



**Politecnico
di Torino**

POLITECNICO DI TORINO

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

ANNO ACCADEMICO 2023/2024
SESSIONE DI LAUREA APRILE 2024

**FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD
ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME**

RELATORE:
PROF. MAURO CORRADO
PROF.SSA ANNA REGGIO

CANDIDATO:
MARCO ZORZUT

INDICE

1. ABSTRACT.....	11
2. INTRODUZIONE.....	13
3. MATERIALI.....	15
3.1 ACCIAIO.....	15
3.1.1 CAVI IN ACCIAIO.....	16
3.1.2 ELEMENTI DI FISSAGGIO.....	17
3.1.3 STRUTTURA DI SUPPORTO.....	17
3.2 VETRO.....	18
3.2.1 CARATTERISTICHE DEL VETRO.....	18
4. CODICE MATLAB.....	21
4.1 METODO ANALITICO.....	21
4.2 SAP.....	25
4.3 STRUTTURA IN ESAME.....	26
4.3.1 DEFINIZIONI MATERIALE E SEZIONI.....	27
4.3.2 ACCELEROGRAMMA GENERATO:.....	27
4.3.3 DEFINIZIONE DELLE MASSE UTILIZZATE.....	28
4.3.4 CONFRONTO RISULTATI.....	28
5. ACCELEROGRAMMI.....	41
5.1 NORME VIGENTI.....	41
5.2 ACCELEROGRAMMI USATI.....	45
5.3 CORREZIONE ACCELEROGRAMMI.....	51
5.4 ACCELEROGRAMMI CORRETTI DEFINITIVI.....	54
6. DESCRIZIONE FACCIATA DI VETRO.....	60
6.1 MODELLAZIONE DELLE MASSE.....	61
6.2 SISTEMA DEI VINCOLI.....	63
6.3 ANALISI ESEGUITE.....	63
6.3.1 MODAL.....	64
6.3.2 ANALISI DINAMICHE.....	66
7. RISULTATI ANALISI.....	72

7.1	RISULTATI STRUTTURA PRIMARIA.....	72
7.1.1	RISULTATI FORME MODALI.....	72
7.1.2	RISULTATI ACCELERAZIONI ASSOLUTE STRUTTURA PRIMARIA	83
7.2	RISULTATI CONFRONTO ANALISI UNIFORME E NON UNIFORME	87
7.2.1	ZONA A BASSA SISMICITA': PGA 0.19G.	88
7.2.2	ZONA A MEDIA SISMICITA': PGA 0.31G.....	99
7.2.3	ZONA AD ALTA SISMICITA': PGA 0.44G.	111
8.	<u>CONCLUSIONI.....</u>	<u>123</u>
	<u>APPENDICE</u>	<u>126</u>

INDICE FIGURE

FIG 2. 1 - SCHEMA FACCIATE IN VETRO A CAVI TESI [1]	14
FIG 3. 1 – CAVI ORIZZONTALI E VERTICALI.....	17
FIG 4. 1 – STRUTTURA IN ESAME.....	27
FIG 4. 2 – ACCELEROGRAMMA SOLLECITANTE.....	28
FIG 4. 3 – PRIMA FORMA MODALE	29
FIG 4. 4 – SECONDA FORMA MODALE	30
FIG 4. 5 – TERZA FORMA MODALE	30
FIG 4. 6 – QUARTA FORMA MODALE.....	31
FIG 4. 7 – QUINTA FORMA MODALE.....	31
FIG 4. 8 – CONFRONTO ACCELERAZIONI ASSOLUTE AL PIANO ZERO	32
FIG 4. 9 - CONFRONTO ACCELERAZIONI ASSOLUTE AL PRIMO PIANO	33
FIG 4. 10 - CONFRONTO ACCELERAZIONI ASSOLUTE AL SECONDO PIANO	33
FIG 4. 11 - CONFRONTO ACCELERAZIONI ASSOLUTE AL TERZO PIANO	34
FIG 4. 12 - CONFRONTO ACCELERAZIONI ASSOLUTE AL QUARTO PIANO.....	34
FIG 4. 13 - CONFRONTO ACCELERAZIONI ASSOLUTE AL QUINTO PIANO	35
FIG 4. 14 – MASSIME ACCELERAZIONI ASSOLUTE.....	35
FIG 4. 15 -SPOSTAMENTI RELATIVI DEL PIANO ZERO	37
FIG 4. 16 – SPOSTAMENTI RELATIVI DEL PRIMO PIANO	37
FIG 4. 17 – SPOSTAMENTI RELATIVI DEL SECONDO PIANO	38
FIG 4. 18 – SPOSTAMENTI RELATIVI DEL TERZO PIANO	38
FIG 4. 19 – SPOSTAMENTI RELATIVI DEL QUARTO PIANO	39
FIG 4. 20 – SPOSTAMENTI RELATIVI DEL QUINTO PIANO.....	39
FIG 4. 21 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI	40
FIG 5. 1 – SPETTRO SUOLO B PGA0.19g	45
FIG 5. 2 – SPETTRO SUOLO B PGA0.31g	46
FIG 5. 3 – SPETTRO SUOLO B – PGA0.44g	46
FIG 5. 4 – SUOLO B – PGA0.19g – T1	47
FIG 5. 5 - SUOLO B - PGA0.19g - T2	47
FIG 5. 6 - SUOLO B - PGA0.19g - T3	48
FIG 5. 7 - SUOLO B - PGA0.31g - T1	48
FIG 5. 8 - SUOLO B - PGA 0.31g - T2.....	49
FIG 5. 9 - SUOLO B - PGA0.31g – T3.....	49
FIG 5. 10 - SUOLO B - PGA 0.44g - T1.....	50
FIG 5. 11 - SUOLO B - PGA0.44g - T2.....	50

FIG 5. 12 - SUOLO B - PGA0.44g - T3	51
FIG 5. 13 – ACCELERAZIONE	52
FIG 5. 14 – VELOCITA'	52
FIG 5. 15 - DERIVA DELLO SPOSTAMENTO	53
FIG 5. 16 - ACCELERAZIONE CORRETTA	53
FIG 5. 17 - VELOCITA' CORRETTA	54
FIG 5. 18 - SPOSTAMENTO CORRETTO.....	54
FIG 5. 19 - SUOLO B - PGA 0.19g -T1 - CORRETTO	55
FIG 5. 20 - SUOLO B - PGA 0.19g -T2 - CORRETTO	55
FIG 5. 21 - SUOLO B - PGA 0.19g -T1 - CORRETTO	56
FIG 5. 22 -SUOLO B - PGA 0.31g -T1 - CORRETTO	56
FIG 5. 23 - SUOLO B - PGA 0.31g -T2 - CORRETTO	57
FIG 5. 24 - SUOLO B - PGA 0.31g -T3 - CORRETTO	57
FIG 5. 25 - SUOLO B - PGA 0.44g -T1 - CORRETTO	58
FIG 5. 26 - SUOLO B - PGA 0.44g -T2 - CORRETTO	58
FIG 5. 27 - SUOLO B - PGA 0.44g -T3 - CORRETTO	59

FIG 6. 1 – FACCIATA MODELLATA IN SAP.....	61
FIG 6. 2 – MODELLAZIONE DELLE MASSE	62
FIG 6. 3 – PRIMO E SECONDO MODO DI VIBRARE.....	65
FIG 6. 4 – TERZO E QUARTO MODO DI VIBRARE	66
FIG 6. 5 – SMORZAMENTO SECONDO RAYLEIGH [1]	69
FIG 6. 6 – SMORZAMENTO CALCOLATO	70
FIG 6. 7 – NON LINEARITA' GEOMETRICHE.....	71

FIG 7. 1 – PRIMA FORMA MODALE	73
FIG 7. 2 – SECONDA FORMA MODALE	74
FIG 7. 3 – TERZA FORMA MODALE	75
FIG 7. 4 – QUARTA FORMA MODALE.....	76
FIG 7. 5 - QUINTA FORMA MODALE.....	77
FIG 7. 6 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI PER T1 E T2 – PGA0.19g	78
FIG 7. 7 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI PER T3 – PGA0.19g.....	79
FIG 7. 8 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI PER T1 E T2 – PGA0.44g	80
FIG 7. 9 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI PER T3 – PGA0.31g.....	81
FIG 7. 10 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI PER T1 E T2 - PGA0.44g.....	82
FIG 7. 11 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI PER T3 – PGA0.44g.....	83
FIG 7. 12 – CONFRONTO SPETTRI DI PIANO – $\alpha_0=2$	85
FIG 7. 13 - CONFRONTO SPETTRI DI PIANO – $\alpha_0=10$	85
FIG 7. 14 - FIG 7. 12 – CONFRONTO SPETTRI DI PIANO – $\alpha_0=15$	86
FIG 7. 15 – CAVI PRESI IN CONSIDERAZIONE.....	88
FIG 7. 16 – MASSIME ACCELERAZIONI ASSOLUTE CAVO ORIZZONTALE – SUOLO B – PGA0.19g..	90

FIG 7. 17 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI CAVO ORIZZONTALE – SUOLO B – PGA0.19g	93
FIG 7. 18 - MASSIME ACCELERAZIONI ASSOLUTE CAVO VERTICALE – SUOLO B – PGA0.19g.....	95
FIG 7. 19 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI MASSIME VERTICALE– SUOLO B – PGA0.19g.....	99
FIG 7. 20 - MASSIME ACCELERAZIONI ASSOLUTE CAVO ORIZZONTALE – SUOLO B – PGA0.31g	101
FIG 7. 21 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI CAVO ORIZZONTALE – SUOLO B – PGA0.31g	104
FIG 7. 22 – MASSIME ACCELERAZIONI ASSOLUTE CAVO V ERTICALE – SUOLO B – PGA0.31g ..	106
FIG 7. 23 - MASSIME SPOSTAMENTI RELATIVI CAVO V ERTICALE – SUOLO B – PGA0.31g.....	110
FIG 7. 24 - MASSIME ACCELERAZIONI ASSOLUTE CAVO ORIZZONTALE – SUOLO B – PGA0.44g	112
FIG 7. 25 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI CAVO ORIZZONTALE – SUOLO B – PGA0.44g	115
FIG 7. 26 - MASSIME ACCELERAZIONI ASSOLUTE CAVO V ERTICALE – SUOLO B – PGA0.44g...	118
FIG 7. 27 - MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI CAVO VERTICALE – SUOLO B – PGA0.44g.....	121

INDICE TABELLE

TAB 3. 1 – PROPRIETA' ACCIAIO	16
TAB 3. 2 – PROPRIETA' VETRO	18
TAB 3. 3 – RANGE DI TEMPERATURA.....	19
TAB 3. 4 – CARATTERISTICHE VETRO	20
TAB 4. 1 – CONFRONTO PRIMI PERIODI	29
TAB 4. 2 - VALORI ACCELERAZIONI ASSOLUTE.....	36
TAB 4. 3 - VALORI SPOSTAMENTI RELATIVI.....	40
TAB 5. 1 – DESCRIZIONE PROFILO TOPOGRAFICO	41
TAB 5. 2 – TIPO 1 [6].....	44
TAB 6. 1 – RIASSUNTO MASSA NEI NODI.....	62
TAB 6. 2 -RIASSUNTO VINCOLI NODI	63
TAB 6. 3 – TABELLA RIASSUNTIVA PROPRIETA' MODALI	64
TAB 7. 1 – PRIMI PERIODI STRUTTURE PRIMARIE	72
TAB 7. 2 – VALORI PRIMA FORMA MODALE.....	73
TAB 7. 3 – VALORI SECONDA FORMA MODALE	74
TAB 7. 4 – VALORI TERZA FORMA MODALE	74
TAB 7. 5 – VALORI QUARTA FORMA MODALE	75
TAB 7. 6 – VALORI QUINTA FORMA MODALE	76
TAB 7. 7 – VALORI SPOSTAMENTI RELATIVI – PGA0.19g - T1 E T2	77
TAB 7. 8 – VALORI SPOSTAMENTI RELATIVI – PGA 0.19g – T3.....	78
TAB 7. 9 - VALORI SPOSTAMENTI RELATIVI – PGA0.31g - T1 E T2	79
TAB 7. 10 - - VALORI SPOSTAMENTI RELATIVI – PGA 0.31g – T3	80
TAB 7. 11 - VALORI SPOSTAMENTI RELATIVI – PGA0.44g - T1 E T2	81
TAB 7. 12 - TAB 7. 8 – VALORI SPOSTAMENTI RELATIVI – PGA 0.44g – T3.....	82
TAB 7. 13 – PERIODI E RAPPORTI	87
TAB 7. 14 – VALORI ACCELERAZIONE ASSOLUTA CAVO ORIZZONTALE – PGA0.19g.....	89
TAB 7. 15 – VALORI FORZA CONNETTORE CAVO ORIZZONTALE -PGA0.19g	91
TAB 7. 16 – VALORI SPOSTAMENTO RELATIVO CAVO ORIZZONTALE – 0.19g.....	92
TAB 7. 17 – VALORI TIRO CAVO ORIZZONTALE – PGA 0.19g.....	93
TAB 7. 18 – VALORI ACCELERAZIONE ASSOLUTA CAVO VERTICALE – PGA0.19g.....	95
TAB 7. 19 – VALORI SPOSTAMENTO RELATIVO CAVO VERTICLE – PGA0.19g	97
TAB 7. 20 – VALORI SPOSTAMENTO RELATIVO CAVO VERTICALE – PGA0.19g	98
TAB 7. 21 – VALORI TIRO CAVO VERTICALE – PGA0.19g.....	99
TAB 7. 22 – VALORI ACCELERAZIONE ASSOLUTA CAVO ORIZZONTALE – 0.31g.....	101
TAB 7. 23 - VALORI FORZA NEL CONNETTORE CAVO ORIZZONTALE – PGA0.31g.....	102
TAB 7. 24 – VALORI SPOSTAMENTO RELATIVO CAVO ORIZZONTALE – PGA0.31g.....	104

TAB 7. 25 – VALORI TIRO CAVO ORIZZONTALE – PGA0.31g.....	105
TAB 7. 26 – VALORI ACCELERAZIONE ASSOLUTA CAVO VERTICALE – PGA0.31g.....	106
TAB 7. 27 – VALORI FORZA CONNETTORE CAVO VERTICALE – PGA0.31g.....	108
TAB 7. 28 -VALORI SPOSTAMENTO RELATIVO CAVO VERTICALE – PGA0.31g.....	109
TAB 7. 29 – VALORI TIRO CAVO VERTICALE – PGA0.31g.....	110
TAB 7. 30 – VALORI ACCELERAZIONE ASSOLUTA CAVO ORIZZONTALE – PGA0.44g.....	112
TAB 7. 31 – VALORI FORZA CONNETTORE CAVO ORIZZONTALE – PGA0.44g.....	113
TAB 7. 32 – VALORI SPOSTAMENTI CAVO ORIZZONTALE – PGA0.44g.....	115
TAB 7. 33 – VALORI TIRO CAVO ORIZZONTALE – PGA0.44g.....	116
TAB 7. 34 – VALORI ACCELERAZIONE ASSOLUTA CAVO VERTICALE – PGA0.44g.....	117
TAB 7. 35 – VALORI FORZA CONNETTORE CAVO VERTICALE – PGA0.44g.....	119
TAB 7. 36 – VALORI SPOSTAMENTO RELATIVO CAVO VERTICALE – PGA0.44g.....	121
TAB 7. 37 – VALORI TIRO CAVO VERTICALE – PGA0.44g.....	122

1. ABSTRACT

L'oggetto di questa tesi è lo studio del comportamento dinamico di facciate in vetro a cavi soggette ad eccitazione sismica non uniforme. Gli obiettivi perseguiti sono: definire un modello che tenga in considerazione l'effetto filtro che la struttura primaria, alla quale la facciata è vincolata, esplica sull'input dinamico trasmesso alla facciata stessa; evidenziare, di conseguenza, l'influenza che le proprietà dinamiche della struttura primaria hanno sulla risposta sismica della facciata. Al fine di instaurare un confronto, sono state condotte analisi dinamiche di due tipi: nel primo tipo, consueto in letteratura, è stata analizzata la sola facciata soggetta ad eccitazione sismica uniforme modellata mediante accelerogrammi del suolo; nel secondo tipo, è stata analizzata dapprima la struttura primaria, caratterizzandone la risposta sismica in termini di spostogrammi di piano variabili lungo l'altezza, e successivamente la facciata, soggetta all'eccitazione sismica non uniforme rappresentata dagli spostogrammi di piano. La risposta sismica della struttura primaria è ottenuta attraverso un modello analitico che tiene conto della tipologia del sistema strutturale e delle proprietà dinamiche della struttura primaria mediante parametri adimensionali. La risposta sismica della facciata è invece studiata con un modello agli elementi finiti, svolgendo analisi dinamiche non lineari con integrazione al passo delle equazioni del moto. I risultati delle analisi con eccitazione sismica non uniforme sono confrontati con quelli delle analisi con eccitazione sismica uniforme, al fine di evidenziare le differenze nella risposta dinamica della facciata in termini di spostamenti e accelerazioni.

The subject of this thesis is the study of the dynamic behavior of cable-net glass facades under multiple support seismic excitation. The pursued objectives are: to define a model that takes into account the filtering effect exerted by the primary structure, to which the façade is constrained, on the dynamic input transmitted to the façade itself; consequently to highlight the influence that the dynamic properties of the primary structure have on the seismic response of the façade. In order to establish a comparison, dynamic analyses of two types were conducted: in the first type, customary in literature, only the façade under an uniform seismic excitation modeled through accelerograms of ground has been analyzed; in the second type, firstly the primary structure has been analyzed, characterizing its seismic response in terms of variable floor displacements time histories along the height, and subsequently analyzing the façade,

FACCIALE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

subjected to seismic multi support excitation represented by floor displacement time histories. The seismic response of the primary structure is obtained with an analytical model that considers the structural system and the dynamic properties of primary structures using dimensionless parameters. On the contrary, the seismic response of the façade is studied with a finite element model, conducting dynamic non-linear analysis with stepwise integration of equations of motion. The results of the analyses with multi-support seismic excitation are compared with those of the analyses with seismic uniform excitation to highlight the differences in the dynamic response of the façade in terms of displacements and accelerations.

2. INTRODUZIONE

Le facciate di vetro a cavi tesi simboleggiano il progresso tecnico ingegneristico a supporto dell'esigenze estetiche nel mondo dell'ingegneria sempre più ambizioso. L'utilizzo dei cavi permette di ottenere facciate di vetro senza i montanti superiori, in modo tale da massimizzare la luminosità proveniente dall'ambiente circostante l'edificio e di valorizzare al massimo l'aspetto estetico del vetro.

Il primo prototipo di questi edifici risale al 1955, grazie alle ricerche dell'ingegnere ed architetto americano Buckminster Fuller. Con il passare degli anni e con il progresso tecnologico le facciate a cavi tesi divennero oggetto di interesse anche in Europa, nello specifico, soprattutto in Germania. [1]

Le facciate di vetro conferiscono eleganza agli edifici, rendendoli più slanciati e luminosi, l'utilizzo dei cavi massimizza questi effetti benefici; tuttavia, la loro presenza comporta anche temi delicati dal punto di vista strutturale. Nel merito, i cavi sono oggetto di pretensionamento, ovvero viene impressa loro una forza calcolata in modo tale da garantire un'uniforme distribuzione dei carichi sulla facciata. Un'uniforme distribuzione dei carichi permetterà di non avere una concentrazione delle forze in uno specifico punto, evitando la rottura dei pannelli di vetro, con delle limitate deformazioni in modo tale da rendere stabile la facciata. La struttura portante della facciata di vetro presenta una rigidità superiore rispetto a quella data dai cavi, questo per soddisfare i requisiti in termini di deformazione richiesti alla struttura. La struttura portante della facciata collega la facciata di vetro all'edificio, il quale oltre ad aumentare la rigidità nel suo complesso, trasferirà le sollecitazioni alla facciata. Infine, i cavi orizzontali e tesi formeranno la rete di cavi, la quale sarà collegata ai pannelli di vetro grazie a dei nodi.

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

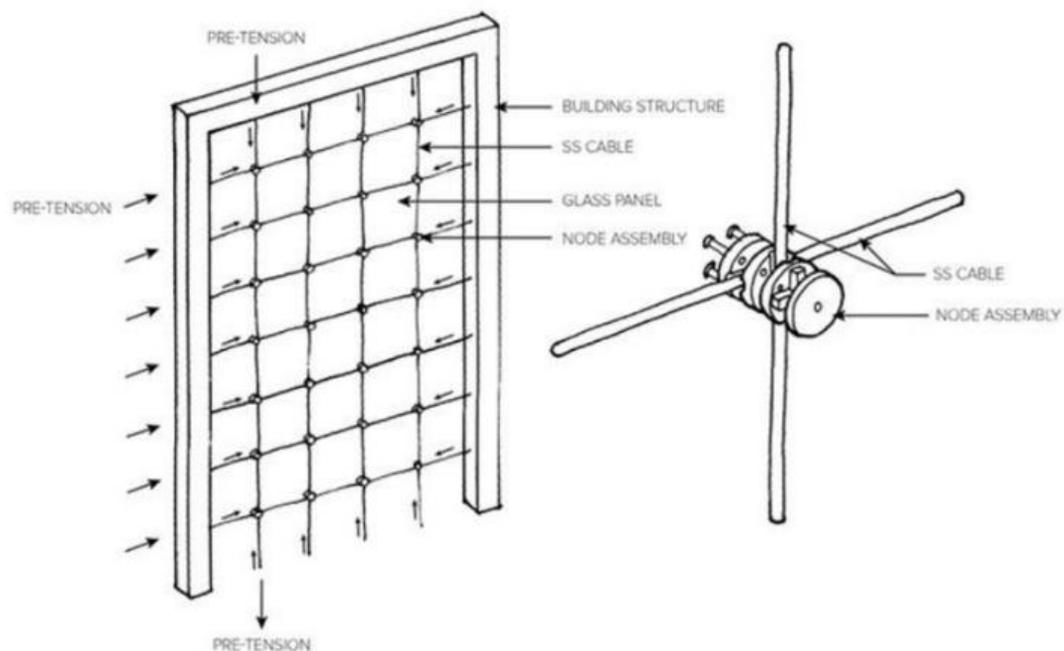


FIG 2. 1 - SCHEMA FACCIAE IN VETRO A CAVI TESI [1]

Dopo aver tessuto le lodi delle facciate in vetro a cavi tesi si passano in rassegna gli aspetti critici che ne derivano. Le facciate di vetro a cavi tesi comportano infatti elevati costi riguardanti i materiali usati e l'installazione dei pannelli con i cavi. Infatti, l'installazione di essi rappresenta di per sé un punto critico, in questo tipo di facciate. Nel merito, i cavi vengono prima pretensionati e seguentemente i pannelli di vetro vengono aggiunti. A causa di questo carico aggiuntivo i cavi dovranno essere nuovamente oggetto di pretensionamento in modo tale da ottenere il tiro prestabilito. I cavi necessitano di periodica manutenzione, in modo tale da evitare un loro possibile allentamento. L'ultimo aspetto negativo delle facciate di vetro è la loro sensibilità ai danni, motivo per cui le facciate sono soggette ad una deformazione limite massima [1].

3. MATERIALI

3.1 ACCIAIO

L'acciaio gode di ottime caratteristiche meccaniche, le quali lo rendono un materiale vastamente utilizzato nel campo dell'ingegneria civile. L'acciaio presenta un identico comportamento costitutivo sia in trazione che in compressione. Questo significa che sia che sia sottoposto a trazione che sia sottoposto a compressione la fase elastica e la fase plastica non cambieranno in base alla condizione di carico. L'acciaio, tuttavia, viene impiegato maggiormente in contesti in cui è sottoposto a trazione, in quanto, quando soggetto ad un'azione di compressione presenta condizioni di instabilità.

L'acciaio è caratterizzato da una notevole duttilità, ovvero il rapporto fra carico di snervamento e carico ultimo. Il carico di snervamento sancisce la fine della fase elastica del materiale e l'inizio della fase plastica. Durante la fase elastica il materiale è in grado di recuperare la deformazione causata dall'applicazione del carico, quando passa in fase plastica sarà presente una deformazione permanente non reversibile. Al termine della fase plastica sarà presente il punto di rottura del materiale.

Una caratteristica legata alla duttilità dell'acciaio è la propria tenacità. La tenacità è la capacità del materiale di resistere ad impatti o a condizioni di carico variabile dissipando energia. Questa caratteristica è fondamentale quando si tratta con strutture soggette ad azione sismica, in questi casi la dissipazione energetica è fondamentale per fronteggiare le azioni agenti. La dissipazione energetica avviene durante la fase plastica del materiale, in quanto permette al materiale di assorbire energia invece che presentare una frattura improvvisa.

L'acciaio è inoltre soggetto a corrosione, la quale può deteriorare il materiale e comprometterne le caratteristiche meccaniche. L'acciaio, dunque, in specifici casi necessiterà una protezione. La quale potrà venire garantita da una delle seguenti tecniche: applicazione di vernici, zincature o uso di leghe inossidabili.

Nella TAB 3. 1 – PROPRIETA' ACCIAIO vengono riportate le caratteristiche dell'acciaio strutturale usato nel modello.

FACCIALE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

PROPRIETÀ ACCIAIO		
CARATTERISTICA	SIMBOLO	VALORE
DENSITÀ	ρ	7860 kg/m ³
MODULO ELASTICO	E	200 GPa
COEFFICIENTE DI POISSON	ν	0.3

TAB 3. 1 – PROPRIETÀ ACCIAIO

3.1.1 CAVI IN ACCIAIO

I cavi in acciaio presenti nella struttura in esame sono composti da acciaio inossidabile e sono costituiti da fili sottili o trefoli intrecciati. I cavi presenti nella facciata di vetro appartengono alla classe AISI316 degli acciai inossidabili. Questa è una lega d'acciaio inossidabile composta da cromo, nichel e molibdeno. [1]

La rete del sistema di cavi che sorregge la struttura è divisa in cavi orizzontali e cavi verticali. I cavi verticali rispetto ai cavi orizzontali presentano una sezione ridotta. Essi saranno destinati a sorreggere i carichi verticali dei pannelli di vetro, di conseguenza si relazioneranno principalmente con carichi verticali. I cavi orizzontali invece dovranno resistere anche ai carichi derivanti da azioni sismiche e da azioni generate dalla presenza del vento. Di conseguenza si interfacceranno con carichi orizzontali oltre ai verticali, a causa di questi motivi saranno caratterizzati da una sezione più grande rispetto ai cavi verticali. I cavi orizzontali saranno maggiormente sollecitati rispetto ai cavi verticali, da questo deriverà un pretensionamento differente. I cavi orizzontali saranno soggetti ad un pretensionamento pari a 350kN mentre i cavi verticali avranno un pretensionamento pari a 30kN.

La presenza contemporanea di cavi orizzontali e cavi verticali garantisce alla struttura in esame un'adeguata robustezza e permette una distribuzione equa dei carichi, anche grazie alla presenza di una maglia reticolare dei cavi regolare.

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

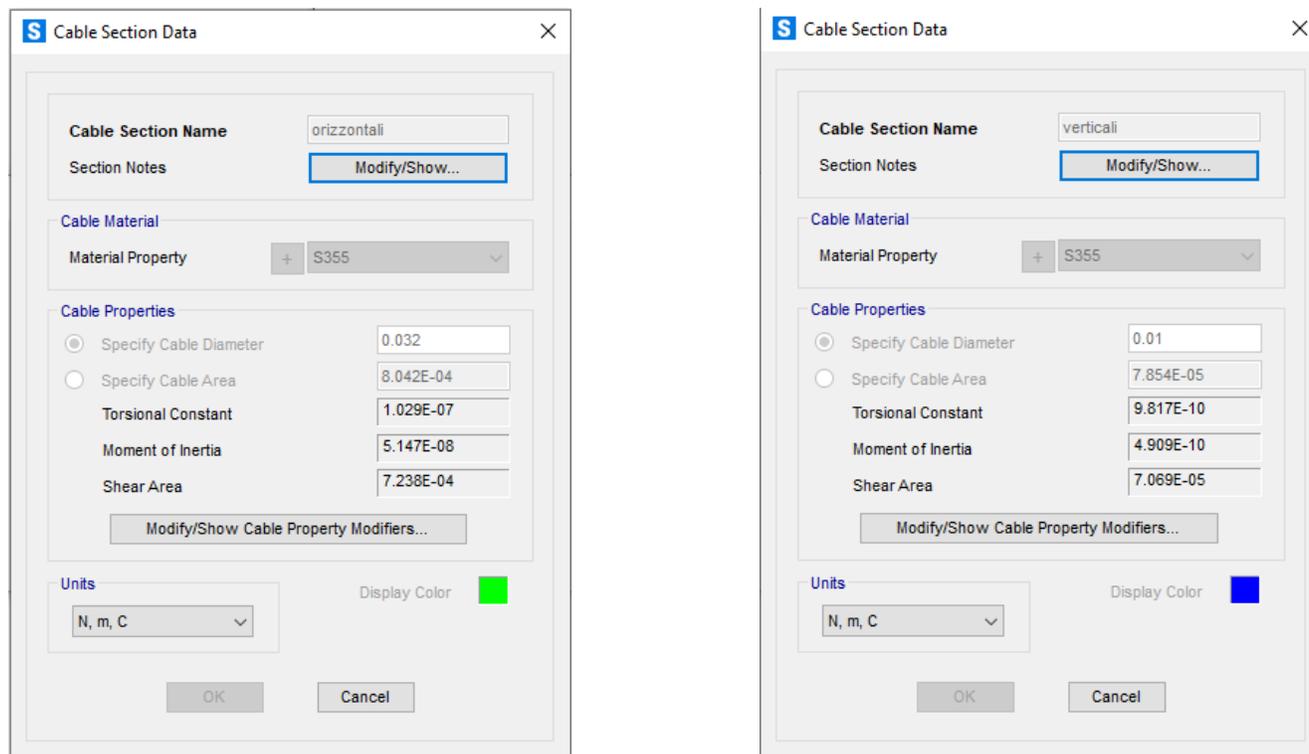


FIG 3. 1 – CAVI ORIZZONTALI E VERTICALI

3.1.2 ELEMENTI DI FISSAGGIO

La rete di cavi viene fissata ai pannelli di vetro attraverso un sistema di fissaggio, in acciaio anch'esso, il quale non verrà modellato in SAP, ma sarà esclusivamente idealizzato come un nodo. Questi elementi di fissaggio hanno lo scopo, oltre di collegare fisicamente la rete dei cavi ai pannelli di vetro, di garantire una distribuzione il più possibile uniforme sulla rete di cavi in esame.

Gli elementi di fissaggio in esame vengono definiti "Patch Fitting", i quali sono composti in diverse parti: piastra di base, coperchio superiore, cilindro centrale, braccio di supporto e accessori di fissaggio.

I patch fitting presentano una forte tendenza ad adattarsi al tipo di design come destinazione d'uso garantendone la sicurezza. [1]

3.1.3 STRUTTURA DI SUPPORTO

La struttura primaria è analizzata tramite un modello analitico, viceversa la facciata è analizzata attraverso la modellazione di essa con SAP; i pannelli e i cavi di acciaio che li sorreggono non sono vincolati direttamente alla struttura primaria ma sono vincolati a due "colonne", formate da profili d'acciaio controventate ed una capriata Warren in cima. Questa struttura di supporto ha lo scopo di

FACCIALE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

irrigidire la facciata di vetro e di trasmettere le sollecitazioni della struttura primaria alla facciata in esame. La colonna di sinistra avrà una larghezza pari a 1.5m mentre quella di destra avrà una larghezza pari a 2.0m. La capriata Warren è composta da sezioni tubolari poste in appoggio alle colonne laterali.

[1]

3.2 VETRO

L'uso del vetro nel mondo ingegneristico è in continua espansione, nello specifico nei grandi edifici si sta cercando di sfruttarne al massimo le caratteristiche; nel merito, la tesi tratta di una facciata sorretta da cavi tesi, i quali hanno il compito di, in aggiunta agli oneri ingegneristici di sorreggere i carichi, di risultare il meno invasivi possibile dal punto di vista estetico. Si passa ora a descrivere le caratteristiche fisico-chimiche del vetro.

3.2.1 CARATTERISTICHE DEL VETRO

Il vetro viene prodotto attraverso la fusione; esso è un materiale inorganico ed è stato raffreddato fino ad una condizione di rigidità senza la cristallizzazione. Le due tipologie di vetro maggiormente utilizzate sono: vetro silicato solido sodico-calcico (SLSG) e il vetro borosilicato (BSG). Il secondo presenta una resistenza alle variazioni temperatura più elevata. Di seguito viene riportata la composizione chimica secondo gli standard europei:

		VETRO SILICATO SOLIDO-CALCICO	VETRO BOROSILICATO
Sabbia di silice	SiO_2	69 – 74%	70 – 87%
Calce (ossido di calcio)	CaO	5 – 14%	–
Biossido di sodio	Na_2O	10 – 16%	0 – 8%
Ossido di boro	B_2O_3	–	7 – 15%
Ossido di potassio	K_2O	–	0 – 8%
Magnesio	MgO	0 – 6%	–
Alluminio	Al_2O_3	0 – 3%	0 – 8%
Altro		0 – 5%	0 – 8%

TAB 3. 2 – PROPRIETA' VETRO

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

Il vetro non viene caratterizzato da una rete regolare di cristalli, bensì da una rete irregolare di silicene e ossigeno con componenti alcalini nel mezzo. La composizione chimica ha un'importante influenza sulla viscosità, sulla temperatura di fusione e sul coefficiente di espansione α_T . A differenza dei materiali cristallini la solidificazione non avviene ad una temperatura precisa, bensì in un intervallo. Durante il periodo di solidificazione la viscosità cresce costantemente fino a circa $10^{14} Pa s$. [2]

VISCOSITA'	STATO	TEMPERATURA	
		SLSG - (C°)	BSG - (C°)
(dPa s)			
10^5	Punto di lavoro	1040	1280
$10^{8.6}$	Punto di mollezza	720	830
10^{14}	Punto di rinvenimento	540	570
$10^{14.3}$	Temperatura di transizione	530	560
$10^{15.5}$	Punto di deformazione	530	530

TAB 3. 3 – RANGE DI TEMPERATURA

A differenza dell'acciaio, il vetro dimostra un comportamento quasi perfettamente elastico ed isotropico esibendo una frattura fragile. La resistenza teorica del vetro è molto elevata, circa 32GPa, ma la reale resistenza sarà sensibilmente più bassa. Infatti, la resistenza meccanica del vetro dipenderà dai microdifetti, presenti sulla superficie del vetro ma non visibili all'occhio nudo. Queste microfratture sono tanto più presenti quanto è grande il pannello di vetro. Inoltre, queste microfratture possono cambiare la loro dimensione in base alle condizioni di carico, nel merito, se il vetro è soggetto a trazione queste microfratture tenderanno ad allargarsi, riducendo ulteriormente la resistenza del vetro. La resistenza del vetro verrà influenzata da diversi aspetti, i quali saranno tenuti in considerazione dalla normativa, che sono i seguenti: condizioni della superficie, dimensioni del pannello di vetro, storico delle azioni, stress residuo e condizioni ambientali.

Di seguito viene riportata una tabella riassuntiva delle proprietà del vetro:

FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

	<i>Simbolo</i>	<i>U.D.M</i>	SLSG	BSL
Densità	ρ	kg/m^3	2500	2200 – 2500
Durezza di Knoop	$HK_{0,1/20}$	GPa	6	4.5 – 6
Modulo di Young	E	MPa	70000	60000 – 70000
Modulo di Poisson	ν	–	0.23	0.2
Coefficiente di dilatazione termica	α_T	$10^{-6}K^{-1}$	9	Class 1: 3.1 – 4.0 Class 2: 4.1 – 5.0 Class 3: 5.1 – 6.0
Capacità termica specifica	c_p	$Jkg^{-1}K^{-1}$	720	800
Conduttività termica	λ	$Wm^{-1}K^{-1}$	1	1
Indice di rifrazione medio dello spettro visibile	n	–	1.52	1.5
Emissività	ε	–	0.837	0.837

TAB 3. 4 – CARATTERISTICHE VETRO

4. CODICE MATLAB

4.1 METODO ANALITICO

In questo capitolo viene illustrato il codice Matlab implementato per calcolare la risposta della struttura primaria in termini di storie temporali di spostamenti ai piani della struttura primaria. [3] [4] [5]

Partendo da [4] e [3] si è scritto il codice analitico Matlab in modo tale da stimare le varie time history delle accelerazioni relative ai diversi piani. Il metodo in esame si basa su due principali parametri α_0 e T_1 . Il primo caratterizza il tipo di struttura che si sta trattando (comprende un range di valore da 0 a 20), ed è espresso con formula 4. 1:

$$\alpha_0 = H \sqrt{\frac{GA_0}{EI_0}}$$

4. 1

Dove:

- ~ H: è l'altezza totale dell'edificio;
- ~ GA_0 : è la rigidezza a taglio alla base della struttura;
- ~ EI_0 : è la rigidezza flessionale alla base della struttura;

Come riportato da [4] ci saranno diversi range di α_0 rappresentativi del tipo di struttura:

- ~ $0 < \alpha_0 \leq 1.5$: per strutture con pareti a taglio con presenza di controventi;
- ~ $1.5 \leq \alpha_0 \leq 5$: per strutture con sistemi duali (telai momento resistenti con pareti a taglio o telai momento resistenti con controventi);
- ~ $5 \leq \alpha_0 \leq 20$: per strutture con telai momento resistenti;

Il periodo fondamentale delle strutture è stato calcolato con diverse formule empiriche, le quali sono esclusivamente dipendenti dall'altezza della struttura. Ricavando T_1 non è necessario conoscere massa e rigidezza della struttura, in quanto l'influenza di queste due grandezze è racchiusa all'interno del valore del primo periodo T_1 .

Le formule usate sono state riprese da [4], esse sono le seguenti:

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

- ~ $T_1 = \frac{1}{4} \times (0.0294H^{0.804} + 0.130H^{0.6826} + 0.016H_f^{0.9} + 0.085H)$: usata per strutture intelaiate in calcestruzzo armato senza tamponature;
- ~ $T_1 = \frac{1}{5} \times (0.026H^{0.90} + 0.0159H^{1.032} + 0.0182H^{1.0067} + 0.014H + 0.016H)$: usata per strutture intelaiate in calcestruzzo armato ma senza tamponature;
- ~ $T_1 = 0.028H_f^{0.8}$: usata per strutture intelaiate in acciaio;
- ~ $T_1 = \frac{1}{3} \times (0.056H^{0.9} + 0.030H_f^{0.75} + 0.02H)$: usata per strutture intelaiate in acciaio con controventi;
- ~ $T_1 = \frac{1}{3} \times (0.0045H^{1.07} + 0.019H + 0.020H_f^{0.75})$: usata per strutture in calcestruzzo armato con pareti di taglio.

Dove:

- ~ H: altezza totale dell'edificio espressa in "metri";
- ~ H_f: altezza totale dell'edificio espressa in "feet";

Stimato l' α_0 e il periodo fondamentale della struttura T_1 si è passato a calcolare i periodi della struttura in esame sfruttando il seguente procedimento:

$$2 + \left[2 + \frac{\alpha_0^4}{\gamma_i \sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_i^2}} \right] \cos(\gamma_i) \cosh\left(\sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_i^2}\right) + \left[\frac{\alpha_0^2}{\gamma_i \sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_i^2}} \right] \sin(\gamma_i) \sinh\left(\sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_i^2}\right)$$

4.2

Dove γ_i è l'autovalore associato all'i-esimo modo di vibrare. Le sei radici più piccole, ordinate in maniera crescente, rappresenteranno i sei modi di vibrare della struttura. Si può notare come in questa maniera il calcolo degli autovalori dipenda solo ed esclusivamente dal valore adimensionale α_0 .

Basandosi sempre su α_0 e T_1 sarà possibile poi calcolare i periodi della struttura con la formula 4.3:

$$\frac{T_i}{T_1} = \frac{\gamma_1}{\gamma_i} \sqrt{\frac{\alpha_0^2 + \gamma_1^2}{\alpha_0^2 + \gamma_i^2}}$$

4.3

Seguentemente le i-esime pulsazioni sono state calcolate con la formula 4.4:

$$\omega_i = \frac{2\pi}{T_i}$$

4.4

Seguentemente le pulsazioni smorzate saranno calcolate con la formula 4.5

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

$$\omega_{Di} = \omega_i \sqrt{1 - \xi^2}$$

4.5

Dove ξ è lo smorzamento considerato, in questo caso sempre pari al 5%.

Le forme modali, già normalizzate rispetto al massimo, sono state calcolate con la formula 4.6:

$$\Phi_i = \frac{\sin(\gamma_i x) - \gamma_i (\alpha_0^2 + \gamma_i^2)^{-\frac{1}{2}} \sinh \left(x \sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_i^2} \right) + \eta_i \left[\cosh \left(x \sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_i^2} \right) - \cos(\gamma_i x) \right]}{\sin(\gamma_i) - \gamma_i (\alpha_0^2 + \gamma_i^2)^{-\frac{1}{2}} \sinh \left(x \sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_i^2} \right) + \eta_i \left[\cosh \left(x \sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_i^2} \right) - \cos(\gamma_i) \right]}$$

4.6

Dove:

~ x : è un valore adimensionale che va da 0 a 1. Esso è la posizione relativa rispetto all'altezza dell'edificio. $x = 0$ (*piano terra*) e $x = 1$ (*tetto*).

Il valore η_i viene invece calcolato con la formula 4.7:

$$\eta_i = \frac{\gamma_i^2 \sin(\gamma_i) + \gamma_i \sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_i^2} \sinh \left(\sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_i^2} \right)}{\gamma_i^2 \cos(\gamma_i) + (\alpha_0^2 + \gamma_i^2) \cosh \left(\sqrt{\alpha_0^2 + \gamma_i^2} \right)}$$

4.7

I vari fattori di partecipazione modale Γ_i sono espressi in funzione di Φ_i con la formula 4.8:

$$\Gamma_i = \frac{\int_0^1 \Phi_i(x) dx}{\int_0^1 \Phi_i^2(x) dx}$$

4.8

Con il sopra descritto metodo si vuole calcolare la risposta di una struttura in termini di spostamenti e di accelerazioni secondo le seguenti formule. Queste formule possono essere utilizzate solo per strutture che rimangono in campo elastico andando a considerare un n numero di modi di vibrazione. Lo spostamento relativo totale viene calcolato con la formula 4.9:

$$u(x, t) = \sum_{i=1}^{\infty} u_i(x, t)$$

4.9

FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

Dove:

~ $u_i(x, t)$: è il contributo dell' i -th modo assumendo un valore di smorzamento finito.

L' i -esimo contributo in termini di spostamento relativo viene definito con la formula 4. 10:

$$u_{ri}(x, t) = \Gamma_i \Phi_i(x) D_i(t)$$

4. 10

Dove:

~ Γ_i : fattore di partecipazione modale dell' i -esimo modo di vibrare;

~ $\Phi_i(x)$: ampiezza della i -esima forma modale alla coordinata adimensionale x ;

~ $D_i(t)$: è la deformazione di un sistema a un grado di libertà (1GDL) corrispettiva all'azione sismica considerata

La risposta dell' i -esimo sistema soggetto ad accelerazione segue la formula 4. 11

$$\ddot{D}_i(t) + 2\xi_i \omega_i \dot{D}_i(t) + \omega_i^2 D_i(t) = -\Gamma_i \ddot{u}_g(t)$$

4. 11

Dove:

~ $\ddot{D}_i(t)$: è l'accelerazione relativa di un sistema a un grado di libertà (1GDL) corrispettiva all'azione sismica considerata;

~ \dot{D}_i : è la velocità relativa di un sistema a un grado di libertà (1GDL) corrispettiva all'azione sismica considerata;

~ ξ_i : smorzamento corrispettivo all' i -esimo modo considerato, considerato pari a 5%;

Risolvendo la sopra citata equazione differenziale di secondo grado è stato possibile ricavare le varie accelerazioni ai vari piani. L'accelerazione assoluta è stata calcolata con la formula 4. 12:

$$\ddot{u}^t(x, t) \cong \ddot{u}_g(t) + \sum_{i=1}^n \Phi_i \ddot{D}_i(t) \Gamma_i$$

4. 12

Come detto in precedenza l'analisi non uniforme si avvale degli spostamenti risultanti ai piani. Il codice Matlab descritto è inizialmente destinato al calcolo degli spostamenti relativi ai piani. Per ottenere gli spostamenti assoluti si è integrato, due volte, l'accelerazione del suolo in esame e poi sommata ad ogni spostamento relativo ottenuto. Di seguito la formula 4. 13 viene usata per calcolare gli spostamenti assoluti ai piani.

$$u_i(x, t) = u_g(t) + \Gamma_i \Phi_i(x) D_i(t)$$

4. 13

FACCIALE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

Dove:

- ~ u_g : è lo spostamento del suolo;
- ~ $\Gamma_i \Phi_i(x) D_i(t)$: è lo spostamento relativo.

Il codice Matlab descritto è stato soggetto a verifica prima di essere adoperato per la facciata di vetro. Si è voluto infatti confrontare i risultati in termini di accelerazione assolute e spostamenti relativi fra i risultati ottenuti tramite il modello analitico e i risultati ottenuti tramite l'utilizzo del software SAP2000. Per rendere equivalenti le grandezze dinamiche di partenza, si è imposto il primo periodo T_1 della struttura in esame nel codice analitico pari al periodo calcolato in SAP2000. Successivamente il parametro α_0 è stato calcolato in modo tale che i primi 3 periodi (T_1, T_2, T_3), ottenuti tramite il metodo analitico, fossero uguali a quelli ottenuti tramite l'analisi eseguita con SAP2000. I periodi propri della struttura in esame sono descrittivi delle caratteristiche di massa e rigidezza, ecco perché andando ad impostare il parametro α_0 in modo tale da ottenere i medesimi periodi si sono garantite le medesime caratteristiche dinamiche nei due modelli.

Le accelerazioni e gli spostamenti ai vari piani sono stati calcolati tramite due software differenti: Matlab e SAP2000. Sono state eseguite tre analisi in totale in modo tale da verificare i risultati ottenuti. Una con Matlab, implementando il metodo analitico sopra riportato e le altre due con SAP2000. In entrambi i casi è stata eseguita una Time-History Analysis; infatti, questo tipo di analisi viene eseguita quando si è a conoscenza di dell'accelerazione sollecitante.

4.2 SAP

IN SAP2000 si sono eseguite tre diverse analisi. Una analisi "Modal" destinata ad ottenere le caratteristiche modali della struttura in esame e due con lo scopo di calcolare le varie accelerazioni e i vari spostamenti dei piani definite "Time History Analysis".

~ *ANALISI MODALE:*

Questa analisi ha lo scopo di calcolare i periodi e le forme modali della struttura considerata. Il primo periodo risultante di questa analisi viene in seguito inserito nel codice Matlab in modo tale da rendere i due modelli paragonabili. L'analisi modale è un problema agli auto-vettori, definiti come forme modali, le quali sono descrittive del modo di vibrare della struttura a meno di una

FACCIALE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

costante. Di conseguenza essi non esplicitano il valore dello spostamento ma bensì la forma della struttura rispetto ad un determinato modo di vibrare.

~ *MODAL TIME-HISTORY ANALYSIS:*

dove è stata effettuata l'integrazione delle equazioni del moto con la sommatoria delle equazioni modali con uno smorzamento prefissato. In questa analisi sono state considerati esclusivamente i primi 5 modi di vibrare;

~ *DIRECT INTEGRATION TIME-HISTORY ANALYSIS:*

in questo caso l'integrazione delle equazioni del moto è avvenuta senza l'uso della sommatoria tra le diverse equazioni modali. La differenza rispetto all'analisi modale consiste nel fatto che questa analisi prenderà in considerazione non solo i primi 5 modi di vibrare ma bensì tutti i modi.

In questo caso lo smorzamento è stato calcolato secondo Rayleigh.

In entrambi i casi si è posta molta attenzione sul passo di integrazione delle equazioni. Infatti, SAP2000 richiede sia il passo di input che il passo di output, dove il passo di output coincide con il passo di integrazione. Il passo di integrazione sarà pari ad un decimo il passo di input, in modo tale da ottenere una considerevole precisione nei risultati.

4.3 STRUTTURA IN ESAME.

Le analisi riguardanti la seguente struttura hanno lo scopo esclusivo di validare il metodo implementato in Matlab. Questa struttura non interessa la facciata che sarà oggetto di studio in seguito.

La struttura in esame è una struttura intelaiata in acciaio S355 a pianta quadrata 30mx30m con 5 campate per lato ciascuna lunga 6m. L'altezza complessiva dell'edificio è 16,8m di cui ogni piano è alto 3,36m. Le colonne hanno una sezione C300-6 mentre le travi sono delle IPE180. I piani della struttura sono caratterizzati da un comportamento rigido diaframmatico, di conseguenza non sono ammesse eventuali distorsioni lungo il piano xy e un'accelerazione impostata in una determinata direzione provocherà accelerazioni ai piani esclusivamente nella medesima direzione.

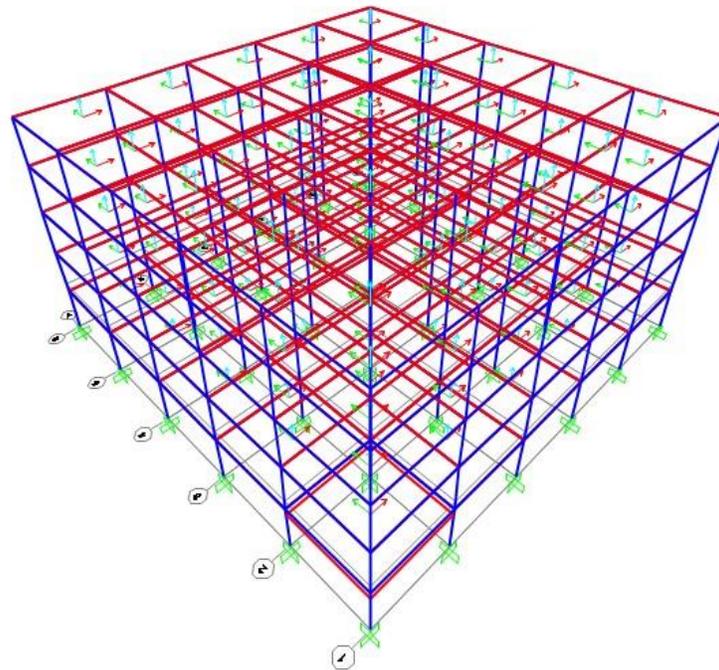


FIG 4. 1 – STRUTTURA IN ESAME

4.3.1 DEFINIZIONI MATERIALE E SEZIONI

Sia le colonne che le travi sono composte dall'acciaio S355. Le colonne della struttura in esame sono dei profili C300-6 mentre le travi sono delle IPE180.

4.3.2 ACCELEROGRAMMA GENERATO

Si è sfruttato il generatore di accelerogrammi “*Simqke*” per scegliere un'accelerogramma come azione sollecitante sia per il modello analitico che per il modello in SAP. In questo caso si è scelto un terreno di tipo A in zona di media sismicità. La normativa NTC2018 indica che ogni accelerogramma debba avere una durata di 40s totali, di cui divisa in 20s di strong-motion e 20s caratterizzati da un'accelerazione pari a 0 m/s^2 . Tuttavia, l'analisi descritta in questo capitolo ha il solo scopo di validare il modello Matlab e non di fornire grandezze significative per la struttura in esame, motivo per cui si è scelto di effettuare le analisi considerando la durata dell'accelerogramma pari a 20s. Di seguito l'accelerogramma usato come input.

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

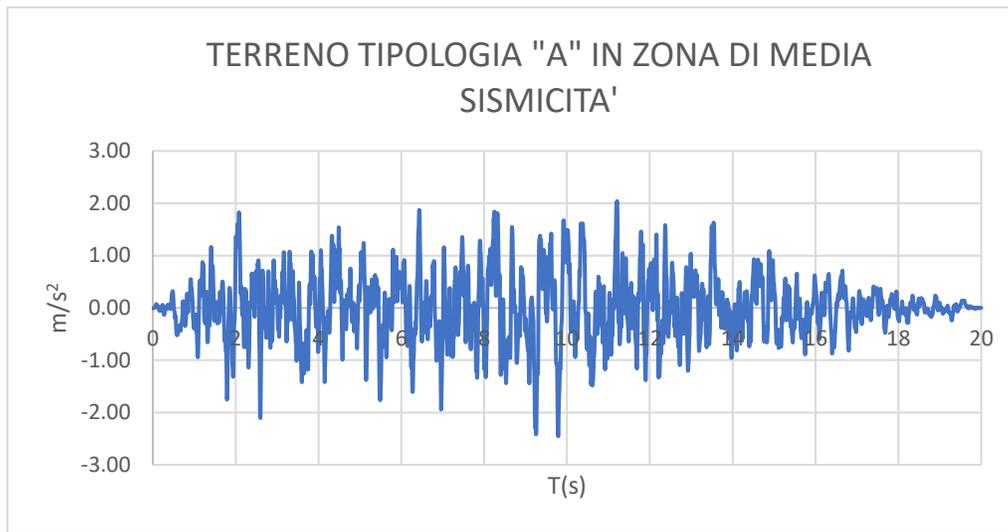


FIG 4. 2 – ACCELEROGRAMMA SOLLECITANTE

4.3.3 DEFINIZIONE DELLE MASSE UTILIZZATE

Le masse usate nel modello sono quelle calcolate considerando esclusivamente il peso proprio di travi e colonne. Nessun altro tipo di carico è stato considerato.

4.3.4 CONFRONTO RISULTATI

4.3.4.1 CONFRONTO PERIODI:

Come descritto in precedenza il primo periodo è stato impostato in Matlab dopo averlo calcolato tramite SAP. Si nota come all'aumentare dell'ordine dei modi si abbia progressivamente un aumento di differenza fra i due risultati. Tuttavia, i primi modi sono quelli più influenti, ovvero quello che comprendono la maggior parte di percentuale di massa.

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

	MATLAB	SAP	DIFFERENZA %
T1 (s)	0,63	0,63	0,00%
T2 (s)	0,20	0,20	0,00%
T3 (s)	0,11	0,11	-0,97%
T4(s)	0,07	0,08	-6,32%
T5(s)	0,05	0,06	-16,67%

TAB 4. 1 – CONFRONTO PRIMI PERIODI

4.3.4.2 CONFRONTO FORME MODALI:

I risultati delle forme modali tendono a seguire i risultati dei periodi calcolati, infatti, col crescere dell'iesimo numero di modo considerato, le due formi modali aumentano il loro discostamento. Le prime forme modali sono quelle che governano maggiormente il comportamento della struttura in esame.

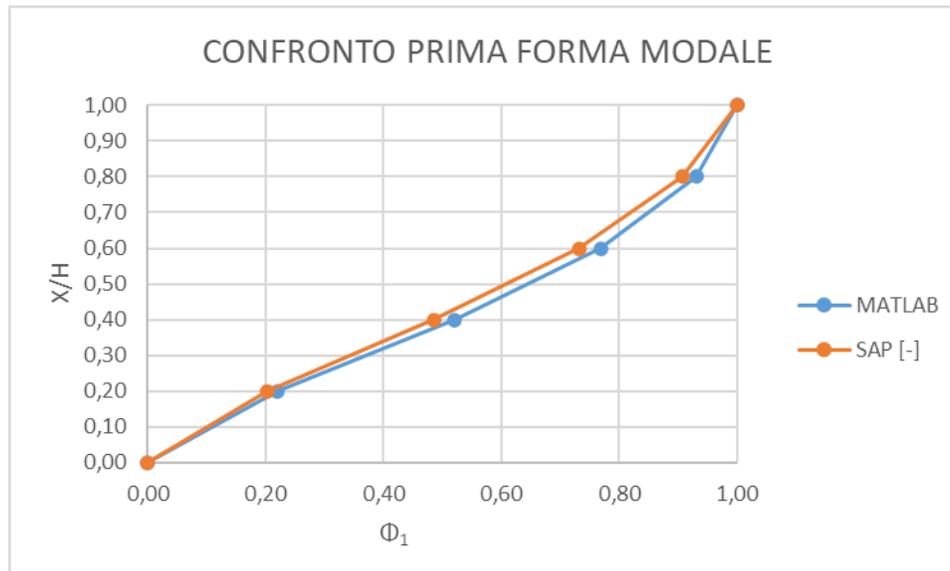


FIG 4. 3 – PRIMA FORMA MODALE

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

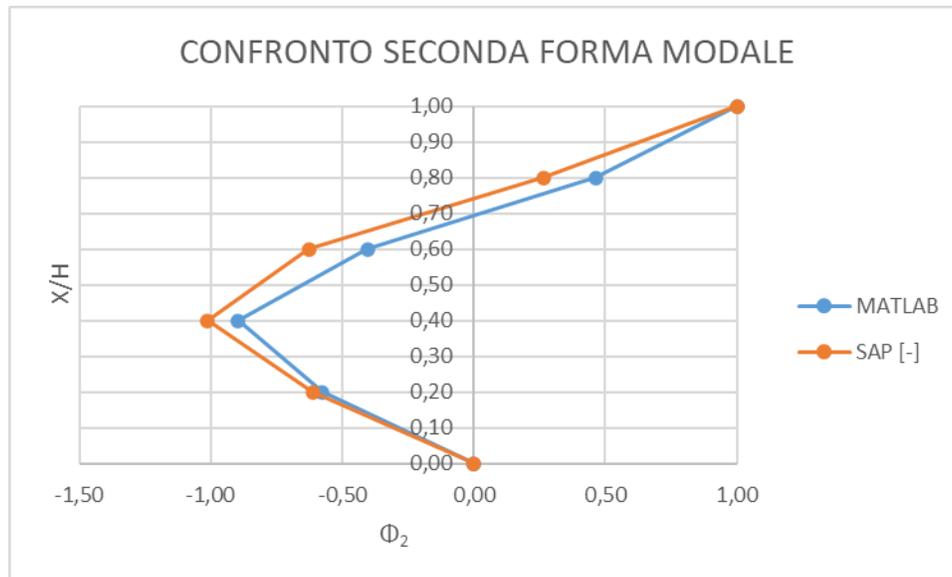


FIG 4. 4 – SECONDA FORMA MODALE

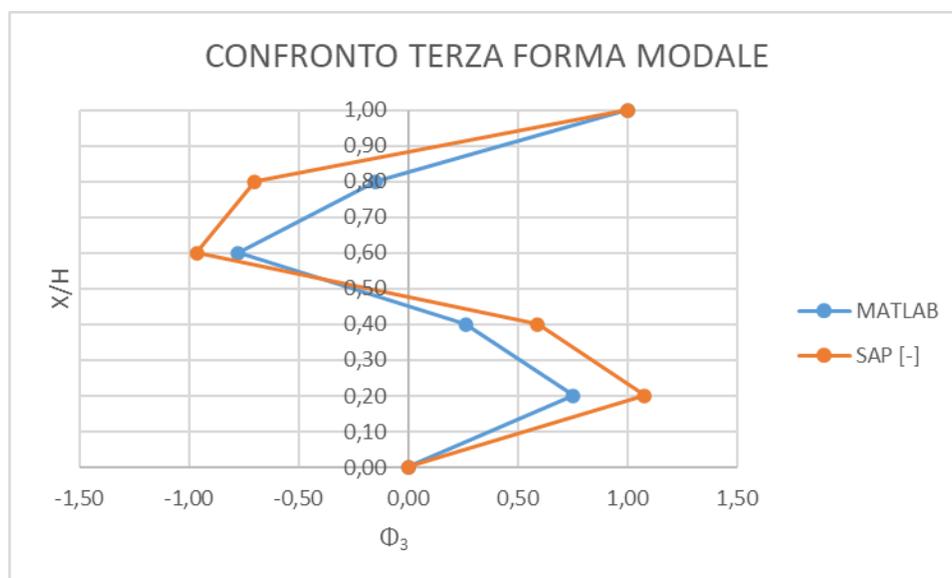


FIG 4. 5 – TERZA FORMA MODALE

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

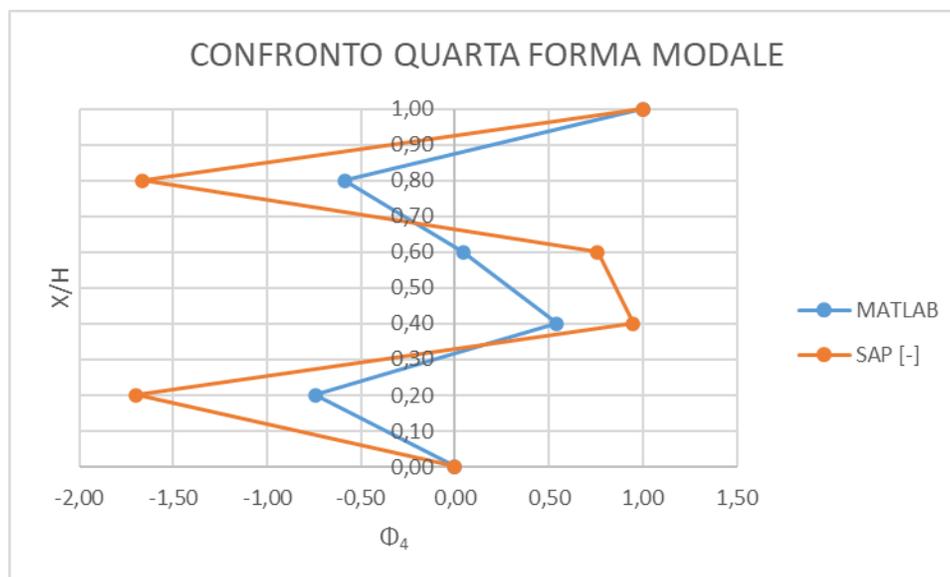


FIG 4. 6 – QUARTA FORMA MODALE

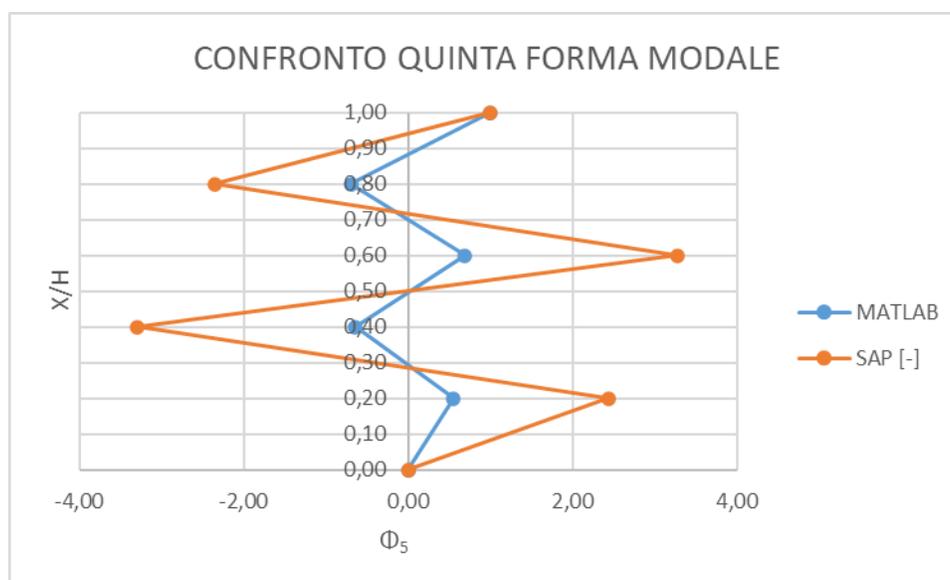


FIG 4. 7 – QUINTA FORMA MODALE

4.3.4.3 ACCELERAZIONI ASSOLUTE

La struttura, inizialmente in stato di quiete, viene sollecitata con l'accelerogramma precedentemente riportato. Le accelerazioni assolute sono considerate rispetto allo stato di quiete iniziale, di conseguenza le accelerazioni considerate al piano zero saranno uguali a quelle date dall'accelerogramma iniziale. Le accelerazioni assolute sono calcolate secondo la formula 4. 14:

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

$$\ddot{u}^t(x, t) \cong \ddot{u}_g(t) + \sum_{i=1}^n \Phi_i \ddot{D}_i(t) \Gamma_i$$

4.14

Dove:

- ~ x : è un valore adimensionale che va da 0 a 1. Esso rappresenta l'altezza relativa, dunque 0 corrisponderà al piano terra (piano 0) mentre 1 corrisponderà all'ultimo piano.
- ~ t : è la variabile tempo pari alla durata dell'accelerogramma;
- ~ n : è il numero di modi considerati, in questo caso $n=5$ ovvero pari al numero di piani considerati.

Di seguito i risultati:

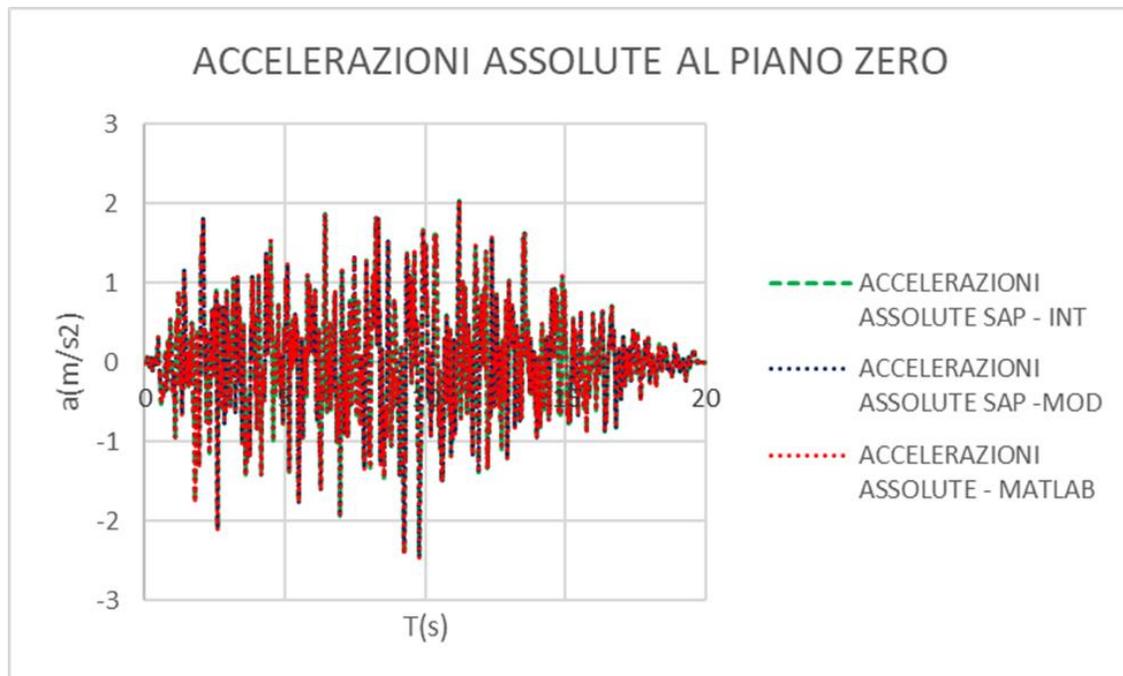


FIG 4. 8 – CONFRONTO ACCELERAZIONI ASSOLUTE AL PIANO ZERO

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

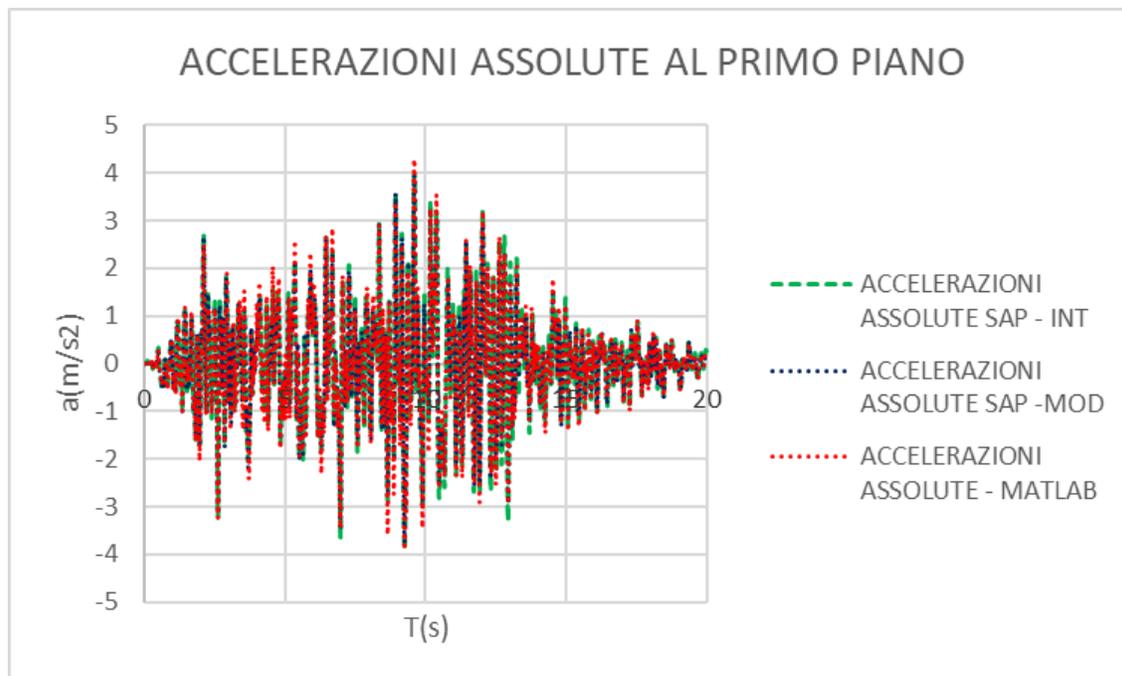


FIG 4. 9 - CONFRONTO ACCELERAZIONI ASSOLUTE AL PRIMO PIANO

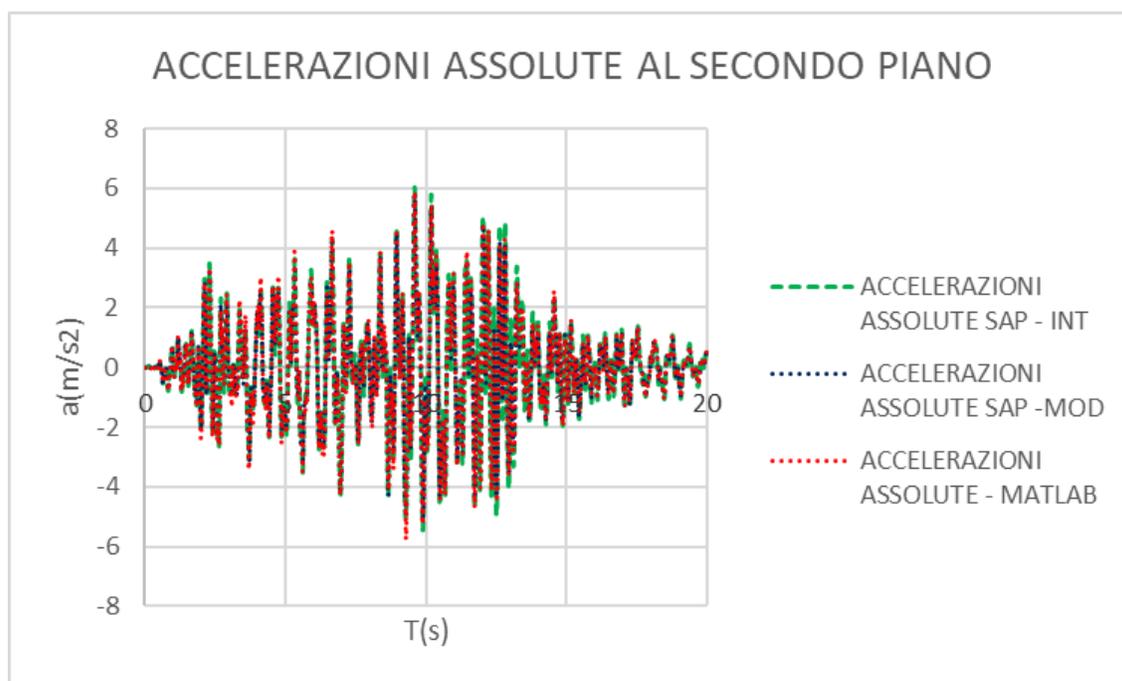


FIG 4. 10 - CONFRONTO ACCELERAZIONI ASSOLUTE AL SECONDO PIANO

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

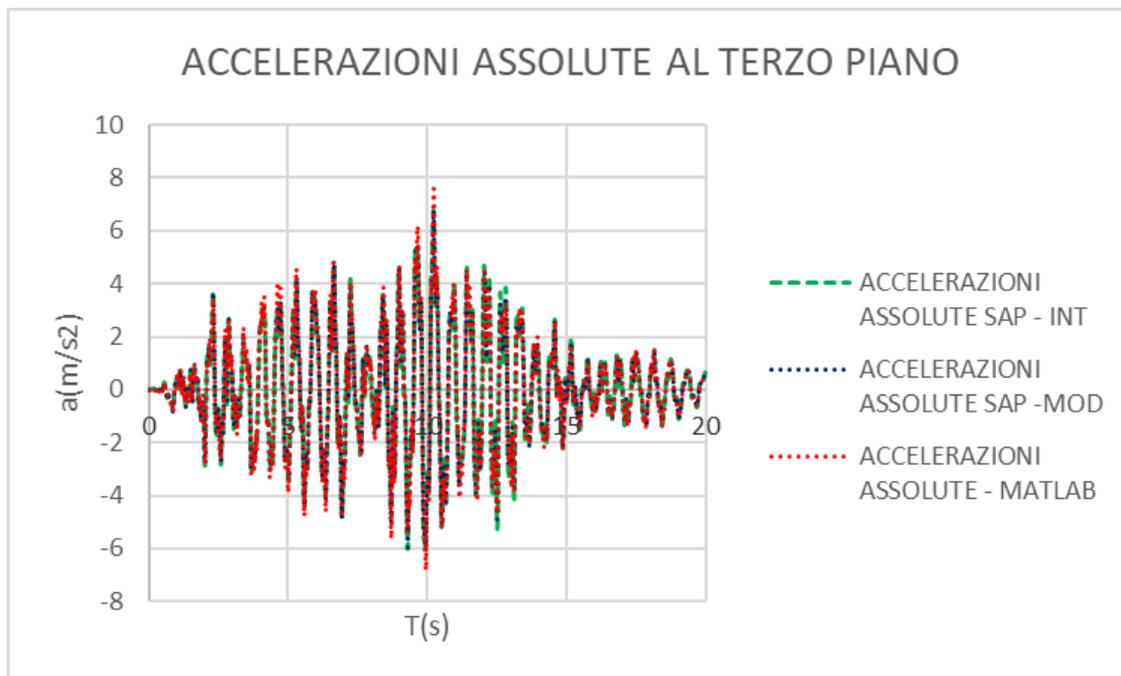


FIG 4. 11 - CONFRONTO ACCELERAZIONI ASSOLUTE AL TERZO PIANO

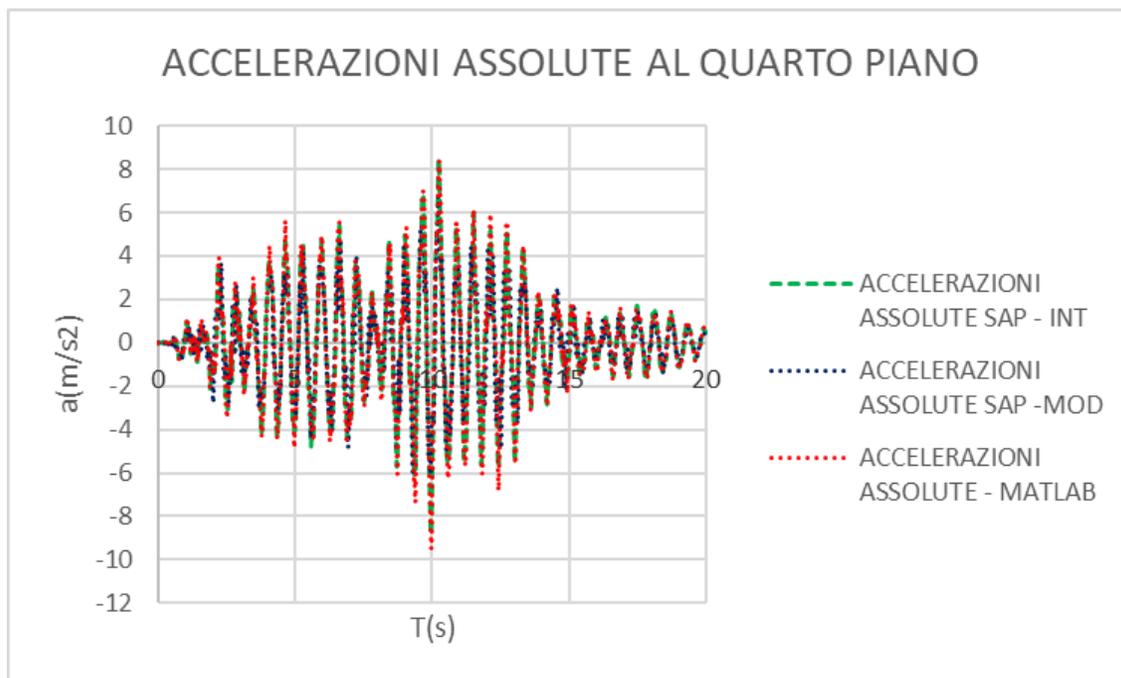


FIG 4. 12 - CONFRONTO ACCELERAZIONI ASSOLUTE AL QUARTO PIANO

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

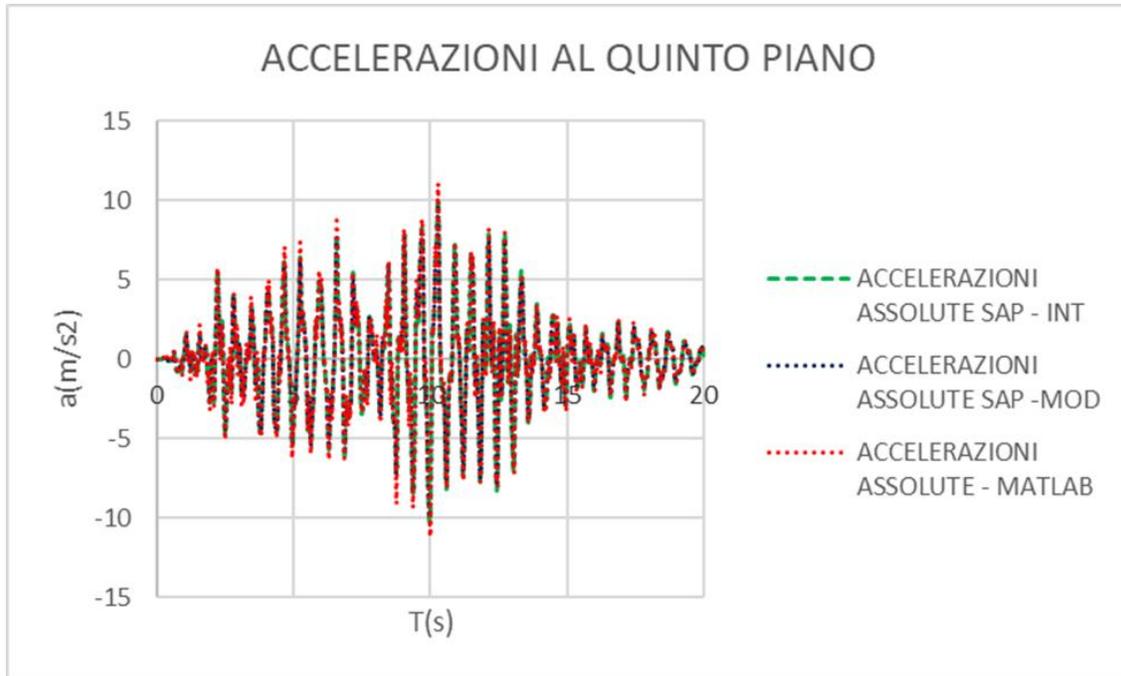


FIG 4. 13 - CONFRONTO ACCELERAZIONI ASSOLUTE AL QUINTO PIANO

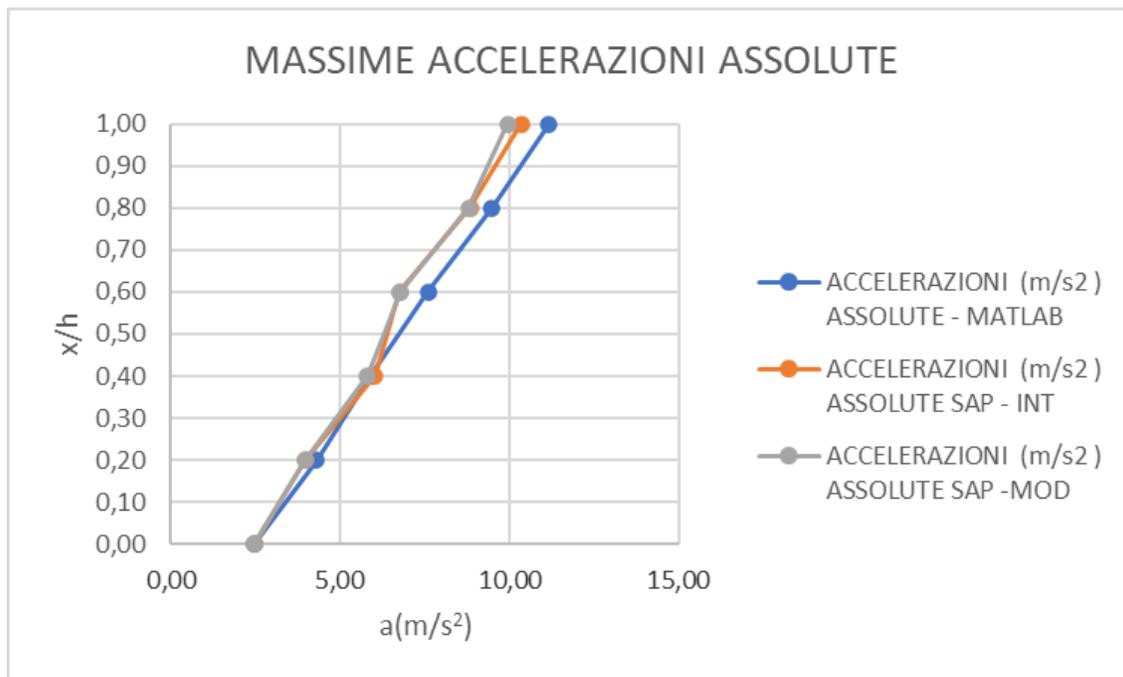


FIG 4. 14 - MASSIME ACCELERAZIONI ASSOLUTE

Le accelerazioni assolute calcolate con Matlab sovrastimano le accelerazioni ai piani. Il punto di partenza delle tre stime è comune ed è uguale a $x=2,45$. Questo punto è il PGA (Peak Ground Acceleration) dell'accelerazione di input.

FACCIALE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

ACCELERAZIONI ASSOLUTE			
MATLAB			
x/h	[m/s ²]	SAP-INT [m/s ²]	SAP-MOD [m/s ²]
0.00	2.45	2.45	2.45
0.20	4.29	3.98	3.96
0.40	5.89	6.04	5.80
0.60	7.60	6.76	6.77
0.80	9.49	8.83	8.80
1.00	11.17	10.35	9.95

TAB 4. 2 - VALORI ACCELERAZIONI ASSOLUTE

4.3.4.4 SPOSTAMENTI RELATIVI

Nel caso degli spostamenti relativi il codice MATLAB sovrastima lievemente gli spostamenti, le tre analisi tendono a concidere in ogni punto. Infatti, intersecano l'asse x nei medesimi punti e i picchi tendono a coincidere. Gli spostamenti relativi sono stati calcolati con la formula 4. 15:

$$u_i(x, t) = \Gamma_i \Phi_i(x) D_i(t)$$

4. 15

Ovvero, agli spostamenti assoluti sono stati sottratti gli spostamenti causati dall'accelerazione del suolo. Infatti per spostamenti relativi si intendono gli spostamenti rispetto agli spostamenti causati dal moto del terreno.

FACCiate IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

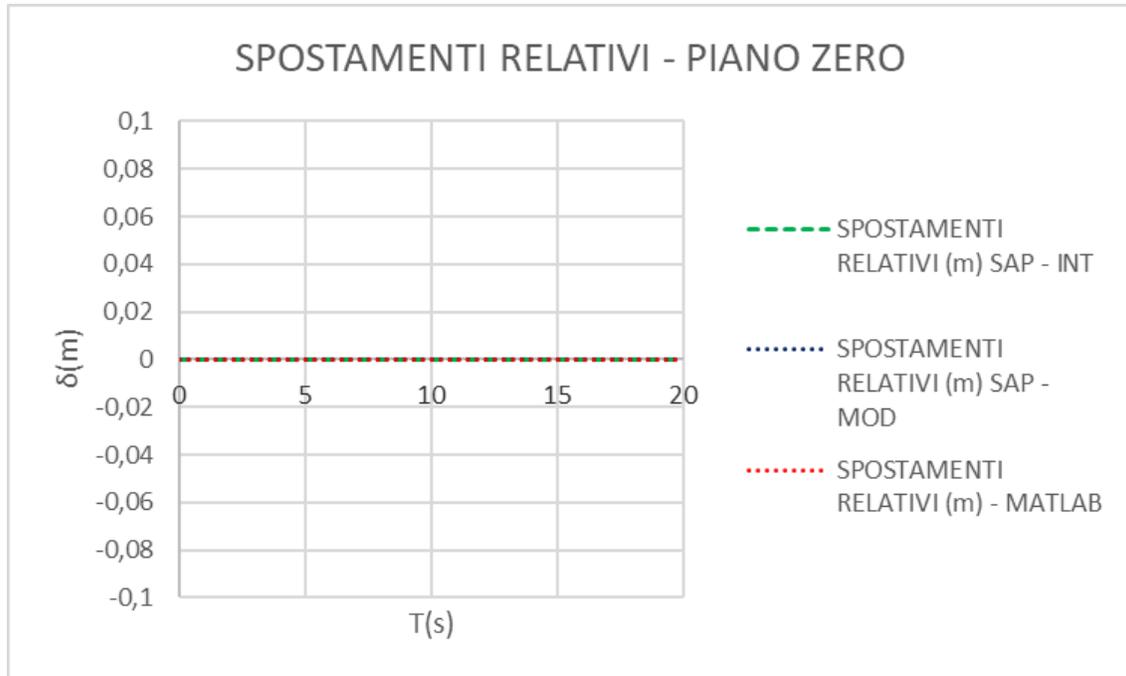


FIG 4. 15 -SPOSTAMENTI RELATIVI DEL PIANO ZERO

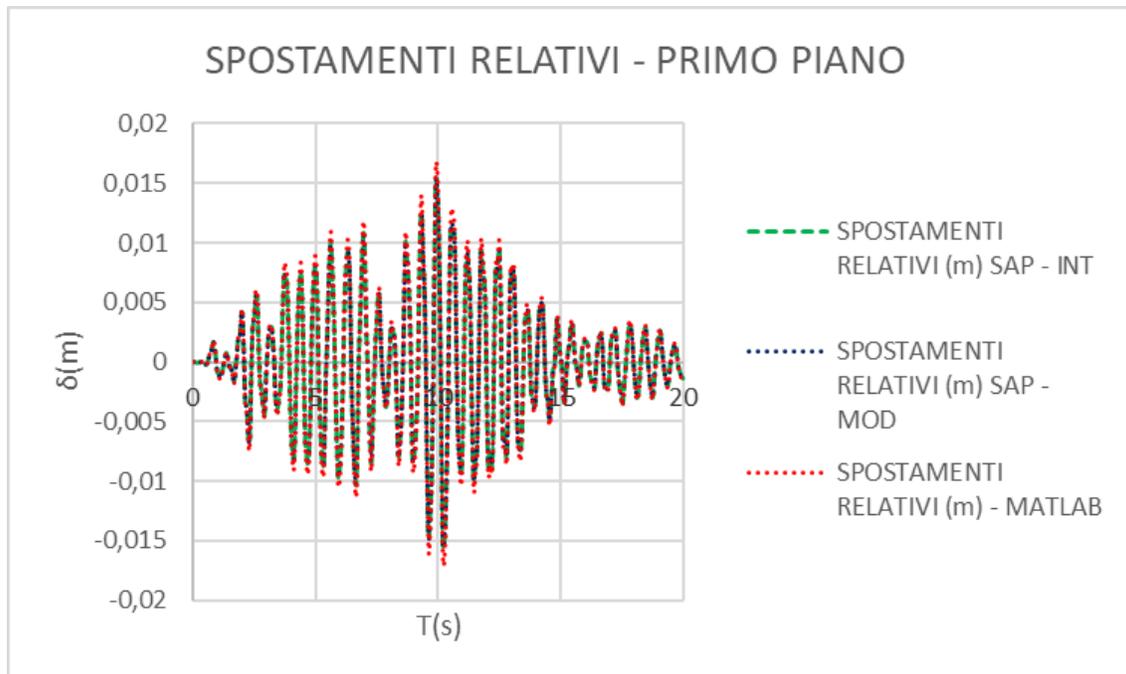


FIG 4. 16 – SPOSTAMENTI RELATIVI DEL PRIMO PIANO

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

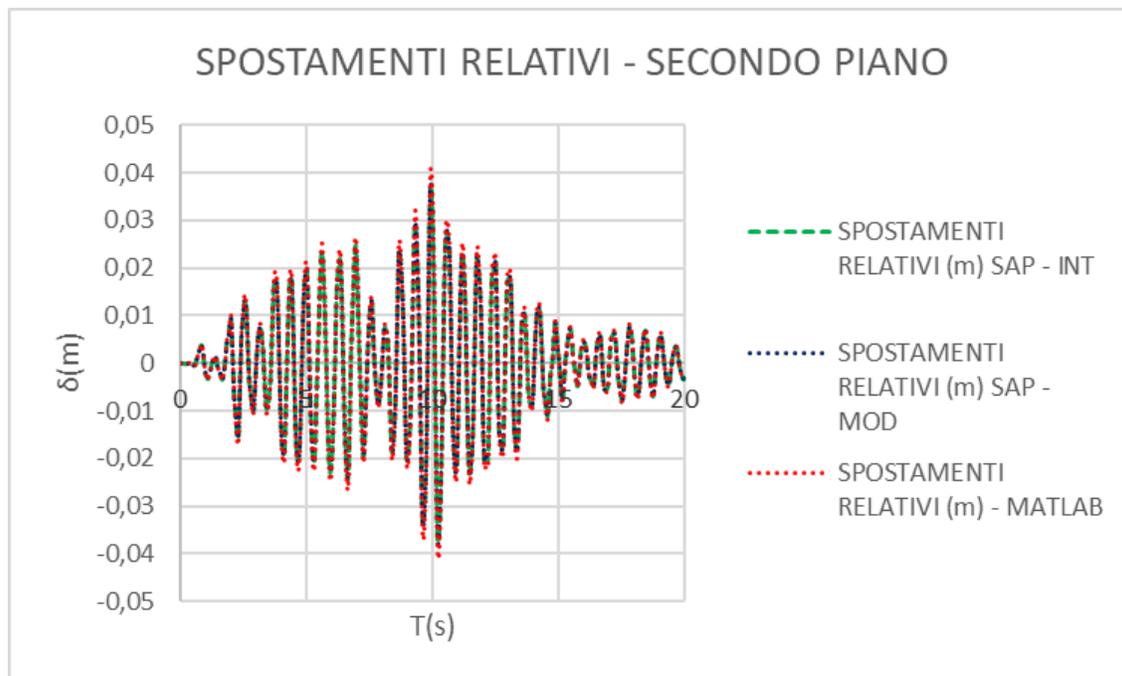


FIG 4. 17 – SPOSTAMENTI RELATIVI DEL SECONDO PIANO

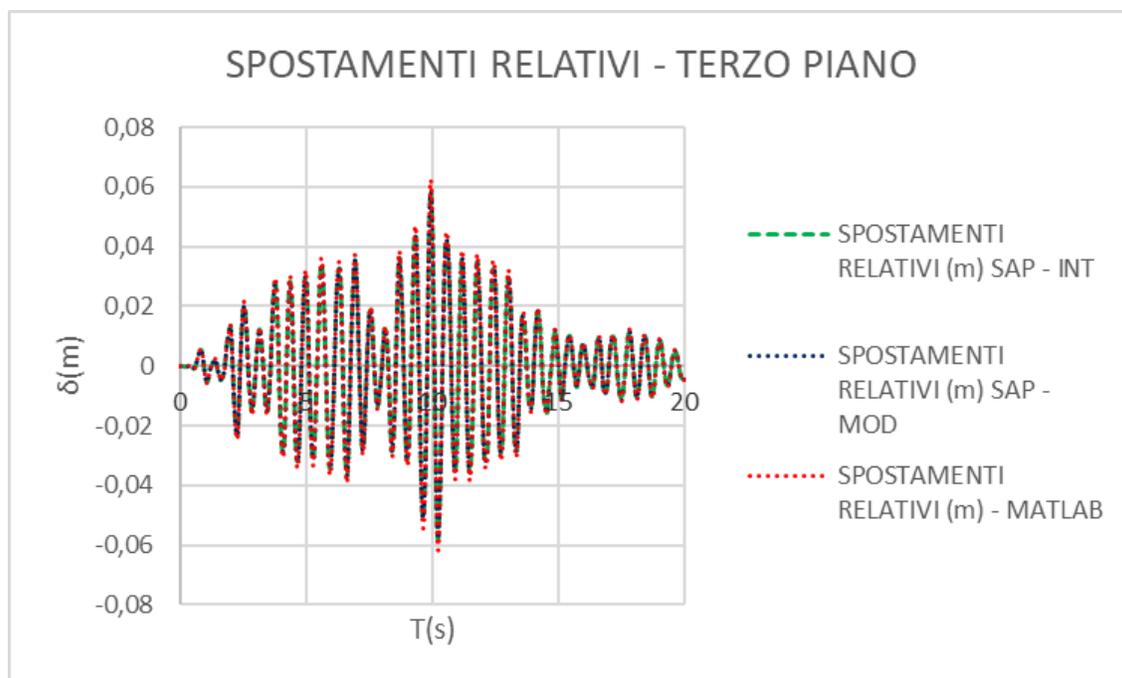


FIG 4. 18 – SPOSTAMENTI RELATIVI DEL TERZO PIANO

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

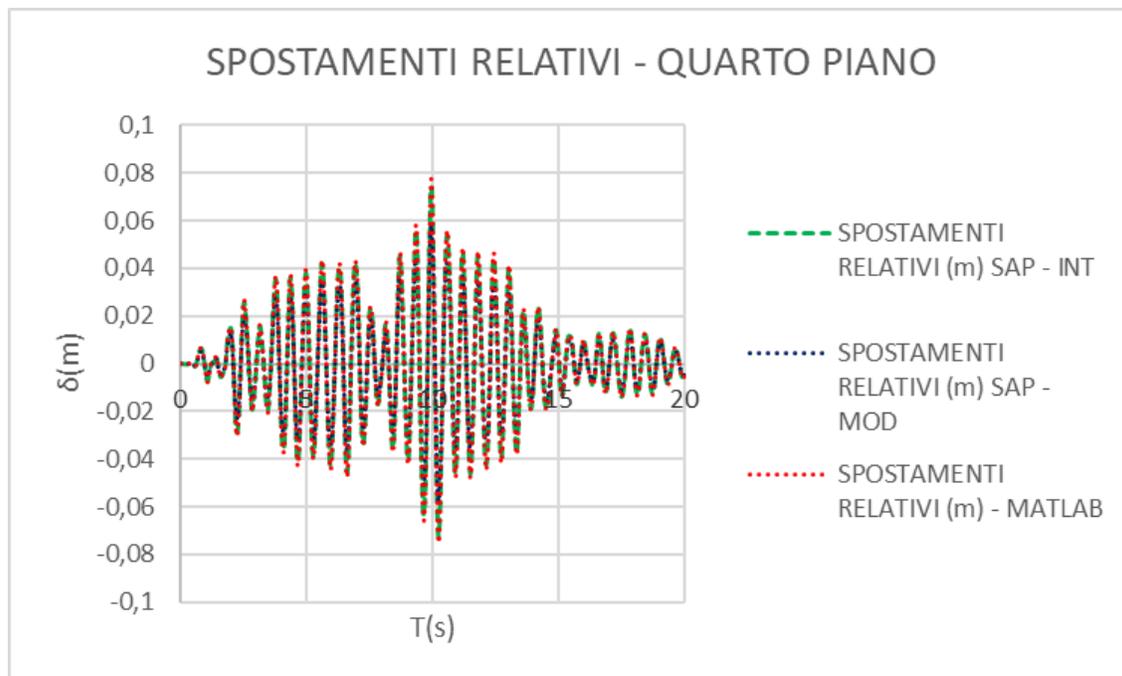


FIG 4. 19 – SPOSTAMENTI RELATIVI DEL QUARTO PIANO

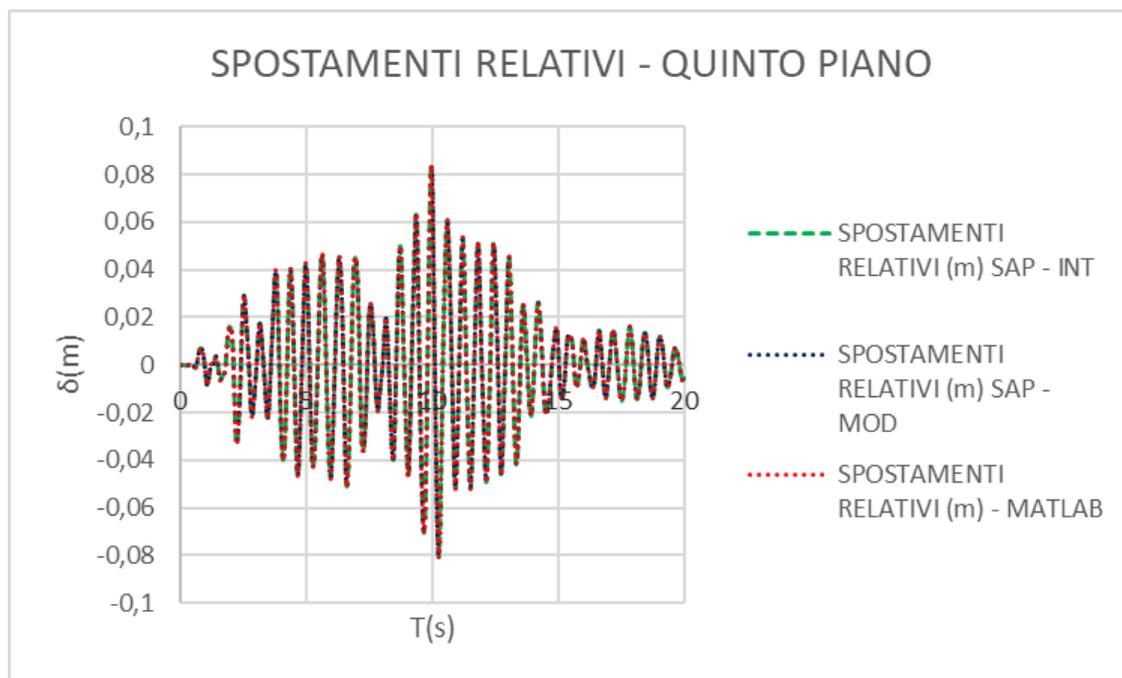


FIG 4. 20 – SPOSTAMENTI RELATIVI DEL QUINTO PIANO

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

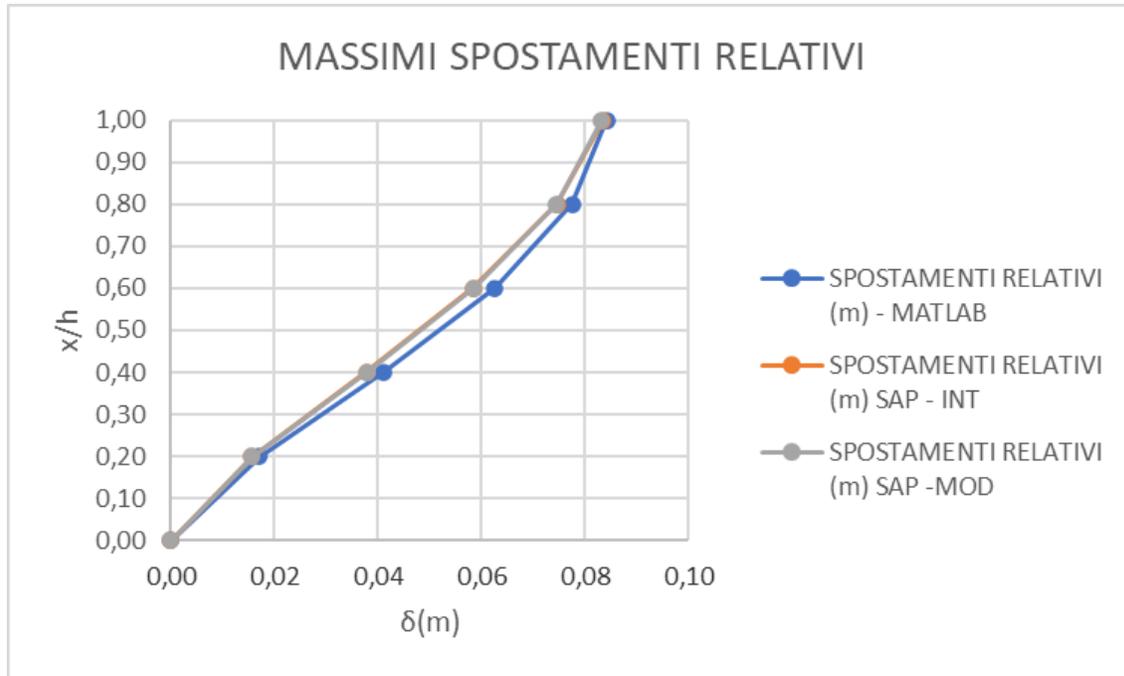


FIG 4. 21 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI

SPOSTAMENTI RELATIVI			
x/h	MATLAB	SAP-INT	SAP-MOD [m]
	[m]	[m]	
0.00	0.000	0.000	0.000
0.20	0.017	0.016	0.016
0.40	0.041	0.038	0.038
0.60	0.063	0.058	0.059
0.80	0.078	0.075	0.074
1.00	0.084	0.083	0.083

TAB 4. 3 - VALORI SPOSTAMENTI RELATIVI

5. ACCELEROGRAMMI

5.1 NORME VIGENTI

La creazione degli accelerogrammi è avvenuta tramite la creazione degli spettri elastici, per diverse sismicità e diverse categorie di terreno, in Simqke. Infatti, sono presenti cinque diverse categorie di terreno: A, B, C, D ed E. Si vogliono considerare differenti tipologie di terreno per tenere conto dell'influenza delle azioni locali sull'azione sismica. Queste diverse tipologie tengono anche conto dell'influenza della geologia sull'azione sismica. I terreni sono divisi secondo la seguente tabella:

Tipo di Terreno	Descrizione profilo stratigrafico	V_{S30} (m/s)	N_{SPT} (colpi/30cm)	cu (kPa)
A	Roccia o altre formazioni geologiche tipo-roccia, che includono strati superficiali di materiale più debole di spessore massimo di 5 m.	>800		
B	Depositi di sabbia molto densa, ghiaia, o argilla molto consistente, con spessore di almeno parecchie decine di metri, caratterizzati da un graduale aumento delle proprietà meccaniche con la profondità.	360-800	>50	>250
C	Depositi profondi di sabbia densa o mediamente addensata, ghiaia o argilla consistente con spessore variabile da parecchie decine di metri a molte centinaia di metri.	180-360	15-50	70-250
D	Depositi di terreni sciolti o poco addensati (con o senza alcuni strati coesivi di bassa consistenza), o di terreni per la maggior parte coesivi da poco a mediamente consistenti.	<180	<15	<70
E	n profilo di terreno costituito da strati superficiali alluvionali con valori di V_s simili a quelli dei tipi C o D e spessore che varia tra circa 5 m e 20 m, giacente su un substrato di materiale più rigido con $V_s > 800$ m/s			
S₁	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) ed elevato contenuto di acqua.	<100 (indicativo)		10-20
S₂	Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensibili o qualsiasi altro profilo di terreno non incluso nei tipi A o S ₁			

TAB 5. 1 – DESCRIZIONE PROFILO TOPOGRAFICO

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

La normativa *Eurocodice 8* raccomanda che il sito sia classificato in base alla velocità media dell'onda di taglio $V_{s,30}$ se disponibile. In mancanza di disponibilità verrà utilizzato il valore di N_{SPT} . La velocità di taglio verrà calcolata secondo la formula 5. 1:

$$v_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}}$$

5. 1

Dove:

- ~ h_i : indica lo spessore in metri dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30m superiori;
- ~ V_i : la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio dell'ordine di 10^{-5} o meno) della formazione dello strato i -esimo per un totale di N strati presenti.

Se il terreno viene classificato secondo le categorie S1 o S2 sono richiesti studi speciali, in particolare, per un terreno in categoria S2 deve essere tenuta in considerazione la possibilità di rottura del terreno sotto l'azione sismica.

Ai fini della EN 1998 i territori nazionali devono essere suddivisi dalle autorità nazionali in zone secondo il rischio sismico locale che deve essere costante su tutta la zona. Nella maggior parte dei casi il rischio sismico secondo la normativa EN1998 viene descritto per mezzo di un unico parametro, ovvero il valore di riferimento del picco di accelerazione a_g in un terreno di tipo A. Questo valore di riferimento del picco di accelerazione a_g di un terreno di tipologia A può derivare da mappe di zonazione, esso corrisponde al periodo di ritorno di riferimento TNCR dell'azione sismica secondo il requisito di non collasso.

Ai sensi della legge EN 1998, il moto di un punto della superficie soggetto ad un'eccitazione sismica viene descritto tramite lo spettro di risposta elastico dell'accelerazione del terreno, questo viene anche detto "Spettro di risposta elastico". Nel caso oggetto di studio, si considererà una singola facciata dell'edificio, di conseguenza verrà considerata la componente orizzontale dell'accelerazione (ortogonale alla facciata in esame). Secondo la legge EN 1998, l'azione sismica orizzontale verrà descritta mediante due componenti orizzontali ortogonali determinate mediante il medesimo spettro di risposta.

Come riportato in precedenza esistono tre diversi livelli di intensità riguardo l'accelerazione:

- ~ Intensità bassa: $a_g=0,15g$;
- ~ Intensità media: $a_g=0,25g$;
- ~ Intensità alta: $a_g=0,35g$;

FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

I valori sopra riportati sono validi per un suolo di tipo A, le accelerazioni degli altri tipi di suolo (B, C, D, ed E) sono descritte con la seguente equazione 5. 2:

$$a = S a_g$$

5. 2

Dove:

- ~ a_g è l'accelerazione del terreno di un progetto in un terreno di tipo A;
- ~ S è il coefficiente del terreno;
- ~ La generazione degli spettri elastici avviene secondo le seguenti regole matematiche date dalla normativa:

$$0 \leq T \leq T_B: S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot 2,5$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \leq 4s: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$$

Dove:

- ~ T_B : è il tempo di inizio del tratto costante dello spettro elastico;
- ~ T_C : è il tempo di fine del tratto costante dello spettro elastico;
- ~ T_D : è il tempo che sancisce l'inizio della risposta con uno spostamento costante;
- ~ $S_e(T)$: valori dello spettro elastico di risposta;
- ~ S : coefficiente del terreno;
- ~ a_g : accelerazione di picco di un terreno di tipo A;
- ~ η : è il coefficiente correttivo dello smorzamento.

Dove η viene definito con la formula 5. 3:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55$$

5. 3

Dove:

ξ : rappresenta il valore demmo smorzamento viscoso della struttura, espresso in percentuale.

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

I valori da attribuire a T_B , T_c , T_D e S per ogni tipo di terreno possono essere trovati nella relativa appendice nazionale.

TIPO DI TERRENO	S	$T_B(s)$	$T_c(s)$	$T_D(s)$	ag [g] (bassa)	ag [g] (media)	ag [g] (alta)
A	1,00	0,15	0,40	2,00	0,15	0,25	0,35
B	1,20	0,15	0,50	2,00	0,18	0,30	0,42
C	1,15	0,20	0,60	2,00	0,17	0,29	0,40
D	1,35	0,20	0,80	2,00	0,20	0,34	0,47
E	1,40	0,15	0,15	2,00	0,21	0,35	0,49

TAB 5. 2 – TIPO 1 [6]

Come riportato in precedenza verrà utilizzato il programma *Simqke* per generare gli accelerogrammi. L'*EUROCODICE 8* dirama delle regole anche per essi:

- ~ Gli accelerogrammi devono essere equivalenti agli spettri sopra descritti con uno smorzamento viscoso del 5%;
- ~ La durata degli accelerogrammi deve essere coerente con l'intensità e le altre caratteristiche dell'evento sismico fondamentali per la determinazione di a_g ;
- ~ Nel caso di indisponibilità dei dati specifici del sito si raccomanda che la durata minima della parte stazionaria degli accelerogrammi sia uguale a 10s;
- ~ Negli accelerogrammi teorici dovranno essere rispettate le seguenti regole:
 - a) È raccomandato, l'utilizzo minimo di 3 accelerogrammi;
 - b) È raccomandato che la media dei valori di accelerazione della risposta spettrale corrispondente a periodo zero (calcolata dalle singole storie temporali) non sia minore del valore dato da $a_g S$ per la zona in oggetto;
 - c) Nell'intervallo di periodi tra $0,2T_1$ e $2T_1$, dove T_1 è il periodo fondamentale della struttura nella direzione in cui l'accelerogramma è applicato, si raccomanda che nessun valore dello spettro medio elastico con 5% di smorzamento;

5.2 ACCELEROGRAMMI USATI

Come riportato nel *paragrafo 5.2*, la normativa prende in considerazione le seguenti tipologie di suolo: A, B, C, D ed E. La facciata di vetro in questo caso è stata sottoposta esclusivamente alle accelerazioni provenienti da un terreno di tipo B, considerando sempre le zone di: bassa sismicità, media sismicità ed alta sismicità.

Per valutare le risposte della struttura una volta sottoposta alle accelerazioni la normativa predispone due alternative:

- ~ Si devono considerare 7 accelerogrammi, la risposta della struttura sarà considerata pari alla media delle 7 risposte derivanti dalle 7 sollecitazioni sismiche;
- ~ La struttura viene sottoposta ad esclusivamente 3 accelerogrammi e la risposta non sarà la media come nel caso precedente, bensì il caso peggiore fra i 3 considerati;

Si è scelto di sottoporre la struttura alla seconda procedura, ovvero di sottoporla a 3 accelerogrammi e di considerare il caso peggiore. Di conseguenza tramite *Simqke* sono stati generati 9 accelerogrammi: 3 per il suolo B con bassa sismicità, 3 con suolo B per media sismicità e 3 con suolo B per alta sismicità.

Di seguito vengono illustrati gli accelerogrammi generati e li spettri di partenza:

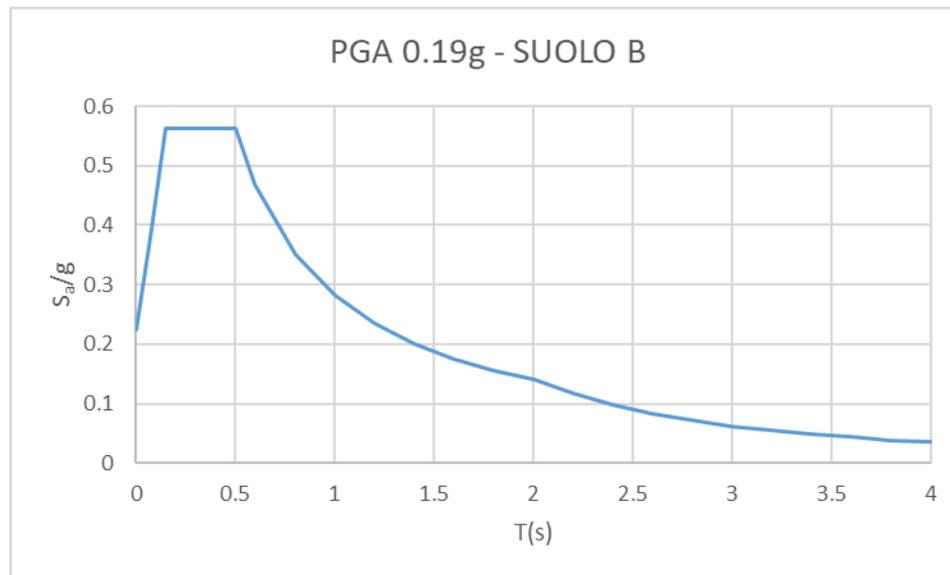


FIG 5.1 – SPETTRO SUOLO B PGA0.19g

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

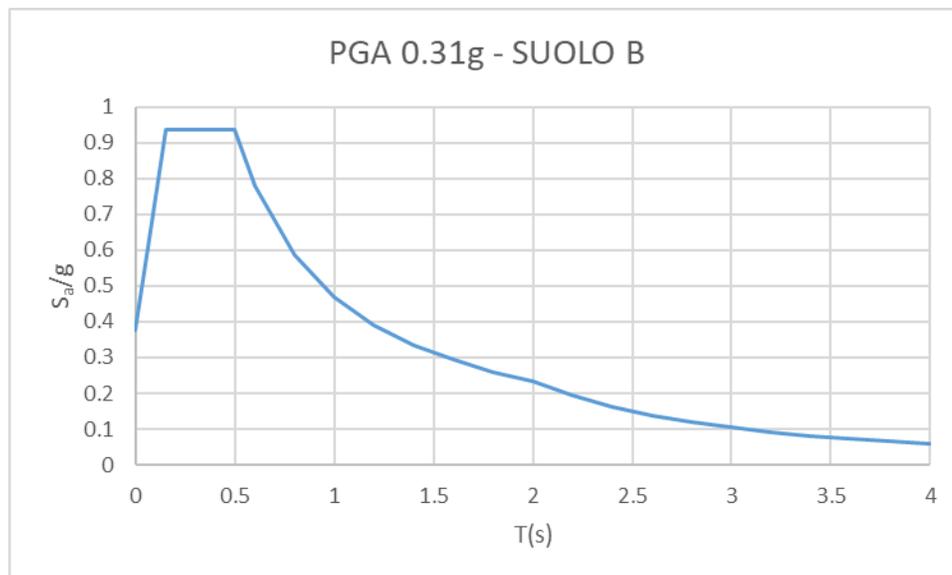


FIG 5. 2 – SPETTRO SUOLO B PGA0.31g

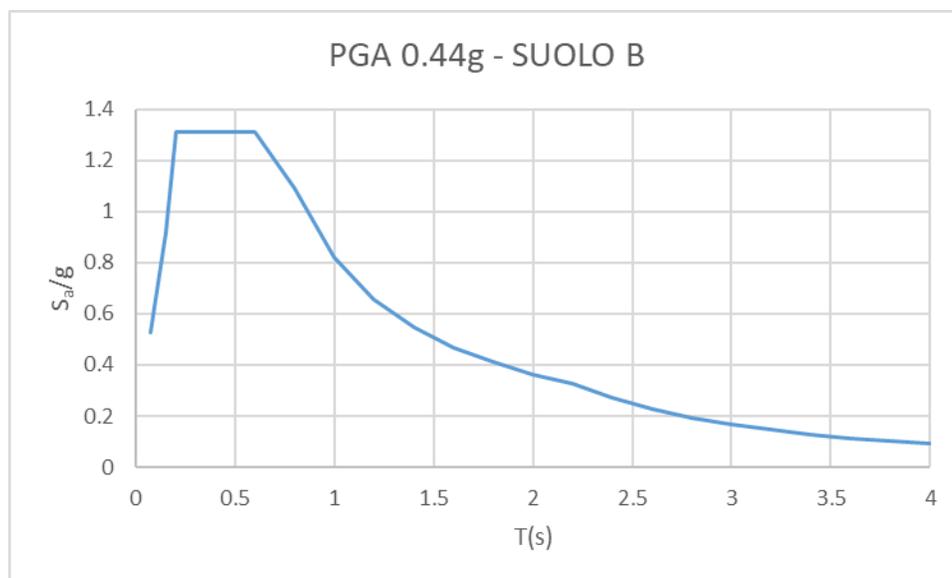


FIG 5. 3 – SPETTRO SUOLO B – PGA0.44g

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

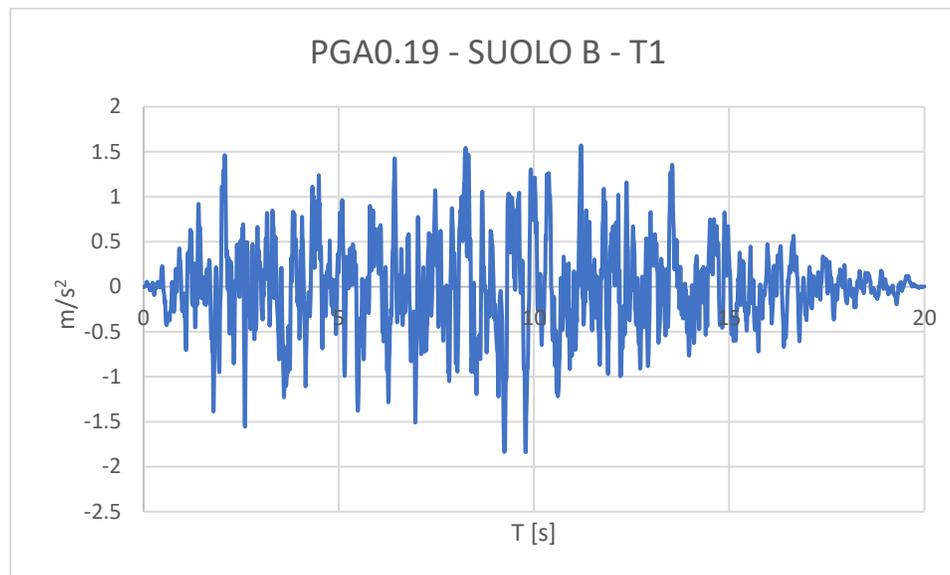


FIG 5. 4 - SUOLO B - PGA0.19g - T1

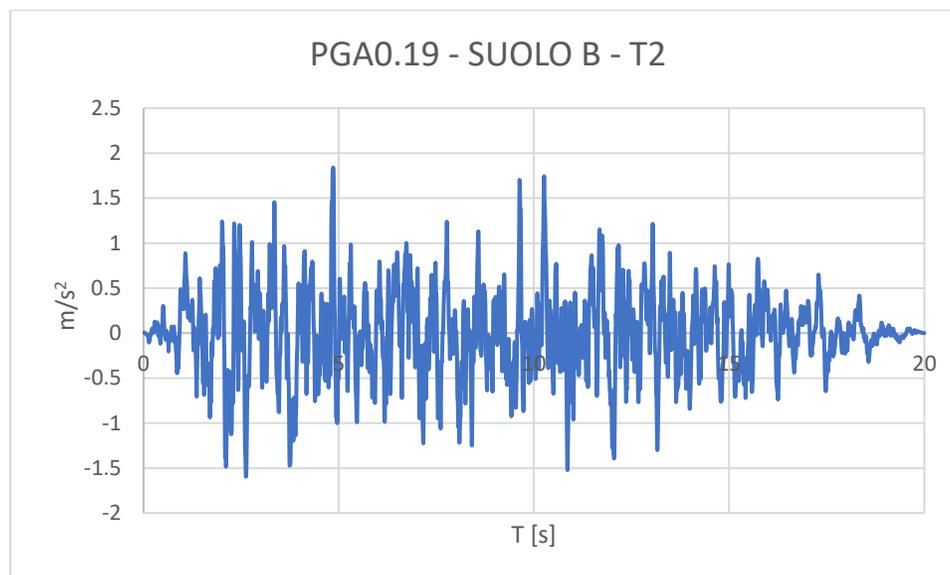


FIG 5. 5 - SUOLO B - PGA0.19g - T2

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

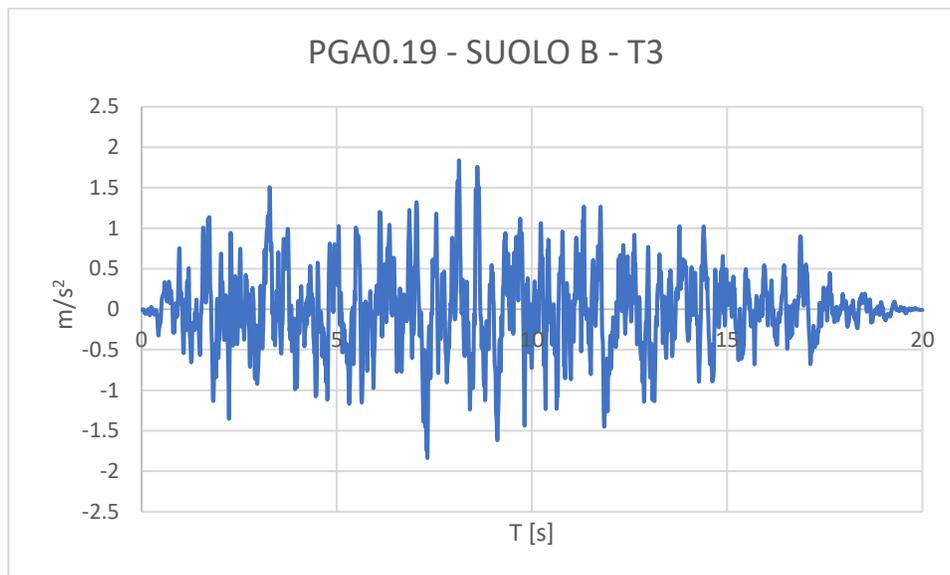


FIG 5. 6 - SUOLO B - PGA0.19g - T3

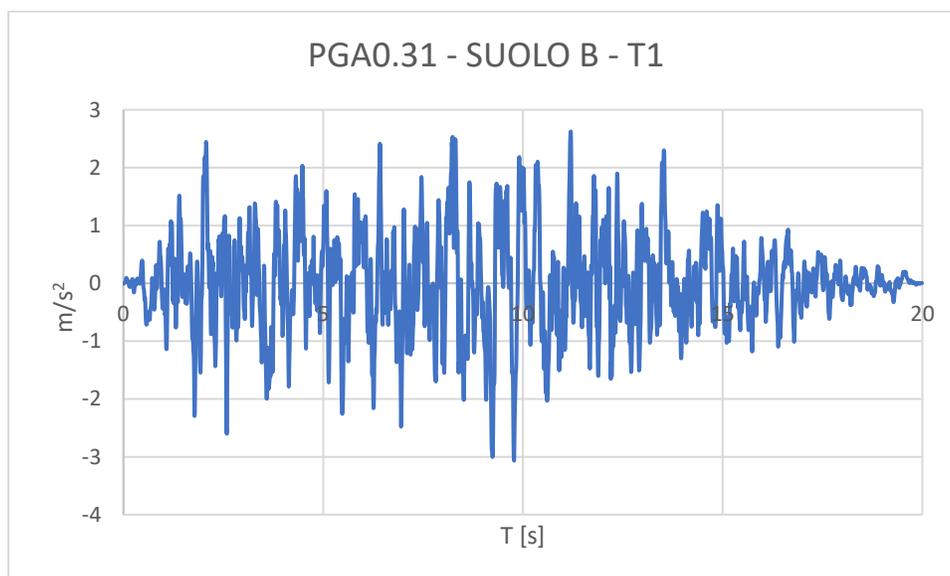


FIG 5. 7 - SUOLO B - PGA0.31g - T1

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

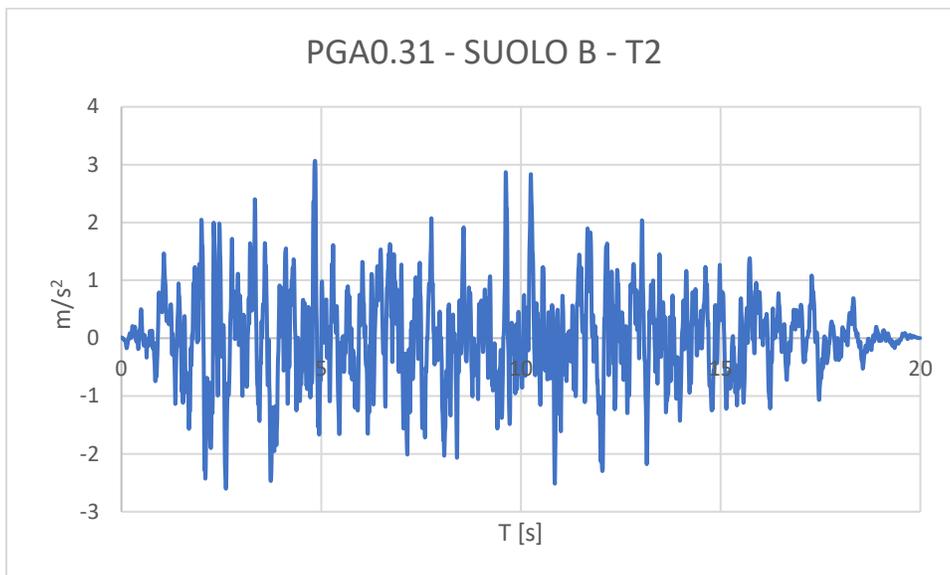


FIG 5. 8 - SUOLO B - PGA 0.31g - T2

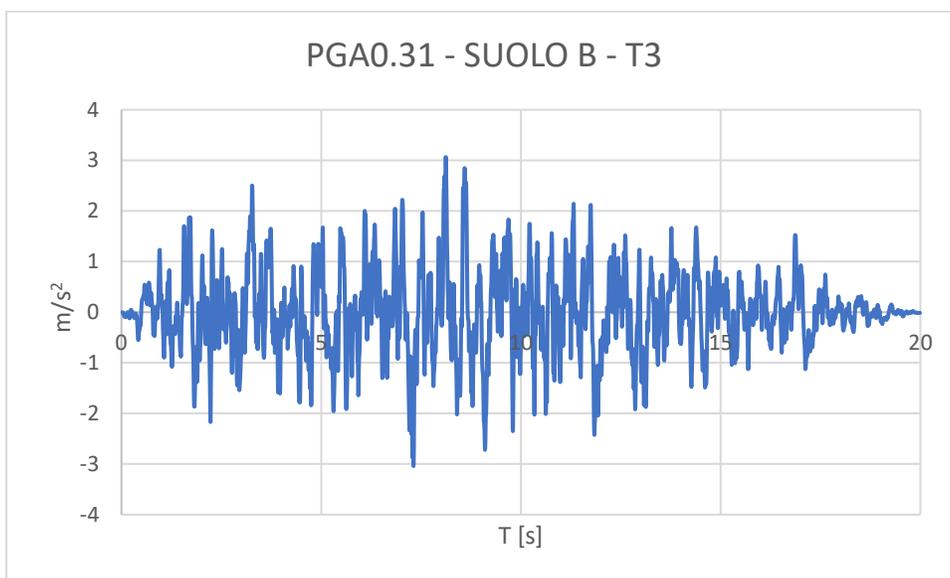


FIG 5. 9 - SUOLO B - PGA0.31g - T3

FACCIALE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

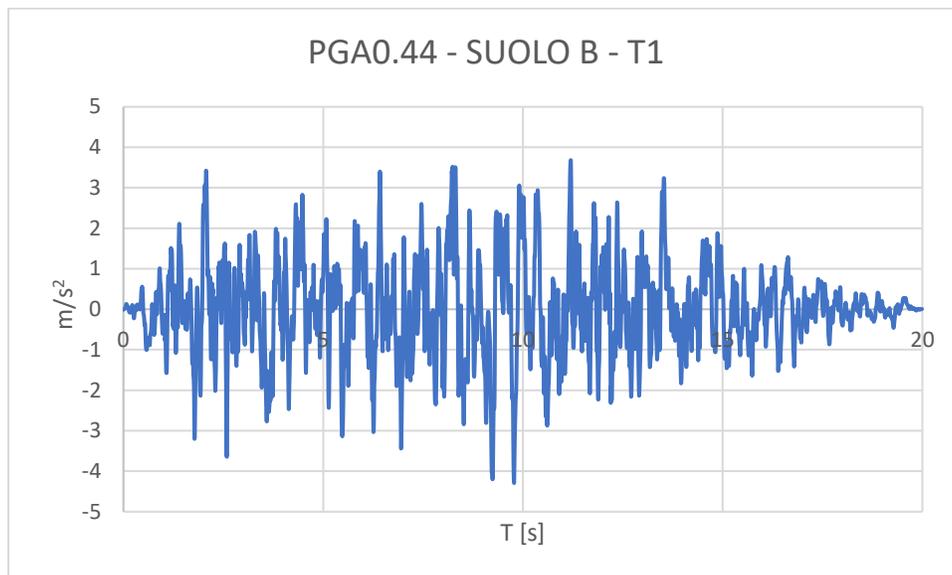


FIG 5. 10 - SUOLO B - PGA 0.44g - T1

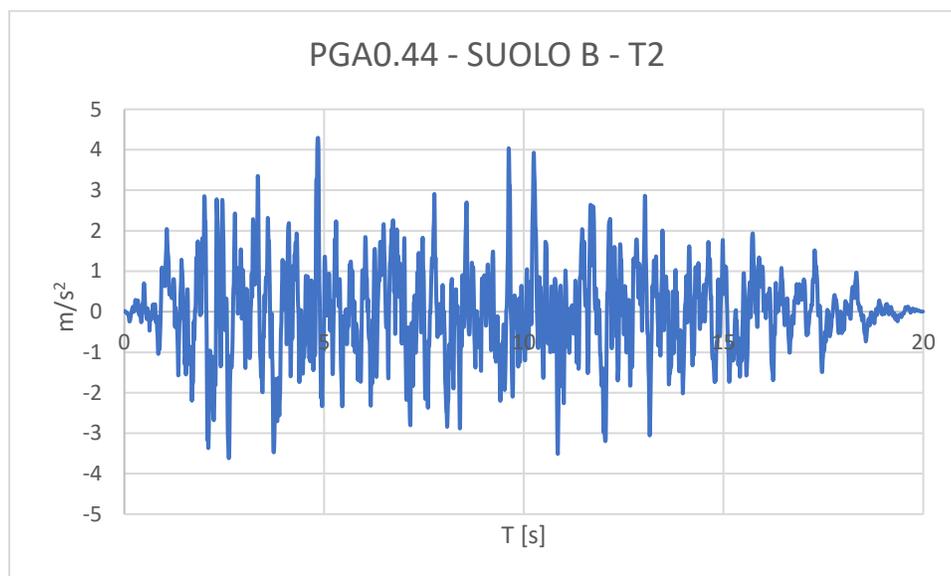


FIG 5. 11 - SUOLO B - PGA0.44g - T2

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

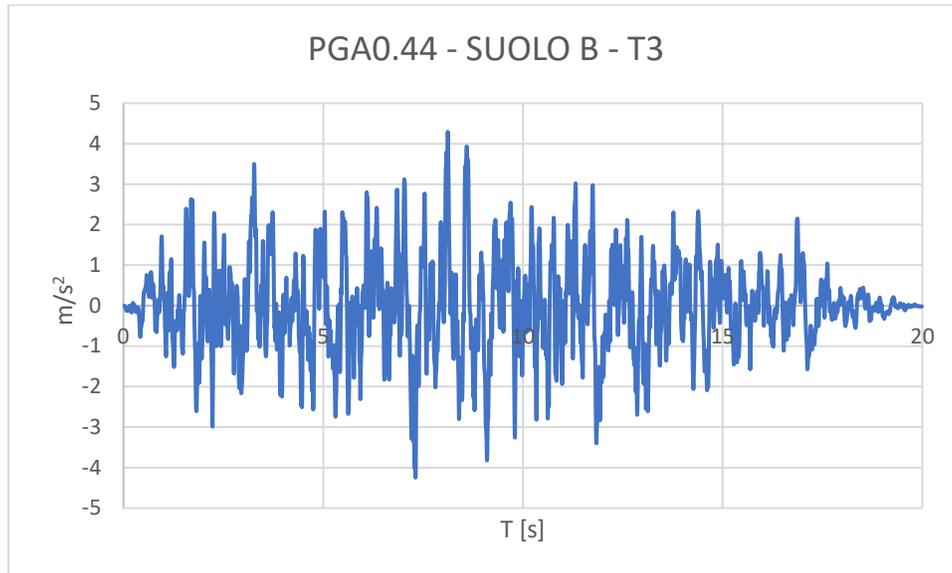


FIG 5. 12 - SUOLO B - PGA0.44g - T3

5.3 CORREZIONE ACCELEROGRAMMI

I grafici degli accelerogrammi sopra riportati sono rappresentativi della “*Strong motion*” dell’accelerogramma. La durata dell’accelerogramma da utilizzare come input sismico è pari a 40s; pertanto, si è scelto di aggiungere degli zeri all’ accelerogramma, con lo stesso intervallo di tempo pari a 0,01s, fino ad arrivare ai 40s prestabiliti. Tuttavia, è stato riscontrato come questi accelerogrammi di 40s, presentino una velocità non nulla negli ultimi 20s. Questa velocità costante nei 20s non appartenenti alla strong motion genera una “deriva” degli spostamenti del suolo. Di seguito vengono rappresentati i diagrammi di accelerazione, velocità e spostamento del suolo per il T1 del suolo B con una PGA0.19g, queste immagini hanno lo scopo di evidenziare quanto descritto in questo paragrafo.

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

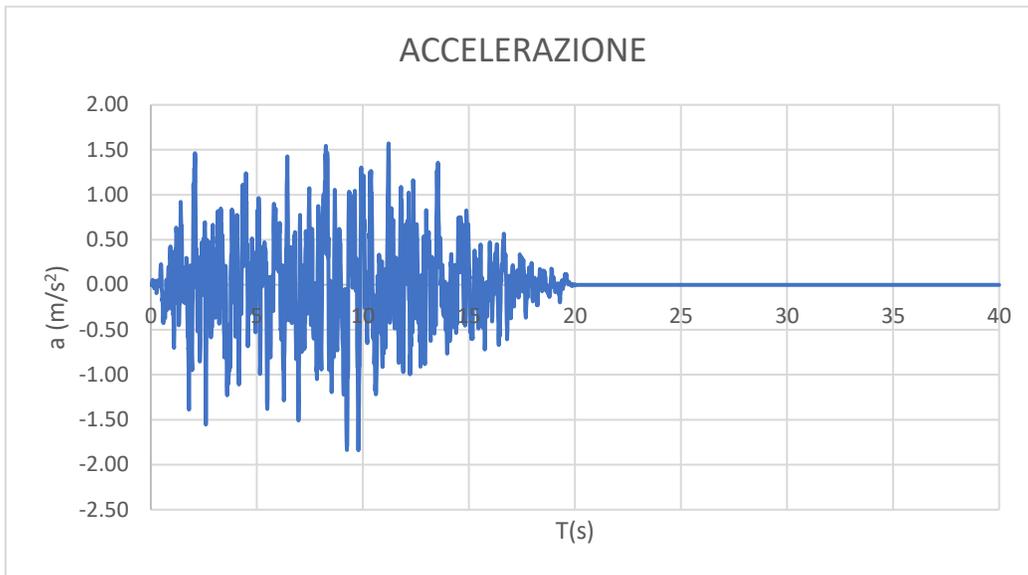


FIG 5. 13 – ACCELERAZIONE

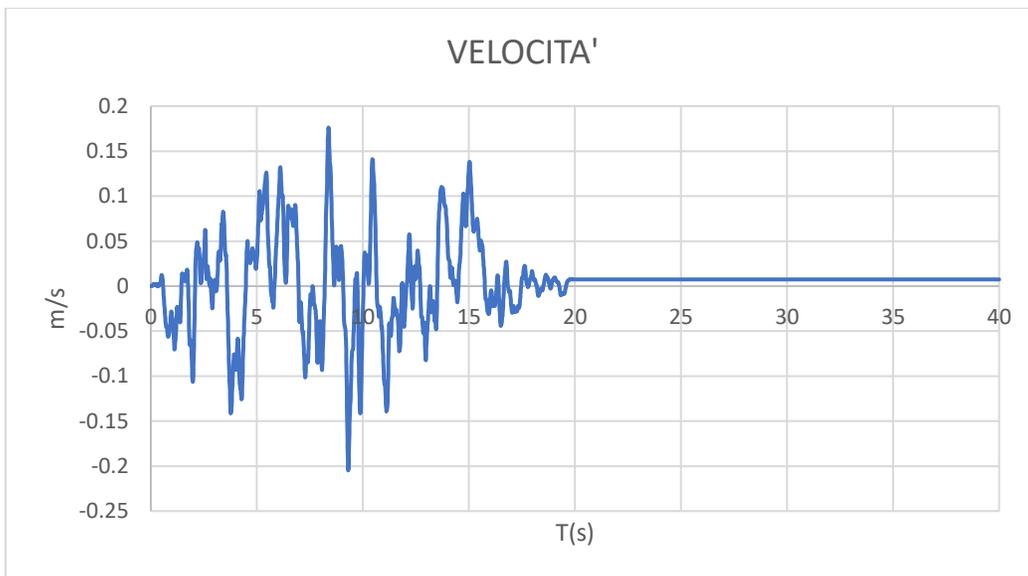


FIG 5. 14 – VELOCITA'

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



FIG 5. 15 - DERIVA DELLO SPOSTAMENTO

Questa deriva, causata dagli accelerogrammi generati in Simqke, è presente anche negli spostamenti risultanti della facciata una volta compiuta l'analisi. Di conseguenza le analisi non presentavano risultati significativi presentando anch'esse questa deriva. Il problema è stato risolto in letteratura trovando un codice Matlab [7] in grado di correggere i 20s di strong motion provenienti da Simqke. Questo codice di correzione corregge i valori dell'accelerogramma iterativamente, determinando una velocità ed uno spostamento pari a 0 alla fine del periodo di strong motion, eliminando di fatto il problema della deriva sopra citato. Di seguito vengono rappresentati i diagrammi corretti del terremoto T1 suolo B PGA0.19g.

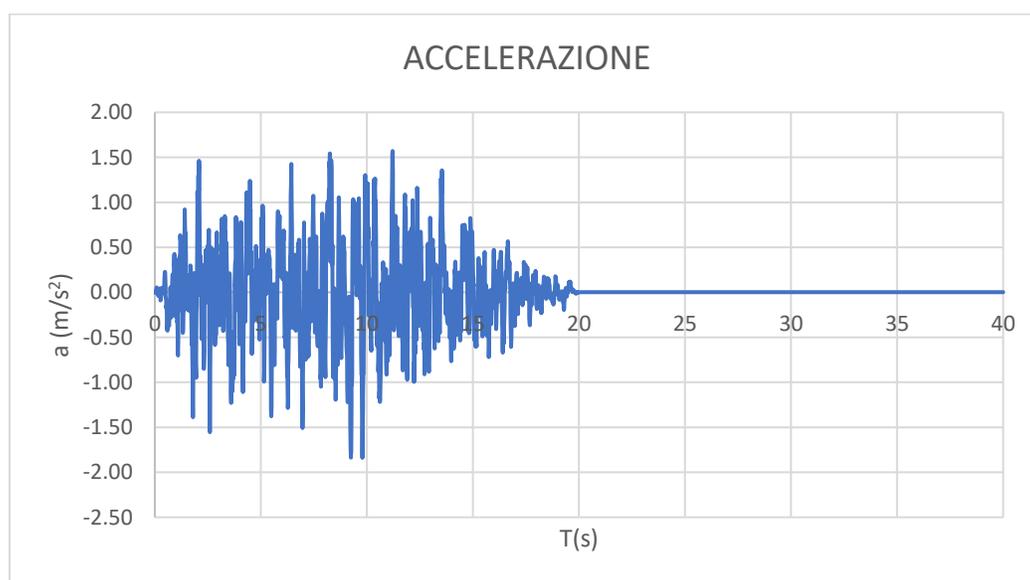


FIG 5. 16 - ACCELERAZIONE CORRETTA

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

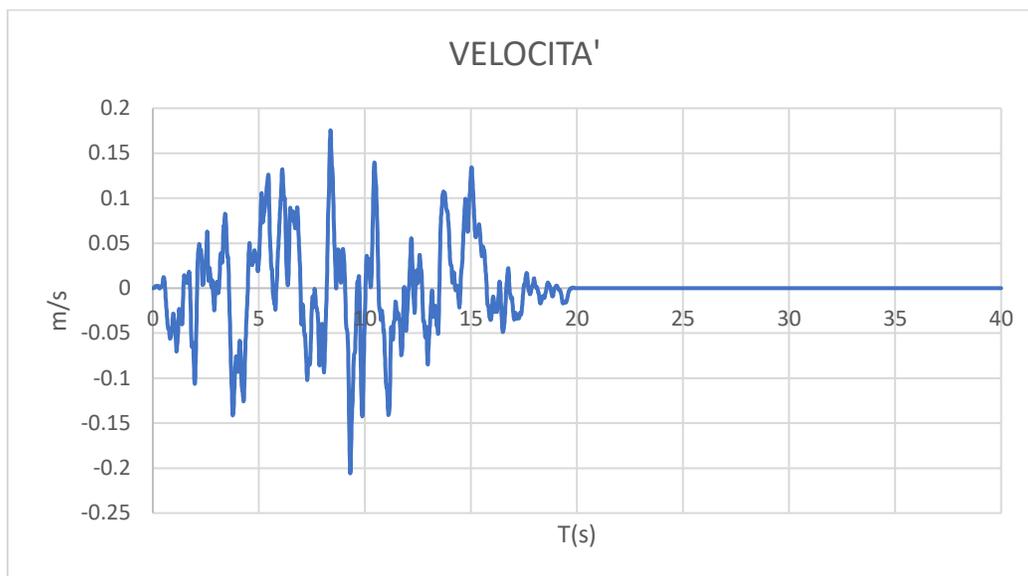


FIG 5. 17 - VELOCITA' CORRETTA



FIG 5. 18 - SPOSTAMENTO CORRETTO

5.4 ACCELEROGRAMMI CORRETTI DEFINITIVI

Tutti gli accelerogrammi riportati nel paragrafo 5.2 presentano i problemi della deriva. Di seguito vengono riportati gli accelerogrammi corretti che saranno seguentemente utilizzati sia per l'analisi uniforme performata in SAP sia per ricavare la risposta della struttura primaria in termini di storia temporale degli spostamenti dei piani.

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

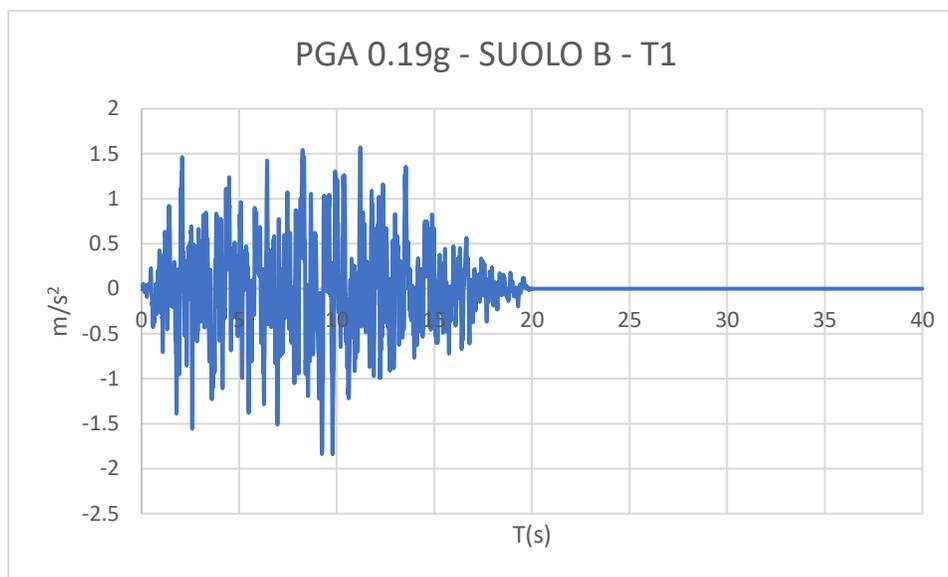


FIG 5. 19 - SUOLO B - PGA 0.19g -T1 - CORRETTO

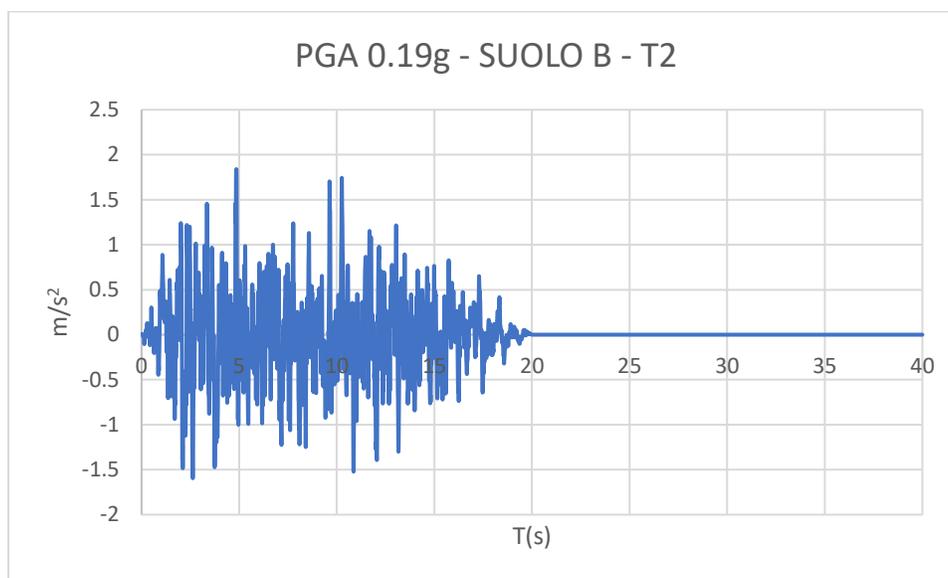


FIG 5. 20 - SUOLO B - PGA 0.19g -T2 - CORRETTO

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

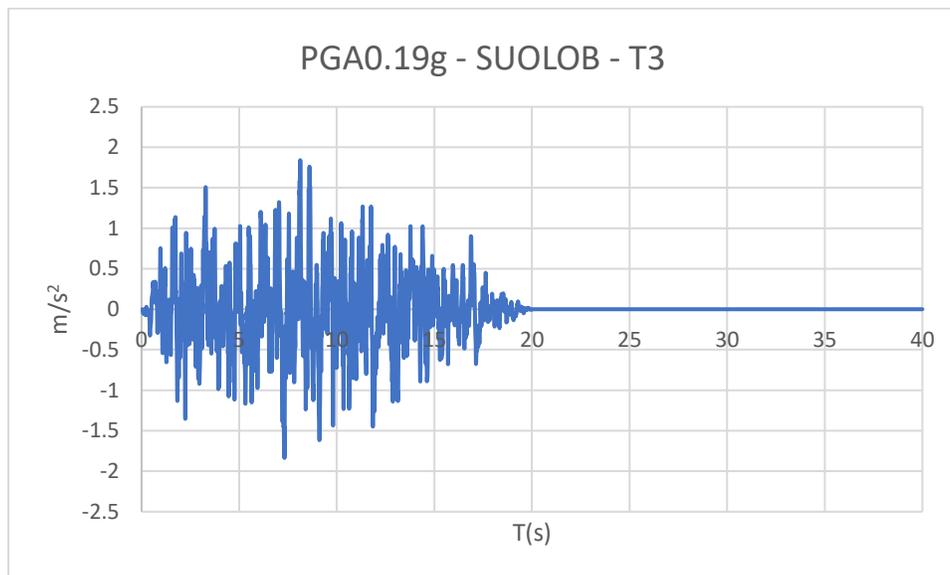


FIG 5. 21 - SUOLO B - PGA 0.19g -T1 - CORRETTO

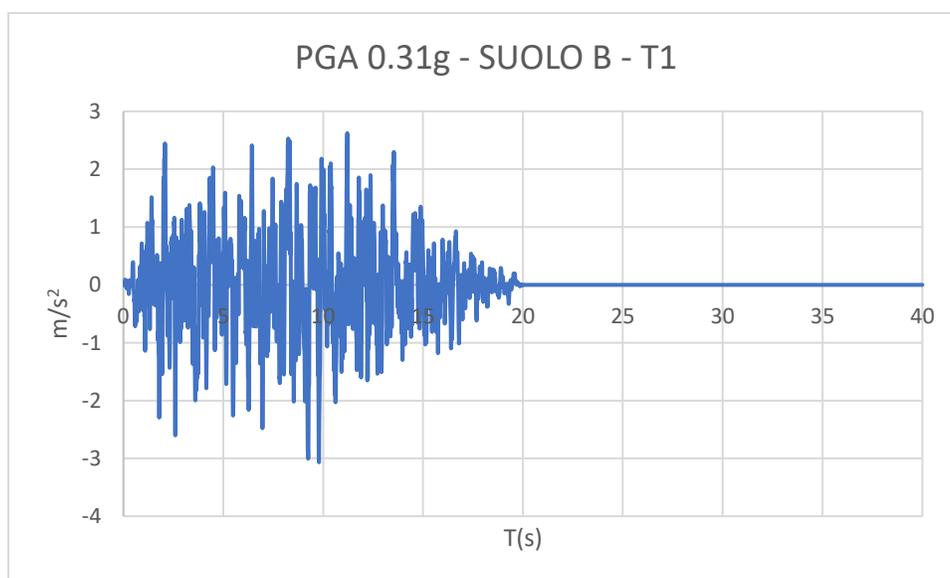


FIG 5. 22 -SUOLO B - PGA 0.31g -T1 - CORRETTO

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

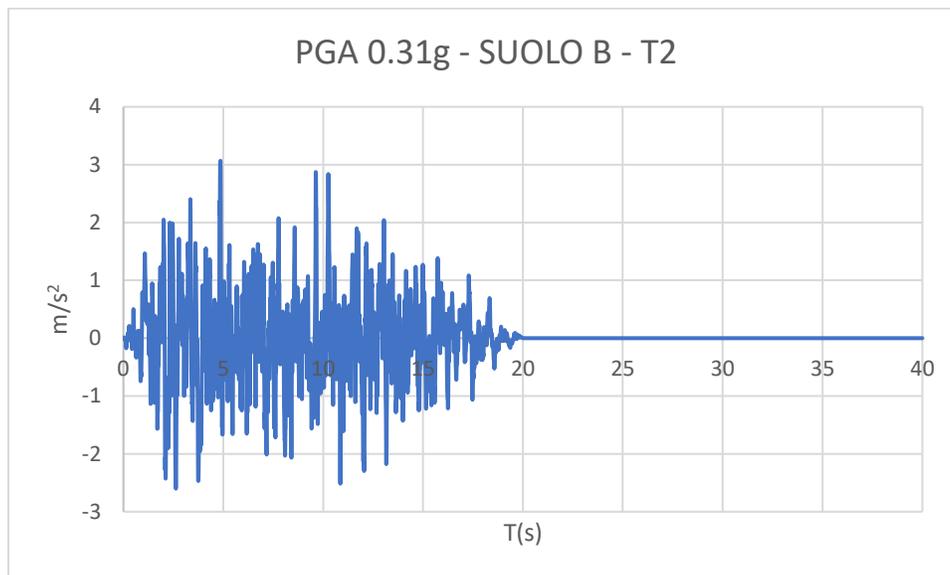


FIG 5. 23 - SUOLO B - PGA 0.31g -T2 - CORRETTO

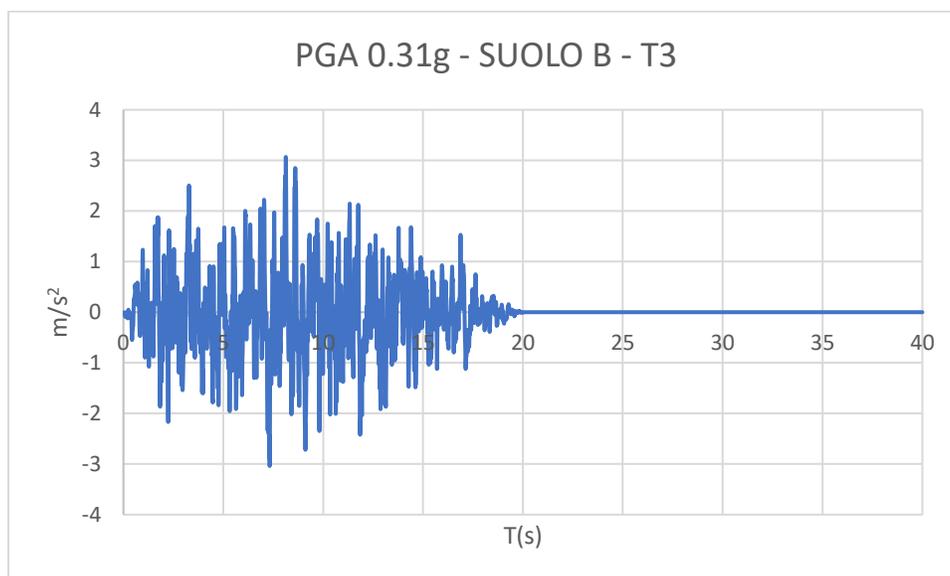


FIG 5. 24 - SUOLO B - PGA 0.31g -T3 - CORRETTO

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

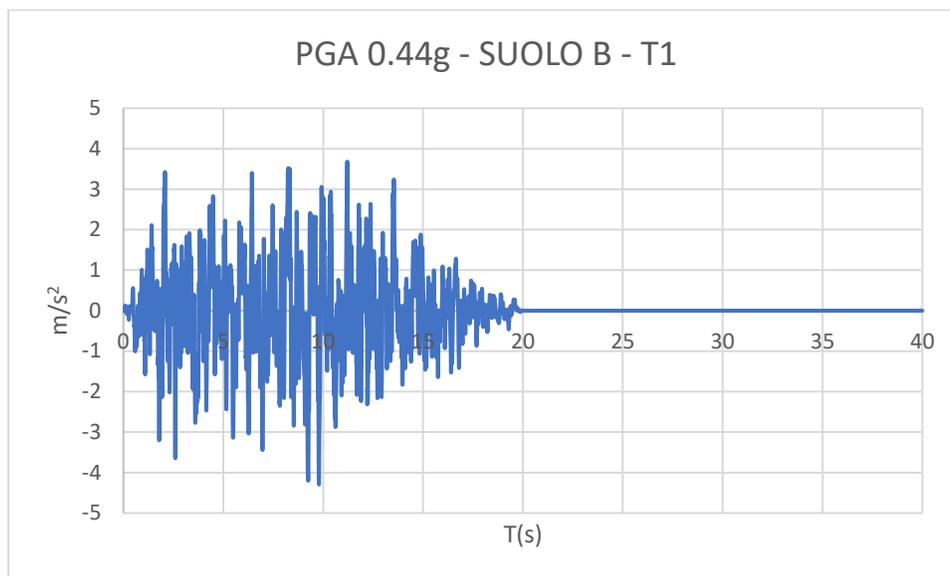


FIG 5. 25 - SUOLO B - PGA 0.44g -T1 - CORRETTO

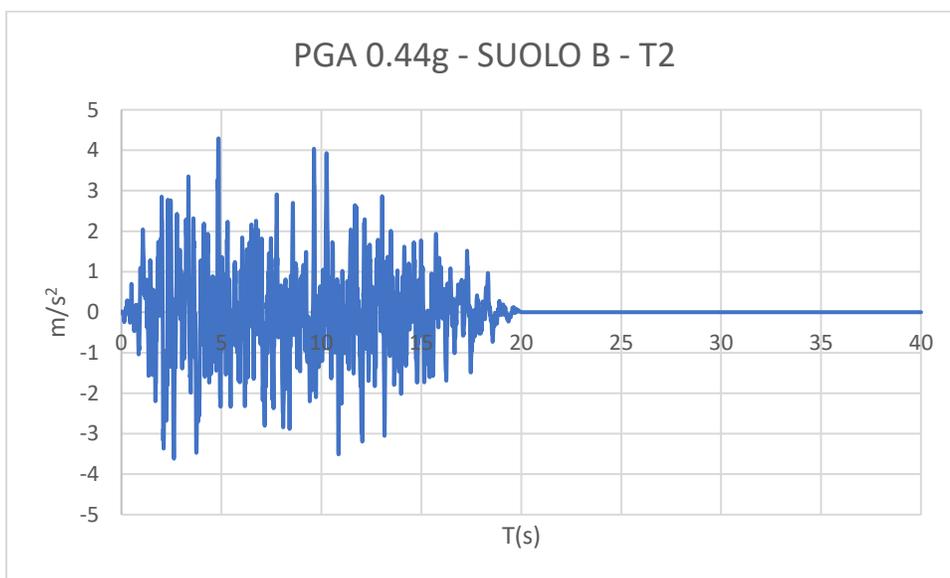


FIG 5. 26 - SUOLO B - PGA 0.44g -T2 - CORRETTO

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

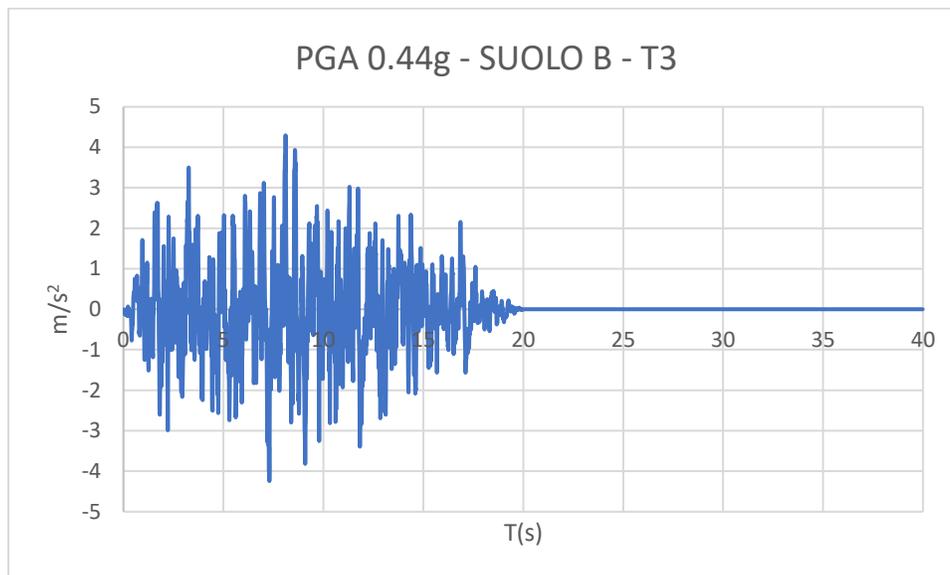


FIG 5. 27 - SUOLO B - PGA 0.44g -T3 - CORRETTO

6. DESCRIZIONE FACCIATA DI VETRO

Il modello originale è stato ricavato da [1], al quale sono state apportate modifiche per riuscire a confrontare le due analisi dinamiche.

La facciata di vetro è alta 28.25m e larga 17.9m. La rete di cavi forma una maglia di cavi regolare, infatti la distanza fra i cavi è costante: i cavi verticali hanno una distanza pari a 1.2m mentre i cavi orizzontali avranno una distanza fra di loro pari a 1.75m. Ogni piano della facciata è alto 3.5m, di conseguenza sarà presente ogni cavo ad ogni intermezzo di piano e ad ogni piano.

La rete dei cavi precedentemente descritta è collegata con la struttura primaria grazie ad una struttura ausiliaria in acciaio ai lati della rete di cavi e attraverso una capriata in cima alla rete di cavi. Questa capriata sarà alta 2m, mentre la larghezza della struttura ausiliaria ai lati della rete dei cavi sarà pari a 1.5m di larghezza a sinistra e 2.0m a destra. La capriata e la struttura laterale hanno lo scopo d'irrigidire la facciata e collegarla alla struttura primaria.

FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

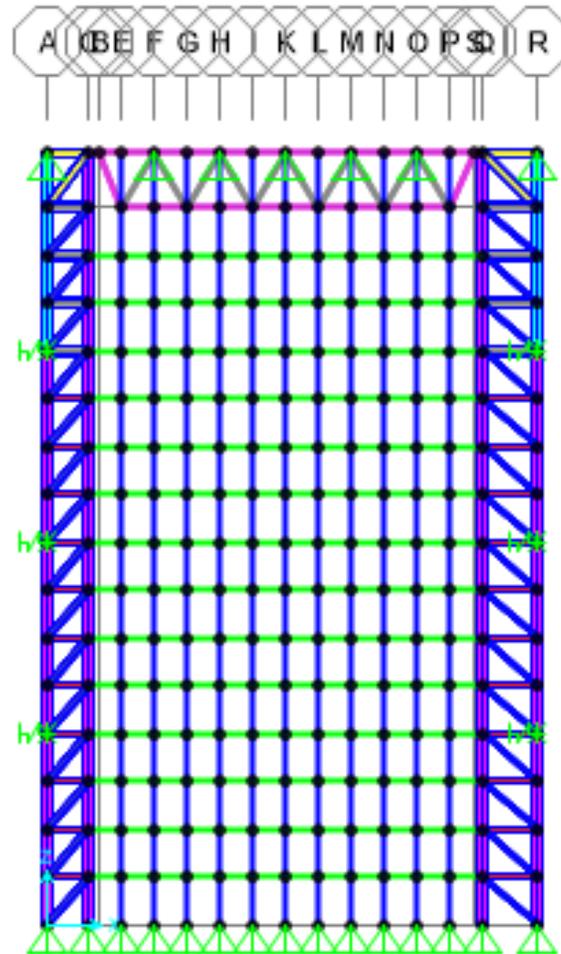


FIG 6. 1 – FACCIATA MODELLATA IN SAP

6.1 MODELLAZIONE DELLE MASSE

La rete di cavi serve per sostenere i pannelli di vetro della facciata, questi pannelli non sono stati modellati in SAP, ma la loro massa è stata presa in considerazione come massa concentrata ai nodi. Ovvero, per ogni nodo è stata considerata l'area di appartenenza ed è stato calcolato il peso risultante su quel nodo, l'area di appartenenza viene calcolata considerando metà della luce dei cavi convergenti nel nodo secondo il seguente schema:

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

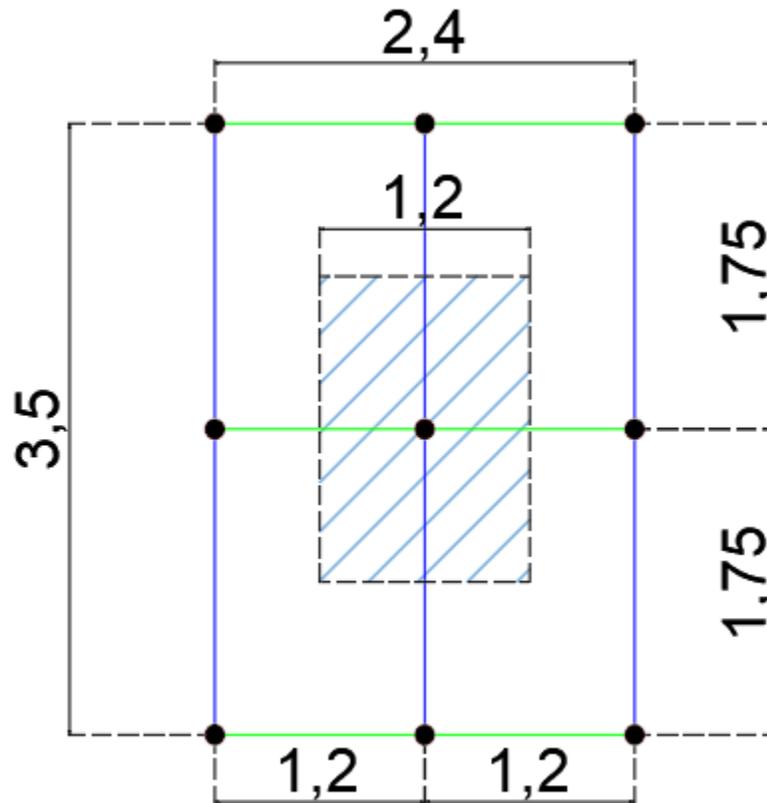


FIG 6. 2 – MODELLAZIONE DELLE MASSE

Essendo una maglia costante, ogni nodo della rete avrà la stessa massa, fatta eccezione per i nodi della rete più vicini alla struttura ausiliaria in acciaio. Inoltre, i nodi collegati alla capriata superiore avranno una massa superiore, in quanto la capriata è alta 2m e non 1.75 come il passo fra i cavi orizzontali. Di seguito una tabella riassuntiva con valori delle masse concentrate ai nodi:

POSIZIONE DEL NODO	L(m)	H(m)	A(m ²)	ρ (kg/m ²)	m(kg)
NODI DELLA RETE	1.20	1.75	2.10	61.11	128.33
NODI VICINI ALLE COLONNE D'ACCIAIO	1.80	1.75	3.15	61.11	192.5
NODI PERIMETRALI ALLA BASE	1.20	0.88	1.05	61.11	64.17
NODI PERIMETRALI CAPRIATA	1.20	1.88	2.25	61.11	137.50

TAB 6. 1 – RIASSUNTO MASSA NEI NODI

6.2 SISTEMA DEI VINCOLI

Il sistema dei vincoli è il risultato di due principali motivi: il progetto iniziale della facciata con i rispettivi vincoli e il confronto che verrà in seguito descritto fra l'analisi uniforme e l'analisi non uniforme. Alla base della struttura saranno presente cerniere, vincoli rigidi, mentre ai piani 2,4 e 6 i nodi vincolati sono stati vincolati rigidamente esclusivamente nella direzione y , ovvero lungo la direzione perpendicolare alla facciata e impedendo la rotazione intorno all'asse z ; e con delle molle, dunque dei vincoli cedevoli, in direzione x , direzione parallela alla base della facciata.

La facciata presenterà dei vincoli anche in cima dove è presente la capriata e, anche in questo caso, come nei vincoli di base sarà vincolata rigidamente grazie all'uso di cerniere. Tutti i nodi vincolati di ogni piano saranno vincolati nelle medesime direzioni.

Di seguito una tabella riassuntiva del sistema di vincoli descritto.

	VINCOLI RIGIDI	VINCOLI CEDEVOLI	
PIANO 0	x, y, z	/	
PIANO 2	Y, RZ	$sx: x=55125000 \text{ N/m}$	$dx: x=52875000 \text{ N/m}$
PIANO 4	Y, RZ	$sx: x=55125000 \text{ N/m}$	$dx: x=52875000 \text{ N/m}$
PIANO 6	Y, RZ	$sx: x=55125000 \text{ N/m}$	$dx: x=52875000 \text{ N/m}$
PIANO 8	x, y, z	/	

TAB 6. 2 -RIASSUNTO VINCOLI NODI

Ai piani dove sono presenti i vincoli cedevoli è stato specificato la rigidezza della molla a sinistra e a destra essendo fra di loro differenti.

6.3 ANALISI ESEGUITE

Le analisi eseguite di cui seguentemente verranno riportati i risultati sono 3. La prima è l'analisi modale, la quale permette di valutare i periodi e la frequenza della struttura in esame. Seguentemente sono state eseguite le due analisi descritte in precedenza, protagoniste del confronto finale: l'analisi uniforme e la non uniforme.

Alla base di tutte queste 3 analisi è presente il load case del pretensionamento dei cavi. Infatti, i cavi orizzontali hanno un pretensionamento pari a 350kN mentre i cavi verticali avranno un pretensionamento pari a 30kN. Il pretensionamento è stato introdotto in SAP con il comando target-force.

6.3.1 MODAL

L'analisi modale ha lo scopo di determinare i periodi, le frequenze e le forme modali della struttura. Questa analisi è stata impostata secondo il comando "Eigenvector Analysis" che permette di apprendere il comportamento della struttura. Questa tipologia di soluzione è basata sul problema generalizzato agli autovalori secondo la formula 6. 1:

$$[\mathbf{K} - \Omega^2 \mathbf{M}] \Phi = 0$$

6. 1

Dove:

- ~ \mathbf{K} : è la matrice di rigidezza;
- ~ \mathbf{M} : è la matrice della massa;
- ~ Ω^2 : è la matrice degli autovalori;
- ~ Φ : è la matrice degli autovettori;

Gli autovalori sono il quadrato della frequenza circolare ω . La frequenza f , il periodo T dell' i -esimo modo sono collegati secondo il seguente modo:

$$T_i = \frac{1}{f_i} \quad e \quad f_i = \frac{\omega_i}{2\pi}$$

La rigidezza della struttura viene data dai vincoli imposti alla struttura. I primi periodi saranno di conseguenza influenzati sia dalla massa che dalla rigidezza della struttura.

Di seguito viene riportata una tabella che riassume i primi 10 periodi, le prime 10 frequenze e la percentuale di massa partecipante:

MODI	PERIODI (s)	FREQUENZA	
		(1/s)	M.P. F
1	0.52	1.92	0.340
2	0.48	2.07	0.007
3	0.45	2.24	0.044
4	0.41	2.45	0.000
5	0.37	2.68	0.014
6	0.34	2.93	0.000
7	0.31	3.18	0.008
8	0.29	3.42	0.001
9	0.27	3.65	0.005
10	0.27	3.68	0.000

TAB 6. 3 – TABELLA RIASSUNTIVA PROPRIETA' MODALI

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

Tabella 1

Vengono ora rappresentate le forme modali risultanti:

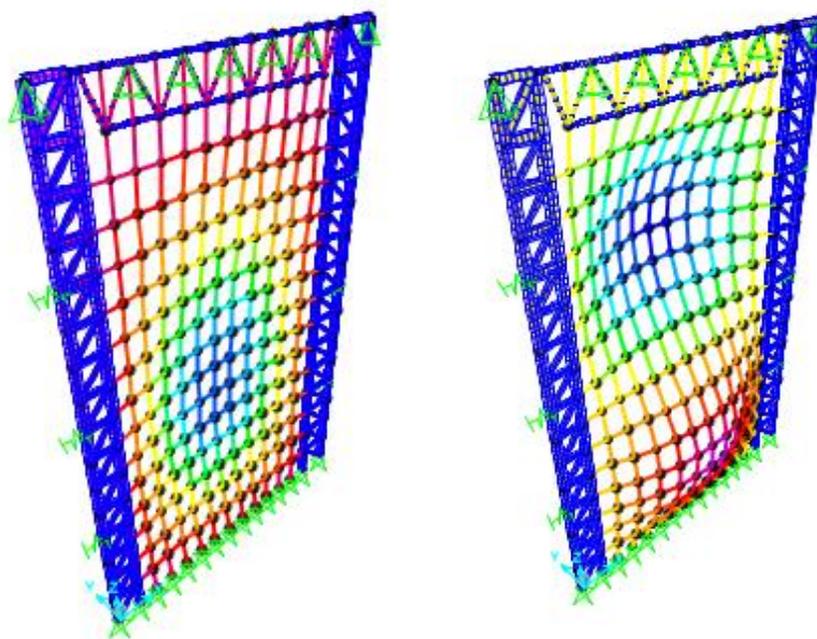


FIG 6. 3 – PRIMO E SECONDO MODO DI VIBRARE

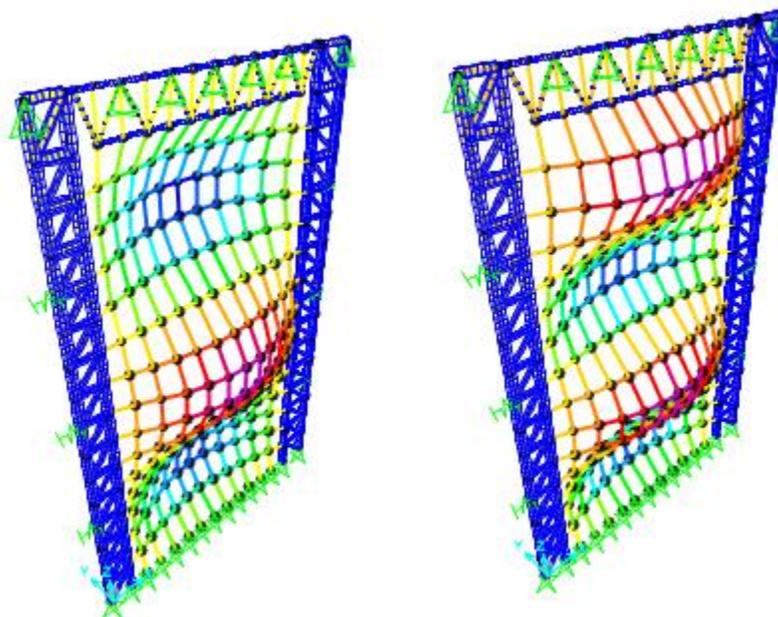


FIG 6. 4 – TERZO E QUARTO MODO DI VIBRARE

6.3.2 ANALISI DINAMICHE

Le analisi dinamiche eseguite hanno lo scopo di evidenziare le situazioni in cui un approccio tradizionale non risulti conservativo per la facciata di vetro. Nel merito, l'analisi dinamica uniforme considererà la facciata di vetro direttamente soggetta all'azione sismica del suolo, ipotizzando la mancanza dell'edificio retrostante. L'analisi dinamica non uniforme, invece, prende in considerazione la presenza dell'edificio, il quale è soggetto in prima battuta all'azione sismica del suolo, le sue risposte in termini di spostamento assoluto saranno in seguito considerate come le sollecitazioni temporali per la facciata in vetro. Di conseguenza il confronto fra queste due analisi mira ad evidenziare quando l'effetto filtro dell'edificio risulti pericoloso per la facciata di vetro.

6.3.2.1 INPUT ANALISI DINAMICA UNIFORME

Le varie analisi dinamiche uniformi hanno come input delle storie temporali in termini di accelerazioni assolute; SAP2000 impone queste sollecitazioni ad ogni nodo che è stato vincolato esternamente. Di conseguenza per sollecitare i seguenti piani: piano terra, secondo piano, quarto piano, sesto piano ed

FACCIALE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

ottavo piano; è sufficiente vincolare esternamente nodi della reticolare nella direzione desiderata in modo tale da sottoporli automaticamente alla sollecitazione. La sollecitazione è stata imposta lungo la direzione y , ovvero lungo la direzione perpendicolare alla facciata di vetro.

6.3.2.2 INPUT ANALISI DINAMICA NON - UNIFORME

Se per il caso dell'analisi dinamica uniforme il programma SAP si presta ad un metodo molto rapido, così non è risultato essere per l'impostazione dell'analisi dinamica non-uniforme. Infatti, in questa analisi le sollecitazioni saranno impostate come storie temporali in termini di spostamento assoluto, le quali varieranno lungo l'altezza dell'edificio. Motivo per cui è necessario imporre ad ogni nodo vincolato una diversa storia temporale, gli unici nodi che presenteranno fra di loro il medesimo input saranno quelli presenti alla stessa quota; esempio: i due nodi vincolati del secondo piano saranno soggetti alla medesima storia temporale come sollecitazione.

Per impostare questo procedimento si sono seguiti i seguenti passi:

1. Impostare uno spostamento unitario ai nodi vincolati dei piani;
2. Importare le funzioni di ogni storia temporale in termini di spostamento, ovvero i valori per ogni storia temporale in termini di spostamento assoluto per ogni piano;
3. Associare ogni spostamento unitario alla funzione di riferimento;
4. Impostare un *load case* che consideri le sollecitazioni diverse tra loro ad ogni piano ma nel medesimo istante;

Questi passi permettono di eseguire l'analisi dinamica non uniforme, ma presenta anche delle limitazioni. Nel merito con questo tipo di analisi non è stato possibile ricavare direttamente da SAP i valori relativi degli spostamenti risultanti (saranno calcolati sottraendo agli assoluti lo spostamento del suolo); inoltre, nei nodi vincolati non verrà percepita accelerazione assoluta, la quale sarà di conseguenza impostata ricavandola dall'analisi uniforme.

6.3.2.3 PASSO DI INTEGRAZIONE

I metodi numerici vengono definiti incondizionatamente stabili se gli errori numerici non vengono amplificati indipendentemente dal passo di integrazione che viene scelto. In questi metodi, l'intervallo di integrazione può essere scelto tenendo in considerazione di descrivere opportunamente solo la sollecitazione e la risposta del sistema. L'accuratezza della risposta dipenderà anch'essa dall'intervallo di integrazione, più sarà piccolo il passo di integrazione più sarà oneroso il calcolo. [1]

FACCIALE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

Le sollecitazioni, sia che siano accelerazioni che spostamenti, vengono inserite con un intervallo pari a 0.01s (100Hz). In SAP viene richiesto l'intervallo di output, il quale si identifica con il passo di integrazione, quest'ultimo deve essere inferiore rispetto all'intervallo di input in modo di tale da ottenere una soluzione accurata. In questo caso si è optato per un intervallo ogni 0.002s (500Hz) per entrambe le analisi dinamiche.

6.3.2.4 CALCOLO DELLO SMORZAMENTO

La valutazione dello smorzamento in condizioni di non linearità è un argomento influente per la determinazione della risposta della struttura. Nel caso oggetto di studio la facciata non presenta dissipatori di energia o altri meccanismi destinati alla dissipazione di essa; perciò, si può dedurre come lo smorzamento venga esclusivamente garantito dalla deformazione plastica dei suoi componenti.

Lo smorzamento deriverà dai cavi e dal vetro, il cui smorzamento totale sarà considerato molto basso (2%), per quanto riguarda i cavi il loro smorzamento garantito sarà relativo a tensione e deformazione in essi. Nelle analisi dinamiche caratterizzate da una non linearità geometrica, il calcolo dello smorzamento può essere calcolato secondo il modello di Rayleigh [1].

Il modello di Rayleigh si basa sulla relazione fra il valore dello smorzamento e i valori delle frequenze o periodi. Dal punto di vista teorico, lo smorzamento di Rayleigh è una combinazione lineare tra lo smorzamento proporzionale alla frequenza e lo smorzamento proporzionale alla velocità. Secondo le seguenti leggi matematiche:

$$c = a_0 m + a_1 k \tag{6.2}$$

$$\zeta_n = \frac{a_0}{2\omega_n} + \frac{a_1}{2} \omega_n \tag{6.3}$$

$$a_0 = \frac{\zeta(2\omega_i\omega_j)}{\omega_i + \omega_j} \quad a_1 = \frac{2\zeta}{\omega_i + \omega_j} \tag{6.4}$$

Dove:

- ~ C: è il coefficiente di smorzamento;
- ~ ω_i, ω_j : sono le frequenze dei due primi modi fondamentali della struttura;
- ~ a_0, a_1 : sono i fattori di smorzamento derivanti dalla matrice di rigidezza

FACCIALE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

Il modello va calibrato accuratamente, in modo tale da non ottenere o un sistema o sotto-smorzato o sovra smorzato. Nell'immagine seguente viene illustrato il grafico che rappresenta il sovra-smorzamento delle frequenze successive a quelle dei primi modi:

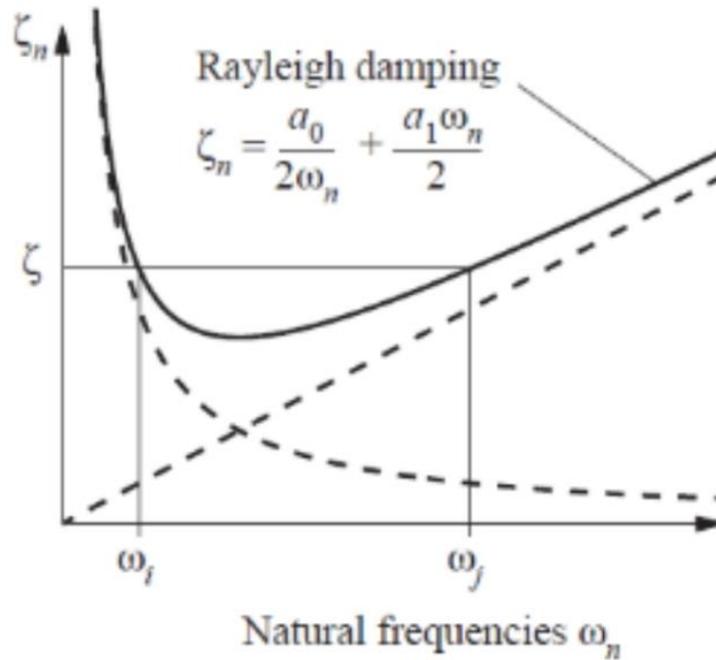


FIG 6. 5 – SMORZAMENTO SECONDO RAYLEIGH [1]

Aumentando il modo considerato si ottiene una struttura sovra smorzata, di conseguenza si è deciso pragmaticamente parlando di definire lo smorzamento con la prima e la terza frequenza, inserendole nelle analisi dinamiche nel seguente modo:

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

	Period	Frequency	Damping
First	sec	1.92 cyc/sec	0.02
Second	sec	2.24 cyc/sec	0.02

FIG 6. 6 – SMORZAMENTO CALCOLATO

6.3.2.5 NON LINEARITA' GEOMETRICHE

Le non linearità geometriche sono un argomento chiave all'interno della facciata di vetro sorretta da cavi. Infatti, il cavo pretensionato, non avrà una rigidezza costante, ma cambierà al variare del carico ortogonale al proprio asse e alla deformazione subita. Il cavo diventerà sempre più rigido all'aumentare di quest'ultima, questa non linearità geometrica viene presa in considerazione con il comando "P – Delta Plus Large Displacement", il quale terrà in considerazione gli effetti deformativi del secondo ordine.

Di conseguenza, si abbandona l'idea di piccoli spostamenti considerando che le deformazioni del primo ordine provocheranno spostamenti considerevoli del punto di applicazione del carico [1]. La struttura deformata cambierà la propria rigidezza, in un modo iterativo, dunque, è necessario ri-calcolare le sollecitazioni secondo la struttura deformata.

La rigidezza totale della struttura è ottenuta sommando la rigidezza elastica e la rigidezza geometrica, la rigidezza totale sarà la somma di questi due contributi. Sebbene le non – linearità geometriche rendano più esoso il calcolo computazionale esse sono necessarie per tenere correttamente in conto della presenza e caratteristiche dei cavi, inoltre, è fondamentale conservare la stessa scelte riguardo casi di casi di carico consequenziali. [8] Nel merito, il pretensionamento avviene considerando un'analisi caratterizzata da non linearità geometriche con la modalità "P-Delta Large Displacement", essendo le analisi dinamiche consequenziali a questo carico, ovvero si parte dalle condizioni di rigidezza ottenute alla fine del

FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

pretensionamento, è necessario che anche esse siano caratterizzate dalla stessa scelta riguardante le non linearità geometriche.

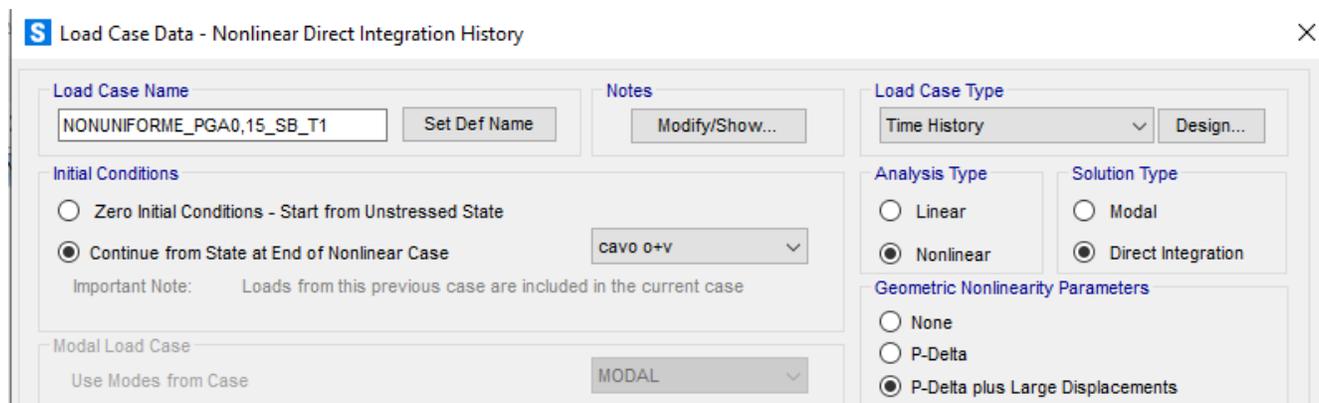


FIG 6. 7 – NON LINEARITA' GEOMETRICHE

7. RISULTATI ANALISI

I risultati hanno lo scopo di evidenziare la differenza di risposta, in termini di: accelerazioni, spostamenti e forza assiale presenti nei cavi, fra l'analisi uniforme e l'analisi non uniforme. In aggiunta, verrà per ogni caso tenuta in considerazione l'interazione fra la struttura primaria e la rete di cavi con i pannelli di vetro. Nel merito, l'analisi non-uniforme si avvale delle sollecitazioni in termini di spostamento derivanti dalla struttura primaria. Il modello analitico, infatti, basandosi sul parametro adimensionale α_0 definisce la tipologia di struttura primaria. Il modello analitico per determinare le risposte temporali in termini di spostamento considera come parametri di partenza: α_0 e l'altezza dell'edificio; quest'ultima, tuttavia, rimane costante e pari a $28.25m$, ovvero l'altezza della facciata, di conseguenza l'unica variabile presa in considerazione dal modello analitico è il parametro adimensionale α_0 .

I risultati ottenuti saranno basati di conseguenza sul rapporto presente fra il primo periodo della facciata e il primo periodo della struttura primaria, in modo tale da individuare casi in cui una vicinanza fra i primi periodi possa determinare una risposta dell'analisi non uniforme più alta.

7.1 RISULTATI STRUTTURA PRIMARIA

7.1.1 RISULTATI FORME MODALI

Sono state analizzate 3 tipi di strutture primarie differenti, le quali sono state identificate attraverso il parametro adimensionale α_0 . Di seguito vengono riportati i periodi calcolati per i differenti α_0 . L'altezza in ogni struttura primaria è pari a quella della facciata $H = 28.25m$

VALORE DI α_0	STRUTTURA EQUIVALENTE	$T_1 -$ [s]	$T_2 -$ [s]	$T_3 -$ [s]	$T_4 -$ [s]	$T_5 -$ [s]	$T_6 -$ [s]
2	Steel braced frame	0.86	0.19	0.07	0.04	0.02	0.02
10	RC MRF with infills	0.48	0.15	0.08	0.05	0.03	0.02
15	Steel MRF	1.05	0.34	0.19	0.12	0.09	0.07

TAB 7.1 – PRIMI PERIODI STRUTTURE PRIMARIE

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

Seguentemente vengono riportate le prime forme modali delle strutture sopra riportate, calcolate con la formula 4. 6:

1° FORMA MODALE			
x/h	$\alpha_0=2$	$\alpha_0=10$	$\alpha_0=15$
0.00	0.00	0.00	0.00
0.12	0.03	0.09	0.11
0.25	0.12	0.26	0.30
0.37	0.25	0.45	0.49
0.50	0.39	0.62	0.65
0.62	0.54	0.77	0.79
0.75	0.70	0.88	0.90
0.87	0.85	0.95	0.96
1.00	1.00	1.00	1.00

TAB 7. 2 – VALORI PRIMA FORMA MODALE

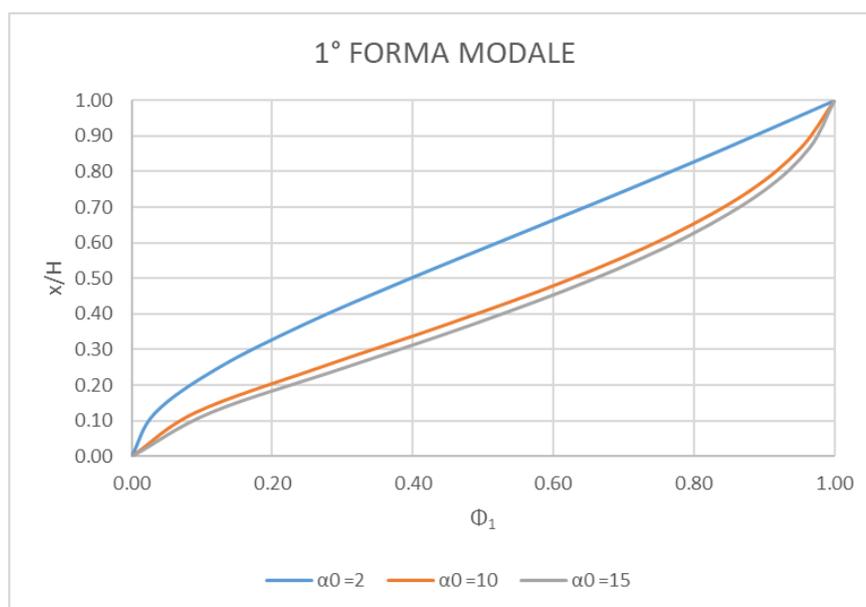


FIG 7. 1 – PRIMA FORMA MODALE

2° FORMA MODALE			
x/h	$\alpha_0=2$	$\alpha_0=10$	$\alpha_0=15$
0.00	0.00	0.00	0.00
0.12	-0.14	-0.25	-0.32
0.25	-0.42	-0.64	-0.73
0.37	-0.64	-0.83	-0.91
0.50	-0.69	-0.73	-0.75
0.62	-0.50	-0.35	-0.32
0.75	-0.10	0.17	0.25

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

0.87	0.41	0.64	0.71
1.00	1.00	1.00	1.00

TAB 7. 3 – VALORI SECONDA FORMA MODALE

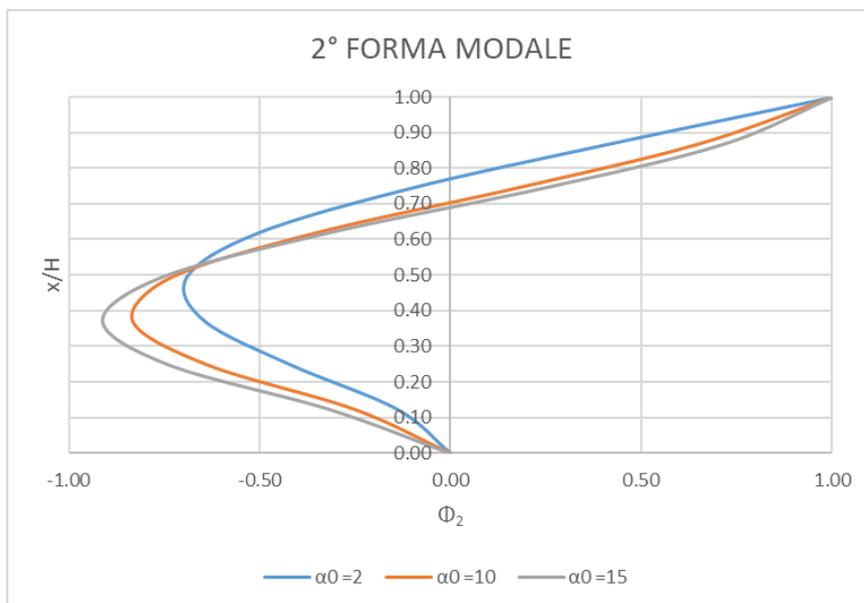


FIG 7. 2 – SECONDA FORMA MODALE

3° FORMA MODALE

x/h	$\alpha_0=2$	$\alpha_0=10$	$\alpha_0=15$
0.00	0.00	0.00	0.00
0.12	0.32	0.40	0.48
0.25	0.71	0.75	0.82
0.37	0.61	0.46	0.42
0.50	0.02	-0.25	-0.37
0.62	-0.55	-0.72	-0.81
0.75	-0.58	-0.49	-0.47
0.87	0.02	0.23	0.32
1.00	1.00	1.00	1.00

TAB 7. 4 – VALORI TERZA FORMA MODALE

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

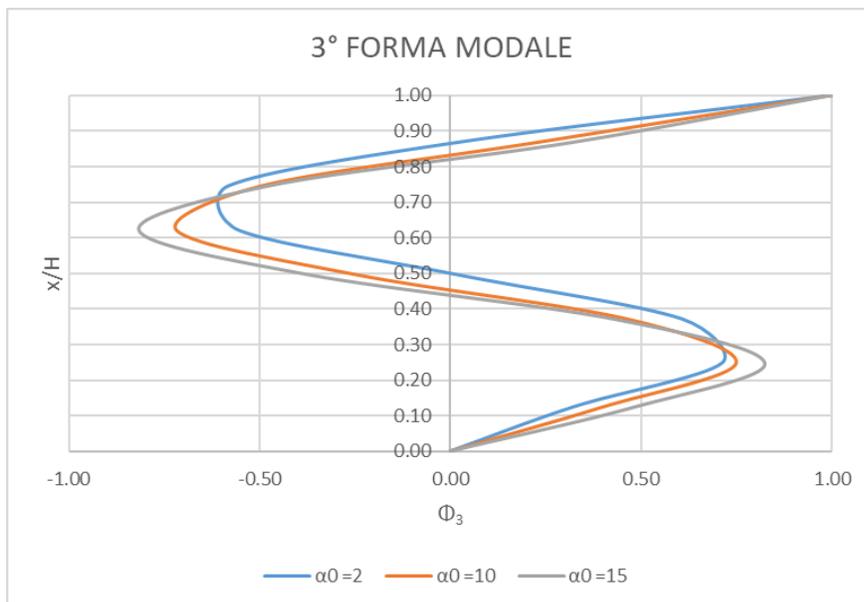


FIG 7. 3 – TERZA FORMA MODALE

4° FORMA MODALE			
x/h	$\alpha_0=2$	$\alpha_0=10$	$\alpha_0=15$
0.00	0.00	0.00	0.00
0.12	-0.51	-0.54	-0.61
0.25	-0.68	-0.59	-0.58
0.37	0.11	0.27	0.38
0.50	0.70	0.68	0.70
0.62	0.17	-0.03	-0.14
0.75	-0.61	-0.68	-0.75
0.87	-0.31	-0.17	-0.09
1.00	1.00	1.00	1.00

TAB 7. 5 – VALORI QUARTA FORMA MODALE

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

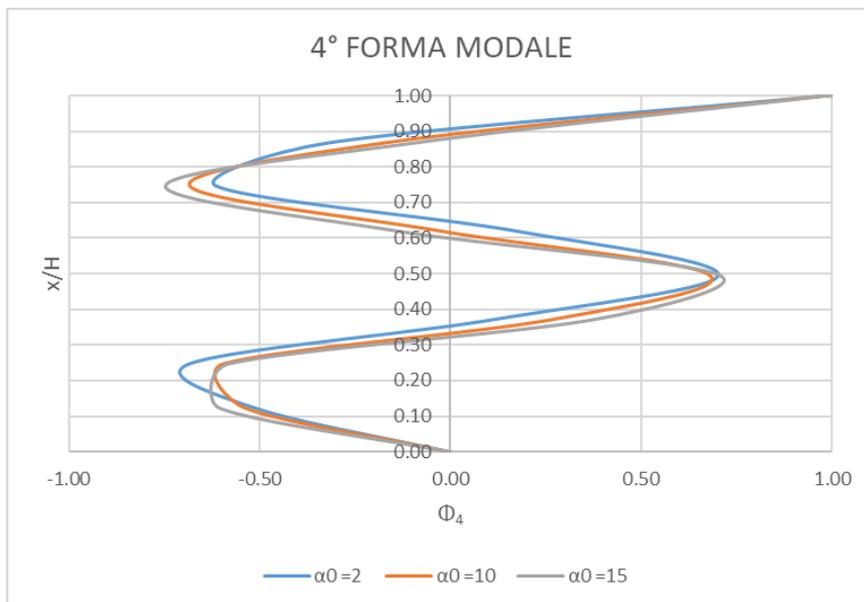


FIG 7. 4 – QUARTA FORMA MODALE

5° FORMA MODALE			
x/h	$\alpha_0=2$	$\alpha_0=10$	$\alpha_0=15$
0.00	0.00	0.00	0.00
0.12	0.67	0.65	0.69
0.25	0.30	0.19	0.13
0.37	-0.68	-0.68	-0.71
0.50	-0.04	0.09	0.18
0.62	0.70	0.65	0.63
0.75	-0.23	-0.36	-0.47
0.87	-0.55	-0.47	-0.42
1.00	1.00	1.00	1.00

TAB 7. 6 – VALORI QUINTA FORMA MODALE

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

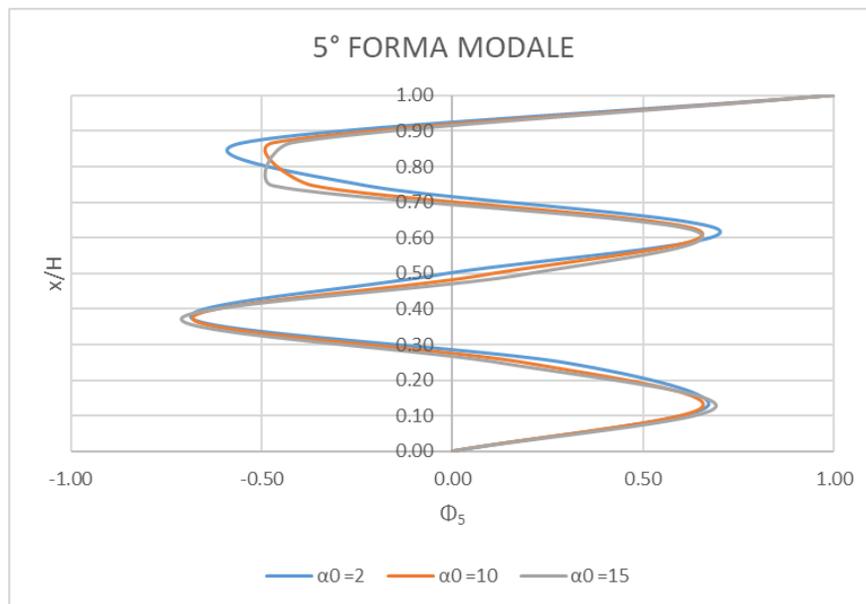


FIG 7. 5 - QUINTA FORMA MODALE

Di seguito vengono riportati i massimi degli spostamenti relativi lungo l'altezza del piano. Vengono riportati i risultati per un suolo B, nelle zone di bassa, media ed alta sismicità. Per ogni zona vengono presi in considerazione 3 accelerogrammi. Gli spostamenti relativi sono stati calcolati con la formula 4.

10

SUOLO B PGA0.19 - T1				SUOLO B PGA0.19 - T2			
x/h	$\alpha_0=2$	$\alpha_0=10$	$\alpha_0=15$	x/h	$\alpha_0=2$	$\alpha_0=10$	$\alpha_0=15$
0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000
0.12	0.002	0.003	0.008	0.12	0.003	0.003	0.006
0.25	0.008	0.008	0.019	0.25	0.010	0.008	0.017
0.37	0.017	0.013	0.030	0.37	0.019	0.014	0.028
0.50	0.027	0.018	0.041	0.50	0.029	0.019	0.037
0.62	0.037	0.022	0.050	0.62	0.040	0.024	0.046
0.75	0.048	0.025	0.058	0.75	0.050	0.027	0.053
0.87	0.058	0.027	0.063	0.87	0.059	0.029	0.058
1.00	0.069	0.028	0.065	1.00	0.070	0.031	0.061

TAB 7. 7 – VALORI SPOSTAMENTI RELATIVI – PGA0.19g - T1 E T2

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

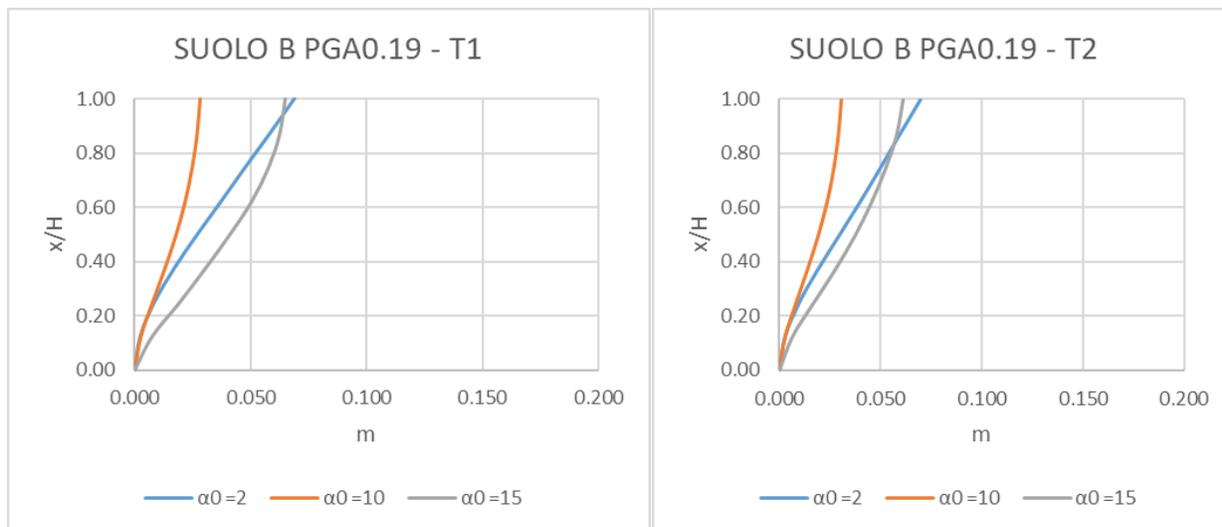


FIG 7. 6 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI PER T1 E T2 – PGA0.19g

SUOLO B PGA0.19 – T3			
x/h	$\alpha_0=2$	$\alpha_0=10$	$\alpha_0=15$
0.00	0.000	0.000	0.000
0.12	0.002	0.003	0.009
0.25	0.008	0.008	0.025
0.37	0.017	0.014	0.040
0.50	0.026	0.019	0.052
0.62	0.036	0.024	0.062
0.75	0.045	0.028	0.068
0.87	0.054	0.030	0.072
1.00	0.064	0.032	0.074

TAB 7. 8 – VALORI SPOSTAMENTI RELATIVI – PGA 0.19g – T3

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

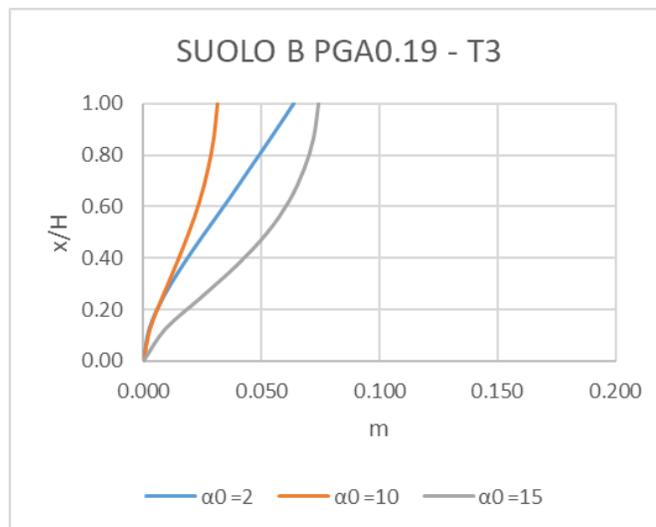


FIG 7. 7 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI PER T3 – PGA0.19g

SUOLO B PGA0.31 - T1				SUOLO B PGA0.31 - T2			
x/h	$\alpha_0=2$	$\alpha_0=10$	$\alpha_0=15$	x/h	$\alpha_0=2$	$\alpha_0=10$	$\alpha_0=15$
0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000
0.12	0.004	0.004	0.012	0.12	0.003	0.005	0.011
0.25	0.014	0.013	0.032	0.25	0.012	0.014	0.028
0.37	0.028	0.022	0.050	0.37	0.023	0.023	0.046
0.50	0.045	0.030	0.068	0.50	0.036	0.032	0.062
0.62	0.062	0.036	0.084	0.62	0.050	0.039	0.076
0.75	0.080	0.041	0.097	0.75	0.062	0.045	0.088
0.87	0.097	0.045	0.104	0.87	0.075	0.049	0.097
1.00	0.116	0.047	0.109	1.00	0.088	0.051	0.102

TAB 7. 9 - VALORI SPOSTAMENTI RELATIVI – PGA0.31g - T1 E T2

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

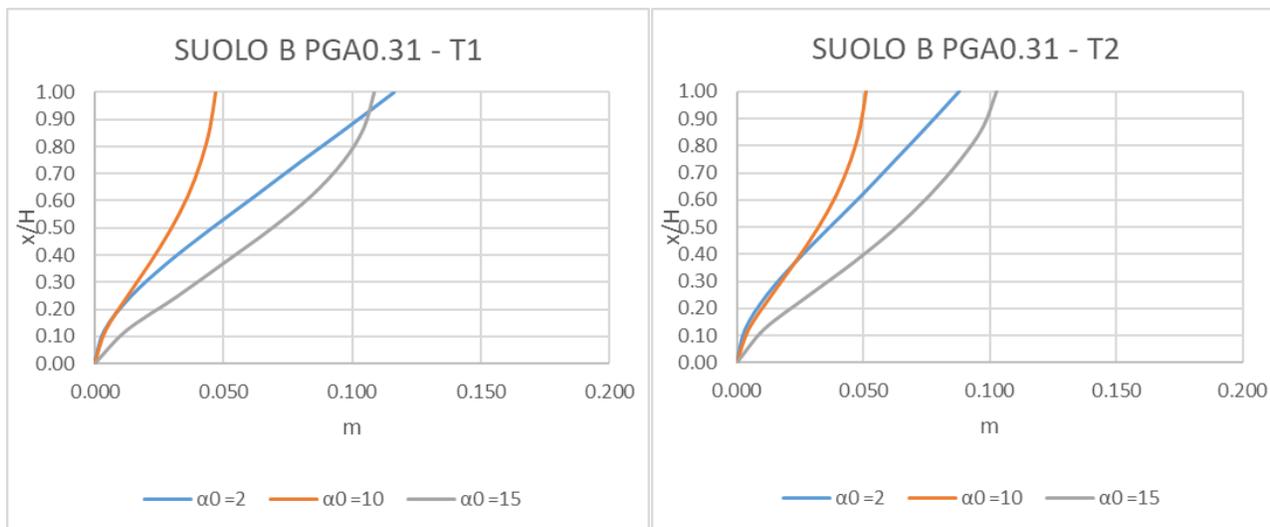


FIG 7. 8 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI PER T1 E T2 – PGA0.44g

SUOLO B PGA0.31 – T3			
x/h	$\alpha_0=2$	$\alpha_0=10$	$\alpha_0=15$
0.00	0.000	0.000	0.000
0.12	0.004	0.005	0.015
0.25	0.014	0.013	0.041
0.37	0.028	0.023	0.066
0.50	0.044	0.032	0.087
0.62	0.060	0.040	0.103
0.75	0.076	0.046	0.114
0.87	0.091	0.050	0.120
1.00	0.107	0.053	0.124

TAB 7. 10 -- VALORI SPOSTAMENTI RELATIVI – PGA 0.31g – T3

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

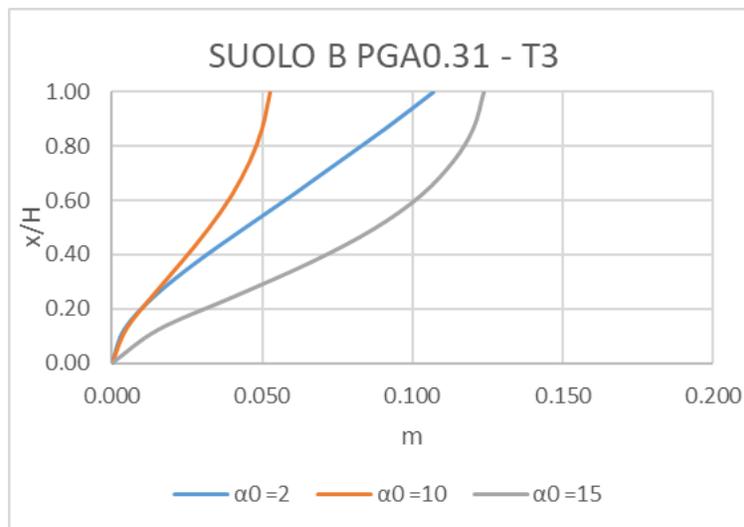


FIG 7. 9 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI PER T3 – PGA0.31g

SUOLO B PGA0.44 - T1				SUOLO B PGA0.44 - T2			
x/h	$\alpha_0=2$	$\alpha_0=10$	$\alpha_0=15$	x/h	$\alpha_0=2$	$\alpha_0=10$	$\alpha_0=15$
0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000
0.12	0.005	0.006	0.017	0.12	0.005	0.007	0.015
0.25	0.020	0.018	0.045	0.25	0.016	0.019	0.040
0.37	0.040	0.030	0.070	0.37	0.033	0.033	0.065
0.50	0.063	0.042	0.095	0.50	0.051	0.045	0.088
0.62	0.088	0.051	0.118	0.62	0.070	0.055	0.107
0.75	0.112	0.058	0.135	0.75	0.088	0.063	0.123
0.87	0.137	0.063	0.146	0.87	0.105	0.068	0.136
1.00	0.163	0.066	0.152	1.00	0.124	0.072	0.144

TAB 7. 11 - VALORI SPOSTAMENTI RELATIVI – PGA0.44g - T1 E T2

FACCIALE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

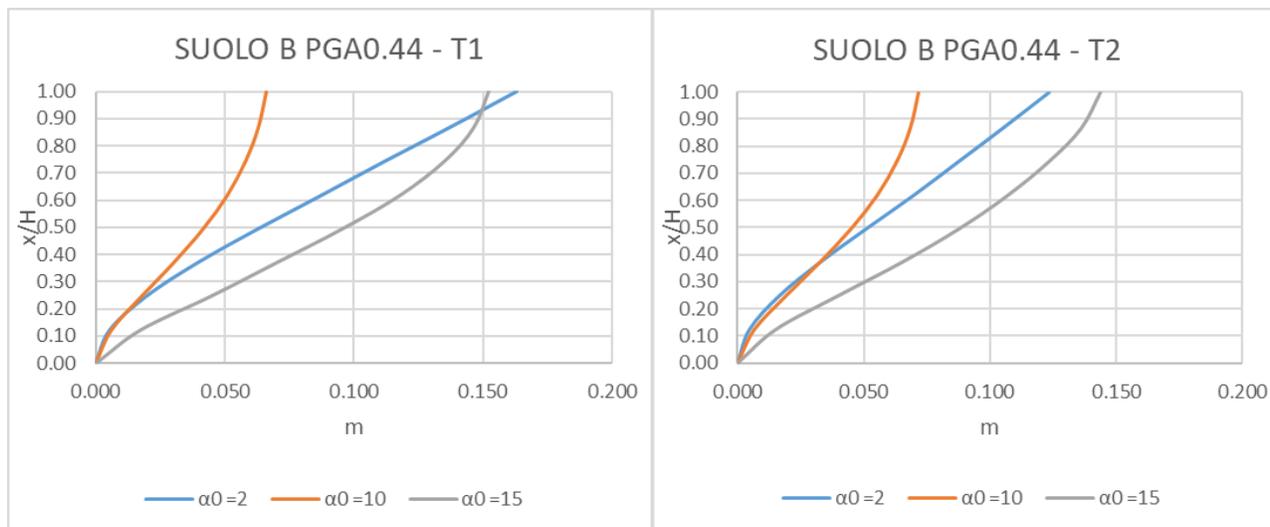


FIG 7. 10 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI PER T1 E T2 - PGA0.44g

Figura 1

SUOLO B PGA0.44 – T3			
x/h	$\alpha_0=2$	$\alpha_0=10$	$\alpha_0=15$
0.00	0.000	0.000	0.000
0.12	0.006	0.006	0.022
0.25	0.020	0.019	0.058
0.37	0.039	0.032	0.093
0.50	0.061	0.045	0.122
0.62	0.084	0.056	0.144
0.75	0.106	0.064	0.159
0.87	0.128	0.070	0.169
1.00	0.150	0.074	0.173

TAB 7. 12 - TAB 7. 8 – VALORI SPOSTAMENTI RELATIVI – PGA 0.44g – T3

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

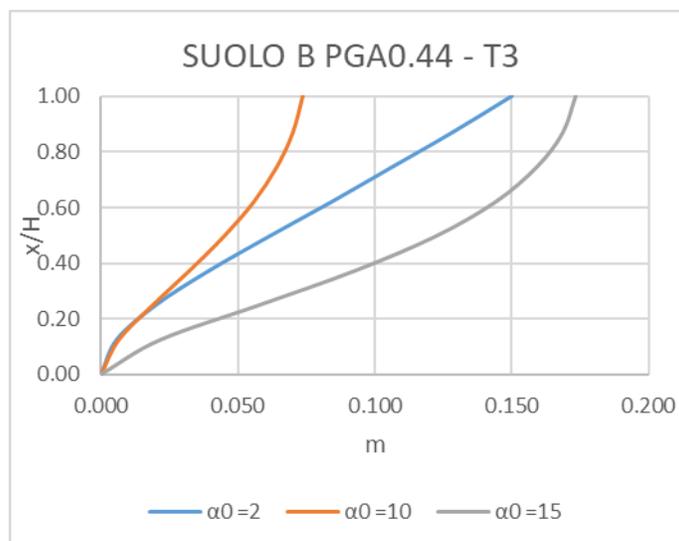


FIG 7. 11 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI PER T3 – PGA0.44g

7.1.2 RISULTATI ACCELERAZIONI ASSOLUTE STRUTTURA PRIMARIA

Sebbene il metodo analitico venga sfruttato per calcolare gli input per l'analisi non uniforme, si è voluto fare un confronto fra gli spettri ottenuti dalle storie temporali in termini di accelerazioni dei piani e quelli di normativa, in modo tale da verificare o meno l'essere conservativo della normativa [9]. La norma definisce i criteri di progettazione degli elementi strutturali secondari ed elementi non strutturali secondari, al fine di calcolarne le sollecitazioni per questi elementi è necessario definire lo spettro di risposta dei piani. La norma [9], propone una formulazione semplificata per le costruzioni con struttura a telaio con la formula 7. 1:

$$S_a(T_a) = \begin{cases} \alpha S \left(1 + \frac{z}{H}\right) \left[\frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - \frac{T_a}{aT_1}\right)^2} \right] \geq \alpha S & \text{per } T_a < aT_1 \\ \alpha S \left(1 + \frac{z}{H}\right) a_p & \text{per } aT_1 < T_a < bT_1 \\ S \left(1 + \frac{z}{H}\right) \left[\frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - \frac{T_a}{bT_1}\right)^2} \right] \geq \alpha S & \text{per } T_a \geq bT_1 \end{cases}$$

7. 1

Dove:

FACCIALE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

- ~ α : è il rapporto tra accelerazione massima del terreno a_g su sottosuolo tipo A da considerare nello stato limite in esame (si veda il capitolo 3.2.1 di [9] e l'accelerazione di gravità g ;
- ~ S : è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche secondo quanto riportato nel capitolo 3.2.3.2.1 della normativa [9];
- ~ T_a : è il periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento non strutturale;
- ~ T_1 : è il periodo fondamentale di vibrazione della costruzione nella direzione considerata;
- ~ z : è la quota del baricentro dell'elemento non strutturale misurata a partire dal piano di fondazione;
- ~ H : è l'altezza della costruzione misurata a partire dal piano di fondazione;
- ~ a, b, a_p : sono parametri definiti in accordo con il periodo fondamentale di vibrazione della costruzione;

Come detto, questi spettri dovrebbero essere conservativi e nello specifico dovrebbero tenere conto delle situazioni più critiche, ovvero dei casi in cui gli elementi non strutturali presentino un periodo proprio simile al periodo della costruzione. Nello specifico i parametri a, b, a_p sono definiti in base periodo proprio della struttura, calibrati in modo tale da tenere in considerazione la possibile elongazione del periodo fondamentale legata alla non linearità del sistema e al contributo dei modi superiori al primo.

Gli spettri di normativa sono stati calcolati con il procedimento descritto precedentemente, quelli invece derivanti dalle storie temporali in termini di accelerazione sono stati calcolati grazie all'utilizzo del software "*Seismosignal*".

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

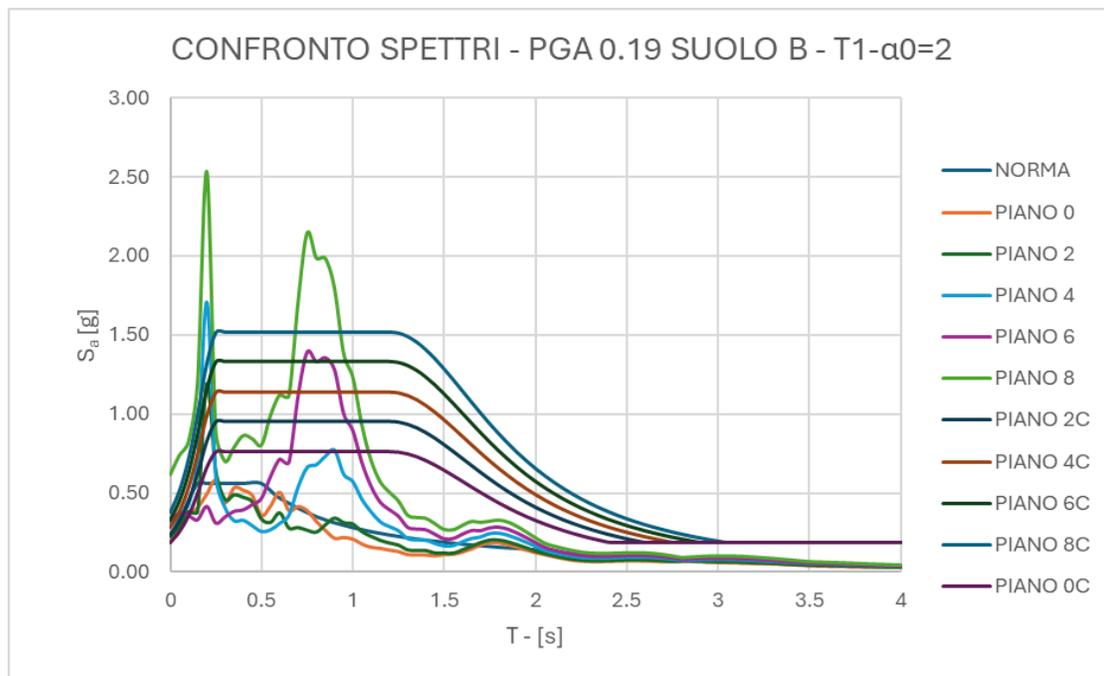


FIG 7. 12 – CONFRONTO SPETTRI DI PIANO – $\alpha_0=2$

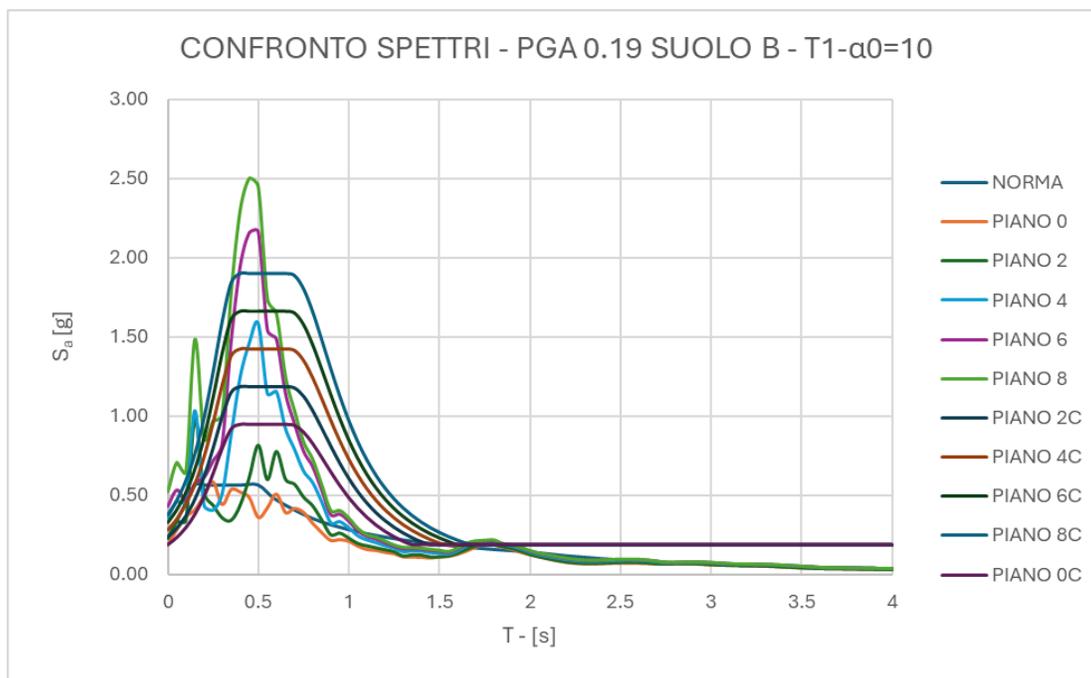


FIG 7. 13 - CONFRONTO SPETTRI DI PIANO – $\alpha_0=10$

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

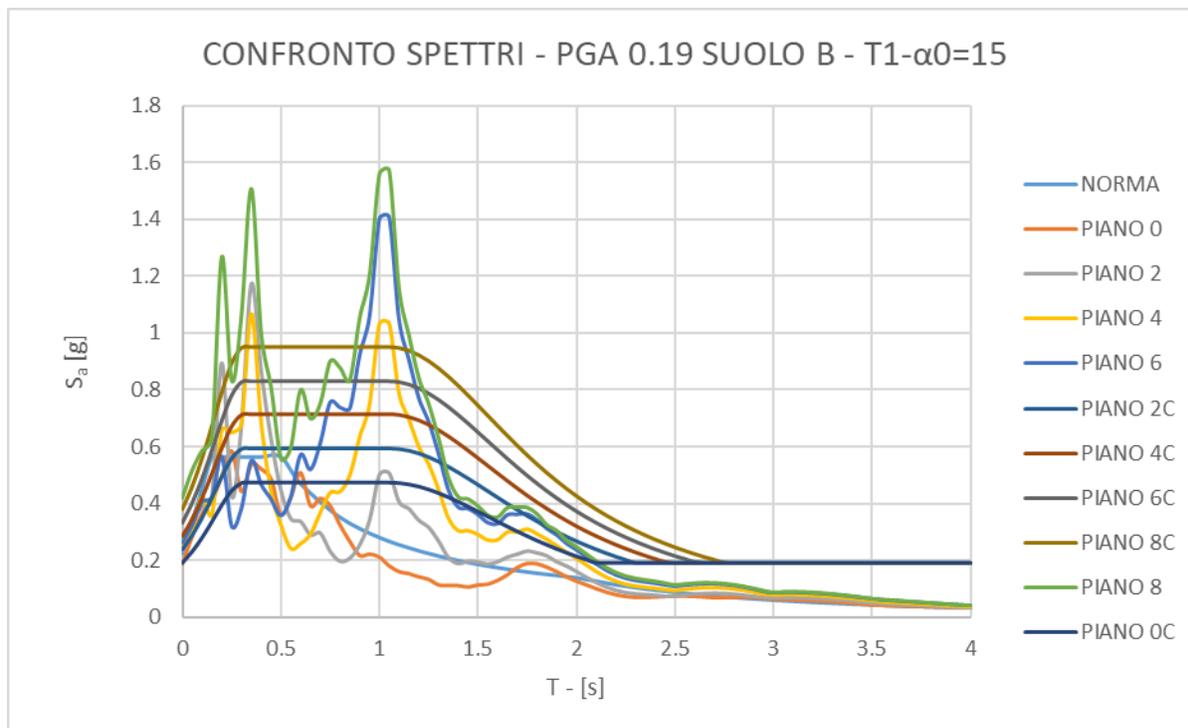


FIG 7. 14 - FIG 7. 12 – CONFRONTO SPETTRI DI PIANO – $\alpha_0=15$

Dove:

- ~ *NORMA*: spettro di normativa da cui sono stati generati gli accelerogrammi grazie a *Simqke*;
- ~ *PIANO N*: spettro generato dall'accelerogramma dell'N-esimo piano con l'utilizzo di *seismosignal*;
- ~ *PIANO NC*: Spettro generato con la normativa riguardante gli spettri di riposta per elementi non strutturali.

Nelle immagini precedenti vengono raffigurati i risultati per un suolo B in zona di bassa sismicità, i risultati completi vengono rappresentati nell'APPENDICE A.

7.2 RISULTATI CONFRONTO ANALISI UNIFORME E NON UNIFORME

Vengono riportati i risultati delle analisi dinamiche sviluppate con SAP. I valori ottenuti sono stati ottenuti per i nodi della rete; si è considerato per ogni nodo la propria accelerazione assoluta massima e il proprio spostamento relativo massimo. Inoltre, è compreso anche il confronto riguardante la forza del connettore ed il tiro massimo del cavo.

Il confronto viene definito puntuale, in quanto vengono presi i valori rilevati sui nodi dei cavi illustrati nella FIG 7. 15 – CAVI PRESI IN CONSIDERAZIONE, esso avviene per ogni analisi condotta: l’analisi uniforme e le tre analisi non uniformi. La colonna “*confronto*” indica il rapporto ottenuto tra le grandezze ottenute dall’analisi non uniforme di riferimento e l’analisi uniforme. In modo tale da evidenziare i punti in cui l’analisi non uniforme si discosti dall’analisi uniforme. Il confronto viene illustrato per le zone a bassa, media ed alta sismicità.

Le figure illustrano l’andamento delle grandezze ottenute dall’analisi uniforme e dalle analisi non uniformi, in modo da far risaltare agli occhi quale analisi fra le 4 proposte risulti più gravosa per la facciata di vetro.

PRIMO PERIODO – [s]		
$\alpha_0 = 15$	FACCIATA	RAPPORTO
1.05	0.52	0.50
PRIMO PERIODO – [s]		
$\alpha_0 = 10$	FACCIATA	RAPPORTO
0.48	0.52	1.08
PRIMO PERIODO – [s]		
$\alpha_0 = 2$	FACCIATA	RAPPORTO
0.86	0.52	0.60

TAB 7. 13 – PERIODI E RAPPORTI

I cavi analizzati sono il *cavo n.7* per il cavo verticale e il *cavo n.6* per il cavo orizzontale.

FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

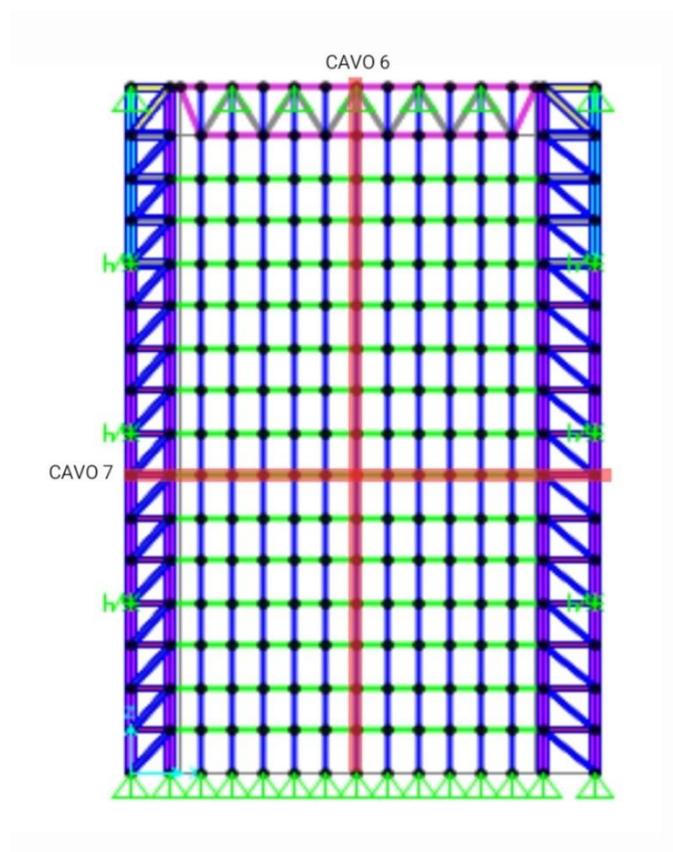


FIG 7. 15 – CAVI PRESI IN CONSIDERAZIONE

7.2.1 ZONA A BASSA SISMICITA': PGA 0.19g.

7.2.1.1 CAVO ORIZZONTALE:

- ACCELERAZIONE ASSOLUTA:

CAVO ORIZZONTALE			
ACCELERAZIONE ASSOLUTA - [g]			
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	RAPPORTO
0.00	0.35	0.34	0.98
0.08	0.88	0.56	0.63
0.17	1.12	0.67	0.60
0.25	1.36	0.67	0.49
0.33	1.54	0.83	0.54
0.42	1.74	1.07	0.61

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

0.50	2.00	1.30	0.65
0.58	1.79	1.19	0.66
0.67	1.40	0.82	0.58
0.75	1.32	0.71	0.54
0.83	1.13	0.66	0.58
0.92	0.93	0.55	0.60
1.00	0.50	0.39	0.78

CAVO ORIZZONTALE

ACCELERAZIONE ASSOLUTA - [g]

x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	RAPPORTO
0.00	0.35	0.51	1.48
0.08	0.88	1.91	2.16
0.17	1.12	3.25	2.90
0.25	1.36	4.51	3.31
0.33	1.54	5.74	3.72
0.42	1.74	6.94	3.98
0.50	2.00	7.35	3.68
0.58	1.79	6.89	3.84
0.67	1.40	5.81	4.15
0.75	1.32	4.63	3.51
0.83	1.13	3.44	3.04
0.92	0.93	2.13	2.29
1.00	0.50	0.76	1.52

CAVO ORIZZONTALE

ACCELERAZIONE ASSOLUTA - [g]

x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	RAPPORTO
0.00	0.35	0.72	2.07
0.08	0.88	1.78	2.01
0.17	1.12	1.97	1.76
0.25	1.36	1.43	1.05
0.33	1.54	0.76	0.49
0.42	1.74	1.61	0.92
0.50	2.00	2.28	1.14
0.58	1.79	2.01	1.12
0.67	1.40	0.96	0.68
0.75	1.32	1.09	0.82
0.83	1.13	1.87	1.65
0.92	0.93	1.91	2.05
1.00	0.50	1.04	2.08

TAB 7. 14 – VALORI ACCELERAZIONE ASSOLUTA CAVO ORIZZONTALE – PGA0.19g

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

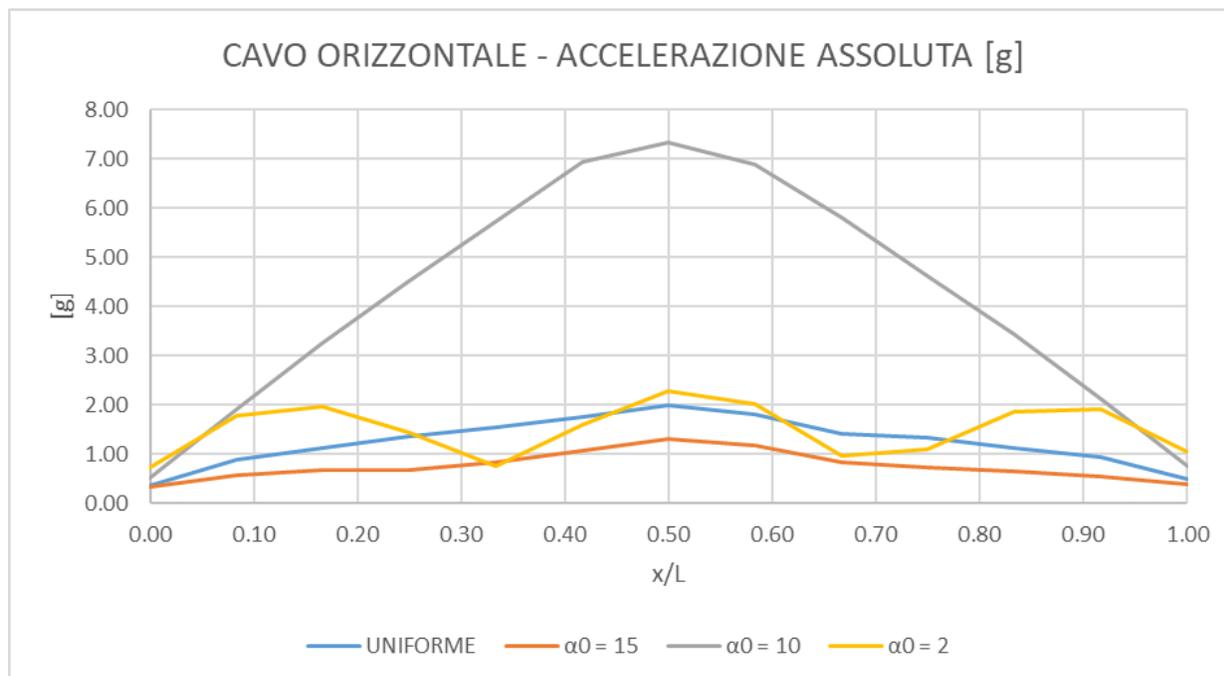


FIG 7. 16 – MASSIME ACCELERAZIONI ASSOLUTE CAVO ORIZZONTALE – SUOLO B – PGA0.19g

○ FORZA DEL CONETTORE

FORZA CONNETTORE [N] - CAVO ORIZZONTALE				
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	MASSA [kg]	RAPPORTO
0	-	-	-	-
0.08	1666.03	1057.43	192.50	0.63
0.17	1407.54	848.97	128.30	0.60
0.25	1712.08	844.42	128.30	0.49
0.33	1942.38	1044.78	128.30	0.54
0.42	2191.82	1341.06	128.30	0.61
0.50	2513.41	1639.25	128.30	0.65
0.58	2259.21	1494.11	128.30	0.66
0.67	1764.01	1031.37	128.30	0.58
0.75	1660.93	899.47	128.30	0.54
0.83	1420.33	826.57	128.30	0.58
0.92	1754.42	1045.57	192.50	0.60
1	-	-	-	-
FORZA CONNETTORE [N] - CAVO ORIZZONTALE				
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	MASSA [kg]	RAPPORTO
0	-	-	-	-
0.08	1666.03	3603.26	192.50	2.16
0.17	1407.54	4088.74	128.30	2.90

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

0.25	1712.08	5674.82	128.30	3.31
0.33	1942.38	7226.21	128.30	3.72
0.42	2191.82	8731.52	128.30	3.98
0.50	2513.41	9246.63	128.30	3.68
0.58	2259.21	8677.03	128.30	3.84
0.67	1764.01	7318.34	128.30	4.15
0.75	1660.93	5829.66	128.30	3.51
0.83	1420.33	4324.23	128.30	3.04
0.92	1754.42	4025.89	192.50	2.29
1	-	-	-	-

FORZA CONNETTORE [N] - CAVO ORIZZONTALE				
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	MASSA [kg]	RAPPORTO
0	-	-	-	-
0.08	1666.03	3355.79	192.50	2.01
0.17	1407.54	2477.83	128.30	1.76
0.25	1712.08	1798.94	128.30	1.05
0.33	1942.38	961.44	128.30	0.49
0.42	2191.82	2023.71	128.30	0.92
0.50	2513.41	2874.69	128.30	1.14
0.58	2259.21	2528.67	128.30	1.12
0.67	1764.01	1204.84	128.30	0.68
0.75	1660.93	1369.73	128.30	0.82
0.83	1420.33	2347.88	128.30	1.65
0.92	1754.42	3602.32	192.50	2.05
1	-	-	-	-

TAB 7. 15 – VALORI FORZA CONNETTORE CAVO ORIZZONTALE -PGA0.19g

○ *SPOSTAMENTO RELATIVO*

CAVO ORIZZONTALE			
SPOSTAMENTO RELATIVO - [m]			
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	RAPPORTO
0.00	0.005	0.054	10.56
0.08	0.027	0.060	2.19
0.17	0.050	0.064	1.27
0.25	0.070	0.067	0.96
0.33	0.085	0.071	0.83
0.42	0.095	0.075	0.80
0.50	0.098	0.078	0.80
0.58	0.095	0.077	0.81
0.67	0.086	0.073	0.84

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

0.75	0.072	0.070	0.97
0.83	0.054	0.068	1.26
0.92	0.031	0.065	2.07
1.00	0.009	0.059	6.67

CAVO ORIZZONTALE

SPOSTAMENTO RELATIVO - [m]

x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	RAPPORTO
0.00	0.005	0.026	5.06
0.08	0.027	0.092	3.36
0.17	0.050	0.170	3.37
0.25	0.070	0.241	3.42
0.33	0.085	0.298	3.49
0.42	0.095	0.336	3.55
0.50	0.098	0.350	3.58
0.58	0.095	0.339	3.57
0.67	0.086	0.305	3.53
0.75	0.072	0.251	3.46
0.83	0.054	0.182	3.39
0.92	0.031	0.105	3.37
1.00	0.009	0.036	4.08

CAVO ORIZZONTALE

SPOSTAMENTO RELATIVO - [m]

x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	RAPPORTO
0.00	0.005	0.025	4.82
0.08	0.027	0.039	1.42
0.17	0.050	0.049	0.96
0.25	0.070	0.052	0.74
0.33	0.085	0.052	0.61
0.42	0.095	0.053	0.56
0.50	0.098	0.057	0.58
0.58	0.095	0.054	0.57
0.67	0.086	0.051	0.59
0.75	0.072	0.051	0.70
0.83	0.054	0.049	0.91
0.92	0.031	0.041	1.32
1.00	0.009	0.029	3.25

TAB 7. 16 – VALORI SPOSTAMENTO RELATIVO CAVO ORIZZONTALE – 0.19g

FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

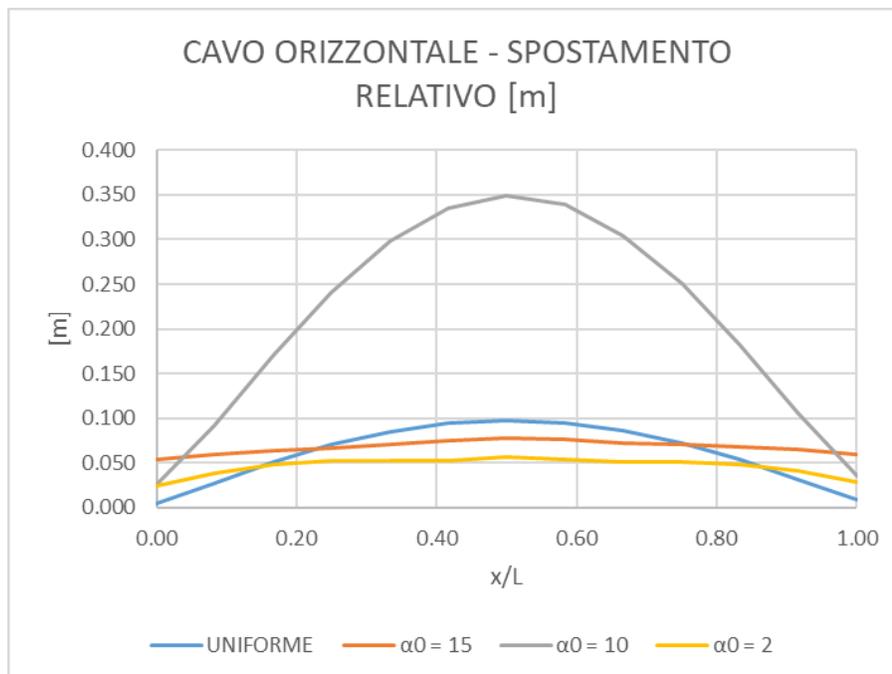


FIG 7. 17 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI CAVO ORIZZONTALE – SUOLO B – PGA0.19g

○ TIRO CAVO

CAVO ORIZZONTALE TIRO MASSIMO - [kN]		
UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	RAPPORTO
356.68	351.08	0.98
CAVO ORIZZONTALE TIRO MASSIMO - [kN]		
UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	RAPPORTO
356.68	446.50	1.25
CAVO ORIZZONTALE TIRO MASSIMO - [kN]		
UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	RAPPORTO
356.68	350.01	0.98

TAB 7. 17 – VALORI TIRO CAVO ORIZZONTALE – PGA 0.19g

7.2.1.2 CAVO VERTICALE:

○ ACCELERAZIONE ASSOLUTA

CAVO VERTICALE ACCELERAZIONE ASSOLUTA - [g]			
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	RAPPORTO
0.00	0.19	0.19	1.00

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

0.07	1.16	1.00	0.86
0.13	1.46	1.09	0.75
0.20	1.75	1.38	0.79
0.27	1.63	1.38	0.85
0.33	1.95	1.15	0.59
0.40	1.93	1.10	0.57
0.47	2.00	1.30	0.65
0.53	1.83	0.94	0.52
0.60	1.77	1.37	0.78
0.67	1.24	1.24	1.00
0.73	1.20	1.20	1.00
0.80	1.38	1.49	1.08
0.87	1.26	1.16	0.92
0.93	1.22	1.12	0.92
1.00	0.76	0.79	1.05

CAVO VERTICALE

ACCELERAZIONE ASSOLUTA - [g]

x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	RAPPORTO
0.00	0.19	0.19	1.00
0.07	1.16	3.84	3.31
0.13	1.46	6.40	4.37
0.20	1.75	7.48	4.27
0.27	1.63	7.53	4.63
0.33	1.95	7.68	3.93
0.40	1.93	6.91	3.57
0.47	2.00	7.35	3.68
0.53	1.83	7.64	4.18
0.60	1.77	7.71	4.36
0.67	1.24	7.49	6.05
0.73	1.20	6.70	5.60
0.80	1.38	5.93	4.28
0.87	1.26	4.79	3.81
0.93	1.22	3.08	2.53
1.00	0.76	1.22	1.61

CAVO VERTICALE

ACCELERAZIONE ASSOLUTA - [g]

x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	RAPPORTO
0.00	0.19	0.19	1.00
0.07	1.16	1.19	1.03
0.13	1.46	1.89	1.29
0.20	1.75	2.22	1.27

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

0.27	1.63	2.59	1.59
0.33	1.95	2.73	1.40
0.40	1.93	2.43	1.26
0.47	2.00	2.28	1.14
0.53	1.83	2.24	1.23
0.60	1.77	2.30	1.30
0.67	1.24	2.24	1.81
0.73	1.20	1.59	1.33
0.80	1.38	1.31	0.95
0.87	1.26	1.49	1.18
0.93	1.22	1.74	1.43
1.00	0.76	1.59	2.10

TAB 7. 18 – VALORI ACCELERAZIONE ASSOLUTA CAVO VERTICALE – PGA0.19g

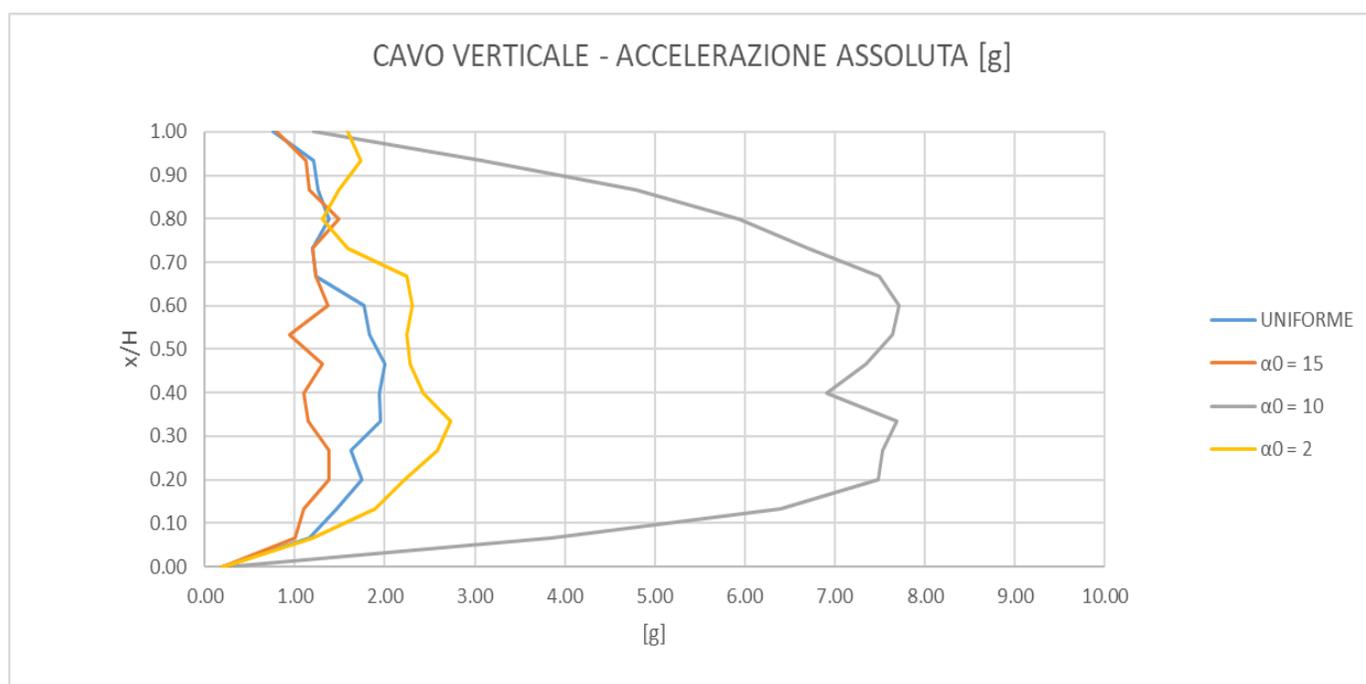


FIG 7. 18 - MASSIME ACCELERAZIONI ASSOLUTE CAVO VERTICALE – SUOLO B – PGA0.19g

○ FORZA DEL CONETTORE

FORZA CONNETTORE [N] - CAVO VERTICALE				
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	MASSA [kg]	RAPPORTO
0	118.17	118.17	64.20	1
0.07	1459.50	1262.27	128.30	0.86
0.13	1842.14	1378.04	128.30	0.75
0.20	2204.99	1732.57	128.30	0.79

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

0.27	2048.36	1731.00	128.30	0.85
0.33	2457.49	1442.54	128.30	0.59
0.40	2435.40	1378.80	128.30	0.57
0.47	2513.41	1639.25	128.30	0.65
0.53	2301.72	1185.80	128.30	0.52
0.60	2224.27	1729.13	128.30	0.78
0.67	1559.82	1557.89	128.30	1.00
0.73	1505.19	1508.62	128.30	1.00
0.80	1741.54	1874.65	128.30	1.08
0.87	1582.87	1464.11	128.30	0.92
0.93	1530.84	1411.54	128.30	0.92
1	1020.34	1067.65	137.50	1.05

FORZA CONNETTORE [N] - CAVO VERTICALE

x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	MASSA [kg]	RAPPORTO
0	118.17	118.17	64.2	1
0.07	1459.50	4837.06	128.30	3.31
0.13	1842.14	8054.49	128.30	4.37
0.20	2204.99	9409.94	128.30	4.27
0.27	2048.36	9473.84	128.30	4.63
0.33	2457.49	9667.32	128.30	3.93
0.40	2435.40	8698.50	128.30	3.57
0.47	2513.41	9246.63	128.30	3.68
0.53	2301.72	9610.62	128.30	4.18
0.60	2224.27	9701.03	128.30	4.36
0.67	1559.82	9430.22	128.30	6.05
0.73	1505.19	8427.44	128.30	5.60
0.80	1741.54	7461.65	128.30	4.28
0.87	1582.87	6030.69	128.30	3.81
0.93	1530.84	3877.85	128.30	2.53
1	1020.34	1640.30	137.50	1.61

FORZA CONNETTORE [N] - CAVO VERTICALE

x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	MASSA [kg]	RAPPORTO
0	118.17	118.17	64.2	1
0.07	1459.50	1501.17	128.30	1.03
0.13	1842.14	2381.05	128.30	1.29
0.20	2204.99	2789.45	128.30	1.27
0.27	2048.36	3258.01	128.30	1.59
0.33	2457.49	3433.40	128.30	1.40
0.40	2435.40	3058.07	128.30	1.26
0.47	2513.41	2874.69	128.30	1.14
0.53	2301.72	2822.63	128.30	1.23
0.60	2224.27	2901.00	128.30	1.30
0.67	1559.82	2819.28	128.30	1.81

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

0.73	1505.19	1996.16	128.30	1.33
0.80	1741.54	1648.83	128.30	0.95
0.87	1582.87	1873.34	128.30	1.18
0.93	1530.84	2189.55	128.30	1.43
1	1020.34	2139.57	137.50	2.10

TAB 7. 19 – VALORI SPOSTAMENTO RELATIVO CAVO VERTICALE – PGA0.19g

○ *SPOSTAMENTO RELATIVO*

CAVO VERTICALE			
SPOSTAMENTO RELATIVO - [m]			
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	RAPPORTO
0.00	0.000	0.000	-
0.07	0.041	0.037	0.91
0.13	0.064	0.040	0.62
0.20	0.074	0.054	0.73
0.27	0.081	0.062	0.76
0.33	0.085	0.068	0.80
0.40	0.091	0.068	0.75
0.47	0.098	0.078	0.80
0.53	0.099	0.092	0.93
0.60	0.082	0.115	1.40
0.67	0.067	0.113	1.68
0.73	0.062	0.105	1.70
0.80	0.055	0.102	1.84
0.87	0.050	0.095	1.89
0.93	0.035	0.113	3.19
1.00	0.012	0.164	13.73

CAVO VERTICALE			
SPOSTAMENTO RELATIVO - [m]			
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	RAPPORTO
0.00	0.000	0.000	-
0.07	0.041	0.164	4.01
0.13	0.064	0.280	4.38
0.20	0.074	0.332	4.49
0.27	0.081	0.351	4.34
0.33	0.085	0.356	4.19
0.40	0.091	0.335	3.69
0.47	0.098	0.350	3.58
0.53	0.099	0.360	3.63
0.60	0.082	0.358	4.34
0.67	0.067	0.345	5.13

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

0.73	0.062	0.320	5.18
0.80	0.055	0.284	5.13
0.87	0.050	0.229	4.59
0.93	0.035	0.146	4.12
1.00	0.012	0.050	4.16
CAVO VERTICALE			
SPOSTAMENTO RELATIVO - [m]			
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	RAPPORTO
0.00	0.000	0.000	-
0.07	0.041	0.029	0.70
0.13	0.064	0.040	0.63
0.20	0.074	0.049	0.67
0.27	0.081	0.053	0.65
0.33	0.085	0.054	0.64
0.40	0.091	0.058	0.64
0.47	0.098	0.057	0.58
0.53	0.099	0.070	0.71
0.60	0.082	0.089	1.08
0.67	0.067	0.102	1.52
0.73	0.062	0.101	1.63
0.80	0.055	0.101	1.82
0.87	0.050	0.105	2.11
0.93	0.035	0.097	2.73
1.00	0.012	0.082	6.88

TAB 7. 20 – VALORI SPOSTAMENTO RELATIVO CAVO VERTICALE – PGA0.19g

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

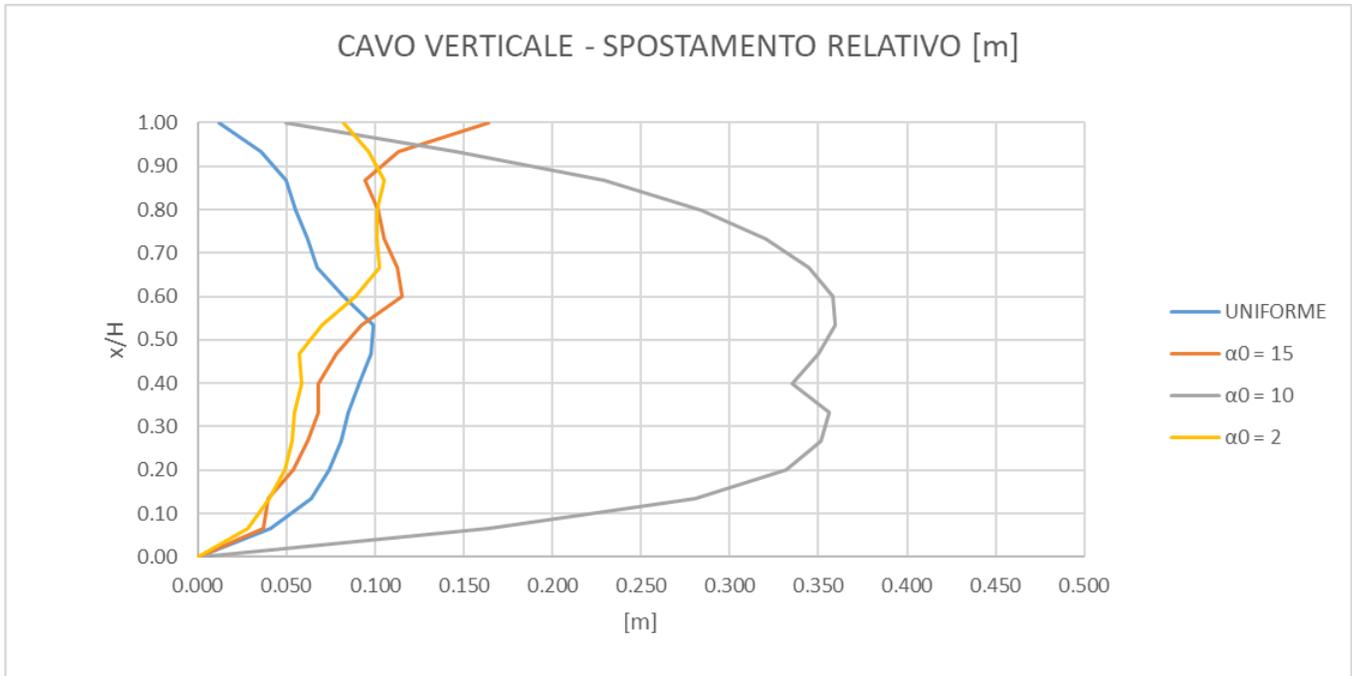


FIG 7. 19 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI MASSIME VERTICALE– SUOLO B – PGA0.19g

○ TIRO CAVO

CAVO ORIZZONTALE		
TIRO MASSIMO - [kN]		
UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	RAPPORTO
30.75	32.33	1.05
CAVO ORIZZONTALE		
TIRO MASSIMO - [kN]		
UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	RAPPORTO
30.75	39.75	1.29
CAVO ORIZZONTALE		
TIRO MASSIMO - [kN]		
UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	RAPPORTO
30.75	30.96	1.01

TAB 7. 21 – VALORI TIRO CAVO VERTICALE – PGA0.19g

7.2.2 ZONA A MEDIA SISMICITA': PGA 0.31g.

7.2.2.1 CAVO ORIZZONTALE:

○ ACCELERAZIONE ASSOLUTA

CAVO ORIZZONTALE
ACCELERAZIONE ASSOLUTA - [g]

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	RAPPORTO
0.00	0.57	0.56	0.98
0.08	1.46	0.86	0.59
0.17	1.76	0.98	0.55
0.25	2.11	1.22	0.58
0.33	2.55	1.49	0.59
0.42	2.97	1.62	0.54
0.50	3.35	1.68	0.50
0.58	3.10	1.73	0.56
0.67	2.41	1.56	0.65
0.75	2.08	1.20	0.58
0.83	1.88	0.96	0.51
0.92	1.52	0.76	0.50
1.00	0.84	0.58	0.69

CAVO ORIZZONTALE

ACCELERAZIONE ASSOLUTA - [g]

x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	RAPPORTO
0.00	0.57	1.37	2.40
0.08	1.46	3.42	2.35
0.17	1.76	5.30	3.00
0.25	2.11	6.93	3.29
0.33	2.55	9.38	3.68
0.42	2.97	11.66	3.92
0.50	3.35	12.72	3.80
0.58	3.10	11.65	3.75
0.67	2.41	9.21	3.83
0.75	2.08	7.04	3.39
0.83	1.88	5.50	2.92
0.92	1.52	3.72	2.45
1.00	0.84	1.84	2.19

CAVO ORIZZONTALE

ACCELERAZIONE ASSOLUTA - [g]

x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	RAPPORTO
0.00	0.57	1.16	2.02
0.08	1.46	2.86	1.96
0.17	1.76	3.30	1.87
0.25	2.11	2.53	1.20
0.33	2.55	1.30	0.51
0.42	2.97	2.63	0.88

FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

0.50	3.35	3.75	1.12
0.58	3.10	3.34	1.08
0.67	2.41	1.61	0.67
0.75	2.08	1.95	0.94
0.83	1.88	3.03	1.61
0.92	1.52	3.11	2.05
1.00	0.84	1.63	1.94

TAB 7. 22 – VALORI ACCELERAZIONE ASSOLUTA CAVO ORIZZONTALE – 0.31g

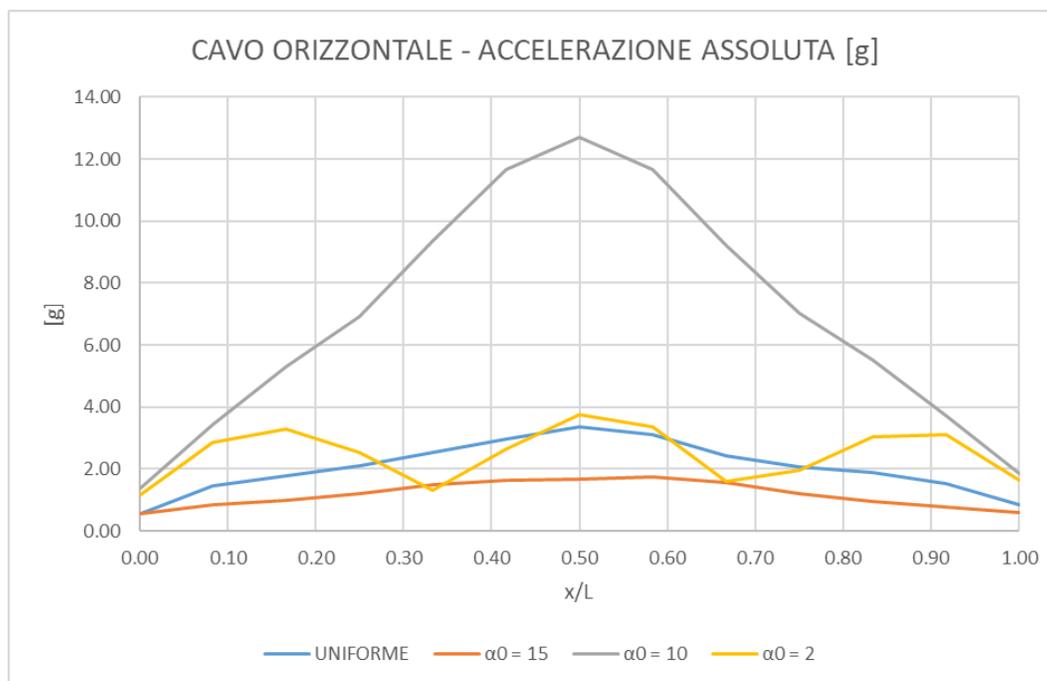


FIG 7. 20 - MASSIME ACCELERAZIONI ASSOLUTE CAVO ORIZZONTALE – SUOLO B – PGA0.31g

○ FORZA DEL CONETTORE

<u>FORZA CONNETTORE [N] - CAVO ORIZZONTALE</u>				
<u>x/L</u>	<u>UNIFORME</u>	<u>α0 = 15</u>	<u>MASSA [kg]</u>	<u>RAPPORTO</u>
0	-	-	-	-
0.08	2752.36	1630.21	192.50	0.59
0.17	2220.30	1228.19	128.30	0.55
0.25	2653.93	1534.75	128.30	0.58
0.33	3203.84	1879.86	128.30	0.59
0.42	3740.78	2036.74	128.30	0.54
0.50	4217.42	2114.55	128.30	0.50
0.58	3904.95	2181.36	128.30	0.56
0.67	3031.38	1968.93	128.30	0.65
0.75	2614.18	1504.27	128.30	0.58

FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

0.83	2368.09	1204.31	128.30	0.51
0.92	2865.70	1429.43	192.50	0.50
1	-	-	-	-
FORZA CONNETTORE [N] - CAVO ORIZZONTALE				
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	MASSA [kg]	RAPPORTO
0	-	-	-	-
0.08	2752.36	6457.75	192.50	2.35
0.17	2220.30	6670.32	128.30	3.00
0.25	2653.93	8724.28	128.30	3.29
0.33	3203.84	11803.57	128.30	3.68
0.42	3740.78	14670.48	128.30	3.92
0.50	4217.42	16006.39	128.30	3.80
0.58	3904.95	14661.07	128.30	3.75
0.67	3031.38	11596.83	128.30	3.83
0.75	2614.18	8863.13	128.30	3.39
0.83	2368.09	6926.43	128.30	2.92
0.92	2865.70	7017.34	192.50	2.45
1	-	-	-	-
FORZA CONNETTORE [N] - CAVO ORIZZONTALE				
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	MASSA [kg]	RAPPORTO
0	-	-	-	-
0.08	2752.36	5392.14	192.50	1.96
0.17	2220.30	4152.14	128.30	1.87
0.25	2653.93	3185.27	128.30	1.20
0.33	3203.84	1642.28	128.30	0.51
0.42	3740.78	3307.65	128.30	0.88
0.50	4217.42	4715.87	128.30	1.12
0.58	3904.95	4209.05	128.30	1.08
0.67	3031.38	2030.39	128.30	0.67
0.75	2614.18	2450.88	128.30	0.94
0.83	2368.09	3812.16	128.30	1.61
0.92	2865.70	5873.68	192.50	2.05
1	-	-	-	-

TAB 7. 23 - VALORI FORZA NEL CONNETTORE CAVO ORIZZONTALE - PGA0.31g

○ *SPOSTAMENTO RELATIVO*

CAVO ORIZZONTALE			
SPOSTAMENTO RELATIVO - [m]			
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	RAPPORTO
0.00	0.008	0.079	9.29
0.08	0.044	0.087	1.99

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

0.17	0.080	0.094	1.17
0.25	0.112	0.099	0.89
0.33	0.136	0.103	0.76
0.42	0.150	0.108	0.72
0.50	0.154	0.111	0.72
0.58	0.150	0.109	0.73
0.67	0.137	0.104	0.76
0.75	0.115	0.100	0.87
0.83	0.085	0.095	1.12
0.92	0.050	0.089	1.78
1.00	0.015	0.081	5.58

CAVO ORIZZONTALE

SPOSTAMENTO RELATIVO - [m]

x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	RAPPORTO
0.00	0.008	0.057	6.69
0.08	0.044	0.159	3.63
0.17	0.080	0.268	3.35
0.25	0.112	0.366	3.28
0.33	0.136	0.445	3.28
0.42	0.150	0.498	3.33
0.50	0.154	0.518	3.36
0.58	0.150	0.503	3.36
0.67	0.137	0.456	3.33
0.75	0.115	0.382	3.32
0.83	0.085	0.288	3.38
0.92	0.050	0.183	3.67
1.00	0.015	0.079	5.45

CAVO ORIZZONTALE

SPOSTAMENTO RELATIVO - [m]

x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	RAPPORTO
0.00	0.008	0.041	4.88
0.08	0.044	0.065	1.48
0.17	0.080	0.080	1.00
0.25	0.112	0.087	0.78
0.33	0.136	0.086	0.64
0.42	0.150	0.087	0.58
0.50	0.154	0.095	0.62
0.58	0.150	0.090	0.60
0.67	0.137	0.084	0.61

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

0.75	0.115	0.085	0.74
0.83	0.085	0.081	0.95
0.92	0.050	0.068	1.37
1.00	0.015	0.048	3.32

TAB 7. 24 – VALORI SPOSTAMENTO RELATIVO CAVO ORIZZONTALE – PGA0.31g

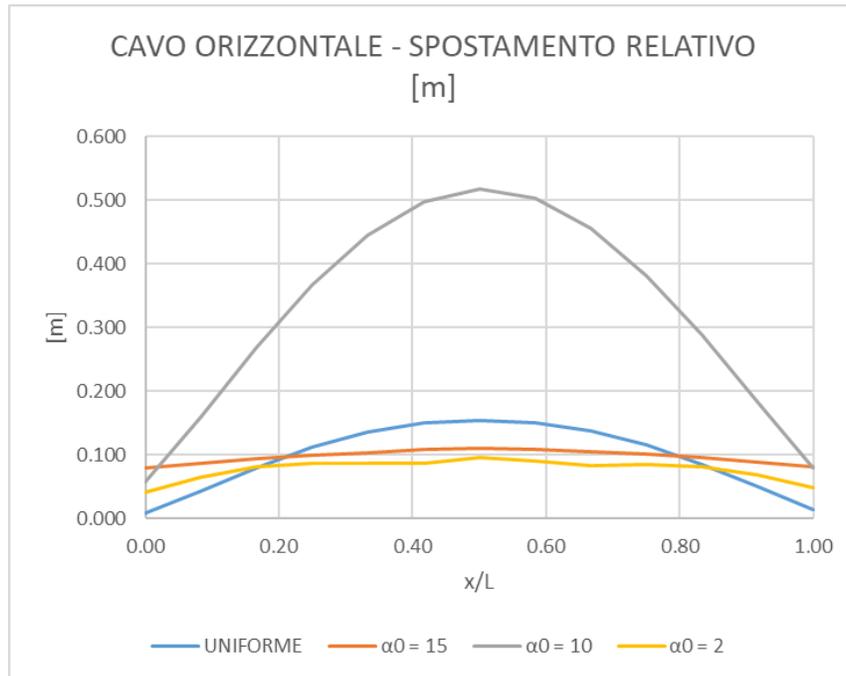


FIG 7. 21 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI CAVO ORIZZONTALE – SUOLO B – PGA0.31g

○ TIRO CAVO

CAVO ORIZZONTALE		
TIRO MASSIMO - [kN]		
UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	RAPPORTO
369.51	354.76	0.96

CAVO ORIZZONTALE		
TIRO MASSIMO - [kN]		
UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	RAPPORTO
369.51	535.19	1.45

CAVO ORIZZONTALE		
TIRO MASSIMO - [kN]		
UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	RAPPORTO
369.51	353.73	0.96

FACCiate IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

TAB 7. 25 – VALORI TIRO CAVO ORIZZONTALE – $PGA0.31g$

7.2.2.2 CAVO VERTICALE:

○ ACCELERAZIONE ASSOLUTA

CAVO VERTICALE			
ACCELERAZIONE ASSOLUTA - [g]			
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	RAPPORTO
0.00	0.31	0.31	1.00
0.07	1.80	1.83	1.02
0.13	2.38	1.85	0.78
0.20	2.94	2.38	0.81
0.27	2.82	2.28	0.81
0.33	3.19	2.12	0.67
0.40	3.37	1.71	0.51
0.47	3.35	1.68	0.50
0.53	3.07	1.76	0.57
0.60	3.01	2.50	0.83
0.67	2.33	2.83	1.21
0.73	2.01	2.11	1.05
0.80	2.34	2.45	1.04
0.87	2.13	2.09	0.98
0.93	2.08	2.12	1.02
1.00	1.24	1.34	1.08

CAVO VERTICALE			
ACCELERAZIONE ASSOLUTA - [g]			
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	RAPPORTO
0.00	0.31	0.31	1.00
0.07	1.80	7.23	4.02
0.13	2.38	11.30	4.75
0.20	2.94	12.35	4.21
0.27	2.82	13.22	4.69
0.33	3.19	12.89	4.04
0.40	3.37	13.07	3.88
0.47	3.35	12.72	3.80
0.53	3.07	12.67	4.12
0.60	3.01	13.87	4.60
0.67	2.33	12.54	5.38
0.73	2.01	12.48	6.21
0.80	2.34	11.32	4.84
0.87	2.13	9.48	4.46
0.93	2.08	6.71	3.23

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

	1.00	1.24	2.33	1.87
CAVO VERTICALE				
ACCELERAZIONE ASSOLUTA - [g]				
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	RAPPORTO	
0.00	0.31	0.31	1.00	
0.07	1.80	1.98	1.10	
0.13	2.38	3.33	1.40	
0.20	2.94	3.74	1.27	
0.27	2.82	4.45	1.58	
0.33	3.19	4.41	1.38	
0.40	3.37	3.77	1.12	
0.47	3.35	3.75	1.12	
0.53	3.07	3.64	1.19	
0.60	3.01	3.66	1.22	
0.67	2.33	3.62	1.55	
0.73	2.01	2.52	1.26	
0.80	2.34	2.29	0.98	
0.87	2.13	2.35	1.10	
0.93	2.08	2.89	1.39	
1.00	1.24	2.63	2.11	

TAB 7. 26 – VALORI ACCELERAZIONE ASSOLUTA CAVO VERTICALE – PGA0.31g

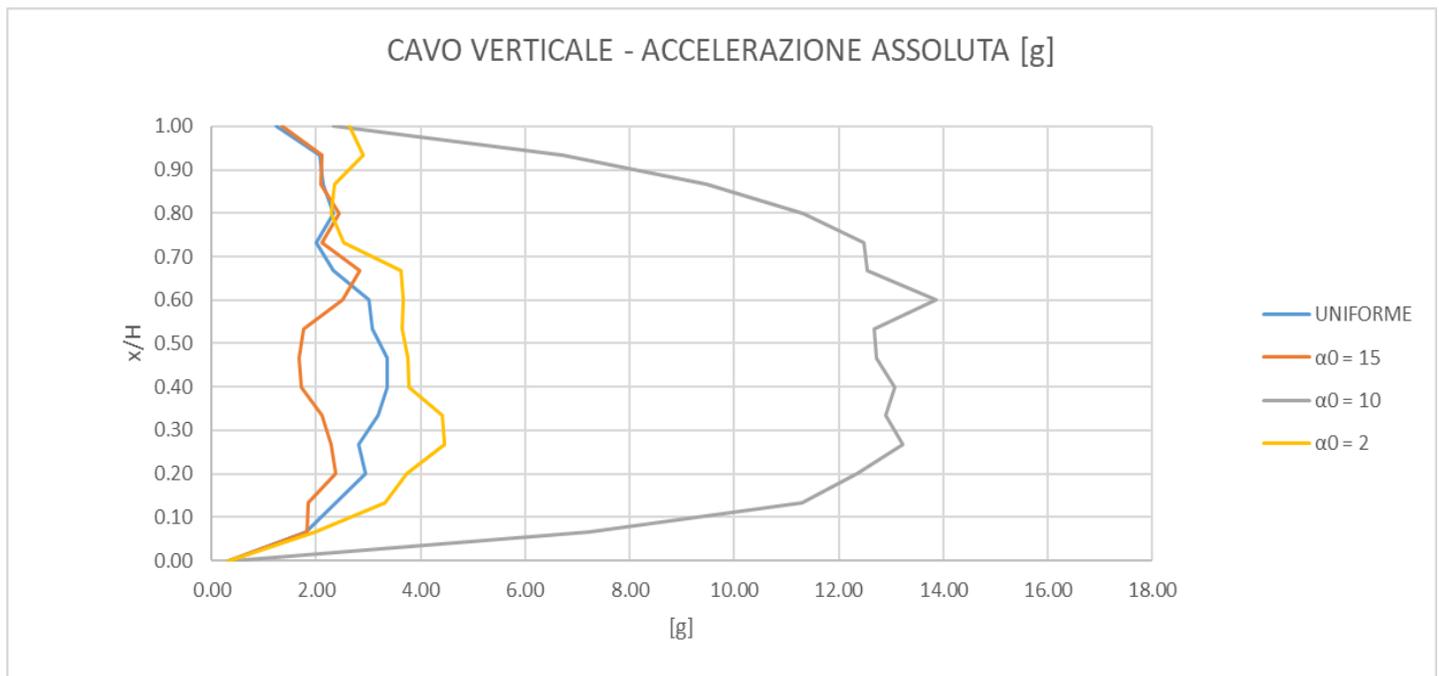


FIG 7. 22 – MASSIME ACCELERAZIONI ASSOLUTE CAVO VERTICALE – SUOLO B – PGA0.31g

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

○ FORZA DEL CONETTORE

FORZA CONNETTORE [N] - CAVO VERTICALE				
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	MASSA [kg]	RAPPORTO
0	196.95	196.95	64.20	1
0.07	2264.90	2308.94	128.30	1.02
0.13	2991.40	2329.35	128.30	0.78
0.20	3694.96	2993.17	128.30	0.81
0.27	3545.52	2870.64	128.30	0.81
0.33	4014.71	2671.40	128.30	0.67
0.40	4243.77	2156.91	128.30	0.51
0.47	4217.42	2114.55	128.30	0.50
0.53	3868.51	2216.29	128.30	0.57
0.60	3789.94	3151.93	128.30	0.83
0.67	2934.47	3559.98	128.30	1.21
0.73	2528.95	2661.23	128.30	1.05
0.80	2947.12	3078.55	128.30	1.04
0.87	2676.11	2628.63	128.30	0.98
0.93	2612.83	2668.92	128.30	1.02
1	1678.61	1804.97	137.50	1.08

FORZA CONNETTORE [N] - CAVO VERTICALE				
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	MASSA [kg]	RAPPORTO
0	196.95	196.95	64.2	1
0.07	2264.90	9094.91	128.30	4.02
0.13	2991.40	14220.51	128.30	4.75
0.20	3694.96	15549.17	128.30	4.21
0.27	3545.52	16635.70	128.30	4.69
0.33	4014.71	16228.92	128.30	4.04
0.40	4243.77	16447.09	128.30	3.88
0.47	4217.42	16006.39	128.30	3.80
0.53	3868.51	15940.93	128.30	4.12
0.60	3789.94	17451.69	128.30	4.60
0.67	2934.47	15787.43	128.30	5.38
0.73	2528.95	15711.66	128.30	6.21
0.80	2947.12	14250.91	128.30	4.84
0.87	2676.11	11936.58	128.30	4.46
0.93	2612.83	8447.19	128.30	3.23
1	1678.61	3141.42	137.50	1.87

FORZA CONNETTORE [N] - CAVO VERTICALE				
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	MASSA [kg]	RAPPORTO

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

0	196.95	196.95	64.2	1
0.07	2264.90	2490.61	128.30	1.10
0.13	2991.40	4186.57	128.30	1.40
0.20	3694.96	4703.91	128.30	1.27
0.27	3545.52	5600.04	128.30	1.58
0.33	4014.71	5545.16	128.30	1.38
0.40	4243.77	4746.99	128.30	1.12
0.47	4217.42	4715.87	128.30	1.12
0.53	3868.51	4587.26	128.30	1.19
0.60	3789.94	4610.54	128.30	1.22
0.67	2934.47	4550.79	128.30	1.55
0.73	2528.95	3175.43	128.30	1.26
0.80	2947.12	2885.19	128.30	0.98
0.87	2676.11	2956.40	128.30	1.10
0.93	2612.83	3642.96	128.30	1.39
1	1678.61	3544.64	137.50	2.11

TAB 7. 27 – VALORI FORZA CONNETTORE CAVO VERTICALE – PGA0.31g

○ *SPOSTAMENTO RELATIVO*

CAVO VERTICALE			
SPOSTAMENTO RELATIVO - [m]			
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	RAPPORTO
0.00	0.000	0.000	#DIV/0!
0.07	0.065	0.058	0.89
0.13	0.098	0.067	0.69
0.20	0.117	0.108	0.92
0.27	0.134	0.113	0.84
0.33	0.136	0.110	0.81
0.40	0.144	0.110	0.76
0.47	0.154	0.111	0.72
0.53	0.157	0.129	0.82
0.60	0.134	0.166	1.24
0.67	0.111	0.185	1.67
0.73	0.099	0.191	1.93
0.80	0.088	0.177	2.00
0.87	0.081	0.167	2.06
0.93	0.061	0.172	2.79
1.00	0.020	0.129	6.52

CAVO VERTICALE
SPOSTAMENTO RELATIVO - [m]

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	RAPPORTO
0.00	0.000	0.000	#DIV/0!
0.07	0.065	0.249	3.82
0.13	0.098	0.380	3.89
0.20	0.117	0.442	3.76
0.27	0.134	0.466	3.49
0.33	0.136	0.501	3.68
0.40	0.144	0.515	3.57
0.47	0.154	0.518	3.36
0.53	0.157	0.508	3.23
0.60	0.134	0.510	3.81
0.67	0.111	0.499	4.51
0.73	0.099	0.481	4.85
0.80	0.088	0.439	4.96
0.87	0.081	0.367	4.52
0.93	0.061	0.271	4.41
1.00	0.020	0.095	4.82

CAVO VERTICALE

SPOSTAMENTO RELATIVO - [m]

x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	RAPPORTO
0.00	0.000	0.000	#DIV/0!
0.07	0.065	0.046	0.70
0.13	0.098	0.064	0.66
0.20	0.117	0.080	0.68
0.27	0.134	0.086	0.64
0.33	0.136	0.091	0.67
0.40	0.144	0.093	0.65
0.47	0.154	0.095	0.62
0.53	0.157	0.117	0.74
0.60	0.134	0.145	1.08
0.67	0.111	0.167	1.51
0.73	0.099	0.165	1.66
0.80	0.088	0.167	1.89
0.87	0.081	0.175	2.16
0.93	0.061	0.160	2.60
1.00	0.020	0.138	7.00

TAB 7. 28 -VALORI SPOSTAMENTO RELATIVO CAVO VERTICALE – PGA0.31g

FACCiate IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

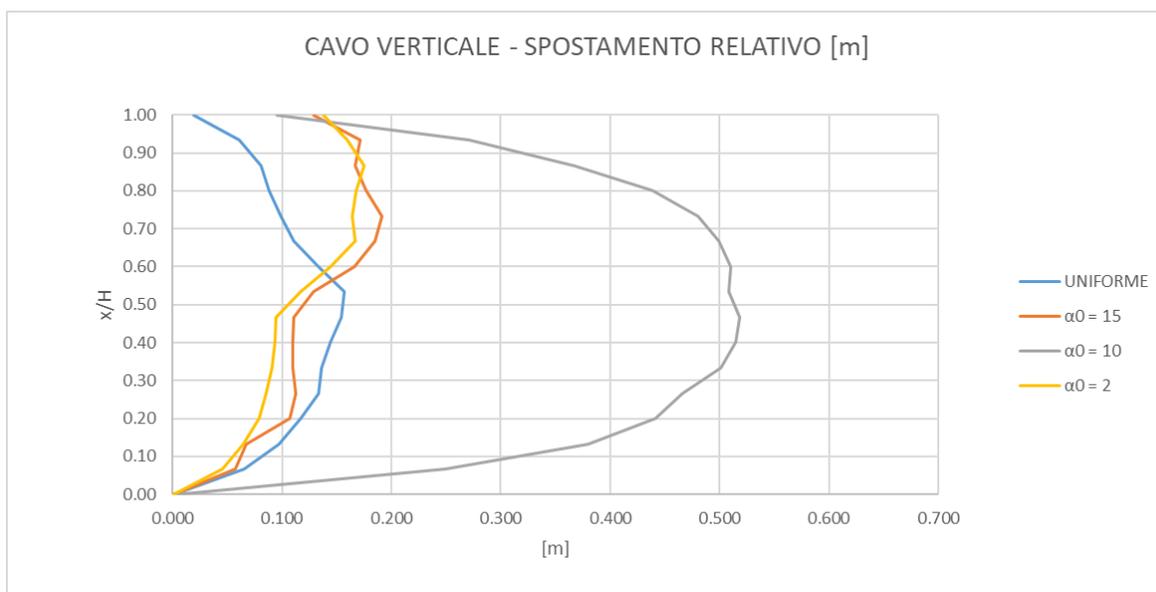


FIG 7. 23 - MASSIME SPOSTAMENTI RELATIVI CAVO VERTICALE – SUOLO B – PGA0.31g

○ TIRO CAVO

CAVO ORIZZONTALE TIRO MASSIMO - [kN]		
UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	RAPPORTO
31.86	31.96	1.00

CAVO ORIZZONTALE TIRO MASSIMO - [kN]		
UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	RAPPORTO
31.86	53.56	1.68

CAVO ORIZZONTALE TIRO MASSIMO - [kN]		
UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	RAPPORTO
31.86	32.37	1.02

TAB 7. 29 – VALORI TIRO CAVO VERTICALE – PGA0.31g

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

7.2.3 ZONA AD ALTA SISMICITA': PGA 0.44g.

7.2.3.1 CAVO ORIZZONTALE:

○ *ACCELERAZIONE ASSOLUTA*

CAVO ORIZZONTALE			
ACCELERAZIONE ASSOLUTA - [g]			
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	RAPPORTO
0.00	0.80	0.78	0.98
0.08	1.99	1.23	0.62
0.17	2.60	1.30	0.50
0.25	3.23	1.79	0.56
0.33	3.53	2.16	0.61
0.42	4.13	2.40	0.58
0.50	4.59	2.62	0.57
0.58	4.26	2.42	0.57
0.67	3.34	2.15	0.65
0.75	2.87	1.84	0.64
0.83	2.89	1.43	0.49
0.92	2.11	1.02	0.48
1.00	1.19	0.81	0.68

CAVO ORIZZONTALE			
ACCELERAZIONE ASSOLUTA - [g]			
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	RAPPORTO
0.00	0.80	1.72	2.16
0.08	1.99	5.13	2.57
0.17	2.60	7.07	2.72
0.25	3.23	9.45	2.93
0.33	3.53	14.02	3.98
0.42	4.13	16.59	4.02
0.50	4.59	16.93	3.69
0.58	4.26	14.38	3.38
0.67	3.34	12.24	3.67
0.75	2.87	9.22	3.21
0.83	2.89	8.56	2.96
0.92	2.11	6.78	3.21
1.00	1.19	2.54	2.14

CAVO ORIZZONTALE
ACCELERAZIONE ASSOLUTA - [g]

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	RAPPORTO
0.00	0.80	1.54	1.94
0.08	1.99	3.93	1.97
0.17	2.60	4.76	1.83
0.25	3.23	3.78	1.17
0.33	3.53	1.88	0.53
0.42	4.13	3.70	0.90
0.50	4.59	5.20	1.13
0.58	4.26	4.68	1.10
0.67	3.34	2.28	0.68
0.75	2.87	2.91	1.01
0.83	2.89	4.35	1.51
0.92	2.11	4.45	2.11
1.00	1.19	2.19	1.84

TAB 7. 30 – VALORI ACCELERAZIONE ASSOLUTA CAVO ORIZZONTALE – PGA0.44g

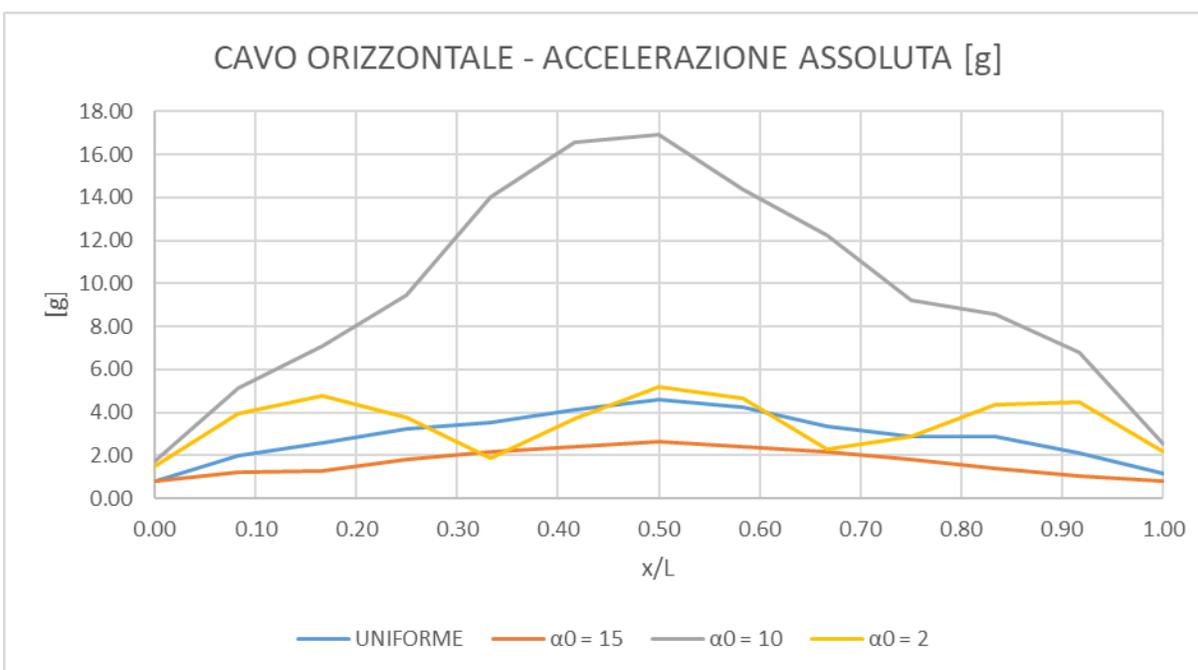


FIG 7. 24 - MASSIME ACCELERAZIONI ASSOLUTE CAVO ORIZZONTALE – SUOLO B – PGA0.44g

○ FORZA DEL CONETTORE

FORZA CONNETTORE [N] - CAVO ORIZZONTALE				
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	MASSA [kg]	RAPPORTO
0	-	-	-	-
0.08	3759.49	2323.30	192.50	0.62

FACCIALE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

0.17	3270.23	1641.60	128.30	0.50
0.25	4060.34	2257.28	128.30	0.56
0.33	4437.04	2713.91	128.30	0.61
0.42	5197.16	3024.97	128.30	0.58
0.50	5772.64	3291.69	128.30	0.57
0.58	5360.70	3041.65	128.30	0.57
0.67	4200.52	2709.36	128.30	0.65
0.75	3610.37	2318.86	128.30	0.64
0.83	3639.80	1796.03	128.30	0.49
0.92	3992.00	1933.27	192.50	0.48
1	-	-	-	-

FORZA CONNETTORE [N] - CAVO ORIZZONTALE				
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	MASSA [kg]	RAPPORTO
<hr/>				
0	-	-	-	-
0.08	3759.49	9680.49	192.50	2.57
0.17	3270.23	8895.72	128.30	2.72
0.25	4060.34	11896.64	128.30	2.93
0.33	4437.04	17642.62	128.30	3.98
0.42	5197.16	20874.39	128.30	4.02
0.50	5772.64	21314.32	128.30	3.69
0.58	5360.70	18094.08	128.30	3.38
0.67	4200.52	15406.22	128.30	3.67
0.75	3610.37	11606.04	128.30	3.21
0.83	3639.80	10770.25	128.30	2.96
0.92	3992.00	12812.71	192.50	3.21
1	-	-	-	-

FORZA CONNETTORE [N] - CAVO ORIZZONTALE				
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	MASSA [kg]	RAPPORTO
<hr/>				
0	-	-	-	-
0.08	3759.49	7413.56	192.50	1.97
0.17	3270.23	5989.31	128.30	1.83
0.25	4060.34	4760.34	128.30	1.17
0.33	4437.04	2361.83	128.30	0.53
0.42	5197.16	4659.39	128.30	0.90
0.50	5772.64	6540.57	128.30	1.13
0.58	5360.70	5894.05	128.30	1.10
0.67	4200.52	2865.22	128.30	0.68
0.75	3610.37	3660.24	128.30	1.01
0.83	3639.80	5478.82	128.30	1.51
0.92	3992.00	8408.17	192.50	2.11
1	-	-	-	-

TAB 7. 31 – VALORI FORZA CONNETTORE CAVO ORIZZONTALE – PGA0.44g

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

○ *SPOSTAMENTO RELATIVO*

CAVO ORIZZONTALE			
SPOSTAMENTO RELATIVO - [m]			
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	RAPPORTO
0.00	0.012	0.110	9.58
0.08	0.058	0.119	2.06
0.17	0.106	0.126	1.20
0.25	0.147	0.132	0.90
0.33	0.178	0.140	0.79
0.42	0.198	0.151	0.76
0.50	0.207	0.156	0.75
0.58	0.200	0.152	0.76
0.67	0.179	0.141	0.79
0.75	0.151	0.133	0.88
0.83	0.112	0.128	1.14
0.92	0.066	0.121	1.84
1.00	0.019	0.113	5.79

CAVO ORIZZONTALE			
SPOSTAMENTO RELATIVO - [m]			
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	RAPPORTO
0.00	0.012	0.067	5.83
0.08	0.058	0.187	3.23
0.17	0.106	0.311	2.95
0.25	0.147	0.423	2.88
0.33	0.178	0.516	2.90
0.42	0.198	0.580	2.92
0.50	0.207	0.604	2.92
0.58	0.200	0.585	2.92
0.67	0.179	0.527	2.94
0.75	0.151	0.442	2.93
0.83	0.112	0.337	3.01
0.92	0.066	0.219	3.32
1.00	0.019	0.097	5.00

CAVO ORIZZONTALE			
SPOSTAMENTO RELATIVO - [m]			
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	RAPPORTO

FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

0.00	0.012	0.058	5.05
0.08	0.058	0.089	1.54
0.17	0.106	0.111	1.06
0.25	0.147	0.120	0.82
0.33	0.178	0.119	0.67
0.42	0.198	0.119	0.60
0.50	0.207	0.129	0.62
0.58	0.200	0.123	0.61
0.67	0.179	0.115	0.64
0.75	0.151	0.117	0.77
0.83	0.112	0.112	1.00
0.92	0.066	0.095	1.44
1.00	0.019	0.067	3.46

TAB 7. 32 – VALORI SPOSTAMENTI CAVO ORIZZONTALE – PGA0.44g

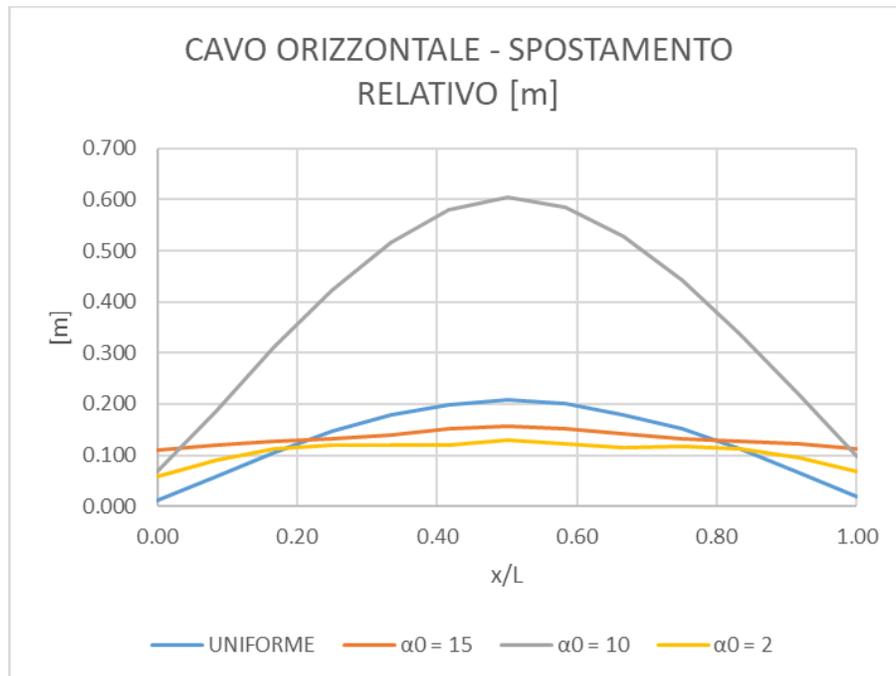


FIG 7. 25 – MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI CAVO ORIZZONTALE – SUOLO B – PGA0.44g

○ TIRO CAVO

CAVO ORIZZONTALE		
TIRO MASSIMO - [kN]		
UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	RAPPORTO
387.73	361.82	0.93

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

CAVO ORIZZONTALE		
TIRO MASSIMO - [kN]		
UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	RAPPORTO
387.73	597.76	1.54

CAVO ORIZZONTALE		
TIRO MASSIMO - [kN]		
UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	RAPPORTO
387.73	358.90	0.93

TAB 7. 33 – VALORI TIRO CAVO ORIZZONTALE – PGA0.44g

7.2.3.2 CAVO VERTICALE:

○ ACCELERAZIONE ASSOLUTA

CAVO VERTICALE			
ACCELERAZIONE ASSOLUTA - [g]			
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	RAPPORTO
0.00	0.44	0.44	1.00
0.07	2.61	2.56	0.98
0.13	3.20	2.75	0.86
0.20	3.98	3.16	0.79
0.27	4.25	3.03	0.71
0.33	4.15	3.06	0.74
0.40	4.63	2.34	0.51
0.47	4.59	2.62	0.57
0.53	4.41	2.48	0.56
0.60	3.95	3.41	0.86
0.67	3.34	3.85	1.15
0.73	2.82	2.92	1.04
0.80	3.31	3.36	1.01
0.87	2.94	3.03	1.03
0.93	3.01	3.21	1.06
1.00	1.72	1.86	1.08

CAVO VERTICALE			
ACCELERAZIONE ASSOLUTA - [g]			
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	RAPPORTO
0.00	0.44	0.44	1.00
0.07	2.61	12.14	4.65
0.13	3.20	19.43	6.07

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

0.20	3.98	18.09	4.54
0.27	4.25	18.03	4.24
0.33	4.15	18.86	4.54
0.40	4.63	18.02	3.90
0.47	4.59	16.93	3.69
0.53	4.41	17.65	4.00
0.60	3.95	16.23	4.11
0.67	3.34	19.18	5.74
0.73	2.82	16.56	5.88
0.80	3.31	20.61	6.22
0.87	2.94	17.48	5.96
0.93	3.01	12.07	4.00
1.00	1.72	4.64	2.70

CAVO VERTICALE

ACCELERAZIONE ASSOLUTA - [g]

x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	RAPPORTO
0.00	0.44	0.44	1.00
0.07	2.61	2.71	1.04
0.13	3.20	4.88	1.52
0.20	3.98	5.32	1.34
0.27	4.25	6.38	1.50
0.33	4.15	5.83	1.41
0.40	4.63	5.47	1.18
0.47	4.59	5.20	1.13
0.53	4.41	4.98	1.13
0.60	3.95	5.06	1.28
0.67	3.34	4.65	1.39
0.73	2.82	3.47	1.23
0.80	3.31	3.41	1.03
0.87	2.94	3.40	1.16
0.93	3.01	4.06	1.35
1.00	1.72	3.66	2.12

TAB 7. 34 – VALORI ACCELERAZIONE ASSOLUTA CAVO VERTICALE – PGA0.44g

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

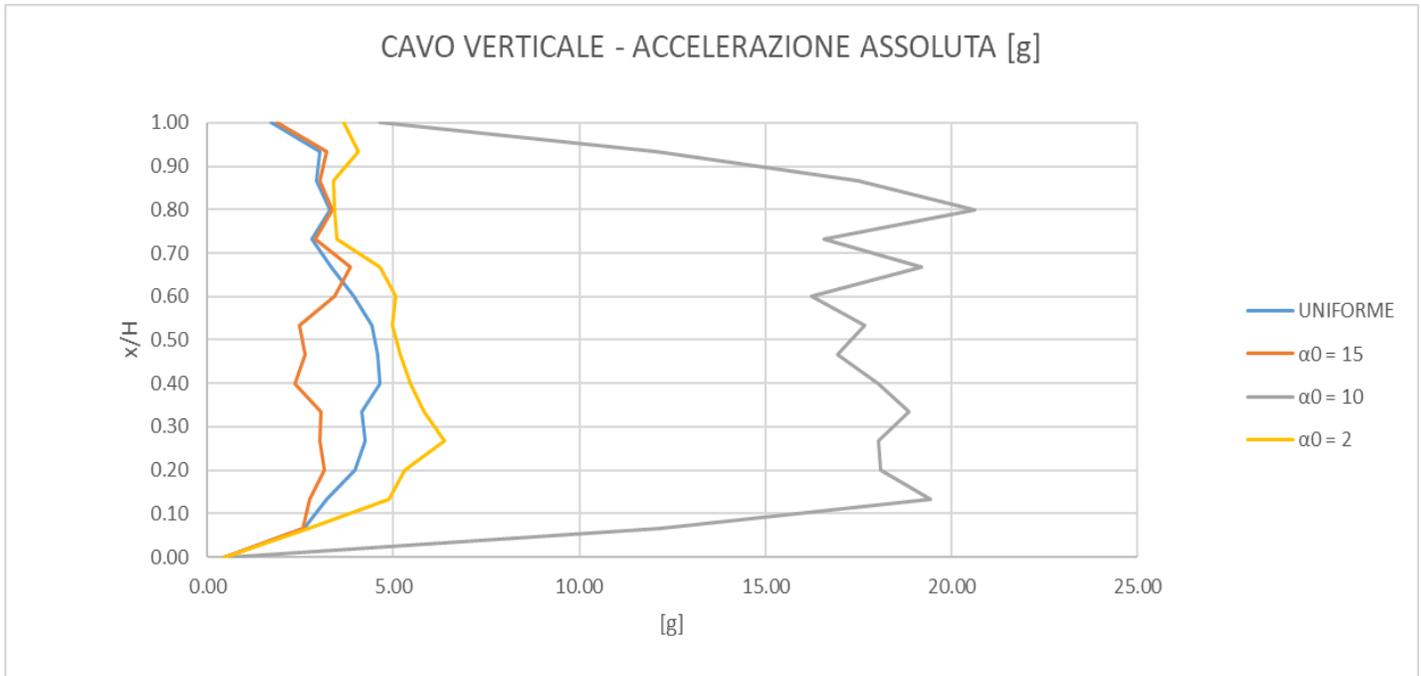


FIG 7. 26 - MASSIME ACCELERAZIONI ASSOLUTE CAVO VERTICALE – SUOLO B – PGA0.44g

○ FORZA DEL CONETTORE

FORZA CONNETTORE [N] - CAVO VERTICALE				
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	MASSA [kg]	RAPPORTO
0	196.95	196.95	64.20	1
0.07	2264.90	2308.94	128.30	1.02
0.13	2991.40	2329.35	128.30	0.78
0.20	3694.96	2993.17	128.30	0.81
0.27	3545.52	2870.64	128.30	0.81
0.33	4014.71	2671.40	128.30	0.67
0.40	4243.77	2156.91	128.30	0.51
0.47	4217.42	2114.55	128.30	0.50
0.53	3868.51	2216.29	128.30	0.57
0.60	3789.94	3151.93	128.30	0.83
0.67	2934.47	3559.98	128.30	1.21
0.73	2528.95	2661.23	128.30	1.05
0.80	2947.12	3078.55	128.30	1.04
0.87	2676.11	2628.63	128.30	0.98
0.93	2612.83	2668.92	128.30	1.02
1	1678.61	1804.97	137.50	1.08

FORZA CONNETTORE [N] - CAVO VERTICALE

FACCIALE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	MASSA [kg]	RAPPORT
				O
0	196.95	196.95	64.2	1
0.07	2264.90	9094.91	128.30	4.02
0.13	2991.40	14220.51	128.30	4.75
0.20	3694.96	15549.17	128.30	4.21
0.27	3545.52	16635.70	128.30	4.69
0.33	4014.71	16228.92	128.30	4.04
0.40	4243.77	16447.09	128.30	3.88
0.47	4217.42	16006.39	128.30	3.80
0.53	3868.51	15940.93	128.30	4.12
0.60	3789.94	17451.69	128.30	4.60
0.67	2934.47	15787.43	128.30	5.38
0.73	2528.95	15711.66	128.30	6.21
0.80	2947.12	14250.91	128.30	4.84
0.87	2676.11	11936.58	128.30	4.46
0.93	2612.83	8447.19	128.30	3.23
1	1678.61	3141.42	137.50	1.87

FORZA CONNETTORE [N] - CAVO VERTICALE				
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	MASSA [kg]	RAPPORTO
0	196.95	196.95	64.2	1
0.07	2264.90	2490.61	128.30	1.10
0.13	2991.40	4186.57	128.30	1.40
0.20	3694.96	4703.91	128.30	1.27
0.27	3545.52	5600.04	128.30	1.58
0.33	4014.71	5545.16	128.30	1.38
0.40	4243.77	4746.99	128.30	1.12
0.47	4217.42	4715.87	128.30	1.12
0.53	3868.51	4587.26	128.30	1.19
0.60	3789.94	4610.54	128.30	1.22
0.67	2934.47	4550.79	128.30	1.55
0.73	2528.95	3175.43	128.30	1.26
0.80	2947.12	2885.19	128.30	0.98
0.87	2676.11	2956.40	128.30	1.10
0.93	2612.83	3642.96	128.30	1.39
1	1678.61	3544.64	137.50	2.11

TAB 7. 35 – VALORI FORZA CONNETTORE CAVO VERTICALE – PGA0.44g

○ *SPOSTAMENTO RELATIVO*

FACCIALE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

CAVO VERTICALE			
SPOSTAMENTO RELATIVO - [m]			
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	RAPPORTO
0.00	0.000	0.000	-
0.07	0.087	0.081	0.93
0.13	0.118	0.102	0.86
0.20	0.150	0.147	0.98
0.27	0.177	0.158	0.89
0.33	0.183	0.160	0.87
0.40	0.186	0.158	0.85
0.47	0.207	0.156	0.75
0.53	0.206	0.187	0.91
0.60	0.181	0.238	1.31
0.67	0.152	0.263	1.73
0.73	0.130	0.278	2.13
0.80	0.117	0.267	2.27
0.87	0.110	0.229	2.08
0.93	0.081	0.226	2.78
1.00	0.027	0.176	6.44

CAVO VERTICALE			
SPOSTAMENTO RELATIVO - [m]			
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	RAPPORTO
0.00	0.000	0.000	-
0.07	0.087	0.346	3.98
0.13	0.118	0.507	4.29
0.20	0.150	0.550	3.67
0.27	0.177	0.573	3.23
0.33	0.183	0.597	3.26
0.40	0.186	0.614	3.30
0.47	0.207	0.604	2.92
0.53	0.206	0.576	2.80
0.60	0.181	0.553	3.05
0.67	0.152	0.558	3.68
0.73	0.130	0.541	4.16
0.80	0.117	0.541	4.61
0.87	0.110	0.477	4.35
0.93	0.081	0.373	4.58
1.00	0.027	0.134	4.90

CAVO VERTICALE			
SPOSTAMENTO RELATIVO - [m]			
x/L	UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	RAPPORTO

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

0.00	0.000	0.000	#DIV/0!
0.07	0.087	0.062	0.72
0.13	0.118	0.092	0.78
0.20	0.150	0.106	0.71
0.27	0.177	0.120	0.68
0.33	0.183	0.128	0.70
0.40	0.186	0.127	0.68
0.47	0.207	0.129	0.62
0.53	0.206	0.162	0.79
0.60	0.181	0.202	1.11
0.67	0.152	0.224	1.48
0.73	0.130	0.229	1.76
0.80	0.117	0.231	1.96
0.87	0.110	0.244	2.23
0.93	0.081	0.220	2.70
1.00	0.027	0.194	7.07

TAB 7. 36 – VALORI SPOSTAMENTO RELATIVO CAVO VERTICALE – PGA0.44g

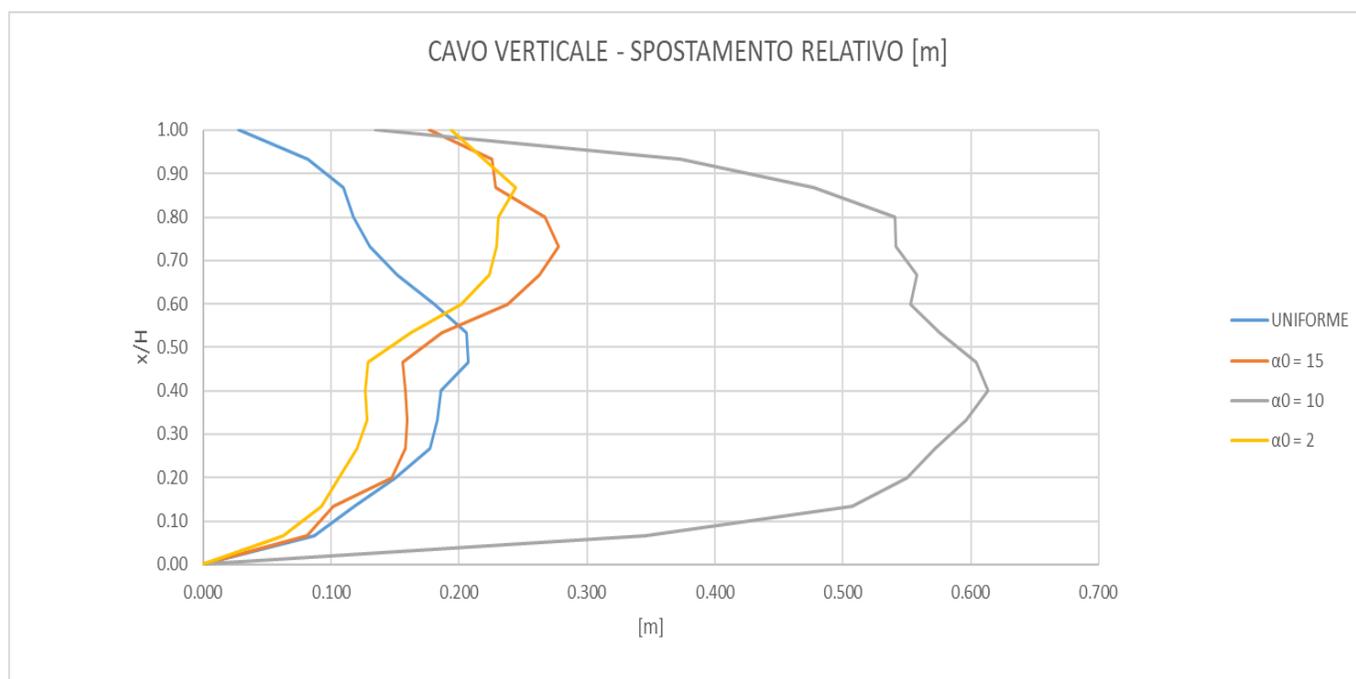


FIG 7. 27 - MASSIMI SPOSTAMENTI RELATIVI CAVO VERTICALE – SUOLO B – PGA0.44g

FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

○ TIRO CAVO

CAVO ORIZZONTALE		
TIRO MASSIMO - [kN]		
UNIFORME	$\alpha_0 = 15$	RAPPORTO
33.20	33.81	1.02

CAVO ORIZZONTALE		
TIRO MASSIMO - [kN]		
UNIFORME	$\alpha_0 = 10$	RAPPORTO
33.20	69.56	2.09

CAVO ORIZZONTALE		
TIRO MASSIMO - [kN]		
UNIFORME	$\alpha_0 = 2$	RAPPORTO
33.20	34.04	1.03

TAB 7. 37 – VALORI TIRO CAVO VERTICALE – PGA0.44g

8. CONCLUSIONI

La tesi ha analizzato il comportamento di una determinata facciata di vetro soggetta a due tipi di analisi differenti. La prima tipologia di analisi, detta uniforme, sottopone la facciata oggetto di studio ad una sollecitazione uniforme lungo l'altezza. In questo caso si è sottoposto la facciata a delle sollecitazioni identificate in storie temporali in termini di accelerazioni derivanti da un suolo B in zona di bassa, media ed alta sismicità; per ognuna di queste zone la struttura è stata sottoposta a 3 accelerogrammi differenti; in modo tale da seguire la normativa, che comanda di prendere il valore più alto fra tutti e i 3 gli accelerogrammi per ogni punto analizzato della facciata. Questo procedimento è quello più consueto in letteratura.

La peculiarità della tesi risiede nella seconda tipologia di analisi, quella non-uniforme, per la quale si è implementato un codice analitico per ottenere le sollecitazioni per la facciata di vetro. Il codice analitico si basa sull'altezza dell'edificio, sul periodo T_1 e sul parametro adimensionale α_0 . In particolare, il T_1 e l' α_0 dipendono dalla tipologia di edificio. Di conseguenza, la tipologia di edificio influenzerà direttamente le sollecitazioni della facciata, questo pone i risultati ottenuti da questa analisi non-uniforme sulla facciata e la tipologia di struttura primaria in un rapporto di causa effetto. Nello specifico, si sono analizzati 3 edifici differenti, di conseguenza 3 valori di α_0 differenti: 2,10 e 15. I quali corrispondono a: struttura intelaiata in acciaio con controventi, struttura intelaiata in calcestruzzo armato con muri di tamponatura e struttura intelaiata in acciaio senza controventi. Queste 3 strutture sono state sottoposte ai medesimi accelerogrammi sfruttati per l'analisi uniforme; in modo tale da tenere conto dell'effetto filtro dell'edificio a parità di sollecitazione. Per tutte e 3 le strutture è stato eseguito un controllo puntuale lungo i nodi del cavo verticale e del cavo orizzontale delle seguenti grandezze: accelerazione assoluta, spostamento relativo e forza del connettore per ogni set di storie temporali in termini di spostamento generato dalla struttura primaria soggetta ad un determinato accelerogramma. Di conseguenza per ogni zona con una determinata sismicità ci saranno 3 set di storie temporali in termini di spostamenti ed in ogni set ci saranno 5 storie temporali in termini di spostamento. In totale le sollecitazioni non uniformi saranno 135 storie temporali in termini di spostamento assoluto.

La struttura che presenta un effetto filtro deleterio per la facciata di vetro è la struttura intelaiata in calcestruzzo armato identificata con un valore di $\alpha_0 = 10$, il rapporto fra il primo periodo della facciata e quello della struttura primaria è pari a $\frac{T_{1,facciata}}{T_{1,struttura\ primaria}} = 1.08$. In certi nodi del cavo sia in termini di

FACCIALE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

spostamento relativo che in termini di accelerazione assoluta il valore fra l'analisi non-uniforme è uniforme supera il valore 4. Questo significa che l'effetto filtro amplifica notevolmente le sollecitazioni che sarebbero uniformemente applicate alla struttura lungo l'altezza. Anche in [4] nei casi in cui il rapporto fra i primi periodi della struttura primaria e la facciata tendesse a 1 si verificava un effetto filtro negativo dal punto di vista della facciata.

Le altre due strutture studiate non presentano un effetto filtro così oneroso per la facciata, bensì, specialmente l'analisi non uniforme performata per una struttura con un $\alpha_0 = 15$ mostra in molti punti del cavo una sensibile riduzione delle sollecitazioni, di conseguenza un effetto benefico per la facciata sorretta da cavi tesi. In questo caso il rapporto fra il primo periodo della facciata e il primo periodo della

struttura primaria è dato da $\frac{T_{1,facciata}}{T_{1,struttura\ primaria}} = 0.5$.

Si conclude che un'analisi uniforme la quale non tiene conto della tipologia di struttura primaria che sorregge la facciata di vetro a cavi tesi può largamente sottostimare la risposta della facciata in termini di accelerazione e spostamento dei cavi; spostamenti elevati che potrebbero creare seri danni alla struttura. Per tenere conto di questa interazione fra le proprietà dinamiche della struttura primaria e della facciata di vetro si può tenere sotto osservazione il rapporto fra i due periodi fondamentali delle due strutture.

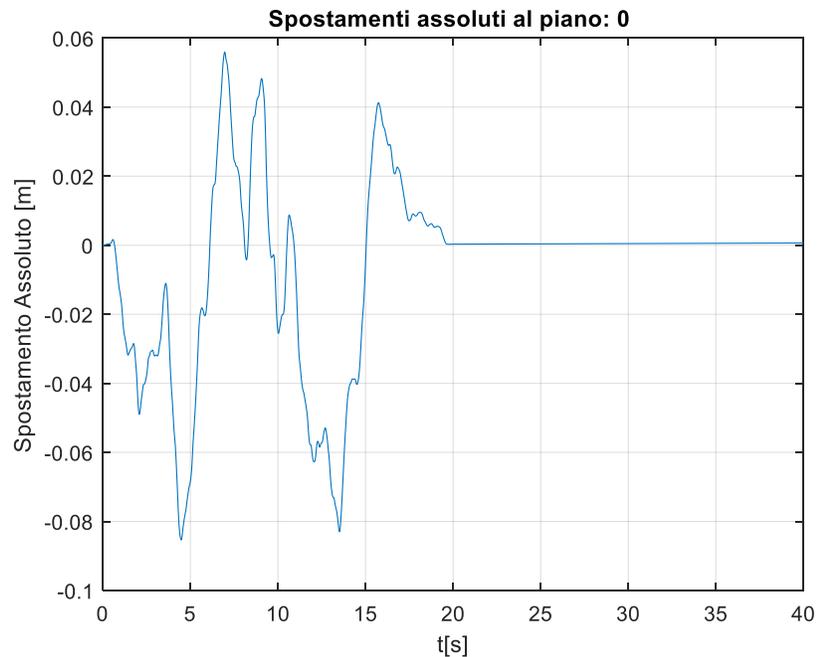
Bibliografia

- [1] G. Brancasi, M. Corrado, A. Reggio e P. d. Torino, «Modellazione e analisi dinamica di facciate in vetro a cavi soggette ad azione sismica,» Torino, 2023.
- [2] M. Corrado, *Design of Wood and Glass Structures*, Torino: Politecnico di Torino, 2022.
- [3] E. Miranda e T. S. M. ASCE, «Approximate Floor Acceleration Demands in Multistory Buildings. I: Formulation,» *JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING*, vol. 113, n. 2, pp. 203-211, 2005.
- [4] X. Yang, Y.-J. Zhang, J. Guo e J. Chen, «Effect of the primary structure on the seismic response of the cable-net façade,» *Engineering Structures*, pp. 1-21, 2020.
- [5] T. Shahram and M. M. Eduardo, "Approximate Floor Acceleration Demands in Multistory Buildings. II: Applications," *JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING*, vol. 131, no. 2, pp. 212-220, 2005.
- [6] *EUROCODICE 8*.
- [7] G. Papazafeiropoulos, « OpenSeismoMatlab (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/67069-openseismomatlab>), MATLAB Central File Exchange,» 2018. [Online]. [Consultato il giorno 28 Marzo 2024].
- [8] CSI, *Analysis Reference Manual*, 2017.
- [9] *PROGETTAZIONE PER AZIONI SIMSICHE, CAPITOLO C7*, Supplemento ordinario n.5 alla GAZZETTA UFFICIALE, 2019.

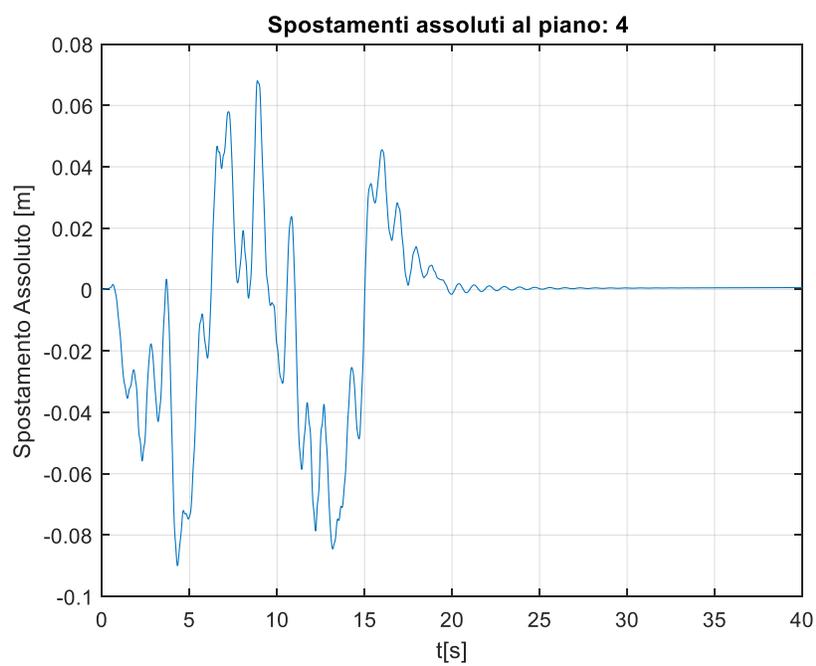
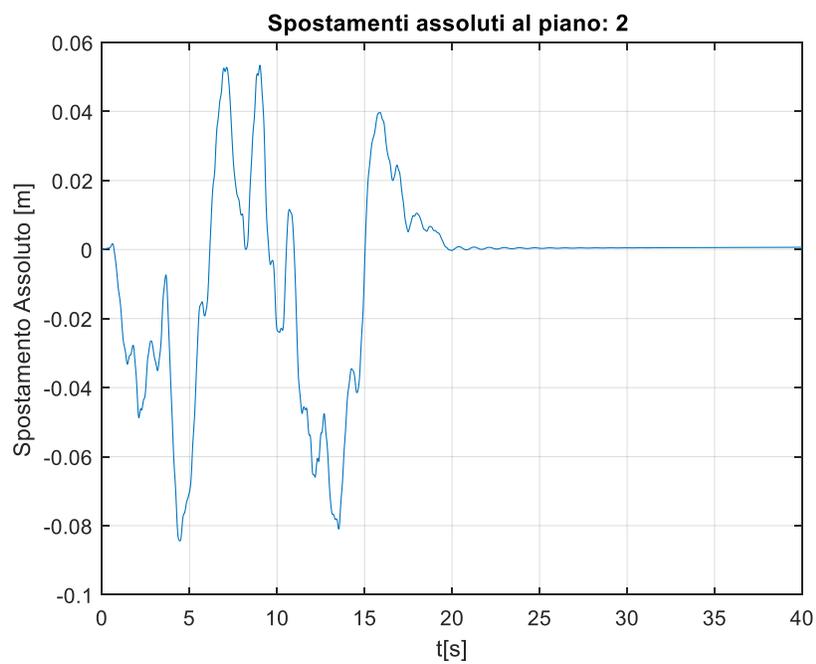
APPENDICE

Lo scopo di quest'appendice è illustrare gli spostogrammi usati come input per l'analisi non uniforme, le storie temporali dei tiri dei cavi per ogni analisi e inoltre verranno illustrati gli spettri per le varie accelerazioni di piano ricavati da normativa e da seismosignal. Per una PGA0.19g

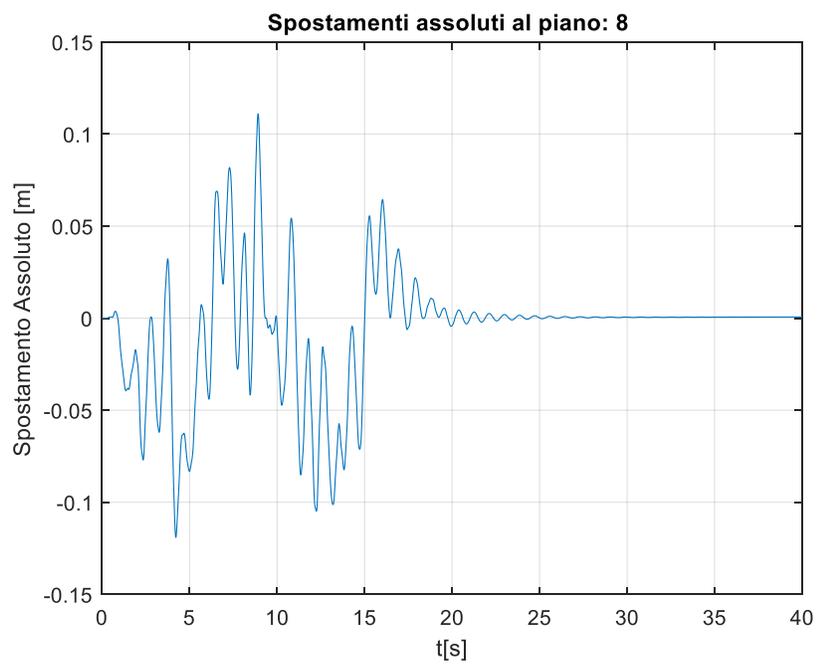
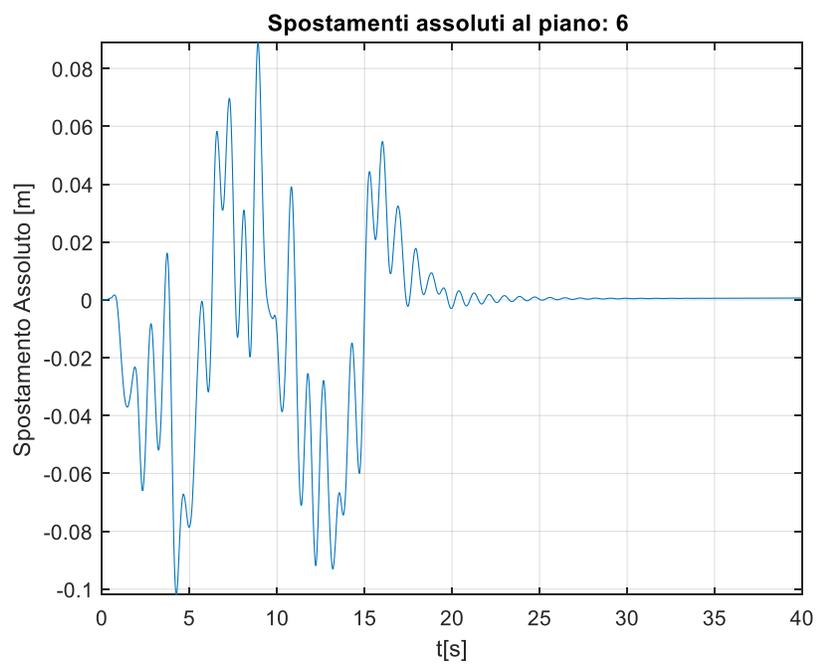
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 2$, PGA0.19g, SUOLO B, TI.



FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

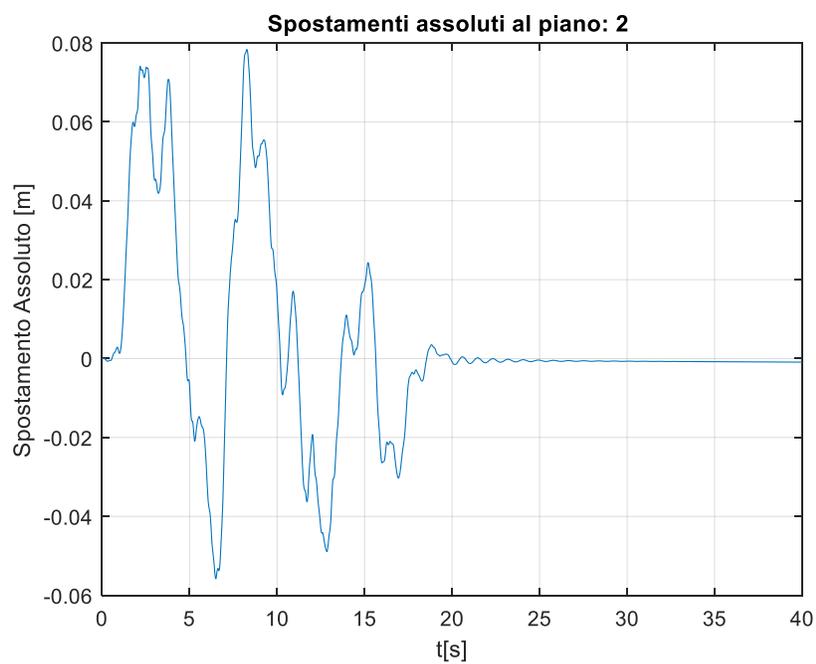
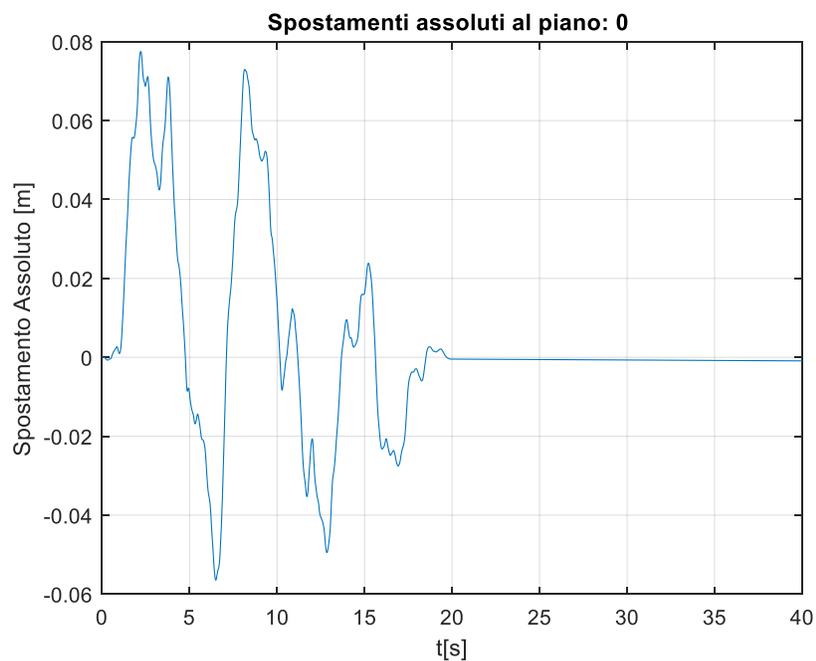


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

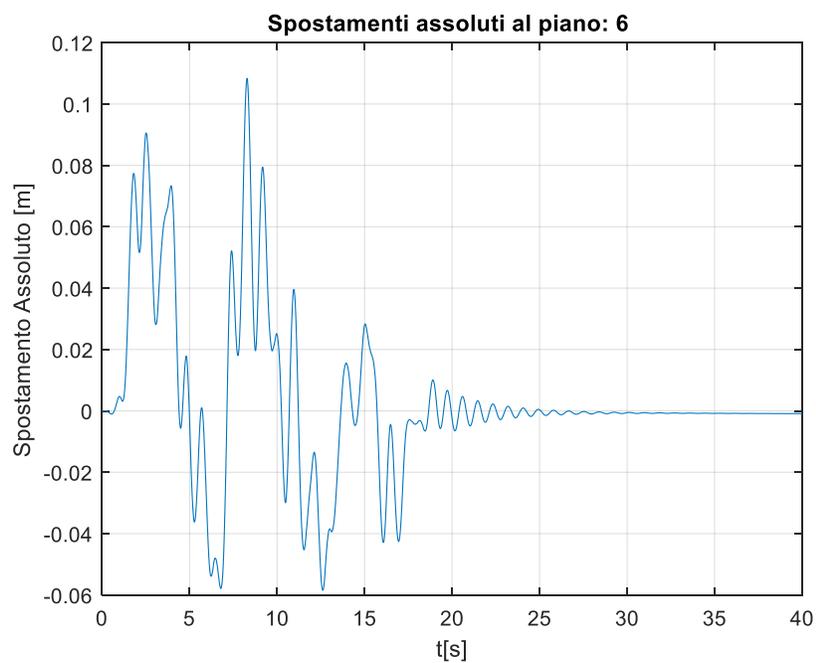
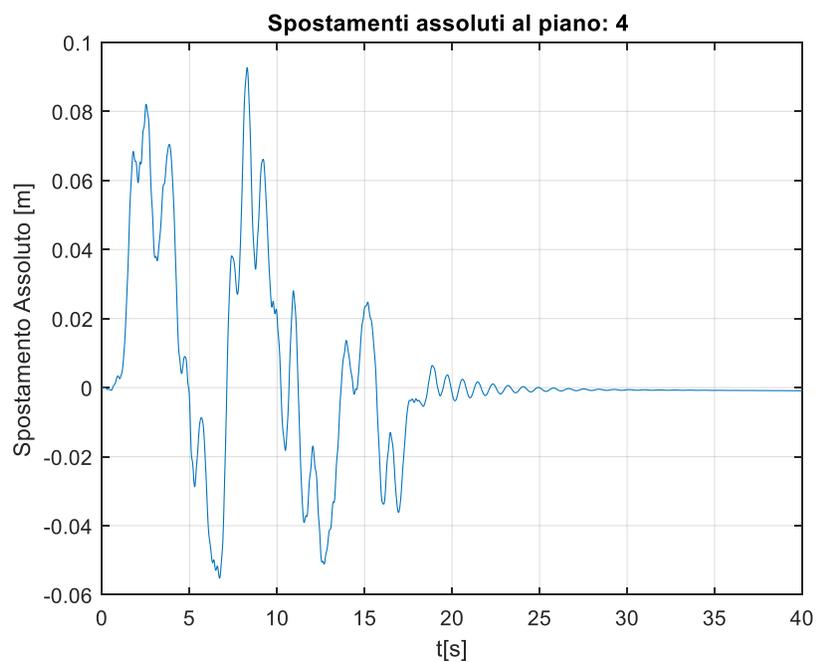


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

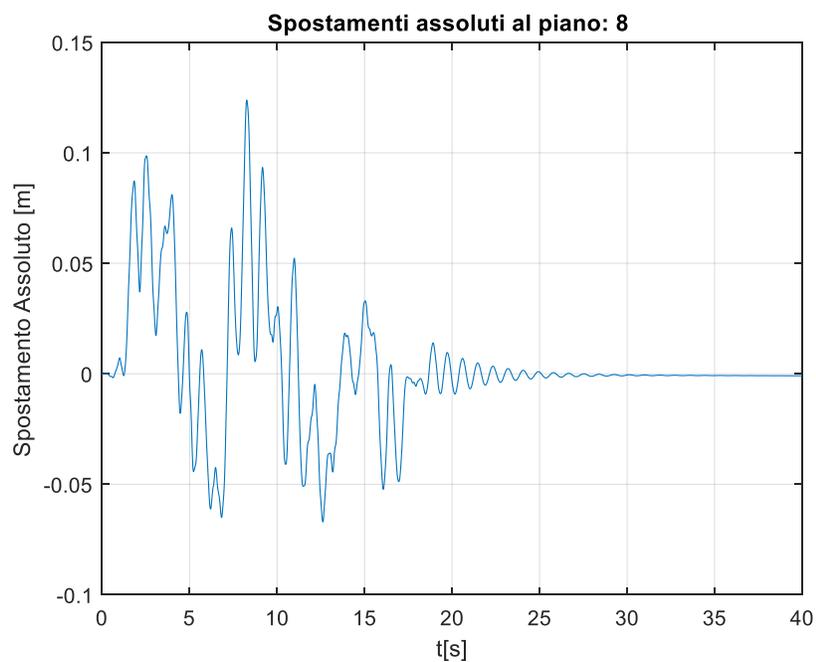
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO
 $\alpha_0 = 2$, $PGA0.19g$, SUOLO B, T2.



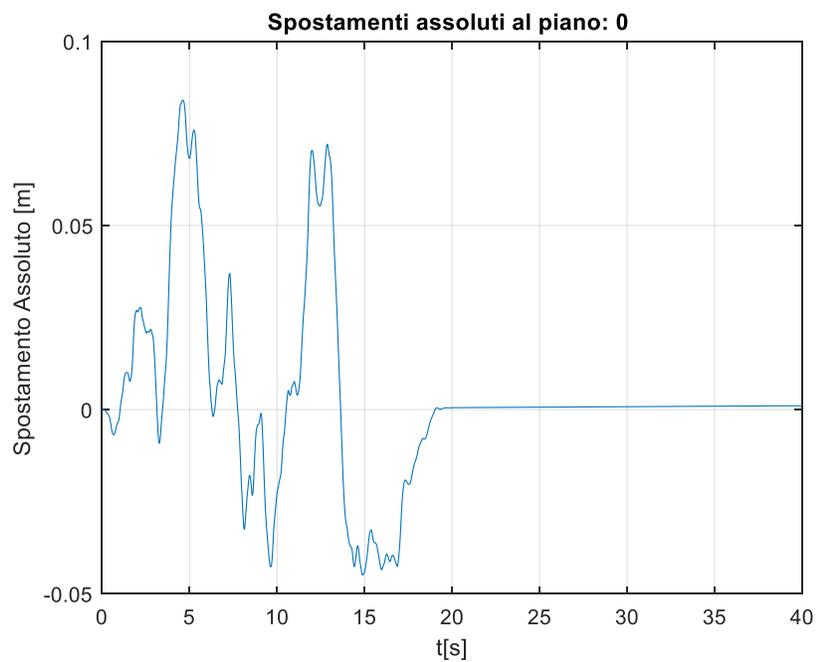
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



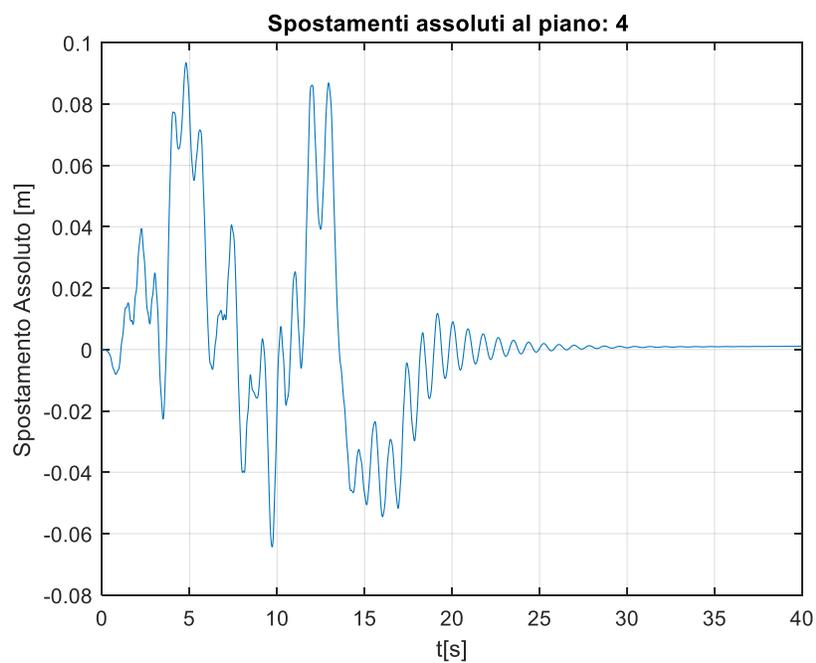
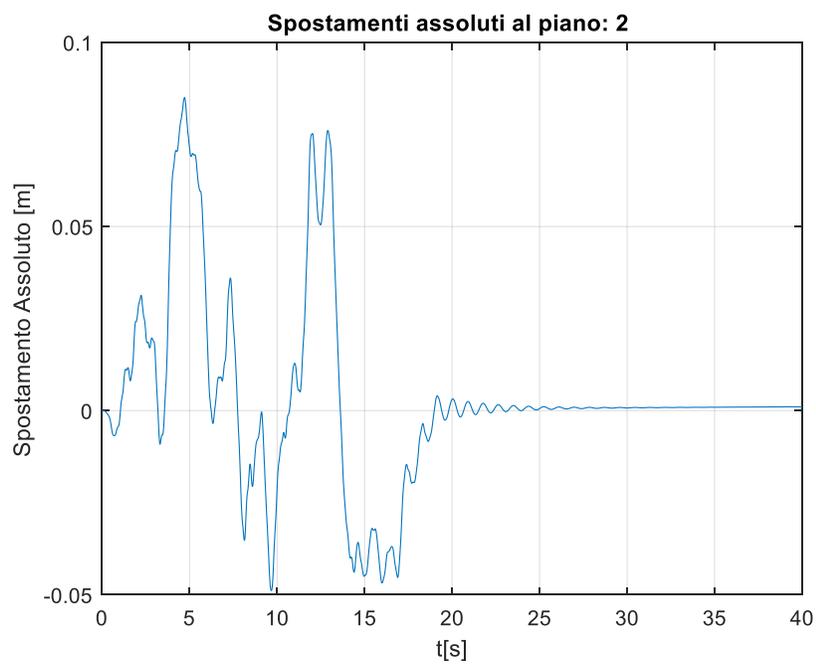
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



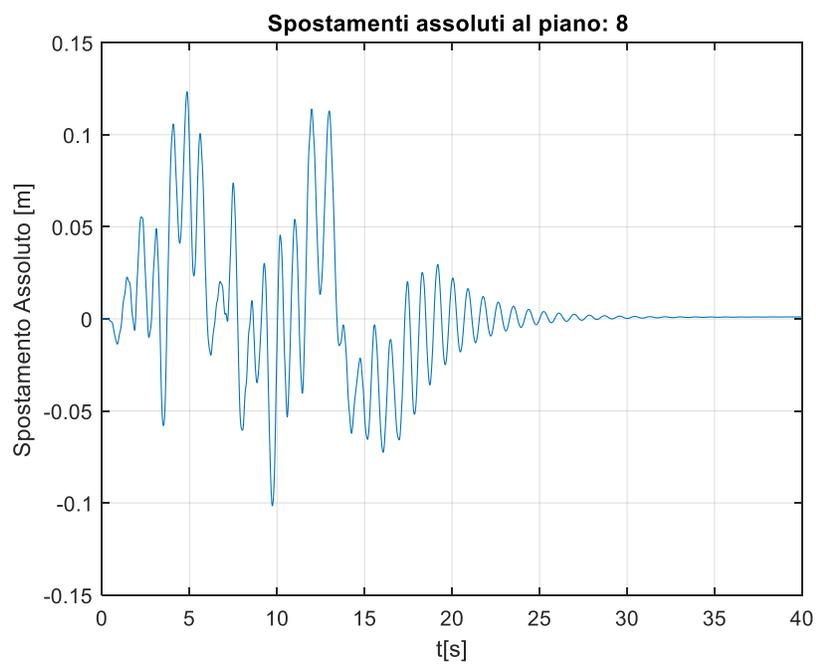
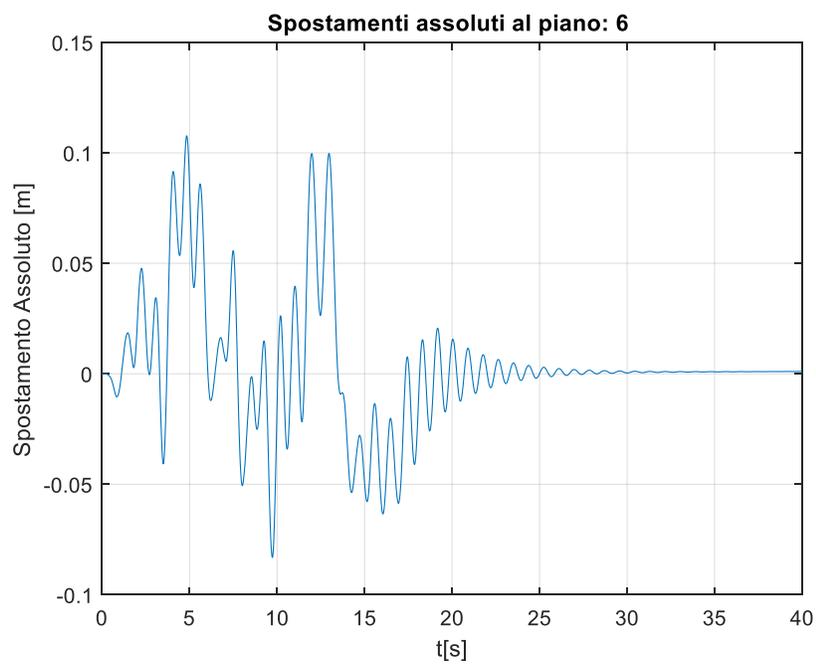
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0=2$, PGA0.19g, SUOLO B, T3.



FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

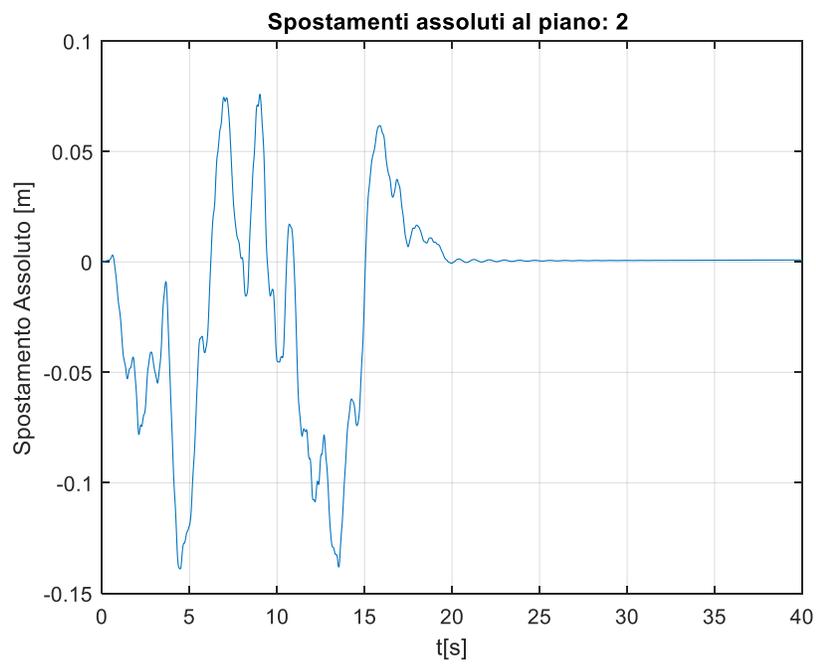
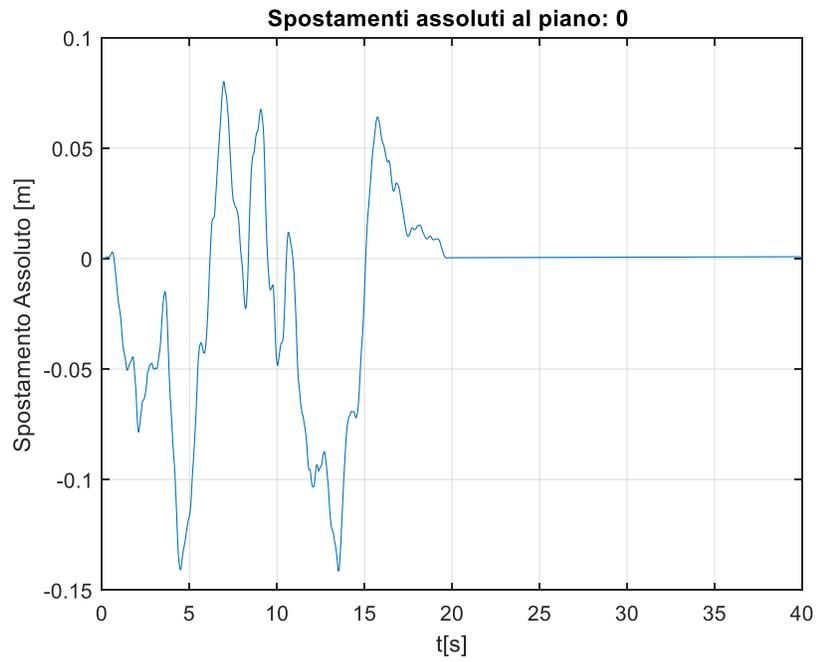


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

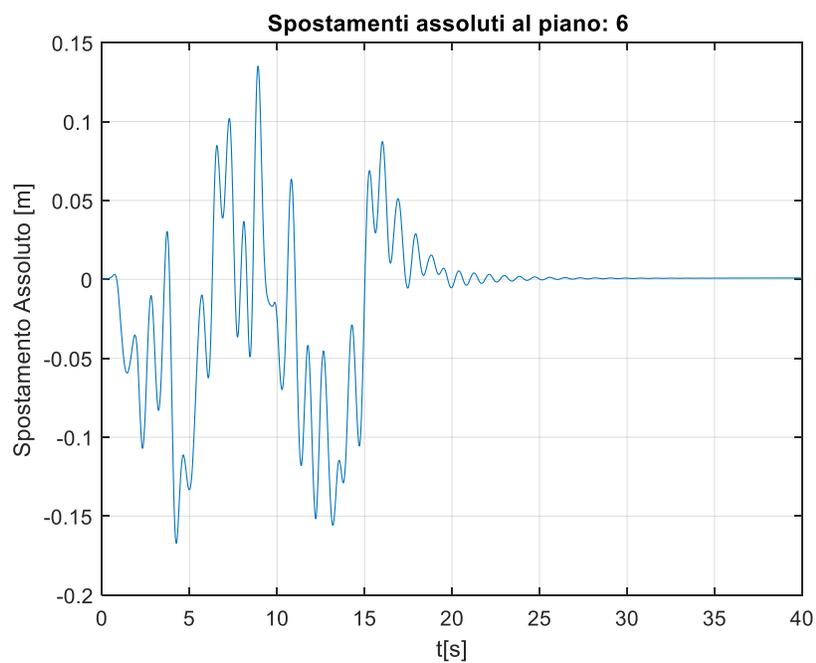
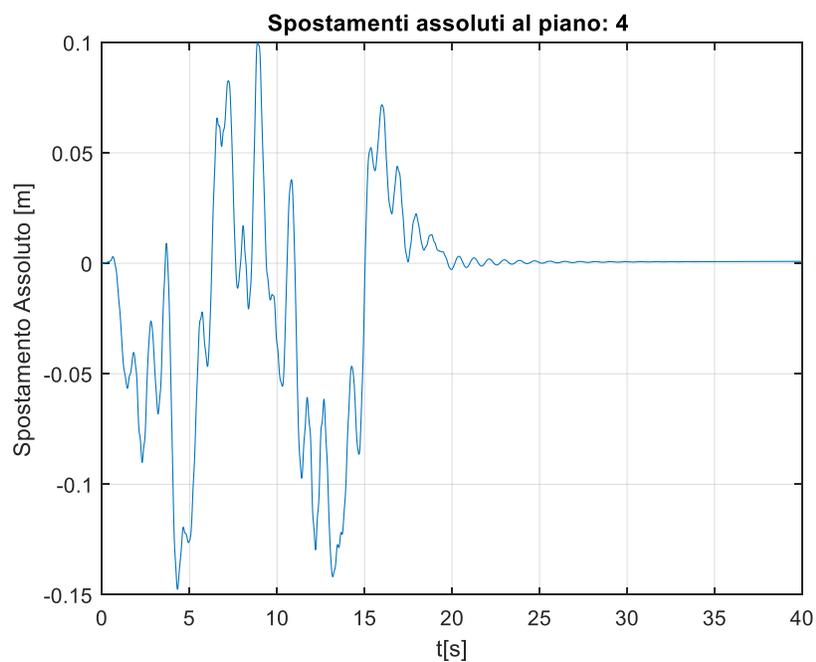


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

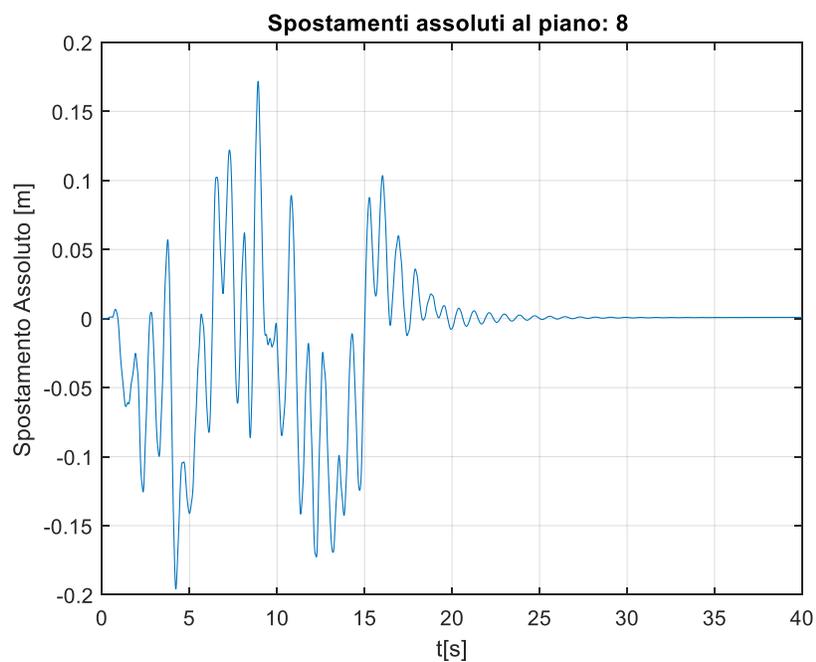
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 2$, $PGA0.31g$, SUOLO B, T1.



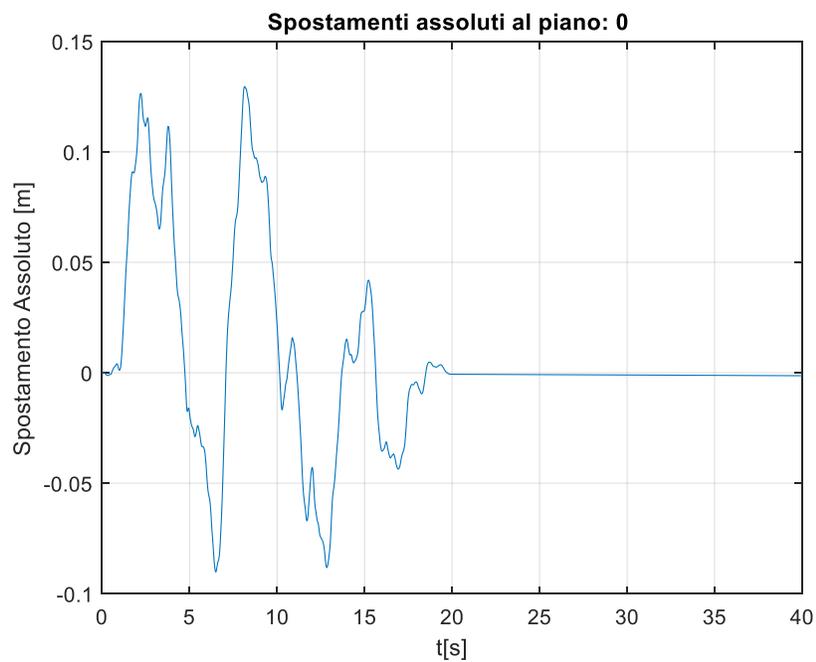
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



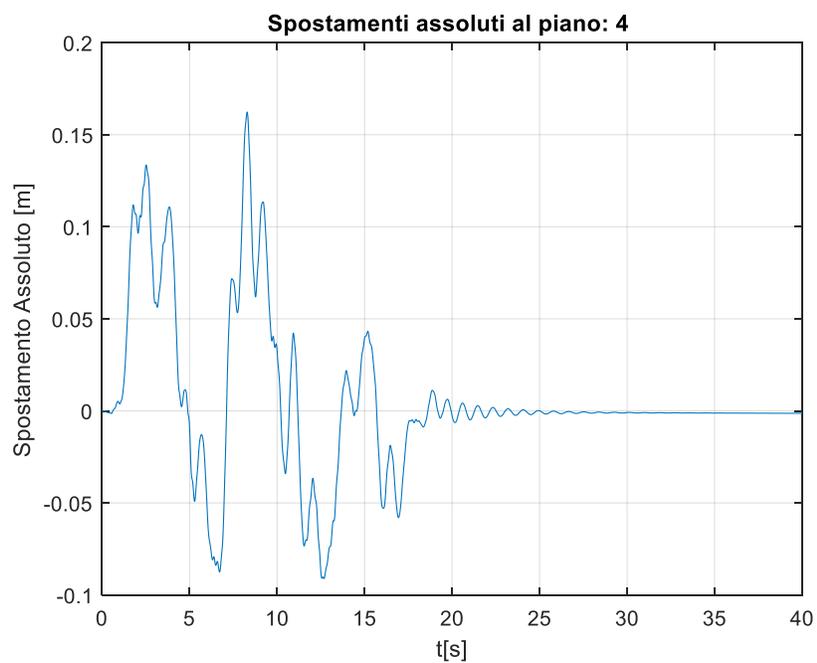
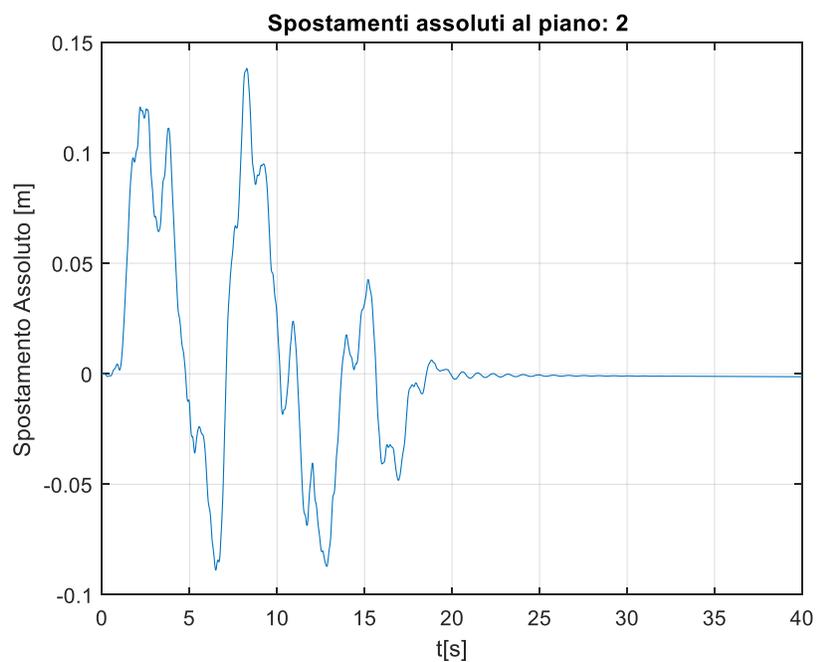
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



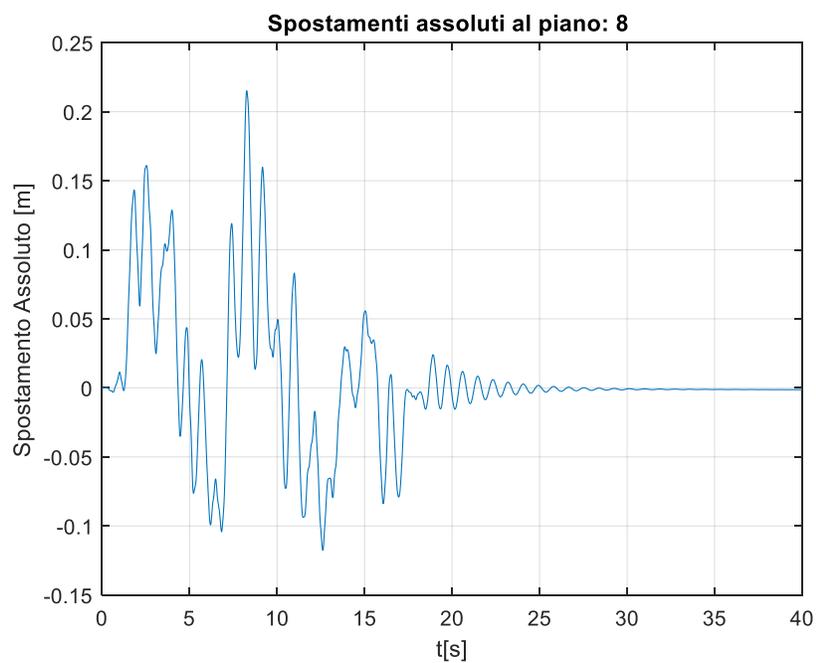
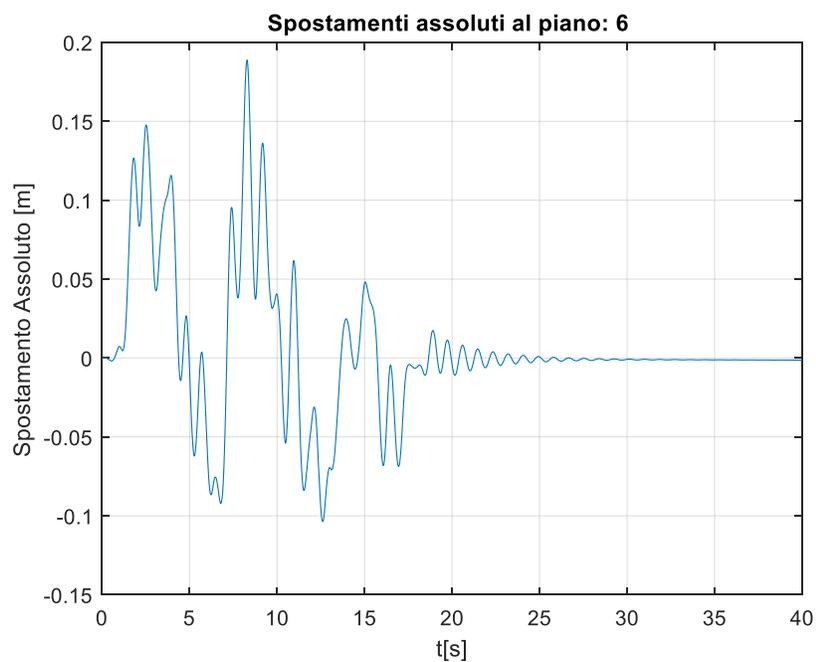
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 2$, PGA0.31g, SUOLO B, T2.



FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

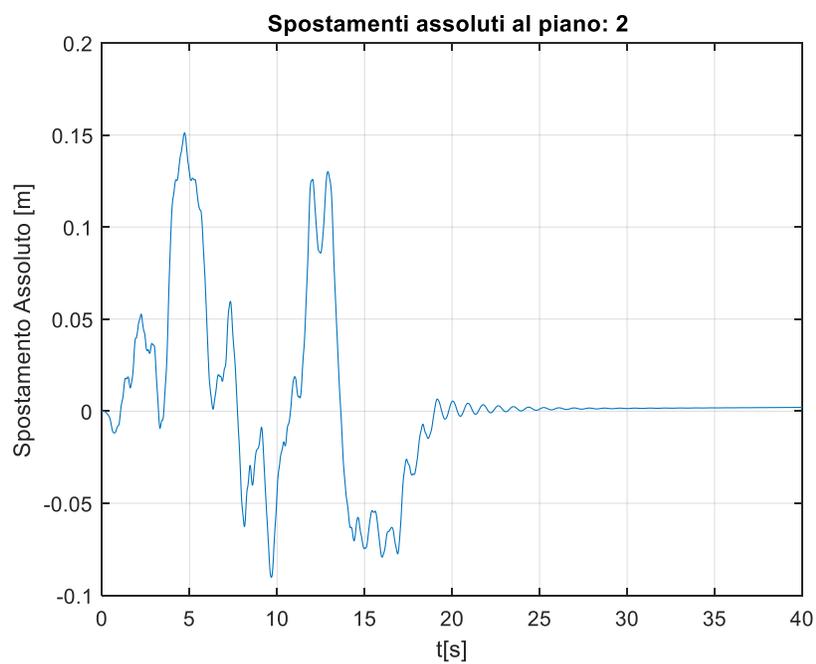
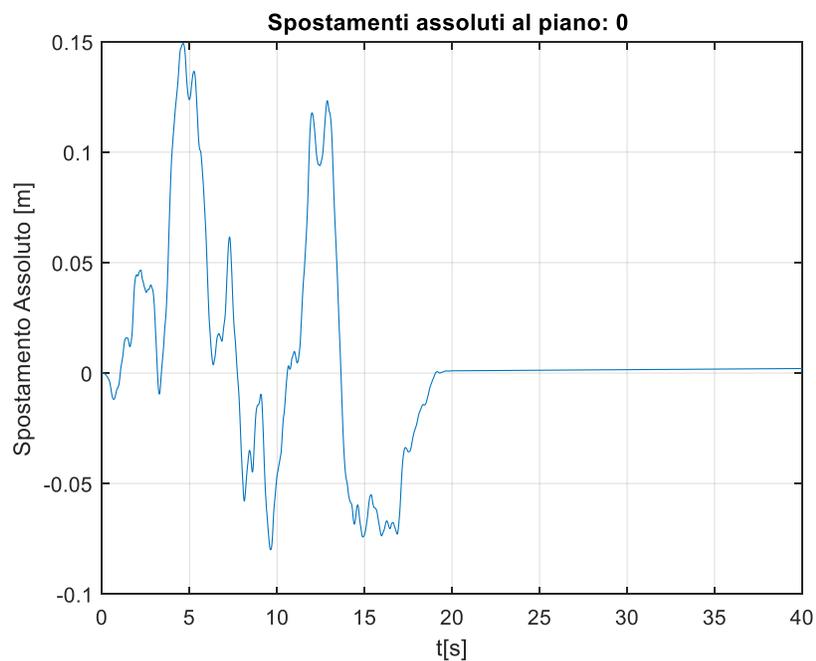


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

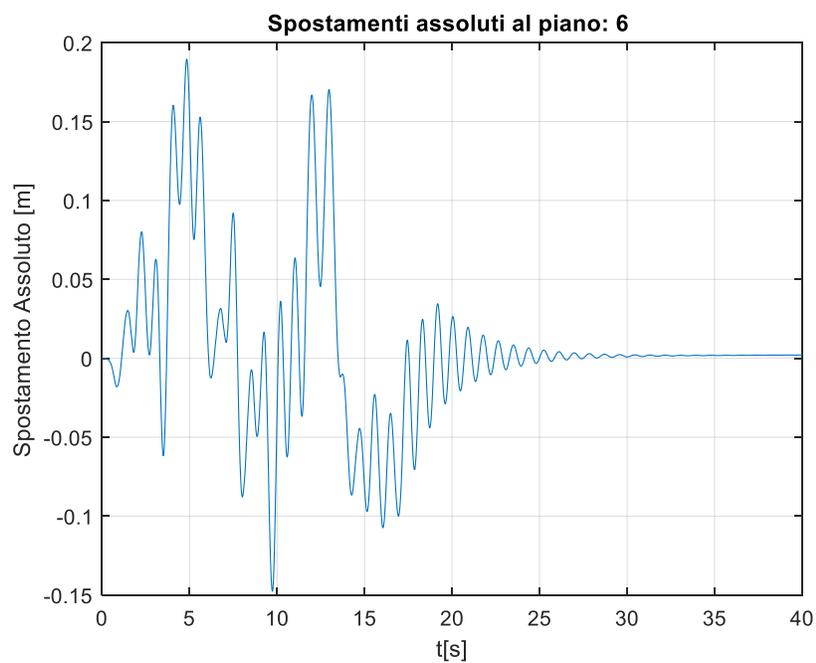
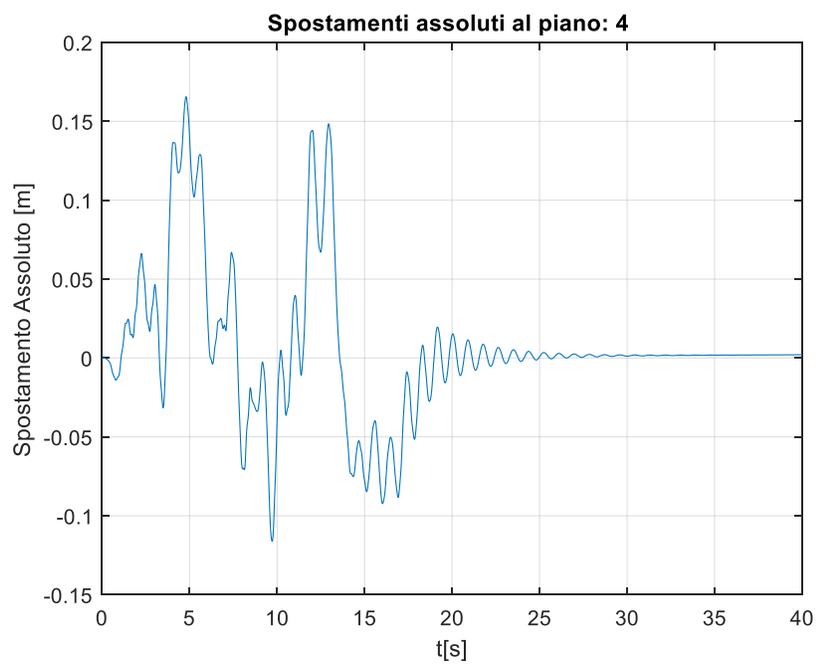


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

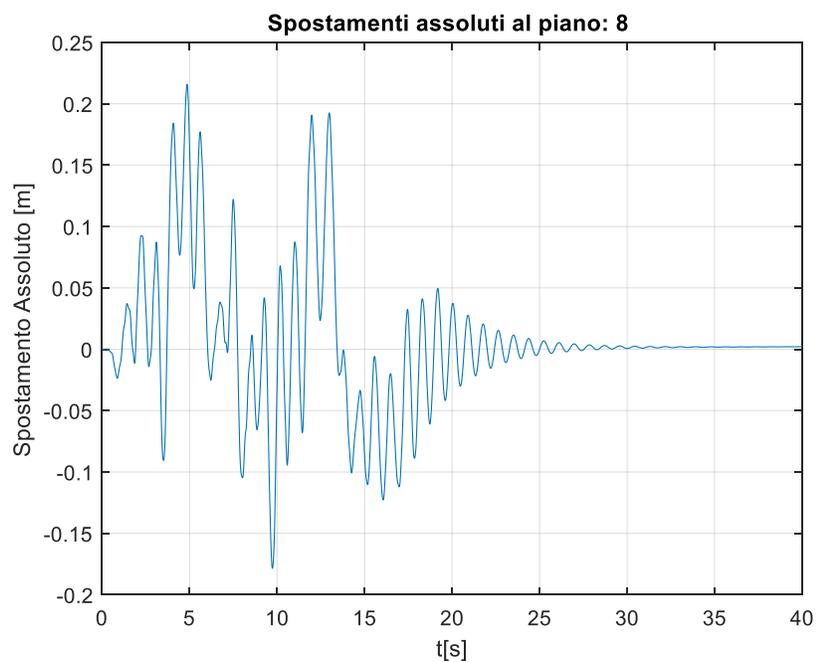
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO
 $\alpha_0 = 2$, $PGA0.31g$, SUOLO B, T3.



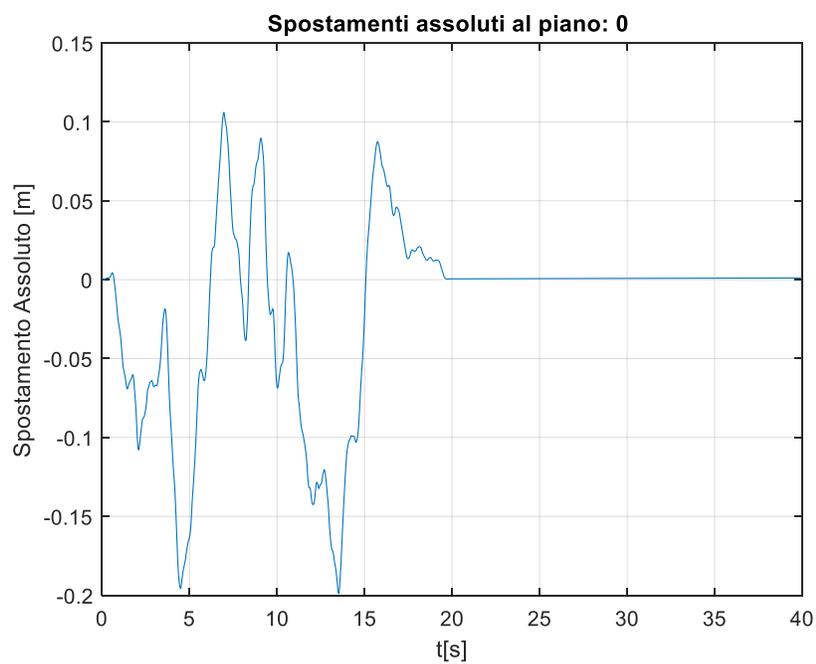
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



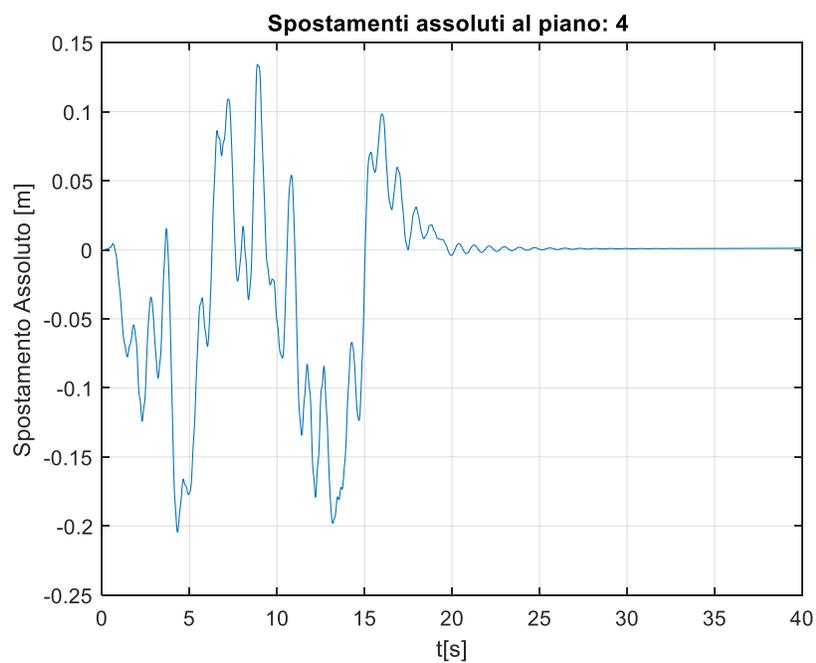
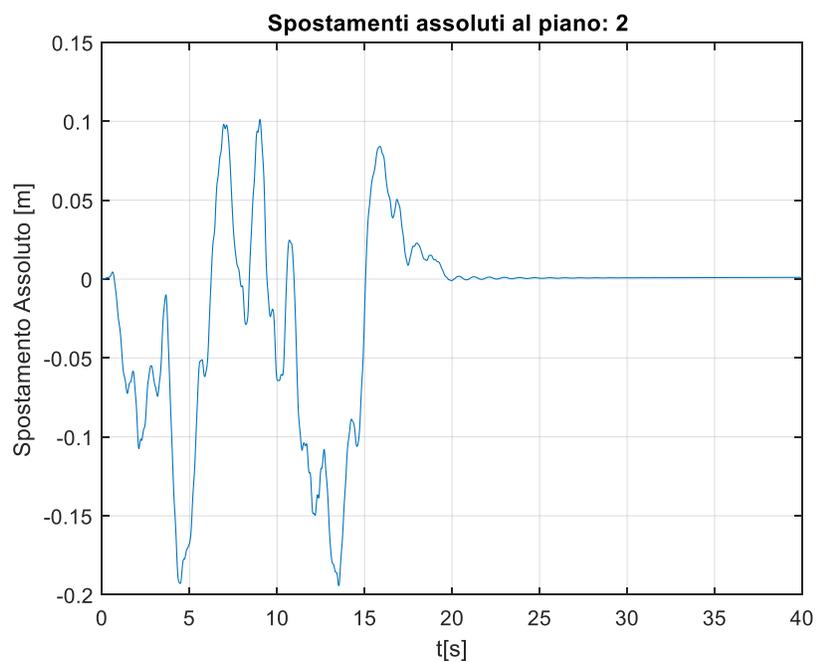
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



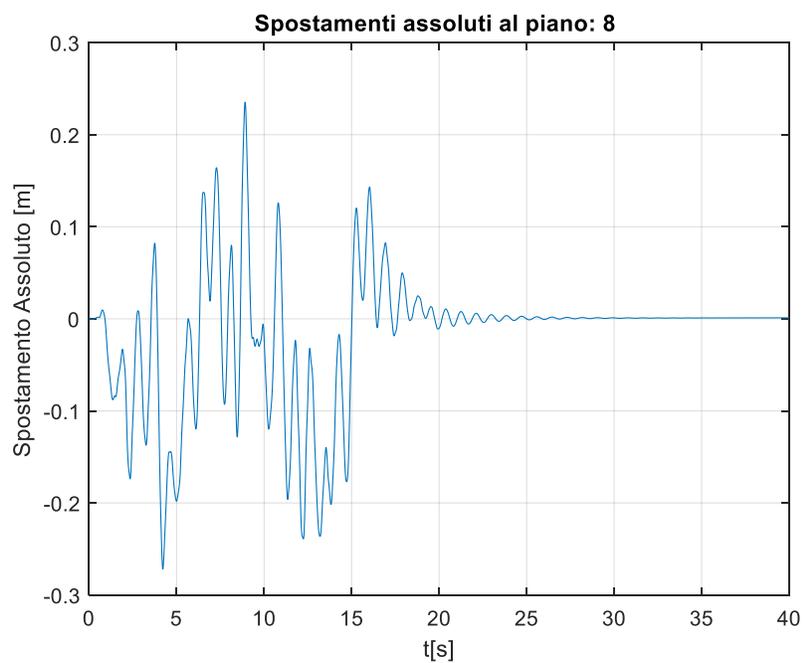
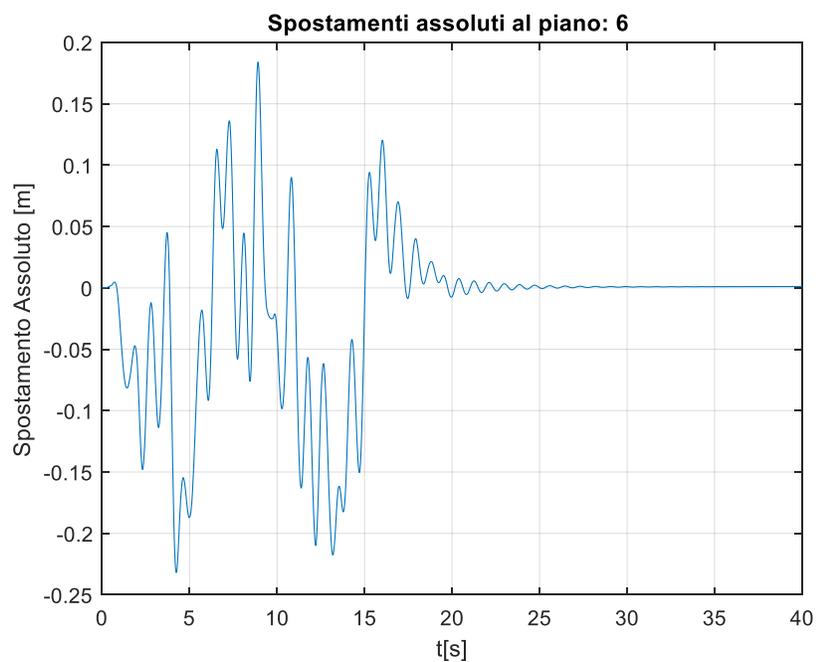
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 2$, PGA0.44g, SUOLO B, T1.



FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

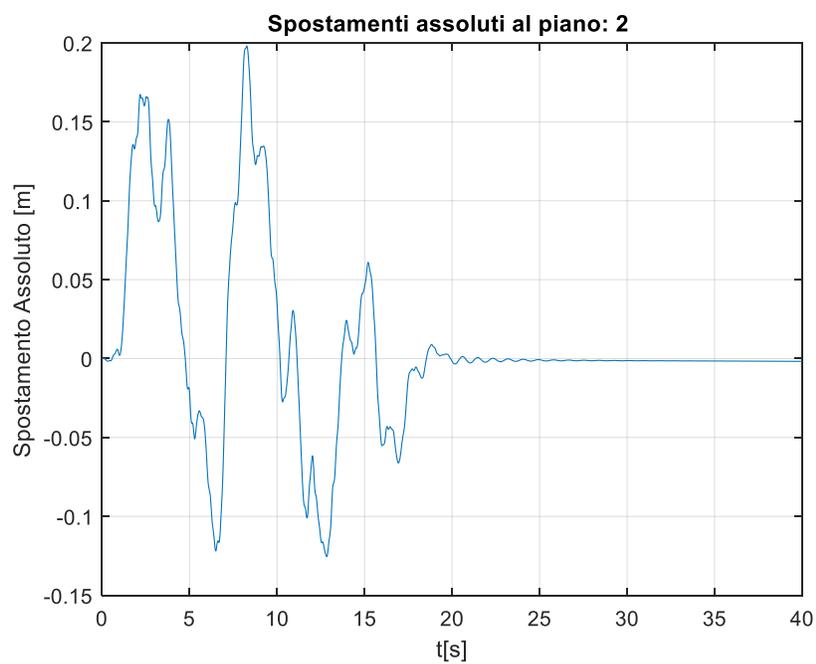
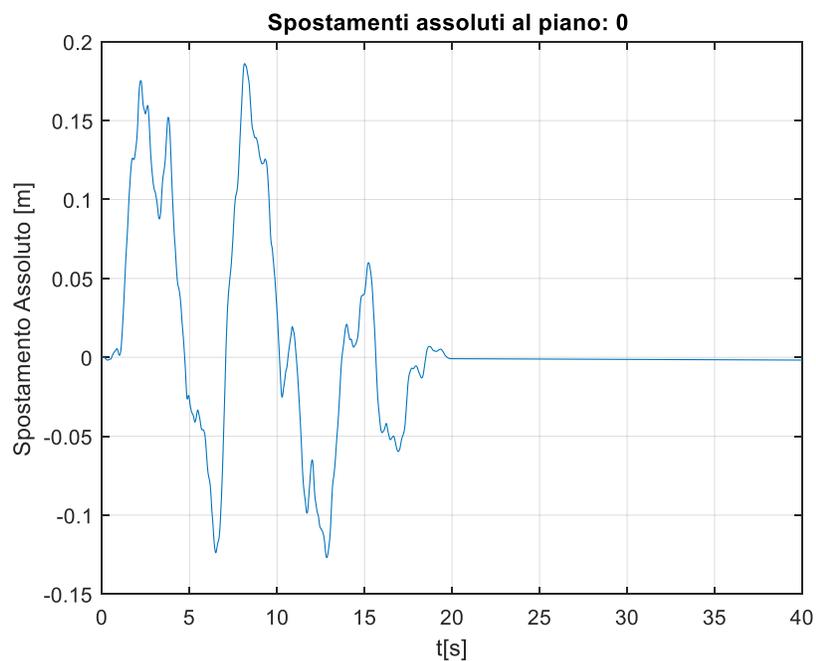


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

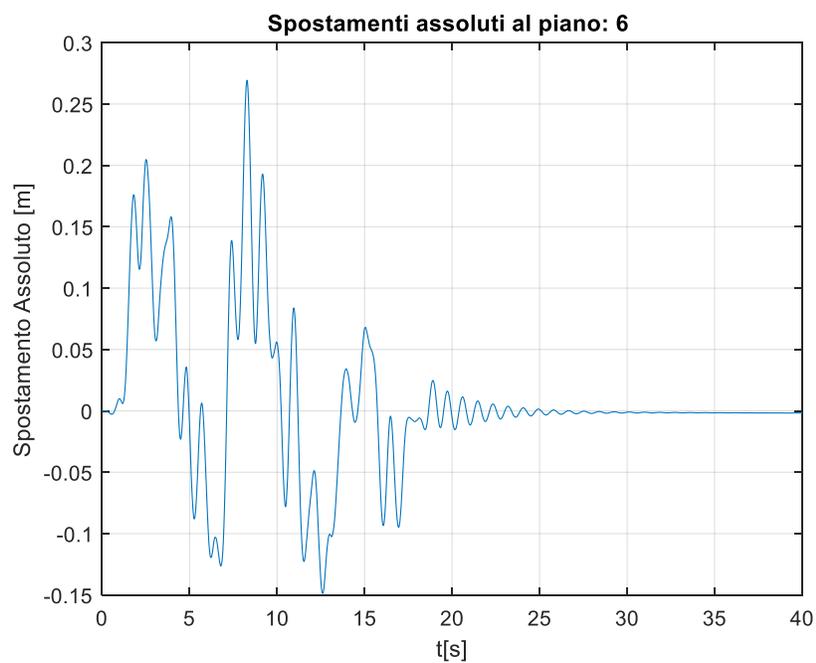
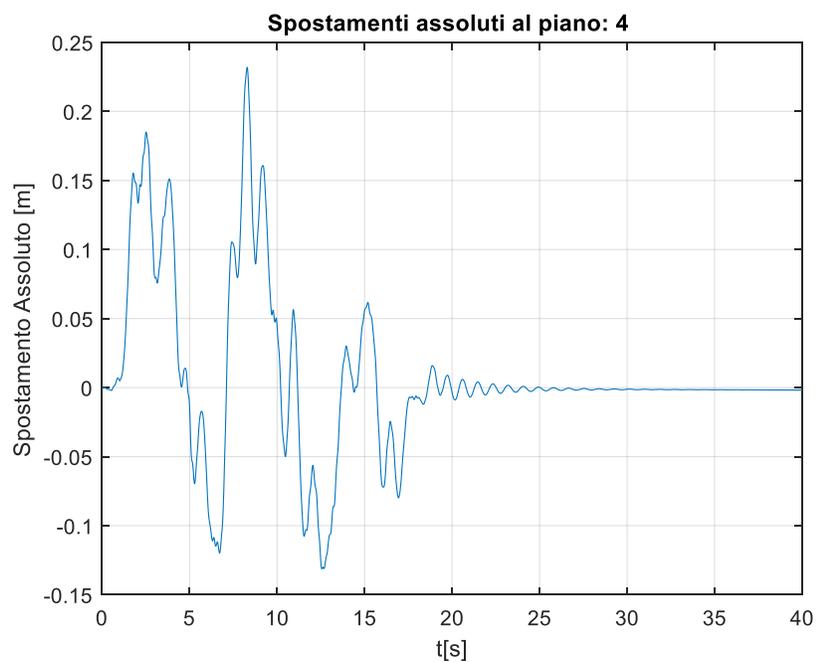


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

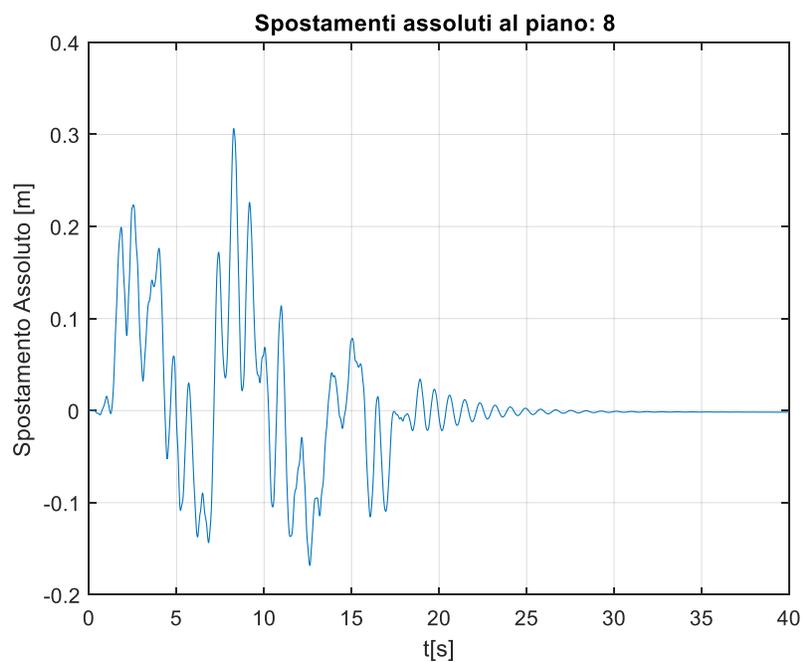
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO
 $\alpha_0 = 2$, $PGA0.44g$, SUOLO B, T2.



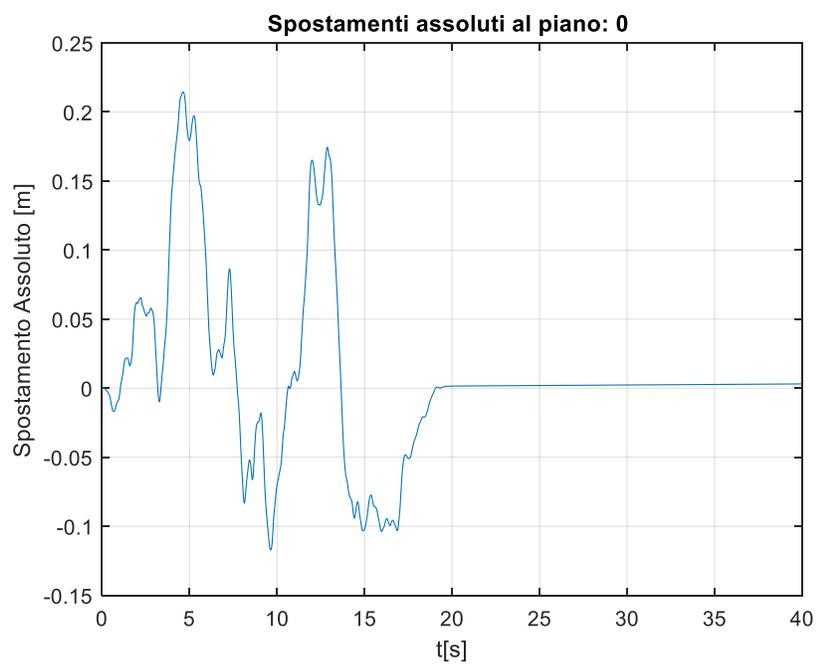
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



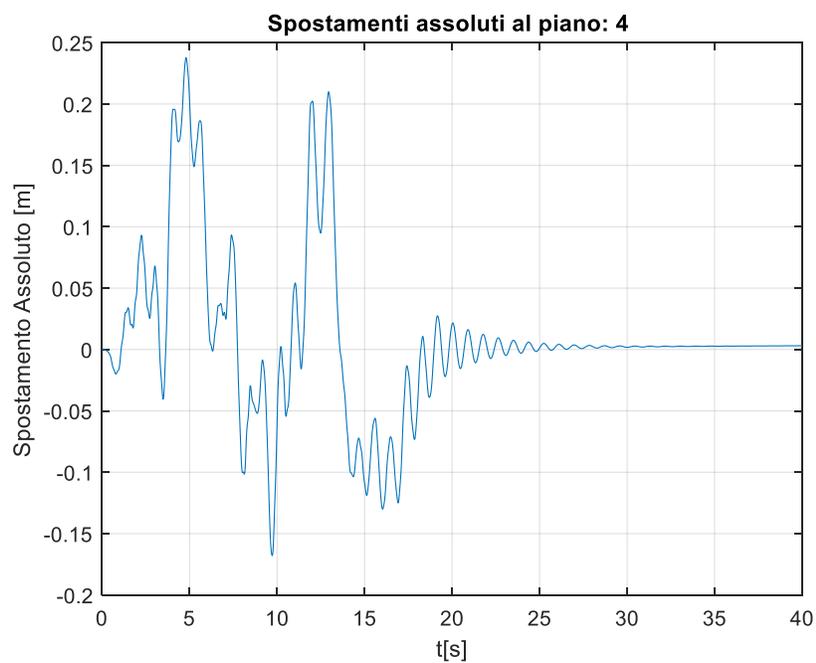
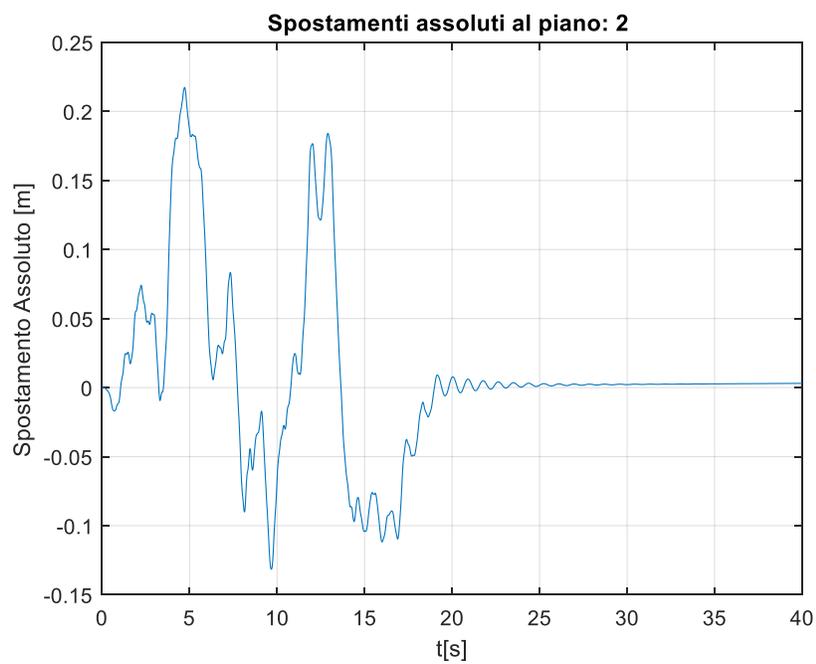
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



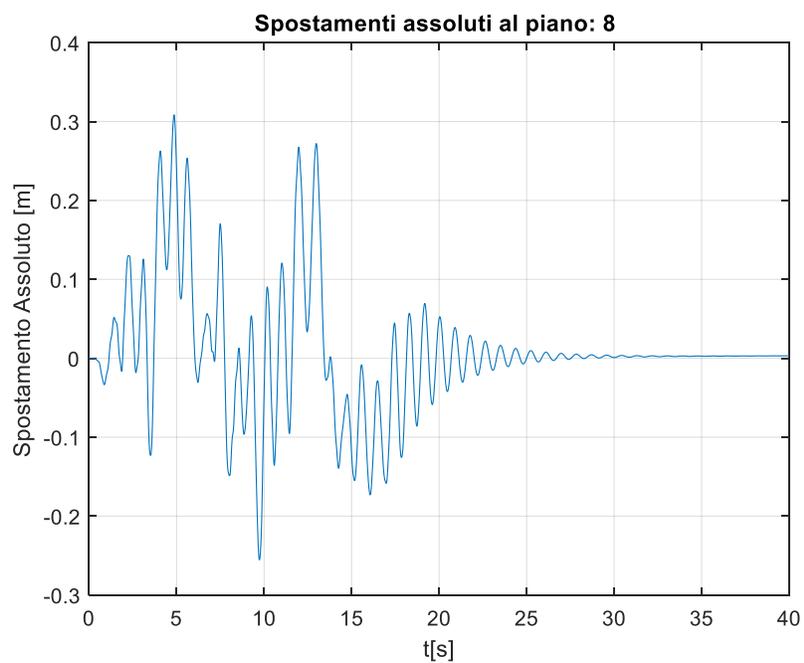
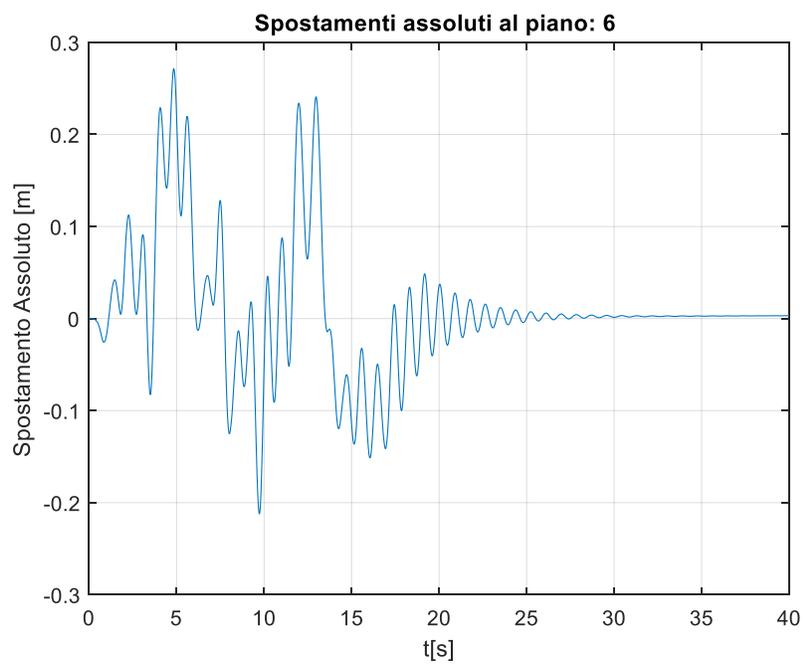
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 2$, PGA0.44g, SUOLO B, T3.



FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

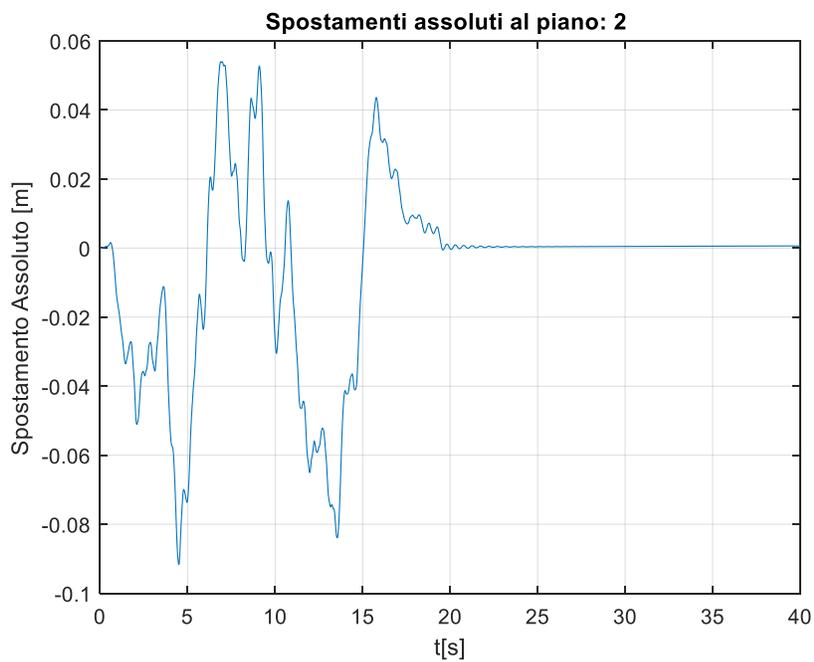
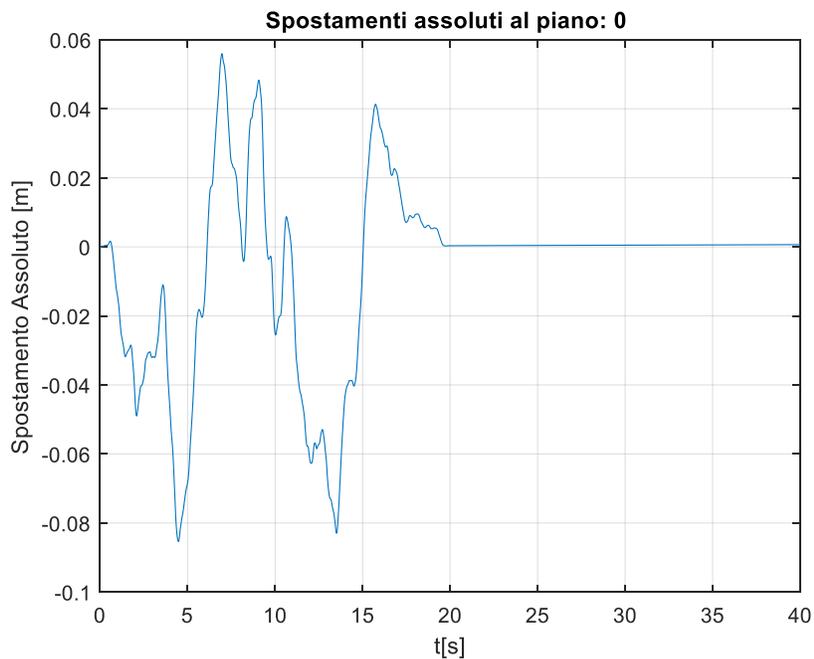


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

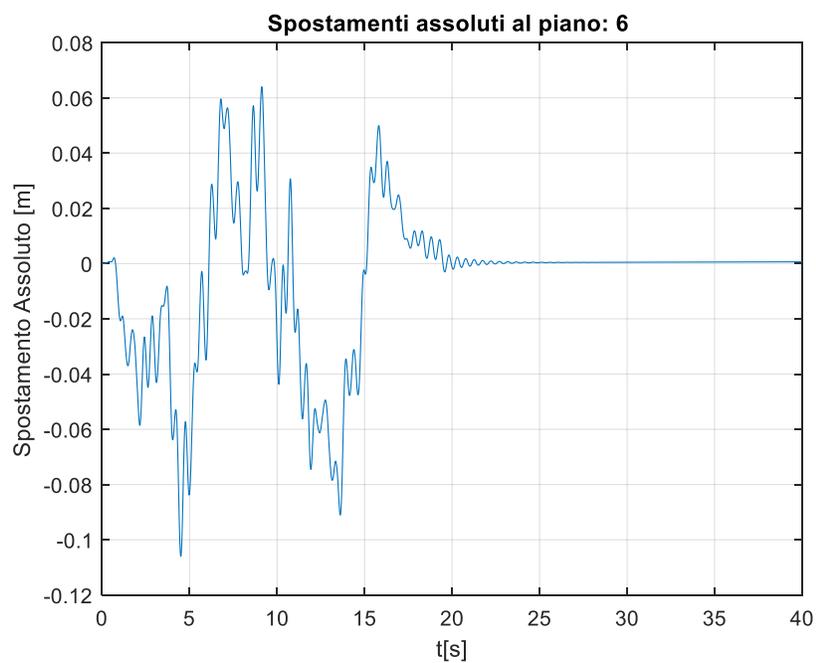
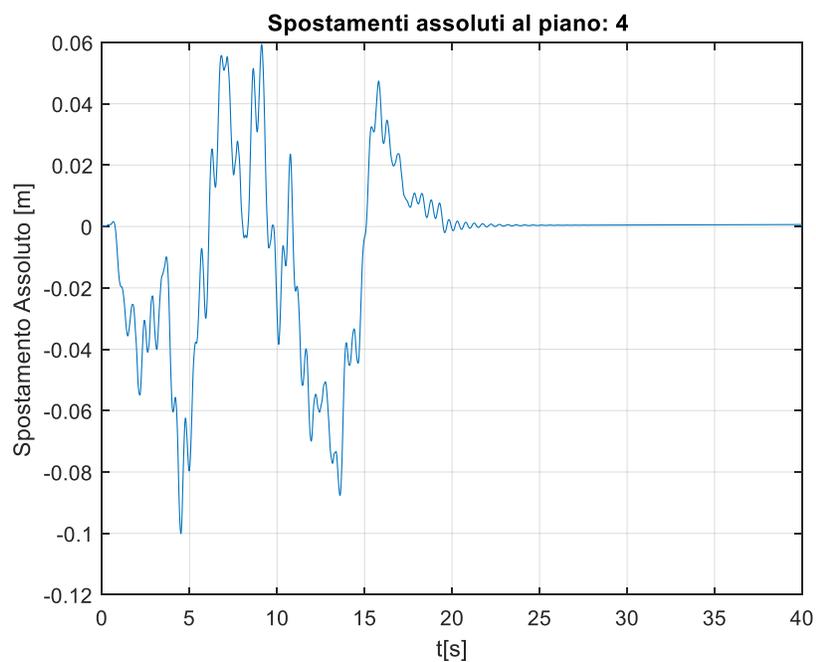


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

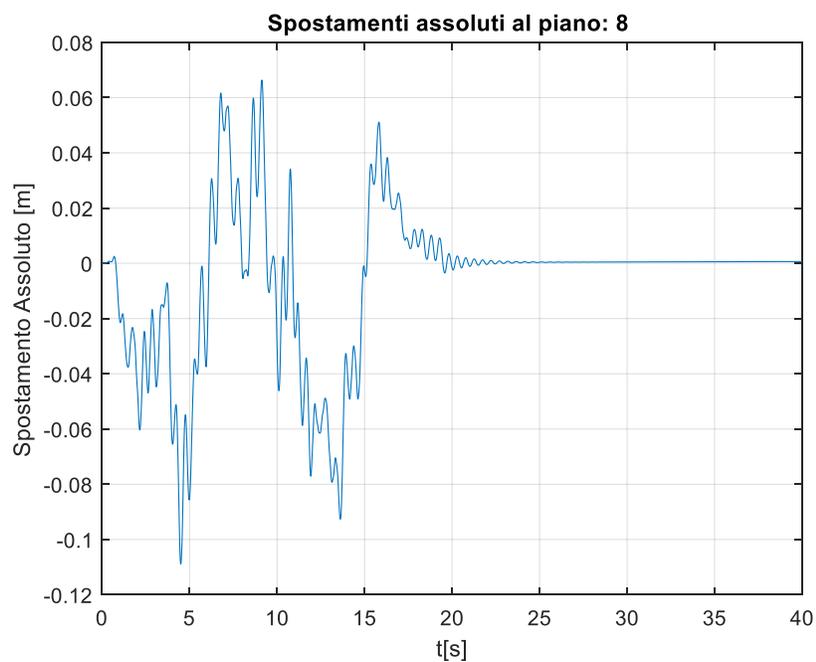
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 10$, PGA0.19g, SUOLO B, T1.



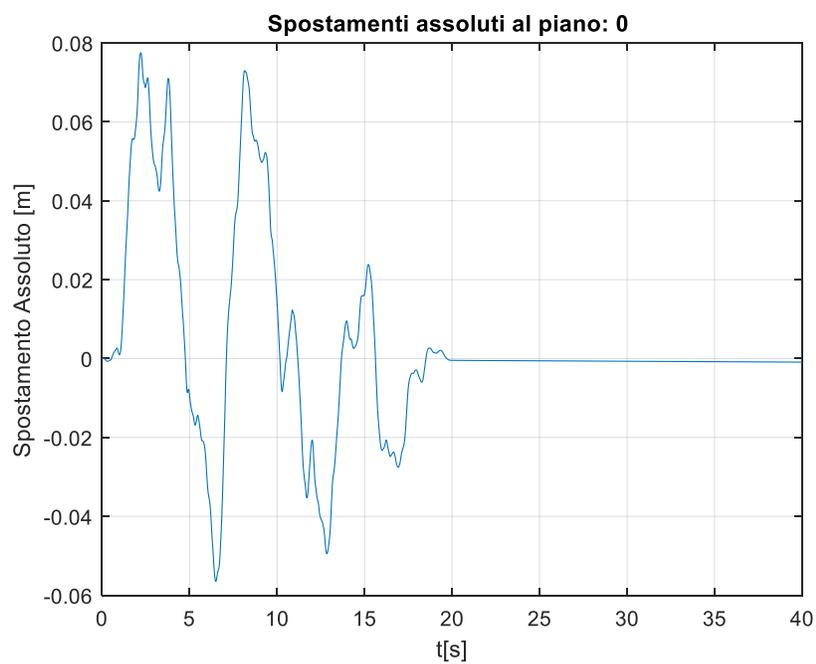
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



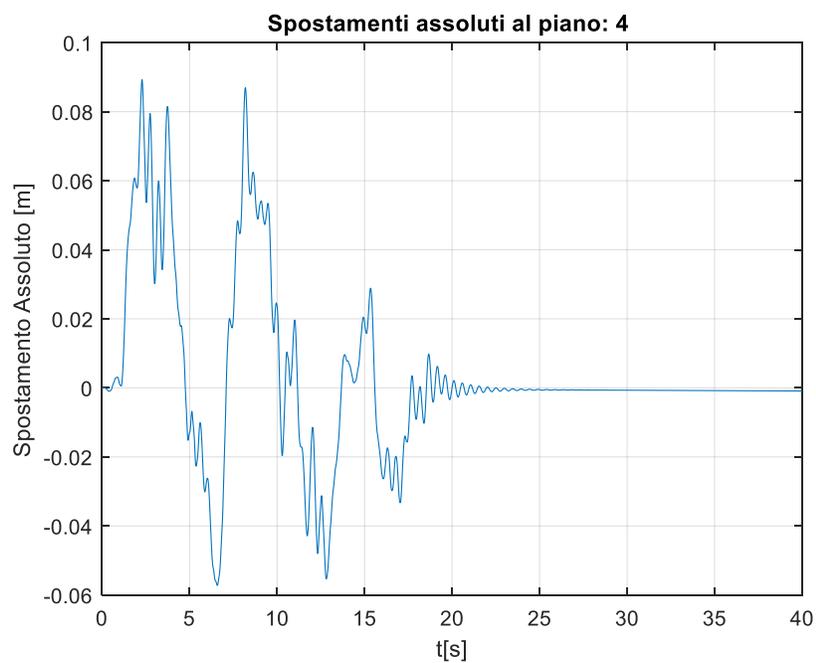
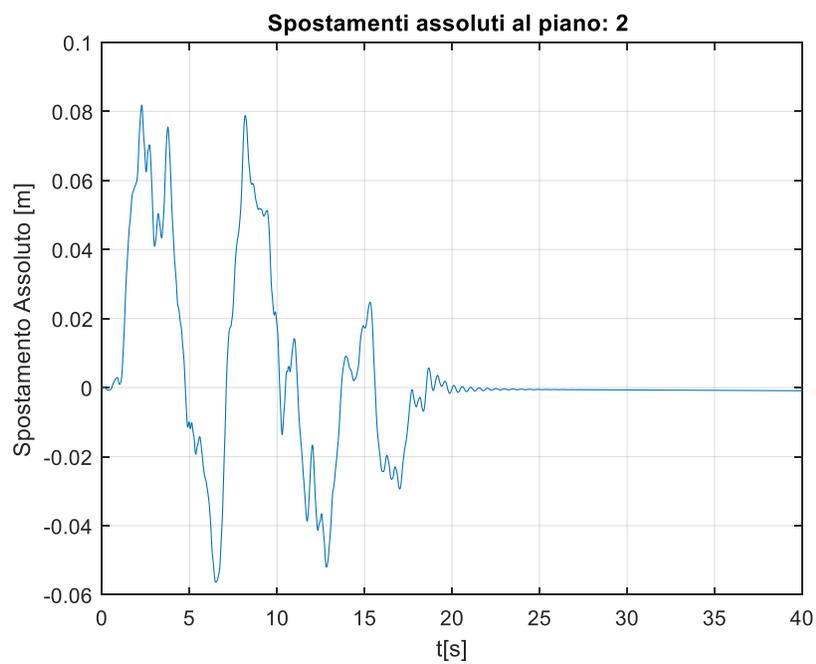
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



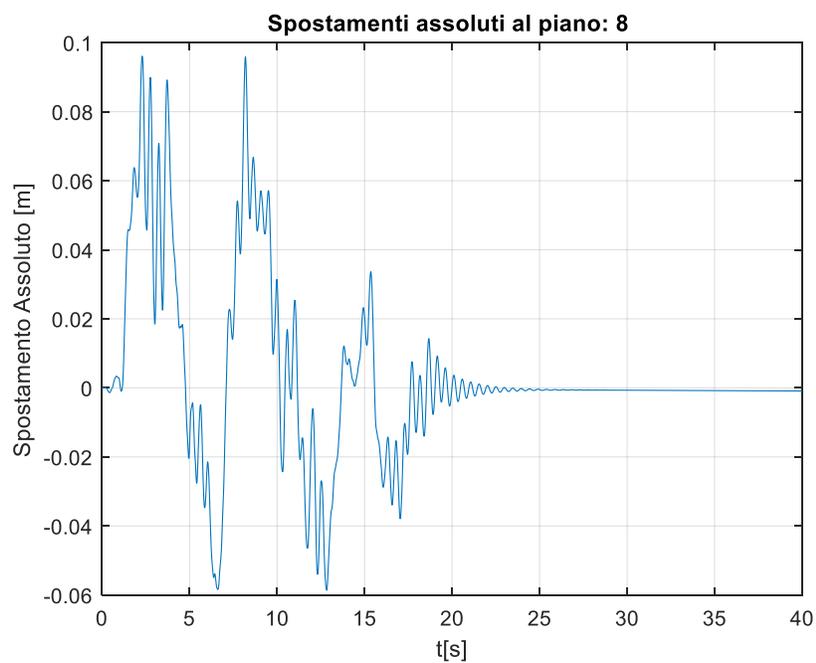
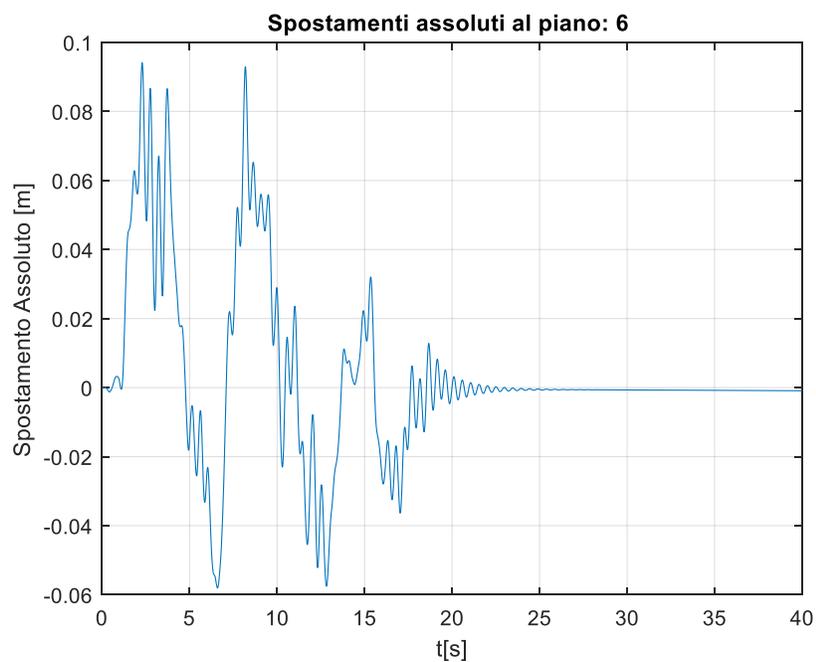
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 10$, PGA0.19g, SUOLO B, T2.



FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

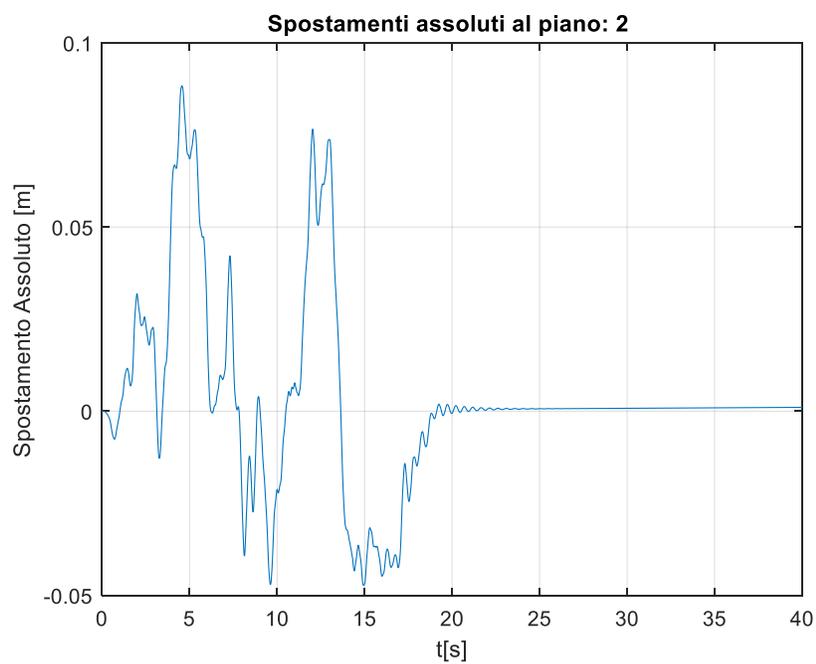
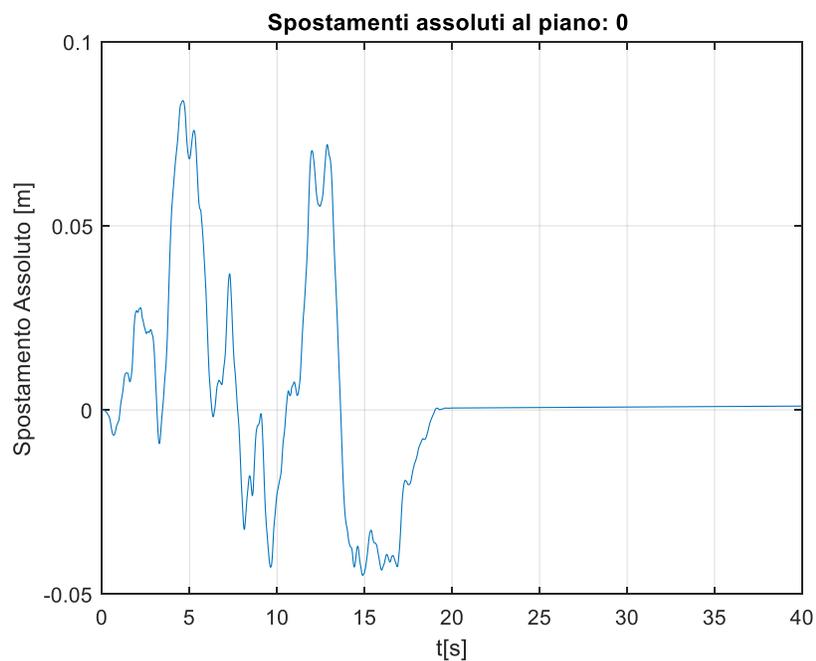


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

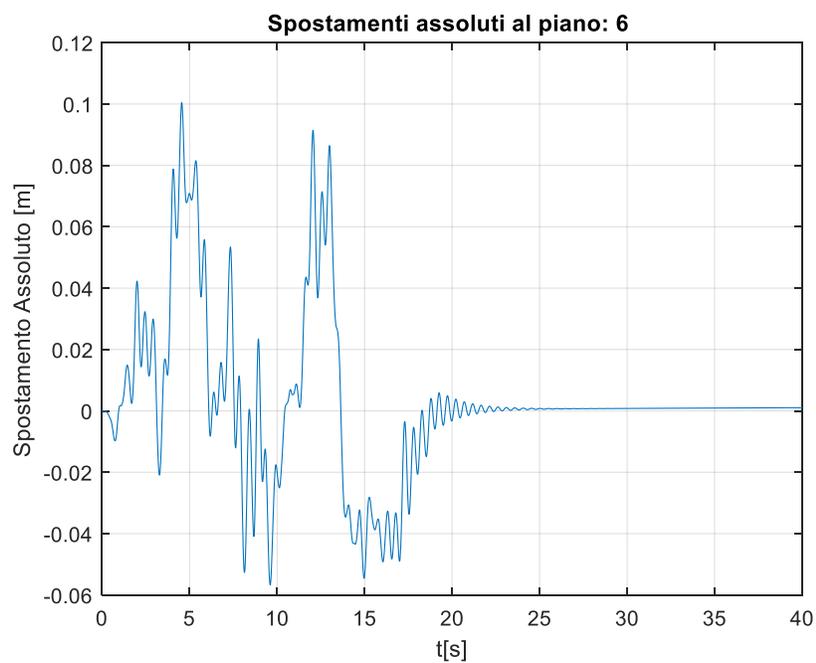
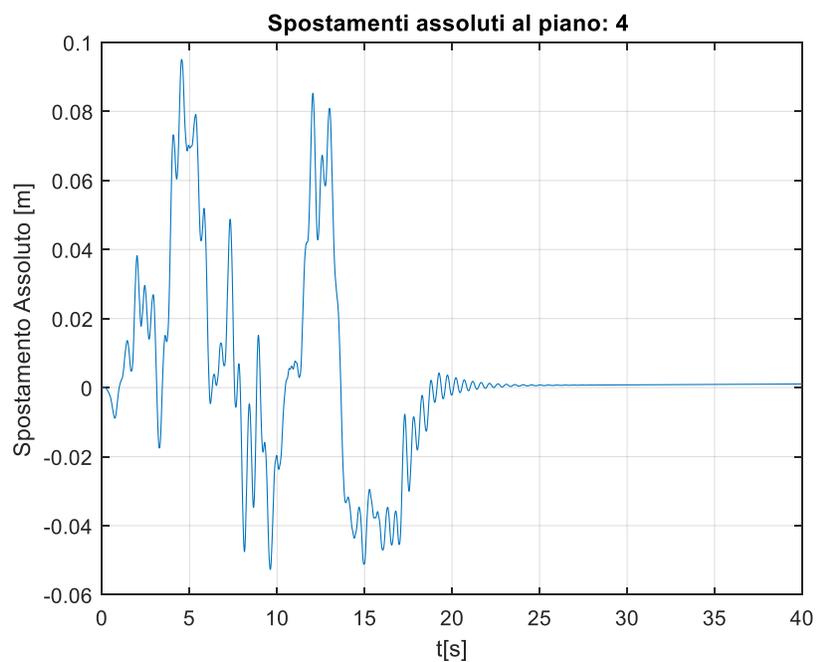


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

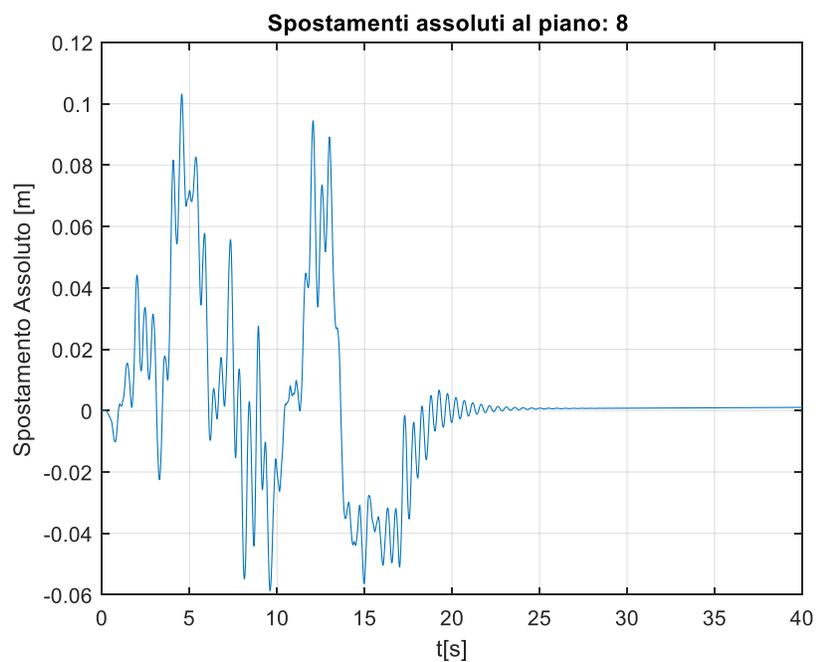
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 10$, PGA0.19g, SUOLO B, T3.



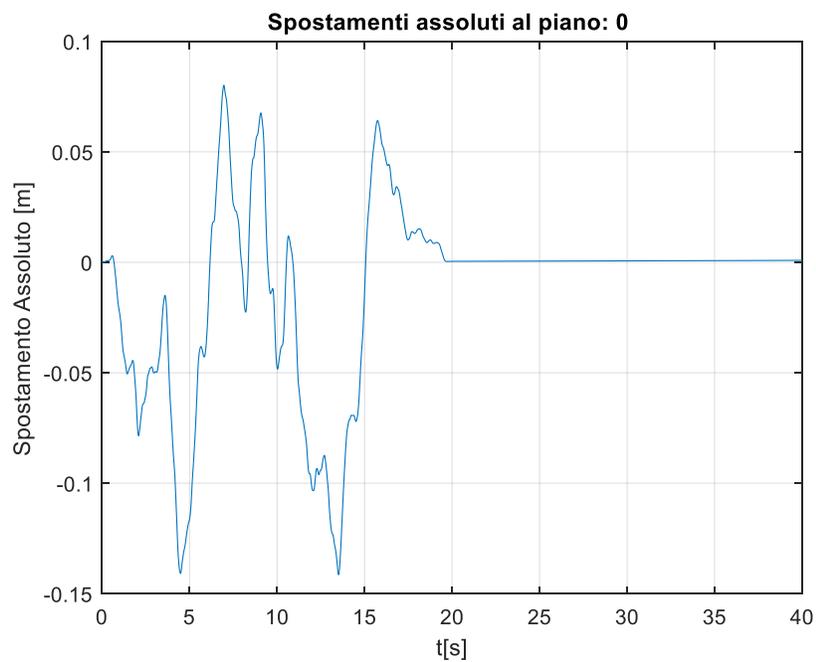
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



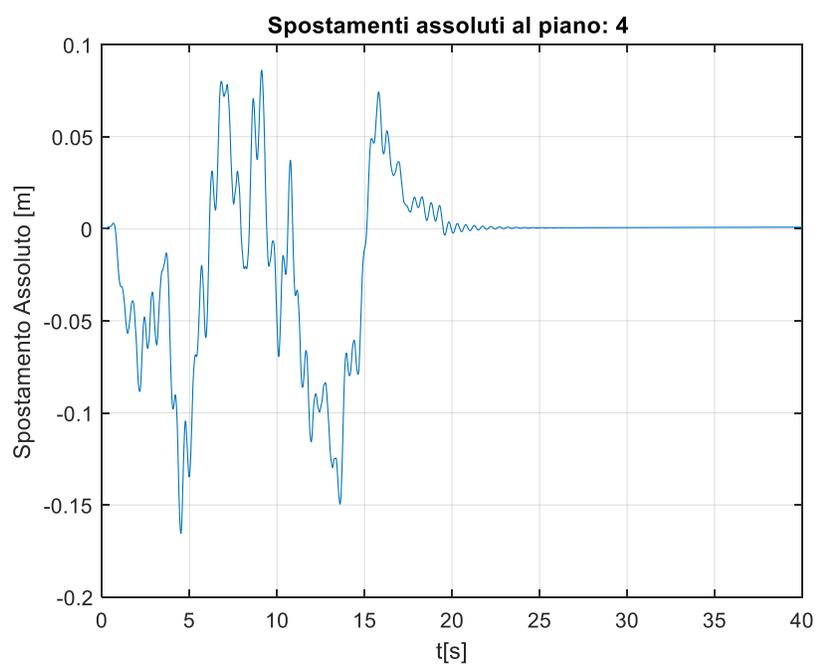
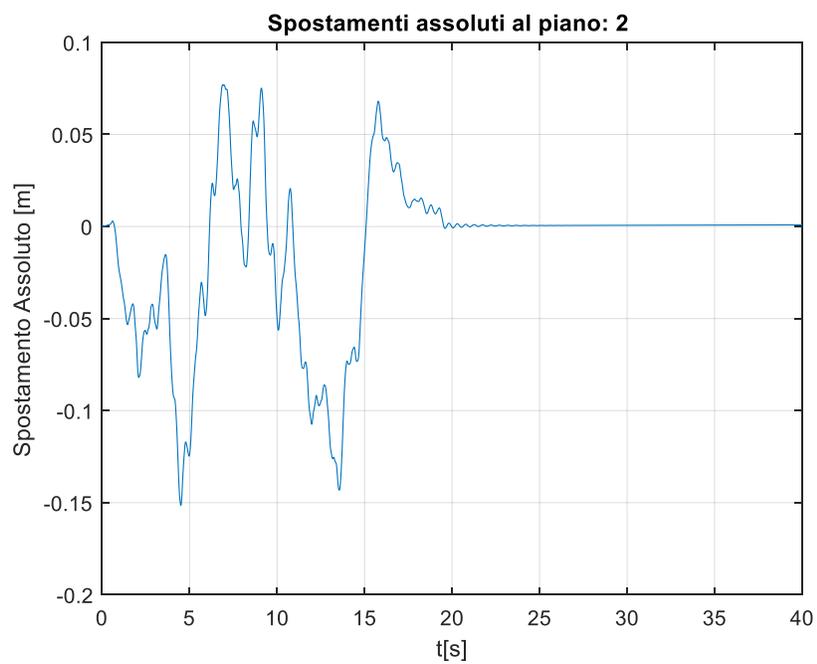
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



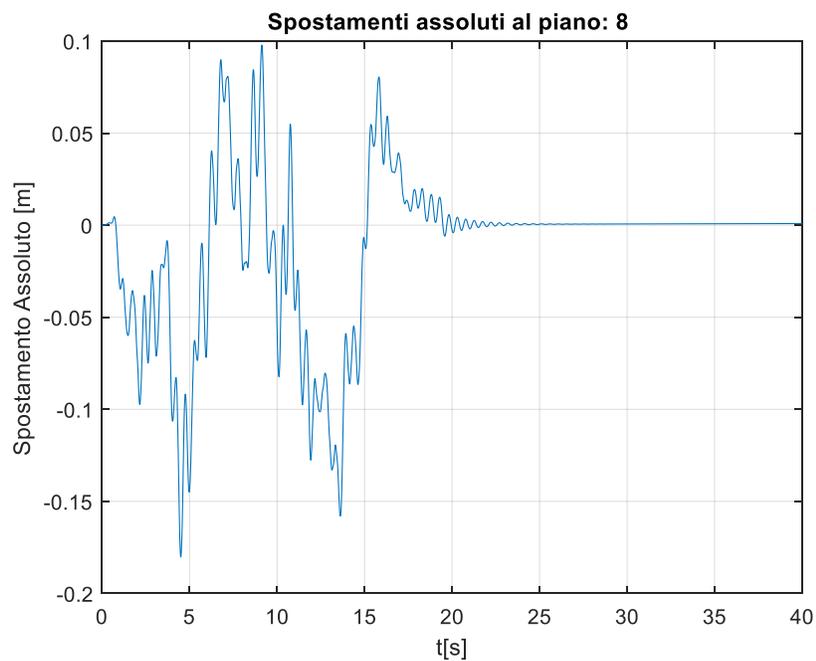
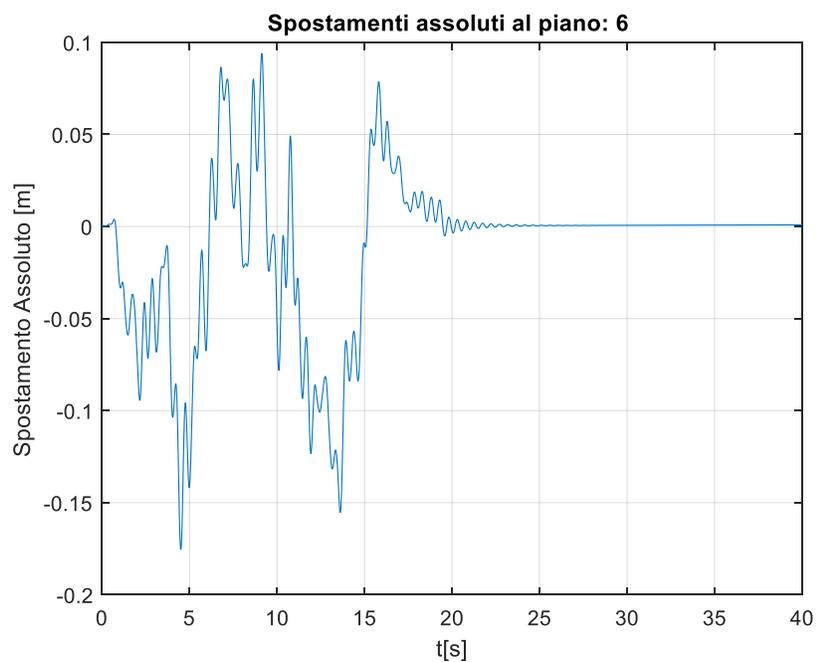
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 10$, PGA0.31g, SUOLO B, T1.



FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

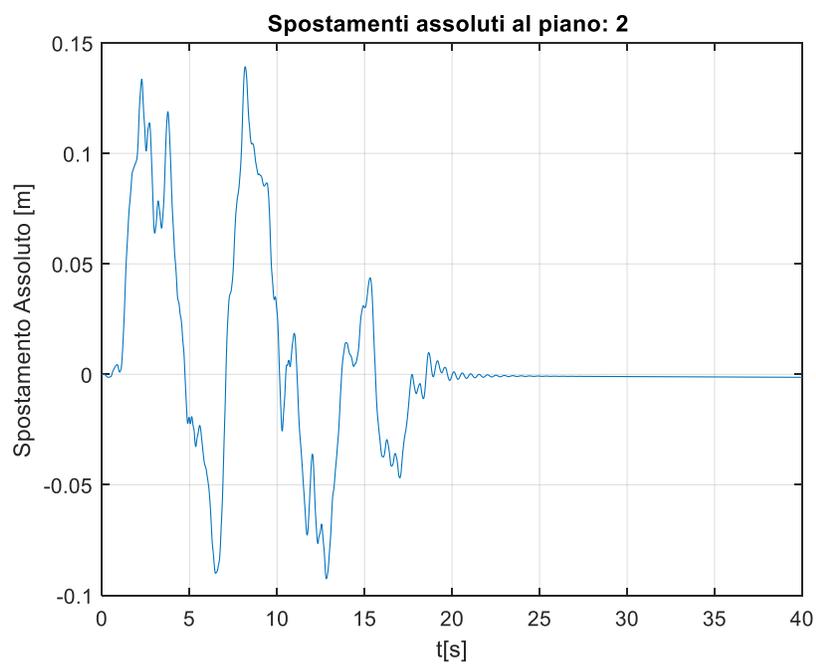
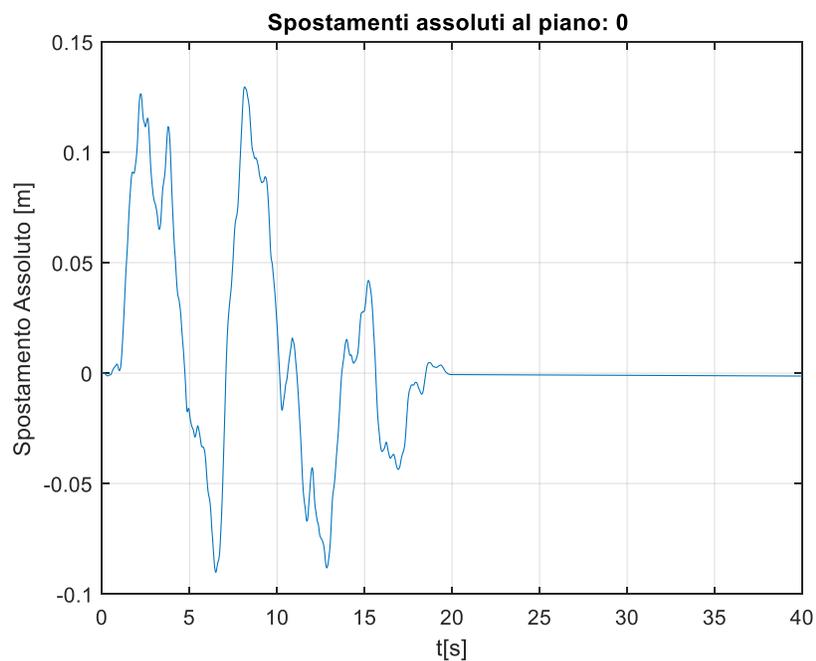


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

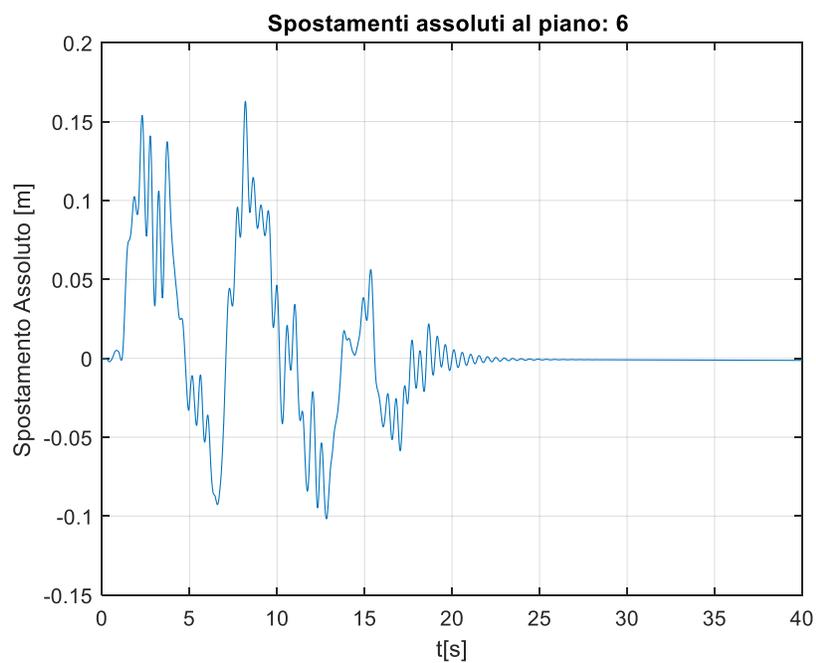
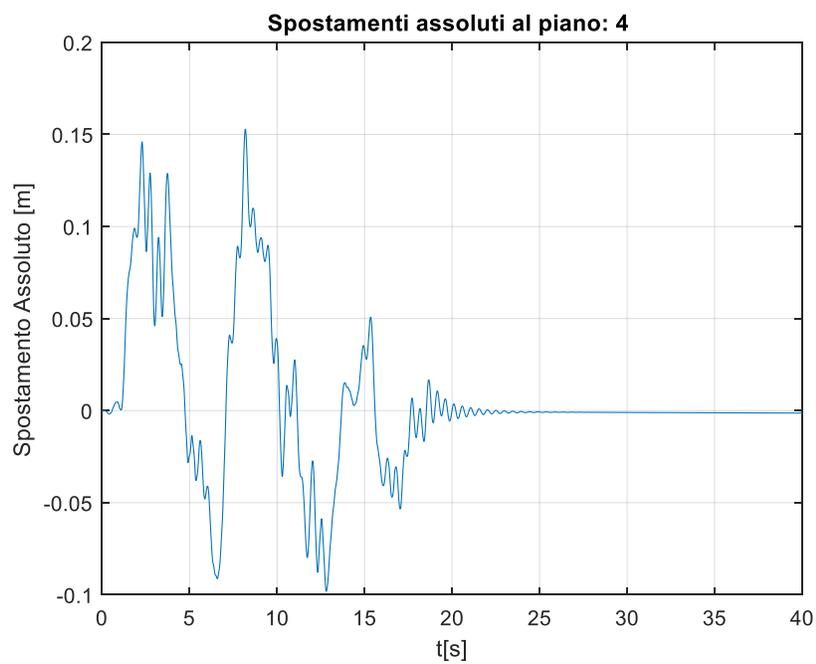


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

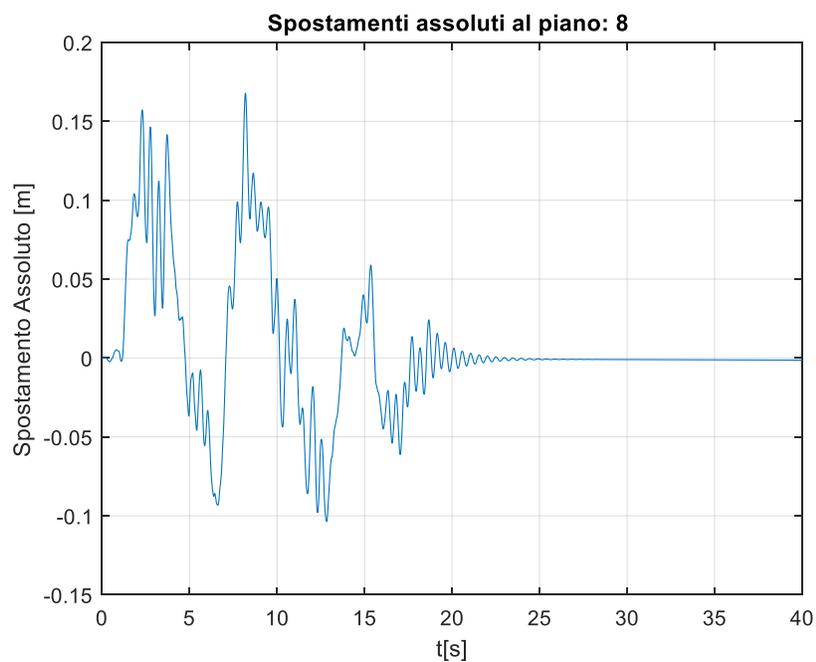
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 10$, PGA0.31g, SUOLO B, T2.



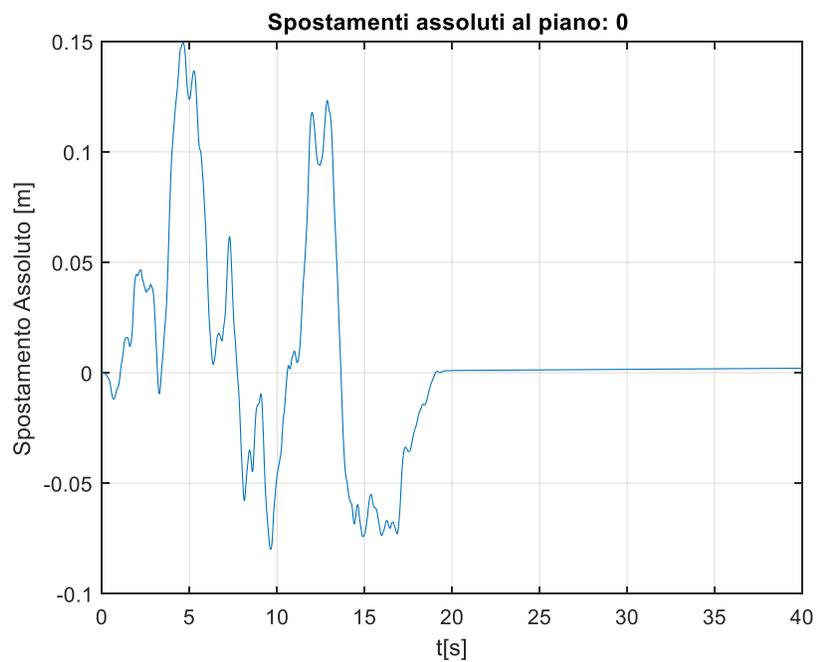
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



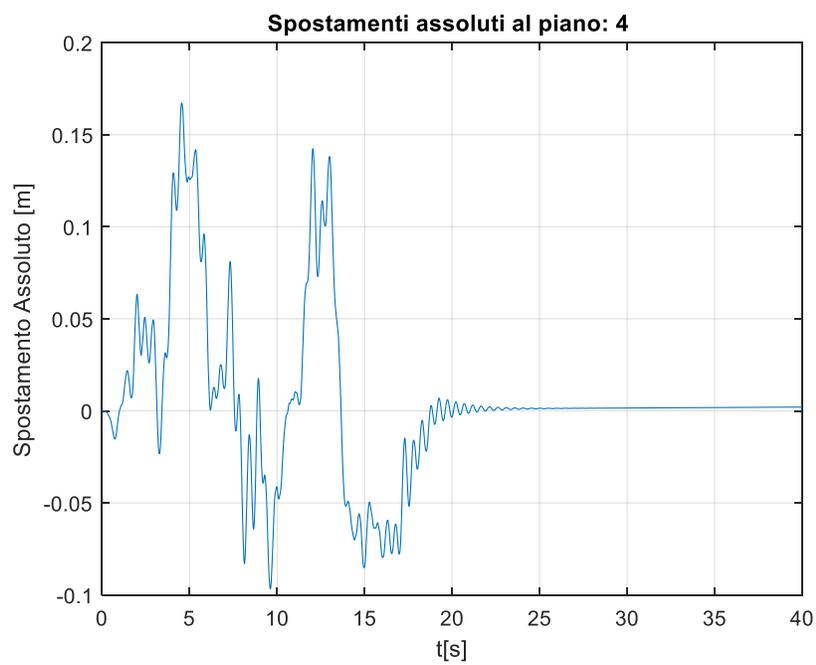
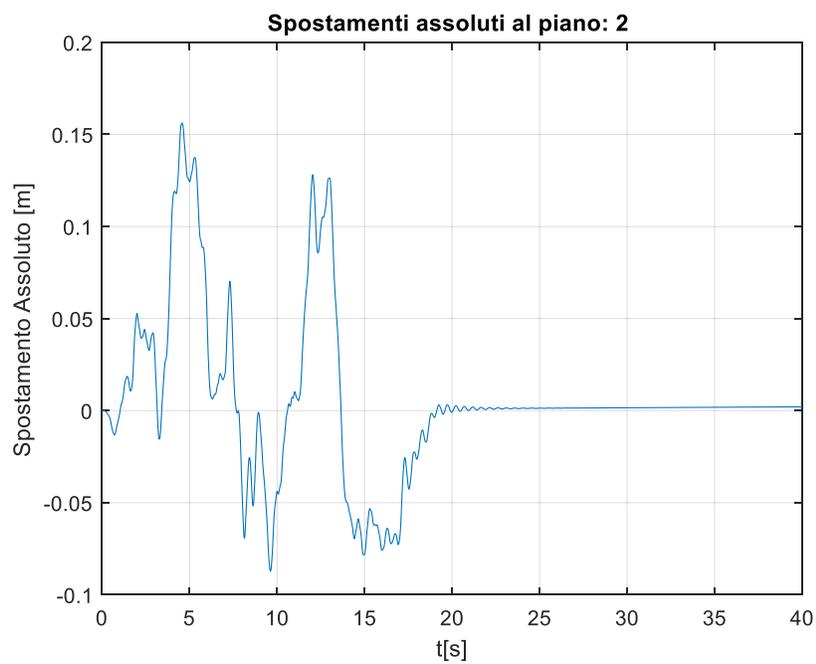
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



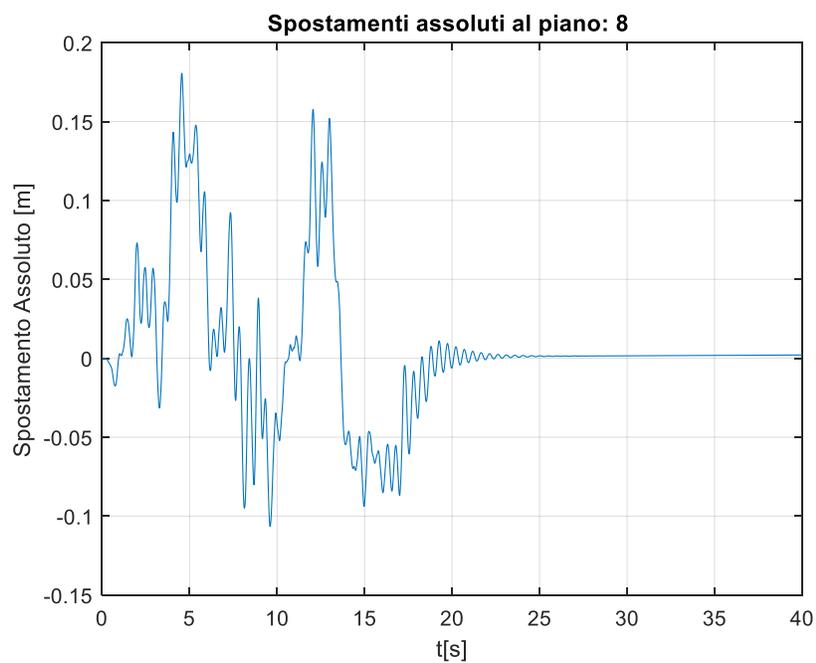
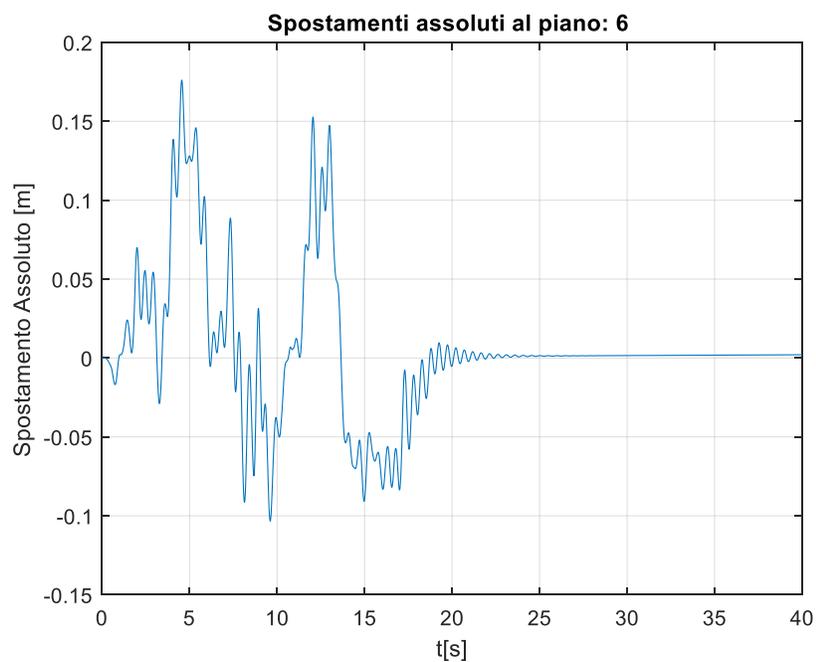
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 10$, PGA0.31g, SUOLO B, T3.



FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

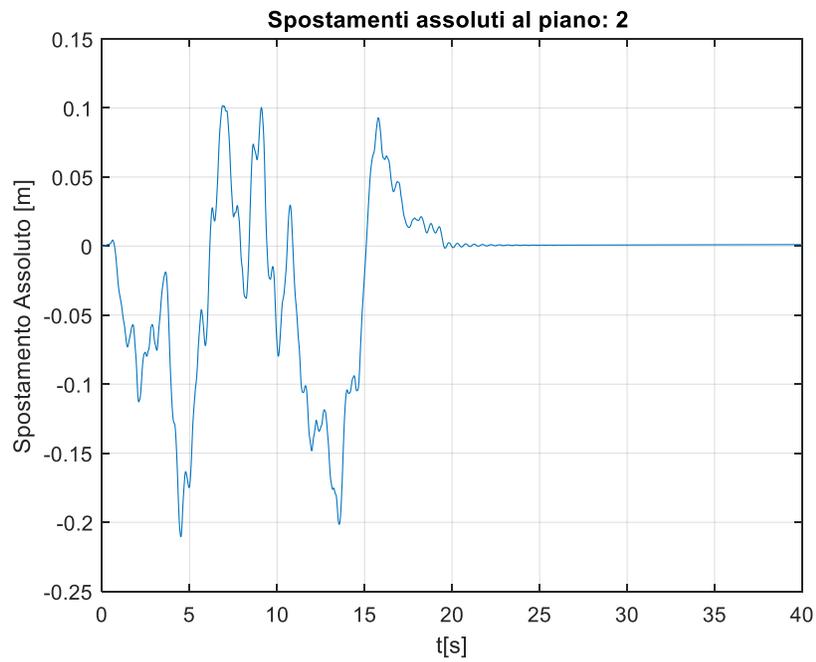
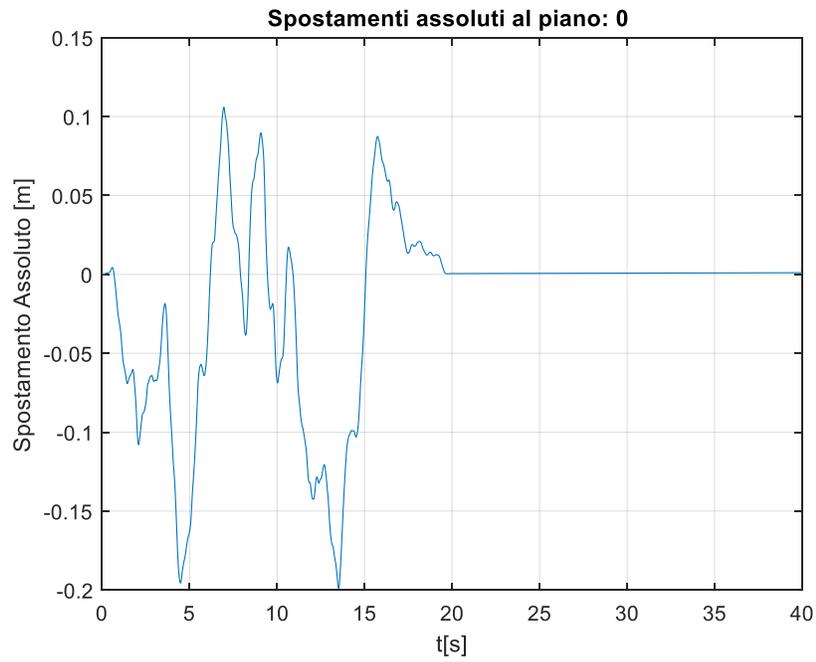


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

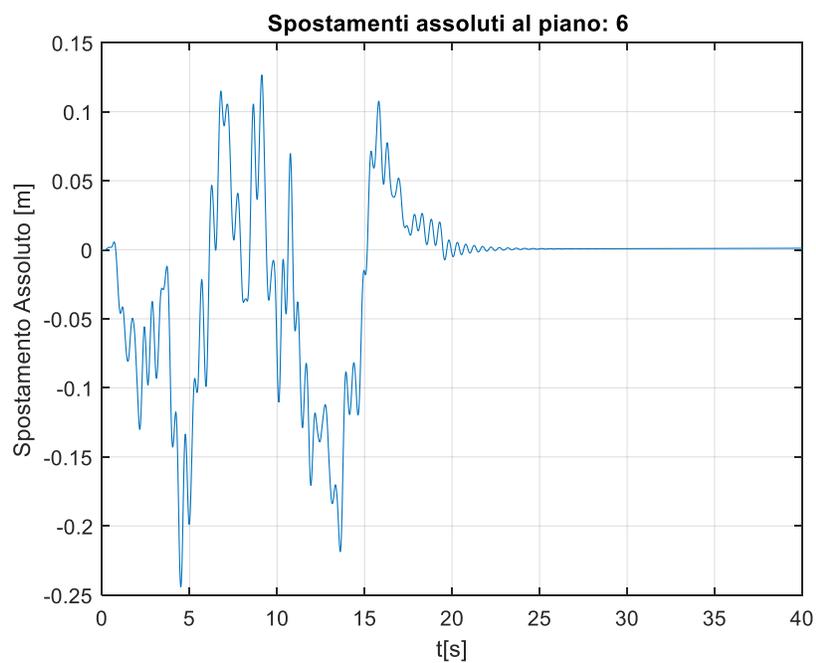
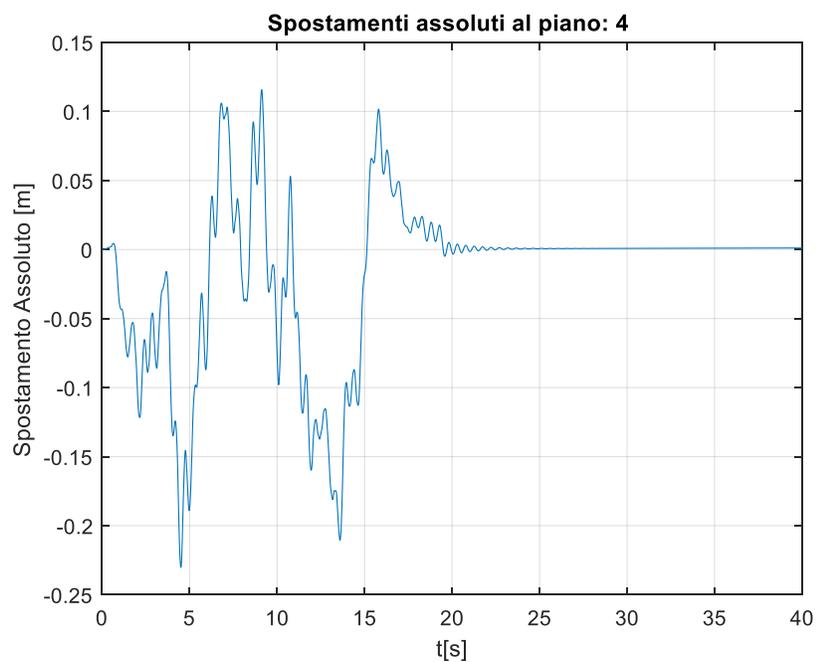


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

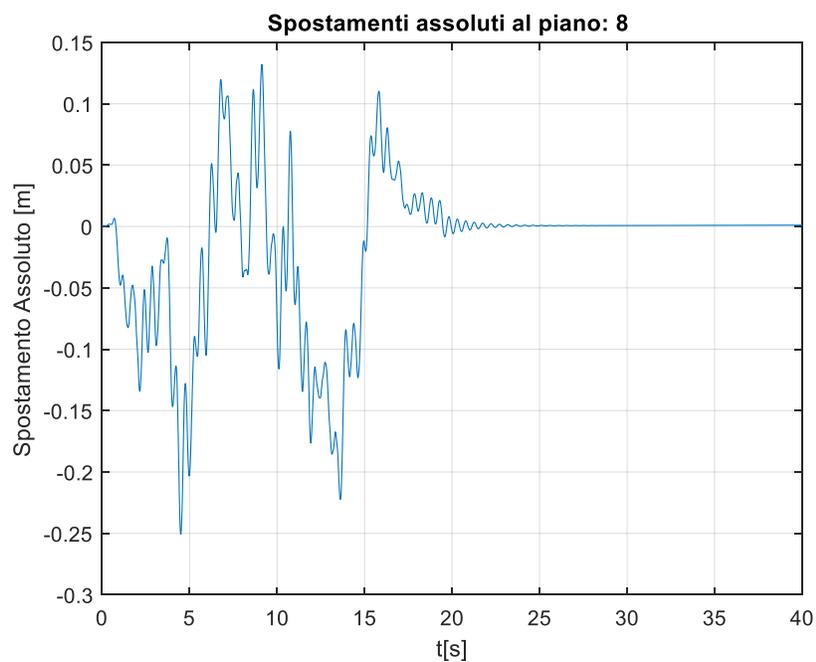
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 10$, PGA0.44g, SUOLO B, T1.



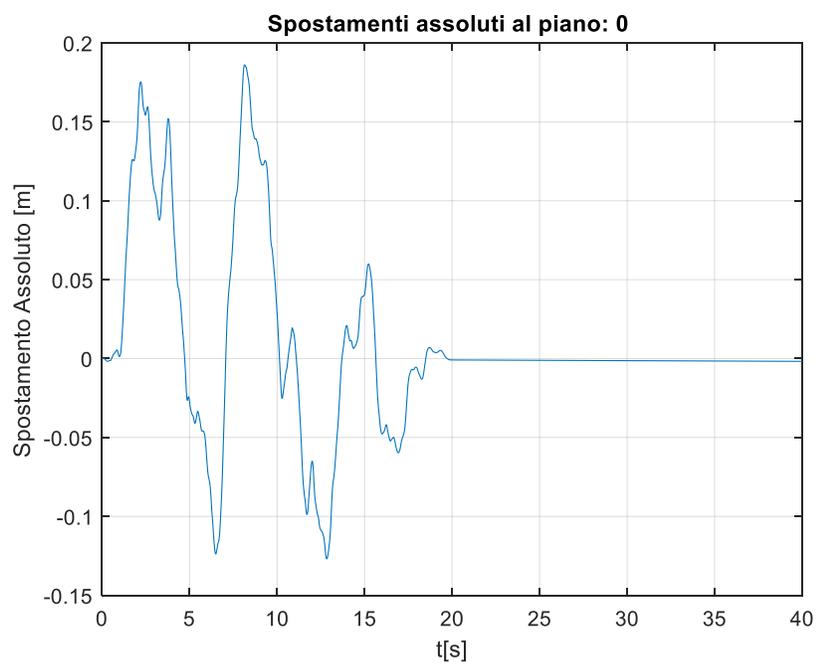
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



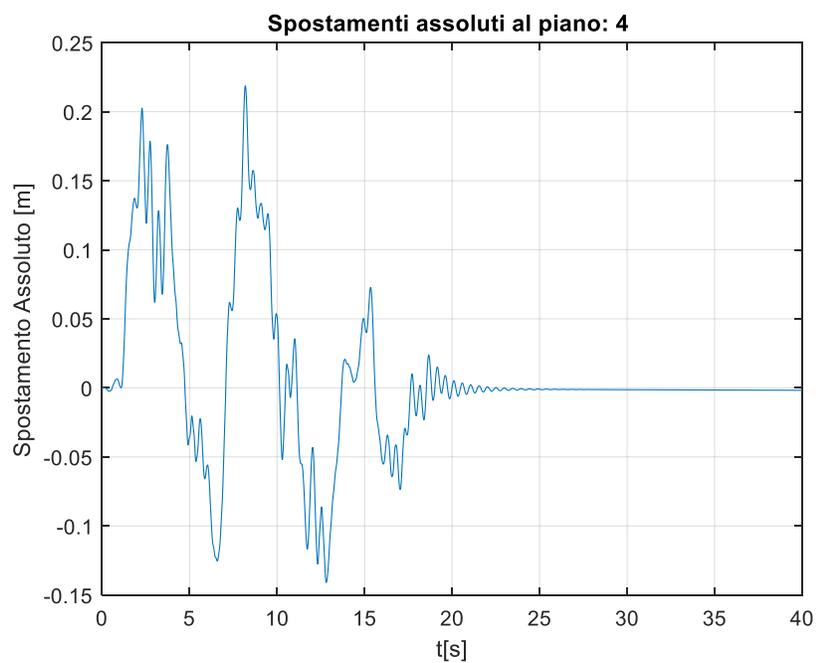
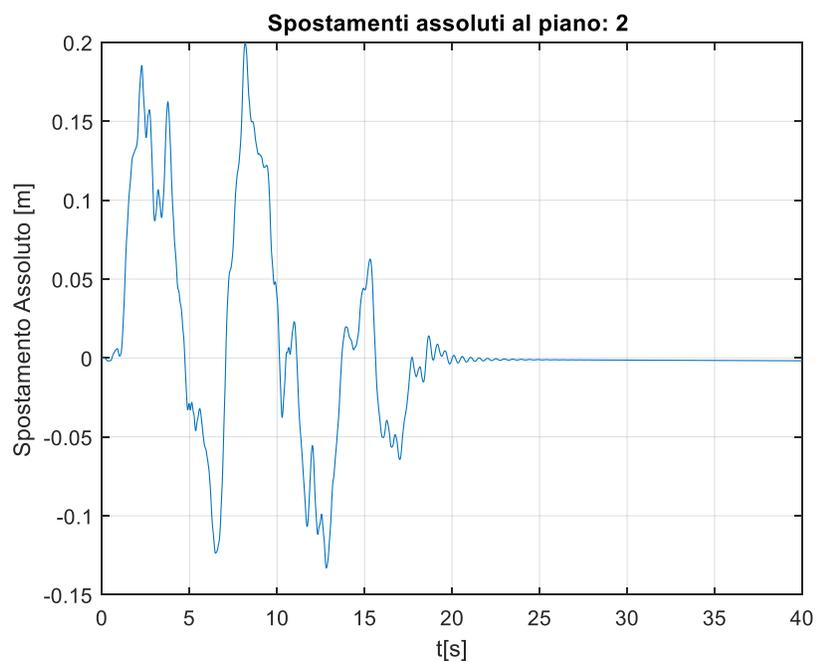
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



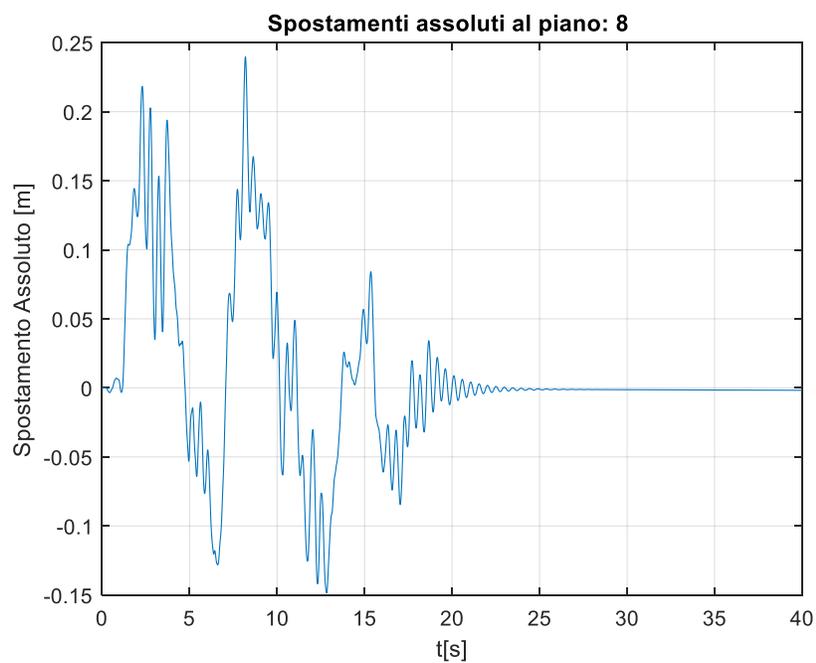
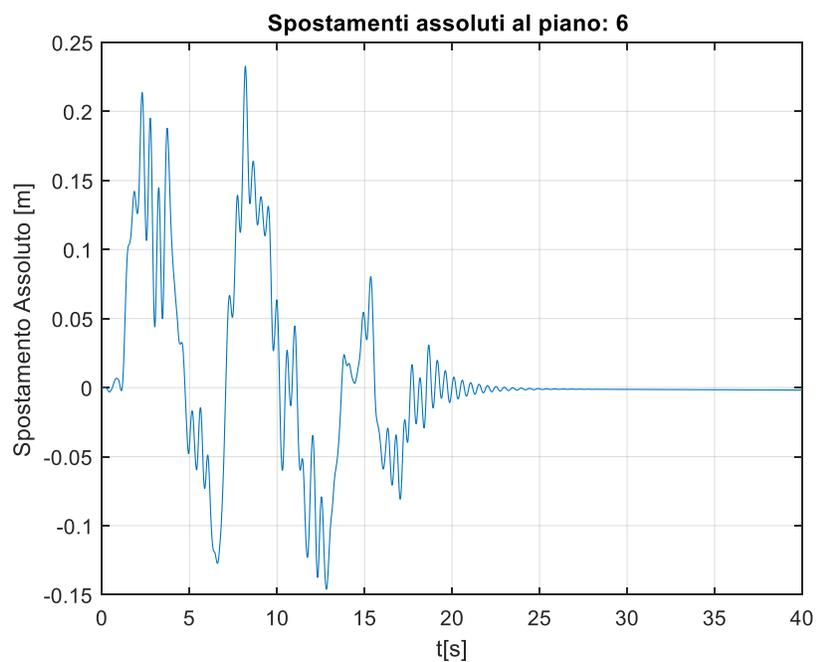
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 10$, PGA0.44g, SUOLO B, T2.



FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

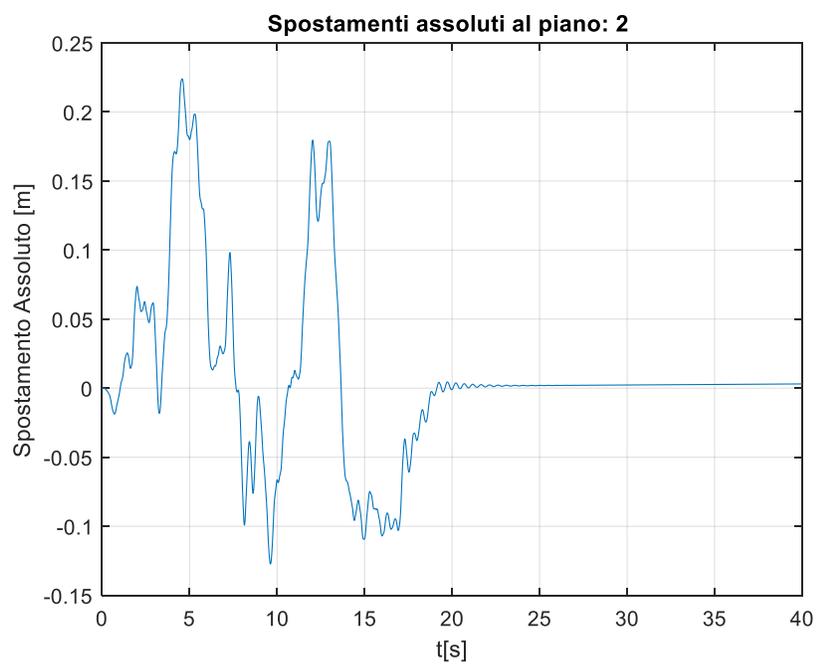
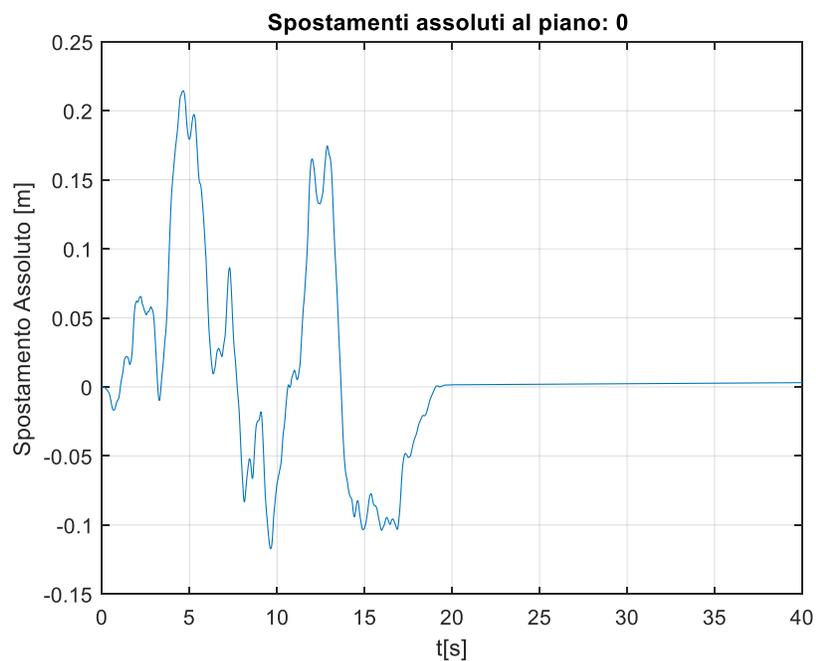


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

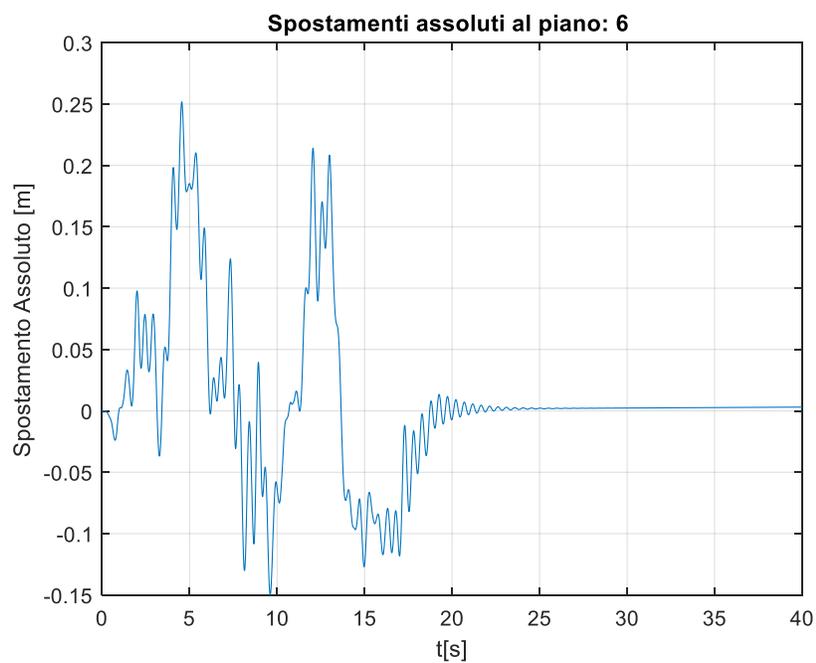
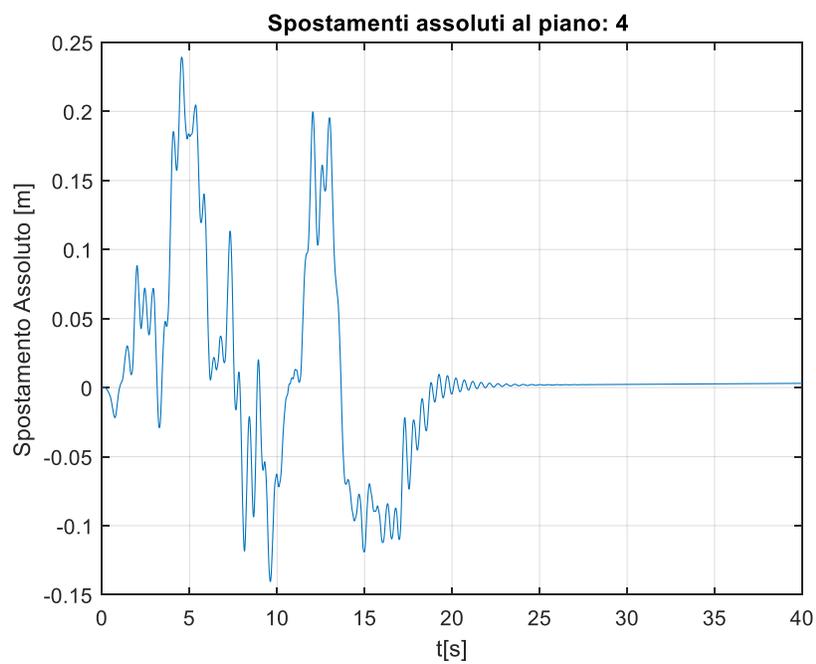


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

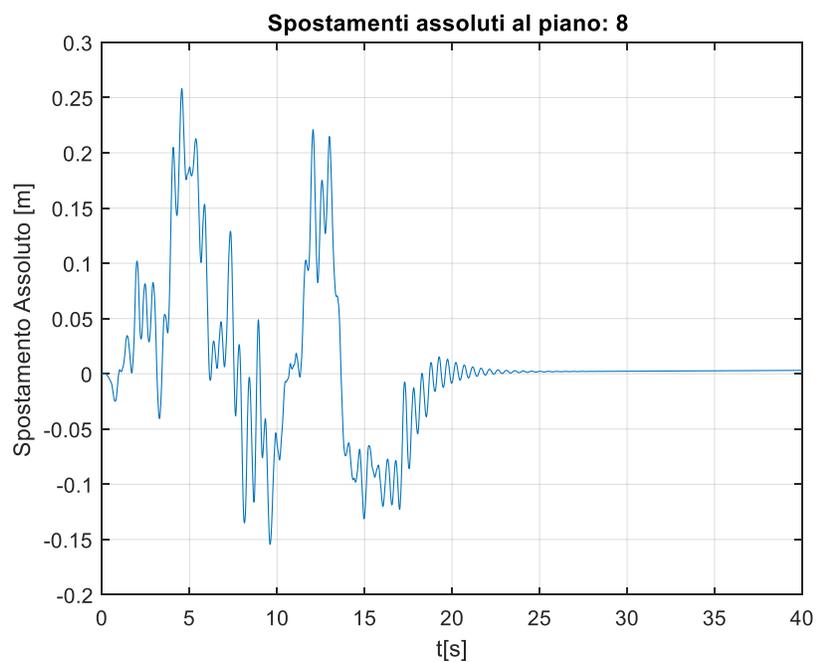
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 10$, PGA0.44g, SUOLO B, T3.



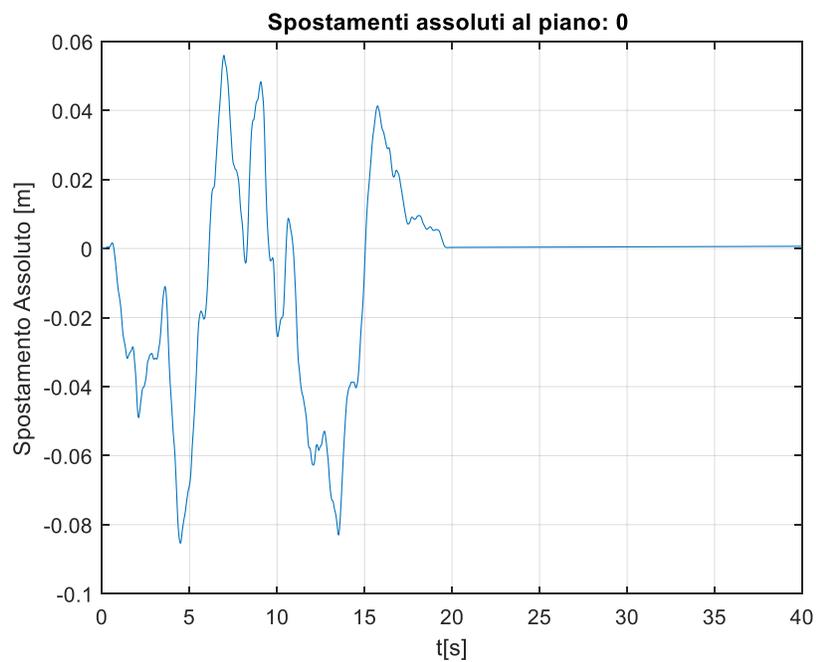
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



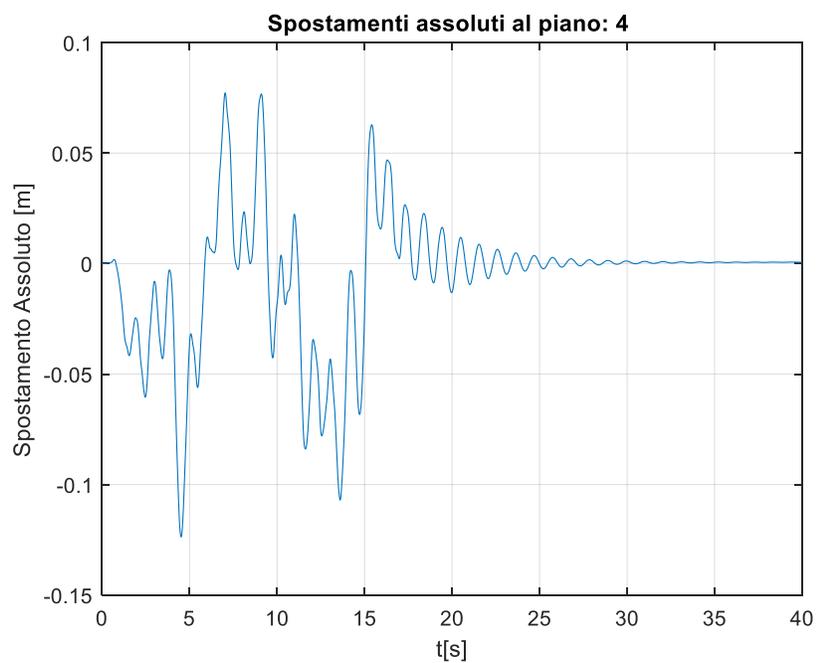
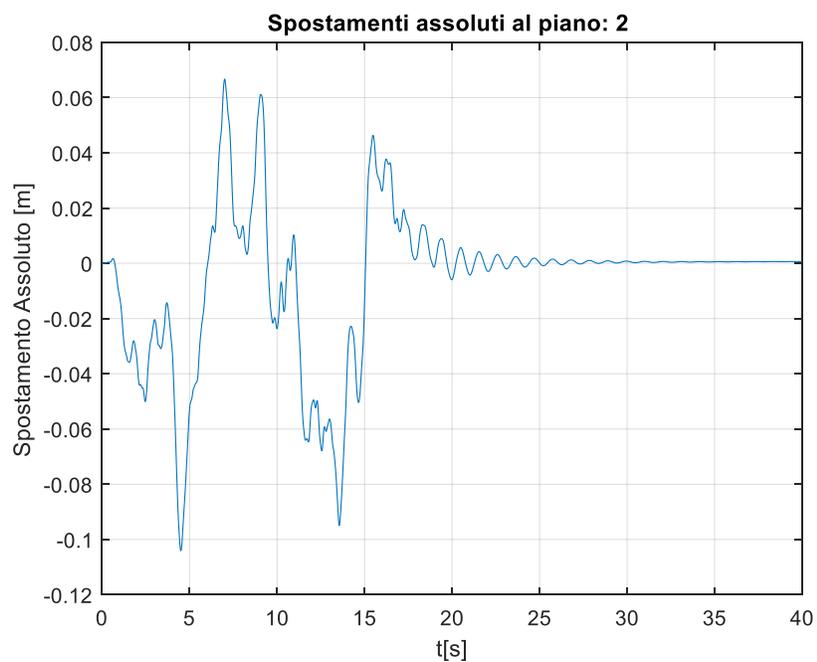
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



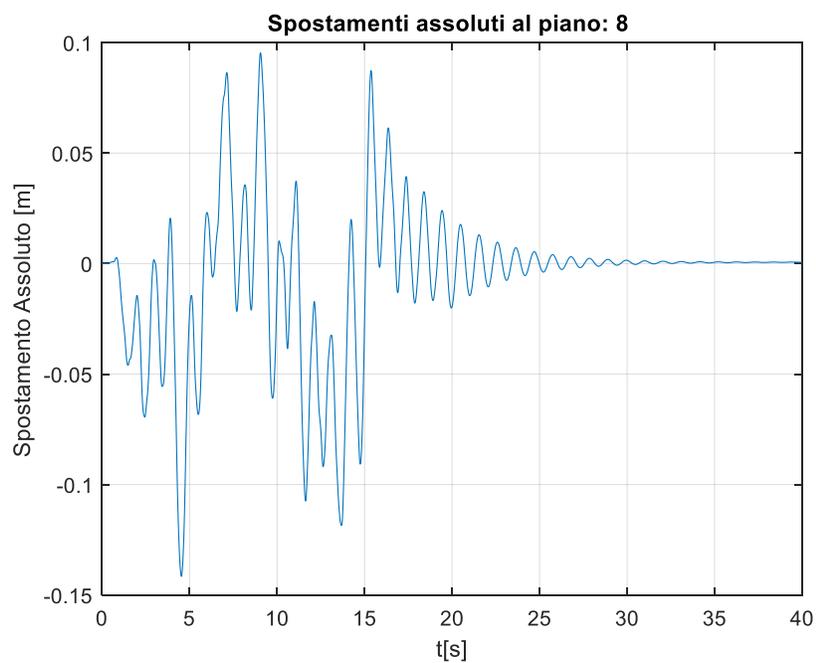
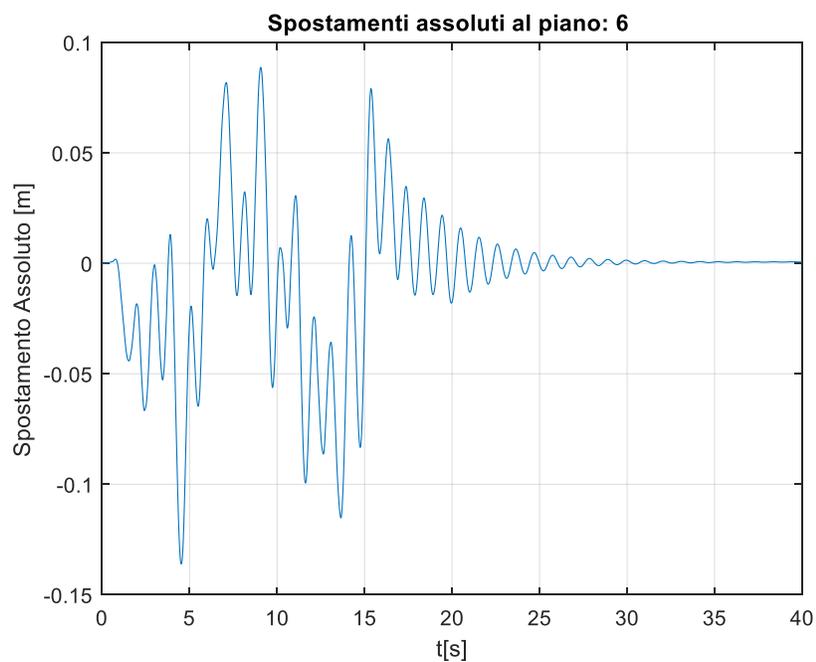
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 15$, PGA0.19g, SUOLO B, T1.



FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

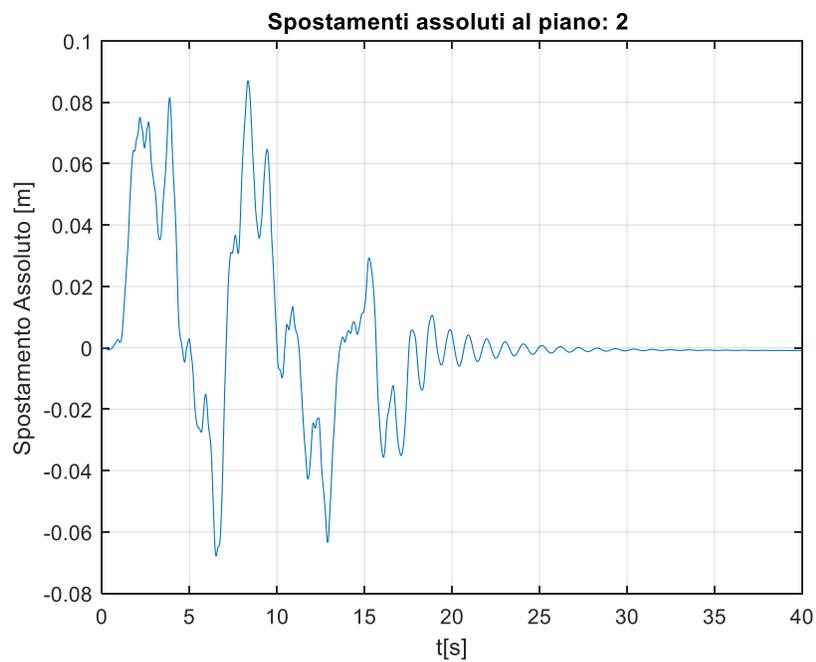
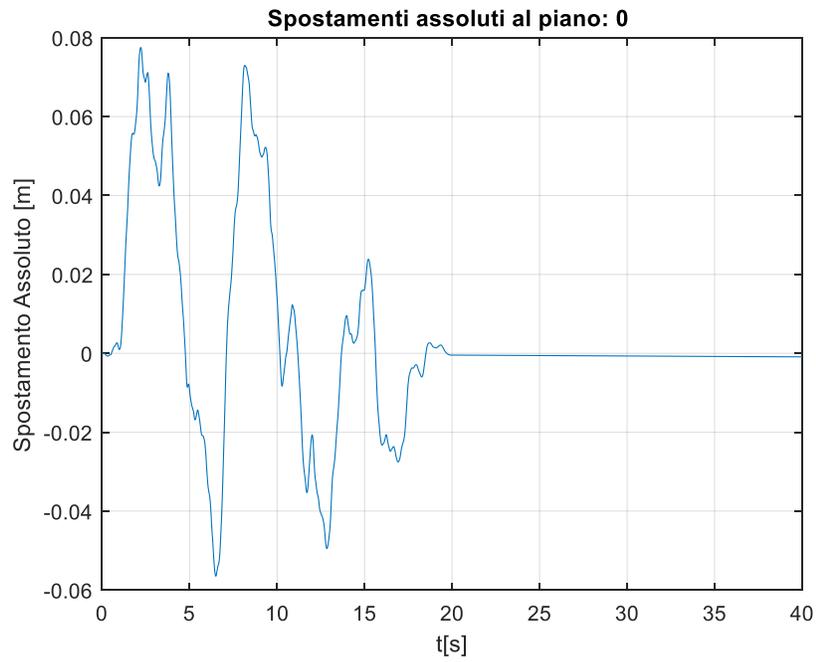


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

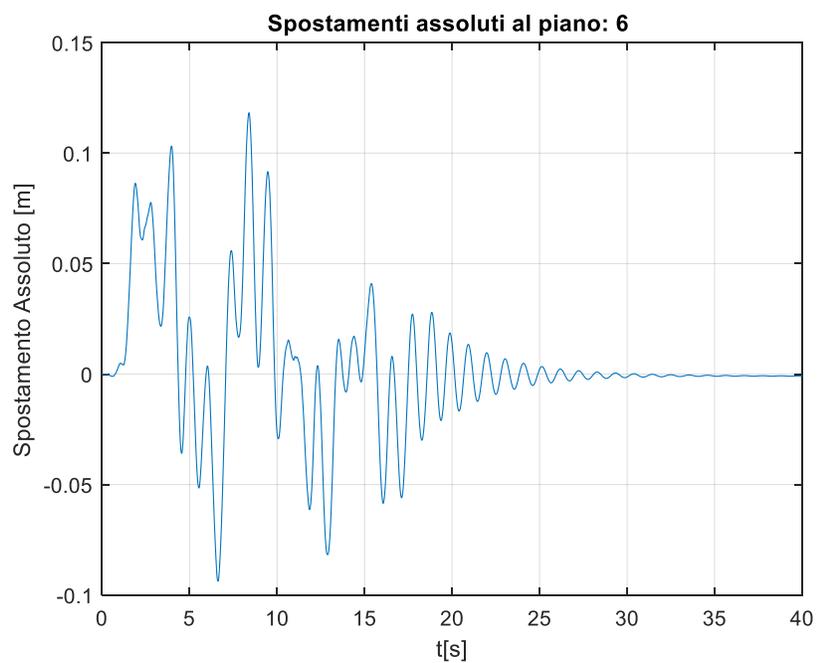
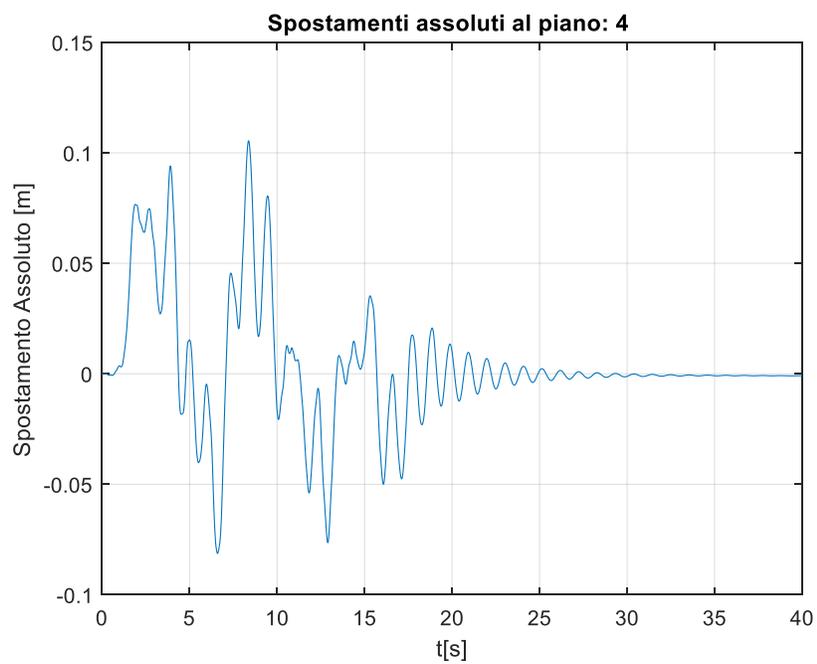


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

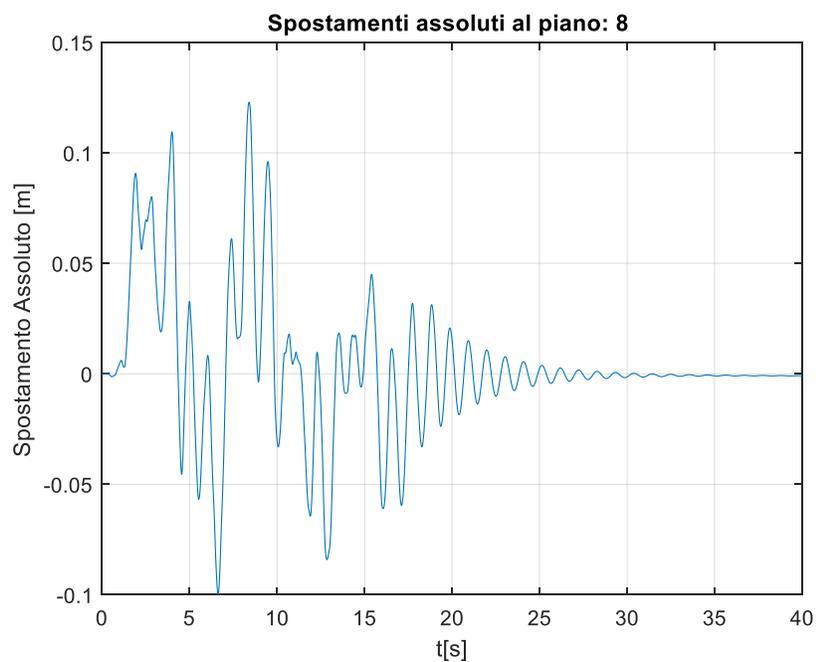
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 15$, PGA0.19g, SUOLO B, T2.



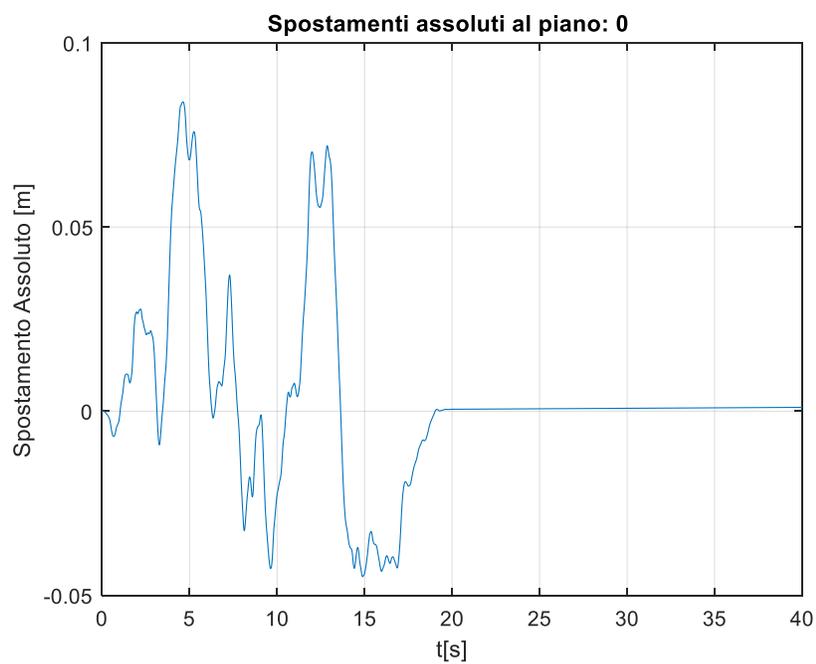
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



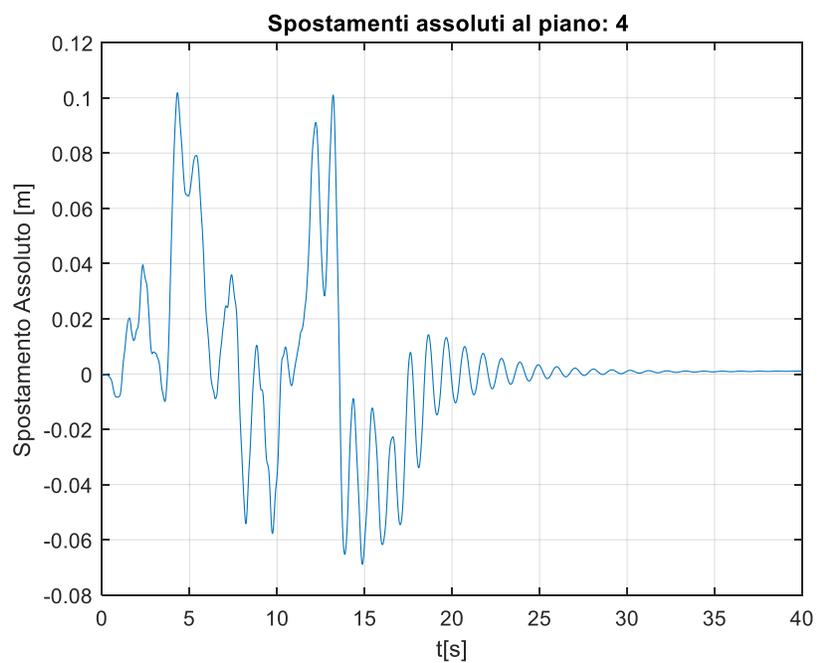
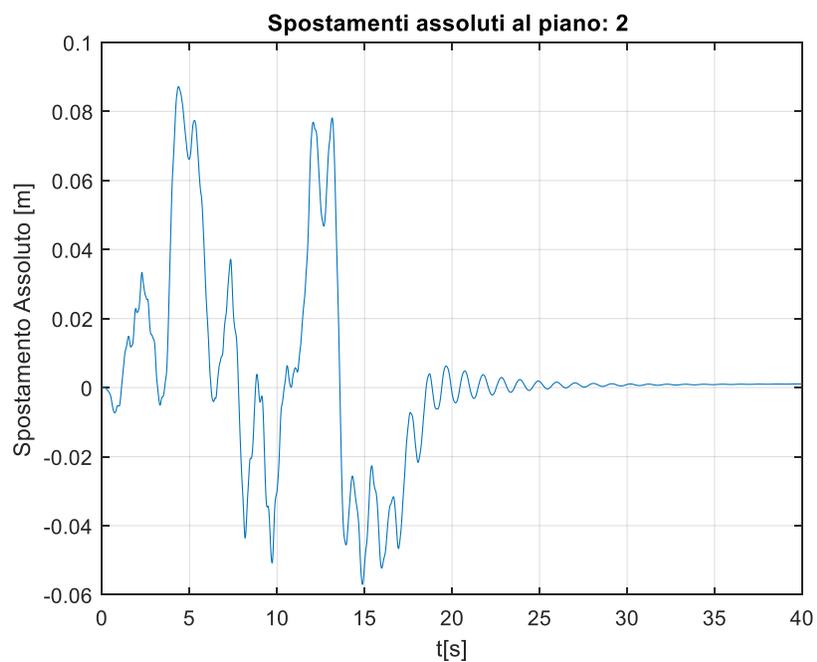
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



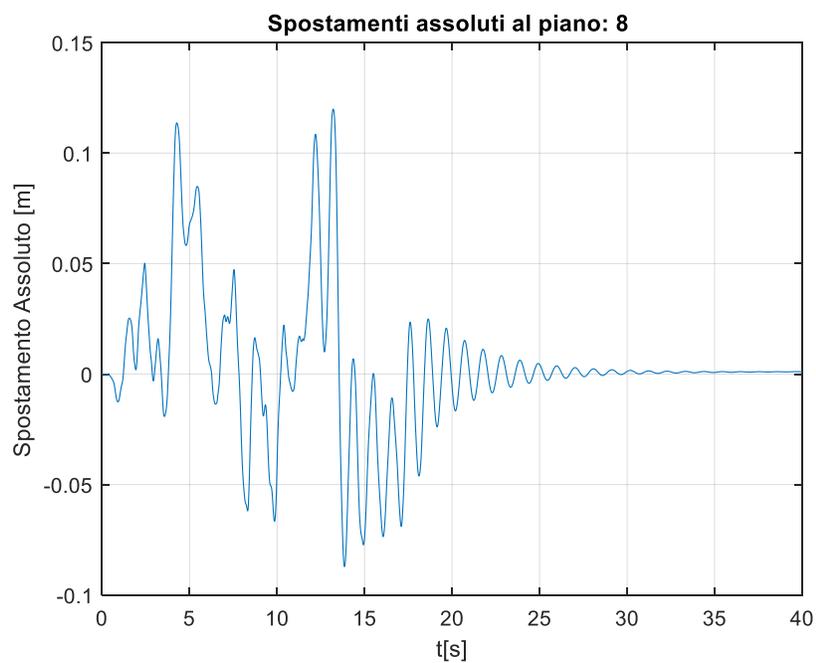
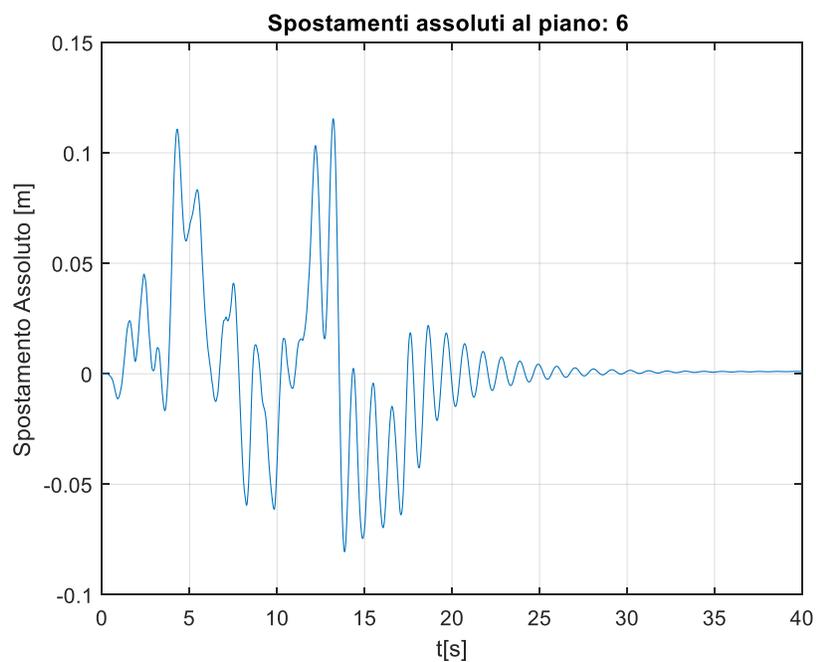
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 15$, PGA0.19g, SUOLO B, T3.



FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

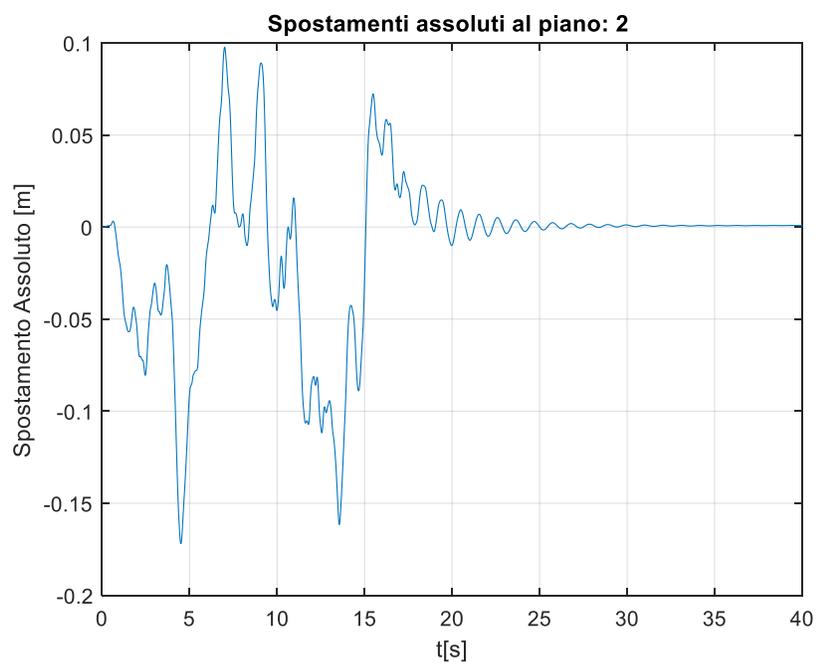
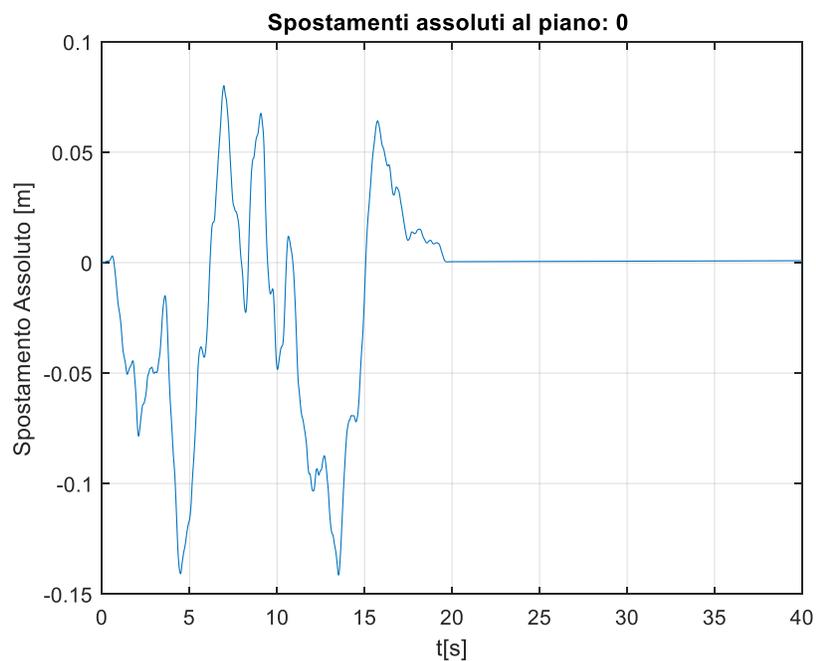


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

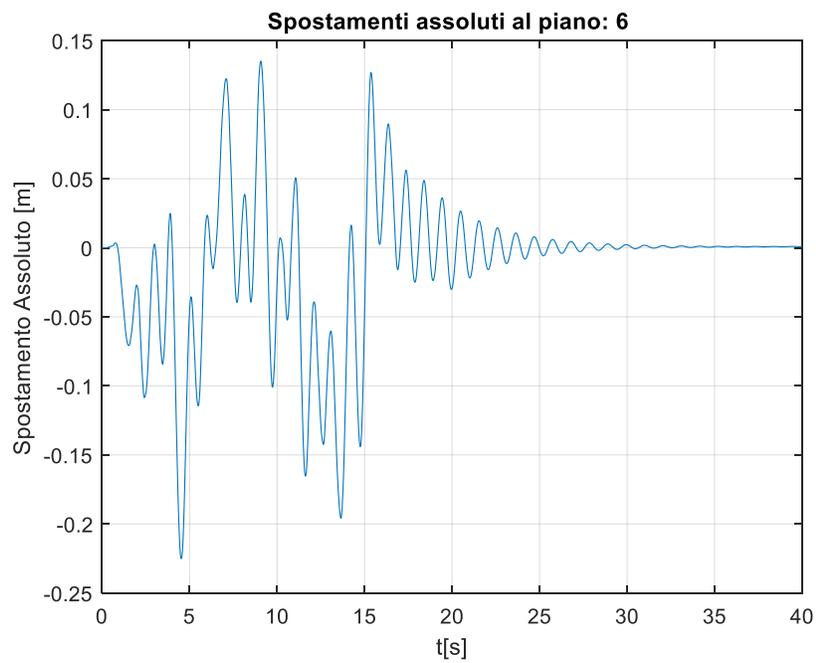
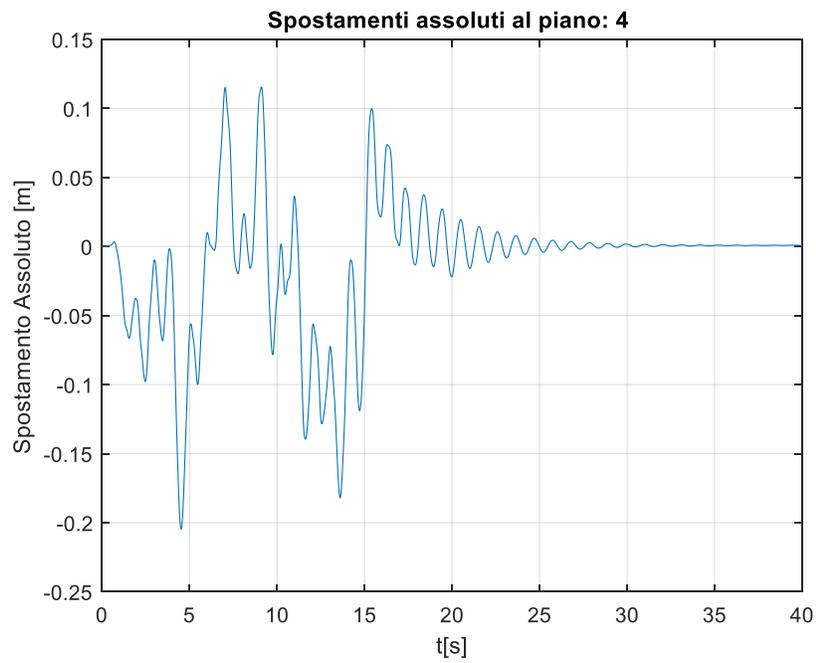


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

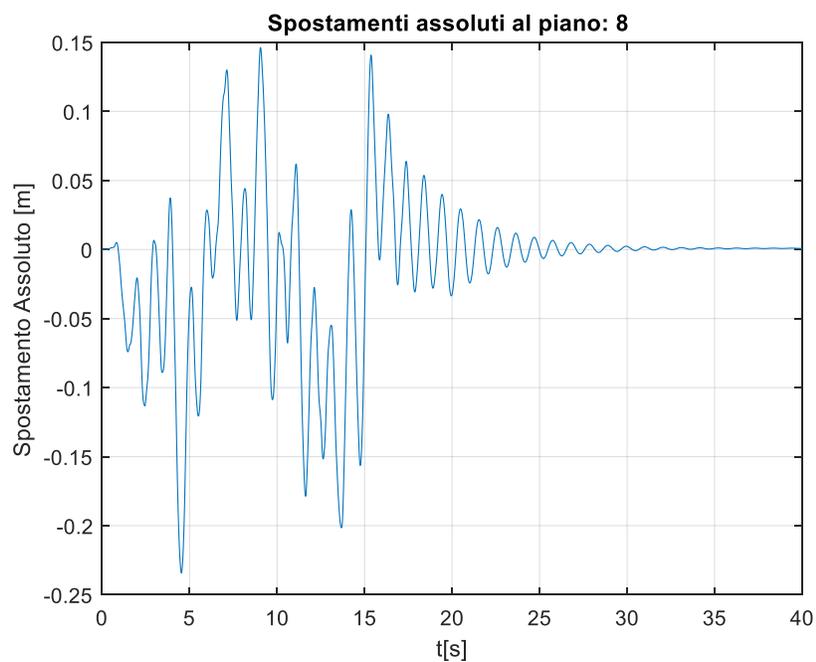
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 15$, PGA0.31g, SUOLO B, T1.



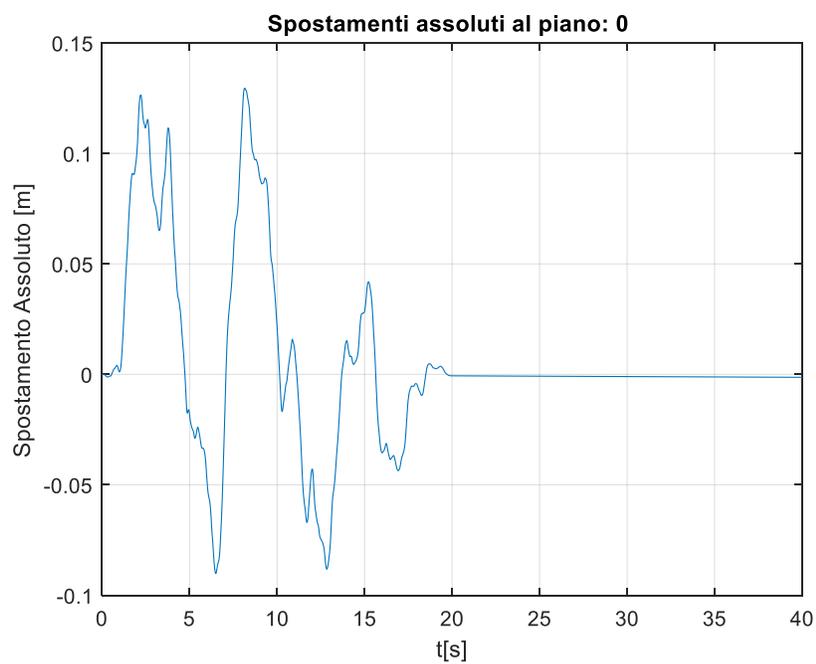
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



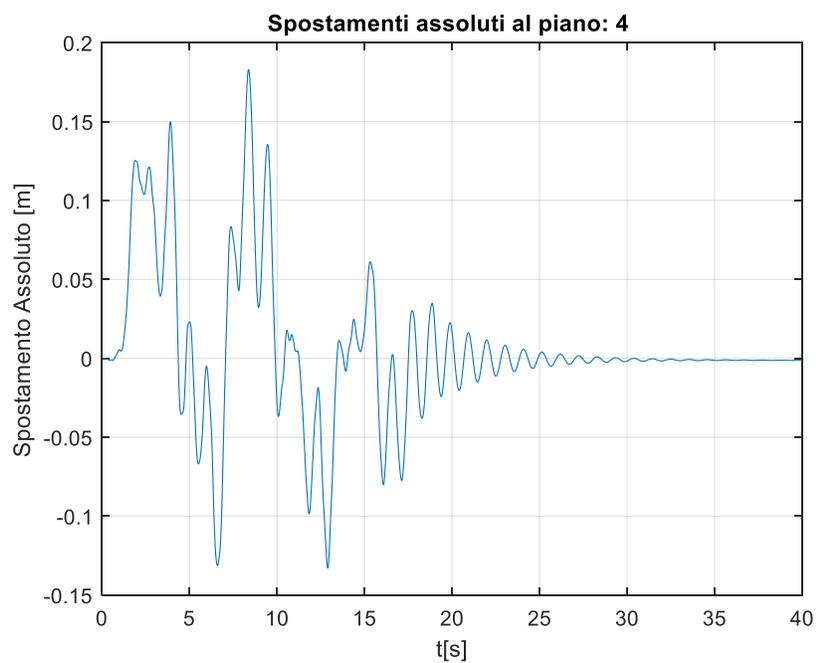
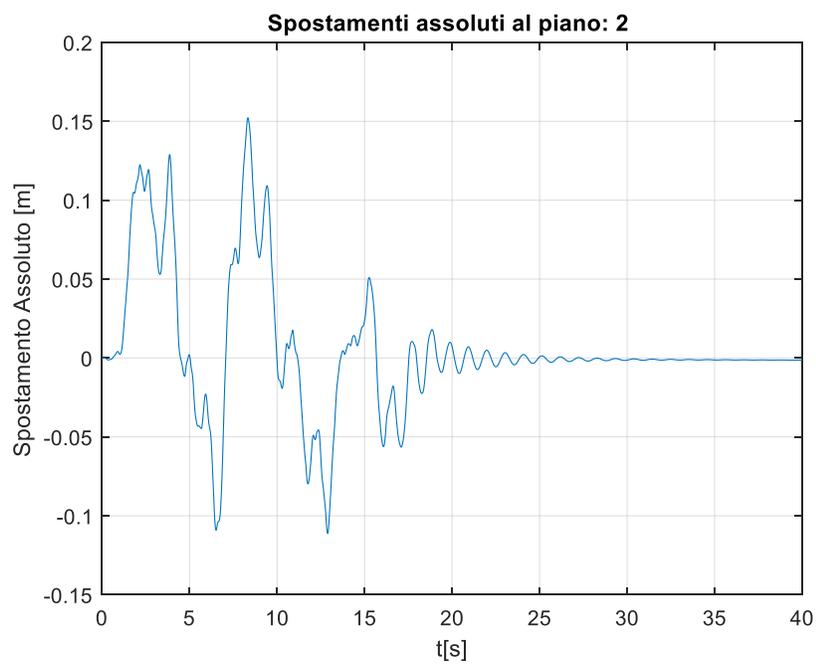
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



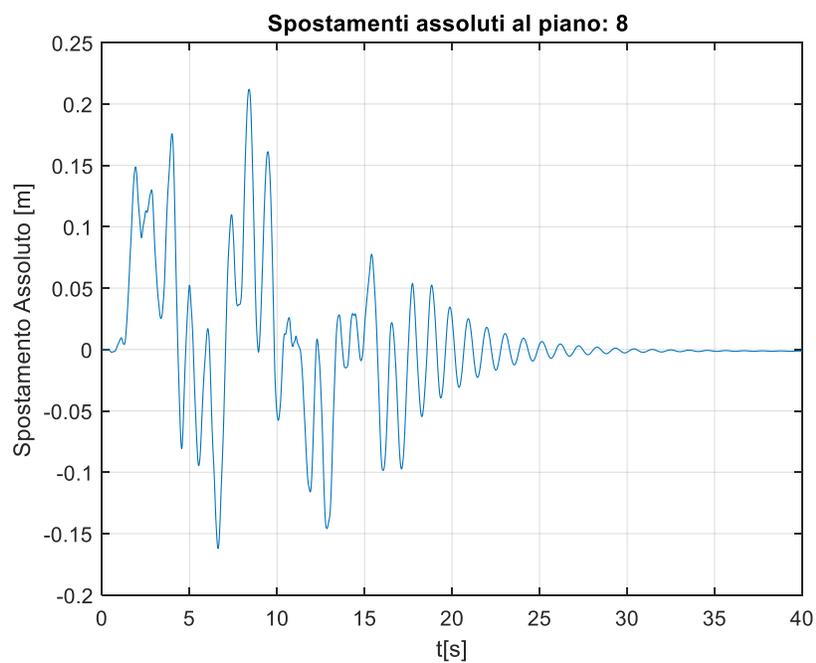
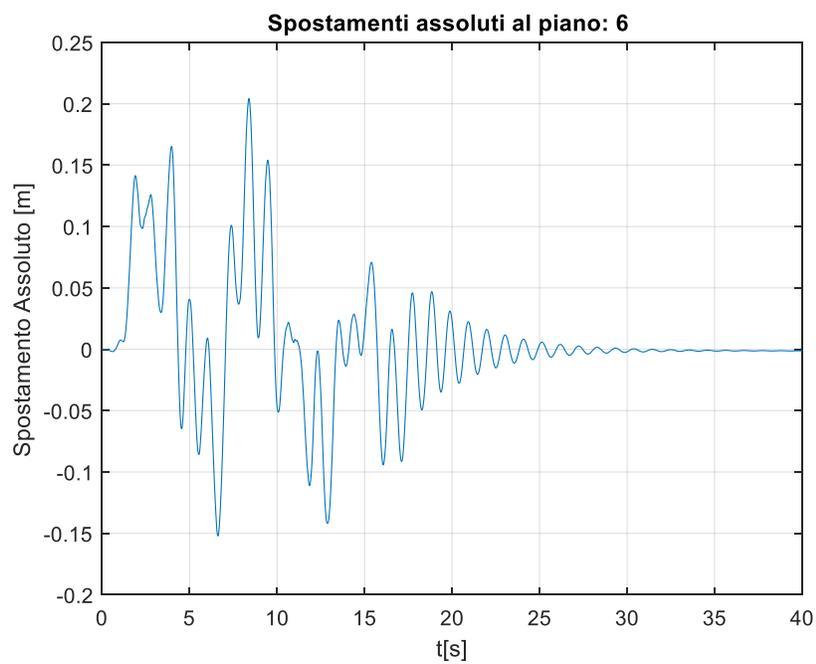
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 15$, PGA0.31g, SUOLO B, T2.



FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

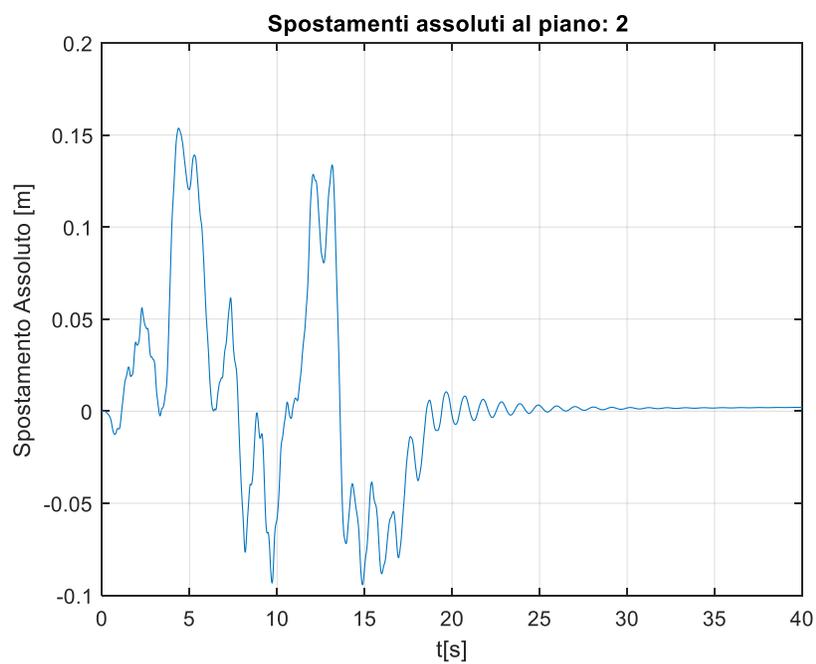
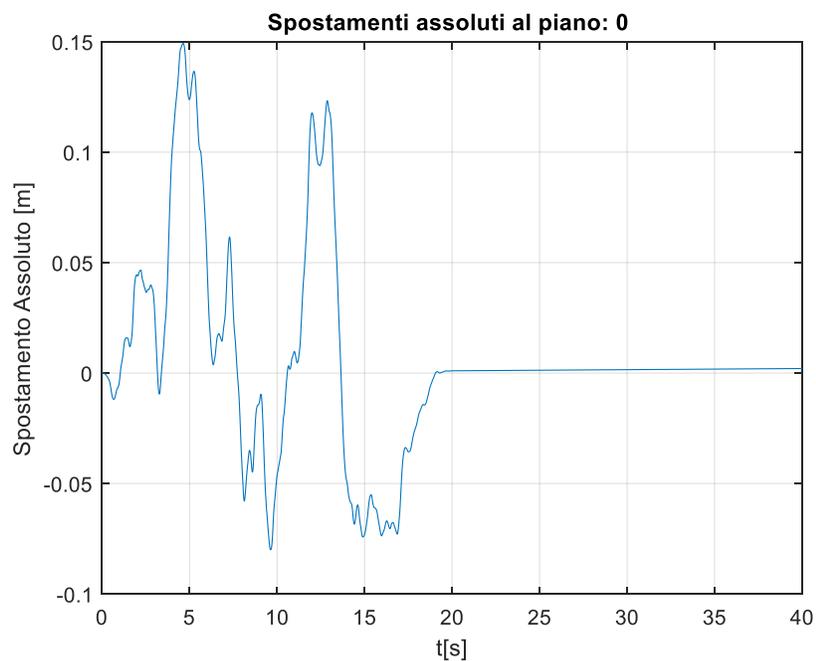


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

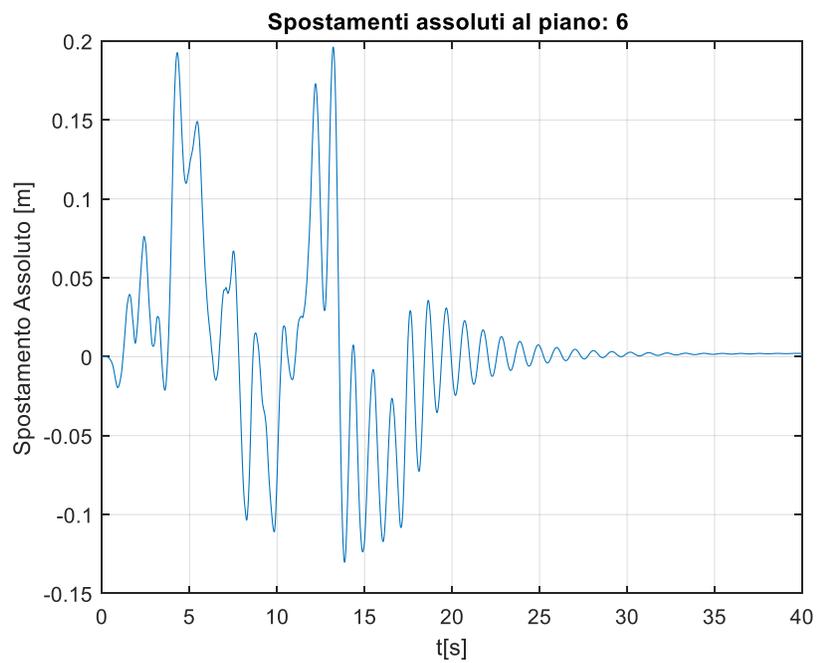
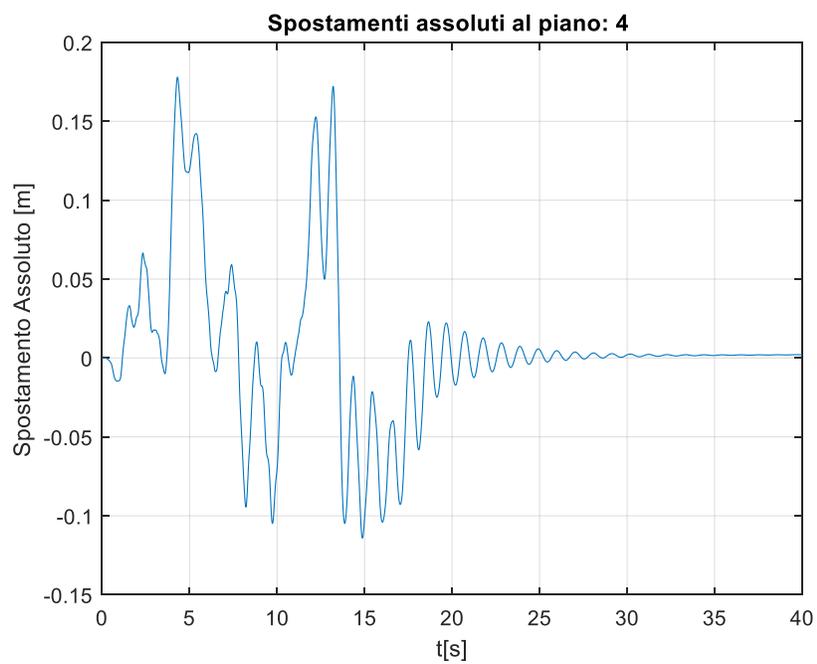


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

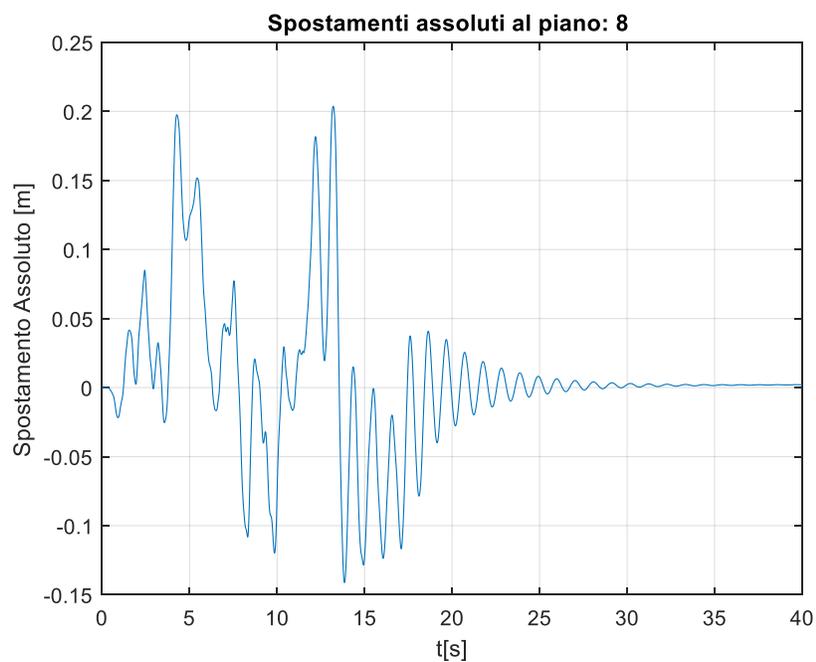
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 15$, PGA0.31g, SUOLO B, T3.



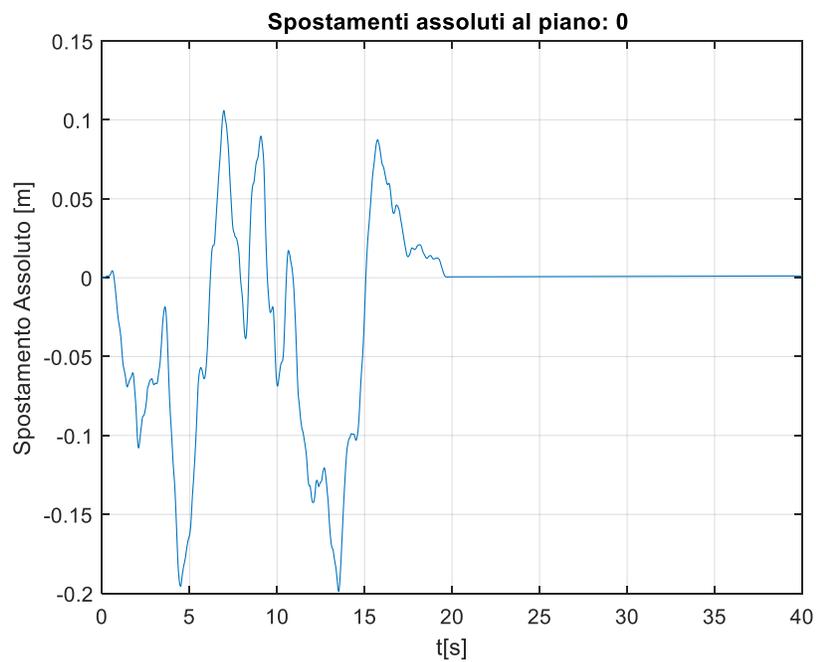
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



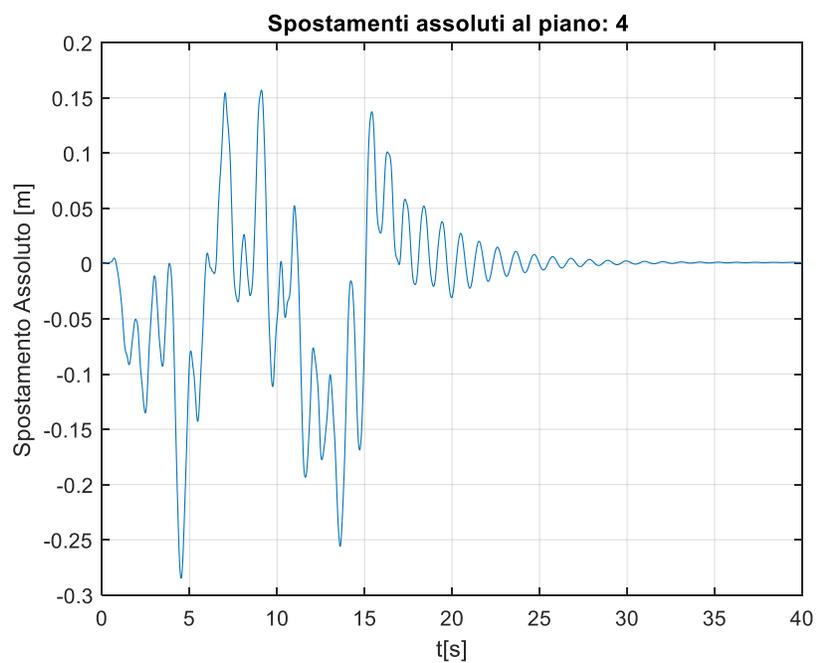
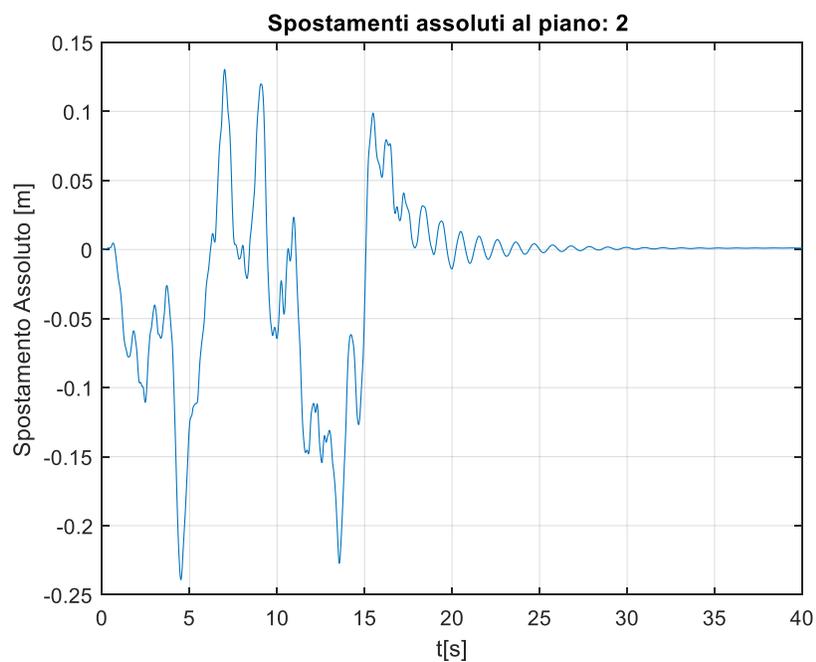
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



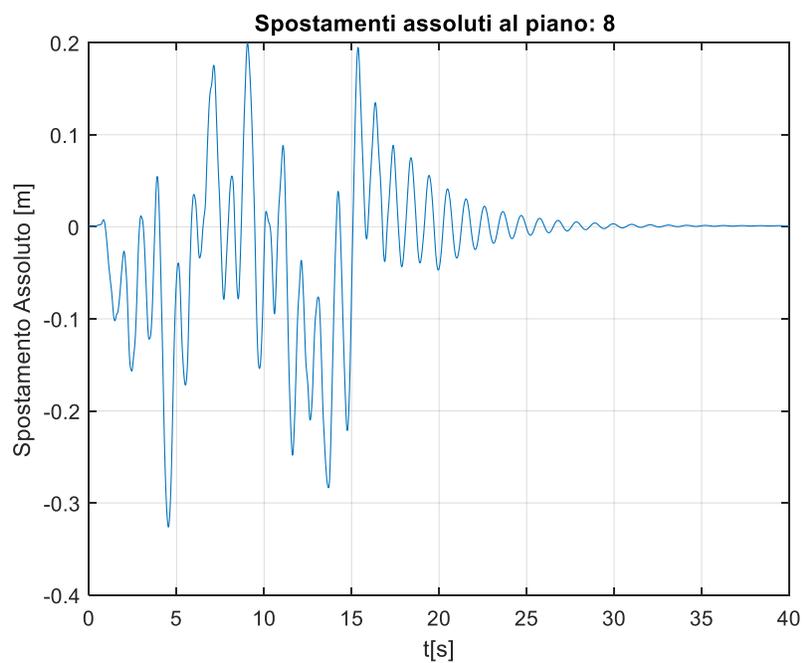
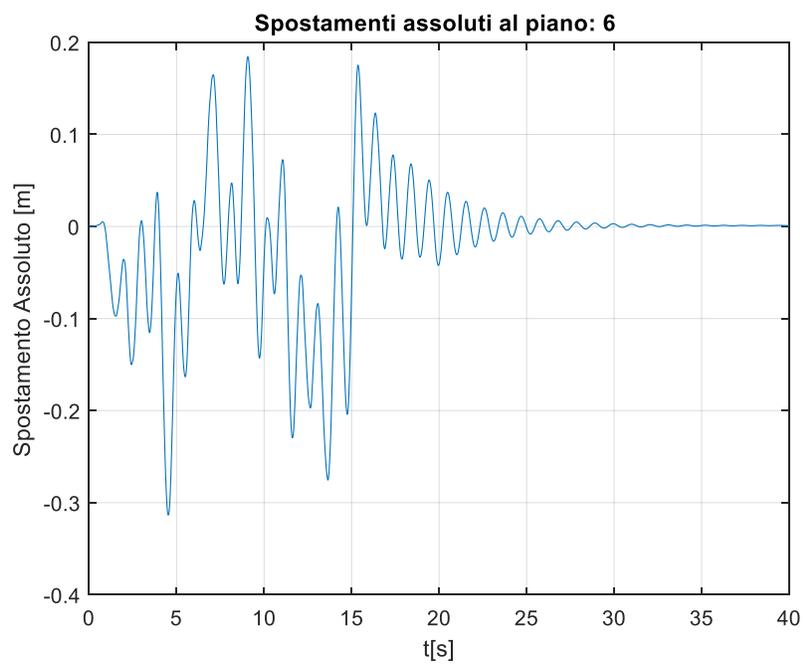
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 15$, PGA0.44g, SUOLO B, T1.



FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

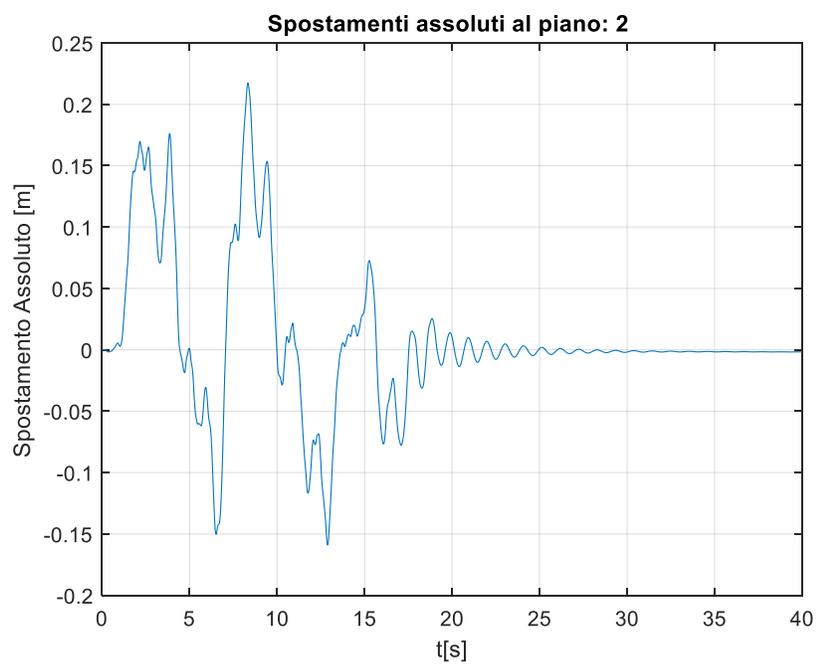
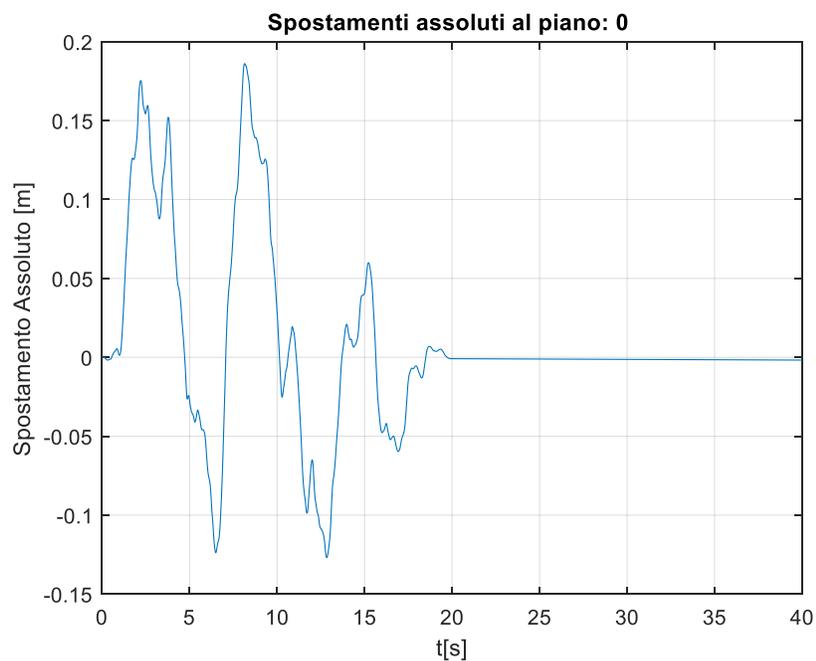


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

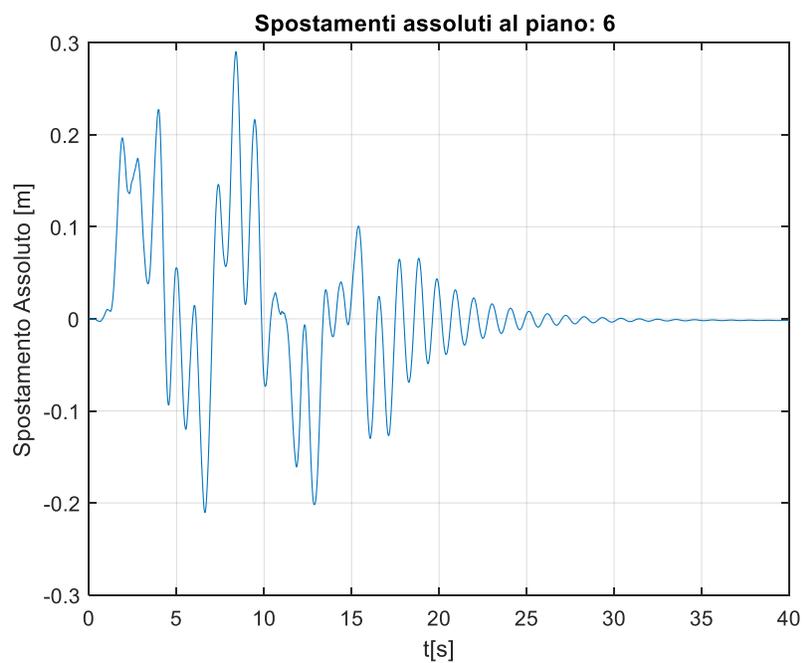
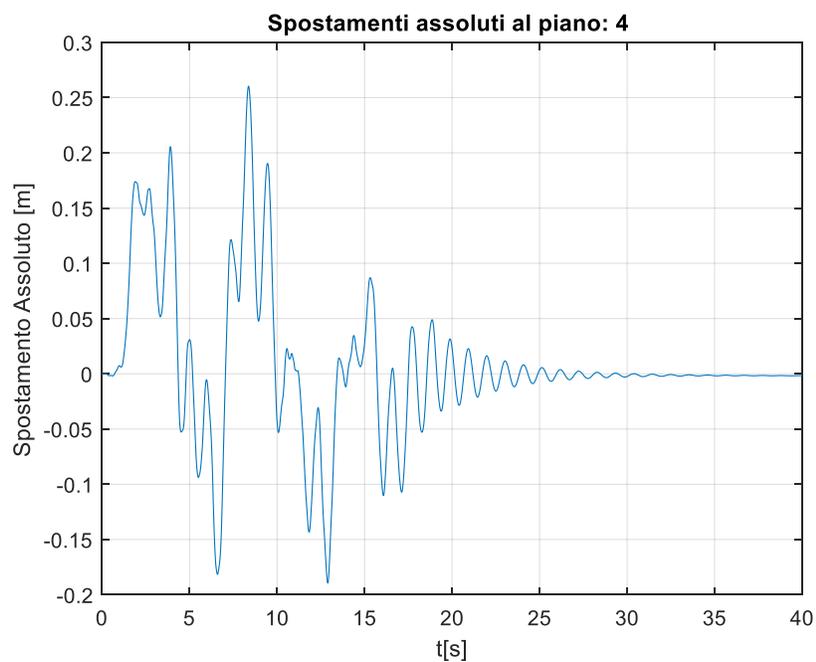


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

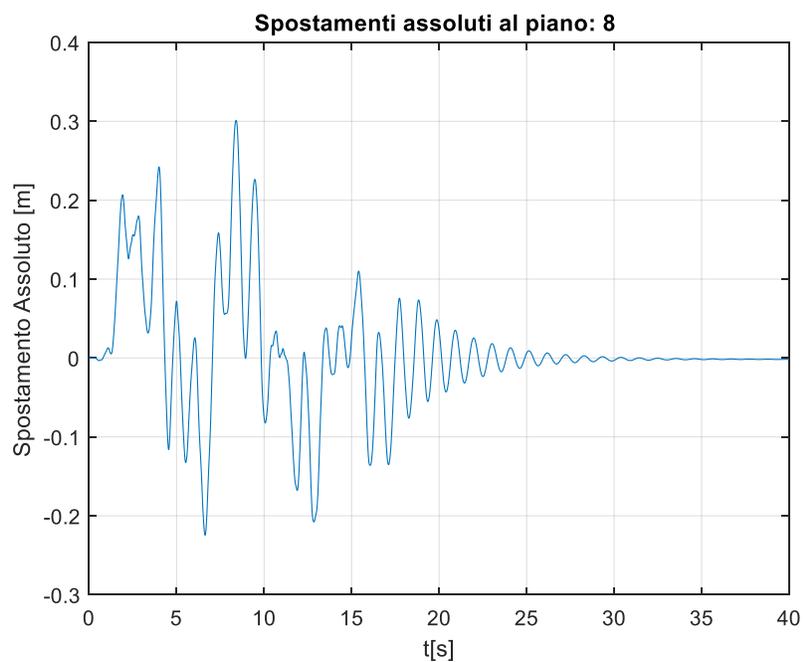
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 15$, PGA0.44g, SUOLO B, T2.



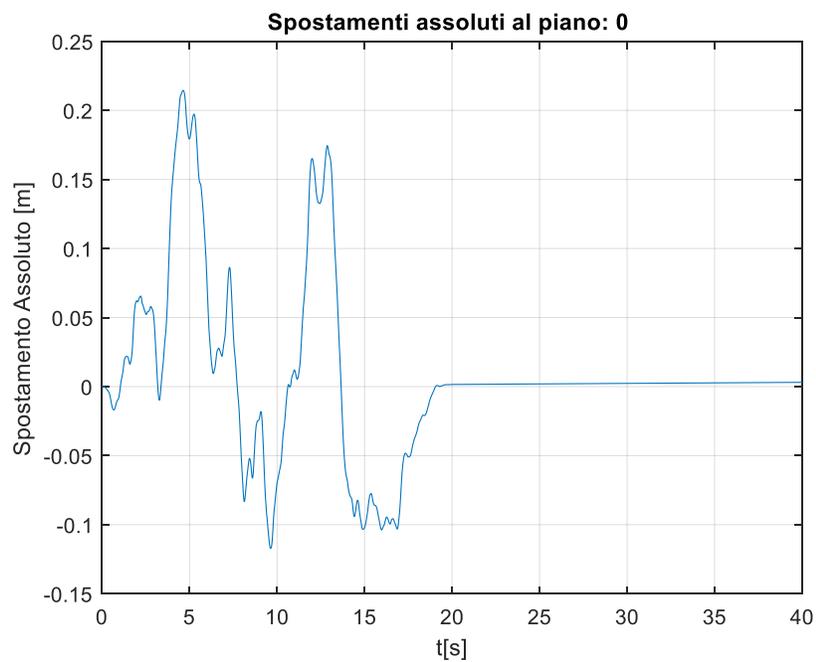
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



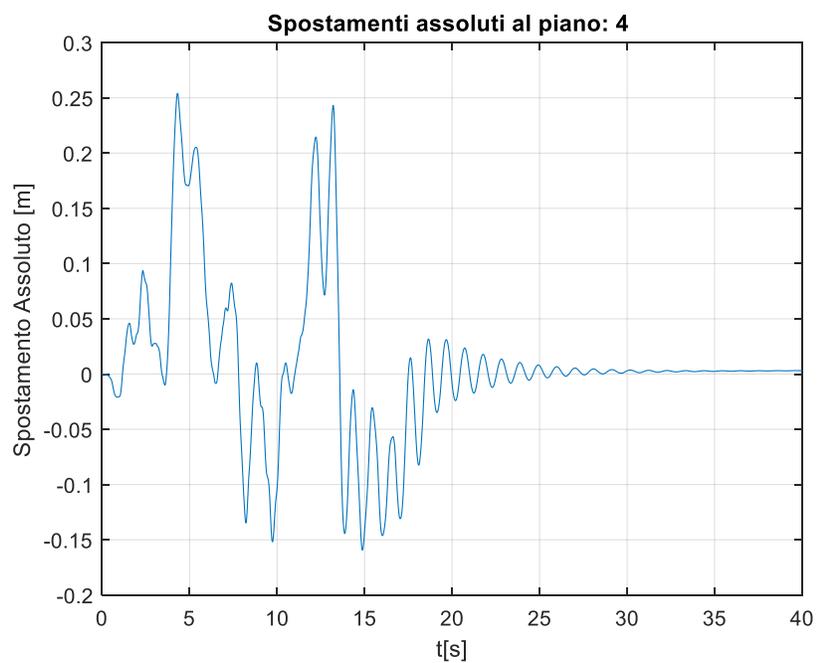
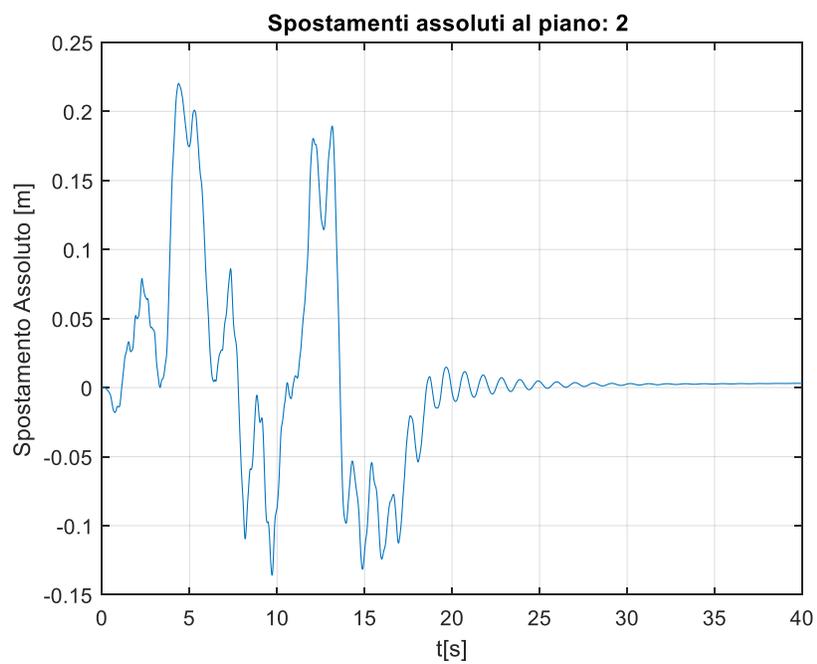
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



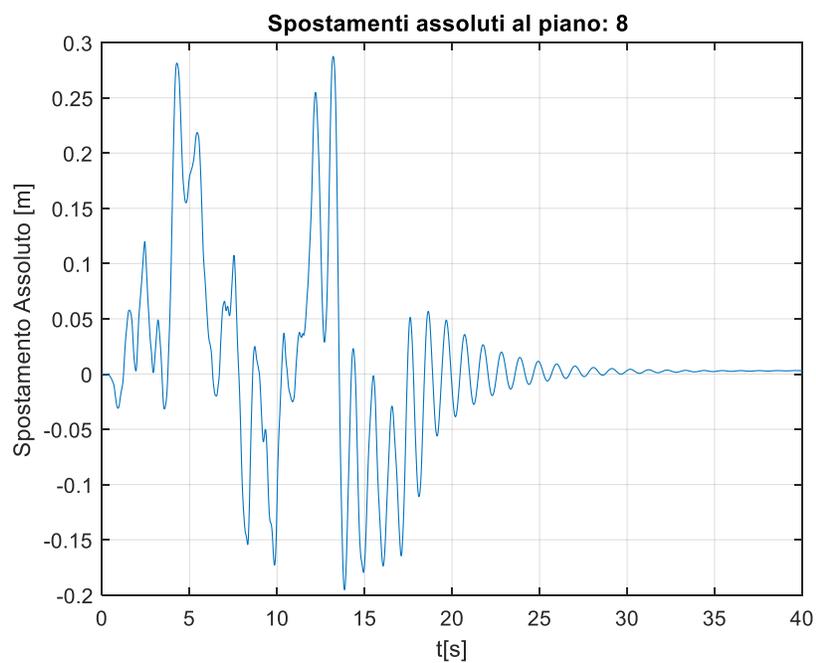
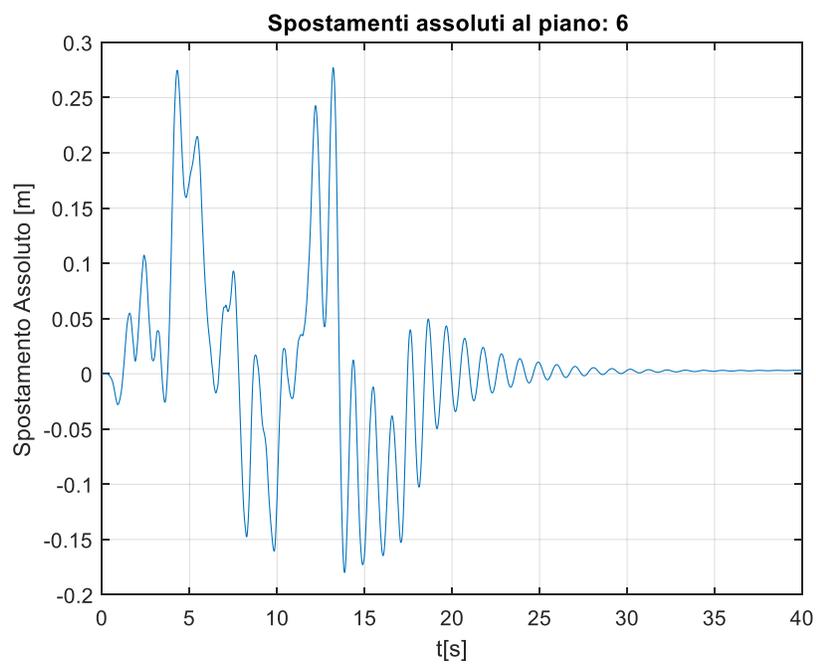
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI SPOSTAMENTO ASSOLUTO AI PIANI: 0,2,4,6,8, PER UN EDIFICIO $\alpha_0 = 15$, PGA0.44g, SUOLO B, T3.



FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

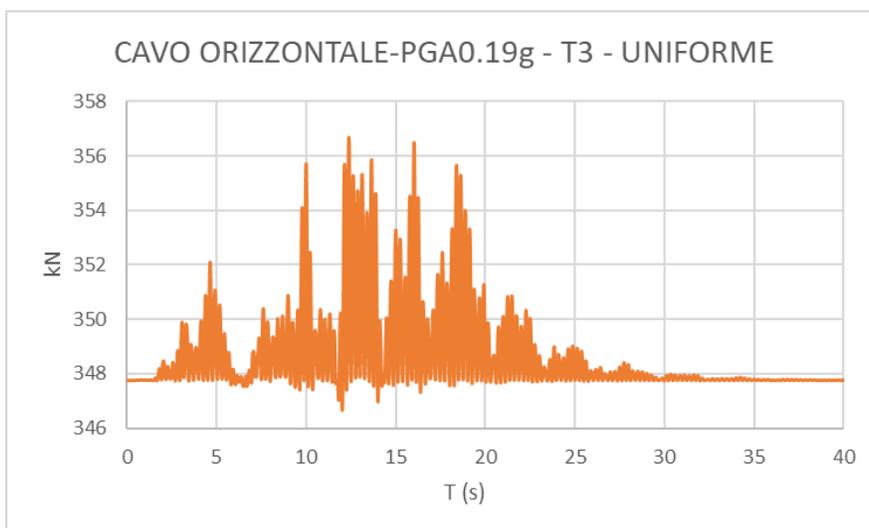
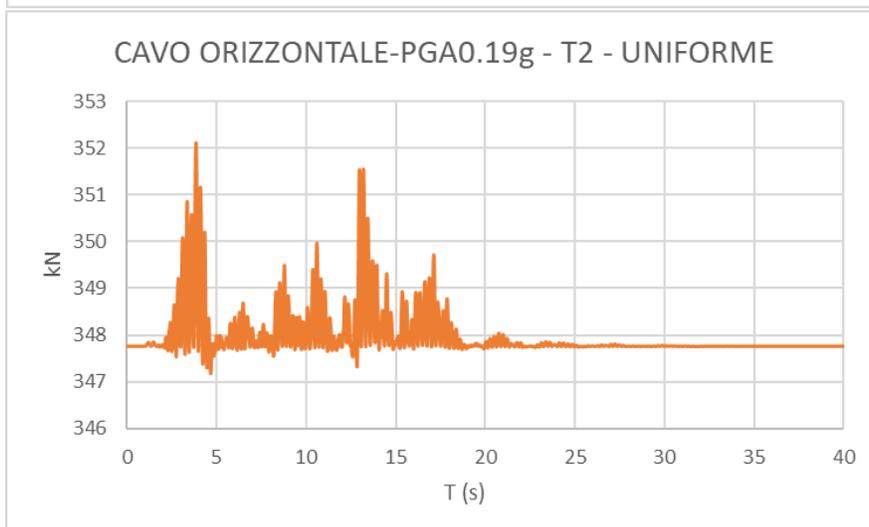
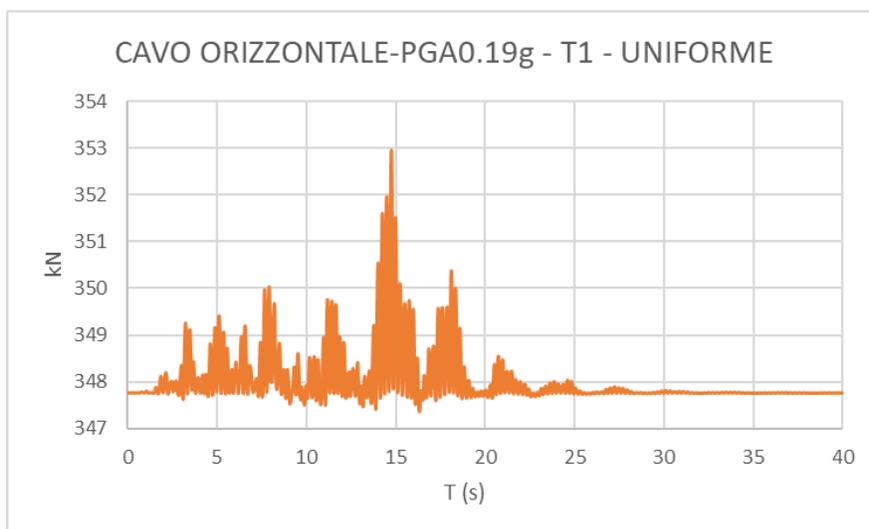


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

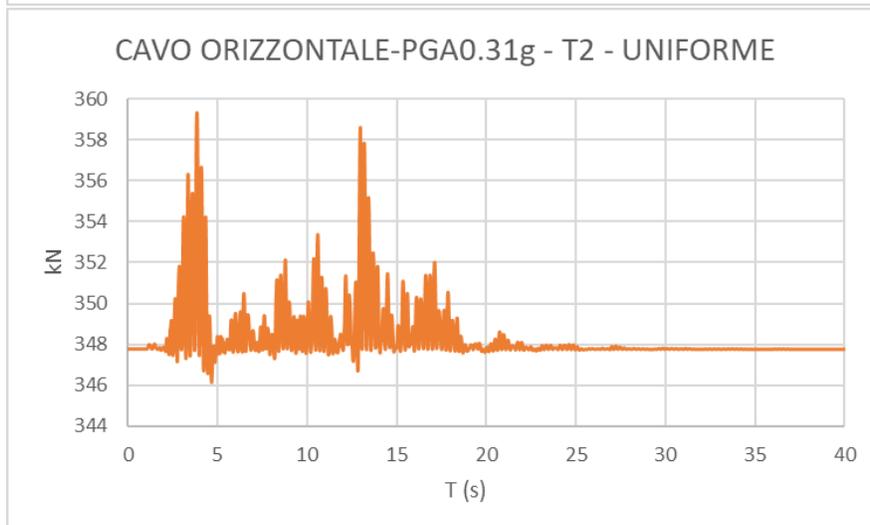
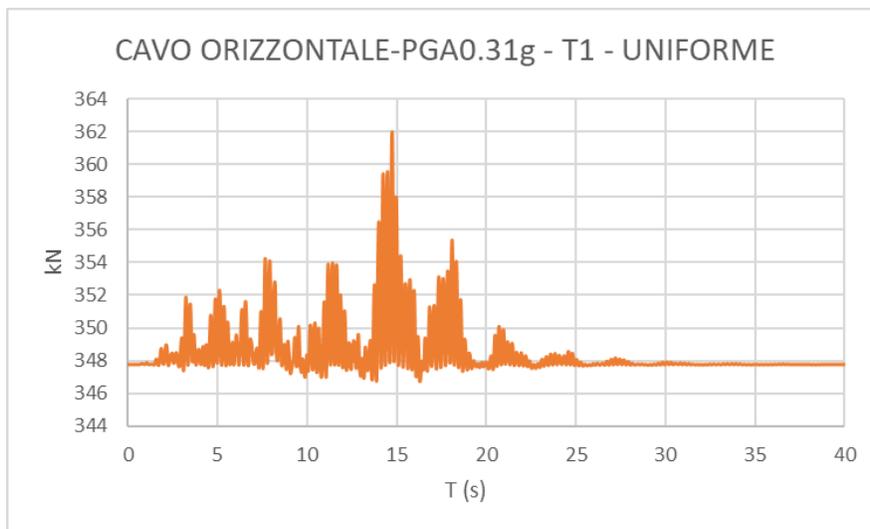


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

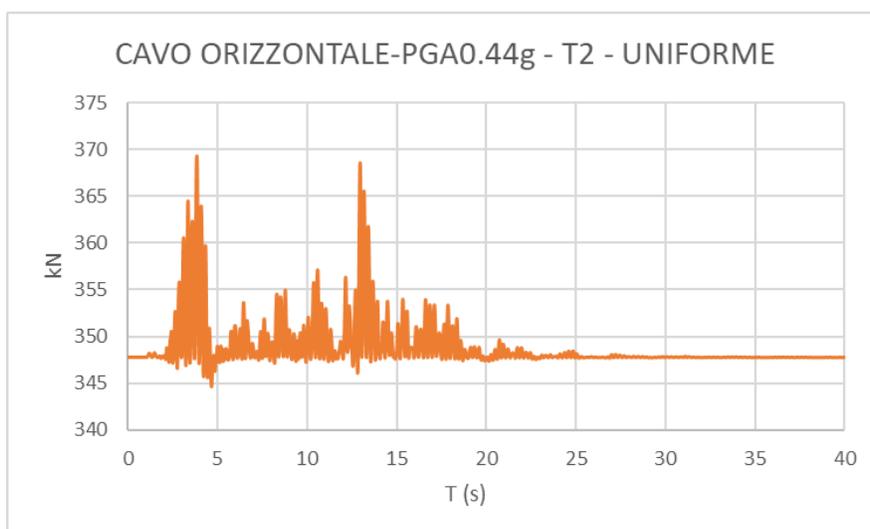
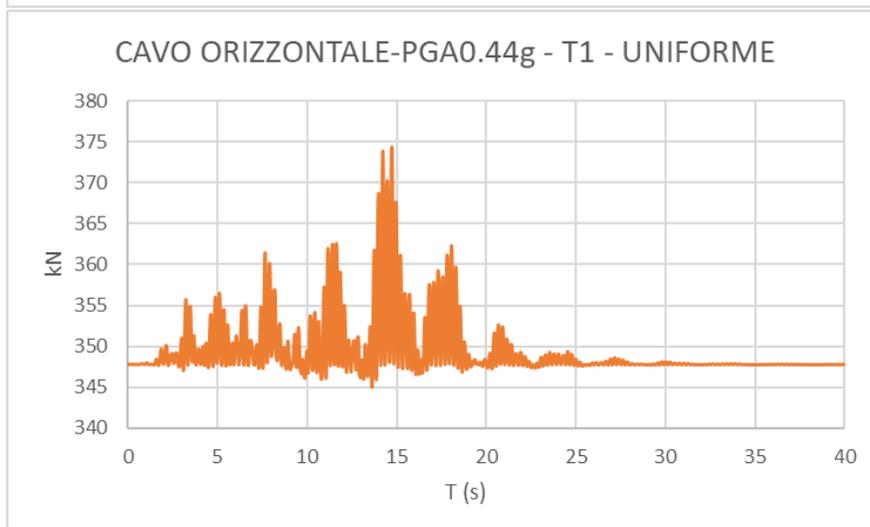
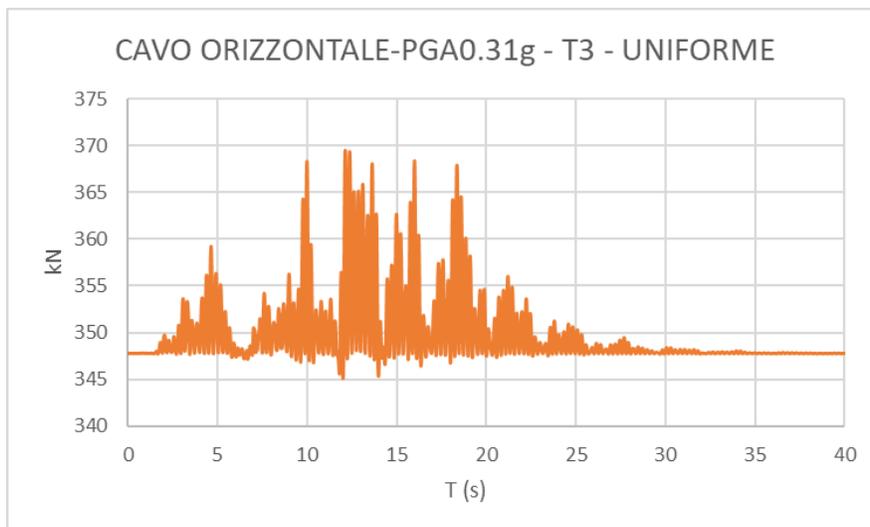
STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI FORZA ASSIALE DEL CAVO ORIZZONTALE PER LE SEGUENTI ANALISI: UNIFORME, $\alpha_0 = 2$, $\alpha_0 = 10$ ED $\alpha_0 = 15$.



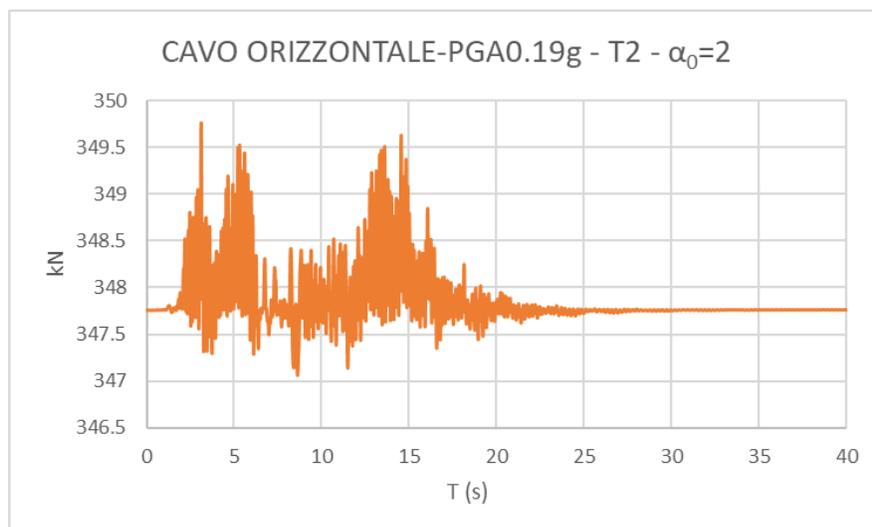
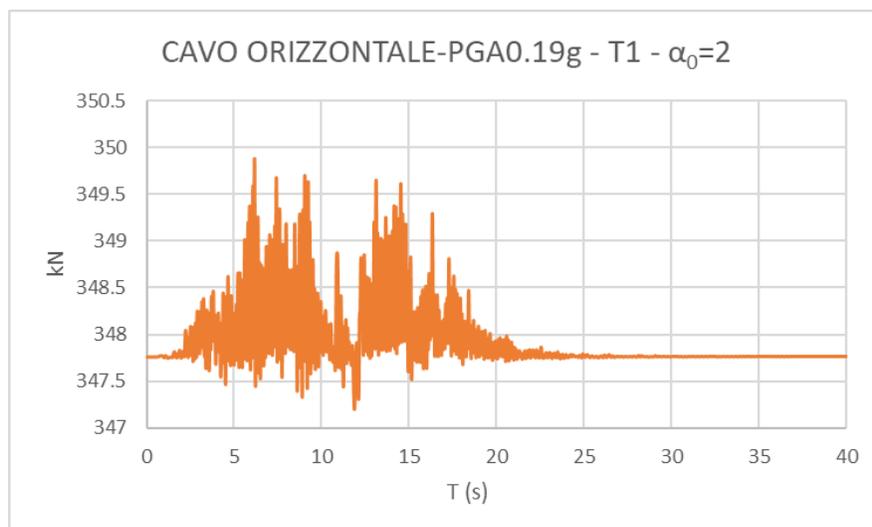
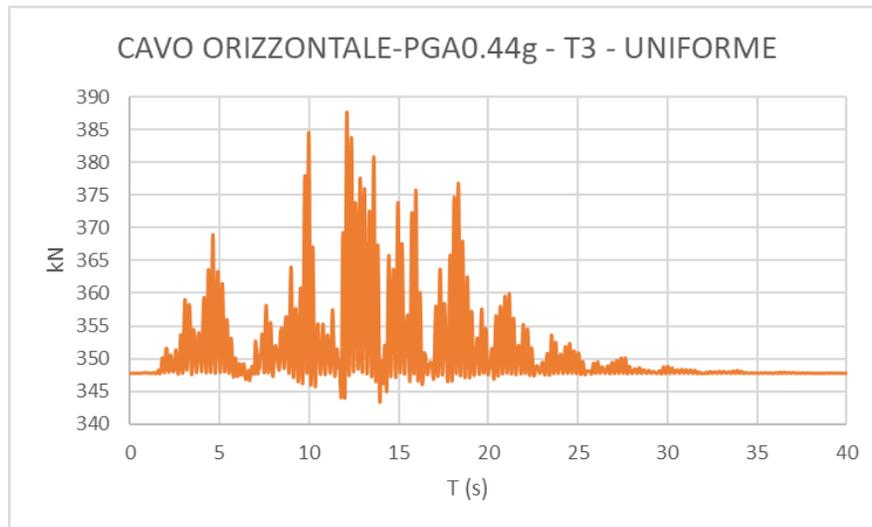
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



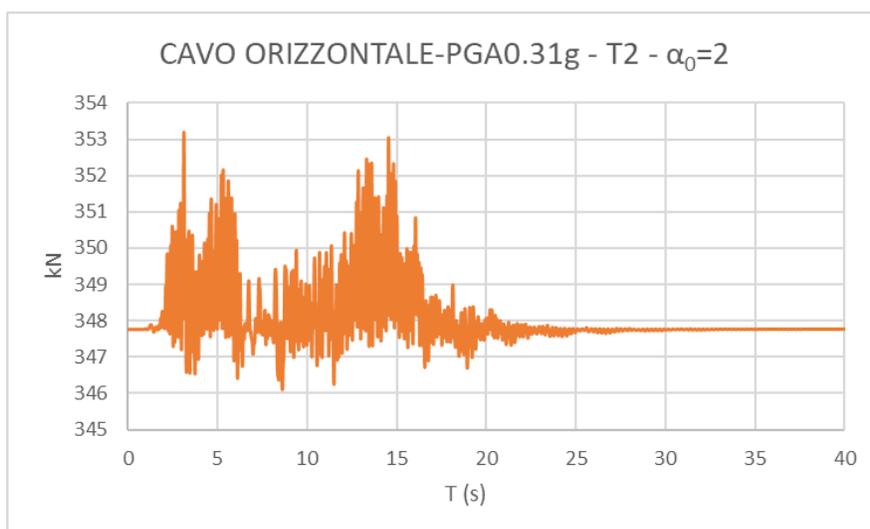
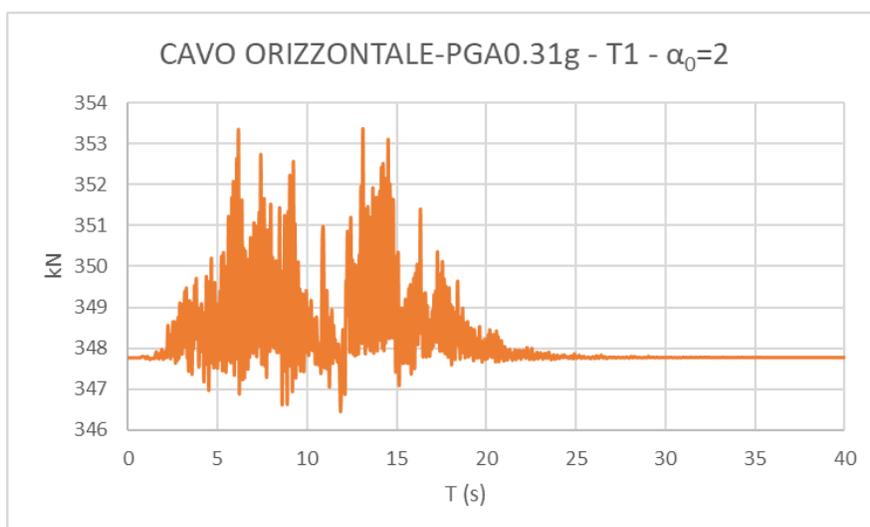
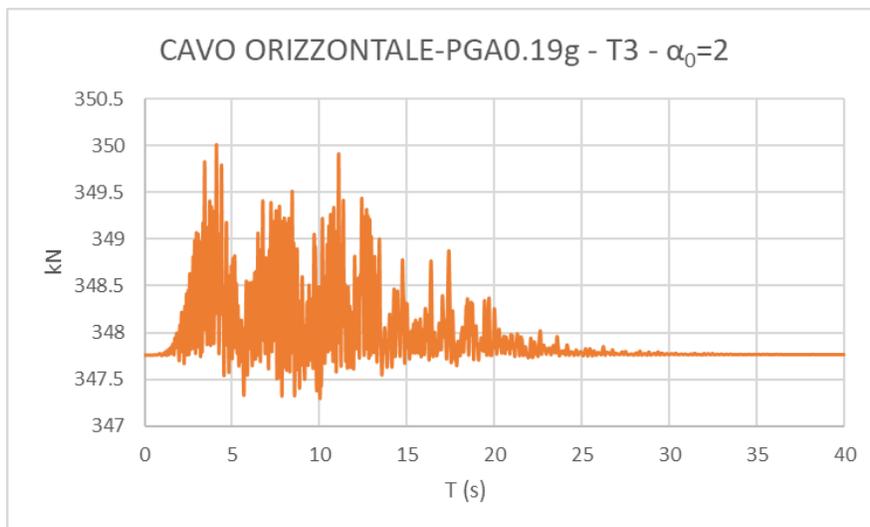
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



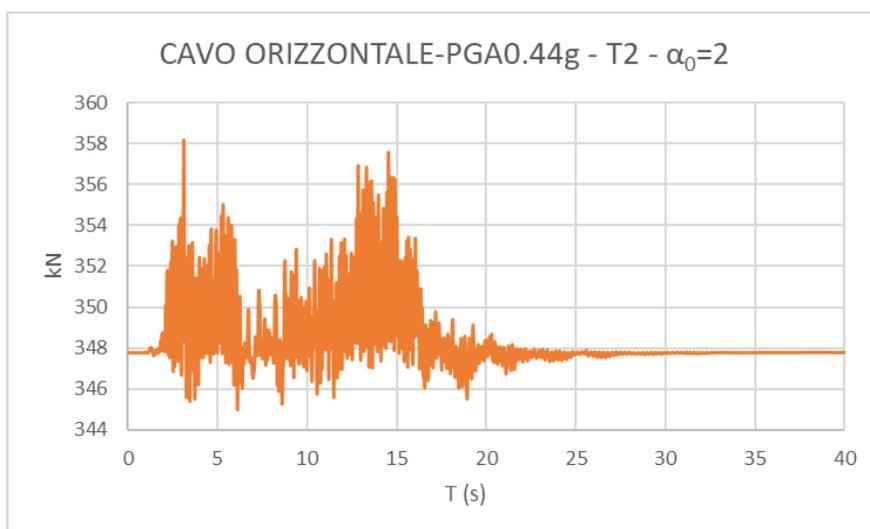
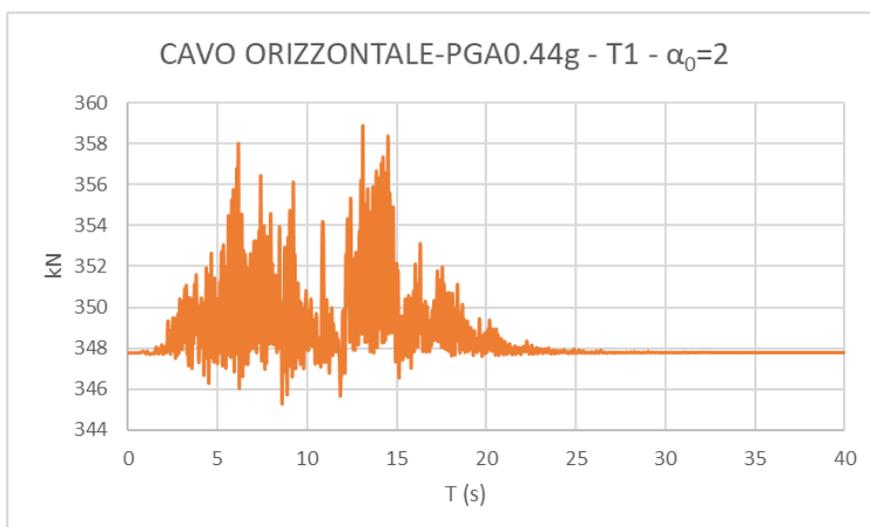
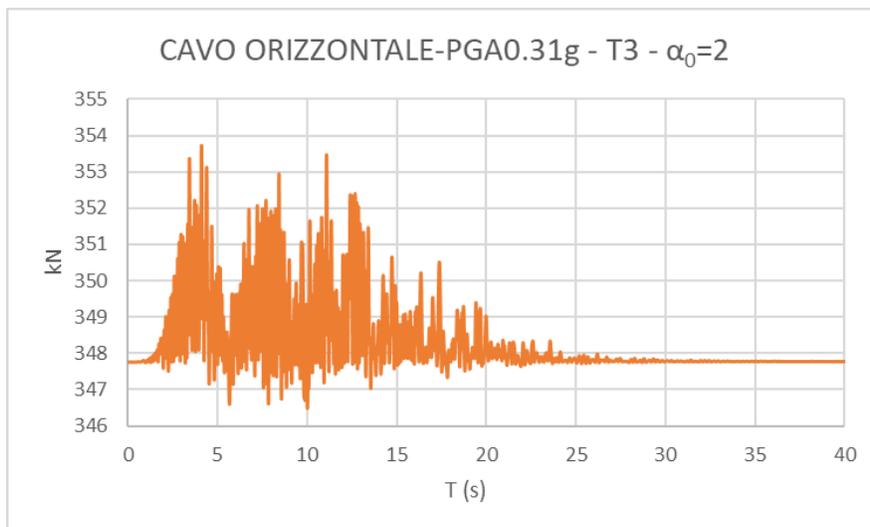
FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



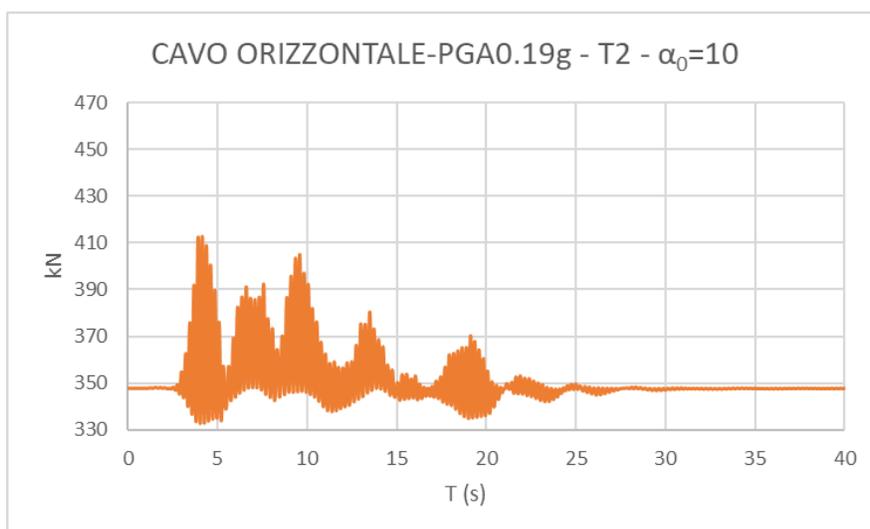
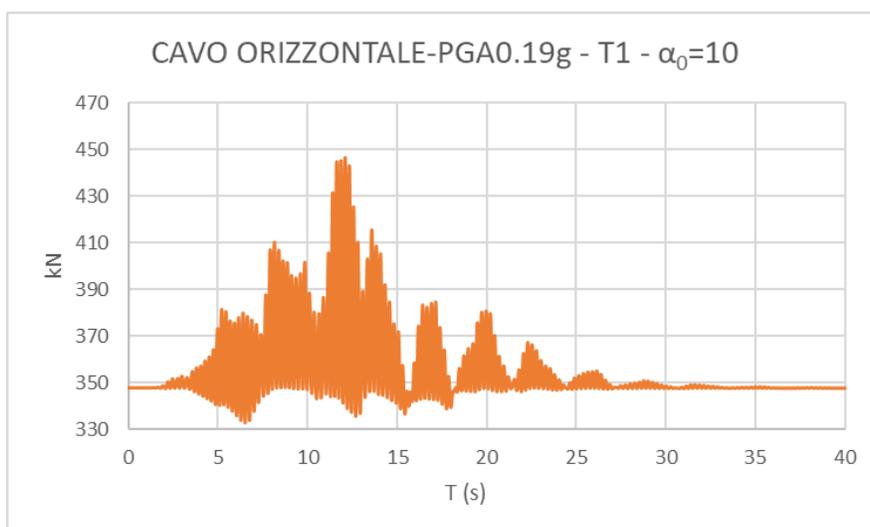
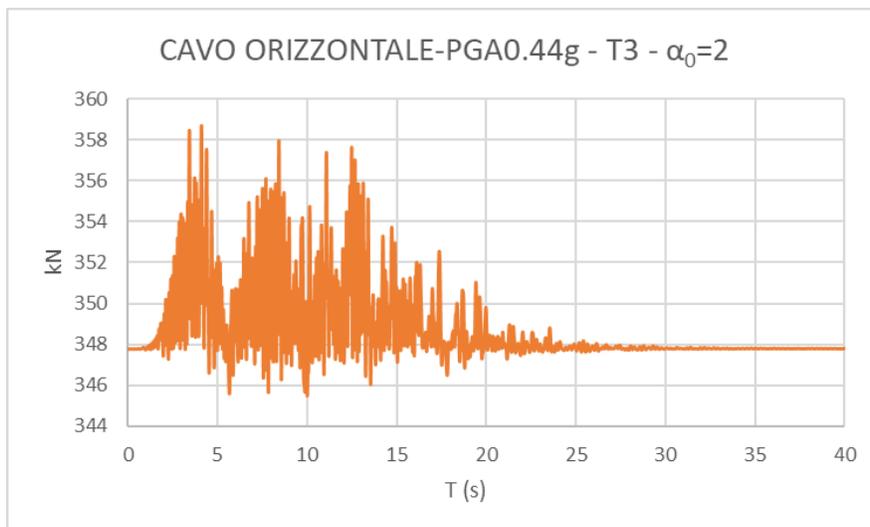
FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



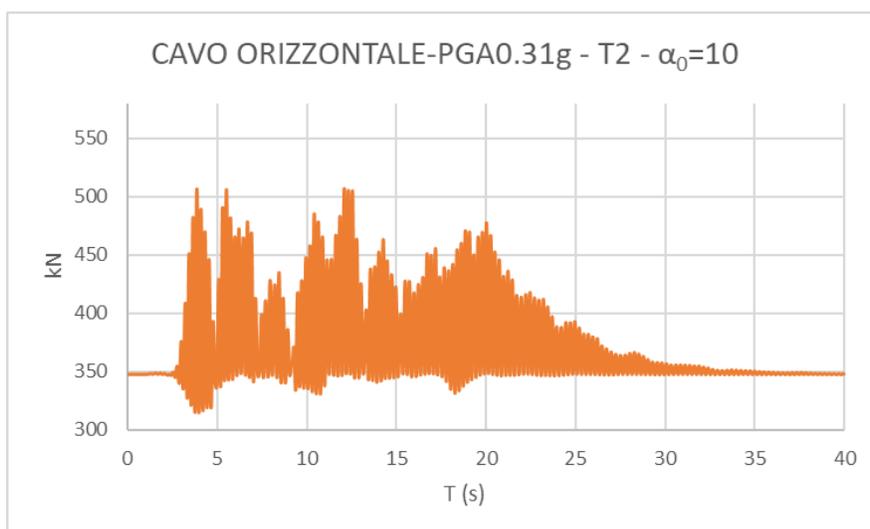
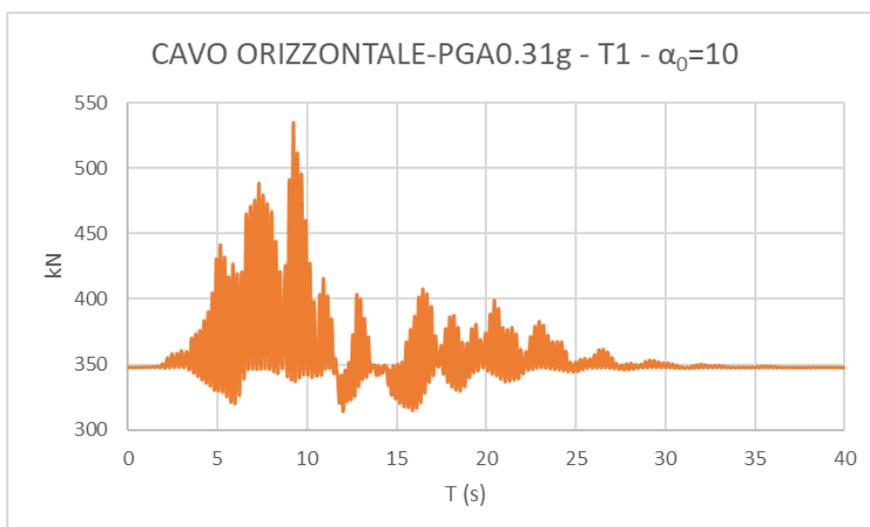
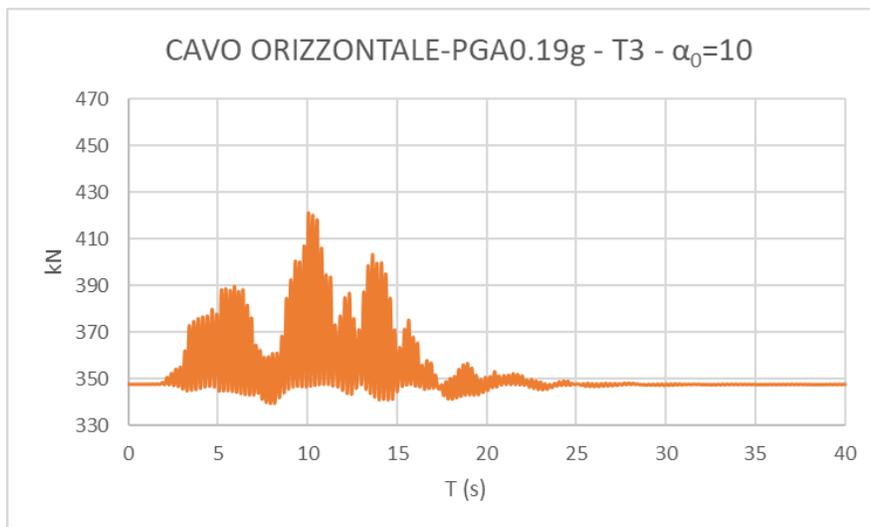
FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



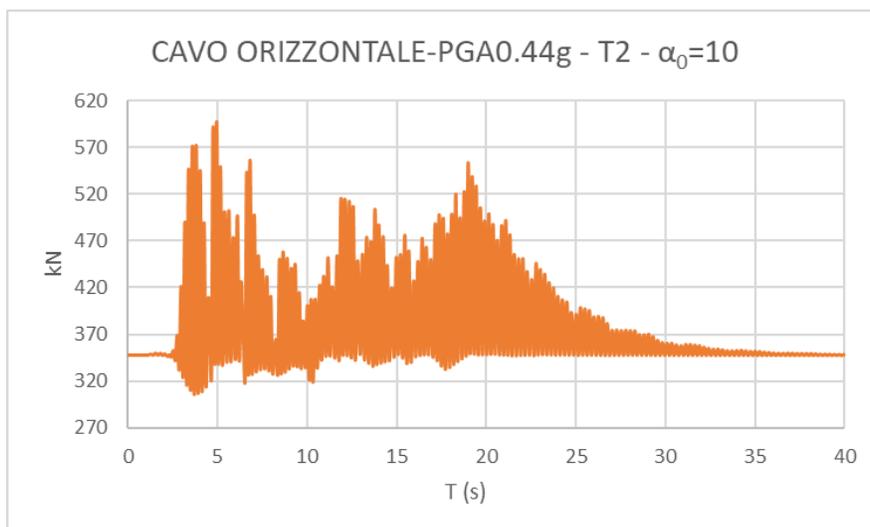
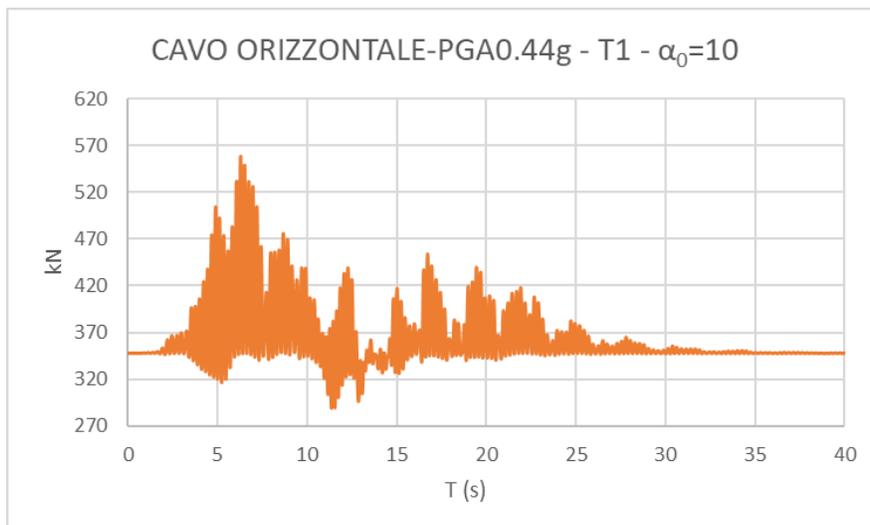
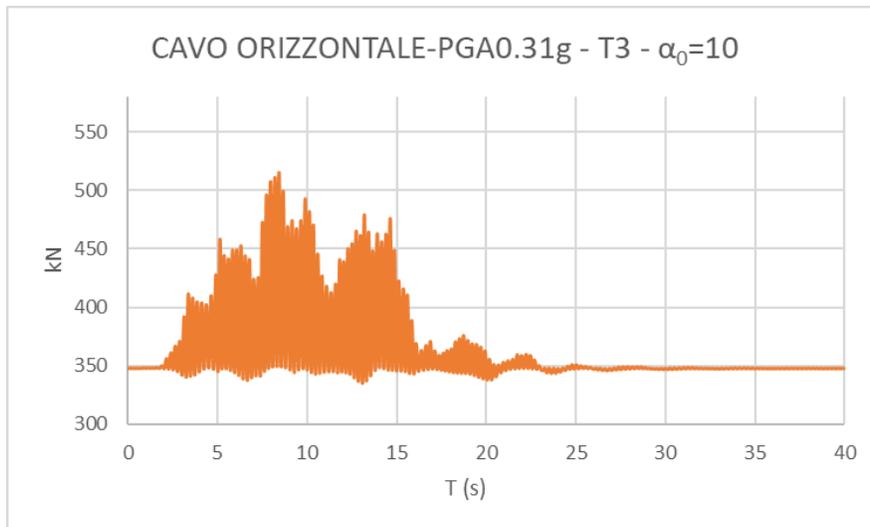
FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



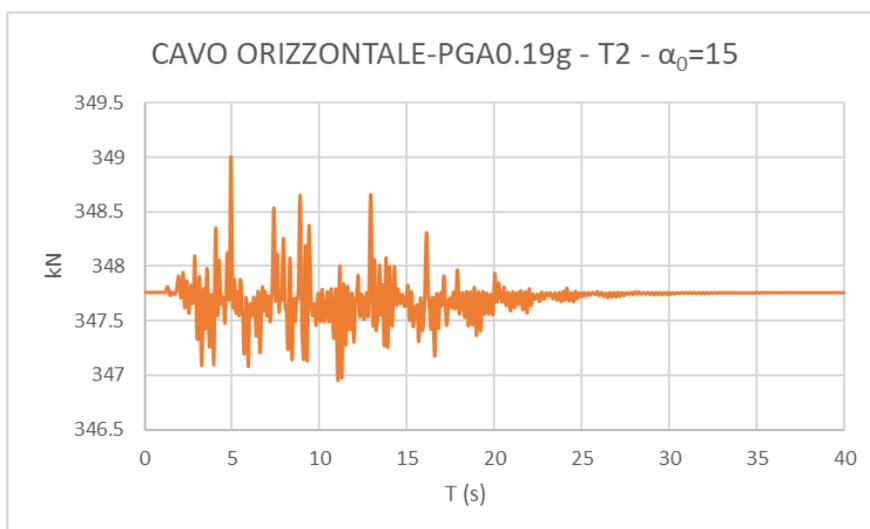
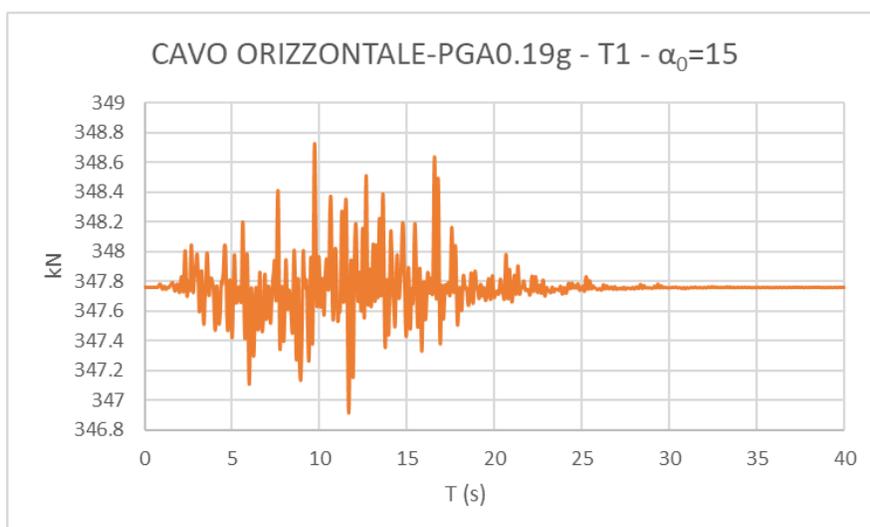
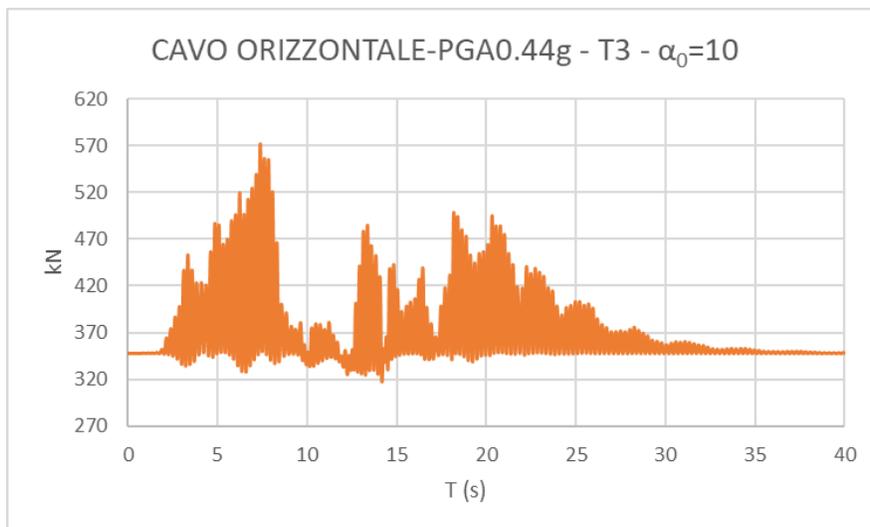
FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



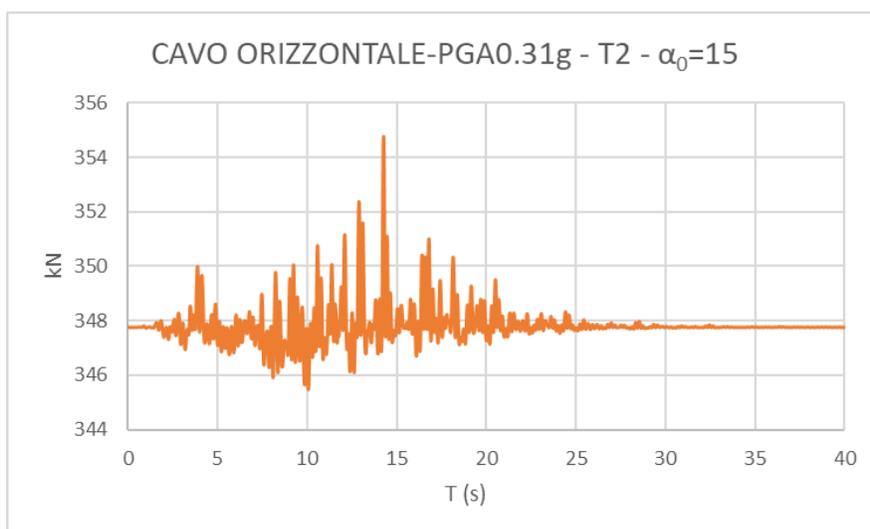
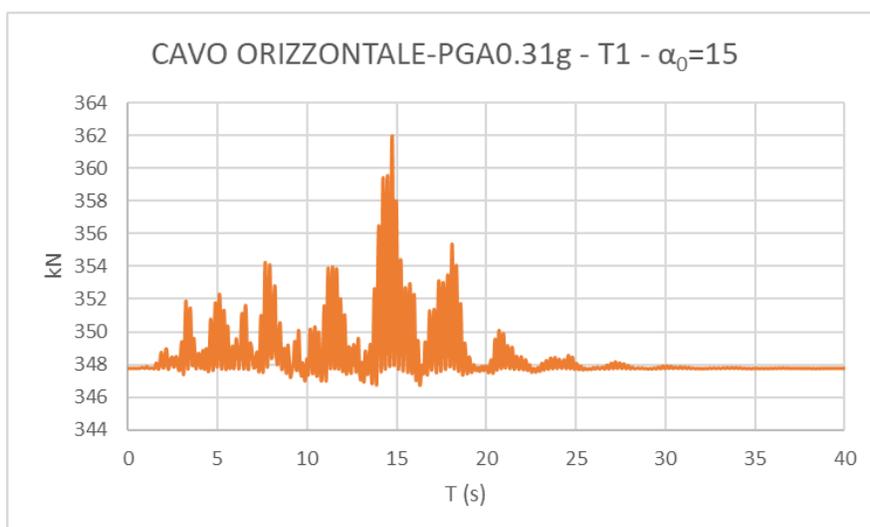
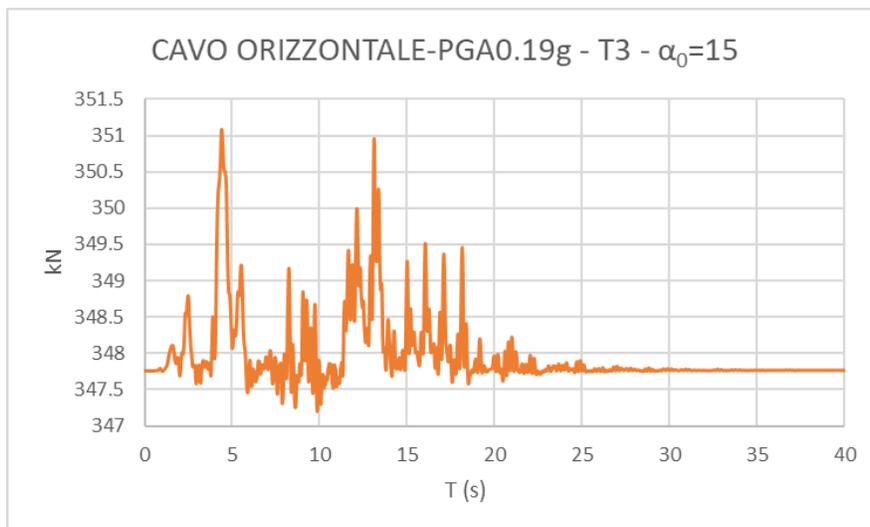
FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



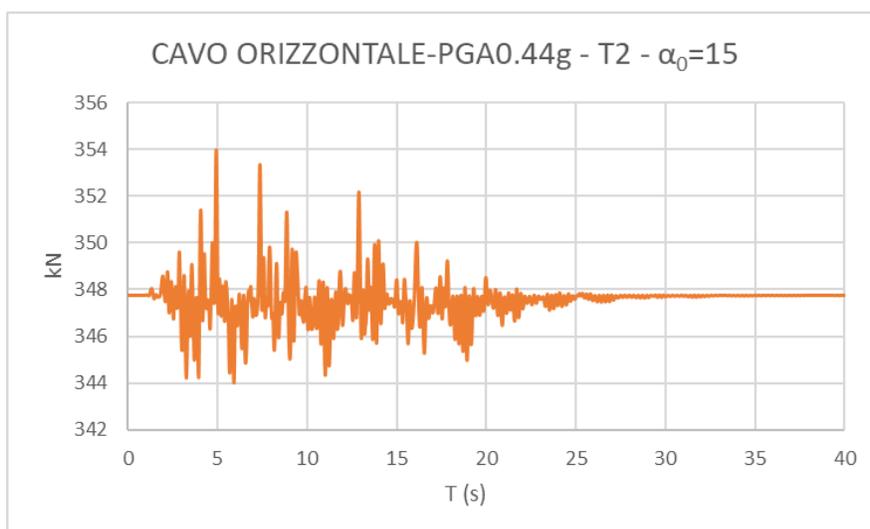
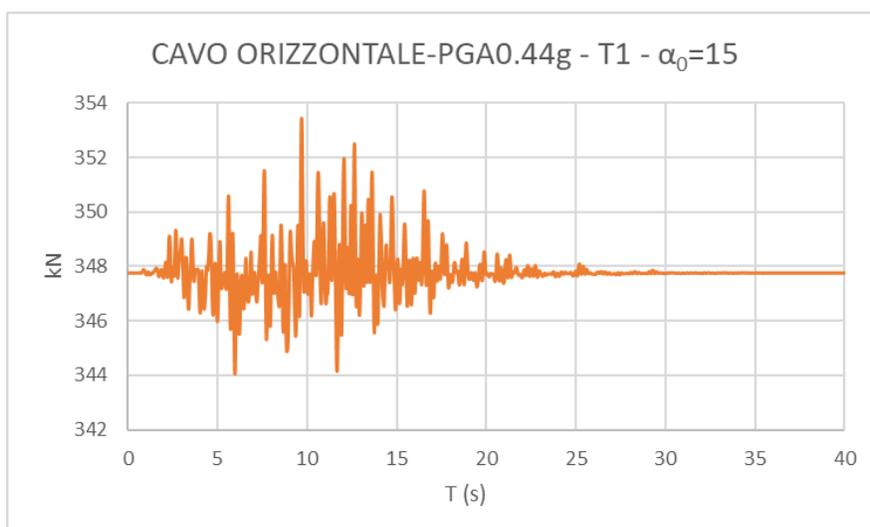
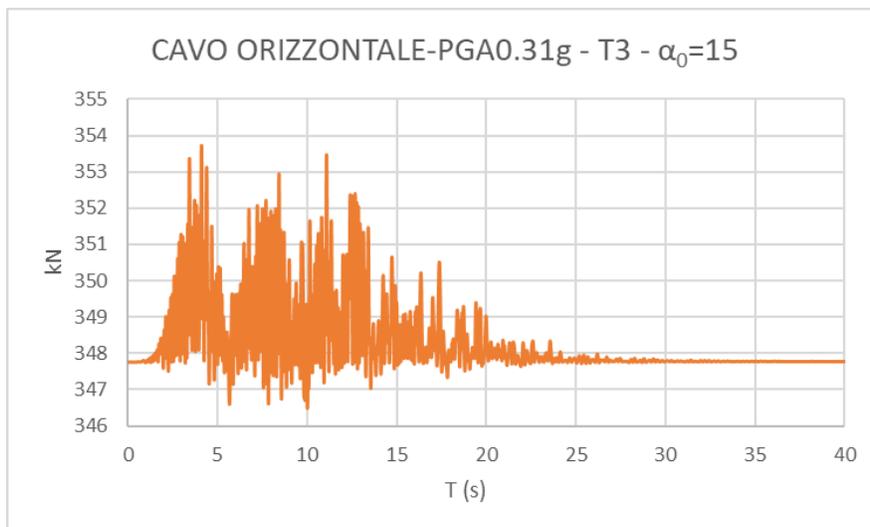
FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



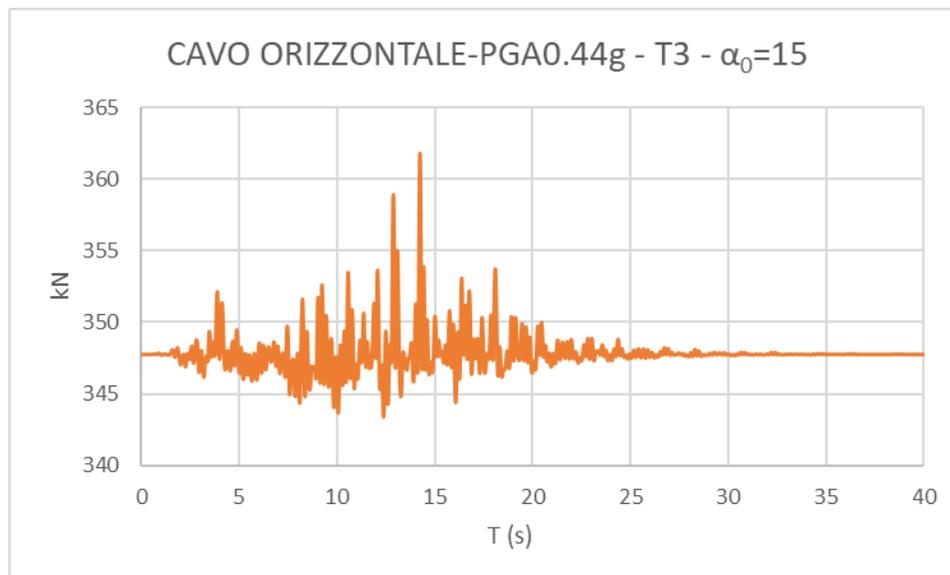
FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



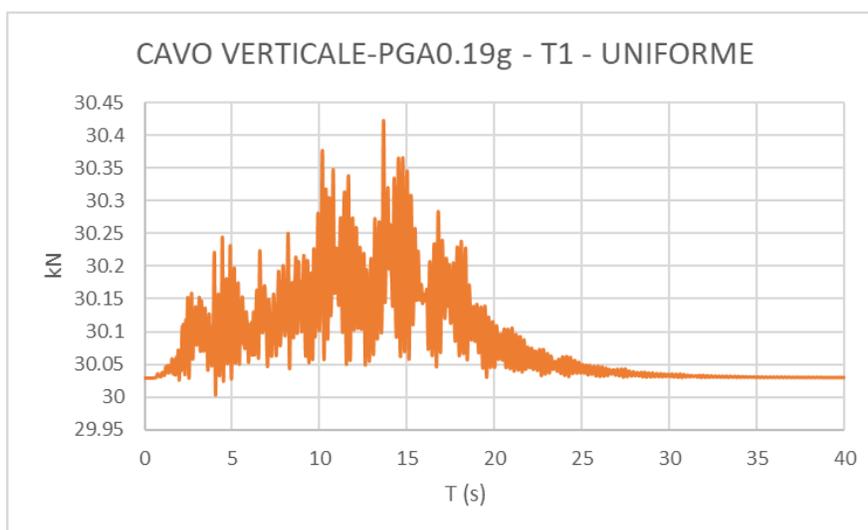
FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



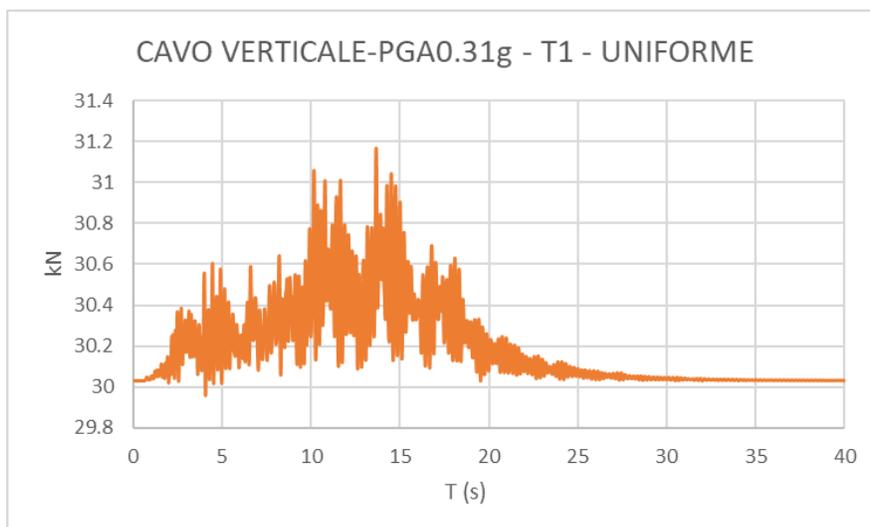
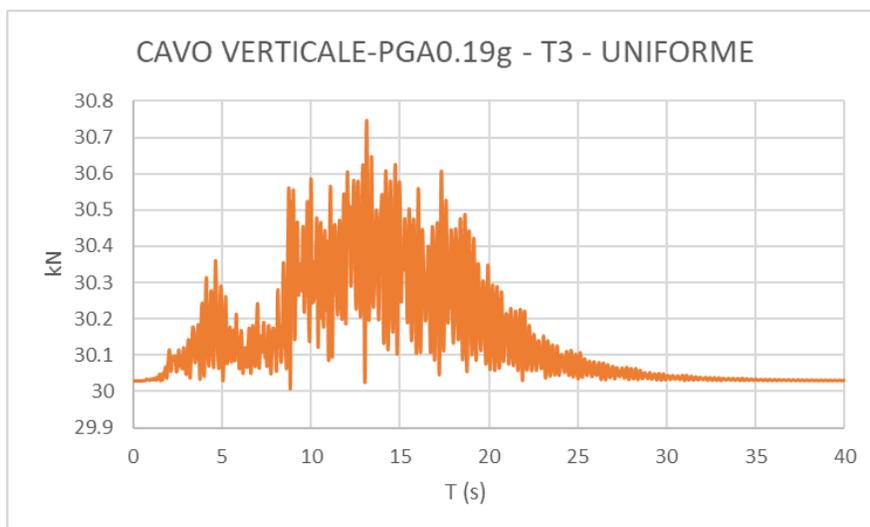
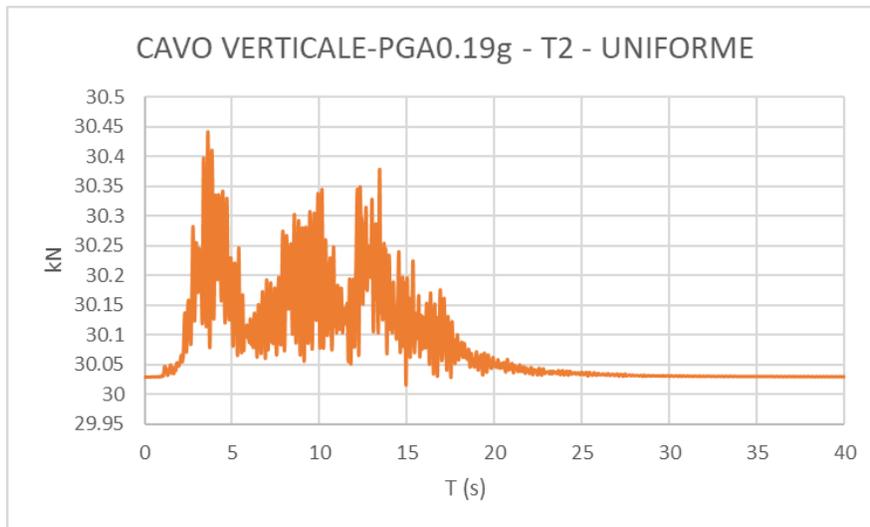
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



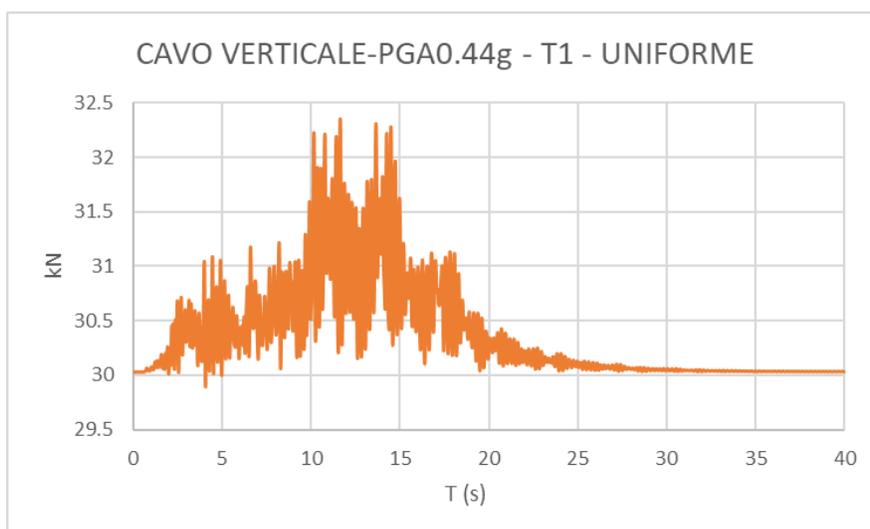
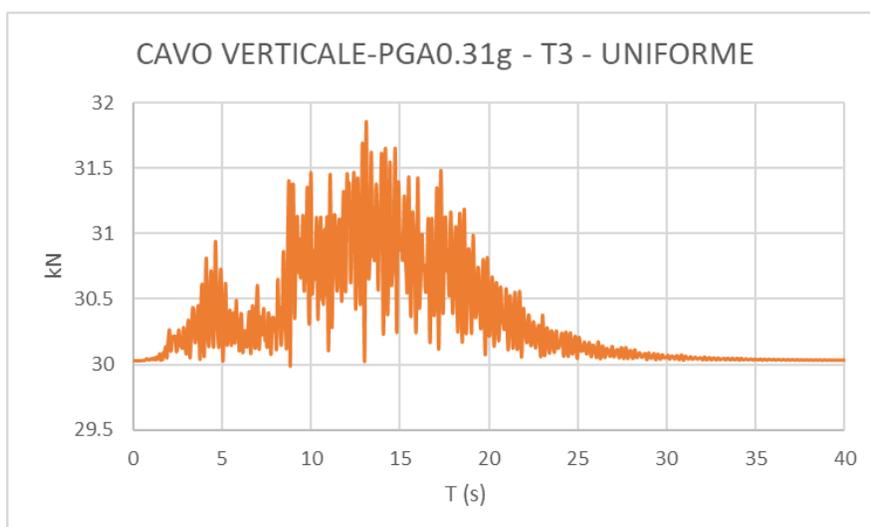
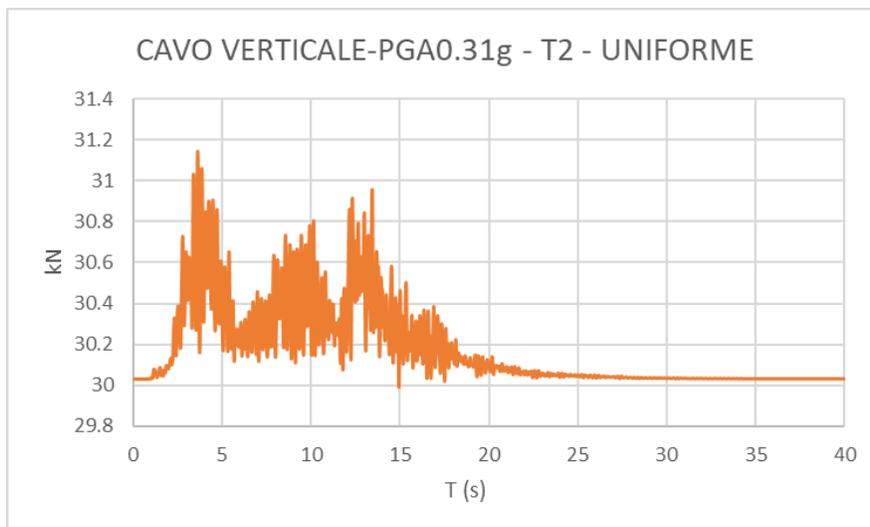
*STORIE TEMPORALI IN TERMINI DI FORZA ASSIALE DEL CAVO VERTICALE PER LE SEGUENTI ANALISI:
UNIFORMI, $\alpha_0 = 2$, $\alpha_0 = 10$ ED $\alpha_0 = 15$.*



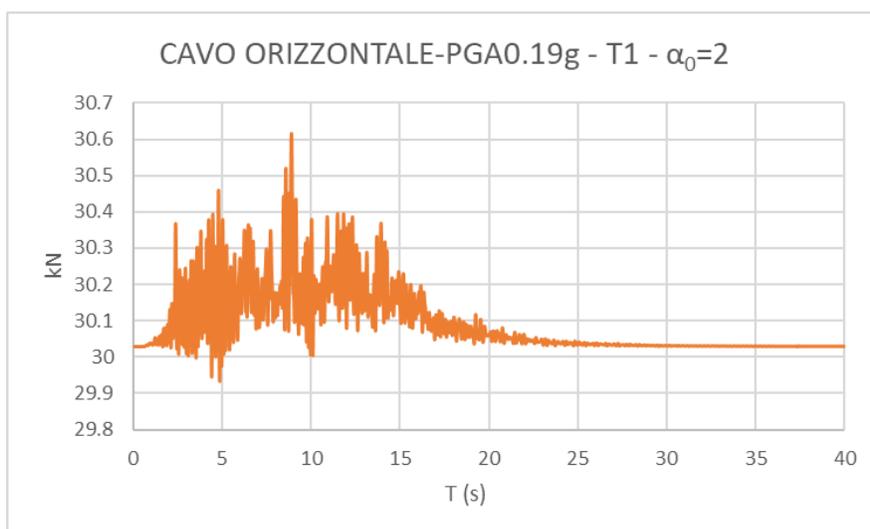
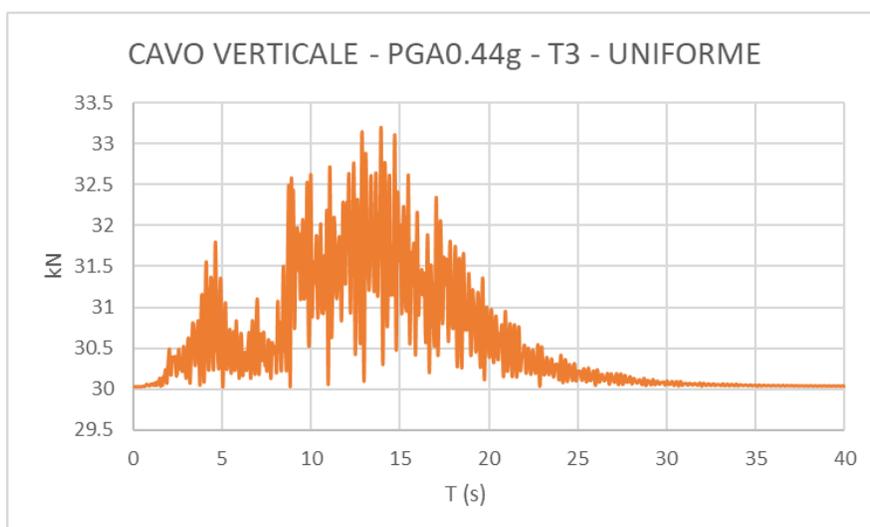
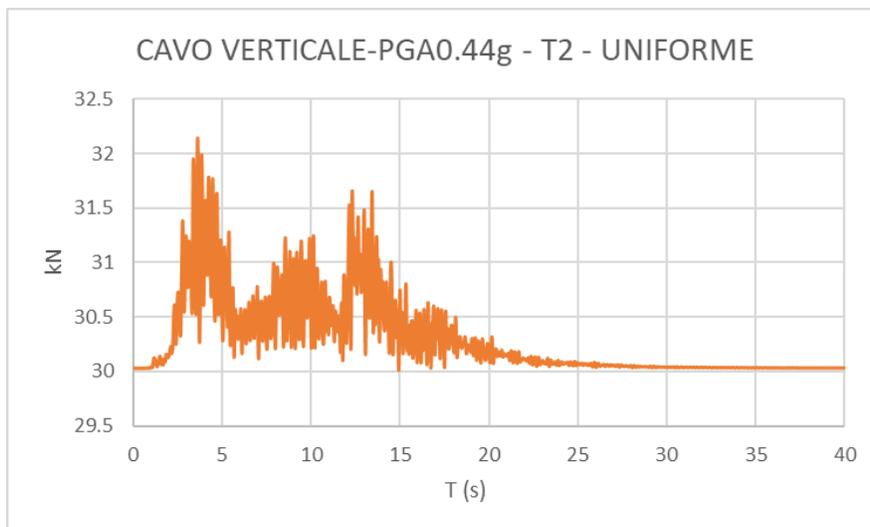
FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



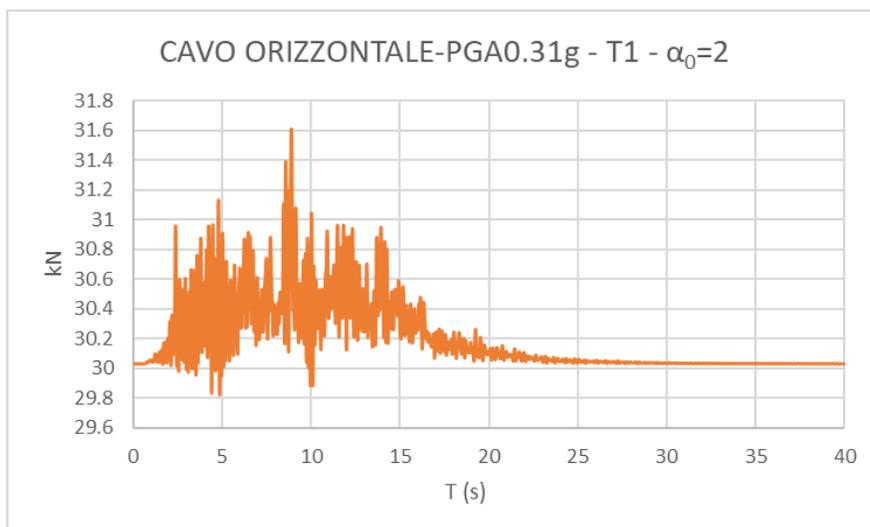
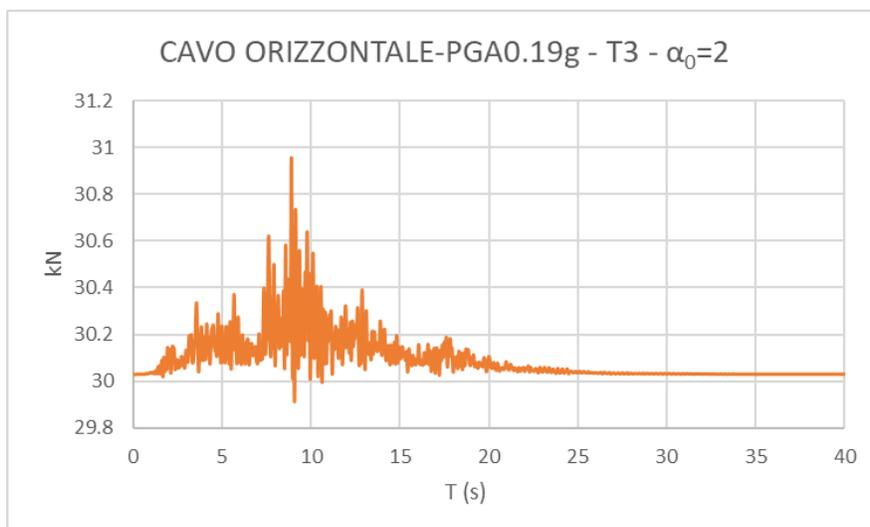
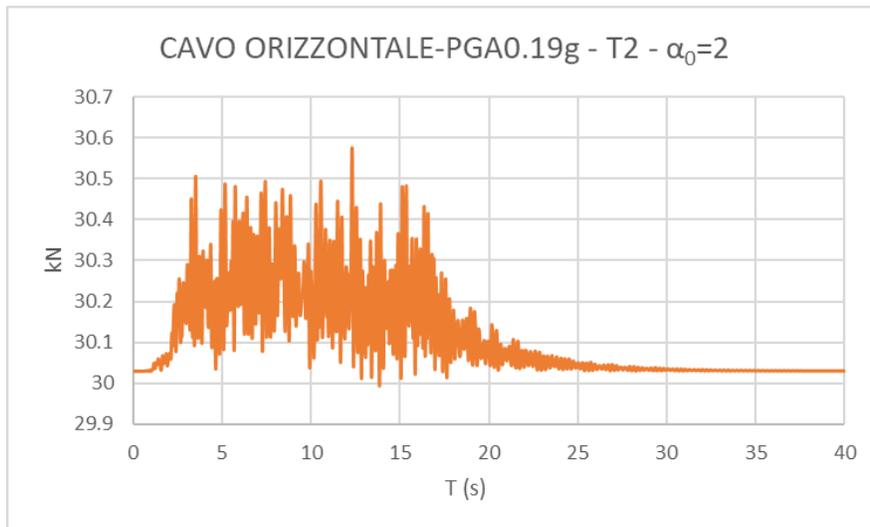
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



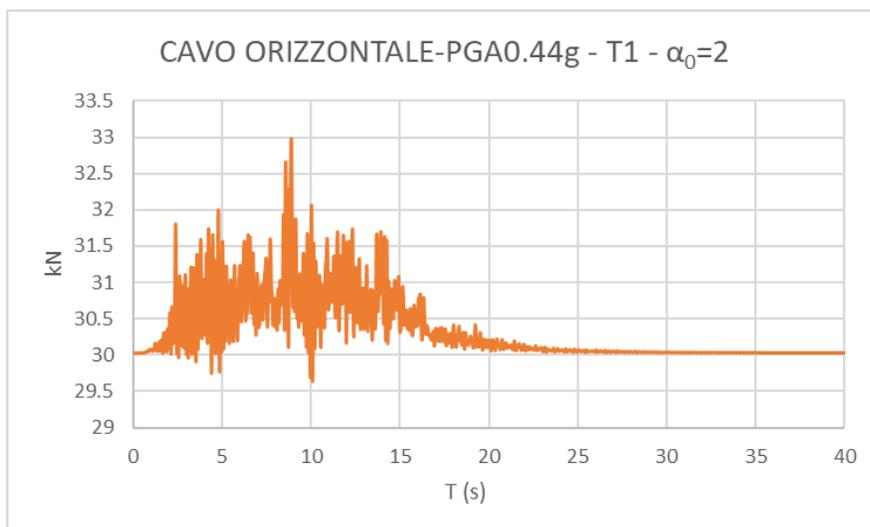
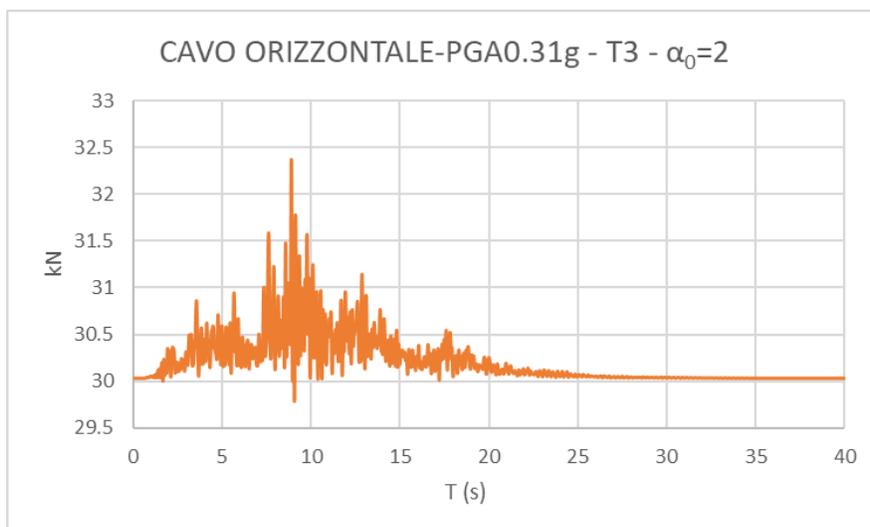
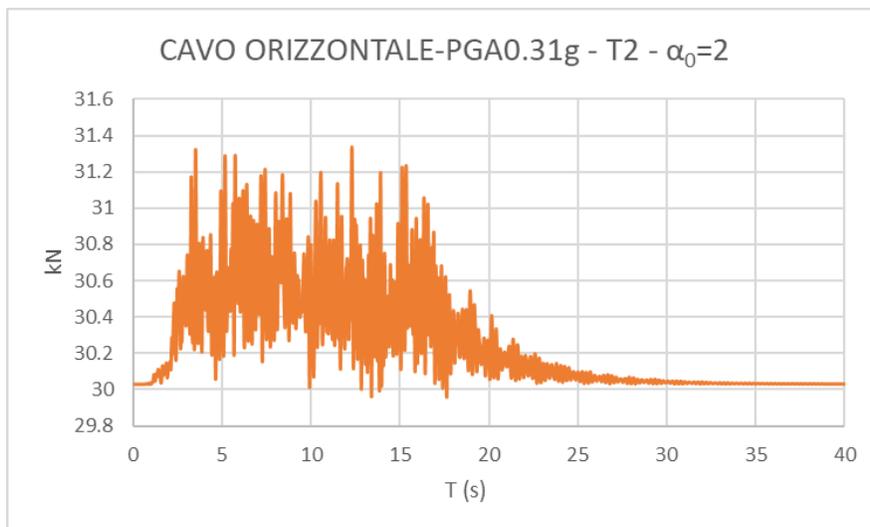
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



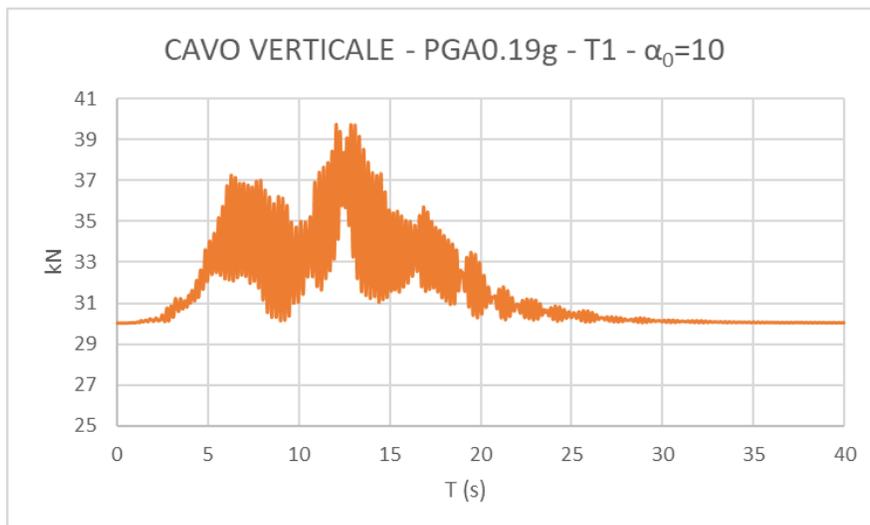
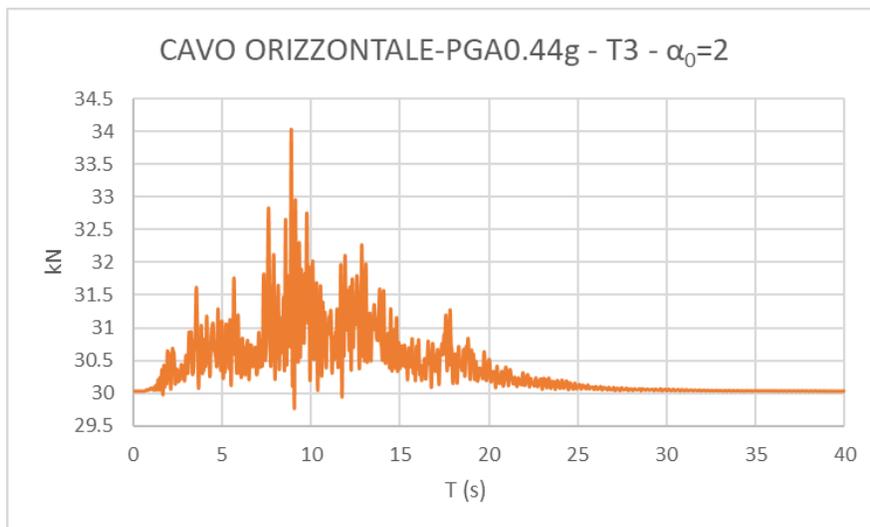
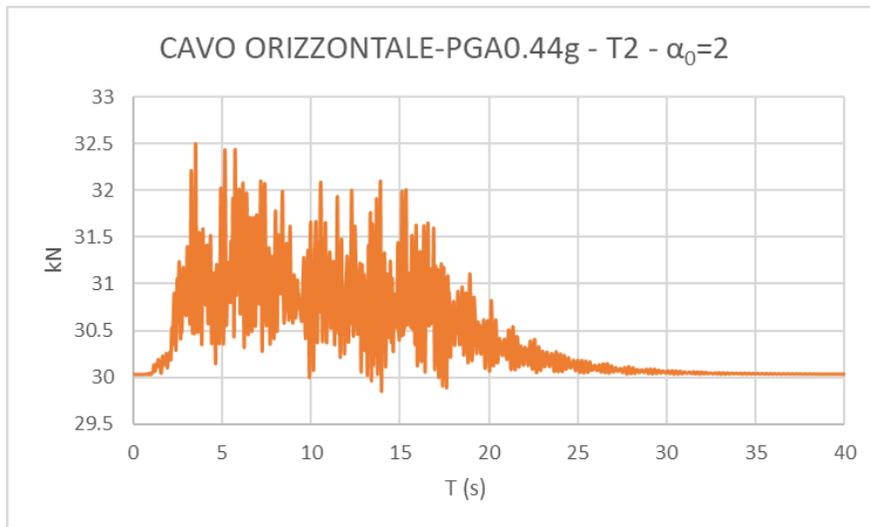
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



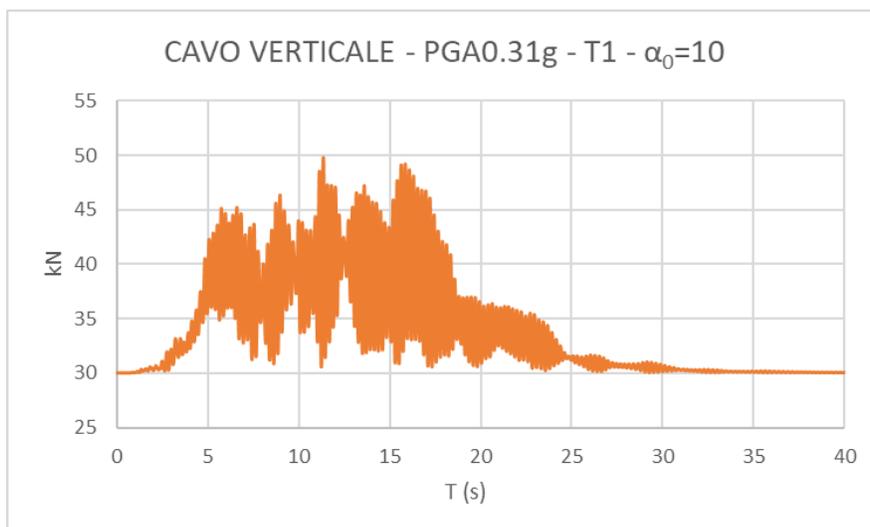
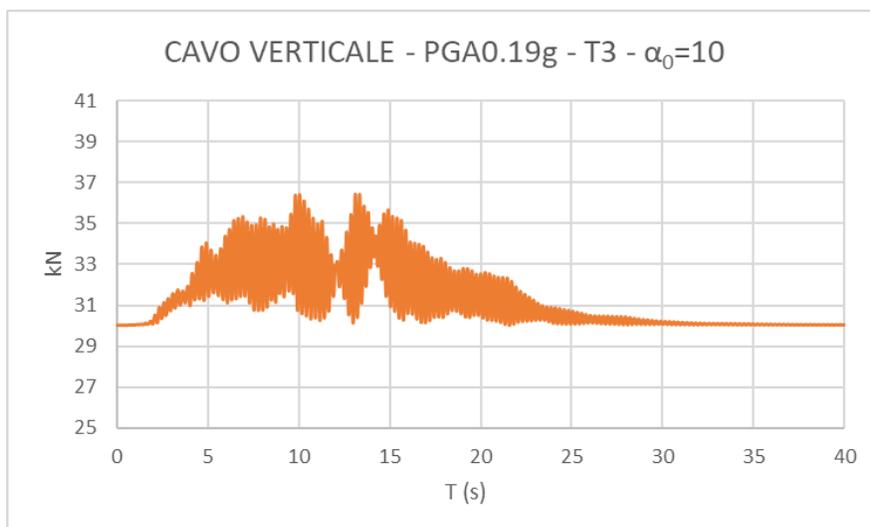
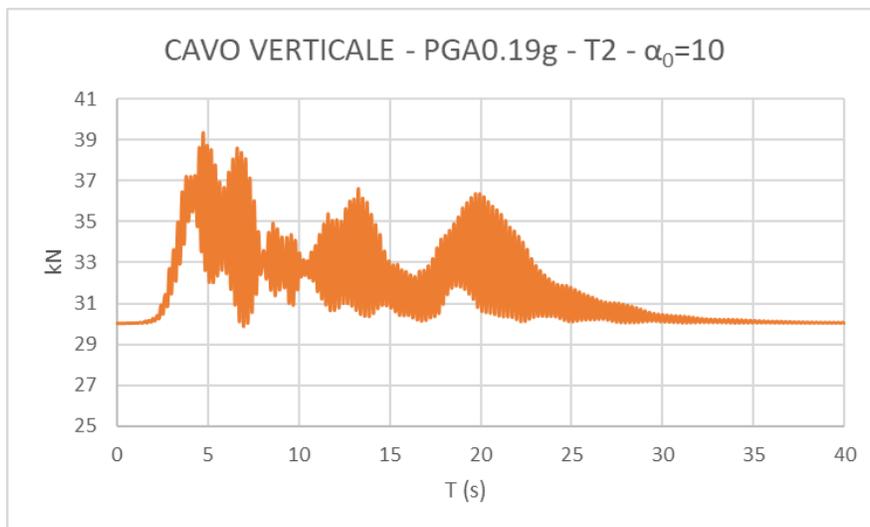
FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



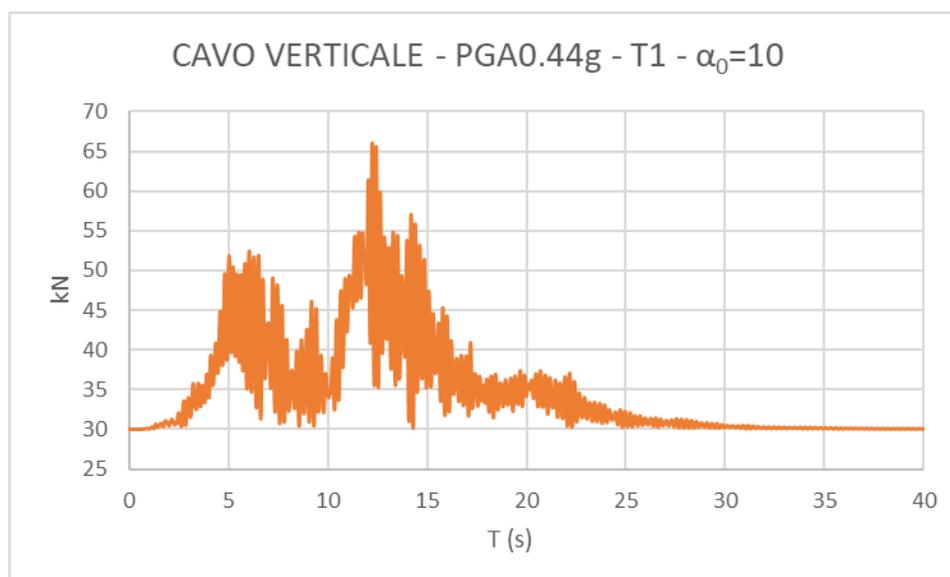
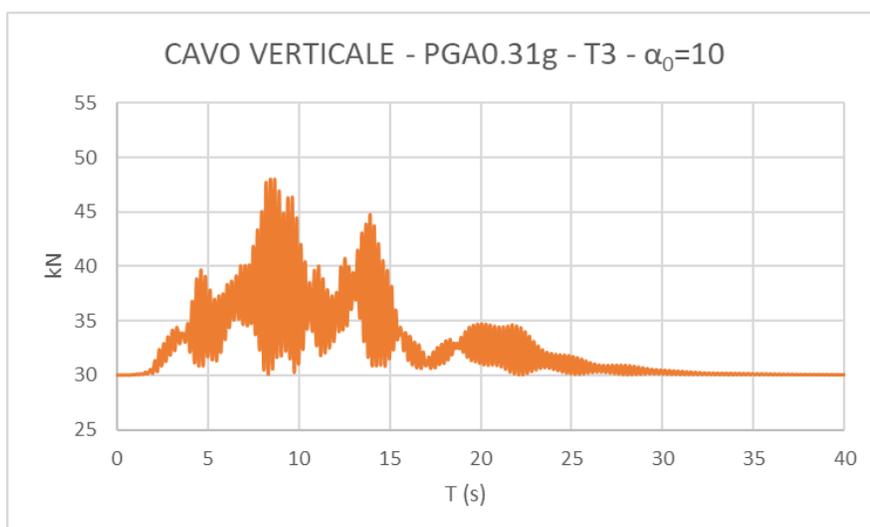
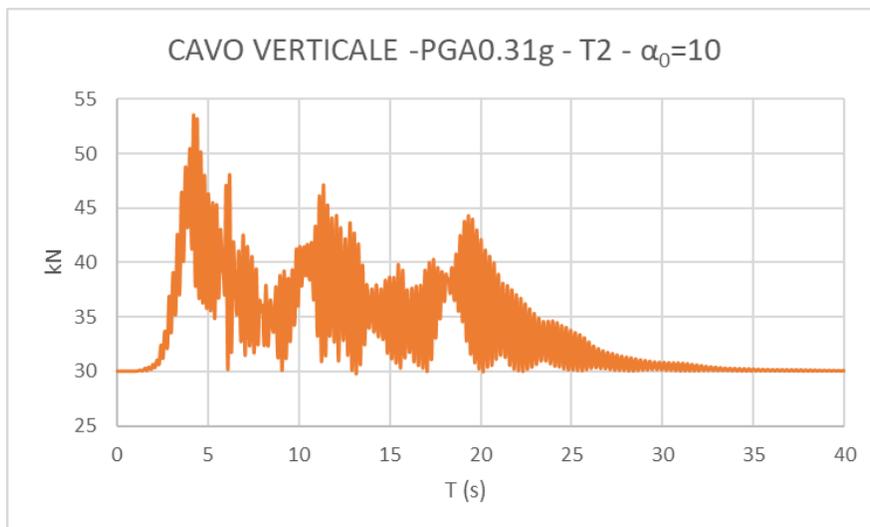
FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



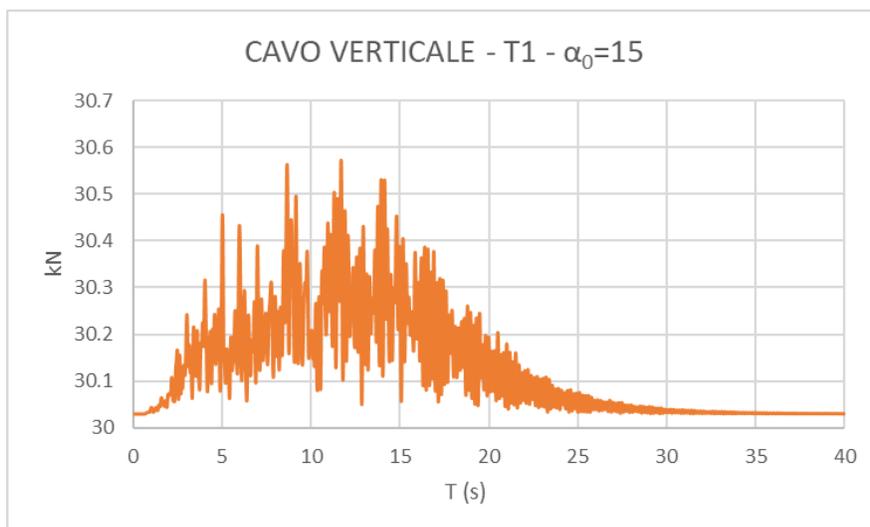
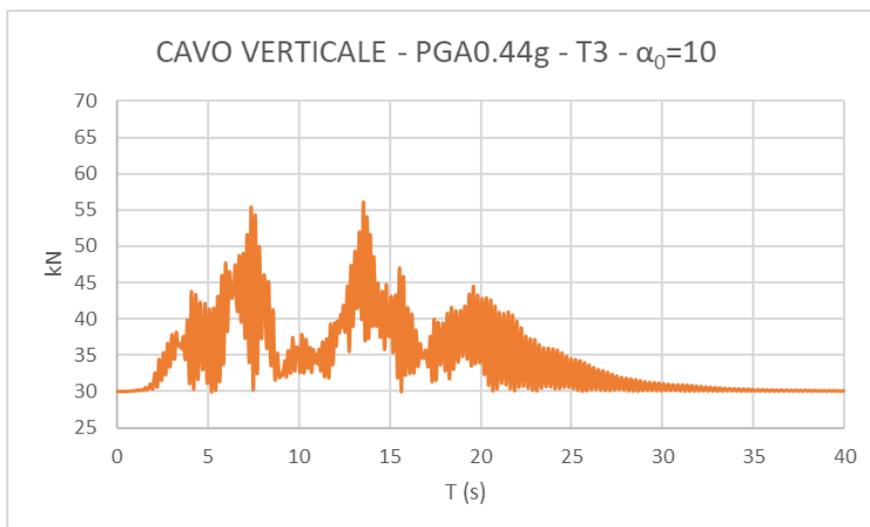
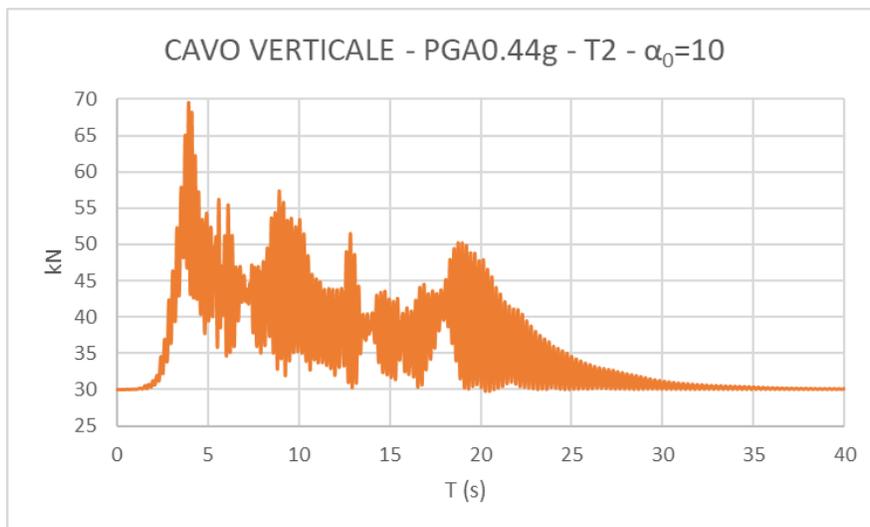
FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



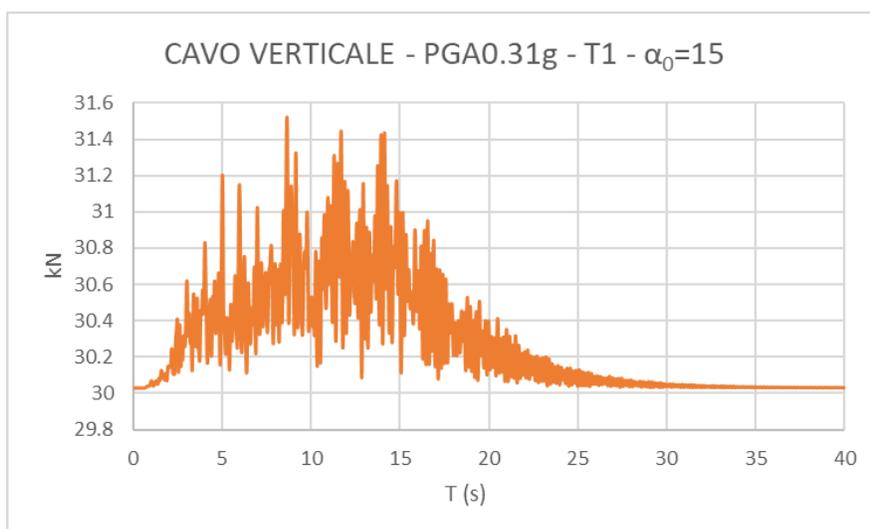
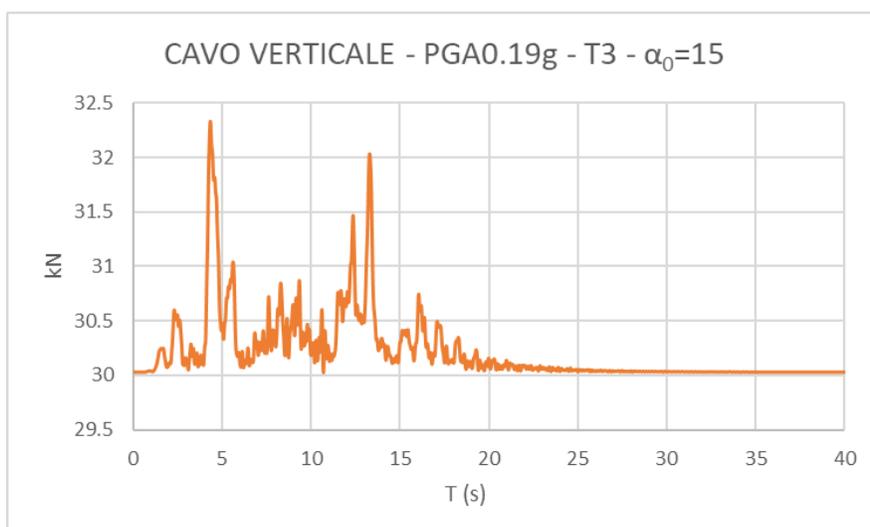
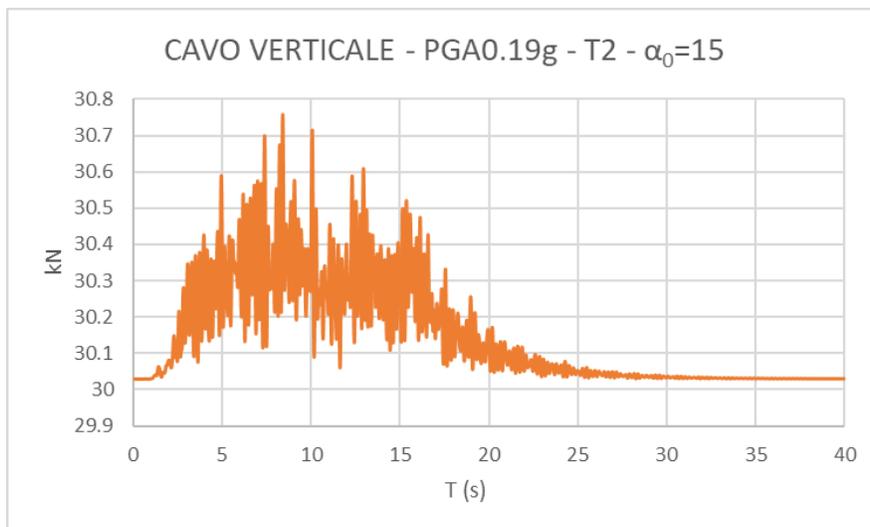
FACCIALE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



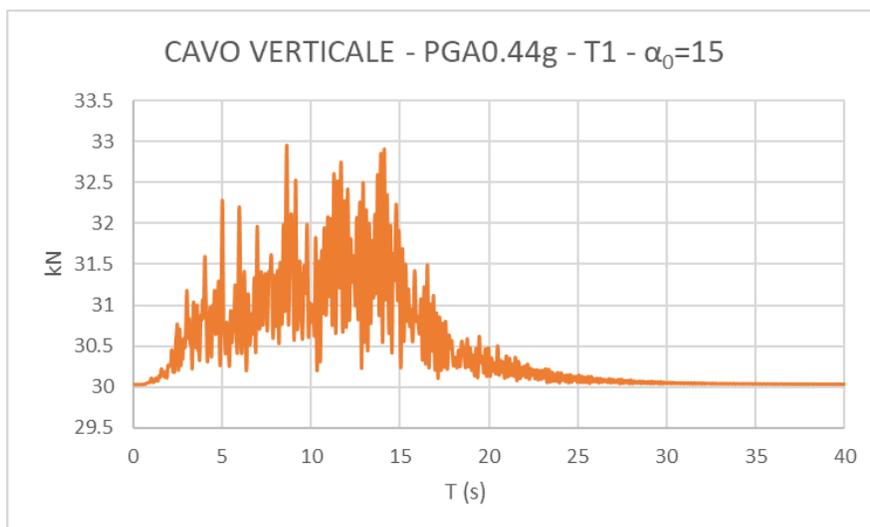
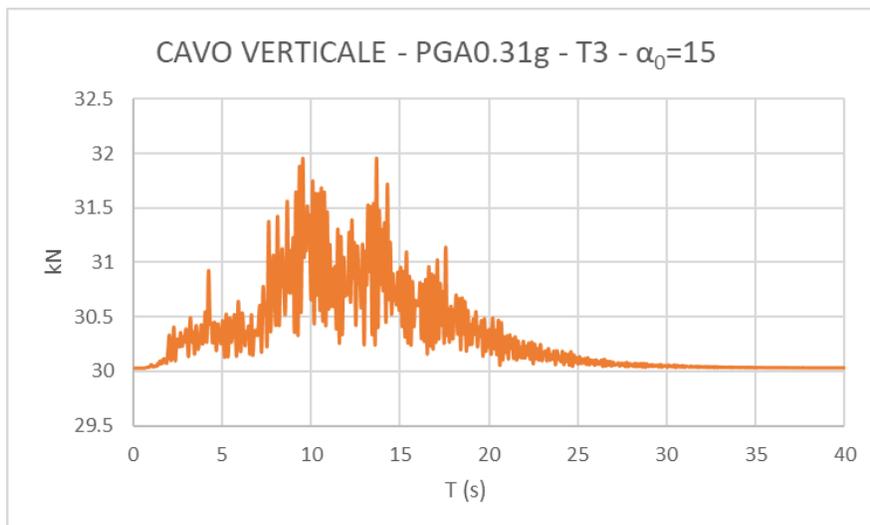
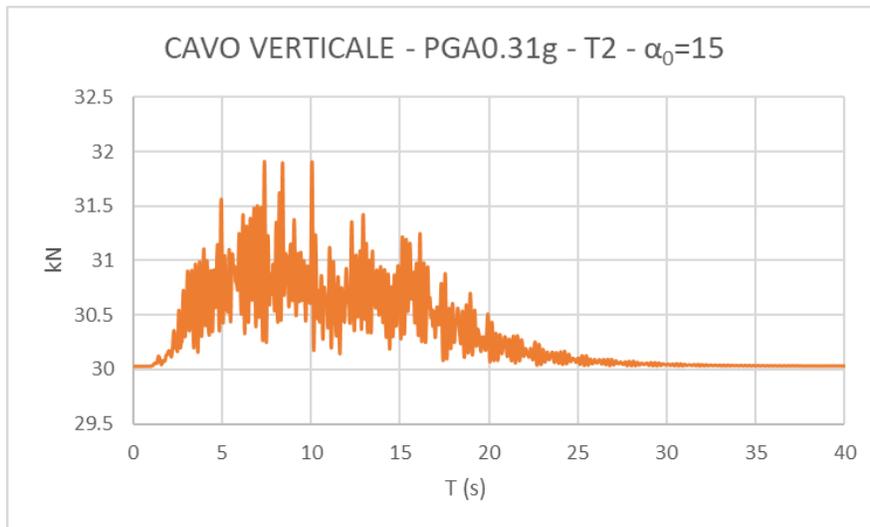
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



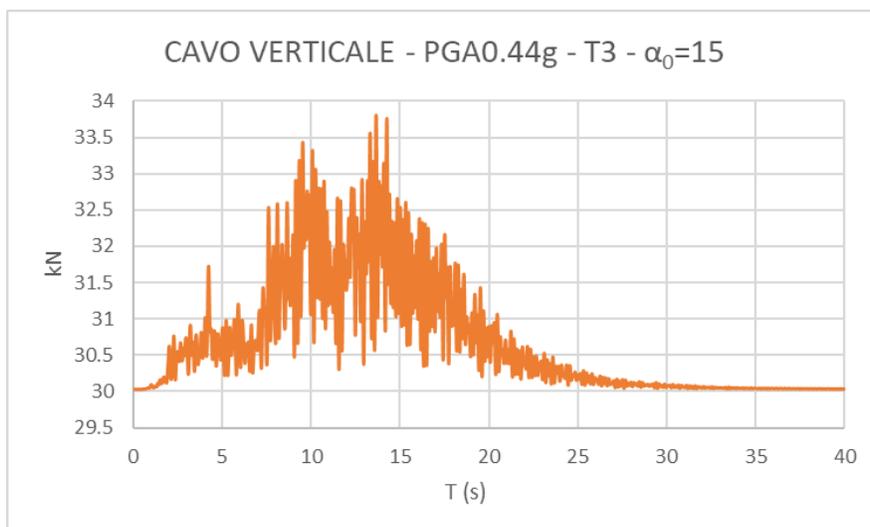
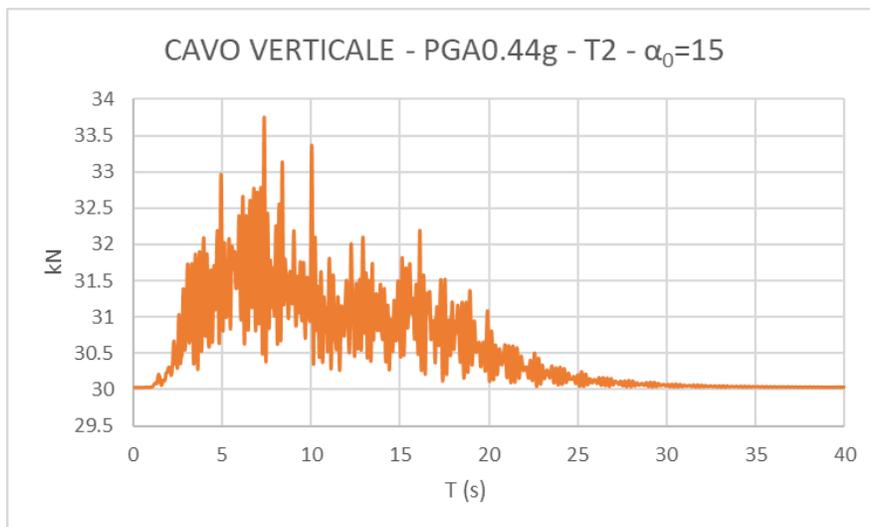
FACCIATE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



FACCIALE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

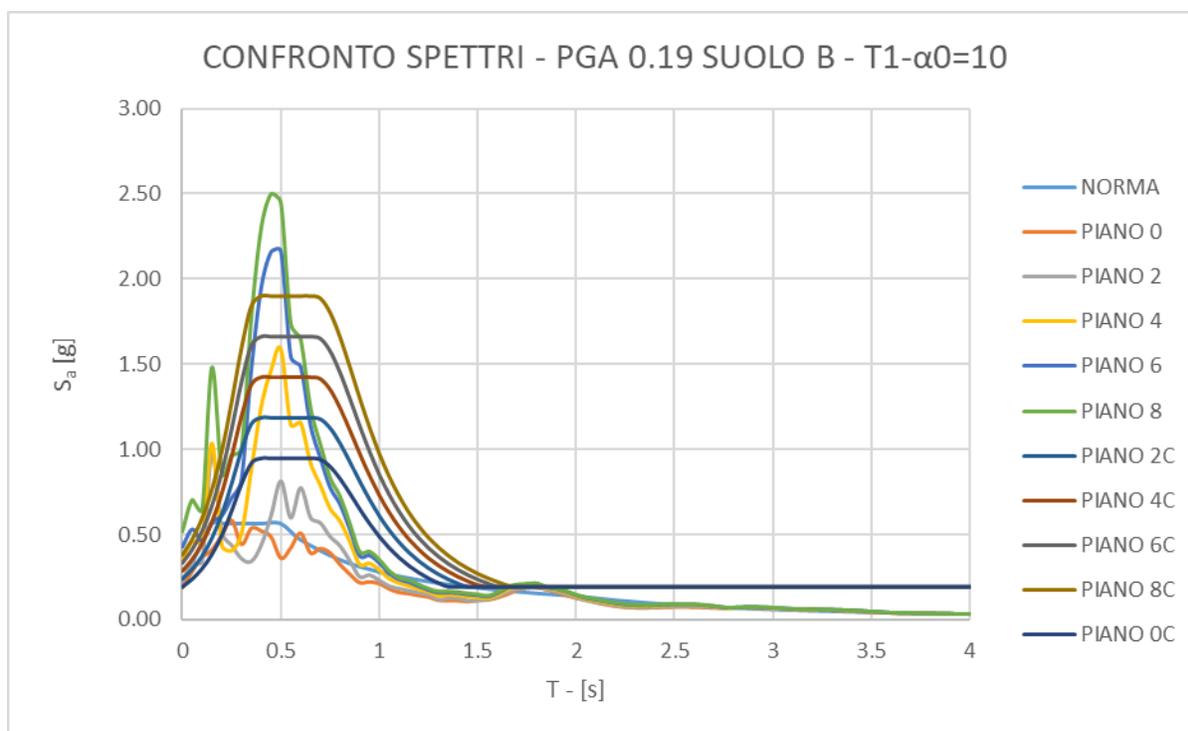
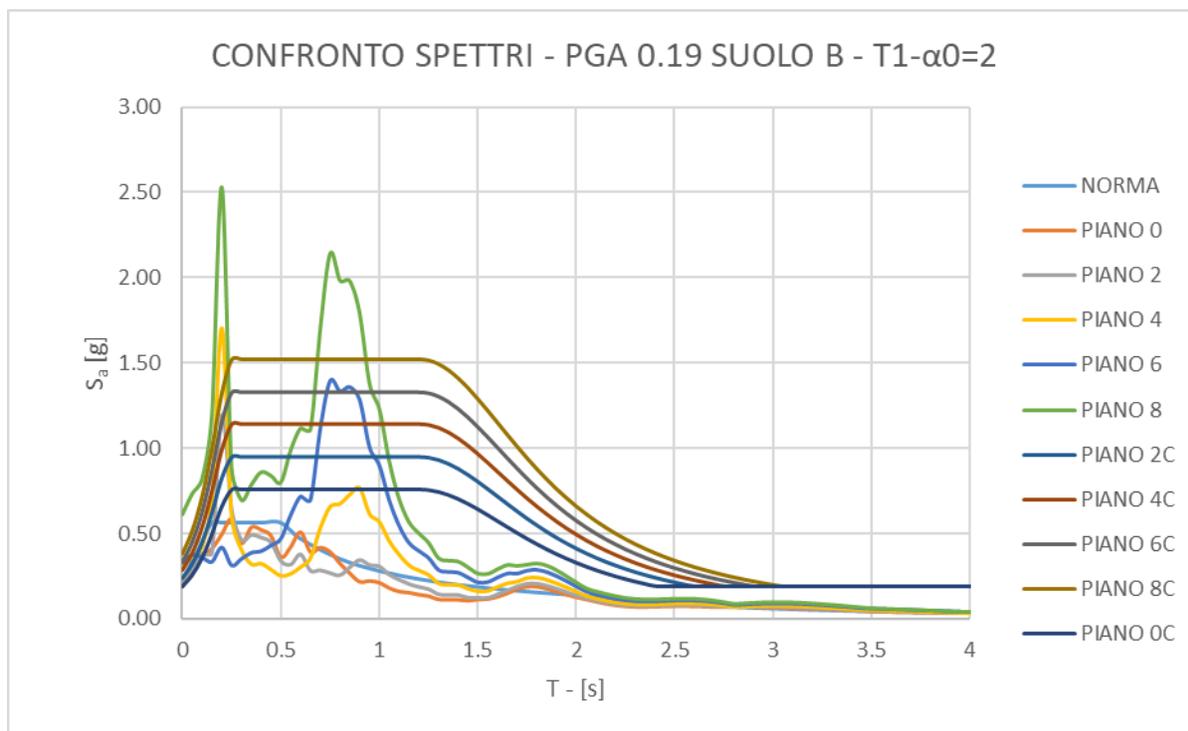


FACCIALE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

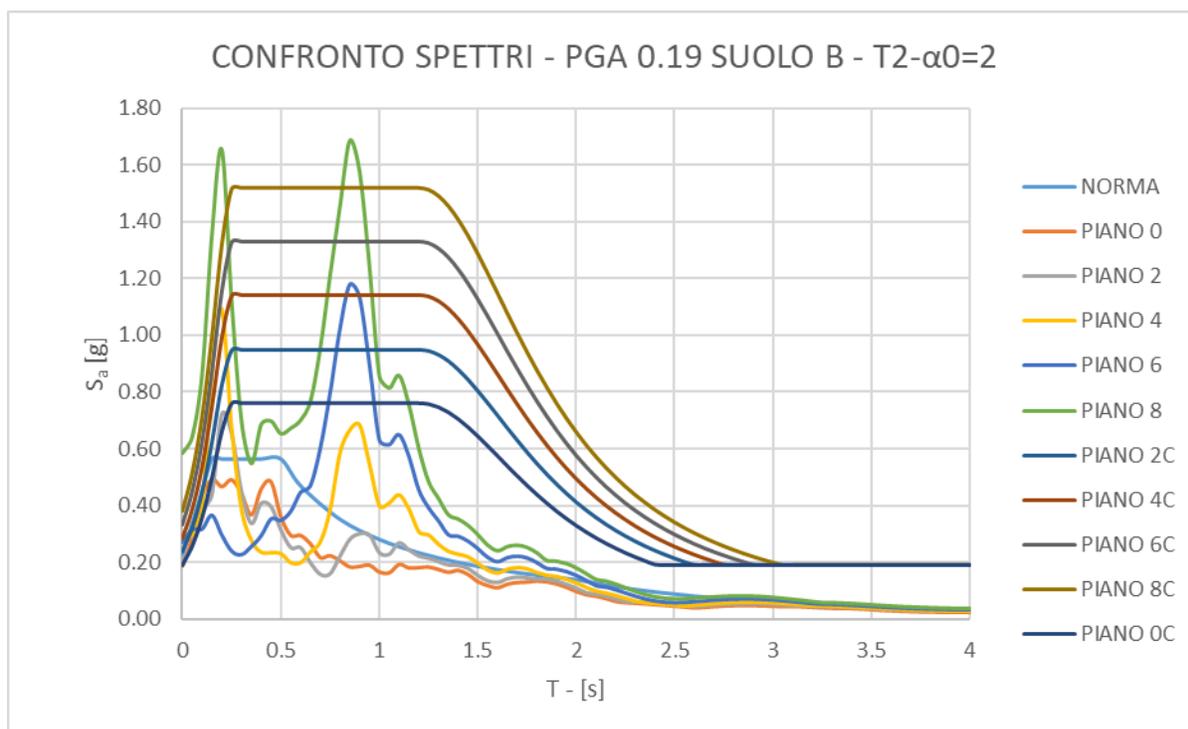
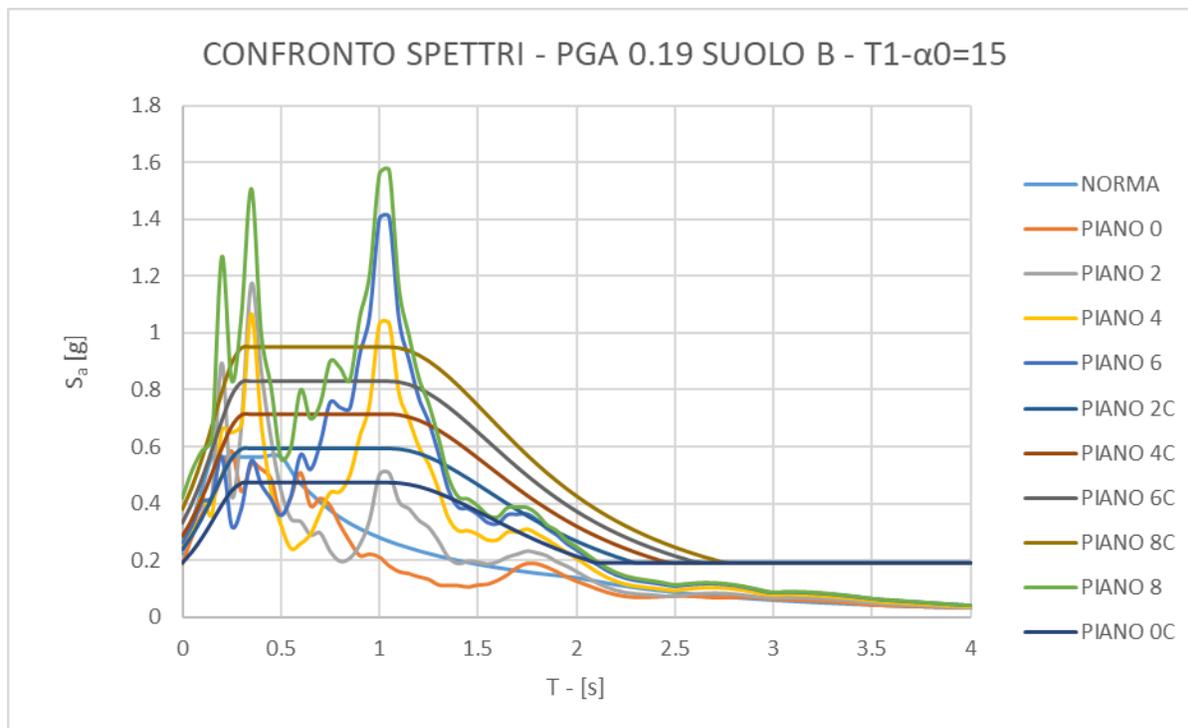


FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME

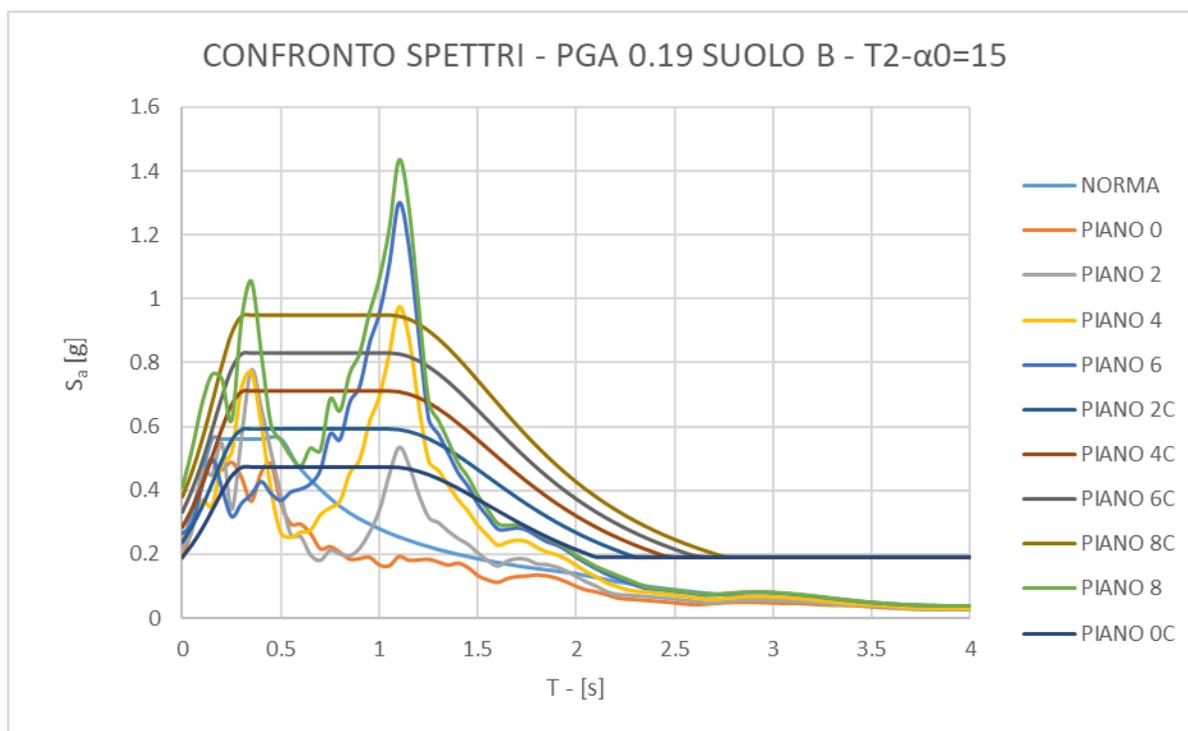
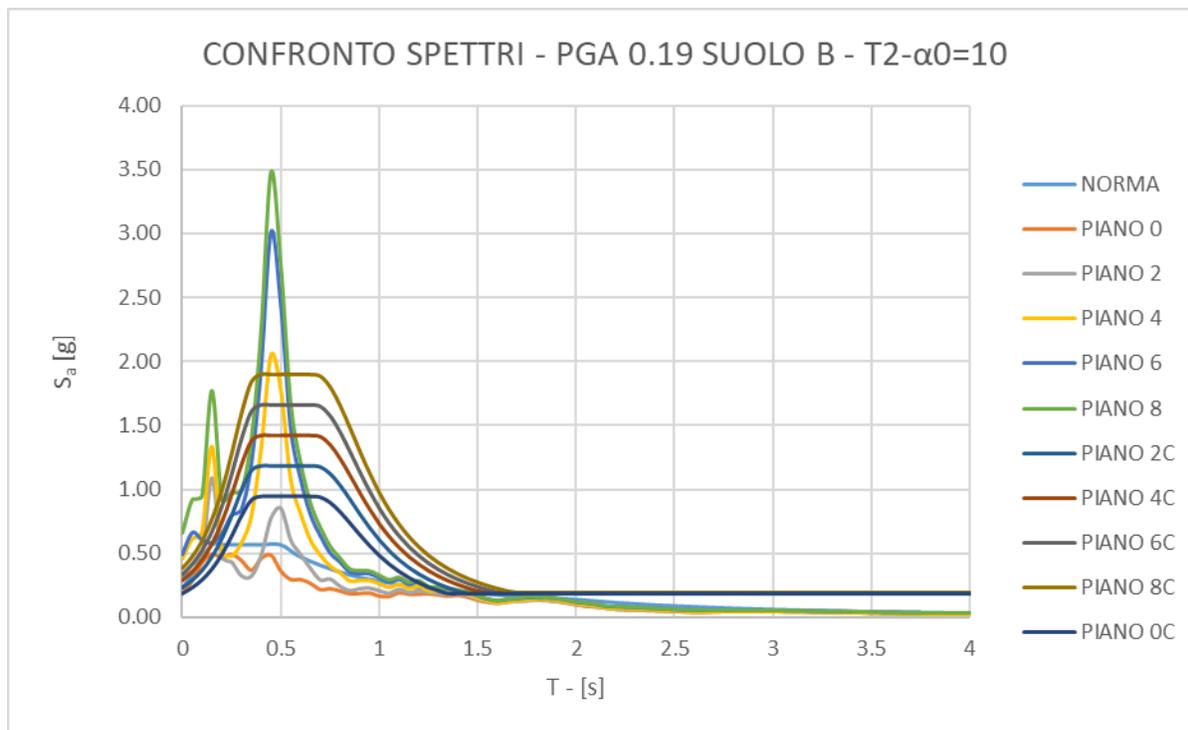
SPETTRI DI PIANO DI RISPOSTA E SPETTRO OTTENUTI DA NORMATIVA PER UN SUOLO B CON PGA0.19g.



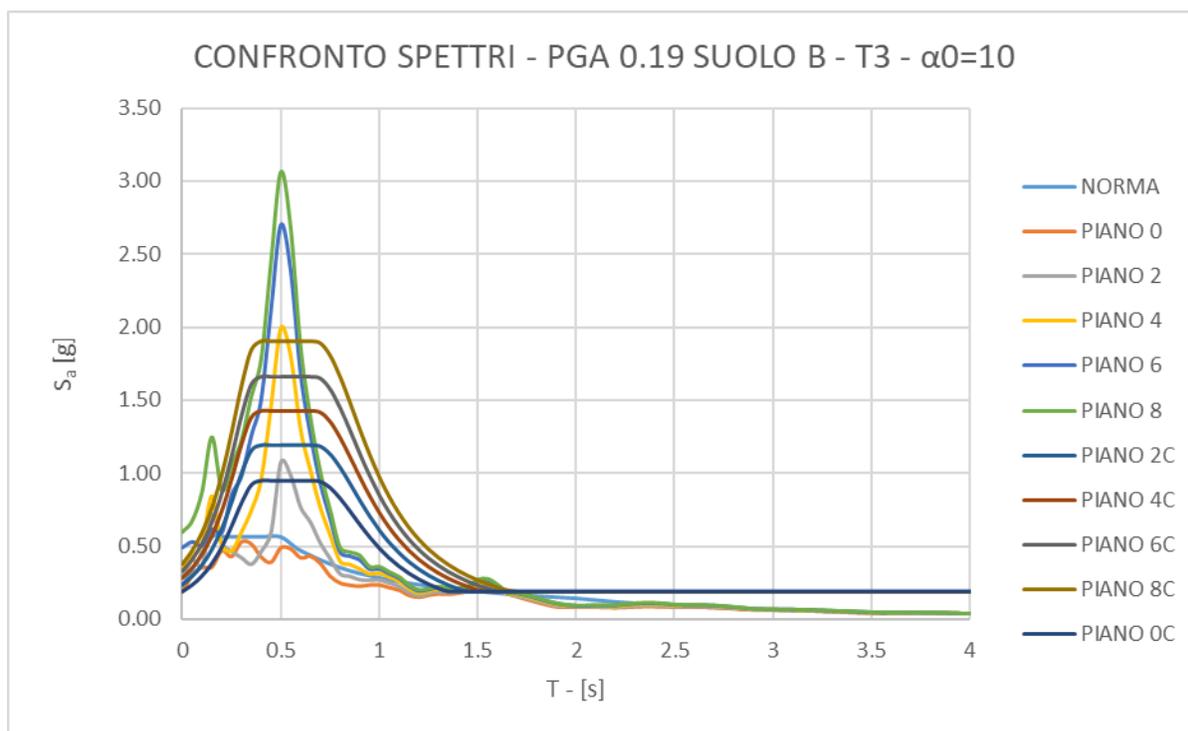
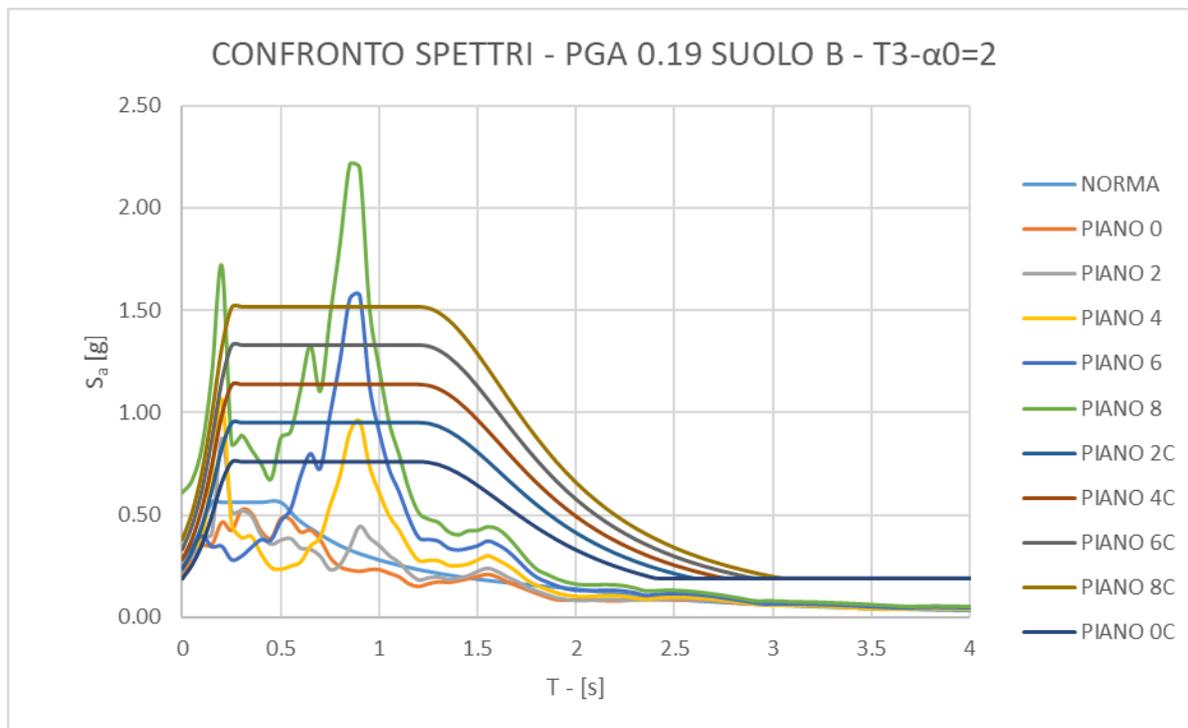
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



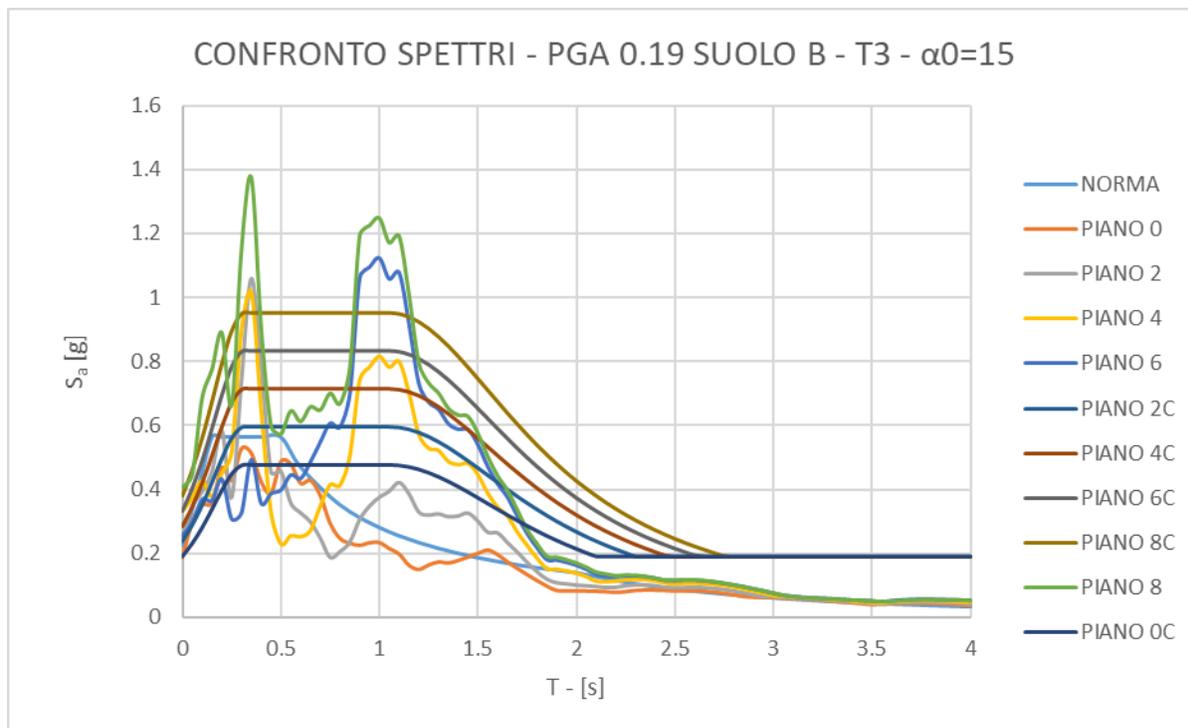
FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



FACCIAE IN VETRO A CAVI SOGGETTE AD ECCITAZIONE SISMICA NON UNIFORME



RINGRAZIAMENTI

Un ringraziamento ai miei relatori, il Professor Mauro Corrado e la Professoressa Anna Reggio, per il loro supporto tecnico e conoscitivo oltre che a quello morale. Ci tengo ad evidenziare come la loro vicinanza mi abbia portato ad appassionarmi giorno dopo giorno al tema delle facciate di vetro sottoposte ad analisi dinamiche, aiutandomi a superare gli ostacoli e sfide palesatesi durante il percorso.

Grazie alla mia famiglia e ai miei amici per il loro supporto morale e vicinanza emotiva mostratami durante il percorso di studi.