















# ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE DEL CENTRO ABITATO DI FIVIZZANO (MS) GDL-Fivizzano



GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA 34º Convegno Nazionale Trieste

## **INTRODUZIONE**





Il centro abitato di Fivizzano, ubicato nell'area sismica della Lunigiana (Toscana settentrionale) è già da molti anni oggetto di studi "pilota" finalizzati alla definizione del **modello geologico-tecnico del sottosuolo** e conseguente valutazione della **risposta sismica locale** (D'Intinosante, 2003; Rainone et al., 2004; Cherubini et al. 2004; Cherubini et al. 2004; Cherubini et al. 2006)

# INTRODUZIONE



Queste attività, avviate alla fine degli anni '90 nell'ambito del Progetto VEL (Ferrini et. al., 2007) sono state utilizzate come base conoscitiva di partenza per l'attività di microzonazione di terzo livello effettuata dal Gruppo di Lavoro multidisciplinare (denominato GdL Fivizzano) istituito dalla Regione Toscana di concerto con il Dipartimento della Protezione Civile nazionale nel 2013.

Il GdL Fivizzano, è pervenuto ad una stima quantitativa dell'amplificazione locale nel centro abitato di Fivizzano, mediante le seguenti fasi di analisi:

- definizione del modello di sottosuolo definitivo dell'area (D'Intinosante et al., 2014) mediante l'analisi integrata dei dati geologici di superficie e di sottosuolo sia pregressi (campagne d'indagine 2000-2006) che di nuova elaborazione (2013-2014);
- 2. realizzazione di analisi di **risposta sismica locale** monodimensionali e bidimensionali e calcolo di diversi **fattori di amplificazione** al fine di individuare i più idonei per la quantificazione dell'amplificazione nell'area d'indagine;
- 3. estrapolazione areale dei risultati ottenuti in termini di fattori di amplificazione e conseguente definizione della carta di Microzonazione sismica di terzo livello.



# Il GdL (Gruppo di Lavoro) Fivizzano

M. Baglione, V. D'Intinosante, F. Vannini, L. Nistri, P. Fabbroni (Settore Sismica, Regione Toscana)

> **G. D'Amato Avanzi, A. Puccinelli** (Dipartimento Scienze della Terra – Università di Pisa)

**G. Naso** (Dipartimento della Protezione Civile Nazionale, Ufficio rischio sismico – Roma)

> G. Cavuoto, V. Di Fiore, N. Pelosi, M. Punzo, D. Tarallo (CNR– IAMC di Napoli)

M. Moscatelli, M. Simionato, D. Pileggi, A. Avalle (CNR– IGAG di Roma)

> **A. Pagliaroli, G. Vessia** (INGEO – Università di Chieti)

S. Piscitelli, A. Perrone, J. Bellanova, G. Calamita (CNR– IMAA di Potenza)

## G. Ginesi

(Ufficio Cave e Ambiente del Comune di Fivizzano)



resistente si mostrò il calcare uniforme dell'Eocene superiore....Questo calcare salvò gran parte del fivizzanese dall'ultima rovina....<u>Fivizzano deve i suoi danni gravi e ripetuti nei</u> <u>passati terremoti all'essere situata sull'alluvione</u>, come Licciana, ripetendosi quanto si è verificato a Villa nell'estremo SE.

(De Stefani, 1922)

<u>Fivizzano</u> e Vigneta, come Villacollemandina...<u>si trovano sopra dei</u> <u>lembi pianeggianti dell'Antico Alluvione dei vicini</u> <u>torrenti</u>....Caratteristico è il caso di Casola e della vicina frazione di Vigneto, poiché a Casola che è situata sulla viva roccia non si ebbero a lamentare danni sensibili, mentre a Vigneto che trovasi sopra uno di questi membri alluvionali, l'effetto della scossa fu disastroso.

(Raddi, 1921)

#### **MODELLO GEOLOGICO - TECNICO**















metri (s.l.m.)

#### SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE







## **MODELLO GEOLOGICO - TECNICO**









	Litologia	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Rapporto Poisson	Peso di volume (kN/mc)	curve dinamiche (G/G0 e D)	Parametri fisico-
[	hr (riporto)	435	180	0.40	18.0	riporto - Garfagnana	115100-
	a1a (frana attiva) - a1g sup	1800	520	0.45	21.6	Rollins et al. 1998 (gravel)	l meccanici in
1	a1g_inf (frana in roccia guiesciente)	1810	980	0.29	22.5	macigno intatto	
_ [	b (alluvioni attuali)	1100	300	0.46	19.0	Alluvioni recenti Lunigiana	camno
- 1	bn (alluvioni terrazzate recenti)	1385	560	0.40	20.0	Rollins et al. 1998 (gravel)	campo
_ [	bna sup (Alluvioni terrazzate antiche - livello sup)	848	468	0.25	20.0	Rollins et al. 1998 (gravel)	dinamico
_ [	bna inf (Alluvioni terrazzate antiche - livello inf)	1225	678	0.28	21.6	Rollins et al. 1998 (gravel)	amamee
_ [	ACC (Argille e Calcari di Canetolo)	3135	1230	0.41	22.5	linear D= 0.5%	
_ [	ACC inf (Argille e Calcari di Canetolo)	3150	1475	0.36	23.0	linear D= 0.5%	
	CGV (Calcari del Groppo del vescovo)	3465	1667	0.34	23.0	linear D= 0.5%	
1	OTO (Flysch di Ottone)	2975	1290	0.38	23.0	linear D= 0.5%	
	MAC (Arenarie del Macigno)	3600	1780	0.34	24.0	linear D= 0.5%	



*Curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato (G/G0) e di incremento del rapporto di smorzamento (D) con la deformazione tangenziale* 

#### **MODELLO GEOLOGICO - TECNICO**





Mesh agli elementi finiti relativa alla sezione C-C' ed utilizzata per le analisi di risposta sismica bidimensionale nel centro abitato di Fivizzano (MS)

#### **INPUT SISMICO**





Accelerogrammi utilizzati nelle analisi di risposta sismica locale (Tr=475 anni): in blu i sette accelerogrammi naturali mentre in rosso l'accelerogramma artificiale utilizzato come confronto



#### **INPUT SISMICO**





*Confronto in termini di spettri di risposta elastici tra l'input sismico naturale (linea blu) e quello artificiale (linea rossa). Con linea nera è rappresentato, invece, lo spettro di Cat. A-T1 delle NTC08 per il centro abitato di Fivizzano e con linea tratteggiata la tolleranza in difetto ed in eccesso rispetto allo spettro target* 



Preliminare disamina di alcune delle verticali di output, mediante analisi numeriche monodimensionali, al fine di stabilire quale fosse la quota di imposizione dell'input (bedrock sismico) tra due ipotesi di lavoro proposte dal GdL





(maggiori incertezze ma più coerenza con le caratteristiche geologiche dell'area)







Analisi 1D preliminare per alcune verticali della sezione A-A'. In entrambi i casi (punti A3 ed A6) l'analisi con bedrock "profondo" restituisce spettri di risposta più conservativi dell'omologa analisi con bedrock "superficiale"





Confrontotraanalisi"superficiale"e"profonda"medianteanalisi2Dperporzionedella sezioneA-A'

Valori di PGA relativi all'analisi con l'input sismico 1 per l'analisi "superficiale" (a) e "profonda" (b) - I valori sono normalizzati rispetto ai minimi e massimi relativi ad ogni singola sezione

*Confronto in termini di spettri di risposta medi per i nodi A3 ed A6* 





Successivamente, al fine di valutare l'influenza delle curve dinamiche sul risultato delle analisi numeriche (in considerazione del fatto che tali dati non sono stati acquisiti direttamente dai terreni oggetto di studio), le analisi monodimensionali sono state eseguite utilizzando il tool del software STRATA che consente di tener conto della variabilità delle proprietà dei terreni (in luogo dell'uso del solo valore medio) mediante approccio MonteCarlo

Risultati, in termini di spettro di risposta in superficie, ottenuti imponendo la variabilità alle curve dinamiche  $G/G0 \ e \ D$ ; nell'esempio si mostrano i risultati di 100 simulazioni e relativi valori medi ± 1 deviazione standard













Risultati delle analisi monodimensionali per i punti A6 e B6. E' possibile confrontare i risultati dell'analisi effettuata imponendo la variabilità delle curve G/G0 e D (curva rossa) e della medesima analisi con curve fisse (linea blu)

E' presentato anche il confronto con l'analisi a curve fisse effettuata utilizzando come input il segnale artificiale (curva verde)













Esempio di confronto tra analisi 1D e 2D in termini di spettri di risposta elastici per alcuni nodi analizzati. Con linea verde sono rappresentati anche i risultati acquisiti per i medesimi nodi mediante l'utilizzo del codice di calcolo LSR\_2D







Spettri medi di risposta elastici di output (tr=475 anni) relativi ai punti rappresentativi ubicati alla superficie. Con linea nera è illustrato lo spettro medio di input (relativo ad accelerogrammi naturali)

0

0.2

0.4

0.6

0.8

Periodo T (s)





1.2

1.4

1.6

FAS A10

1.8

Spettri medi di risposta elastici di output (tr=475 anni) relativi ai punti rappresentativi ubicati alla superficie. Con linea nera è illustrato lo spettro medio di input (relativo ad accelerogrammi naturali)

T (s

0.8 0.9

1.1

1.2 1.3 1.4

-inpu - E1

- F2

- E3

- F4

- E5

- F6

- F7

- E8

-E9

E10

1.5 1.6 1.7 1.8 1.9

Sezione E-E'

Funzioni di amplificazione in termini di spettro di risposta relativi a 10 punti di output rappresentativi per la sezione A-A'



FH0105	$FH_{(0,1+0,5)} = \frac{\int_{0,1}^{0,5} PSV_{out}(T)dT}{\int_{0,1}^{0,5} PSV_{in}(T)dT}$	(2)
FH0510	$FHa_{(0,5+1,0)} = \frac{\int_{0,5}^{1,0} PSA_{out}(T)dT}{\int_{0,5}^{1,0} PSA_{in}(T)dT}$	(3)
FH1020	$FH_{(1,0+2,0)} = \frac{\int_{1,0}^{2,0} PSV_{out}(T)dT}{\int_{1,0}^{2,0} PSV_{in}(T)dT}$	(4)
FH0125	$FH_{(0,1+2,5)} = \frac{\int_{0,1}^{2,5} PSV_{out}(T)dT}{\int_{0,1}^{2,5} PSV_{in}(T)dT}$	(5)
FHa0105	$FHa_{(0,1+0,5)} = \frac{\int_{0,1}^{0,5} PSA_{out}(T)dT}{\int_{0,1}^{0,5} PSA_{in}(T)dT}$	(6)
FHa0510	$FHa_{(0,5+1,0)} = \frac{\int_{0,5}^{1,0} PSA_{out}(T)dT}{\int_{0,1}^{0,5} PSA_{in}(T)dT}$	(7)
FA	Cap. 2.5.3.3.2 degli ICMS (2008)	(8)
FV	Cap. 2.5.3.3.2 degli ICMS (2008)	(9)

# *Fattori di amplificazione calcolati nell'ambito dello studio in oggetto*



#### **FIVIZZANO (MS)**

#### FATTORI DI AMPLIFICAZIONE - SEZIONE GEOLOGICO-TECNICA A-A'





#### FATTORI DI AMPLIFICAZIONE - SEZIONE GEOLOGICO-TECNICA B-B'





#### FATTORI DI AMPLIFICAZIONE - SEZIONE GEOLOGICO-TECNICA C-C'





#### FATTORI DI AMPLIFICAZIONE - SEZIONE GEOLOGICO-TECNICA D-D'





**FIVIZZANO (MS)** 

#### FATTORI DI AMPLIFICAZIONE - SEZIONE GEOLOGICO-TECNICA E-E'



D1

A-A'

# CONCLUSIONI



- L'amplificazione locale nell'area fivizzanese si dimostra da elevata a molto elevata ad esclusione delle aree (di estensione limitata) in cui il substrato sismico è affiorante o dove le coperture sismiche di natura alluvionale o detritica sono esigue;
- FH ed FHa derivanti dalle analisi 2D mostrano un andamento simile con massimi di amplificazione posti in corrispondenza del terrazzo costituito da depositi alluvionali antichi (bna) e dei depositi di riporto su cui è ubicata l'area ospedaliera (in corrispondenza dei punti C8 e C9), dove i fattori di amplificazione eccedono il valore di 2.5 con picchi anche superiori a 3.5;
- Il fattore FA, ad esclusione di alcune limitate verticali di output si mostra in buon accordo con i fattori precedentemente indicati;
- Il fattore FV concorda bene con gli altri fattori nelle aree di picco dell'amplificazione, ma sottostima sensibilmente l'amplificazione nei rimanenti settori della sezione;
- Le analisi 1D forniscono fattori di amplificazione inferiori a quelli delle analisi 2D pur cogliendo la variazione dell'amplificazione lungo la sezione e quindi la differenziazione quantitativa tra le varie zone. Le maggiori sottostime si hanno dove i fenomeni di amplificazione 2D legati alla morfologia superficiale e sepolta sono particolarmente pronunciati (si vedano ad esempio le progressive 700 m e 1000 m per la sezione C-C' oppure l'andamento attorno alla progressiva 600m per la sezione E-E').

# **BIBLIOGRAFIA**



- Darendeli M. B. (2001). Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves. PhD Dissertation, Austin, Texas: The University of Texas.
- Hudson, M., Idriss, I.M., Beikae, M. (1994). QUAD4M: a computer program to evaluate the seismic response of soil structures using finite element procedures and incorporating a compliant base, Center for Geotechnical Modeling, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California Davis, Davis California.
- Idriss I.M. & Sun J.I. (1992). SHAKE91: A computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soil deposits, User's Guide, University of California, Davis, California.
- Idriss, I.M., Lysmer, J., Hwang, R., Seed, H. B. (1973). QUAD-4: A computer Program for Evaluating the Seismic Response of Soil Structures by Variable Damping Finite Element Procedures, Earthquake Engineering Research Center, Report N. EERC 73-16, University of California, Berkeley.
- □ Kottke A.R., Rathje E.M. (2008). Technical manual for Strata. University of California, Berkeley.
- Lanzo, G., Pagliaroli, A., D'Elia, B. 2003. Numerical study on the frequency-dependent viscous damping in dynamic response analyses of ground. Earthquake Resistant Engineering Structures IV, Ancona. In Latini & Brebbia (eds), WIT Press, pp. 315-324.
- Lanzo, G., Pagliaroli, A., D'Elia, B. (2004). Influenza della modellazione di Rayleigh dello smorzamento viscoso nelle analisi di risposta sismica locale. Atti XI Congresso Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", Genova, Italia, 25-29 Gennaio.
- □ Lysmer J., Kuhlemeyer L. (1969). Finite dynamic model for infinite media. Journal of the Engineering Mechanics Division, pp. 859-877.
- Pagliaroli, A. (2006). Studio numerico e sperimentale dei fenomeni di amplificazione sismica locale di rilievi isolati. Tesi di dottorato in Ingegneria Geotecnica, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Università di Roma "La Sapienza", Roma (pubblicata sull'archivio PADIS http://padis.uniroma1.it/search.py?recid=481).
- □ Rollins, K. M., Evans, M. D., Diehl, N. B., Daily III, W. D. (1998). Shear modulus and damping relationships for gravels. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 124, n. 5, pp. 396-405.