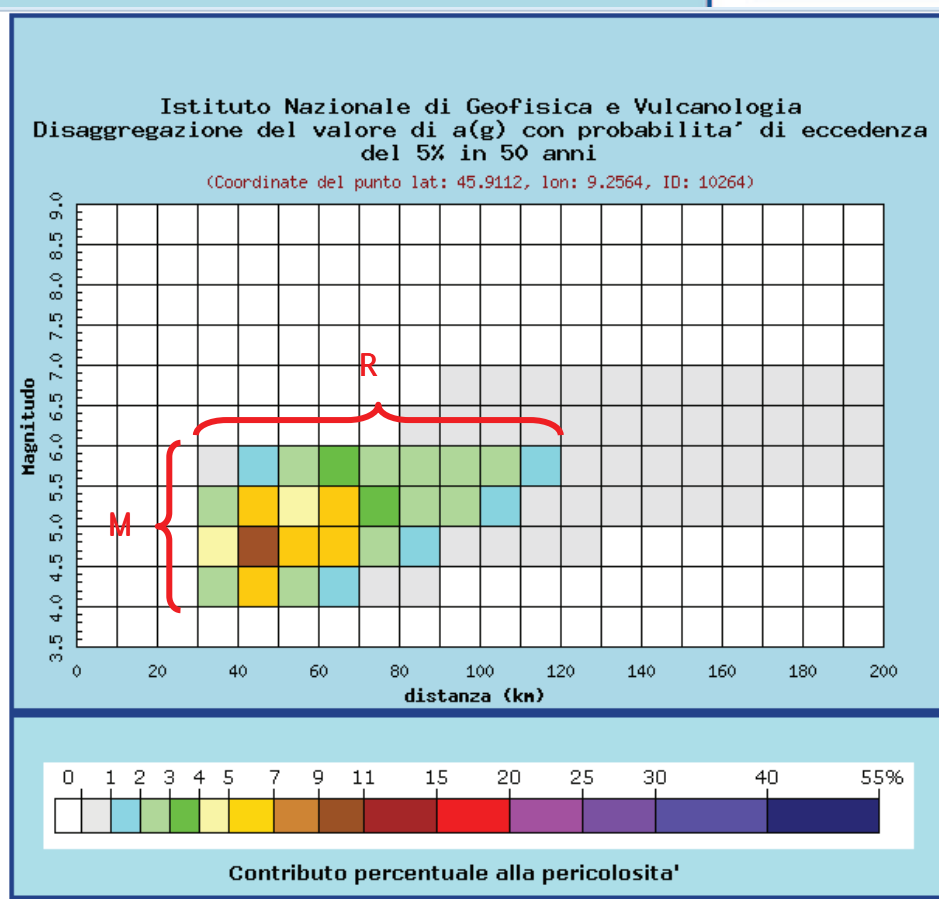
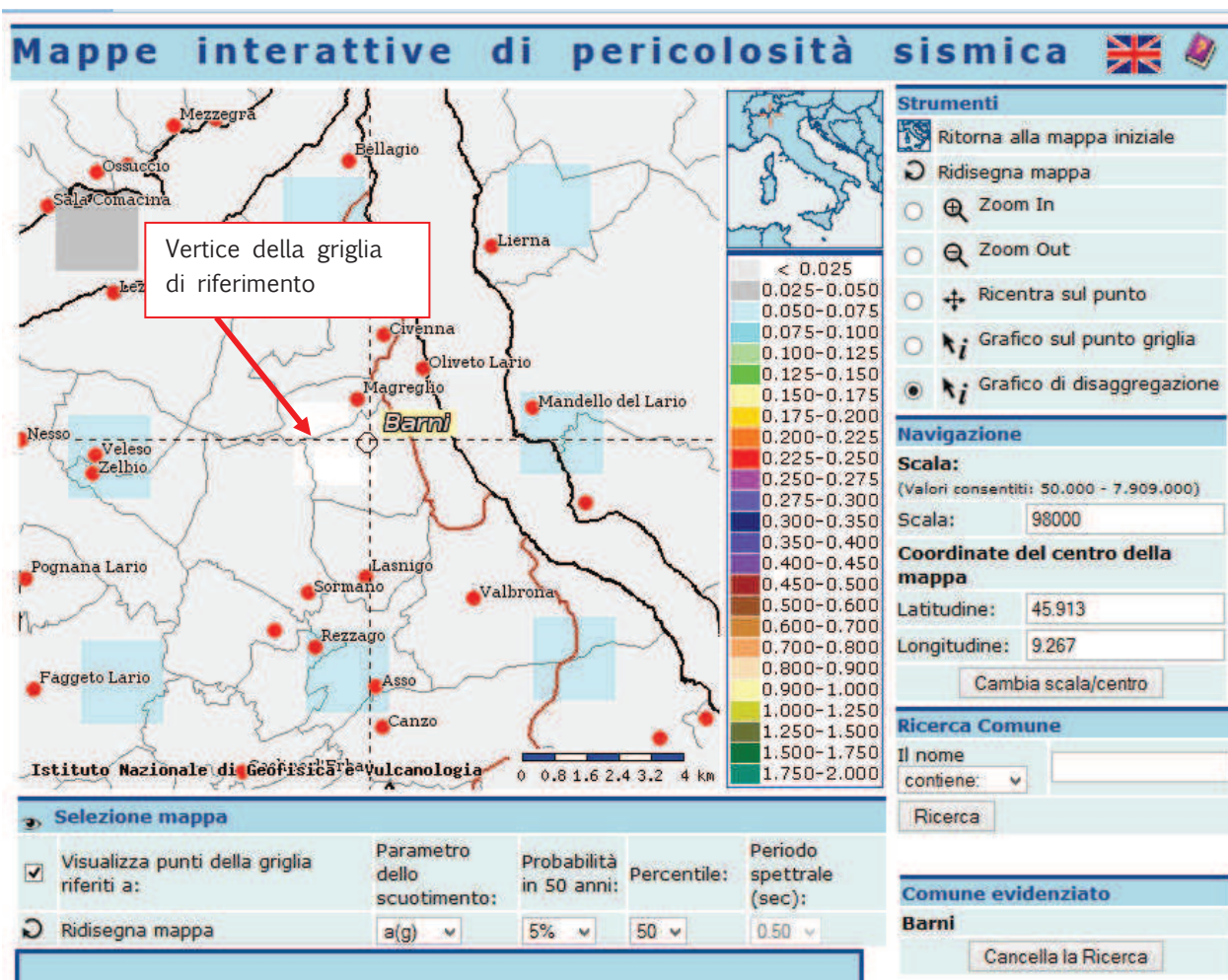
Infatti, grazie all'elevato numero di accelerometri posti sul territorio nazionale ed europeo, gran parte dei quali posti su terreno rigido (che ai sensi dei codici europei e nazionali deve avere  $V_s > 800$  m/s), ed alla recente emanazione di mappe hazard, è possibile ottenere alcune informazioni sismologiche derivanti dai processi di disaggregazione della pericolosità sismica. Ad esempio è possibile ottenere informazioni sul contributo alla pericolosità sismica di un sito della coppia Magnitudo - distanza epicentrale.

Per fare questo possiamo avvalerci delle mappe di pericolosità sismica consultabili sulla pagina del sito dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano, avendo cura di selezionare una probabilità di accadimento che sia cautelativamente la più vicina al nostro tempo di ritorno (che per lo SLV è pari a 712 anni).

Nel nostro caso scegliamo pertanto di utilizzare i dati relativi ad una distribuzione del parametro  $a_g$ , che abbia la probabilità di superamento del 5% in 50 anni, che corrisponde ad un tempo di ritorno<sup>2</sup> di 975 anni (compatibile con il nostro SLV).

Scegliamo quindi il vertice della griglia più vicino al sito in esame e accediamo ai dati di disaggregazione, ovvero le coppie magnitudo-distanza d'interesse per l'estrazione degli accelerogrammi naturali.

<sup>2</sup> Secondo le NTC2008, formula 1 dell'Allegato B:  $T_r = -V_r / \ln(1 - P_v)$



| Distanza in km | Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 5% in 50 anni<br>(Coordinate del punto lat: 45.9112, lon: 9.2564, ID: 10264) |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                | Magnitudo                                                                                                                                         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|                | 3.5-4.0                                                                                                                                           | 4.0-4.5 | 4.5-5.0 | 5.0-5.5 | 5.5-6.0 | 6.0-6.5 | 6.5-7.0 | 7.0-7.5 | 7.5-8.0 | 8.0-8.5 | 8.5-9.0 |
| 0-10           | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 10-20          | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 20-30          | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 30-40          | 0.000                                                                                                                                             | 2.710   | 4.710   | 2.280   | 0.707   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 40-50          | 0.000                                                                                                                                             | 5.360   | 10.300  | 5.690   | 1.960   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 50-60          | 0.000                                                                                                                                             | 2.880   | 6.750   | 4.760   | 2.080   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 60-70          | 0.000                                                                                                                                             | 1.450   | 5.040   | 5.150   | 3.050   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 70-80          | 0.000                                                                                                                                             | 0.422   | 2.870   | 3.870   | 2.590   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 80-90          | 0.000                                                                                                                                             | 0.033   | 1.330   | 2.790   | 2.170   | 0.035   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 90-100         | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.491   | 2.310   | 2.630   | 0.716   | 0.088   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 100-110        | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.115   | 1.430   | 2.140   | 0.870   | 0.119   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 110-120        | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.017   | 0.699   | 1.430   | 0.701   | 0.099   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 120-130        | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.000   | 0.311   | 0.933   | 0.527   | 0.079   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 130-140        | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.000   | 0.118   | 0.585   | 0.383   | 0.061   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 140-150        | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.000   | 0.037   | 0.364   | 0.304   | 0.052   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 150-160        | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.000   | 0.010   | 0.199   | 0.247   | 0.048   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 160-170        | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.000   | 0.002   | 0.133   | 0.196   | 0.041   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 170-180        | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.076   | 0.138   | 0.031   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 180-190        | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.040   | 0.093   | 0.023   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 190-200        | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.021   | 0.065   | 0.017   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |

| Valori medi |          |         |
|-------------|----------|---------|
| Magnitudo   | Distanza | Epsilon |
| 5.130       | 67.000   | 1.830   |

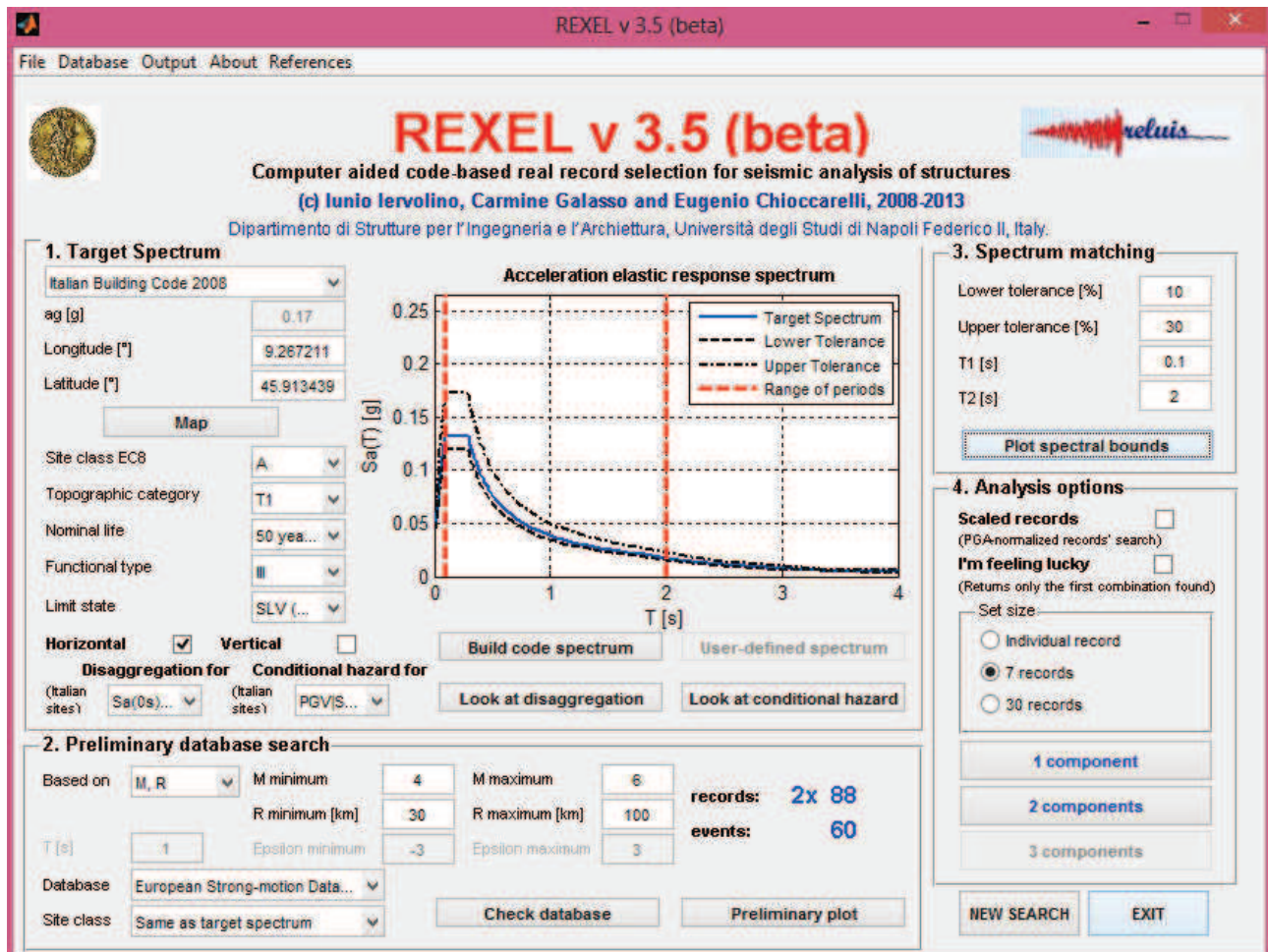
Analizzando i dati di disaggregazione disponibili scegliamo perciò (sempre secondo lo SLV) di applicare i seguenti dati di disaggregazione per la successiva estrazione degli accelerogrammi:

- Magnitudo (**M**) compresa fra **4** e **6**
- Distanza (**R**) compresa fra **30 km** e **120 km**

### 5.1.3 ESTRAZIONE ACCELEROGRAMMI DI INPUT

La conoscenza e stima dei parametri di cui al precedente paragrafo, consente l'estrazione di accelerogrammi **naturali** sismo-compatibili con le caratteristiche del sito in esame.

Esistono tre tipi di accelerogrammi, naturali, artificiali e sintetici. Pur portando gli accelerogrammi artificiali una maggior facilità d'analisi, le NTC2008 vietano<sup>3</sup> l'utilizzo di accelerogrammi artificiali pertanto nella trattazione a seguire ci occuperemo dell'estrazione di soli accelerogrammi naturali. Per avviare tale estrazione è stato utilizzato il software REXEL<sup>4</sup>, attingendo alla banca dati europea ESD<sup>5</sup>, inserendo le coordinate geografiche e i parametri sopra citati e inserendo le coppie magnitudo-distanza di cui sopra (si veda a titolo d'esempio la schermata d'input riportata sotto).



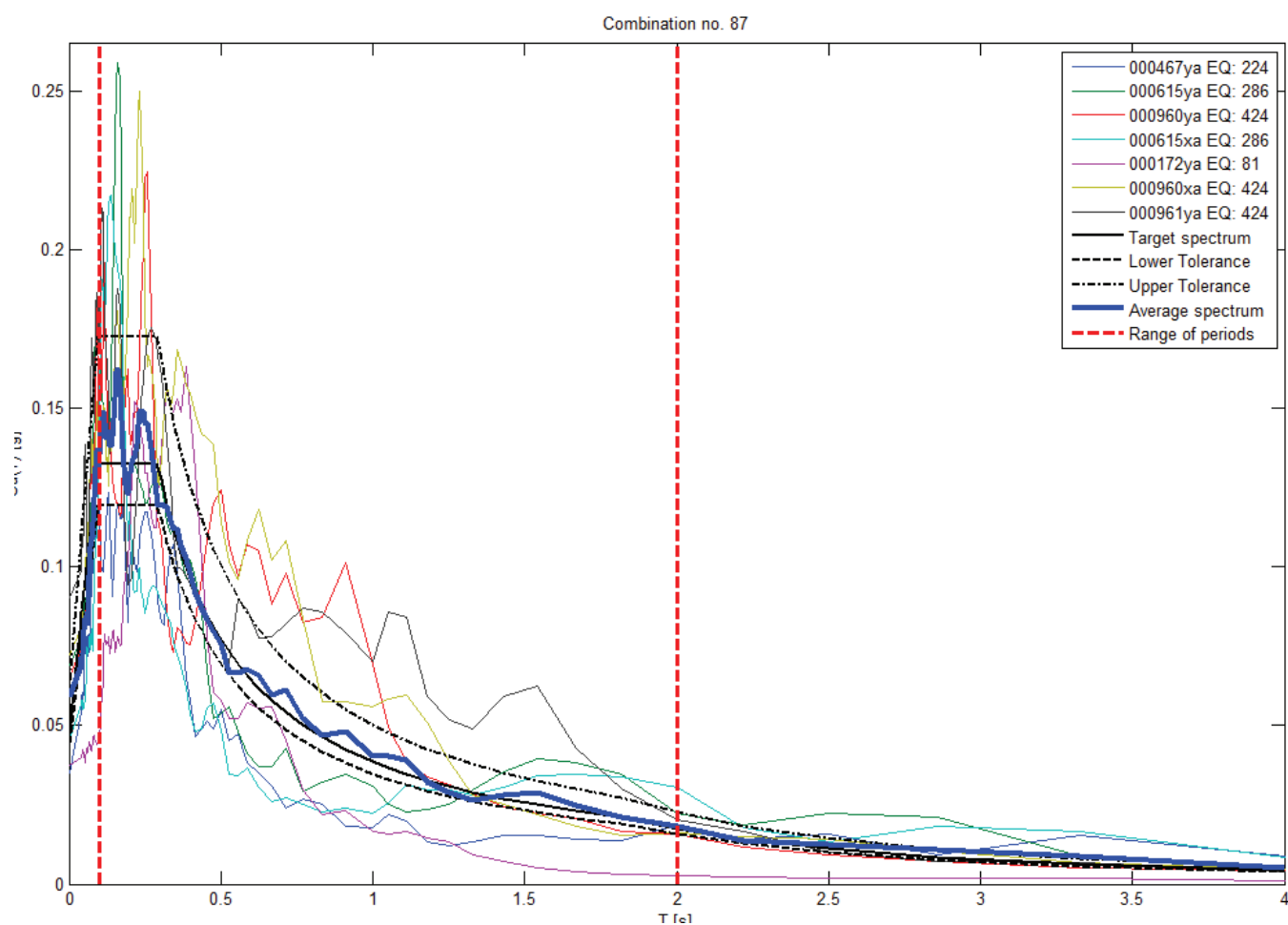
All'interno della banca dati, secondo le condizioni imposte al contorno, sono stati identificati 60 eventi sismici, combinati fra loro in diversi set, ognuno dei quali composto da 7 accelerogrammi. Fra le diverse combinazioni, ne è stata quindi scelta una che presentasse il miglior fit con lo spettro normativo del sito (secondo una tolleranza massima).

E' stata scelta quindi la combinazione (fra quelle estratte), che presentasse il minor scarto, sia medio, sia dei singoli accelerogrammi, rispetto allo spettro di riferimento; alla figura a seguire sono plottati spettro di riferimento e la combinazione dei 7 spettri scelti per l'analisi sismica.

<sup>3</sup> circ. Applicativa capitolo C7.11.3.1.2.

<sup>4</sup> REXEL v.3.5 (beta), Iervolino I., Galasso C., Cosenza E. (2009). REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. Bulletin of Earthquake Engineering, 8:339-362. DOI 10.1007/s10518-009-9146-1

<sup>5</sup> European Strong-motion Data, Ambraseys et.al, 2004



| Waveform ID | Earthquake ID | Station ID | Earthquake Name   | Date       |
|-------------|---------------|------------|-------------------|------------|
| 467         | 224           | ST181      | Chenoua           | 29/10/1989 |
| 615         | 286           | ST138      | Umbria Marche     | 26/09/1997 |
| 960         | 424           | ST296      | Sicilia-Orientale | 13/12/1990 |
| 615         | 286           | ST138      | Umbria Marche     | 26/09/1997 |
| 172         | 81            | ST48       | Basso Tirreno     | 15/04/1978 |
| 960         | 424           | ST296      | Sicilia-Orientale | 13/12/1990 |
| 961         | 424           | ST297      | Sicilia-Orientale | 13/12/1990 |

### 5.1.4 DEFINIZIONE DELLA SISMOSTRATIGRAFIA DI INPUT

Avendo definito l'input degli eventi sismici da sottoporre a simulazione, bisogna determinare le caratteristiche sismo stratigrafiche del volume di terreno d'indagine ed oggetto di probabile amplificazione.

Per fare questo basta riprendere tutto quanto già detto per l'indagine sismica eseguita (si veda primo capitolo), riprendendo la medesima stratigrafia sismica definita come profilo delle Vs e attribuendo ad ogni sismostrato, sulla base delle conoscenze litologiche e stratigrafiche dell'area e dei rilievi eseguiti, una natura litologica (alla quale poi associare determinate caratteristiche di risposta a sollecitazione) e un peso di volume.

Nella tabella seguente è riportata la stratigrafia sismica utilizzata per la simulazione, che riproduce la stratigrafia già utilizzata nei capitoli precedenti, per i moduli di taglio sono stati utilizzati i valori suggeriti dagli autori<sup>6</sup>.

|         | Layer Number | Soil Material Type | Thickness of layer (m) | Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa) | Initial critical damping ratio (%) | Total unit weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Shear wave velocity (m/sec) | Location and type of earthquake input motion | Depth at middle of layer (m) | Vertical effective stress (kPa) |
|---------|--------------|--------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Surface | 1            | 1                  | 0,7                    | 35,96                                 |                                    | 18,00                                  | 140                         |                                              | 0,3                          | 6,30                            |
|         | 2            | 2                  | 0,5                    | 46,97                                 |                                    | 18,00                                  | 160                         |                                              | 0,9                          | 17,10                           |
|         | 3            | 2                  | 0,8                    | 46,97                                 |                                    | 18,00                                  | 160                         |                                              | 1,6                          | 28,80                           |
|         | 4            | 2                  | 1,0                    | 258,29                                |                                    | 19,66                                  | 359                         |                                              | 2,5                          | 45,83                           |
|         | 5            | 2                  | 2,2                    | 258,29                                |                                    | 19,66                                  | 359                         |                                              | 4,1                          | 77,29                           |
|         | 6            | 2                  | 2,0                    | 258,29                                |                                    | 19,66                                  | 359                         |                                              | 6,2                          | 118,57                          |
|         | 7            | 2                  | 1,0                    | 361,99                                |                                    | 19,66                                  | 425                         |                                              | 7,7                          | 148,06                          |
|         | 8            | 2                  | 1,1                    | 361,99                                |                                    | 19,66                                  | 425                         |                                              | 8,8                          | 168,71                          |
|         | 9            | 2                  | 1,2                    | 376,47                                |                                    | 20,45                                  | 425                         |                                              | 9,9                          | 191,79                          |
|         | 10           | 2                  | 1,0                    | 381,81                                |                                    | 20,45                                  | 428                         |                                              | 11,0                         | 214,28                          |
|         | 11           | 2                  | 1,0                    | 381,81                                |                                    | 20,45                                  | 428                         |                                              | 12,0                         | 234,73                          |
|         | 12           | 2                  | 1,0                    | 801,19                                |                                    | 20,45                                  | 620                         |                                              | 13,0                         | 255,17                          |
|         | 13           | 2                  | 2,0                    | 801,19                                |                                    | 20,45                                  | 620                         |                                              | 14,5                         | 285,84                          |
|         | 14           | 2                  | 2,0                    | 801,19                                |                                    | 20,45                                  | 620                         |                                              | 16,5                         | 326,74                          |
|         | 15           | 2                  | 5,0                    | 801,19                                |                                    | 20,45                                  | 620                         |                                              | 20,0                         | 398,30                          |
|         | 16           | 3                  | 2,0                    | 801,19                                |                                    | 20,45                                  | 620                         |                                              | 23,5                         | 469,86                          |
| Bedrock | 17           | 0                  |                        | 3336,48                               | 1                                  | 22,02                                  | 888                         | Outcrop                                      | 24,5                         | 490,31                          |

### 5.1.5 TRASFORMAZIONE DELLO SPETTRO DI INPUT

Per ciascuno dei 7 eventi sismici sopra definiti è stata eseguita un'elaborazione, normalizzandoli e passando dal dominio del tempo a quello delle frequenze, attraverso la trasformata di Fourier, preparandoli alla successiva elaborazione, ovvero al passaggio attraverso il profilo sismico misurato in sito.

<sup>6</sup> Seed and Sun, 1989; Idriss 1990

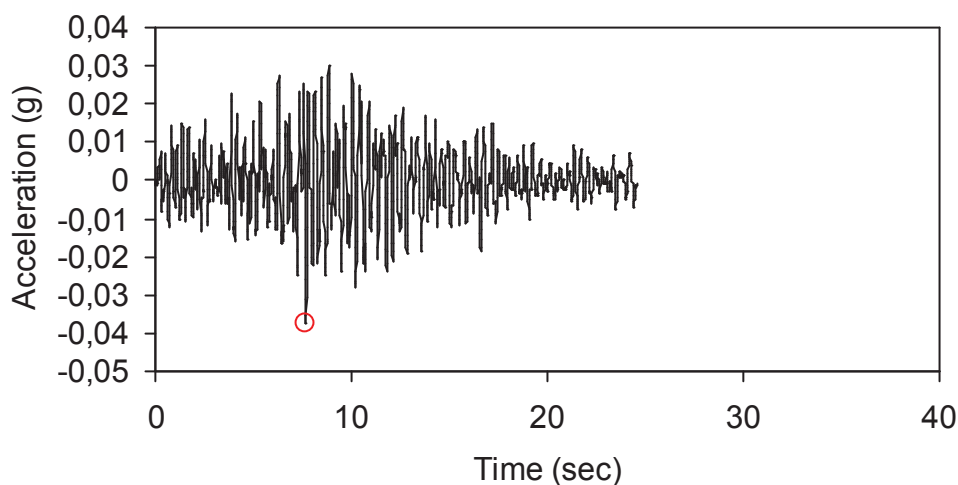
## 5.2 ESECUZIONE DELL'ANALISI

Per l'elaborazione dell'input sopra definito e per ottenere infine come risultato uno spettro di risposta al sito, è stato utilizzato il codice di calcolo **EERA**<sup>7</sup> che consente l'inserimento delle serie temporali dei terremoti naturali (nel nostro caso i 7 eventi di riferimento) e del profilo sismostratigrafico, restituendo lo **spettro di risposta di output** (il risultato finale di riferimento, ovviamente, è ottenuto operando la media dei 7 output).

A titolo d'esempio di seguito mostriamo l'elaborazione per il primo evento sismico considerato (n.172).

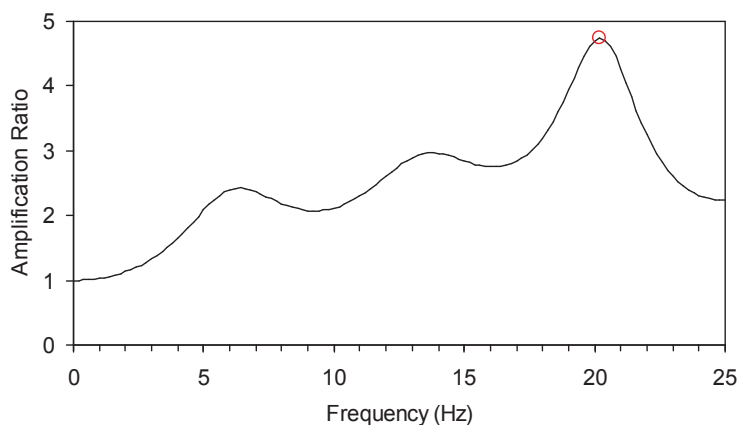
### ▪ Accelerogrammi

Il foglio di calcolo plotta i dati tabellari delle serie temporali in termini di accelerazione, velocità e spostamento (l'esempio riportato sotto è quello relativo alla serie temporale dell'evento n. 172).



### ▪ Funzione di trasferimento al sito

Anche se non richiesto ai fini progettuali è possibile ottenere anche la funzione di trasferimento al sito; questa funzione è molto utile per visualizzare graficamente “quanto” la stratigrafia sismica del sito “trasforma” il segnale in ingresso, poiché determina i livelli di amplificazione nel dominio delle frequenze. Di seguito si riporta, sempre a titolo d'esempio, quello relativo al primo input (n.172).

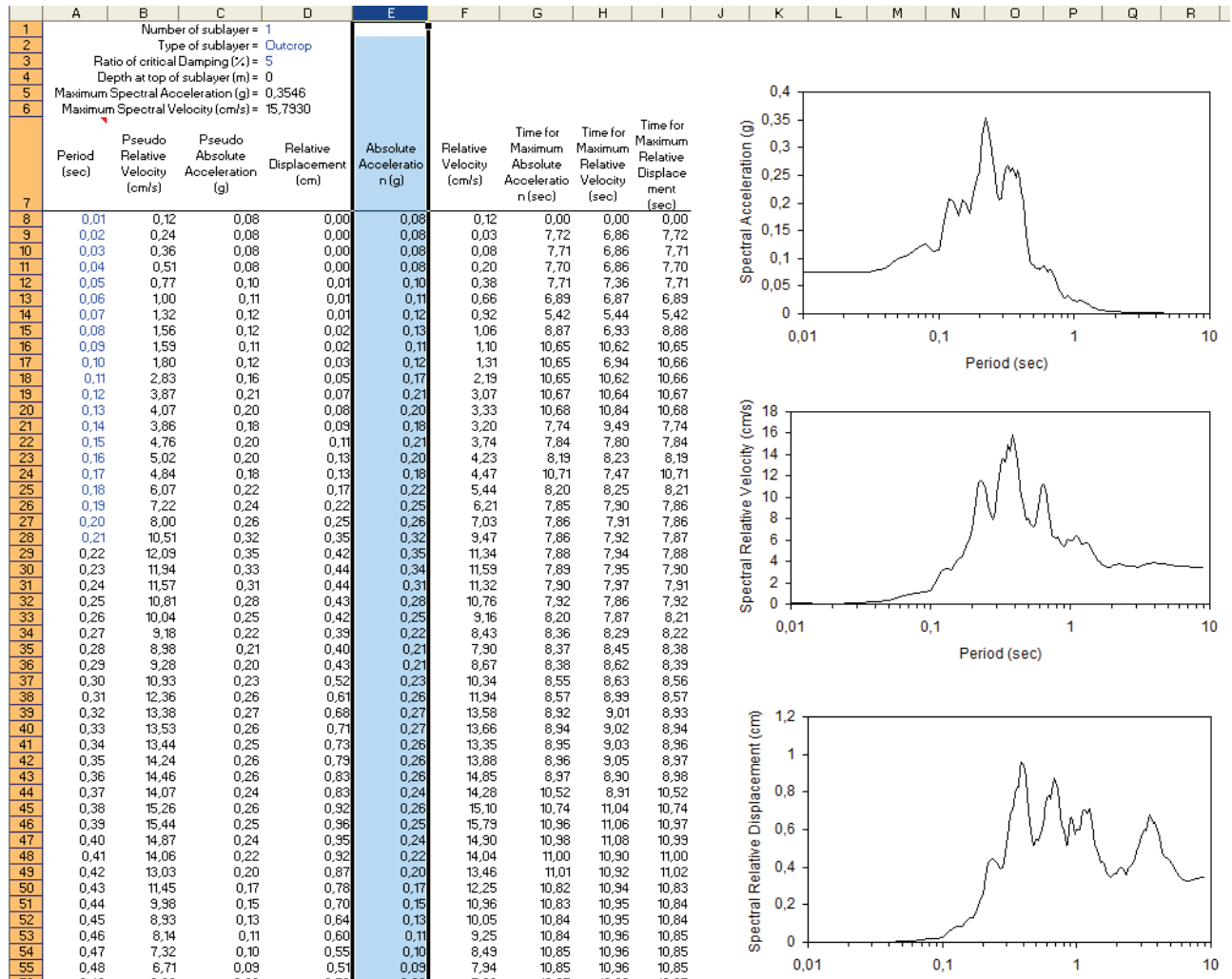


Maximum amplification = 4,738  
Frequency of maximum  
amplification (Hz) = 20,200

<sup>7</sup> “Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis”, J.P. Bardet, 2000

### ▪ Spettro di risposta elastica

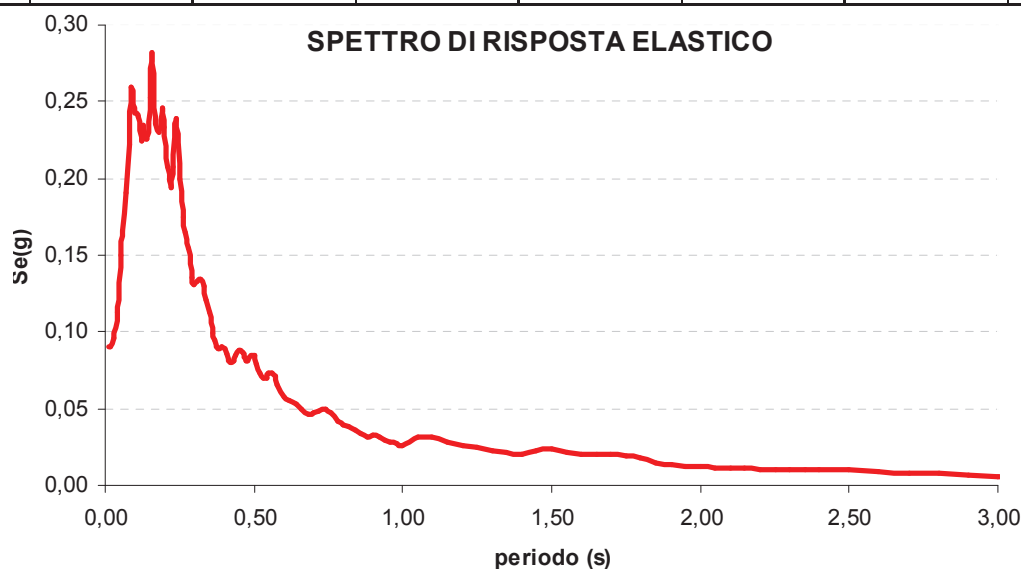
Attraverso il calcolo iterativo, lo spettro di input è “filtrato” dal profilo sismico registrato in sito; al termine dell’operazione otteniamo lo spettro di risposta elastico (colonna evidenziata nell’esempio sotto riportato).



### 5.3 RISULTATO DELL'ANALISI (SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO)

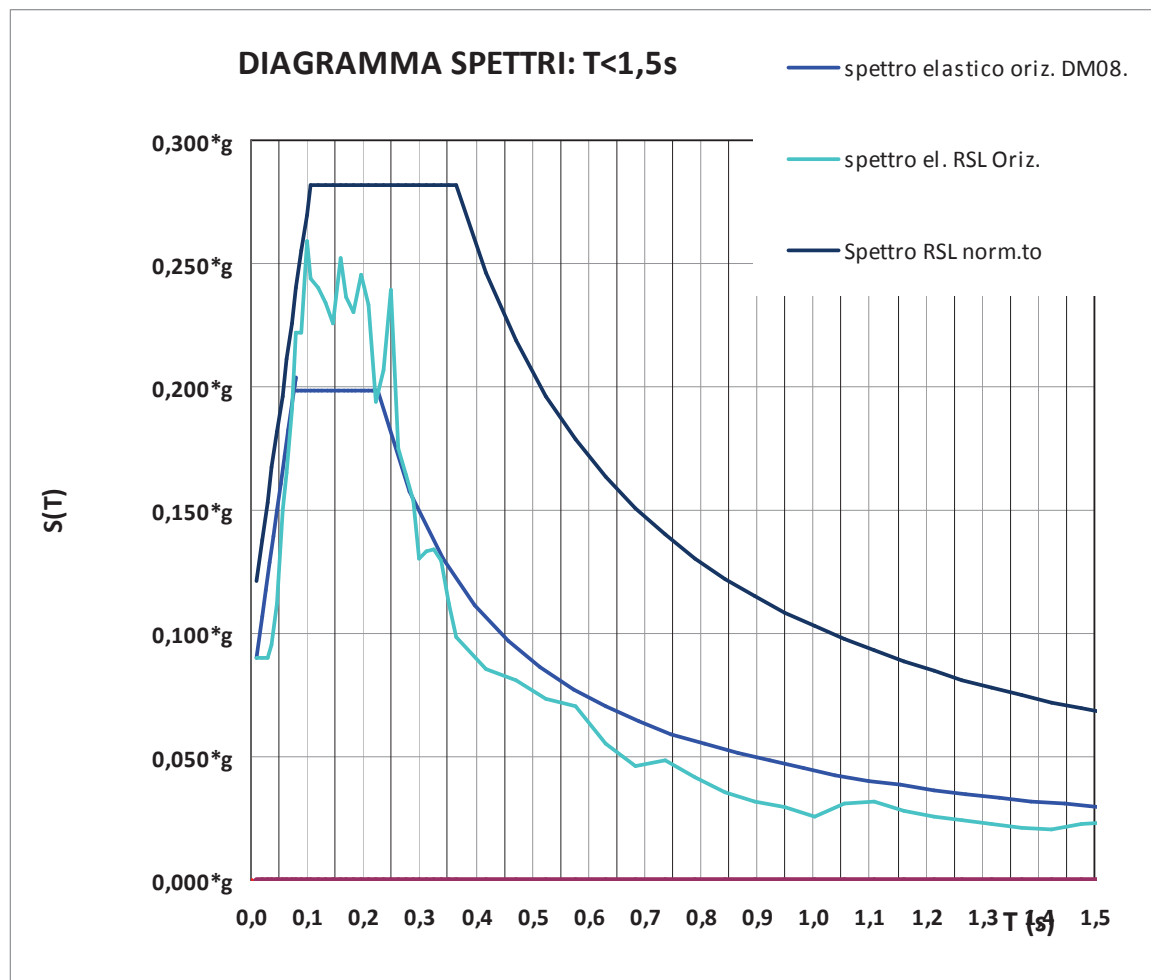
Operando, come già anticipato sopra, la media fra i 7 output ottenuti, è possibile definire lo spettro d'interesse ai fini della presente trattazione, ovvero lo **Spettro di Risposta Elastico**, sotto riportato in forma grafica e tabellare.

| Period (s) | Se (g) | Period (s) | Se (g) | Period (s) | Se (g) | Period (s) | Se (g) |
|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| 0,01       | 0,09   | 0,33       | 0,13   | 0,72       | 0,05   | 1,90       | 0,01   |
| 0,02       | 0,09   | 0,34       | 0,12   | 0,74       | 0,05   | 1,95       | 0,01   |
| 0,03       | 0,10   | 0,35       | 0,11   | 0,76       | 0,05   | 2,00       | 0,01   |
| 0,04       | 0,11   | 0,36       | 0,10   | 0,78       | 0,04   | 2,05       | 0,01   |
| 0,05       | 0,15   | 0,37       | 0,10   | 0,80       | 0,04   | 2,10       | 0,01   |
| 0,06       | 0,17   | 0,38       | 0,09   | 0,82       | 0,04   | 2,15       | 0,01   |
| 0,07       | 0,19   | 0,39       | 0,09   | 0,84       | 0,04   | 2,20       | 0,01   |
| 0,08       | 0,22   | 0,40       | 0,09   | 0,86       | 0,03   | 2,25       | 0,01   |
| 0,09       | 0,26   | 0,41       | 0,09   | 0,88       | 0,03   | 2,30       | 0,01   |
| 0,10       | 0,24   | 0,42       | 0,08   | 0,90       | 0,03   | 2,35       | 0,01   |
| 0,11       | 0,24   | 0,43       | 0,08   | 0,92       | 0,03   | 2,40       | 0,01   |
| 0,12       | 0,22   | 0,44       | 0,08   | 0,94       | 0,03   | 2,50       | 0,01   |
| 0,13       | 0,23   | 0,45       | 0,09   | 0,96       | 0,03   | 2,60       | 0,01   |
| 0,14       | 0,23   | 0,46       | 0,09   | 0,98       | 0,03   | 2,70       | 0,01   |
| 0,15       | 0,25   | 0,47       | 0,08   | 1,00       | 0,03   | 2,80       | 0,01   |
| 0,16       | 0,28   | 0,48       | 0,08   | 1,05       | 0,03   | 2,90       | 0,01   |
| 0,17       | 0,24   | 0,49       | 0,08   | 1,10       | 0,03   | 3,00       | 0,01   |
| 0,18       | 0,23   | 0,50       | 0,08   | 1,15       | 0,03   | 3,10       | 0,01   |
| 0,19       | 0,25   | 0,51       | 0,08   | 1,20       | 0,03   | 3,20       | 0,01   |
| 0,20       | 0,23   | 0,52       | 0,07   | 1,25       | 0,02   | 3,30       | 0,00   |
| 0,21       | 0,21   | 0,53       | 0,07   | 1,30       | 0,02   | 3,40       | 0,00   |
| 0,22       | 0,19   | 0,54       | 0,07   | 1,35       | 0,02   | 3,50       | 0,00   |
| 0,23       | 0,21   | 0,55       | 0,07   | 1,40       | 0,02   | 3,60       | 0,00   |
| 0,24       | 0,24   | 0,56       | 0,07   | 1,45       | 0,02   | 3,70       | 0,00   |
| 0,25       | 0,20   | 0,57       | 0,07   | 1,50       | 0,02   | 3,80       | 0,00   |
| 0,26       | 0,17   | 0,58       | 0,07   | 1,55       | 0,02   | 3,90       | 0,00   |
| 0,27       | 0,16   | 0,60       | 0,06   | 1,60       | 0,02   | 4,00       | 0,00   |
| 0,28       | 0,15   | 0,62       | 0,05   | 1,65       | 0,02   | 4,10       | 0,00   |
| 0,29       | 0,14   | 0,64       | 0,05   | 1,70       | 0,02   | 4,20       | 0,00   |
| 0,30       | 0,13   | 0,66       | 0,05   | 1,75       | 0,02   | 4,30       | 0,00   |
| 0,31       | 0,13   | 0,68       | 0,05   | 1,80       | 0,02   | 4,40       | 0,00   |
| 0,32       | 0,13   | 0,70       | 0,05   | 1,85       | 0,02   | 4,50       | 0,00   |



### 5.3.1 SPETTRO NORMALIZZATO E SPETTRO DI PROGETTO

Può essere necessario per lo strutturista avere il dato di output dello spettro elastico in forma normalizzata (per intendersi di forma simile a quella degli spettri secondo approccio semplificato), questo tipo di spettro si ottiene riportando i parametri indipendenti e calcolando i dipendenti<sup>8</sup>. Per eseguire la normalizzazione dello spettro appena esaminato è stato utilizzato un opportuno foglio di calcolo<sup>9</sup> attraverso i passaggi matematici del caso, ottenendo il seguente risultato.



Nel grafico sopra riportato è stato inoltre plottato (con la linea blu), lo spettro normativo della categoria del suolo C; risulta quindi subito evidente quanto l'approccio semplificato fornisca un risultato piuttosto sottostimato rispetto alla risposta sismica locale.

In sintesi si riportano i parametri per lo spettro elastico della componente orizzontale, nei confronti dello SLV e ipotizzando uno smorzamento del 5%:

| Parametri indipendenti |         | Parametri dipendenti (spettro normalizzato) |         |       |         |
|------------------------|---------|---------------------------------------------|---------|-------|---------|
| $a_g$                  | 0,049 g | S (coeff. di fondazione)                    |         | 1,500 |         |
| $F_0$                  | 2,696   | $\eta$                                      |         | 1,000 |         |
| $T_C$                  | 0,100 s | $T_B$                                       | 0,075 s | Se    | 0,282 g |
| $S_S$                  | 1,500   | $T_C$                                       | 0,224 s | Se    | 0,282 g |
| $C_C$                  | 1,583   | $T_D$                                       | 1,796 s | Se    | 0,054 g |
| $S_T$                  | 1,000   |                                             |         |       |         |

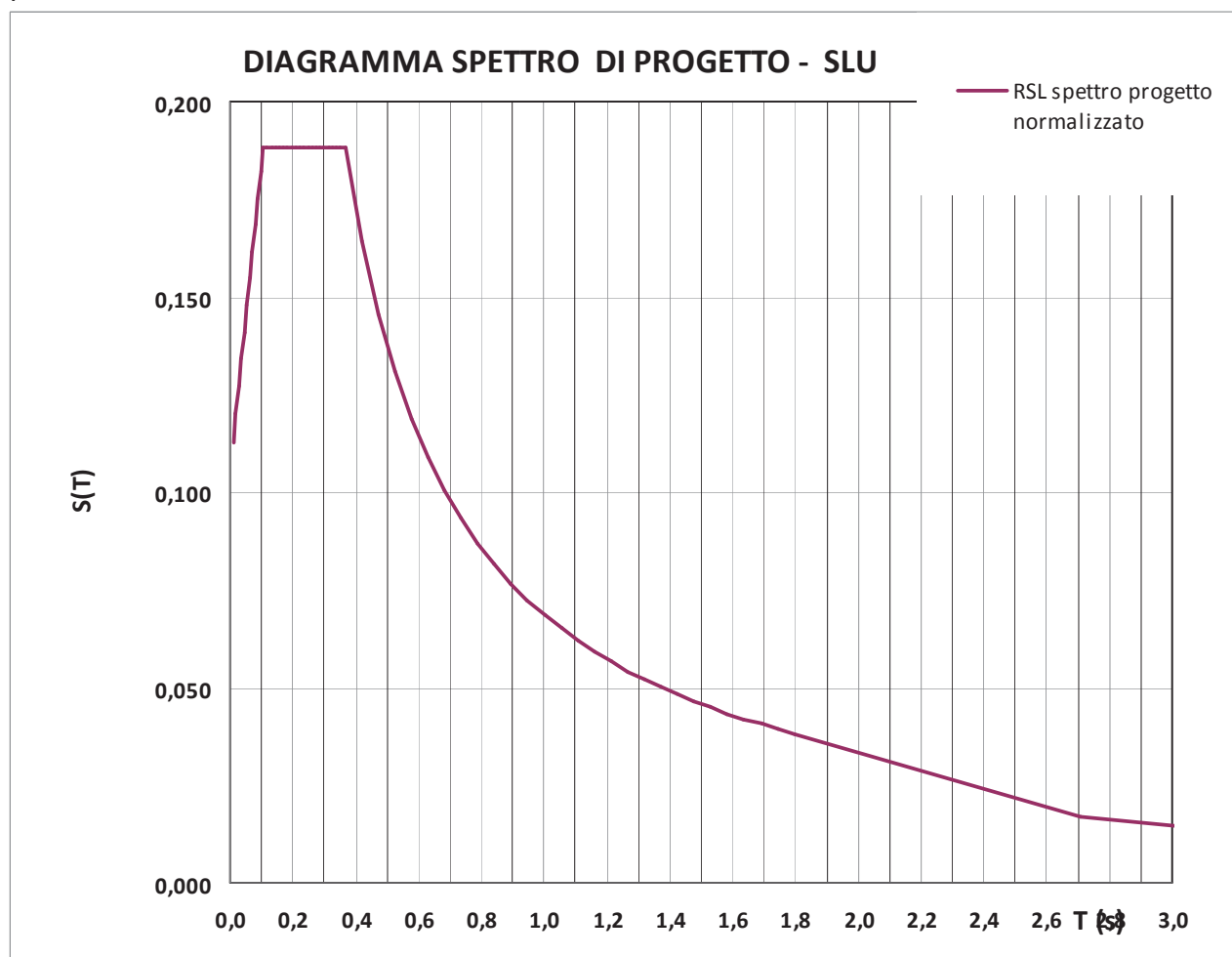
<sup>8</sup> Formule riportate al cap. 3.2.3.2.1 delle NTC2008

<sup>9</sup> Foglio di calcolo rilasciato da Studio di Ingegneria Strutturale Ing. Gino di Ruzza

La normativa prevede<sup>10</sup>, qualora si ricorra a verifica strutturale basata non sull'uso di opportuni accelerogrammi e analisi dinamiche al passo, l'utilizzo per lo SLU di uno spettro di progetto, il quale, comunque è di **competenza dello strutturista**.

In questo caso il fattore  $\eta$  può essere calcolato<sup>11</sup> in funzione del **fattore di struttura  $q$**  previsto per Stato Limite considerato, ovvero sostituendo il parametro  $\eta$  con  $1/q$ .

Come già detto in precedenza non sono noti allo scrivente nessun dato strutturale, si fornisce quest'ultimo spettro, perciò, solo a titolo puramente indicativo, ipotizzando un fattore di struttura  $q=1,5$ .



| Parametri indipendenti |         | Parametri dipendenti (spettro normalizzato) |        |       |         |
|------------------------|---------|---------------------------------------------|--------|-------|---------|
| $a_g$                  | 0,049 g | S (coeff. di fondazione)                    |        | 1,500 |         |
| $F_0$                  | 2,696   | $\eta$                                      |        | 1,000 |         |
| $T_C$                  | 0,100 s | $T_B$                                       | 0,11 s | Se    | 0,188 g |
| $S_s$                  | 1,500   | $T_C$                                       | 0,37 s | Se    | 0,188 g |
| $C_C$                  | 1,583   | $T_D$                                       | 1,8 s  | Se    | 0,038 g |
| $S_T$                  | 1,000   |                                             |        |       |         |

Per le verifiche agli SLE lo spettro di progetto corrisponde, invece, a quello di risposta elastico precedentemente definito (fattore di smorzamento convenzionale al 5%).

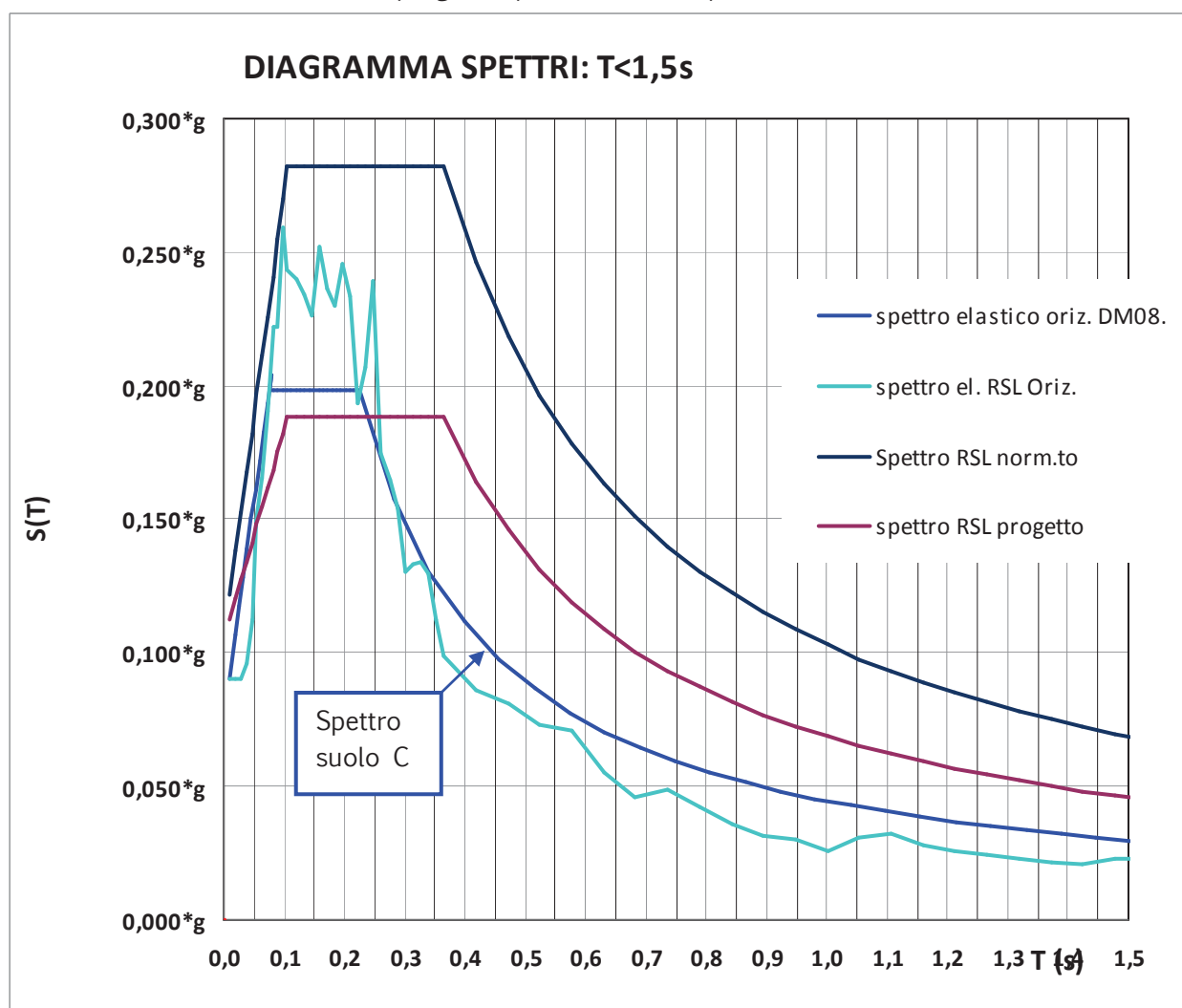
<sup>10</sup> NTC2008 Cap. 3.2.3.5

<sup>11</sup> NTC2008 - Circ. applicativa n. 617/2009

## 6 CONCLUSIONI E COMMENTI AL FLUSSO DI CALCOLO

Nella presente trattazione è stato seguito il seguente flusso di lavoro e calcolo:

1. indagine in sito per la misura e valutazione diretta del profilo sismico locale;
2. definizione del suolo sismico fuori categoria (S2), analisi passiva (H/V), l'assenza di picchi alle frequenze significative fa pensare ad una possibile approssimazione ad una categoria B?;
3. approfondimento di pericolosità sismica locale di secondo livello (secondo procedure regionali), valutazione del Fattore di Amplificazione locale che risulta compatibile e confrontabile con una categoria sismica di suolo di tipo C piuttosto che di tipo B;
4. restituzione dello **spettro di risposta (RSL)** per la categoria di suolo C (e di progetto ipotizzando un  $q=1,5$ );
5. analisi di risposta sismica locale secondo NTC2008 (approccio "rigoroso"), con estrazione di accelerogrammi naturali (set di 7 eventi sismici) e filtraggio degli stessi attraverso l'amplificazione dovuta alla sismo stratigrafia del sito, restituzione dello **spettro di risposta (RSL)** reale del sito (e di progetto ipotizzando un  $q=1,5$ );



Nello schema sopra riportato sono plottati a confronto i vari risultati dell'analisi spettrale condotta. Per semplicità d'esposizione, dati i numerosi passaggi trattati è stata valutata l'azione sismica peggiore (SLV componente orizzontale), eventuali altre elaborazioni potranno essere condotte su indicazioni specifiche del progettista.

Risulta evidente come lo spettro normativo scelto, ovvero quello di una categoria di suolo di tipo C, sottostima molto l'effettiva risposta sismica locale in termini di amplificazione litologica.

Dal punto di vista della futura progettazione sarà pertanto possibile operare delle scelte strutturali che tengano conto **almeno** dello spettro normativo per un suolo di tipo **C**, o meglio dello spettro RSL locale calcolato con l'approccio più rigoroso (scelta di maggior cautela).

Ferma restando la possibilità del progettista in merito alla scelta delle azioni sismiche cui fare riferimento, si tenga conto in ogni caso che l'analisi sismica si completa inserendovi anche le caratteristiche strutturali, come il fattore di struttura, e permette valutazioni significative anche e soprattutto in relazione al periodo della struttura (dati non noti allo scrivente).

Resta inoltre da chiarire l'aspetto riguardante le strutture fondazionali, in quanto tutti i calcoli sono stati eseguiti da piano campagna; il riportare la superficie sismica superiore a piano fondazione, potrebbe portare a risultati differenti.

Si consideri infine che in ogni caso la scelta di applicare uno spettro normativo di suolo C, rimane comunque un'approssimazione delle reali condizioni locali, in quanto occorre tener presente che lo spessore della copertura è inferiore ai 30 m, e che questo spessore tende inoltre a ridursi ulteriormente spostandosi verso ovest.

Ulteriori approfondimenti possono essere eseguiti una volta noti i parametri strutturali e i dettagli progettuali.

Si rimane a disposizione per chiarimenti e/o integrazioni

A cura di Massimo Riva Geologo



Con la collaborazione di Andrea Vernej Geologo

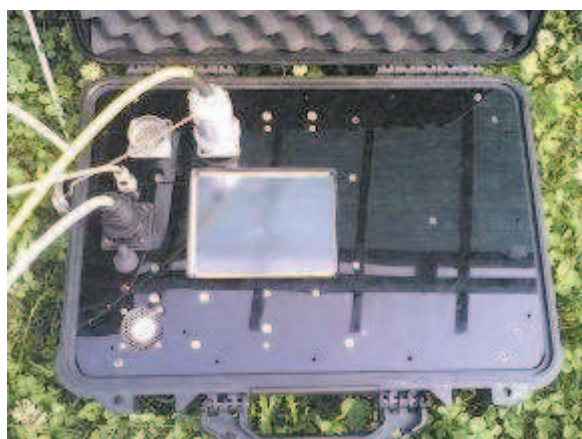
## **Bibliografia essenziale**

- D.M. 14 gennaio 2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) e circolari applicative
- “Dissemination of European strongmotion data”, Ambraseys N., Smit P., Berardi R., Rinaldis D., Cotton F., Berge C. – 2000
- C.S.LL.PP. 02.02.2009 n.617 – istruzioni per l’applicazione delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” d.m. 14 gennaio 2008
- “Risposta Sismica Locale”, Lanzo g. e Silvestri F - 1999
- D.G.R. Regione Lombardia 30 novembre 2011 n. IX/2616 – Allegato 5
- Geostru PS – applicativo on-line per il calcolo dei parametri sismici - <http://www.geostru.com/geoapp/parametri-sismici.aspx>
- Spettri-NTCver.1.0.3 – foglio di calcolo rilasciato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - <http://www.cslp.it>
- “Esercitazione pratica per l’utilizzo di codici di calcolo monodimensionali ai fini della valutazione dell’azione sismica di progetto” – Dott. Vittorio D’Intinosante, giugno 2012
- Mappe di pericolosità sismica interattive e grafici di disaggregazione, applicativi on line dell’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>
- Codice di calcolo “REXEL v.3.5 beta”, Iervolino I., Galasso C., Cosenza E. (2009). REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. Bulletin of Earthquake Engineering, 8:339-362. DOI 10.1007/s10518-009-9146-1 - [http://www.reluis.it/index.php?option=com\\_content&view=article&id=118&Itemid=105&lang=it](http://www.reluis.it/index.php?option=com_content&view=article&id=118&Itemid=105&lang=it)
- Codice di calcolo “EERA” “Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis”, J.P. Bardet, 2000 - <http://geoinfo.usc.edu/gees> - <https://sites.google.com/site/tt60898/home/software>
- Foglio di calcolo “normalizzazione.xls” rilasciato da Studio di Ingegneria Strutturale Ing. Gino Di Ruzza – Progettazioni e Indagini Strutturali - [www.ginodiruzza.it](http://www.ginodiruzza.it)

## Allegato 1 – metodo MASW e HVSr

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.



L'intero processo comprende tre passi successivi: L'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$ .

Per ottenere un profilo  $V_s$  bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati. Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale  $V_s$  dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh, vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane.

Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni).

Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

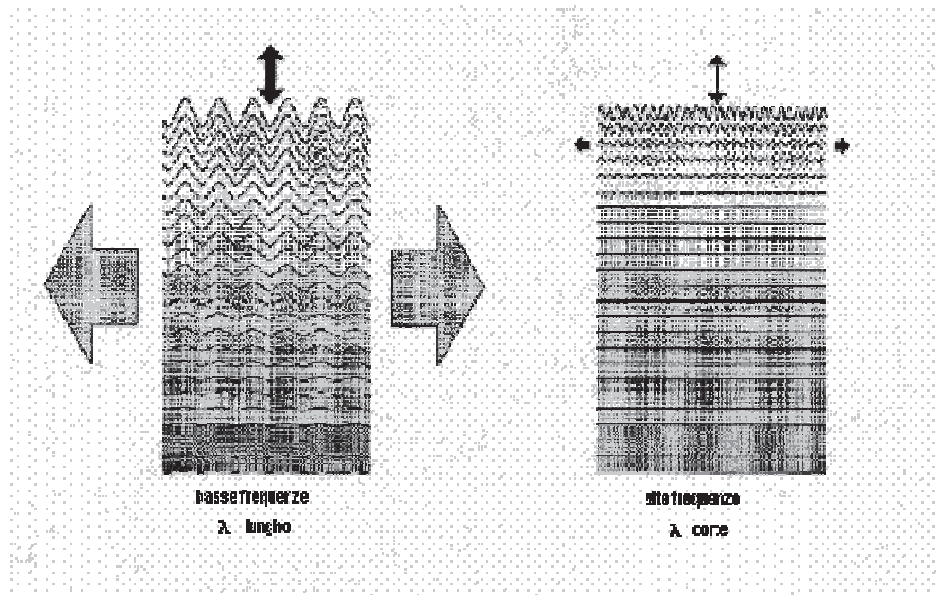


Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno. La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza dipendentemente dalla distanza dalla sorgente.

La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione.

La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale. Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza. La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili ( $x$ ;  $y$ ), il cui legame costituisce la curva di dispersione. E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N. Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo  $V_s$  di inversione.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Però alcune regole operative per MASW sono incompatibili con l'ottimizzazione della riflessione. Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione. MASW può essere efficace con anche solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni singoli a bassa frequenza (<10Hz).



L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S ( $V_s$ ) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

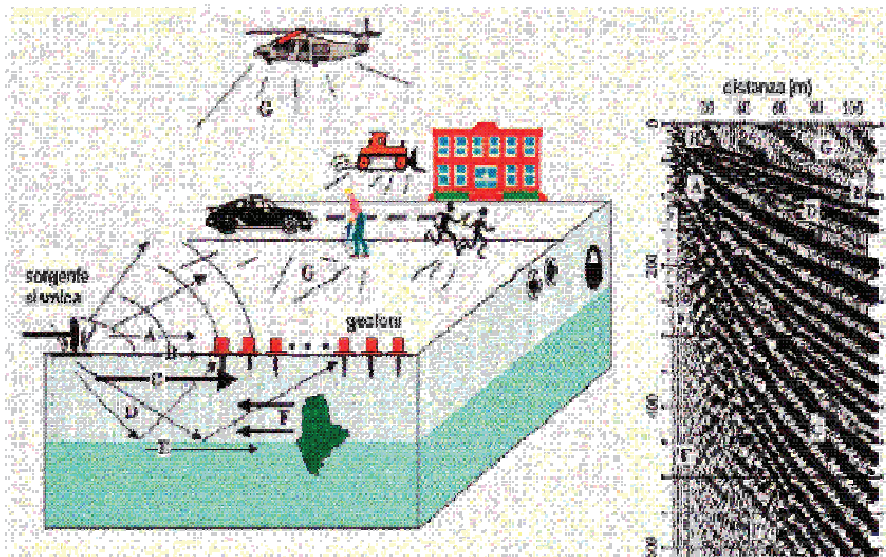
#### STRUMENTAZIONE

un sismografo EEG BR24

24 geofoni a 4.5Hz

mazza da 10 Kg o fucile sismico

#### VANTAGGI DELLA REGISTRAZIONE MULTICANALE



A: onde in aria

B: onde dirette

C: onde di superficie

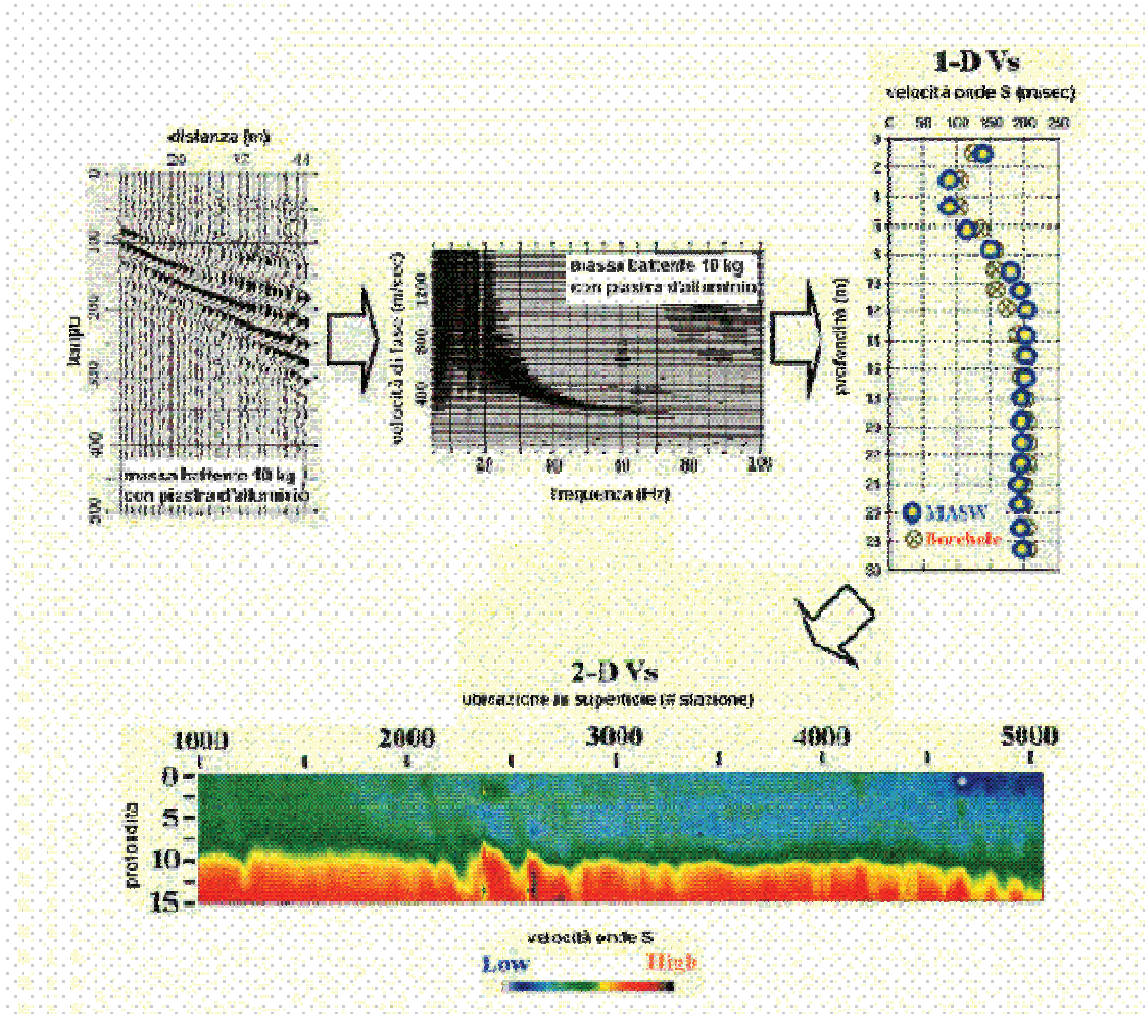
D: onde riflesse

E: onde rifratte

F: onde riverberate

G: rumore ambientale

## DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA MASW



La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

acquisizione dei dati di campo;

estrazione della curva di dispersione;

inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità

Una mappa bidimensionale (mappa 2-D) può essere costruita accostando e sovrapponendo più profili 1-D consecutivi ed utilizzando un contouring software.

Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno, tutte queste onde vengono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.

## PROSPEZIONE SISMICA PASSIVA – METODO HVSR

La metodologia sismica HVSR (Horizontal to Vertical Spectrum Ratio) misura il rumore sismico ambientale che è presente ovunque sulla superficie terrestre, ed è prodotto dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, microterremoti, vento) e dall'attività antropica.

Il rumore sismico ambientale viene anche chiamato microtremore in quanto costituito da oscillazioni di piccolissima ampiezza se confrontate con quelle associate ai terremoti.

La denominazione di sismica passiva dipende dal fatto che il rumore non viene generato *artificialmente*, come nelle energizzazione della sismica attiva, ma è presente naturalmente.

In qualsiasi luogo pianeggiante sono sempre presenti delle vibrazioni associate alle onde oceaniche con dei picchi a 0,14 e 0,07 Hz. A questo comportamento spettrale di “fondo”, sempre presente in varia forma, e soggetto a scarsissima attenuazione, si sovrappongono le sorgenti locali dovute alle attività antropiche (traffico, macchinari ecc..) e naturali. L'effetto di queste sorgenti locali è soggetto ad attenuazioni quanto maggiori all'aumentare della frequenza e dovute all'assorbimento anelastico associato all'attrito interno delle rocce e dei terreni.

La metodologia HVSR è stata introdotta da Nakamura (1989) per la determinazione delle frequenze di risonanza dei terreni e la stima dell'amplificazione sismica locale, elementi di grande utilità per l'ingegneria sismica.

La frequenza fondamentale di risonanza ( $f$ ) dello strato di terreno  $n$  è data dalla formula:

$$f_n = V_s / 4 h$$

in cui  $V_s$  è la velocità media delle onde S nello strato  $N$  ed  $h$  è lo spessore.

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima delle velocità è in grado di fornire previsioni sullo spessore  $h$  degli strati.

Viceversa, nota la stratigrafia è teoricamente possibile fornire una valutazione approssimativa della velocità delle onde S nei singoli strati.



**Figura 1 - Sismografo EEG con geofono triassiale in fase di acquisizione**

I risultati (grafici) visibili in allegato, sono stati ottenuti mediante impiego di un geofono triassiale EEG ed elaborati con software EEG:

- il segnale dei velocimetri (3) è acquisito in sito per un tempo  $t$ , e digitalizzato a 16 bit con due linee di preamplificatori.

Per ciascuna delle 3 componenti del moto, il software esegue le seguenti elaborazioni:

- divide il tracciato acquisito in finestre di lunghezza L (in questo lavoro generalmente 26 s);
  - elimina il trend da ciascuna finestra;
  - fa il "pad" di ciascuna finestra con degli zero;
  - calcola la trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra;
  - calcola lo spettro di ampiezza per ciascuna finestra;
  - liscia lo spettro di ogni finestra secondo opportuno smoothing;
  - calcola il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza, per ciascuna finestra.
- La funzione HVSR finale è data dalle media degli HVSR di ciascuna finestra.

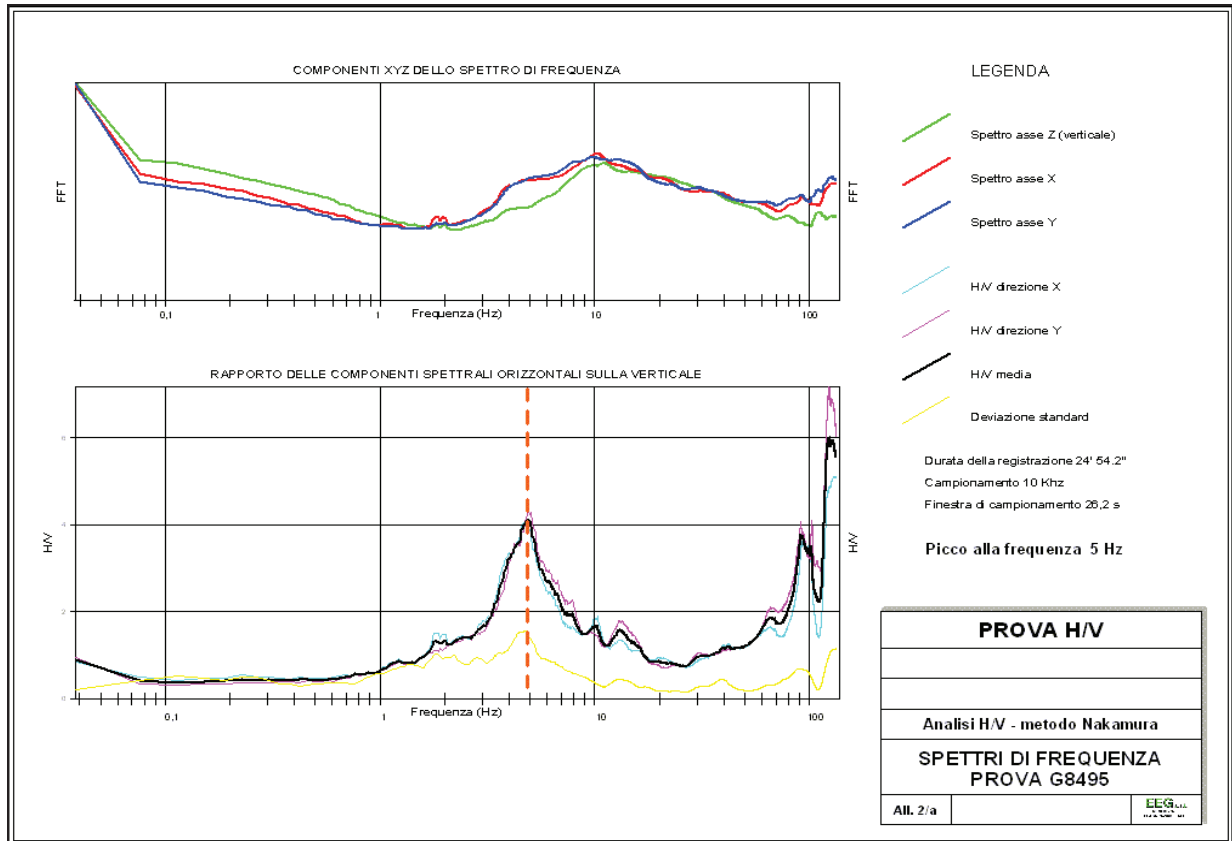


Figura 2 - Allegato restitutivo dell'acquisizione HVSR

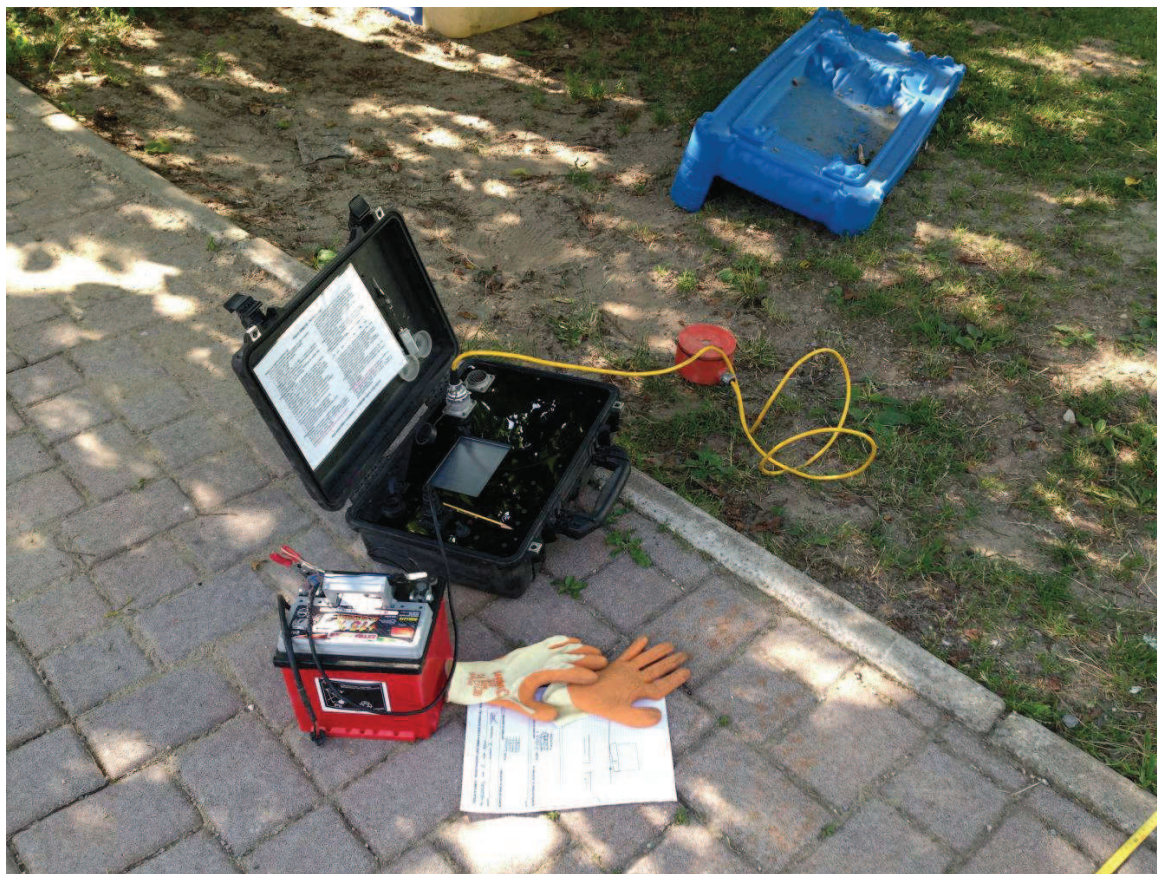
## Allegato 2 – documentazione fotografica



Linea Masw (vista da sud)



Linea Masw (vista da nord)



Registrazione HVSR



Area di progetto