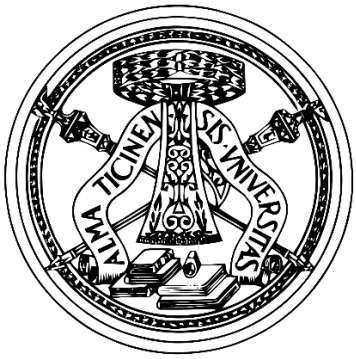


UNIVERSITA' DI PAVIA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E ARCHITETTURA

TESI DI LAUREA

VALUTAZIONE DELL'INTERAZIONE EDIFICIO-CASTELLETTO SOTTO AZIONI SISMICHE

Candidato: Marco Melzi

Relatore: Prof. Giammaria Gabbianelli

Correlatore: Dott. Bryan Chalarca Echeverri

A.A.2025/2026

Indice

INTRODUZIONE 13
1.1 I castelletti metallici per vani ascensore 13
1.2 Interazione con la struttura esistente 15
1.3 Obiettivi e contributo della tesi 16

2. METODOLOGIA DI LAVORO 19
2.1 Struttura della tesi 21

3. PRESENTAZIONE CASO STUDIO 23
3.1 Modellazione del castelletto 23
3.1.1 Sezioni e materiali del castelletto 24
3.1.2 Modellazione dei montanti e traversi su SeismoStruct 25
3.1.3 Modellazione degli ancoraggi su SeismoStruct 27
3.1.4 Modellazione dei vincoli a terra su SeismoStruct 28
3.1.5 Carichi applicati su SeismoStruct 28
3.1.6 Modellazione dei montanti e traversi su OpenSees 30
3.1.7 Modellazione degli ancoraggi su OpenSees 31
3.1.8 Modellazione dei vincoli a terra su OpenSees 31
3.1.9 Carichi applicati su OpenSees 32
3.2 Modellazione dell'edificio in c.a. adiacente 33
3.2.1 Modellazione di travi e pilastri su SeismoStruct 34
3.2.2 Modellazione dei solai su SeismoStruct 42
3.2.3 Modellazione delle scale su SeismoStruct 43
3.2.4 Modellazione dei vincoli a terra su SeismoStruct 43
3.2.5 Carichi applicati su SeismoStruct 43
3.2.6 Modellazione di travi e pilastri su OpenSees 45
3.2.7 Modellazione dei solai su OpenSees 47
3.2.8 Modellazione delle scale su OpenSees 47
3.2.9 Modellazione dei vincoli a terra su OpenSees 47
3.2.10 Carichi applicati su OpenSees 48

4. VALIDAZIONE DEL MODELLO OPENSEES 49
4.1 Analisi modale 49
4.1.1 Impostazioni di analisi 49
4.1.2 Confronti 50
4.2 Analisi dinamiche non lineari 54
4.2.1 Impostazioni di analisi 54
4.2.2 Confronti 56

5. ANALISI DINAMICHE NON LINEARI E RISULTATI 63

5.1 Forze scambiate agli attacchi 64
5.2 Drift interpiano 67
5.3 Spettri di risposta di piano in accelerazione 69

6. MODELLAZIONE AVANZATA DEI COLLEGAMENTI 75
6.1 Dispositivo dissipativo 75
6.2 Forze scambiate agli attacchi 77
6.3 Drift interpiano 80
6.4 Spettri di risposta di piano in accelerazione 84
6.5 Valutazione dell'efficacia dei dispositivi dissipativi 87

7. CONCLUSIONI 91

BIBLIOGRAFIA 93

APPENDICE A – FORZE NEI LINK 95
A.1 Modello castelletto incernierato 95
A.2 Modello edificio+castelletto con ancoraggi rigidi 98
A.3 Modello ancoraggi El-Pl_25 101
A.4 Modello ancoraggi El-Pl_50 104

APPENDICE B – DRIFT DI PIANO 107
B.1 Modello castelletto incernierato 107
B.2 Modello edificio+castelletto con ancoraggi rigidi 118
B.3 Modello edificio+castelletto con ancoraggi rigidi vs ancoraggi El-Pl_50 140
B.4 Modello ancoraggi El-Pl_50 vs ancoraggi El-Pl_25 162

APPENDICE C – SPETTRI DI PIANO IN ACCELERAZIONE 185
C.1 Modello castelletto incernierato 185
C.2 Modello edificio+castelletto con ancoraggi rigidi 195
C.3 Modello ancoraggi El-Pl_25 213
C.4 Modello ancoraggi El-Pl_50 231

Elenco delle figure

Figura 1.1: Esempi di castelletti: installazione esterna addossata alla facciata (a sinistra) e installazione interna nel vano scala (a destra) 14
Figura 3.1: Modello del castelletto 24
Figura 3.2: Vista in pianta del castelletto con la numerazione dei montanti e dei lati (misure in mm) 25
Figura 3.3: Sezioni impiegate per gli elementi del castelletto (misure in mm): (a)-(d) montanti nelle posizioni 1-4; (e) traversi dei lati A, C e D; (f) traversi del lato B; (g) elementi truss in sommità; (h) ancoraggi castelletto-edificio esistente 25
Figura 3.4: Legame costitutivo di Menegotto-Pinto adottato nel castelletto in SeismoStruct 26
Figura 3.5: Gradi di libertà locali dell'elemento NLink 27
Figura 3.6: Curva lin_sym assegnata ai gradi di libertà degli ancoraggi 27
Figura 3.7: Carichi applicati al castelletto in SeismoStruct 29
Figura 3.8: Modello dell'edificio in c.a. adiacente 33
Figura 3.9: Pianta dell'edificio con gli allineamenti e la posizione del castelletto (quote in m) 34
Figura 3.10: Legame costitutivo di Mander et al. adottato per il calcestruzzo dell’edificio in SeismoStruct 35
Figura 3.11: Legame costitutivo di Menegotto-Pinto adottato per l'acciaio delle armature dell’edificio in SeismoStruct 36
Figura 3.12: Sezione del pilastro 40x75_1 36
Figura 3.13: Sezione del pilastro 40x75_2 37
Figura 3.14: Sezione del pilastro 40x65 37
Figura 3.15: Sezione del pilastro 40x40 38
Figura 3.16: Sezione della trave 40x60 39
Figura 3.17: Sezione della trave 40x50 39
Figura 3.18: Sezione della trave 115x22 40
Figura 3.19: Sezione della trave 105x22 40
Figura 3.20: Sezione della trave 40x40 del vano scala 41
Figura 3.21: Modellazione del solaio con due elementi diagonali per campata 42
Figura 3.22: Sezione degli elementi diagonali equivalenti al solaio 43
Figura 3.23: Sezione delle scale adottata su SeismoStruct 43
Figura 4.1: Deformata del primo modo di vibrare: modello SeismoStruct (a sinistra) e modello OpenSees (a destra) 53
Figura 4.2: Deformata del secondo modo di vibrare: modello SeismoStruct (a sinistra) e modello OpenSees (a destra) 53

Figura 4.3: deformata del terzo modo di vibrare: modello SeismoStruct (a sinistra) e modello OpenSees (a destra) 53
Figura 4.4: Accelerogrammi utilizzati nelle analisi di validazione: direzione X (in alto) e direzione Y (in basso) 54
Figura 4.5: Modello SeismoStruct con il nodo in sommità considerato nel confronto (riquadro rosso) 56
Figura 4.6: Storie dello spostamento del nodo in sommità ottenute con SeismoStruct e OpenSees: direzione X (in alto) e direzione Y (in basso) 57
Figura 4.7: Storie del taglio alla base della struttura totale ottenute con SeismoStruct e OpenSees: direzione X (in alto) e direzione Y (in basso) 58
Figura 4.8: Storie del taglio alla base del castelletto ottenute con SeismoStruct e OpenSees: direzione X (in alto) e direzione Y (in basso) 59
Figura 4.9: Storie del taglio alla base dell'edificio in c.a. ottenute con SeismoStruct e OpenSees: direzione X (in alto) e direzione Y (in basso) 60
Figura 5.1: Pianta schematica dell'edificio e del castelletto, con le direzioni di riferimento e la nomenclatura dei nodi 63
Figura 5.2: Forze negli attacchi a RP475: (a) Fx, modello accoppiato; (b) Fx, modello con cerniere; (c) Fy, modello accoppiato; (d) Fy, modello con cerniere 66
Figura 5.3: Drift interpiano in direzione y a RP475, modello accoppiato: (a) edificio, pilastrata alto-sx; (b) castelletto, montante alto-sx 67
Figura 5.4: Drift interpiano in direzione x a RP475, modello accoppiato: (a) edificio, pilastrata alto-sx; (b) castelletto, montante alto-sx; (c) edificio, pilastrata basso-sx; (d) castelletto, montante basso-sx 68
Figura 5.5: Drift interpiano del castelletto a RP475, modello con cerniere: (a) montante alto-sx, direzione x; (b) montante basso-sx, direzione x; (c) montante alto-sx, direzione y 69
Figura 5.6: Spettri di piano del nodo 152 (edificio basso-sx) in direzione x, modello accoppiato: (a) RP30; (b) RP475; (c) mediane per tutti i periodi di ritorno 71
Figura 5.7: Spettri di piano in direzione y a RP475, modello accoppiato: (a) nodo 175 (edificio alto-dx); (b) nodo 233 (castelletto alto-dx) 72
Figura 5.8: Spettri di piano del nodo 233 (castelletto alto-dx) in direzione x, modello accoppiato: (a) RP30; (b) RP475 72
Figura 5.9: Mediane degli spettri di piano del nodo 233 (castelletto alto-dx) per tutti i periodi di ritorno: (a) modello accoppiato, direzione x; (b) modello con cerniere, direzione x; (c) modello accoppiato, direzione y; (d) modello con cerniere, direzione y 73
Figura 6.1: Schema del dispositivo dissipativo 75
Figura 6.2: Legame elastico-perfettamente plastico (ElasticPP) adottato per gli ancoraggi con dispositivo dissipativo 76
Figura 6.3: Forze negli attacchi a RP475: (a) Fx e (b) Fy, modello con ancoraggi rigidi; (c) Fx e (d) Fy, modello El-Pl_50; (e) Fx e (f) Fy, modello El-Pl_25 79
Figura 6.4: Drift interpiano a RP475, confronto tra il modello con ancoraggi rigidi (blu) e il modello El-Pl_50 (rosso), castelletto: (a) montante alto-sx, direzione x; (b)

montante basso-sx, direzione x; (c) montante alto-sx, direzione y; (d) montante alto-dx, direzione y 81

Figura 6.5: Drift interpiano a RP475, confronto tra il modello con ancoraggi rigidi (blu) e il modello El-Pl_50 (rosso), edificio: (a) pilastrata alto-sx, direzione x; (b) pilastrata alto-sx, direzione y 82

Figura 6.6: Drift interpiano a RP475, confronto tra il modello El-Pl_50 (blu) e il modello El-Pl_25 (rosso), castelletto: (a) montante alto-sx, direzione x; (b) montante basso-sx, direzione x; (c) montante alto-sx, direzione y; (d) montante alto-dx, direzione y 83

Figura 6.7: Drift interpiano a RP475, confronto tra il modello El-Pl_50 (blu) e il modello El-Pl_25 (rosso), edificio: (a) pilastrata alto-sx, direzione x; (b) pilastrata alto-sx, direzione y 84

Figura 6.8: Spettri di piano del nodo 152 (edificio basso-sx) in direzione x a RP475: (a) modello con ancoraggi rigidi; (b) modello El-Pl_50; (c) modello El-Pl_25 85

Figura 6.9: Spettri di piano del nodo 233 (castelletto alto-dx) in direzione x a RP475: (a) modello con ancoraggi rigidi; (b) modello El-Pl_50; (c) modello El-Pl_25 86

Figura 6.10: Punti considerati per le verifiche tensionali nelle sezioni degli elementi che convergono negli ancoraggi: montante (a sinistra) e traverso (a destra) 87

Elenco delle tabelle

Tabella 3.1: Rigidezza K_0 assegnata ai gradi di libertà dell'elemento NLink 28
Tabella 3.2: Vincoli a terra del castelletto in SeismoStruct 28
Tabella 3.3: Carichi gravitazionali applicati al castelletto 29
Tabella 3.4: Vincoli a terra dell'edificio in SeismoStruct..... 43
Tabella 3.5: Carichi permanenti distribuiti applicati alle travi dell'edificio, in kN/m. I carichi agiscono in direzione z e il segno negativo indica che sono rivolti verso il basso 44
Tabella 4.1: Periodi dei primi dieci modi di vibrare: modello OpenSees (a sinistra) e modello SeismoStruct (a destra)..... 50
Tabella 4.2: Masse modali partecipanti dei primi dieci modi, modello OpenSees 51
Tabella 4.3: Masse modali partecipanti dei primi dieci modi, modello SeismoStruct..... 51
Tabella 4.4: Masse modali partecipanti dei primi dieci modi in percentuale rispetto alla massa totale, modello OpenSees..... 52
Tabella 4.5: Masse modali partecipanti dei primi dieci modi in percentuale rispetto alla massa totale, modello SeismoStruct 52
Tabella 4.6: Spostamenti massimi del nodo in sommità ottenuti con i due software..... 57
Tabella 4.7: Valori massimi del taglio alla base ottenuti con i due software 60
Tabella 5.1: Valore massimo delle mediane delle forze negli attacchi per ciascun periodo di ritorno (tra parentesi il piano dell'attacco in cui si verifica) del modello accoppiato e del modello con cerniere e relativo rapporto 65
Tabella 5.2: Mediane delle forze negli attacchi a RP475 per ciascun piano e rapporto tra i due modelli..... 66
Tabella 5.3: Nodi di sommità per i quali sono stati calcolati gli spettri di piano e relativa posizione in pianta (vedi Figura 5.1) 70
Tabella 6.1: Livelli di soglia adottati per i dispositivi dissipativi: forze di scorrimento Fx e Fy [kN] e deformazioni di soglia corrispondenti 76
Tabella 6.2: Valore massimo delle mediane delle forze negli attacchi per ciascun periodo di ritorno nei tre modelli (tra parentesi i piani degli attacchi in cui si verifica)..... 78
Tabella 6.3: Mediane delle forze negli attacchi a RP475 per ciascun piano nei tre modelli..... 79
Tabella 6.4: Capacità ultima del castelletto ottenuta per ciascun record e relativa mediana..... 88
Tabella 6.5: Domanda massima mediana nei modelli con dispositivi dissipativi 88

ABSTRACT

In questo lavoro di tesi si analizzano i castelletti esterni per vani ascensore, ossia le strutture metalliche che racchiudono il vano corsa di un ascensore e ne sostengono i componenti. Nella corrente prassi progettuale queste strutture sono dimensionate senza considerare l'interazione con l'edificio a cui sono collegate. Ne deriva una sottostima sia delle azioni nei collegamenti tra le due strutture, con possibile crisi degli elementi principali del castelletto, sia dei drift interpiano, con conseguenze sulla funzionalità.

Il lavoro valuta quindi di quanto le azioni scambiate all'interfaccia e i drift interpiano, calcolati secondo la prassi progettuale corrente, si discostano da quelli ottenuti tenendo conto dell'interazione edificio-castelletto.

Si propone, inoltre, una possibile soluzione ai problemi di crisi degli elementi del castelletto tramite l'introduzione di dispositivi dissipativi che permettono di limitare le azioni e i drift.

INTRODUZIONE

1.1 I castelletti metallici per vani ascensore

Le incastellature, comunemente chiamate castelletti, sono strutture metalliche che racchiudono il vano corsa di un ascensore e sostengono le guide, l'impianto di sollevamento e i dispositivi di sicurezza, consentendo il movimento della cabina in condizioni controllate [1]. Si tratta di una soluzione alternativa al vano in calcestruzzo armato, che si è diffusa soprattutto negli interventi su edifici esistenti, dove la realizzazione di un vano in opera risulta essere un intervento troppo invasivo.

Dal punto di vista costruttivo, il castelletto è costituito da uno scheletro strutturale, formato da montanti verticali e traversi orizzontali che assorbono i carichi. A esso si aggiungono i tamponamenti di chiusura, realizzati solitamente in vetro, lamiere metalliche o pannelli coibentati, le protezioni di sicurezza, come i parapetti e, nelle installazioni esterne, tettoie in corrispondenza delle porte di piano. Infine, il castelletto è collegato alla struttura esistente mediante ancoraggi, fondamentali per garantirne stabilità e sicurezza [1].

I profili in acciaio impiegati per lo scheletro sono tipicamente sezioni sagomate a freddo, collegate tra loro mediante unioni bullonate. La scelta di questi profilati risponde a esigenze precise: la snellezza dei profili permette di ridurre la quantità di materiale impiegato, con un conseguente contenimento dei consumi energetici e dei costi di produzione e un migliore impatto visivo, oltre a una maggiore facilità di trasporto; la prefabbricazione e il montaggio a secco riducono i tempi di costruzione; la possibilità di utilizzo di materiale riciclato limita l'impatto ambientale complessivo.

Le stesse caratteristiche che rendono vantaggiosi i profili sagomati a freddo ne determinano anche i principali limiti: la marcata sensibilità ai fenomeni di instabilità, la forte dipendenza dai dettagli di collegamento, che condizionano notevolmente il comportamento globale dell'elemento, e la ridotta duttilità, conseguenza del processo di piegatura.

Per quanto riguarda il quadro normativo, i componenti strutturali in acciaio devono essere certificati secondo la EN 1090 per poter essere immessi sul mercato europeo. Ne consegue l'obbligo della marcatura CE, accompagnata dalla dichiarazione di prestazione (DoP), che deve riportare l'impiego previsto, le caratteristiche essenziali pertinenti a tale impiego, il livello prestazionale e le responsabilità assunte dal fabbricante. A questi documenti si aggiungono la relazione tecnico-strutturale e il piano di manutenzione [2].

Sul piano progettuale, i profili sagomati a freddo fanno riferimento alla UNI EN 1993-1-3 [3], mentre l'installazione dell'ascensore è regolata dalle UNI EN 81-20, UNI EN 81-50 e UNI EN 81-21[4].

I castelletti si distinguono in due grandi categorie a seconda della collocazione: interni quando la struttura è inserita all'interno dell'edificio, ed esterni quando è collocata al di fuori dell'edificio [5].

Nelle installazioni interne la struttura viene inserita nel vano scala, tipicamente nello spazio compreso tra le rampe. Quando questo spazio risulta insufficiente si procede al taglio di una porzione delle rampe e il castelletto assume temporaneamente anche funzione di sostegno provvisorio durante le lavorazioni.

Nelle installazioni esterne il castelletto viene addossato a una facciata dell'edificio. Questa soluzione è preferita in presenza di spazi interni insufficienti oppure quando vincoli di tutela storico-artistica impediscono modifiche interne. In questi casi è opportuno posizionare le porte di piano all'interno del vano oppure predisporre adeguate protezioni dalle intemperie, come pensiline o pannellature laterali.

In entrambi i casi la struttura è autoportante rispetto ai carichi verticali, ma risulta vincolata all'edificio in più punti lungo l'altezza: è proprio questa condizione, come si vedrà, a costituire il nodo del problema affrontato in questo lavoro di tesi.



Figura 0.1: Esempi di castelletti: installazione esterna addossata alla facciata (a sinistra) e installazione interna nel vano scala (a destra)

Per quanto riguarda le tamponature, la soluzione più diffusa in entrambe le configurazioni è il vetro stratificato antisfondamento, che consente di non sottrarre luce naturale alla scala e garantisce una buona resa visiva. Nelle installazioni esterne questa

soluzione richiede però interventi periodici di manutenzione sulle guarnizioni in gomma tra vetro e struttura, esposte all'azione degli agenti atmosferici. Un'alternativa è rappresentata dai pannelli in cartoncemento, completati da eventuali pannelli isolanti per cappotto termico prima dell'applicazione del rasante e dell'intonaco di finitura. Tale soluzione consente in molti casi di ottenere continuità visiva tra l'edificio e il vano ascensore e non presenta problemi di infiltrazione, riducendo i costi di manutenzione [5].

I castelletti stanno vivendo una forte diffusione negli ultimi anni. Questa è dovuta a diversi fattori: l'invecchiamento della popolazione, che rende necessario dotare di ascensore edifici esistenti che ne sono privi; le agevolazioni fiscali, che riducono sensibilmente l'onere economico dell'intervento; l'evoluzione tecnologica dei materiali, che ha consentito di realizzare strutture più snelle e di minore impatto visivo; l'incremento di valore che l'installazione dell'impianto comporta per l'immobile.

1.2 Interazione con la struttura esistente

Dal punto di vista strutturale, il castelletto è accoppiato all'edificio esistente mediante i collegamenti. Allo stato attuale, tuttavia, i castelletti vengono progettati come strutture a sé stanti, senza considerare l'influenza dell'edificio adiacente. Per fare ciò, i punti di ancoraggio vengono schematizzati come cerniere a terra che bloccano i gradi di libertà traslazionali orizzontali, omettendo quindi la modellazione dell'edificio.

Nella realtà, però, il castelletto è solidale all'edificio e ne segue il movimento. I punti di ancoraggio non sono fissi nello spazio, ma si spostano insieme alla struttura a cui sono collegati, e lo fanno secondo la deformata dell'edificio, diversa da quella che il castelletto assumerebbe se fosse vincolato da cerniere a terra. Il comportamento dinamico ipotizzato in fase di progetto non corrisponde quindi a quello effettivo, e con esso risultano errate anche le sollecitazioni e i drift interpiano calcolati.

Le azioni sugli ancoraggi, in particolare, risultano sottostimate, con conseguenze che interessano più aspetti. Il primo riguarda gli elementi del castelletto che vi convergono. Tali elementi sono dimensionati rispetto alle azioni di progetto, ma queste sono inferiori a quelle effettivamente agenti. È quindi possibile che gli elementi del castelletto possano andare in crisi. Il secondo riguarda la funzionalità dell'impianto. La sottostima delle azioni può provocare danneggiamenti nei collegamenti e/o allentamenti e quindi disallineamenti delle guide, con ripercussioni sulla regolarità del moto della cabina. Infine, le azioni non

correttamente valutate si scaricano sull'edificio esistente, con la possibilità di produrre danneggiamenti localizzati in corrispondenza degli attacchi.

Anche i drift interpiano valutati secondo la pratica progettuale corrente risultano errati. Nel modello del castelletto incernierato i nodi vincolati non possono traslare orizzontalmente: gli spostamenti di interpiano risultano quindi nulli in corrispondenza degli attacchi e diversi da zero solo in una delle due direzioni nei nodi liberi, dove sono comunque sottostimati. Ne derivano conseguenze soprattutto di carattere funzionale, come disallineamenti delle guide, irregolarità del moto della cabina e possibili danneggiamenti di tamponature vetrate e telai delle porte di piano.

1.3 Obiettivi e contributo della tesi

La progettazione attuale dei castelletti porta a una erronea valutazione delle azioni scambiate tra le due strutture e dei drift interpiano. È su tali problemi che si concentra il presente lavoro di tesi.

Il contributo del lavoro consiste nel quantificare l'errore che ne deriva, ossia di quanto le azioni scambiate all'interfaccia e i drift interpiano, calcolati secondo la prassi progettuale corrente, si discostano da quelli ottenuti tenendo conto dell'influenza dell'edificio sul castelletto. Si propone inoltre una soluzione per limitare tali azioni e drift, basata sull’introduzione di dispositivi dissipativi.

A tale scopo si sviluppano quattro modelli. Il primo riproduce il solo castelletto, sostituendo gli ancoraggi con cerniere a terra che impediscono le traslazioni orizzontali, secondo lo schema adottato nella pratica corrente. Gli altri tre comprendono sia il castelletto sia l'edificio, e colgono quindi l'influenza di quest'ultimo sul comportamento del castelletto. Si differenziano tra loro per la modellazione degli ancoraggi. Nel secondo gli ancoraggi sono schematizzati come vincoli rigidi che bloccano gli spostamenti relativi orizzontali tra le due strutture. Nel terzo e nel quarto si introducono i dispositivi dissipativi, modellati attraverso un legame elastico perfettamente plastico in entrambe le direzioni orizzontali: superata una soglia di forza, il castelletto inizia a scorrere rispetto all'edificio.

Tutti i modelli condividono geometria, masse e materiali del castelletto e sono sottoposti agli stessi accelerogrammi. Le differenze tra i primi due sono quindi attribuibili al solo effetto dell'accoppiamento con l'edificio, mentre quelle tra il secondo, il terzo e il quarto dipendono dal comportamento degli ancoraggi.

Il confronto tra le sollecitazioni all'interfaccia e i drift interpiano restituiti dai primi due modelli consente di valutare l'entità della sottostima e di stabilire se possa ritenersi trascurabile. Il confronto tra gli ultimi tre modelli permette invece di valutare l'efficacia dei dispositivi dissipativi nel ridurre le azioni trasmesse al castelletto e drift interpiano.

2. METODOLOGIA DI LAVORO

In questo capitolo si espone l'approccio seguito nel lavoro di tesi. Si riporta in prima battuta un elenco sintetico della strategia adottata, quindi una descrizione più approfondita dei singoli passaggi. Il capitolo si chiude con la descrizione dell'organizzazione dell'elaborato.

La strategia adottata si articola nei seguenti punti:

- definizione di un caso studio rappresentativo, costituito da un castelletto metallico di cinque piani fuori terra addossato a un edificio residenziale in calcestruzzo armato di pari altezza
- costruzione di quattro modelli: il primo con il solo castelletto, vincolato da cerniere in corrispondenza degli attacchi secondo lo schema della prassi progettuale corrente; gli altri tre con castelletto ed edificio accoppiati mediante gli ancoraggi, rigidi nel secondo e in grado di scorrere oltre una soglia di forza nel terzo e nel quarto
- sviluppo del modello accoppiato con ancoraggi rigidi su due software di calcolo, SeismoStruct e OpenSees, e validazione del secondo rispetto al primo
- conduzione di analisi dinamiche non lineari sui primi due modelli sviluppati su OpenSees, per diversi periodi di ritorno e diversi accelerogrammi
- confronto delle sollecitazioni all'interfaccia restituite dai primi due modelli, dei drift interpiano e degli spettri di piano in accelerazione relativi ai nodi in sommità
- calibrazione dei dispositivi dissipativi del terzo e del quarto modello
- conduzione di analisi dinamiche non lineari sugli ultimi due modelli su OpenSees, per diversi periodi di ritorno e diversi accelerogrammi
- confronto tra i tre modelli accoppiati e valutazione dell'efficacia dei dispositivi dissipativi nella protezione degli elementi del castelletto
- elaborazione delle conclusioni

Il caso di studio è definito in modo da riprodurre una configurazione ricorrente nella pratica: un castelletto esterno addossato alla facciata di un edificio esistente e a esso collegato in ogni piano. Si è adottato un castelletto effettivamente realizzato, in profili sagomati a freddo, così da fare riferimento a una struttura reale e già verificata in fase di progetto.

L'edificio è un telaio in calcestruzzo armato, anch'esso esistente. Poiché il castelletto era stato progettato per un edificio diverso, per rendere le due strutture compatibili è stato aggiunto un piano al fabbricato, portandone l'altezza a coincidere con quella del castelletto. Si è preferito intervenire sull'edificio anziché sul castelletto, così da mantenere quest'ultimo

nella configurazione realmente realizzata; l'unica differenza rispetto al progetto originale riguarda quindi la quota dei punti di ancoraggio.

Geometria, sezioni e materiali delle due strutture, insieme alla loro modellazione su SeismoStruct e OpenSees, sono descritti nel Capitolo 3. Nello stesso capitolo è riportata anche la modellazione degli ancoraggi nei primi due modelli. Il dispositivo dissipativo adottato nel terzo e nel quarto modello e la calibrazione della soglia di scorrimento sono invece descritti nel Capitolo 6.

Il confronto su cui si fonda il lavoro richiede quattro modelli. Il primo riproduce il solo castelletto, con gli ancoraggi sostituiti da cerniere a terra che impediscono le traslazioni orizzontali, seguendo quindi lo schema adottato correntemente in fase di progetto. Gli altri tre comprendono sia il castelletto sia l'edificio, collegati tramite gli ancoraggi, e colgono quindi l'influenza del fabbricato sul comportamento della struttura metallica. Si differenziano per il legame assegnato agli ancoraggi. Nel secondo modello gli ancoraggi sono schematizzati come vincoli rigidi che bloccano gli spostamenti relativi orizzontali tra le due strutture. Nel terzo e nel quarto il legame è elastico perfettamente plastico: finché la forza trasmessa resta inferiore a una soglia prefissata il collegamento si comporta in maniera analoga al secondo modello, mentre al suo superamento il castelletto scorre rispetto all'edificio.

Tutti i modelli condividono geometria, sezioni, materiali e masse del castelletto e sono sottoposti agli stessi accelerogrammi. Le differenze tra i primi due sono quindi attribuibili al solo effetto dell'accoppiamento con l'edificio, mentre quelle tra gli ultimi tre modelli dipendono dal comportamento degli ancoraggi.

Il secondo modello, con ancoraggi rigidi, è l’unico sviluppato su entrambi i software di calcolo, impiegati con finalità diverse. SeismoStruct dispone di un’interfaccia grafica che rende la costruzione del modello rapida e poco soggetta a errori, ma non consente di automatizzare l’estrazione dei risultati. OpenSees richiede invece la scrittura del modello in forma testuale, più laboriosa, ma permette di estrarre automaticamente i risultati delle analisi. Il modello SeismoStruct serve quindi da riferimento per validare quello OpenSees.

La validazione si articola in due fasi. La prima confronta i periodi propri e le masse modali partecipanti restituiti da un’analisi agli autovalori, per verificare che i due modelli descrivano lo stesso comportamento dinamico. La seconda confronta i risultati di un’analisi dinamica non lineare condotta su entrambi i modelli con il medesimo accelerogramma, in termini di spostamento di un nodo in sommità e di taglio alla base nelle due direzioni.

Superata la validazione, gli altri tre modelli sono sviluppati unicamente su OpenSees a partire da quello validato. Il primo si ottiene eliminando l'edificio e sostituendo gli ancoraggi con cerniere a terra. Il terzo e il quarto si ottengono modificando il solo legame degli ancoraggi. Tutte le analisi dinamiche non lineari sono quindi condotte su OpenSees.

Le analisi dinamiche non lineari sono condotte sottoponendo la struttura a più gruppi di accelerogrammi, ciascuno rappresentativo di un diverso periodo di ritorno. Si considerano otto periodi di ritorno e venti coppie di accelerogrammi, applicate simultaneamente nelle due direzioni orizzontali, per un totale di centosessanta analisi per modello. Questa impostazione deriva dall'obiettivo del lavoro, ossia valutare le azioni scambiate tra le due strutture e i drift interpiano in corrispondenza di diversi livelli di intensità. Il ricorso a venti record per livello consente inoltre di trattare i risultati in termini statistici, riducendo il peso della variabilità del singolo accelerogramma.

Il sito considerato per le analisi è quello di Corfinio, comune in provincia dell'Aquila. La scelta di una zona a sismicità medio-alta permette di ottenere livelli di sollecitazione significativi ai fini dell'indagine.

La selezione dei record richiede la scelta di una misura di intensità, ossia della grandezza rispetto alla quale i record di uno stesso livello sono resi coerenti tra loro. A tale scopo si è impiegata l'accelerazione spettrale media AvgSa, valutata su un intervallo di periodi definito in funzione delle caratteristiche dinamiche della struttura. Gli spettri dei venti accelerogrammi di uno stesso livello possono presentare andamenti anche molto diversi al di fuori di tale intervallo, mentre al suo interno condividono un'intensità simile. Rispetto all'impiego della PGA, questa misura comporta una minore dispersione dei risultati.

Per ciascuna analisi sono estratte diverse grandezze. Le principali sono:

- le forze scambiate negli elementi di collegamento
- gli spostamenti dei nodi d'angolo del castelletto e dell'edificio, da cui si ricavano i drift interpiano
- le accelerazioni dei nodi di sommità, dalle quali si ricavano gli spettri di risposta di piano in accelerazione

2.1 Struttura della tesi

La tesi è organizzata in sette capitoli, i quali ripercorrono la sequenza logica seguita.

Il Capitolo 1 introduce i castelletti metallici per gli ascensori, descrivendone le caratteristiche costruttive, le tipologie e il quadro normativo di riferimento; illustra quindi il

problema dell'interazione con la struttura esistente e le conseguenze che ne derivano e definisce infine gli obiettivi del lavoro.

Il Capitolo 2 espone l'approccio metodologico adottato e la struttura dell'elaborato.

Il Capitolo 3 presenta il caso studio. Vi sono descritte la geometria, le sezioni e i materiali del castelletto e dell'edificio adiacente, le scelte di modellazione adottate sui due software impiegati e i legami degli ancoraggi nei primi due modelli. Il capitolo costituisce il riferimento per tutte le analisi successive, che sono condotte sui modelli qui definiti.

Il Capitolo 4 riporta la validazione del modello OpenSees rispetto a quello SeismoStruct, mediante il confronto dei risultati dell'analisi modale e di un'analisi dinamica non lineare. Il capitolo precede le analisi vere e proprie perché stabilisce l'attendibilità del modello OpenSees.

Il Capitolo 5 raccoglie le analisi dinamiche non lineari condotte sui primi due modelli e i risultati ottenuti. Il confronto tra le sollecitazioni all'interfaccia e i drift interpiano restituiti dai due modelli permette di quantificare la sottostima prodotta dallo schema di progetto.

Il Capitolo 6 introduce il terzo e il quarto modello, nei quali i dispositivi dissipativi consentono lo scorrimento del castelletto rispetto all’edificio oltre una soglia di forza. Il confronto tra i tre modelli accoppiati permette di valutare l’efficacia dei dispositivi dissipativi sulle forze agli attacchi, sui drift interpiano, sugli spettri di piano in accelerazione e sulla protezione degli elementi del castelletto.

Il Capitolo 7 riporta le conclusioni, i limiti e i possibili sviluppi futuri.

3. PRESENTAZIONE CASO STUDIO

In questo capitolo si presentano la tipologia di edificio e di castelletto analizzati, i materiali adottati e la modellazione sviluppata su due diversi software di calcolo: SeismoStruct e OpenSees.

L'uso di due software risponde a esigenze diverse. Il modello in SeismoStruct è più rapido e semplice da costruire grazie all'interfaccia grafica e serve a validare quello in OpenSees, che va scritto in forma testuale ed è quindi più laborioso e più soggetto a errori. OpenSees consente di automatizzare l'estrazione dei risultati, aspetto essenziale visto il numero di record utilizzati.

3.1 Modellazione del castelletto

Il castelletto analizzato è un telaio spaziale di cinque piani fuori terra, con tamponature in vetro, per un'altezza complessiva di circa 16,7 m. Lo scheletro è formato da montanti e traversi in profilati sagomati a freddo a sezione aperta, uniti tra loro con unioni bullonate. Il telaio è collegato all'edificio a ogni piano mediante degli ancoraggi.

In fossa è presente una piastra saldata collegata mediante tassellature a una platea in calcestruzzo armato e ai montanti tramite piastre metalliche.

Trattandosi di un castelletto esterno, in sommità è prevista una pensilina inclinata, completata da pluviali e scossaline.

Per l'impianto di sollevamento si è scelta la tipologia più diffusa in Italia, ossia l'ascensore oleodinamico. In questo sistema il movimento della cabina è dato da un pistone idraulico alimentato da una centralina, collegata al pistone da una tubazione in cui scorre l'olio in pressione [6].



Figura 3.1: Modello del castelletto

3.1.1 Sezioni e materiali del castelletto

Gli elementi del castelletto sono in acciaio S250GD+Z, le cui principali caratteristiche meccaniche sono riportate di seguito.

$f_{yk} = \text{tensione caratteristica di snervamento} = 250\ \text{MPa}$

$f_{tk} = \text{tensione caratteristica di rottura} = 330\ \text{MPa}$

$E_s = \text{modulo di Young} = 200000\ \text{MPa}$

$\gamma_s = \text{peso specifico} = 78\ \text{kN/m}^3$

Si riportano di seguito la vista in pianta del castelletto e le sezioni adottate.

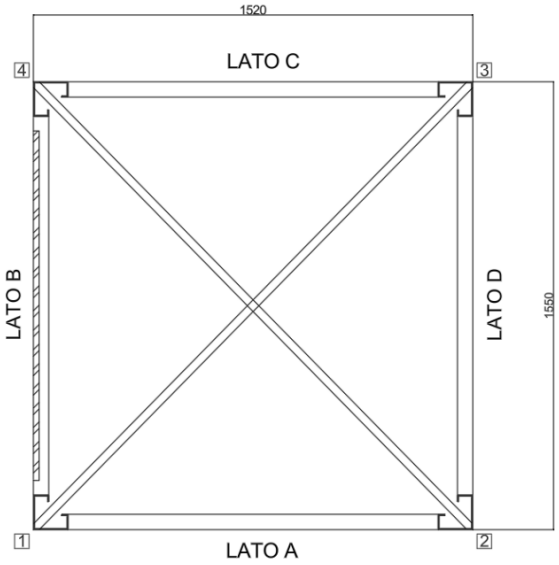


Figura 3.2: Vista in pianta del castelletto con la numerazione dei montanti e dei lati (misure in mm)

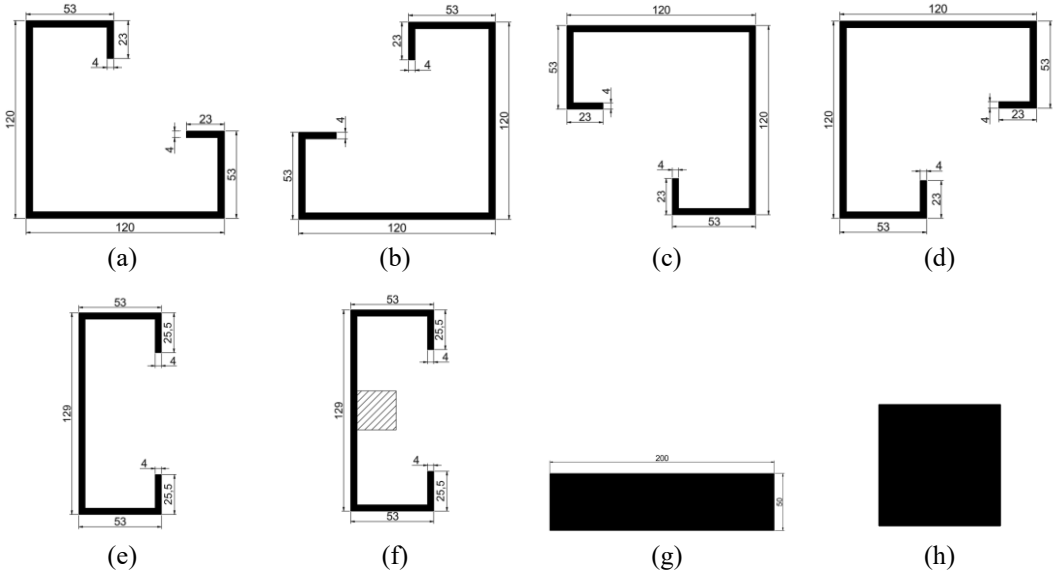


Figura 3.3: Sezioni impiegate per gli elementi del castelletto (misure in mm): (a)-(d) montanti nelle posizioni 1-4; (e) traversi dei lati A, C e D; (f) traversi del lato B; (g) elementi truss in sommità; (h) ancoraggi castelletto-edificio esistente

3.1.2 Modellazione dei montanti e traversi su SeismoStruct

La modellazione dei montanti e traversi parte dalla definizione del materiale.

È stato adottato il modello di Menegotto-Pinto, ossia un legame costitutivo uniassiale per l'acciaio che riproduce il comportamento ciclico isteretico sotto azione sismica. Questo tipo di modello permette di avere una maggiore stabilità e precisione numerica quando viene applicato un carico sismico [7].

Si riportano nel dettaglio le caratteristiche adottate:

- Modulo di elasticità: E = 2,00E+008 kPa
- Tensione di snervamento: f_y = 250000,00 kPa
- Parametro di incrudimento: b = 0,005
- Parametro di forma iniziale della curva di transizione: R_0 = 20,00
- Coefficiente di calibrazione della forma della curva di transizione: a_1 = 18,50
- Coefficiente di calibrazione della forma della curva di transizione: a_2 = 0,15
- Coefficiente di calibrazione dell'incrudimento isotropo: a_3 = 0,00
- Coefficiente di calibrazione dell'incrudimento isotropo: a_4 = 1,00
- Deformazione di rottura/instabilità: ε_{su} = 0,20
- Peso specifico: γ = 78,00 kN/m³

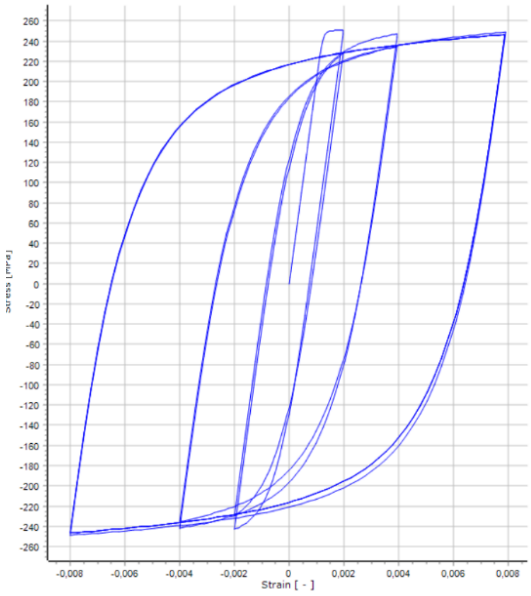


Figura 3.4: Legame costitutivo di Menegotto-Pinto adottato nel castelletto in SeismoStruct

Le sezioni utilizzate sono le medesime descritte nel paragrafo 3.1.1.

Si utilizzano profili sagomati a freddo, nei quali la forma si ottiene per piegatura, con una deformazione plastica residua nelle zone piegate. La duttilità di tali profili risulta essere bassa, per cui non è realistico modellare un comportamento plastico degli elementi. Per questo motivo montanti e traversi sono modellati come elementi elastici lineari, con la classe elfrm (elastic frame element), utilizzata quando non è richiesto l'uso di elementi inelastici. Si tiene comunque conto degli effetti P-delta e dei grandi spostamenti e rotazioni.

3.1.3 Modellazione degli ancoraggi su SeismoStruct

In SeismoStruct si modella una sola tipologia di ancoraggio, in cui gli ancoraggi bloccano gli spostamenti relativi orizzontali tra castelletto ed edificio. Il modello SeismoStruct serve infatti solo a validare quello OpenSees, e la validazione riguarda il solo secondo modello, dal quale derivano tutti gli altri. Le tipologie di ancoraggio adottate negli altri modelli sono quindi sviluppate unicamente in OpenSees.

Gli ancoraggi sono modellati con elementi link della classe NLink, i quali trasferiscono azione assiale, taglio e momento in modo disaccoppiato. Ogni link collega due nodi coincidenti e richiede la definizione di una curva forza-spostamento o momento-rotazione per ciascuno dei sei gradi di libertà locali (F_1, F_2, F_3, M1, M_2, M_3).

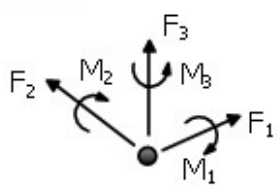


Figura 3.5: Gradi di libertà locali dell'elemento NLink

Le curve adottate sono di tipo lin_sym, ossia lineari e simmetriche, definite dalla sola rigidezza iniziale K_0.

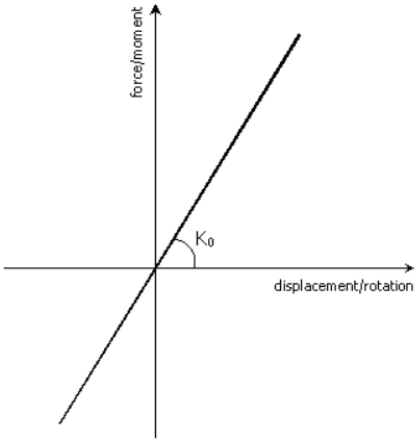


Figura 3.6: Curva lin_sym assegnata ai gradi di libertà degli ancoraggi

L'ancoraggio accoppia le sole traslazioni orizzontali di edificio e castelletto, con scorrimento relativo pressoché nullo, mentre la traslazione verticale e le rotazioni rimangono

libere. La rigidezza K_0 dei gradi di libertà F_1 e F_2 è quindi posta pari a 10000 kN/m, mentre quella degli altri gradi di libertà è nulla.

Tabella 3.1: Rigidezza K_0 assegnata ai gradi di libertà dell'elemento NLink

GDL	K_0
F1	10000
F2	10000
F3	0
M1	0
M2	0
M3	0

3.1.4 Modellazione dei vincoli a terra su SeismoStruct

Sono stati modellati dei vincoli a terra tipo incastro.

Tabella 3.2: Vincoli a terra del castelletto in SeismoStruct

Nodi	Posizione	GDL vincolati
301-304 (4 nodi)	nodi del castelletto alla base	x+y+z+rx+ry+rz (incastro)

3.1.5 Carichi applicati su SeismoStruct

I carichi gravitazionali applicati derivano dal tipo di analisi svolte: si eseguono analisi dinamiche non lineari, la quali fanno riferimento alla combinazione sismica delle azioni. Vento e neve non sono quindi considerati, perché in tale combinazione il loro contributo è nullo. Le azioni da valutare sono pertanto il peso proprio degli elementi strutturali, il peso proprio non strutturale delle tamponature e i carichi dell'ascensore.

Il peso proprio degli elementi strutturali è calcolato e applicato automaticamente dal software.

Per le tamponature si assume un carico distribuito sui traversi orizzontali pari a 0,373 kN/m.

Per l'ascensore si considera la configurazione più gravosa, con la cabina all'ultimo piano. I carichi inseriti sono di due tipi. Il primo è costituito da forze nodali orizzontali, che rappresentano le azioni trasmesse dalla cabina alle guide e, attraverso queste, al castelletto. Sono valutate nella condizione più gravosa, cioè all'intervento del paracadute. Tali forze generano anche un momento, dovuto all'eccentricità dei punti di applicazione. Il secondo tipo è costituito da forze nodali verticali, che rappresentano il peso della cabina e del motore.

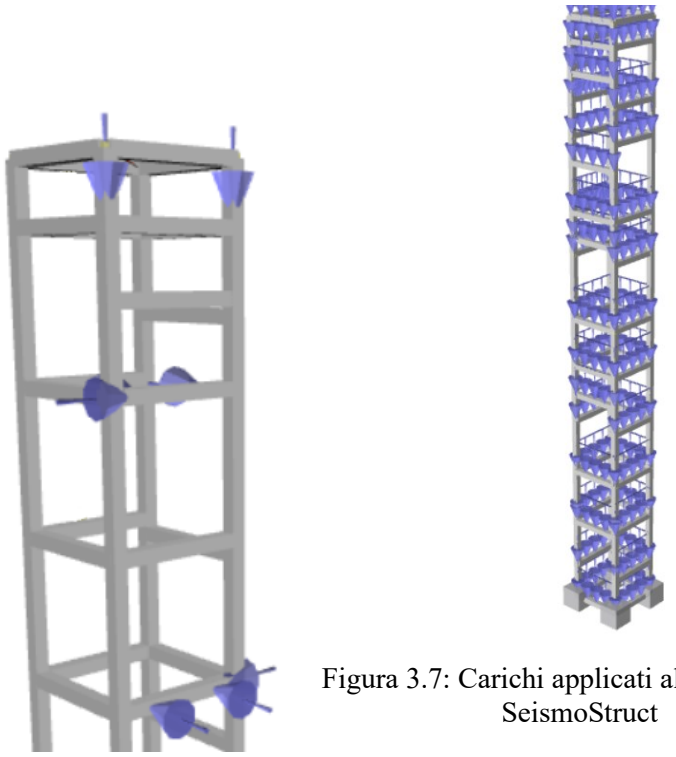


Figura 3.7: Carichi applicati al castelletto in SeismoStruct

Di seguito si riportano le tabelle riassuntive dei carichi gravitazionali applicati.

Tabella 3.3: Carichi gravitazionali applicati al castelletto

Elementi / nodi	Descrizione	Direzione	Valore
77–80, 82–87, 92–137	Peso delle tamponature, distribuito su tutti i traversi	z	−0,373 kN/m
5, 6	Azioni trasmesse dalla cabina alle guide all'intervento del paracadute, applicate agli attacchi delle staffe a quota 14,55 m	x	−3,2 kN
7, 8	Azioni trasmesse dalla cabina alle guide all'intervento del paracadute, applicate agli attacchi delle staffe a quota 11,55 m	x	+3,2 kN
5	Azioni trasmesse dalla cabina alle guide all'intervento del paracadute, applicate agli attacchi delle staffe a quota 14,55 m	y	−1,1 kN
8	Azioni trasmesse dalla cabina alle guide all'intervento del paracadute, applicate agli attacchi delle staffe a quota 11,55 m	y	+1,1 kN
1603, 2001	Peso della cabina, con la cabina all'ultimo piano, e del motore	z	−2,5 kN

3.1.6 Modellazione dei montanti e traversi su OpenSees

Per modellare un elemento strutturale in OpenSees occorre prima definire la trasformazione geometrica, che stabilisce come le grandezze passano dal sistema di riferimento locale dell'elemento a quello globale del modello. Tale trasformazione è necessaria perché gli elementi trave-colonna sono formulati in coordinate locali, mentre la matrice di rigidezza e la soluzione del sistema sono scritte in coordinate globali.

È stata utilizzata la trasformazione PDelta, che tiene conto degli effetti del secondo ordine prodotti dal carico assiale sulla configurazione deformata.

Nella trasformazione va anche indicato il vettore vecxz, che orienta gli assi locali rispetto al sistema globale. L'asse x è determinato in automatico congiungendo il nodo i al nodo j; vecxz individua, insieme a x, il piano locale x-z. È quindi possibile ricavare la terna di assi locali.

Per i montanti e traversi gli assi locali sono stati orientati secondo gli assi principali d'inerzia delle rispettive sezioni.

La sintassi utilizzata è quindi la seguente:

- Trasformazione geometrica montanti: op.geomTransf('PDelta',Tag_el,1.0,1.0,0.0)
- Trasformazione geometrica montanti: op.geomTransf('PDelta',Tag_el,1.0,-1.0,0.0)
- Trasformazione geometrica traversi: op.geomTransf('PDelta',Tag_el,0.0,0.0,1.0)

Specificata la trasformazione, si passa alla definizione dell'elemento. Montanti e traversi sono modellati come elementi elastici lineari, secondo la formulazione elasticBeamColumn. Tale espressione è la più semplice tra quelle disponibili in OpenSees e si basa sulla teoria della trave di Eulero-Bernoulli in campo elastico lineare. La sezione non è discretizzata a fibre e le proprietà geometriche e meccaniche sono costanti lungo l'elemento.

Un aspetto rilevante nella definizione dell'elemento elasticBeamColumn riguarda il parametro opzionale relativo alla massa distribuita (-mass), che assegna la massa per unità di lunghezza. OpenSees, a differenza di altri software di calcolo, non converte automaticamente i carichi gravitazionali in massa: se questa non viene assegnata in modo esplicito, l'elemento risulta privo di massa e l'analisi agli autovalori restituisce periodi e forme modali errati.

La sintassi utilizzata è quindi la seguente:

```
op.element('elasticBeamColumn',Tag_el,nodo i,nodo
j,A,E,G,J,Iy,Iz,Tag_transfgeom,'-mass',valore della massa)
```

3.1.7 Modellazione degli ancoraggi su OpenSees

Gli ancoraggi in OpenSees sono modellati come elementi ZeroLength, cioè elementi a lunghezza nulla definiti da due nodi coincidenti, usati per rappresentare collegamenti puntuali come cerniere plastiche o unioni tra parti distinte della struttura. L'elemento collega direttamente i gradi di libertà dei due nodi attraverso un legame costitutivo uniassiale, assegnato in modo indipendente per ciascuna direzione traslazionale e rotazionale e implementato attraverso la definizione di un materiale: per ogni direzione va indicato quale materiale governa la relazione forza-spostamento o momento-rotazione.

Nel secondo modello, alle due traslazioni orizzontali del collegamento tra castelletto ed edificio è assegnato un materiale elastico con rigidezza pari a 10000 kN/m, mentre alle restanti direzioni è associato un materiale elastico a rigidezza nulla, corrispondente a un vincolo libero. Così facendo, si definisce un vincolo tipo cerniera, analogo a quello modellato su SeismoStruct.

I materiali impiegati sono definiti come segue:

```
op.uniaxialMaterial('Elastic',6,1.00000000000000E+0004)
op.uniaxialMaterial('Elastic',7,1.00000000000000E+0004)
op.uniaxialMaterial('Elastic',8,0.00000000000000E+0000)
op.uniaxialMaterial('Elastic',9,0.00000000000000E+0000)
op.uniaxialMaterial('Elastic',10,0.00000000000000E+0000)
op.uniaxialMaterial('Elastic',11,0.00000000000000E+0000)
```

La sintassi utilizzata per la modellazione degli ancoraggi è quindi la seguente:

```
op.element('zeroLength',Tag_el,nodo i,nodo j,'-mat',6,7,8,9,10,11,'-
dir',1,2,3,4,5,6)
```

Nel terzo e nel quarto modello gli ancoraggi sono rappresentati con lo stesso elemento e con la stessa sintassi, ma alle due traslazioni orizzontali è assegnato un legame che permette lo scorrimento relativo tra castelletto ed edificio. Tale legame è descritto nel Capitolo 6.

Nel primo modello, corrispondente allo schema adottato nella progettazione corrente, il solo castelletto è vincolato da cerniere a terra in corrispondenza degli attacchi. Le cerniere bloccano i gradi di libertà traslazionali orizzontali e sono definite con il comando fix, descritto al paragrafo 3.1.8.

La sintassi utilizzata per la modellazione di tali cerniere è la seguente:

```
op.fix(Tag_nodo,1,1,0,0,0,0)
```

3.1.8 Modellazione dei vincoli a terra su OpenSees

Analogamente a quanto eseguito su SeismoStruct, sono stati modellati dei vincoli a terra tipo incastro.

Per l'implementazione di tali vincoli viene utilizzato il comando fix, il quale assegna le condizioni di vincolo esterno ai nodi alla base del modello: per ciascun grado di libertà, se vincolato richiede il valore 1, mentre se è libero 0.

La sintassi utilizzata per la modellazione dei vincoli a terra è quindi la seguente:

```
op.fix(Tag_nodo,1,1,1,1,1,1)
```

3.1.9 Carichi applicati su OpenSees

I carichi gravanti sul castelletto sono i medesimi impiegati sul modello SeismoStruct.

Per applicarli in OpenSees occorre definire in primo luogo la legge di variazione nel tempo e il pattern che li raccoglie. Il comando timeSeries definisce l'andamento temporale del load factor: si adotta il tipo Linear, che lo fa crescere in maniera proporzionale al tempo.

La sintassi usata è la seguente:

```
op.timeSeries('Linear',Tag_timeseries)
```

Il comando pattern raggruppa poi i carichi che seguono la stessa legge temporale. Si utilizza il tipo Plain, utilizzato tipicamente per racchiudere e definire forze statiche o quasi statiche.

La sintassi usata è la seguente:

```
op.pattern('Plain',Tag_pattern,Tag_timeseries)
```

All'interno del pattern, i carichi gravitazionali sono applicati sui traversi mediante il comando eleLoad. Si utilizza l'opzione -beamUniform, che definisce un carico uniformemente distribuito lungo l'elemento attraverso le sue componenti nel sistema di riferimento locale: la prima è il carico in direzione y locale, la seconda quello in direzione z locale, la terza il carico lungo x locale.

La sintassi utilizzata per la modellazione dei carichi sui traversi è la seguente:

```
op.eleLoad('-ele',Tag_el,'-type','-beamUniform',0.00,-0.373,0.00)
```

Le forze concentrate dell'impianto sono applicate ai nodi con il comando load, che assegna a un nodo le sei componenti di carico nel sistema di riferimento globale.

La sintassi usata è quindi:

```
op.load(Tag_Node, Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz)
```

Poiché OpenSees non converte i carichi in massa, alle stesse posizioni va assegnata anche la massa corrispondente, con il comando mass. Anch'esso richiede sei componenti, una per ciascun grado di libertà del nodo. Le masse rotazionali sono poste pari a zero.

La sintassi usata è quindi:

```
op.mass(Tag_Node, Mx, My, Mz, 0.0, 0.0, 0.0)
```

3.2 Modellazione dell’edificio in c.a. adiacente

L'edificio adiacente al castelletto è un telaio spaziale in calcestruzzo armato di cinque piani fuori terra, per un'altezza complessiva di circa 16,7 m. In pianta misura 25x13,6 m e presenta 24 pilastrate, con 4 travate in direzione x e 6 in direzione y.

L'edificio è realizzato in calcestruzzo armato: il calcestruzzo è di classe C20/25 e le armature sono in acciaio B450C.

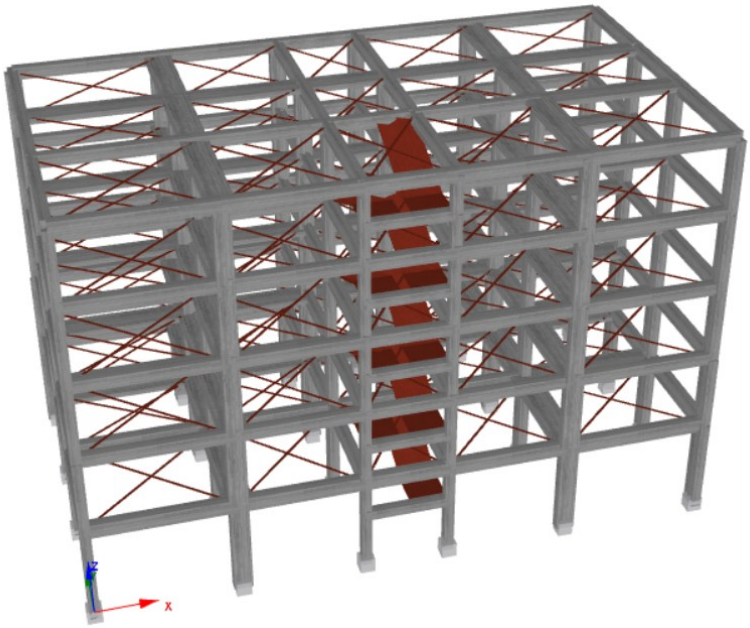


Figura 3.8: Modello dell'edificio in c.a. adiacente

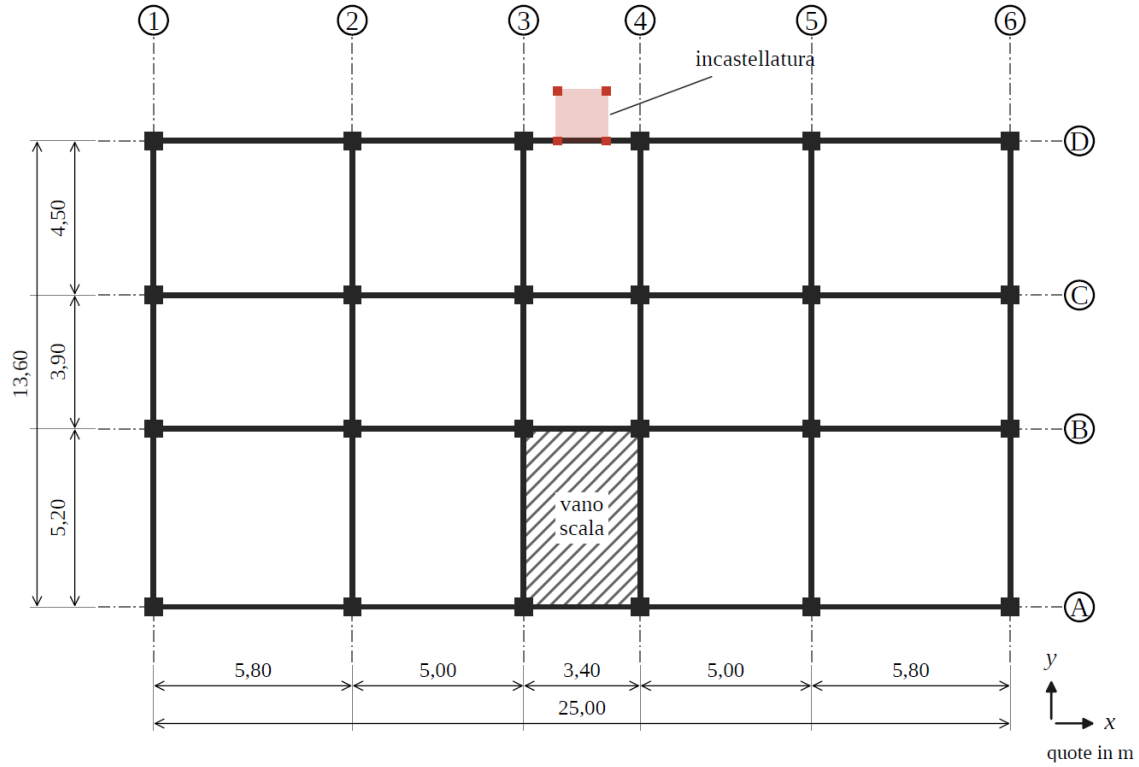


Figura 3.9: Pianta dell'edificio con gli allineamenti e la posizione del castelletto (quote in m)

Per individuare gli elementi del modello si fa riferimento al sistema di allineamenti riportato in Figura 3.9. Gli allineamenti 1–6 sono paralleli all'asse y, gli allineamenti A–D all'asse x. I piani sono numerati da 0 (piano di fondazione) a 5 (copertura) e si trovano alle quote 0,00, 4,00, 7,20, 10,40, 13,60 e 16,67 m.

Ogni nodo prende il nome dal piano e dall'incrocio degli allineamenti: per esempio, 2_B3 è il nodo del piano 2 all'intersezione fra gli allineamenti B e 3. Il nome delle travi è composto dal prefisso Beam, dall'allineamento su cui giace la trave, dal piano e dalla campata. Così Beam_B2_4-5 è la trave dell'allineamento B al piano 2, compresa fra gli allineamenti 4 e 5, mentre Beam_32_A-B è la trave dell'allineamento 3 al piano 2, compresa fra gli allineamenti A e B. Le campate divise in più tratti, in corrispondenza della scala o degli ancoraggi dell'incastellatura, sono distinte da un suffisso aggiuntivo (a, b, SX, C, DX).

3.2.1 Modellazione di travi e pilastri su SeismoStruct

La modellazione di travi e pilastri parte dalla definizione dei materiali.

Per il calcestruzzo è stato adottato il modello di Mander et al., un legame uniassiale non lineare a confinamento costante, assumendo un comportamento no traction, ossia privo di resistenza a trazione.

Di seguito si riportano nel dettaglio le caratteristiche adottate:

- Resistenza a compressione media: f_c = 28000,00 kPa
- Resistenza a trazione: f_t = 0,00 kPa
- Modulo di elasticità: E = 2,4870E+007 kPa
- Deformazione al picco di tensione: ε_c = 0,002 m/m
- Peso specifico: γ = 24,00 kN/m³
- Fattore di confinamento: k_c = 1,0

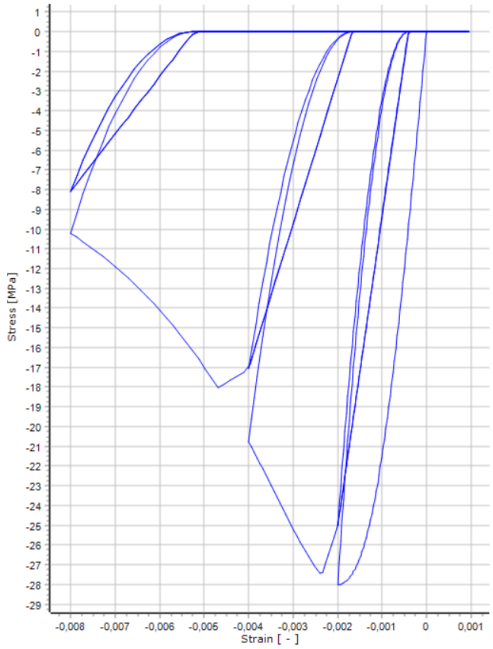


Figura 3.10: Legame costitutivo di Mander et al. adottato per il calcestruzzo dell'edificio in SeismoStruct

Per l'acciaio è stato adottato il modello di Menegotto-Pinto, un legame costitutivo uniassiale che riproduce il comportamento ciclico isteretico sotto azione sismica.

Di seguito si riportano nel dettaglio le caratteristiche adottate:

- Modulo di elasticità: E = 2,0000E+008 kPa
- Tensione di snervamento: f_y = 450000,00 kPa
- Parametro di incrudimento: b = 0,005
- Parametro di forma iniziale della curva di transizione: R_0 = 20,00
- Coefficiente di calibrazione della forma della curva di transizione: a_1 = 18,50
- Coefficiente di calibrazione della forma della curva di transizione: a_2 = 0,15
- Coefficiente di calibrazione dell'incrudimento isotropo: a_3 = 0,00
- Coefficiente di calibrazione dell'incrudimento isotropo: a_4 = 1,00

- Deformazione di rottura/instabilità: $\varepsilon_{su} = 0{,}20$
- Peso specifico: $\gamma = 78{,}00$ kN/m³

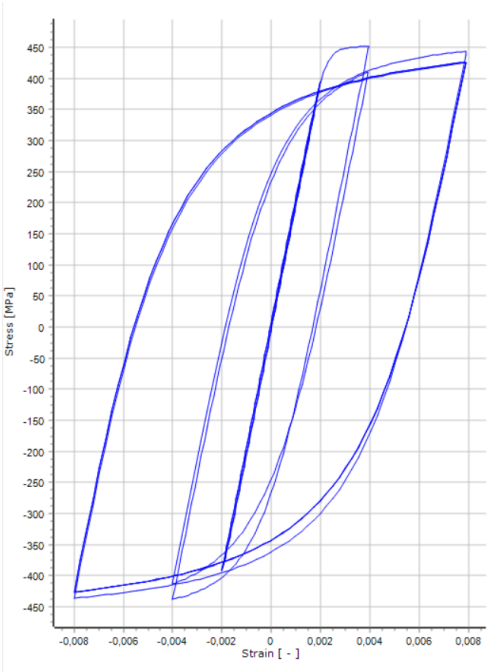


Figura 3.11: Legame costitutivo di Menegotto-Pinto adottato per l'acciaio delle armature dell'edificio in SeismoStruct

Per quanto riguarda le sezioni, sono state adottate quattro tipologie per i pilastri e cinque per le travi.

Di seguito si riportano le sezioni utilizzate per i pilastri.

- Pilastro 40x75_1

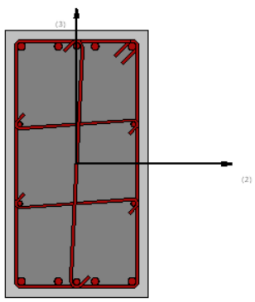


Figura 3.12: Sezione del pilastro 40x75_1

Armature d'angolo: 4 barre Ø22 mm

Armature sui lati superiore e inferiore: 4 barre Ø22 mm

Armature sui lati destro e sinistro: 4 barre Ø14 mm

Armature trasversali:

- Bracci delle staffe lungo la larghezza: 4
- Bracci delle staffe lungo l'altezza: 3
- Staffe: Ø8 mm

Copriferro: 2,5 cm

- Pilastro 40x75_2

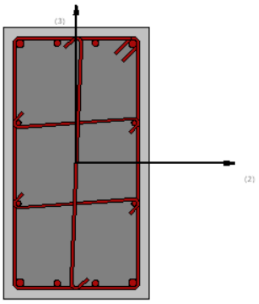


Figura 3.13: Sezione del pilastro 40x75_2

Armature d'angolo: 4 barre Ø22 mm

Armature sui lati superiore e inferiore: 4 barre Ø18 mm

Armature sui lati destro e sinistro: 4 barre Ø14 mm

Armature trasversali:

- Bracci delle staffe lungo la larghezza: 4
- Bracci delle staffe lungo l'altezza: 3
- Staffe: Ø8 mm

Copriferro: 2,5 cm

- Pilastro 40x65

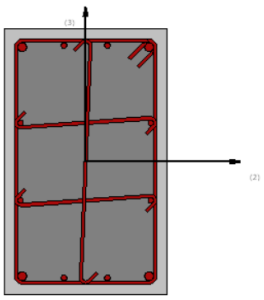


Figura 3.14: Sezione del pilastro 40x65

Armature d'angolo: 4 barre Ø22 mm

Armature sui lati superiore e inferiore: 4 barre Ø14 mm

Armature sui lati destro e sinistro: 4 barre Ø14 mm

Armature trasversali:

- Bracci delle staffe lungo la larghezza: 4
- Bracci delle staffe lungo l'altezza: 3
- Staffe: Ø8 mm

Copriferro: 2,5 cm

- Pilastro 40x40

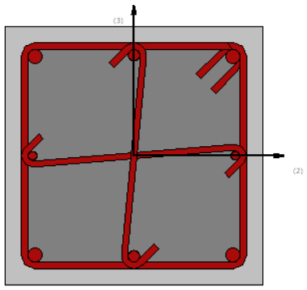


Figura 3.15: Sezione del pilastro 40x40

Armature d'angolo: 4 barre Ø22 mm

Armature sui lati superiore e inferiore: 4 barre Ø18 mm

Armature sui lati destro e sinistro: 4 barre Ø14 mm

Armature trasversali:

- Bracci delle staffe lungo la larghezza: 3
- Bracci delle staffe lungo l'altezza: 3
- Staffe: Ø10 mm

Copriferro: 2,5 cm

Di seguito si riportano le sezioni utilizzate per le travi.

- Trave 40x60

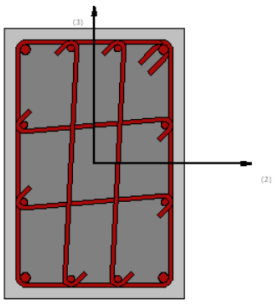


Figura 3.16: Sezione della trave 40x60

Armature d'angolo: 4 barre Ø22 mm

Armature sui lati superiore e inferiore: 4 barre Ø18 mm

Armature sui lati destro e sinistro: 4 barre Ø14 mm

Armature trasversali:

- Bracci delle staffe lungo la larghezza: 4
- Bracci delle staffe lungo l'altezza: 4
- Staffe: Ø10 mm

Copriferro: 2,5 cm

- Trave 40x50

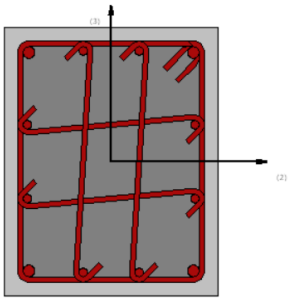


Figura 3.17: Sezione della trave 40x50

Armature d'angolo: 4 barre Ø22 mm

Armature sui lati superiore e inferiore: 4 barre Ø18 mm

Armature sui lati destro e sinistro: 4 barre Ø14 mm

Armature trasversali:

- Bracci delle staffe lungo la larghezza: 4
- Bracci delle staffe lungo l'altezza: 4
- Staffe: Ø10 mm

Copriferro: 2,5 cm

- Trave 115x22

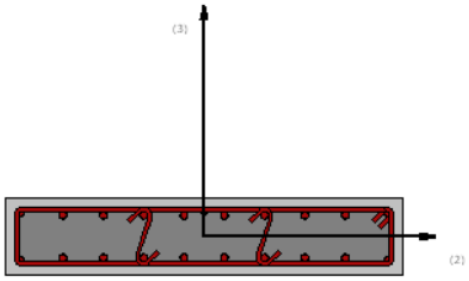


Figura 3.18: Sezione della trave 115x22

Armature d'angolo: 4 barre Ø22 mm

Armature sui lati superiore e inferiore: 4 barre Ø18 mm

Armature sui lati destro e sinistro: 4 barre Ø14 mm

Armature trasversali:

- Bracci delle staffe lungo la larghezza: 2
- Bracci delle staffe lungo l'altezza: 4
- Staffe: Ø12 mm

Copriferro: 2,5 cm

- Trave 105x22

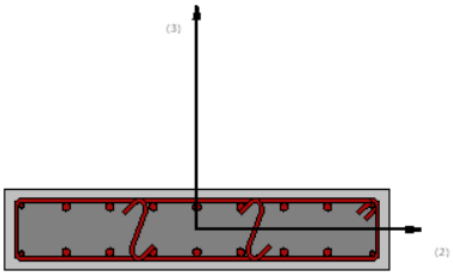


Figura 3.19: Sezione della trave 105x22

Armature d'angolo: 4 barre Ø22 mm

Armature sui lati superiore e inferiore: 4 barre Ø18 mm

Armature sui lati destro e sinistro: 4 barre Ø14 mm

Armature trasversali:

- Bracci delle staffe lungo la larghezza: 2
- Bracci delle staffe lungo l'altezza: 4
- Staffe: Ø12 mm

Copriferro: 2,5 cm

- Trave 40x40 vano scala

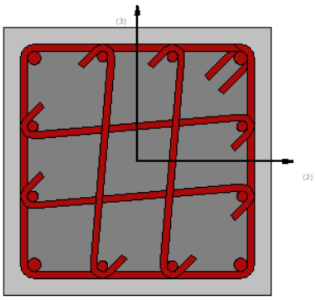


Figura 3.20: Sezione della trave 40x40 del vano scala

Armature d'angolo: 4 barre Ø22 mm

Armature sui lati superiore e inferiore: 4 barre Ø18 mm

Armature sui lati destro e sinistro: 4 barre Ø14 mm

Armature trasversali:

- Bracci delle staffe lungo la larghezza: 4
- Bracci delle staffe lungo l'altezza: 4
- Staffe: Ø10 mm

Copriferro: 2,5 cm

Travi e pilastri sono modellati con elementi infrFB (inelastic force-based frame element), che computano le non linearità geometriche e di materiale. In questi elementi la sezione è suddivisa in fibre, a ciascuna delle quali è associato un legame sforzo-deformazione uniassiale. Lo stato di sforzo-deformazione della sezione si ottiene integrando il contributo delle singole fibre. Per ogni sezione si è adottato un numero di fibre pari a 150.

La formulazione force-based impone una variazione lineare del momento lungo l'elemento e non introduce nessuna costrizione sugli spostamenti: è quindi possibile descrivere il comportamento di un intero membro con un solo elemento. Ne deriva un vantaggio in termini di onere computazionale rispetto alla formulazione displacement-based, che richiede invece la suddivisione del membro in più elementi.

Ogni elemento è discretizzato con cinque sezioni di integrazione, secondo lo schema di Gauss-Lobatto. Questo numero rappresenta un buon compromesso tra accuratezza dei

risultati e onere di calcolo. Le armature longitudinali sono costanti lungo l'elemento, mentre varia il passo delle staffe: 10 cm nelle due sezioni di estremità e 20 cm nelle tre sezioni centrali. Fanno eccezione le travi a spessore e le travi del vano scala, per le quali si adotta un passo delle staffe costante pari rispettivamente a 12 cm e a 10 cm.

La scelta di una formulazione non lineare deriva dalla necessità di riprodurre nel modo più fedele possibile la risposta dinamica dell'edificio, dalla quale dipende direttamente quella del castelletto, a esso collegato tramite gli ancoraggi. L'approccio a fibre consente di seguire l'evoluzione della rigidezza del fabbricato durante l'evento sismico e quindi di stimare in modo più attendibile le forze scambiate tra le due strutture. Di contro, comporta un onere computazionale maggiore rispetto a una modellazione con elementi elastici.

3.2.2 Modellazione dei solai su SeismoStruct

I solai sono modellati con due elementi diagonali per campata, ai quali è assegnata una rigidezza assiale equivalente a quella effettiva del solaio nel proprio piano. Gli elementi appartengono alla classe elfrm, con rilascio dei momenti alle estremità, così da comportarsi come bielle e trasferire la sola azione assiale.

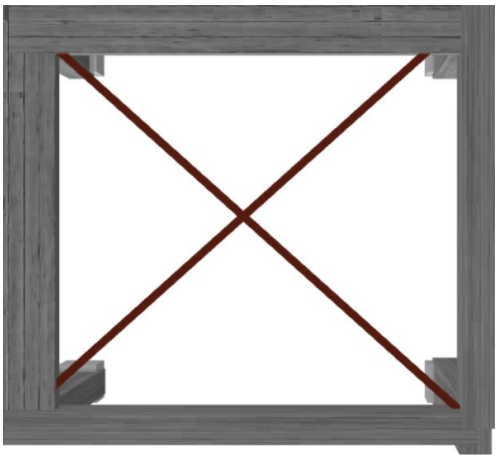


Figura 3.21: Modellazione del solaio con due elementi diagonali per campata

Il materiale associato, denominato Steel_elasticNoweight, è definito in modo convenzionale: essendo gli elementi elastici e privi di massa, ne rilevano soltanto il modulo elastico, impiegato per ricavare l'area della sezione equivalente, e il peso specifico, posto pari a zero. Il carico dei solai è infatti applicato manualmente alle travi.

La sezione degli elementi diagonali, pari a 0,10 × 0,0234 m, è ripresa dal modello originale dell'edificio, nel quale era già stata calibrata per riprodurre la rigidezza nel piano del solaio.

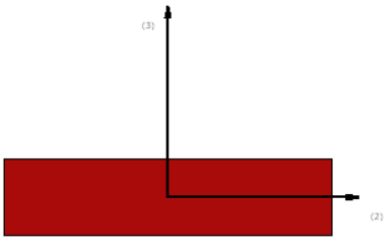


Figura 3.22: Sezione degli elementi diagonali equivalenti al solaio

3.2.3 Modellazione delle scale su SeismoStruct

Le scale sono realizzate in calcestruzzo armato: si assegna quindi lo stesso materiale impiegato per travi e pilastri, descritto al paragrafo 3.2.1. La sezione adottata è rettangolare, di dimensioni 1,4x0,04 m, e rappresenta la rampa. Anche in questo caso la classe di elemento è elfrm, ossia elemento elastico lineare.

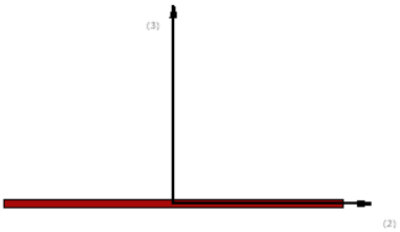


Figura 3.23: Sezione delle scale adottata su SeismoStruct

3.2.4 Modellazione dei vincoli a terra su SeismoStruct

Sono stati modellati dei vincoli a terra tipo incastro.

Tabella 3.4: Vincoli a terra dell'edificio in SeismoStruct

Nodi	Posizione	GDL vincolati
0_A1–0_D6 (24 nodi)	nodi dell'edificio alla base	x+y+z+rx+ry+rz (incastro)

3.2.5 Carichi applicati su SeismoStruct

I carichi gravitazionali sono inseriti nel modello come carichi uniformemente distribuiti sulle travi. I solai non sono modellati direttamente: il loro peso è applicato alle travi in base alle aree di influenza.

I valori applicati corrispondono alla combinazione sismica, data dalla somma dei carichi permanenti strutturali e non strutturali e della quota di carichi variabili che vi entra. Il peso proprio di travi e pilastri non è compreso, poiché applicato automaticamente dal programma.

Le tabelle riassuntive dei carichi gravitazionali sono riportate di seguito.

Tabella 3.5: Carichi permanenti distribuiti applicati alle travi dell'edificio, in kN/m. I carichi agiscono in direzione z e il segno negativo indica che sono rivolti verso il basso

Travi	Descrizione	Valore [kN/m]
Beam_1n, Beam_6n (A-B, B-C, C-D)	Travi di testata, allineamenti 1 e 6	−5,2
Beam_2n, Beam_5n (A-B, B-C, C-D)	Travi a spessore, allineamenti 2 e 5	−1,1
Beam_3n, Beam_4n (A-B)	Allineamenti 3 e 4, campata A-B	−1,1
Beam_3n, Beam_4n (B-C, C-D)	Allineamenti 3 e 4, campate B-C e C-D	−13,7
Beam_An (1-2, 2-3, 4-5, 5-6)	Travi di facciata, allineamento A	−36
Beam_An (3-4)	Allineamento A, campata del vano scala	−2,9
Beam_Bn (1-2, 2-3, 4-5, 5-6)	Travi interne, allineamento B	−34,8
Beam_Bn (3-4aa, 3-4ab, 3-4b)	Allineamento B, campata del vano scala, divisa in tre tratti dagli appoggi della scala	−1,1
Beam_Cn (1-2, 2-3, 4-5, 5-6)	Travi a spessore interne, allineamento C	−32,2
Beam_Cn (3-4)	Allineamento C, campata 3-4	−1,1
Beam_Dn (1-2, 2-3, 4-5, 5-6)	Travi di facciata, allineamento D	−33,4
Beam_Dn (3-4_SX, 3-4_C, 3-4_DX)	Allineamento D, campata 3-4, divisa in tre tratti dai nodi di ancoraggio dell'incastellatura	−2,9

3.2.6 Modellazione di travi e pilastri su OpenSees

La modellazione di travi e pilastri su OpenSees parte dalla definizione dei materiali.

Per il calcestruzzo si utilizza il materiale Concrete04, che descrive il ramo di compressione con la curva di Popovics e tiene conto del degrado di rigidezza nei cicli di carico e scarico [8]. La stessa curva è impiegata dal modello di Mander et al. adottato in SeismoStruct: i due legami condividono quindi il ramo di compressione, mentre si differenziano nel comportamento ciclico e nel tratto successivo al picco di resistenza, da cui possono derivare scostamenti tra i risultati dei due modelli.

I parametri richiesti per la definizione di Concrete04 sono i seguenti:

- matTag: identificativo del materiale
- f_c: resistenza a compressione del calcestruzzo, negativa per convenzione
- ε_c: deformazione corrispondente alla resistenza di picco
- ε_{cu}: deformazione ultima, di schiacciamento
- E_c: modulo elastico iniziale
- f_{ct}: resistenza a trazione, opzionale
- ε_t: deformazione ultima a trazione, opzionale
- β: parametro della curva esponenziale che definisce la tensione residua a et, opzionale

Nel modello il materiale è definito come segue:

```
op.uniaxialMaterial('Concrete04', 2, -28000.0, -0.002, -0.008, 24870000.0)
```

Non essendo specificati i parametri f_{ct}, ε_t e β, la resistenza a trazione risulta nulla, in coerenza con l'ipotesi di comportamento no traction adottata in SeismoStruct.

Per l'acciaio si utilizza il materiale Steel4, che permette di combinare incrudimento cinematico e isotropo e, se richiesto, un comportamento diverso a trazione e compressione. Attivando soltanto opzione -kin, si introduce l'incrudimento cinematico [8]. Il legame è quindi pressoché analogo a quello adottato in SeismoStruct per le armature.

I parametri richiesti per la definizione di Steel4 sono i seguenti:

- matTag: identificativo del materiale
- f_y: tensione di snervamento, assunta uguale a trazione e compressione
- E_0: modulo elastico iniziale
- b_k rapporto di incrudimento, pari a E_k/E_0
- R_0: parametro che governa la transizione dal tratto elastico all'asintoto incrudente
- r_1, r_2: coefficienti di calibrazione della curva di transizione

Nel modello il materiale è definito come segue:

```
op.uniaxialMaterial('Steel4',1,450000.00,2.000E+008,'-
kin',0.005,20,0.9,0.15)
```

Definiti i materiali, si passa alle sezioni.

Le sezioni di travi e pilastri sono costruite con il comando section nell'opzione Fiber, che discretizza la sezione in fibre, a ciascuna delle quali è associato un materiale uniassiale, come eseguito in SeismoStruct.

```
op.section('Fiber',Tag_sez,'-GJ',valore)
```

All'interno del blocco così aperto, ogni fibra è definita con l'opzione Fiber, che richiede le coordinate del baricentro della fibra nel sistema di riferimento locale della sezione, l'area della fibra e il materiale assegnato:

```
op.fiber(y,z,A,Tag_mat)
```

Alle fibre di calcestruzzo è assegnato il materiale Concrete04 mentre a quelle rappresentative delle barre longitudinali il materiale Steel4.

Prima di definire gli elementi occorre assegnare la trasformazione geometrica, descritta al paragrafo 3.1.6. Anche per travi e pilastri si adotta la trasformazione PDelta, che tiene conto degli effetti del secondo ordine prodotti dal carico assiale sulla configurazione deformata; il vettore vecxz è scelto in modo da orientare gli assi locali secondo gli assi principali d'inerzia delle sezioni.

```
op.geomTransf('PDelta', Tag_transf, vecxz_x, vecxz_y, vecxz_z)
```

Definiti materiali, sezioni e trasformazioni geometriche, si passa agli elementi.

Travi e pilastri sono modellati con elementi forceBeamColumn, ossia una formulazione force-based equivalente a quella adottata in SeismoStruct.

Prima dell'elemento va definito lo schema di integrazione lungo l'asse, con il comando beamIntegration. Si adotta la quadratura di Gauss-Lobatto, che colloca immediatamente due punti di integrazione alle estremità dell'elemento, dove si concentrano i momenti flettenti massimi e si formano le cerniere plastiche. Il comando richiede il tag dell'integrazione, la sezione assegnata e il numero di punti di integrazione:

```
op.beamIntegration('Lobatto',Tag_int,Tag_sez,5)
```

Sono adottati cinque punti di integrazione per elemento e 150 fibre per sezione, gli stessi valori impiegati in SeismoStruct, così da rendere le due discretizzazioni il più possibile coerenti.

L'elemento è quindi definito indicando i due nodi di estremità, la trasformazione geometrica, lo schema di integrazione e la massa per unità di lunghezza. L'opzione -iter fissa il numero massimo di iterazioni e la tolleranza per la convergenza a livello di elemento:

```
op.element('forceBeamColumn',Tag_el,nodo_i,nodo_j,Tag_transf,Tag_int,'-
mass',valore, '-iter', 10, 1e-10)
```

3.2.7 Modellazione dei solai su OpenSees

I solai sono modellati con elementi truss, che trasferiscono la sola azione assiale e riproducono quindi il comportamento già adottato in SeismoStruct. L'elemento richiede i due nodi di estremità, l'area della sezione e il materiale assegnato. L'opzione -rho definisce la massa per unità di lunghezza.

La sintassi utilizzata è quindi:

```
op.element('Truss',Tag_el,nodo i,nodo j,A,Tag_mat,'-rho',2.178e-11)
```

La massa è pressoché nulla, poiché il peso dei solai è manualmente applicato alle travi, in coerenza con quanto modellato su SeismoStruct.

3.2.8 Modellazione delle scale su OpenSees

Le scale sono modellate con elementi elasticBeamColumn, in coerenza con quanto fatto in SeismoStruct, dove è stata adottata la classe elfrm. L'elemento richiede i due nodi di estremità, l'area, i moduli elastico e tangenziale, le caratteristiche inerziali della sezione, la trasformazione geometrica e la massa per unità di lunghezza.

La sintassi usata è quindi:

```
op.element('elasticBeamColumn',Tag_el, nodo i ,nodo
j,A,E,G,J,Iy,Iz,Tag_transf,'-mass',valore)
```

I valori adottati corrispondono alla sezione rettangolare descritta al paragrafo 3.2.3.

3.2.9 Modellazione dei vincoli a terra su OpenSees

Analogamente a quanto eseguito su SeismoStruct, sono stati modellati dei vincoli a terra tipo incastro.

Si utilizza quindi il comando fix, in maniera analoga a quanto descritto nel paragrafo 3.1.8.

3.2.10 Carichi applicati su OpenSees

I carichi gravitazionali sono applicati sulle travi con la stessa formulazione descritta al paragrafo 3.1.9, adottando gli stessi valori impiegati nel modello SeismoStruct e riportati al paragrafo 3.2.5.

4. VALIDAZIONE DEL MODELLO OPENSEES

In questo capitolo si presenta la validazione del modello OpenSees con ancoraggi rigidi rispetto all'analogo modello SeismoStruct. Come anticipato nel Capitolo 3, il modello OpenSees va scritto in forma testuale ed è quindi più laborioso da costruire e più soggetto a errori. Per verificarne la correttezza, su entrambi i modelli sono state eseguite un'analisi agli autovalori e un'analisi dinamica non lineare con lo stesso accelerogramma, e se ne sono confrontati i risultati.

Una volta validato, il modello OpenSees costituisce la base da cui si ricavano gli altri tre modelli.

4.1 Analisi modale

4.1.1 Impostazioni di analisi

In SeismoStruct, per eseguire l'analisi modale è necessario selezionare l'opzione Eigenvalue analysis, una volta modellata la struttura come descritto al Capitolo 3.

In OpenSees la procedura è più articolata e va definita nello script. Si impostano le opzioni di analisi, cioè gli algoritmi con cui il programma costruisce e risolve il sistema di equazioni:

```
op.constraints('Plain')
op.numberer('RCM')
op.system('ProfileSPD')
op.test('NormUnbalance',0.0001,10)
op.algorithm('Linear')
op.integrator('LoadControl',0.0)
op.analysis('Static')
```

Il comando constraints definisce il modo in cui sono imposti i vincoli; numberer stabilisce come vengono riordinate le equazioni per creare la matrice di rigidezza; l'algoritmo RCM la riordina in modo da velocizzare la soluzione; system definisce il tipo di sistema di equazioni e il relativo solutore: ProfileSPD è adatto a matrici simmetriche e definite positive; test fissa il criterio di convergenza, basato sulle forze residue, con tolleranza pari a 10^{-4} e un massimo di dieci iterazioni; algorithm definisce l'algoritmo di soluzione: il tipo Linear esegue una sola iterazione senza aggiornare la matrice di rigidezza; integrator con l'opzione LoadControl stabilisce come è applicato il carico mentre analysis di tipo Static definisce la tipologia di analisi.

L'analisi agli autovalori è quindi eseguita con il comando eigen. Il comando restituisce gli autovalori ω^2, da cui si ricavano i periodi propri come $T = 2\pi/\omega$. Il comando modalProperties fornisce infine le masse partecipanti e relativi rapporti esportandole nel file ModalReport.txt.

Di seguito si riporta la sintassi utilizzata:

```
numModes = 10
eigs = op.eigen('-genBandArpack', numModes)
op.modalProperties('-print', '-file', "ModalReport.txt", '-unorm')
```

4.1.2 Confronti

Si riporta di seguito il confronto dei risultati ottenuti in termini di periodi e masse modali partecipanti dei primi dieci modi di vibrare.

Tabella 4.1: Periodi dei primi dieci modi di vibrare: modello OpenSees (a sinistra) e modello SeismoStruct (a destra)

OPENSEES	
Mode	Period
-	s
1	0,78
2	0,75
3	0,65
4	0,25
5	0,24
6	0,21
7	0,14
8	0,14
9	0,13
10	0,12

SEISMOSTRUCT	
Mode	Period
-	s
1	0,78
2	0,75
3	0,65
4	0,25
5	0,24
6	0,21
7	0,14
8	0,14
9	0,13
10	0,12

Tabella 4.2: Masse modali partecipanti dei primi dieci modi, modello OpenSees

OPENSEES						
Mode	MX	MY	MZ	RMX	RMY	RMZ
-	ton	ton	ton	ton	ton	ton
1	0	2053	0	8992	0	5
2	2038	0	0	1	8691	2236
3	21	0	0	0	180	176898
4	0	297	0	35052	0	0
5	283	0	0	0	34466	629
6	11	0	0	0	931	25383
7	0	0	0	1	12	7
8	0	86	0	3796	0	0
9	78	0	0	0	3515	511
10	0	0	0	1	0	0
TOTAL	2431	2437	0	47843	47796	205669

Tabella 4.3: Masse modali partecipanti dei primi dieci modi, modello SeismoStruct

SEISMOSTRUCT						
Mode	MX	MY	MZ	RMX	RMY	RMZ
-	ton	ton	ton	ton	ton	ton
1	0	2053	0	10244	1	5
2	2039	0	0	1	9920	2209
3	20	0	0	0	193	176929
4	0	297	0	34136	0	0
5	283	0	0	0	33595	628
6	10	0	0	0	894	25385
7	0	2	0	78	12	6
8	0	85	0	3567	0	0
9	79	0	0	0	3373	512
10	0	0	0	1	0	0
TOTAL	2431	2437	0	48026	47988	205675

Tabella 4.4: Masse modali partecipanti dei primi dieci modi in percentuale rispetto alla massa totale, modello OpenSees

OPENSEES						
Mode	MX	MY	MZ	RMX	RMY	RMZ
-	ton	ton	ton	ton	ton	ton
1	0,00%	82,67%	0,00%	8,19%	0,00%	0,00%
2	82,09%	0,01%	0,00%	0,00%	4,19%	1,03%
3	0,83%	0,00%	0,00%	0,00%	0,09%	81,49%
4	0,00%	11,95%	0,00%	31,94%	0,00%	0,00%
5	11,39%	0,00%	0,00%	0,00%	16,60%	0,29%
6	0,42%	0,00%	0,00%	0,00%	0,45%	11,69%
7	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%
8	0,00%	3,48%	0,00%	3,46%	0,00%	0,00%
9	3,16%	0,00%	0,00%	0,00%	1,69%	0,24%
10	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
TOTAL	97,90%	98,12%	0,00%	43,60%	23,03%	94,74%

Tabella 4.5: Masse modali partecipanti dei primi dieci modi in percentuale rispetto alla massa totale, modello SeismoStruct

SEISMOSTRUCT						
Mode	MX	MY	MZ	RMX	RMY	RMZ
-	ton	ton	ton	ton	ton	ton
1	0,00%	82,66%	0,00%	9,33%	0,00%	0,00%
2	82,10%	0,00%	0,00%	0,00%	4,78%	1,02%
3	0,81%	0,00%	0,00%	0,00%	0,09%	81,50%
4	0,00%	11,96%	0,00%	31,09%	0,00%	0,00%
5	11,40%	0,00%	0,00%	0,00%	16,18%	0,29%
6	0,42%	0,00%	0,00%	0,00%	0,43%	11,69%
7	0,01%	0,07%	0,00%	0,07%	0,01%	0,00%
8	0,00%	3,41%	0,00%	3,25%	0,00%	0,00%
9	3,16%	0,00%	0,00%	0,00%	1,62%	0,24%
10	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
TOTAL	97,90%	98,12%	0,00%	43,74%	23,11%	94,74%

I primi dieci periodi sono pressoché identici e le masse modali partecipanti presentano differenze minime. Il confronto conferma quindi che il modello OpenSees riproduce correttamente il comportamento dinamico di quello sviluppato in SeismoStruct.

Si riportano di seguito le forme dei primi tre modi di vibrare sviluppati sui due modelli.

- Primo modo

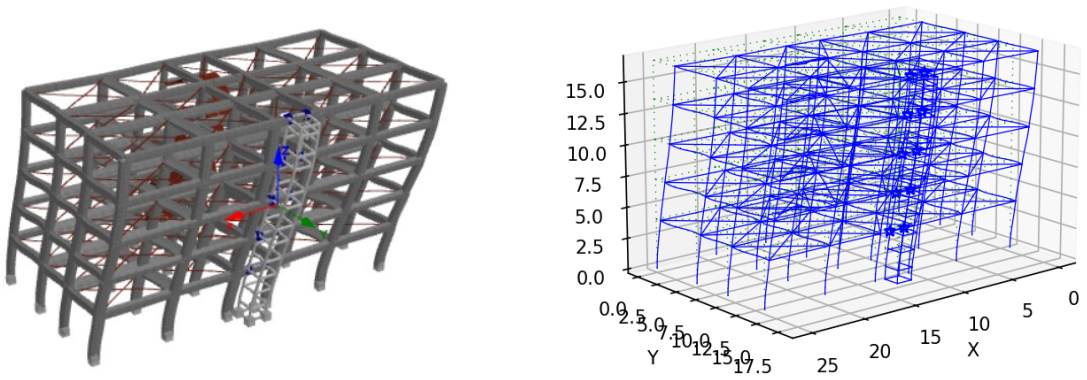


Figura 4.1: Deformata del primo modo di vibrare: modello SeismoStruct (a sinistra) e modello OpenSees (a destra)

- Secondo modo

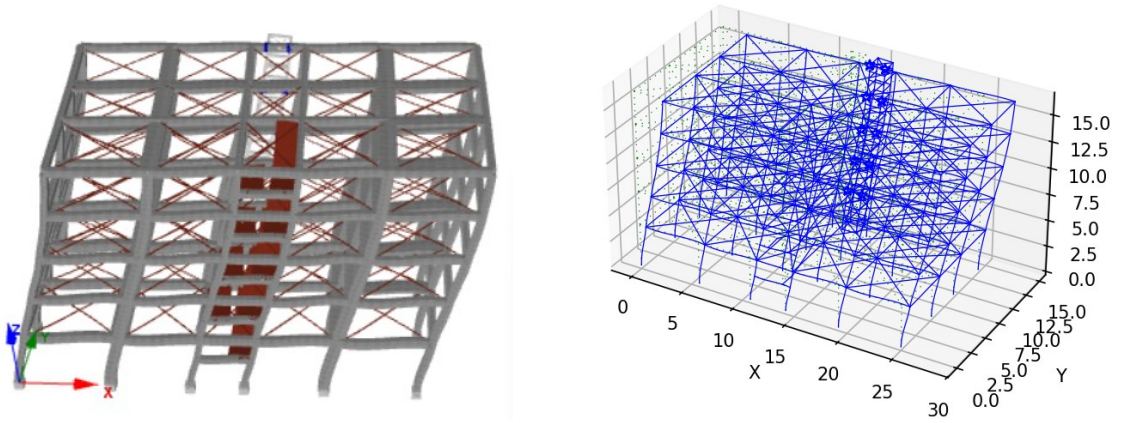


Figura 4.2: Deformata del secondo modo di vibrare: modello SeismoStruct (a sinistra) e modello OpenSees (a destra)

- Terzo modo

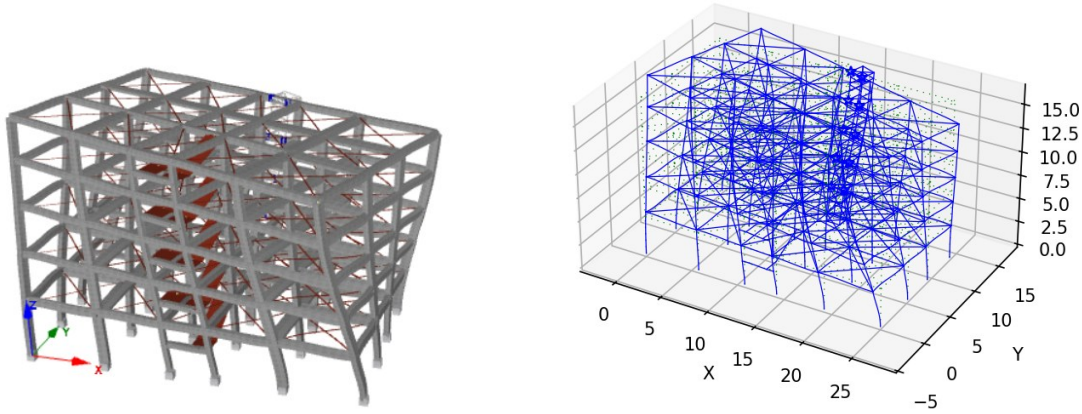


Figura 4.3: deformata del terzo modo di vibrare: modello SeismoStruct (a sinistra) e modello OpenSees (a destra)

4.2 Analisi dinamiche non lineari

4.2.1 Impostazioni di analisi

Gli accelerogrammi utilizzati per le analisi dinamiche non lineari sono riportati di seguito. Il primo è applicato nella direzione globale X della struttura, il secondo nella direzione globale Y.

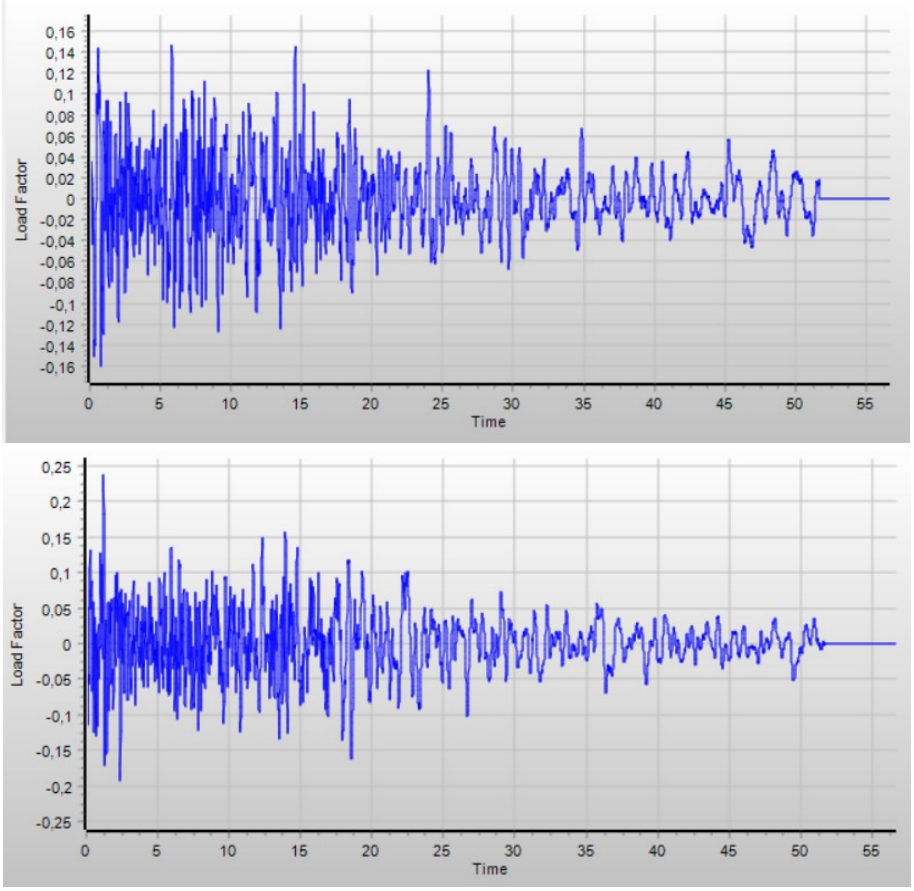


Figura 4.4: Accelerogrammi utilizzati nelle analisi di validazione: direzione X (in alto) e direzione Y (in basso)

In SeismoStruct, una volta modellata la struttura come descritto al Capitolo 3, l'analisi richiede la selezione dell'opzione Dynamic Time-History analysis e l'applicazione degli accelerogrammi nelle due direzioni orizzontali in tutti i nodi di base, sia del castelletto sia dell'edificio. Occorre inoltre definire lo smorzamento viscoso. Si adotta la formulazione di Rayleigh, nella quale la matrice di smorzamento è espressa come combinazione lineare della matrice delle masse e di quella delle rigidezze, imponendo un rapporto di smorzamento del 5% in corrispondenza del primo e del sesto modo di vibrare. Tale valore è quello comunemente assunto per le strutture in calcestruzzo armato. Il termine proporzionale alla

rigidezza è riferito alla rigidezza tangenziale, aggiornata nel corso dell'analisi, e non a quella iniziale. L'algoritmo d'integrazione utilizzato è quello di Hilber-Hughes-Taylor, ottimale per limitare i modi spuri grazie all'introduzione di un damping numerico nei modi di frequenza elevata. La convergenza a ogni passo è verificata su spostamenti e rotazioni, con tolleranze pari rispettivamente a 10^{-4} m e 10^{-4} rad.

In OpenSees le impostazioni sono le stesse, ma la procedura è più articolata, perché ogni passaggio va scritto esplicitamente nello script invece che essere selezionato tramite interfaccia grafica.

Prima dell'analisi si definisce lo smorzamento viscoso ξ secondo la formulazione di Rayleigh, in maniera analoga a quanto eseguito in SeismoStruct. I due coefficienti a_0 e a_1 sono ricavati imponendo uno smorzamento pari al 5% in corrispondenza del primo e del sesto modo.

```
w1 = sqrt(eigs[0])
w2 = sqrt(eigs[5])
xi1 = 0.05
xi2 = 0.05
a0 = 2*w1*w2/(w2*w2-w1*w1)*(w2*xi1-w1*xi2)
a1 = 2*w1*w2/(w2*w2-w1*w1)*(-xi1/w2+xi2/w1)
```

Si impostano quindi le opzioni di analisi:

```
op.integrator('HHT', 0.9)
op.numberer('RCM')
op.system('ProfileSPD')
op.constraints('Plain')
op.test ('EnergyIncr', Tol, 50)
op.algorithm('KrylovNewton')
op.timeSeries('Path', tsTagX, '-dt', dt, '-filePath', accnameX, '-factor',
ut.g)
op.pattern('UniformExcitation', patTagX, dirX, '-accel', tsTagX)
```

Come integratore numerico viene utilizzato l'algoritmo Hilber-Hughes-Taylor, lo stesso utilizzato su SeismoStruct. Le equazioni vengono riordinate attraverso il comando RCM, che permette di minimizzare la larghezza di banda della matrice e quindi di velocizzare la soluzione. I vincoli vengono definiti di tipo Plain. La convergenza è verificata sull'incremento di energia, con tolleranza pari a 10^{-8} e un massimo di cinquanta iterazioni per passo. L'algoritmo utilizzato è quello di Krylov Newton, il quale aggiorna la matrice di rigidezza ad ogni iterazione. Le analisi sono condotte applicando l'accelerogramma alla base con un pattern di tipo UniformExcitation, che impone a tutti i nodi vincolati la stessa accelerazione.

Durante l'analisi sono registrati gli spostamenti dei nodi di piano e le reazioni vincolari ai nodi di base, da cui si ricavano rispettivamente le storie degli spostamenti e del taglio alla

base nelle due direzioni orizzontali. Per ciascun record lo script crea la cartella dei risultati, esegue l'analisi, registra i tempi di calcolo e archivia le grandezze di interesse.

4.2.2 Confronti

Il confronto tra i due modelli riguarda la storia del taglio alla base in direzione X e Y, valutato separatamente per il castelletto, per l'edificio e per la struttura nel suo complesso, e la storia degli spostamenti nelle due direzioni orizzontali di un nodo in sommità, indicato in figura.

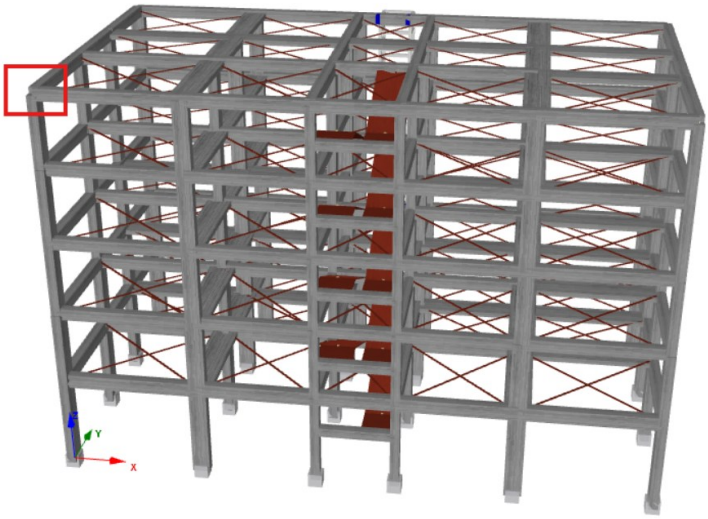


Figura 4.5: Modello SeismoStruct con il nodo in sommità considerato nel confronto (riquadro rosso)

Le storie di spostamento restituite dai due software sono riportate nelle figure seguenti.

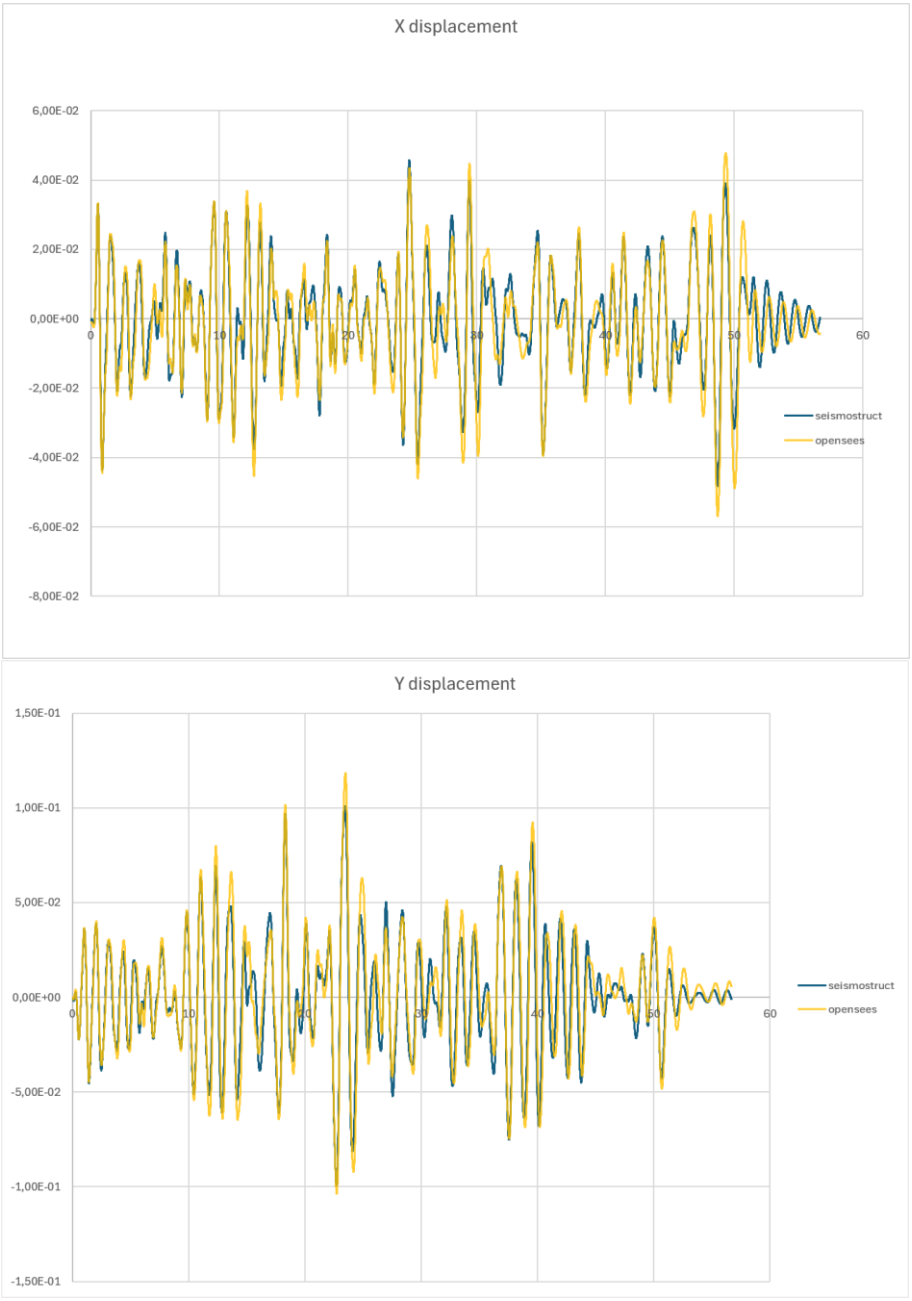


Figura 4.6: Storie dello spostamento del nodo in sommità ottenute con SeismoStruct e OpenSees: direzione X (in alto) e direzione Y (in basso)

In entrambe le direzioni l'andamento nel tempo è pressoché coincidente: le due curve oscillano con lo stesso periodo e restano in fase per l'intera durata del record. Si verificano degli scostamenti nell'ampiezza dei picchi massimi, i cui valori sono riportati di seguito.

Tabella 4.6: Spostamenti massimi del nodo in sommità ottenuti con i due software

SPOSTAMENTI DEL NODO		SEISMO	OPENSEES
dx	[m]	0,05	0,06
dy	[m]	0,10	0,12

Le storie di taglio restituite dai due software sono riportate nelle figure seguenti.

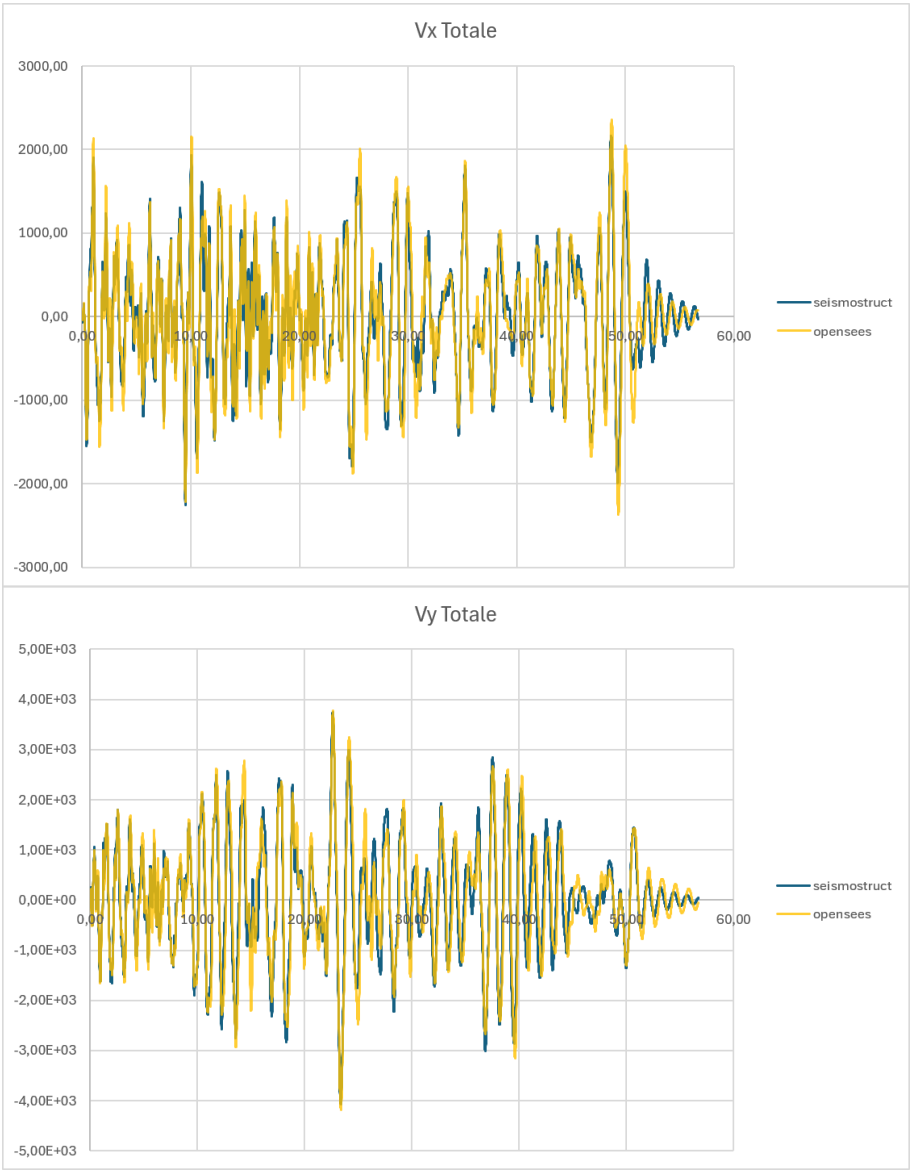


Figura 4.7: Storie del taglio alla base della struttura totale ottenute con SeismoStruct e OpenSees: direzione X (in alto) e direzione Y (in basso)

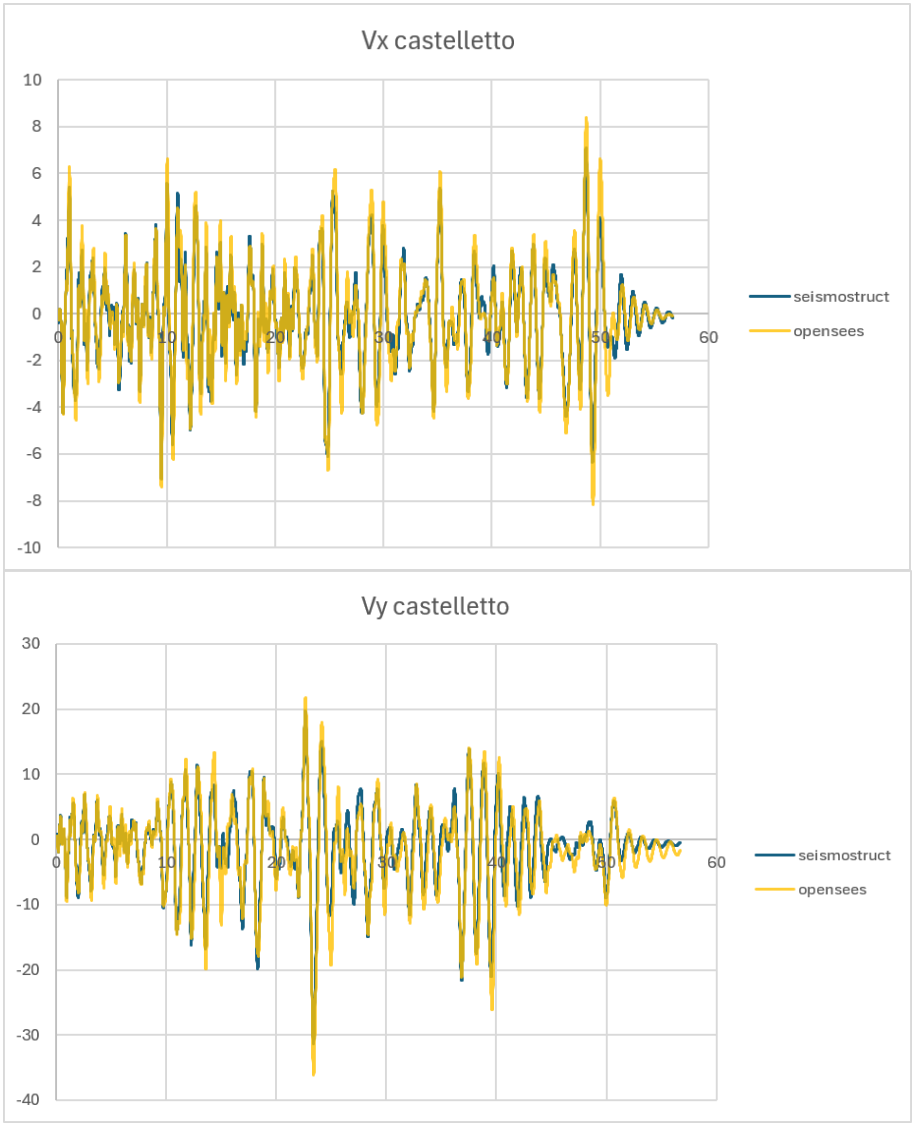


Figura 4.8: Storie del taglio alla base del castelletto ottenute con SeismoStruct e OpenSees: direzione X (in alto) e direzione Y (in basso)

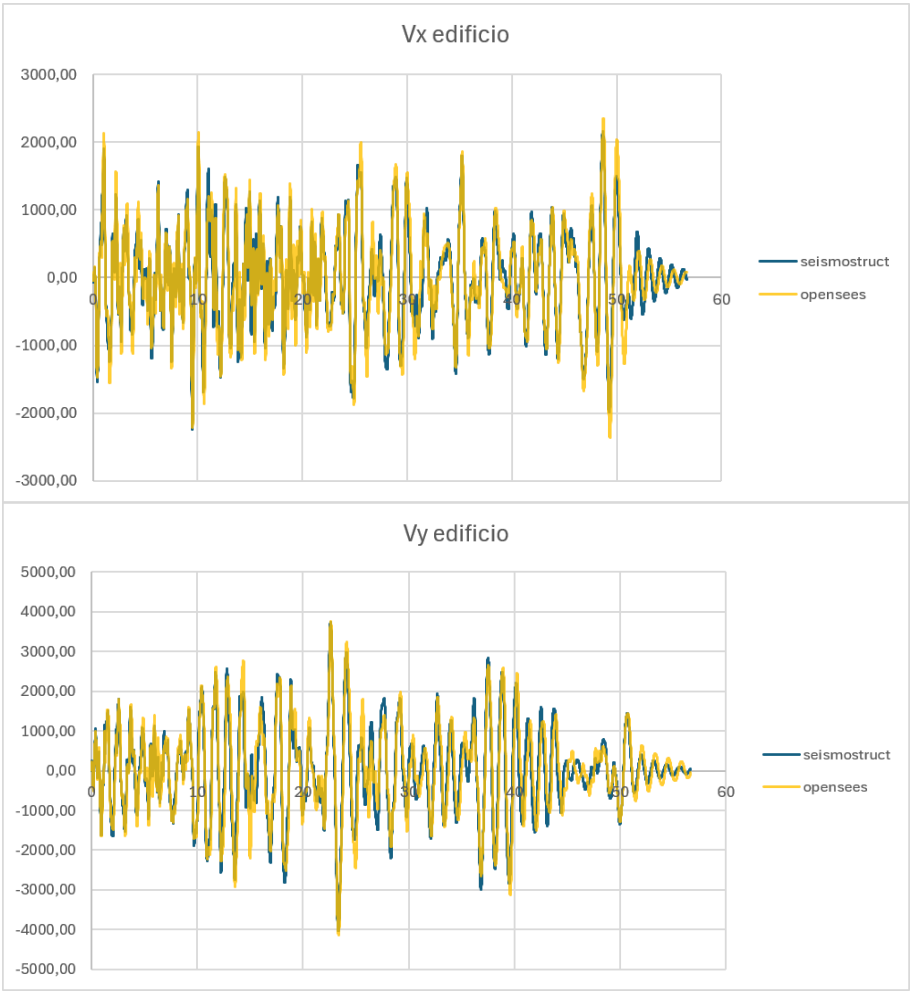


Figura 4.9: Storie del taglio alla base dell'edificio in c.a. ottenute con SeismoStruct e OpenSees: direzione X (in alto) e direzione Y (in basso)

Anche in questo caso le curve risultano sostanzialmente sovrapposte in entrambe le direzioni, con differenze limitate ai valori di picco, riportati di seguito.

Tabella 4.7: Valori massimi del taglio alla base ottenuti con i due software

TAGLI ALLA BASE		CASTELLETTO		EDIFICIO		TOTALE	
		SEISMO	OPENSEES	SEISMO	OPENSEES	SEISMO	OPENSEES
Vx	[kN]	7	8	2242	2357	2249	2365
Vy	[kN]	31	36	4034	4141	4065	4177

Lo scarto maggiore si registra sul taglio in direzione Y del castelletto. Il grafico mostra però che è determinato da un singolo picco isolato, in corrispondenza dell'istante $t \approx 24$ s, mentre nel resto del record le curve restano pressoché sovrapposte.

Nel complesso, il confronto conferma che i due modelli descrivono lo stesso comportamento dinamico, con differenze compatibili con la diversa implementazione dei due software. Il modello OpenSees può quindi ritenersi validato.

5. ANALISI DINAMICHE NON LINEARI E RISULTATI

In questo capitolo si riportano i risultati delle analisi dinamiche non lineari condotte sui primi due modelli, sviluppati a partire dal modello validato nel Capitolo 4.

Il primo modello comprende il solo castelletto, con gli attacchi sostituiti da cerniere a terra che ne impediscono le traslazioni orizzontali, secondo lo schema adottato nella prassi progettuale corrente. Il secondo comprende il castelletto accoppiato all'edificio mediante ancoraggi rigidi che bloccano gli spostamenti relativi orizzontali tra le due strutture. I due modelli condividono geometria, sezioni, materiali e masse del castelletto e sono sottoposti ai medesimi accelerogrammi: le differenze riscontrate sono pertanto attribuibili al solo effetto dell'accoppiamento con l'edificio. Il terzo e il quarto modello, con dispositivi dissipativi, sono trattati nel Capitolo 6.

La Figura 5.1 riporta una pianta schematica dell'edificio e del castelletto, con le direzioni di riferimento e la nomenclatura adottata nel capitolo. Gli spigoli dell'edificio e i montanti del castelletto sono indicati con la loro posizione in pianta, ossia alto e basso, dx e sx. I montanti basso-sx e basso-dx sono collegati all'edificio tramite gli ancoraggi presenti a ogni piano, mentre i montanti alto-sx e alto-dx sono liberi. Negli attacchi la forza Fx rappresenta il taglio, mentre la forza Fy rappresenta l'azione assiale.

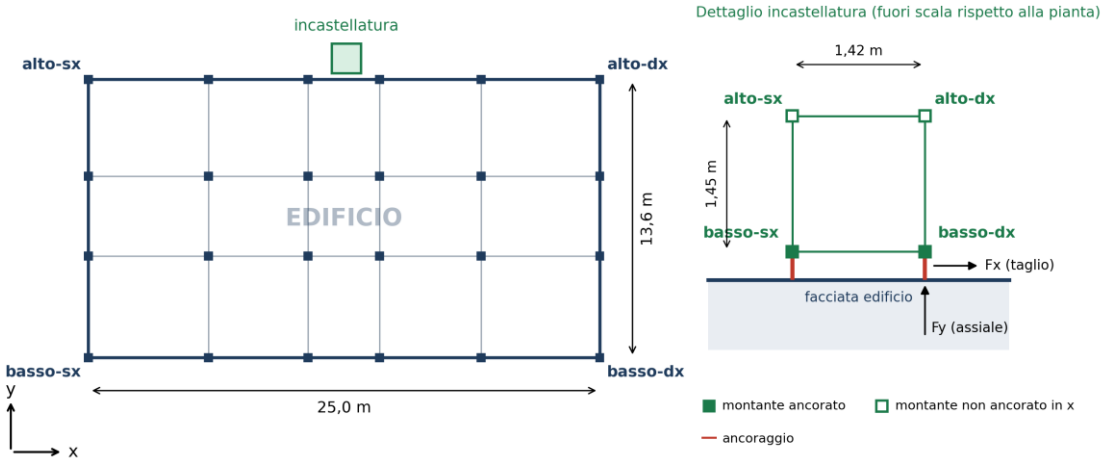


Figura 5.1: Pianta schematica dell'edificio e del castelletto, con le direzioni di riferimento e la nomenclatura dei nodi

I record impiegati derivano da una selezione condotta secondo i criteri esposti al Capitolo 2, riferita alla pericolosità sismica del sito e suddivisa in otto livelli di intensità, ciascuno associato a un periodo di ritorno. Per ogni livello si considerano venti coppie di accelerogrammi, applicate contemporaneamente nelle due direzioni orizzontali.

A ciascun livello di intensità corrispondono quindi venti analisi e le grandezze di interesse non sono descritte da un singolo valore ma da un insieme di risultati. Per ogni record si considera il massimo in valore assoluto raggiunto nel corso dell'analisi. I valori così ottenuti sono poi rappresentati dalla loro mediana, riportata nei grafici insieme alle curve ottenute sommando e sottraendo la deviazione standard. I grafici mostrano in questo modo l'andamento delle grandezze al crescere dell'intensità sismica e la dispersione dovuta alla variabilità dei record.

Nei paragrafi seguenti si analizzano, per i due modelli, le forze Fx e Fy negli attacchi, i drift interpiano e gli spettri di risposta di piano in accelerazione.

5.1 Forze scambiate agli attacchi

In questo paragrafo si riportano le forze scambiate tra castelletto ed edificio negli attacchi, per entrambi i modelli. Nel testo si riportano i grafici relativi al periodo di ritorno di progetto (RP475), mentre quelli relativi agli altri sette periodi di ritorno sono raccolti nell'Appendice A. Nei titoli dei grafici il modello accoppiato è indicato come "EDIFICIO+CASTELLETTO", quello con il solo castelletto come "CASTELLETTO CON CERNIERE". Si riportano quattro grafici, due per modello: le Fx rappresentano le forze di taglio negli attacchi, le Fy le azioni assiali. Sull'asse verticale è indicato il piano dell'attacco, su quello orizzontale la forza. Le barre blu rappresentano la mediana dei valori massimi dei venti record, quelle arancioni la mediana sommata alla deviazione standard.

Per seguire l'andamento dei risultati al crescere dell'intensità sismica, la Tabella 5.1 riassume, per ciascun periodo di ritorno, il valore massimo delle mediane tra tutti gli attacchi, tra parentesi il piano degli attacchi in cui si verifica e il rapporto tra i due modelli.

Tabella 5.1: Valore massimo delle mediane delle forze negli attacchi per ciascun periodo di ritorno (tra parentesi il piano dell'attacco in cui si verifica) del modello accoppiato e del modello con cerniere e relativo rapporto

Periodo di ritorno	Fx - taglio [kN]			Fy - azione assiale [kN]		
	Accoppiato	Cerniere	Rapporto	Accoppiato	Cerniere	Rapporto
RP30	2,32 (3)	1,98 (3)	1,18	3,37 (5)	2,55 (5)	1,32
RP50	2,68 (3)	2,17 (5)	1,24	4,45 (5)	2,83 (5)	1,57
RP98	3,96 (4)	2,52 (5)	1,57	6,15 (5)	3,44 (5)	1,79
RP224	6,37 (4)	3,23 (5)	1,97	9,84 (5)	4,04 (5)	2,43
RP475	8,52 (4)	3,75 (5)	2,27	14,18 (1)	5,09 (5)	2,79
RP975	13,61 (4)	4,86 (5)	2,80	23,88 (1)	6,84 (5)	3,49
RP2475	22,99 (3)	7,38 (5)	3,12	44,63 (1)	9,96 (5)	4,48
RP4975	45,88 (1)	10,80 (5)	4,25	135,47 (1)	15,04 (5)	9,01

Per il periodo di ritorno più basso i due modelli forniscono risultati molto simili, sia nei valori delle forze sia nella loro distribuzione lungo l'altezza della struttura. In entrambi i casi le forze maggiori si concentrano negli attacchi ai piani 3 e 5 per le Fx e negli attacchi al piano 5 per le Fy. I valori massimi mediani del modello accoppiato superano quelli del modello con cerniere di pochi kN: 2,32 kN contro 1,98 kN per le Fx e 3,37 kN contro 2,55 kN per le Fy. Negli attacchi ai piani 1 e 2 il rapporto tra i due modelli è più alto, ma comunque la differenza rimane trascurabile.

Al crescere del periodo di ritorno le differenze aumentano progressivamente, come si osserva nella Tabella 5.1. Nel modello con cerniere le forze crescono in modo graduale: passando da RP30 a RP4975 il valore massimo mediano sale da 1,98 kN a 10,80 kN per le Fx e da 2,55 kN a 15,04 kN per le Fy. Nel modello accoppiato la crescita è molto più rapida e il valore mediano massimo arriva a 45,88 kN per le Fx e a 135,47 kN per le Fy. Il rapporto tra i valori mediani massimi dei due modelli passa così da 1,2–1,3 a RP30 a circa 4 per le Fx e 9 per le Fy a RP4975.

Aumenta anche la variabilità della risposta. Nel modello con cerniere la distanza tra la mediana e la mediana sommata alla deviazione standard cresce insieme alle forze ma resta contenuta. Nel modello accoppiato la dispersione cresce molto più rapidamente, soprattutto negli attacchi inferiori. Questo comportamento è attribuibile all'interazione con l'edificio. Nel modello accoppiato la risposta dell'edificio è non lineare, soprattutto ai periodi di ritorno più elevati, ed è quindi maggiormente influenzata dalle caratteristiche del singolo record. Essendo collegato all'edificio, il castelletto ne segue la risposta e quindi la dispersione.

Il confronto più significativo è quello al periodo di ritorno di progetto, ossia a RP475.

Si riportano di seguito i grafici delle forze per i due modelli e la Tabella 5.2, che riassume le mediane degli attacchi per ogni piano e il rapporto tra i due modelli.

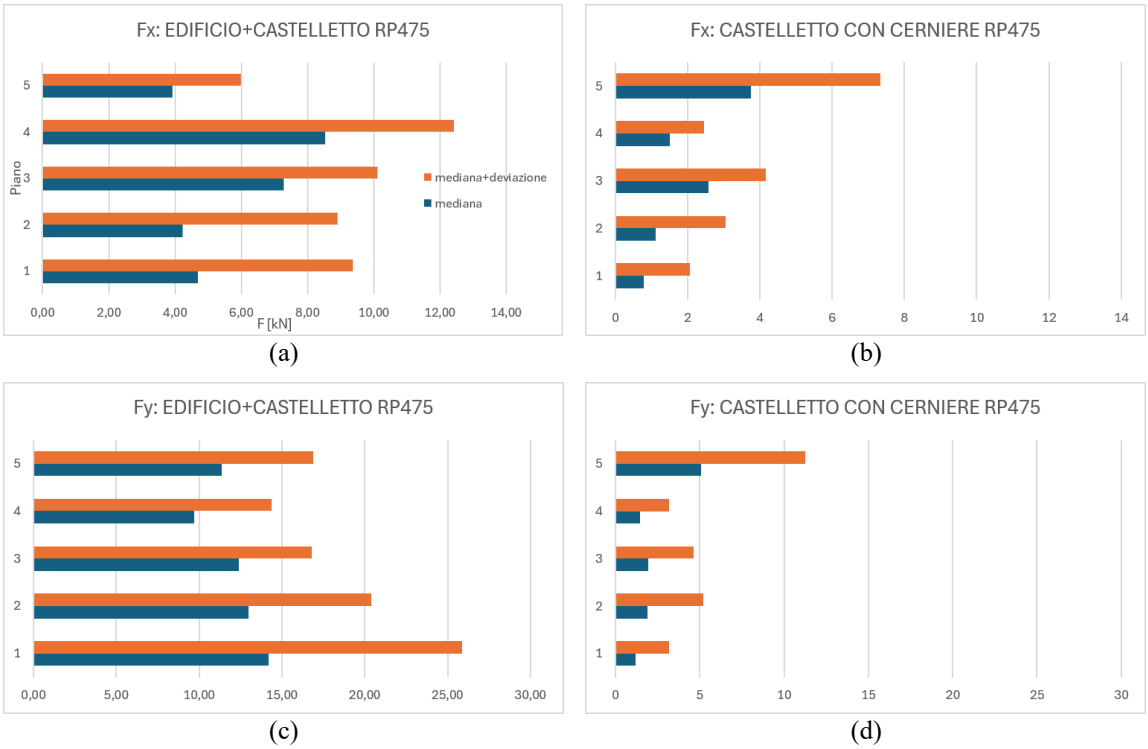


Figura 5.2: Forze negli attacchi a RP475: (a) Fx, modello accoppiato; (b) Fx, modello con cerniere; (c) Fy, modello accoppiato; (d) Fy, modello con cerniere

Tabella 5.2: Mediane delle forze negli attacchi a RP475 per ciascun piano e rapporto tra i due modelli

Attacco	Fx - taglio [kN]			Fy - azione assiale [kN]		
	Accoppiato	Cerniere	Rapporto	Accoppiato	Cerniere	Rapporto
1	4,69	0,79	5,91	14,18	1,18	12,02
2	4,23	1,11	3,81	12,98	1,92	6,78
3	7,28	2,58	2,83	12,41	1,96	6,35
4	8,52	1,50	5,67	9,71	1,46	6,65
5	3,91	3,76	1,04	11,35	5,09	2,23
MAX	8,52	3,76	2,27	14,18	5,09	2,79

Per le Fx il rapporto va da circa 1 agli attacchi del piano 5 a quasi 6 agli attacchi dei piani 1 e 4; per le Fy va da 2,2 agli attacchi del piano 5 fino a 12 a quelli del piano 1. Considerando il valore massimo tra tutti gli attacchi, che governa il dimensionamento se si adotta un unico tipo di ancoraggio, il modello accoppiato fornisce 8,52 kN contro 3,75 kN per le Fx e 14,18 kN contro 5,09 kN per le Fy, con rapporti pari a 2,3 e 2,8.

Cambia anche la distribuzione delle forze lungo l'altezza, come mostrato dai grafici.

5.2 Drift interpiano

In questo paragrafo si riportano i drift interpiano dei due modelli, calcolati a partire dagli spostamenti dei nodi d'angolo. Nel modello accoppiato si considerano sia le pilastrate agli spigoli dell'edificio sia i montanti del castelletto, nel modello con cerniere i soli montanti. Nel testo si riportano alcuni risultati relativi a RP475 utilizzati come esempio per i commenti di seguito, mentre quelli relativi agli altri periodi di ritorno sono raccolti nell'Appendice B. Nei grafici le pilastrate dell'edificio e i montanti del castelletto sono indicati con la loro posizione in pianta, secondo la nomenclatura della Figura 5.1. Anche i grafici di RP475 non riportati nel testo sono raccolti nell'Appendice B. Nei grafici di seguito, sull'asse verticale è indicato il piano, su quello orizzontale il drift in percentuale. La linea continua blu rappresenta la mediana dei valori massimi dei venti record, la linea tratteggiata azzurra la mediana sommata alla deviazione standard e quella tratteggiata verde la mediana meno la deviazione standard.

Nel modello accoppiato, in direzione y i drift del castelletto riproducono quelli dell'edificio sia nell'andamento sia nei valori, come mostrato in figura 5.3. A RP475 il drift massimo è di circa 1,45% per il castelletto e 1,47% per lo spigolo corrispondente dell'edificio, in entrambi i casi al piano 3. In questa direzione il castelletto si muove quindi in modo solidale all'edificio poiché i montanti sono ancorati ad esso.

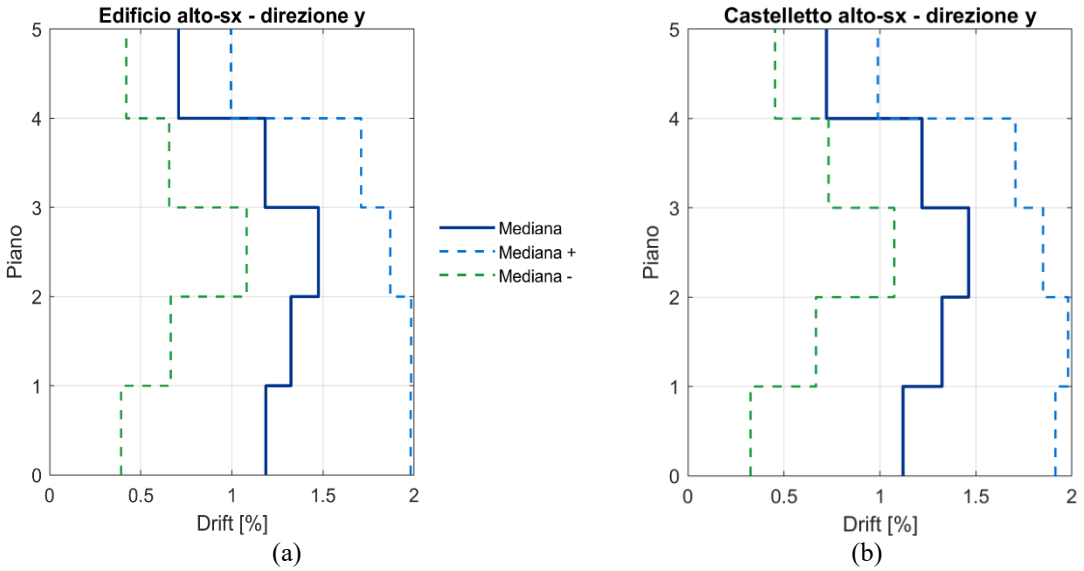


Figura 5.3: Drift interpiano in direzione y a RP475, modello accoppiato: (a) edificio, pilastrata alto-sx; (b) castelletto, montante alto-sx

In direzione x, invece, i drift del castelletto si discostano da quelli dell'edificio sia nella forma sia nei valori, come mostrato in figura 5.4. A RP475, per i montanti in alto in pianta,

il drift è inferiore a quello dell'edificio ai piani bassi e superiore all'ultimo piano. In direzione x, infatti, due montanti in alto in pianta del castelletto non sono ancorati all'edificio. Non essendo vincolati al fabbricato, sono liberi di sbandare e si deformano in modo in parte indipendente da esso. Questo sbandamento produce anche i picchi di drift presenti in alcuni piani, più evidenti ai periodi di ritorno bassi, dove gli spostamenti dell'edificio sono contenuti.

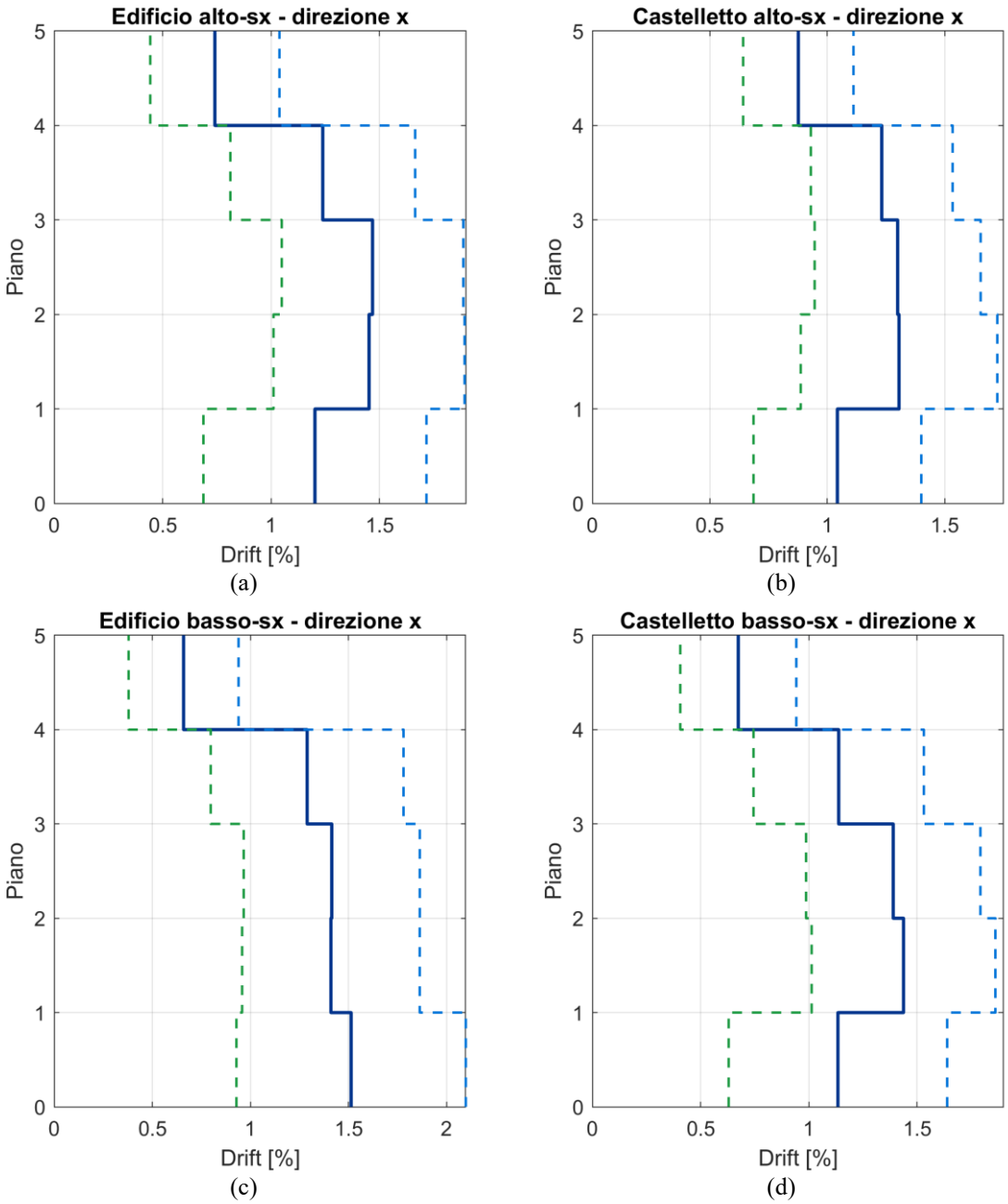


Figura 5.4: Drift interpiano in direzione x a RP475, modello accoppiato: (a) edificio, pilastrata alto-sx; (b) castelletto, montante alto-sx; (c) edificio, pilastrata basso-sx; (d) castelletto, montante basso-sx

Passando al confronto tra i due modelli, le differenze sono molto evidenti. La Figura 5.5 riporta i drift del castelletto nel modello con cerniere per il periodo di ritorno di 475 anni, che risultano quasi ovunque nulli. Le cerniere a terra bloccano infatti le traslazioni orizzontali in corrispondenza degli attacchi, presenti a ogni piano e impediscono quindi gli spostamenti relativi tra un piano e l'altro. Gli unici drift diversi da zero si osservano in direzione x nei montanti in alto in pianta, cioè proprio in quelli non ancorati in questa direzione. Restano comunque molto piccoli: a RP475 il valore massimo è di circa 0,09%, contro circa 1,3% dello stesso montante nel modello accoppiato, ossia circa 15 volte meno. In alcuni piani la curva della mediana meno la deviazione standard assume valori negativi, privi di significato fisico: ciò avviene perché la deviazione standard supera la mediana, a indicare una dispersione elevata rispetto a valori molto piccoli. Nel modello accoppiato il castelletto segue invece gli spostamenti dell'edificio. Lo schema con cerniere non è quindi in grado di rappresentare la deformazione imposta al castelletto dall'edificio.

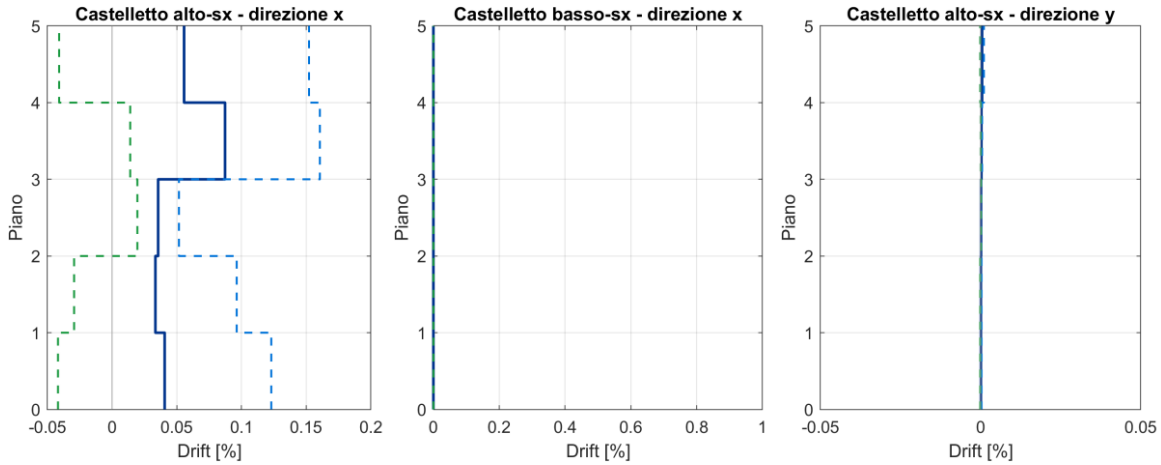


Figura 5.5: Drift interpiano del castelletto a RP475, modello con cerniere: (a) montante alto-sx, direzione x; (b) montante basso-sx, direzione x; (c) montante alto-sx, direzione y

5.3 Spettri di risposta di piano in accelerazione

In questo paragrafo si riportano gli spettri di risposta di piano in accelerazione assoluta, calcolati con uno smorzamento del 5% a partire dalle storie di accelerazione dei nodi di sommità. Si considerano i nodi in sommità dei quattro spigoli dell'edificio e quelli dei quattro montanti del castelletto, indicati nella Tabella 5.3 con il numero del nodo in sommità nel modello e la posizione in pianta secondo la nomenclatura della Figura 5.1. Nel modello con cerniere sono disponibili i soli nodi del castelletto.

Tabella 5.3: Nodi di sommità per i quali sono stati calcolati gli spettri di piano e relativa posizione in pianta (vedi Figura 5.1)

Nodo	Struttura	Posizione in pianta
152	edificio	basso-sx
157	edificio	basso-dx
170	edificio	alto-sx
175	edificio	alto-dx
246	castelletto	basso-sx
245	castelletto	basso-dx
239	castelletto	alto-sx
233	castelletto	alto-dx

Come per le altre grandezze, per ciascun periodo di ritorno si riporta la mediana degli spettri dei singoli record, insieme alle curve ottenute sommando e sottraendo la deviazione standard alla mediana. Per il modello accoppiato, ai periodi di ritorno più elevati alcuni record sono stati esclusi dal calcolo per mancata convergenza o collasso. Il numero di record effettivamente utilizzati è indicato nel titolo di ciascun grafico. Dato il numero elevato di spettri, nel testo si riportano solo quelli utilizzati come esempio per illustrare le analogie e le differenze commentate di seguito. Tutti gli spettri sono raccolti nell'Appendice C.

I picchi di uno spettro di piano si trovano in corrispondenza dei periodi propri della struttura nella direzione considerata. La posizione e la forma dei picchi permettono di capire quando la risposta diventa non lineare. Nella Figura 5.6 si riportano, come esempio, gli spettri del nodo 152 (edificio basso-sx) in direzione x. A RP30 lo spettro presenta due picchi ben distinti, a circa 1,09 s e 0,34 s, che corrispondono al primo modo e a un modo superiore dell'edificio in direzione x. A RP475 gli stessi picchi si trovano a circa 1,33 s e 0,39 s: i periodi si allungano perché il danneggiamento degli elementi riduce la rigidezza della struttura.

Con le non linearità i picchi diventano anche meno evidenti e la differenza tra i picchi e il resto della curva si riduce. Il rapporto tra il primo picco e il valore minimo compreso tra i due picchi passa da circa 2,7 a RP30 a circa 2,0 a RP475; per il secondo picco lo stesso rapporto passa da circa 2,5 a 1,6. La rigidezza della struttura, infatti, non è più costante ma varia durante il sisma. Il fenomeno si accentua ai periodi di ritorno più alti (Figura 5.6c): a RP2475 e RP4975 il secondo picco non è più riconoscibile.

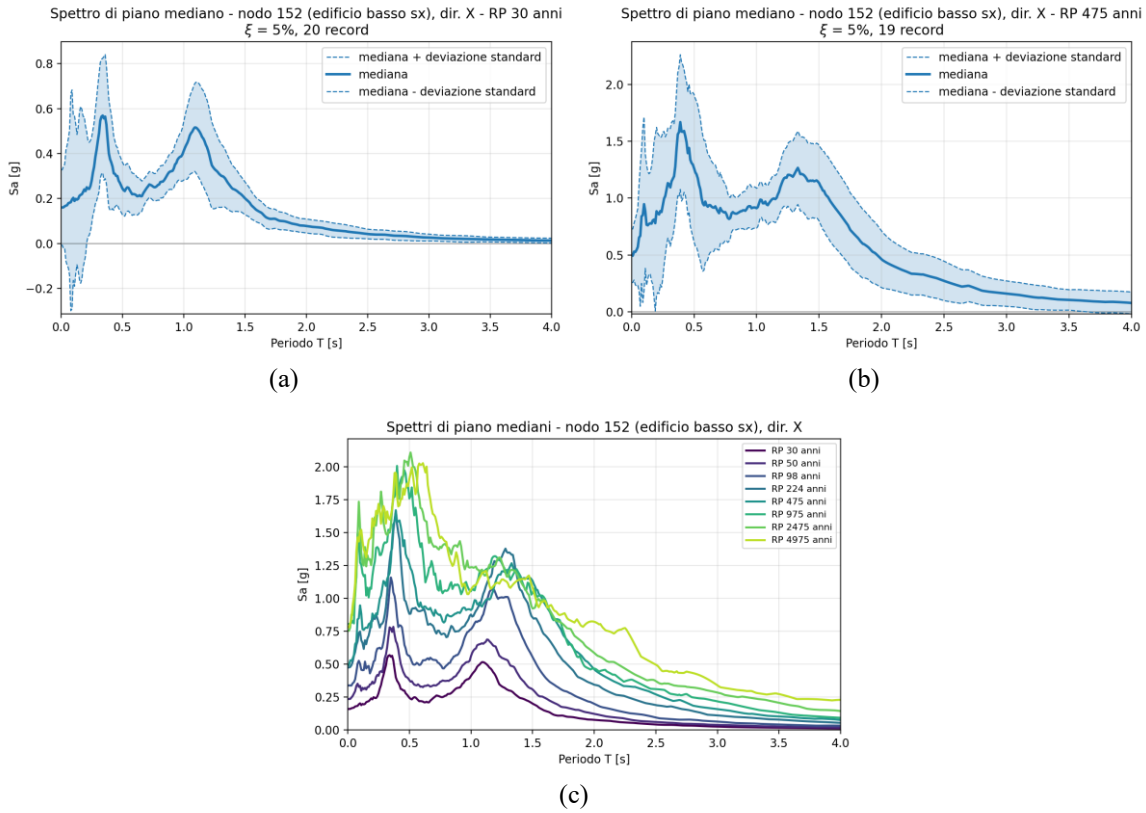
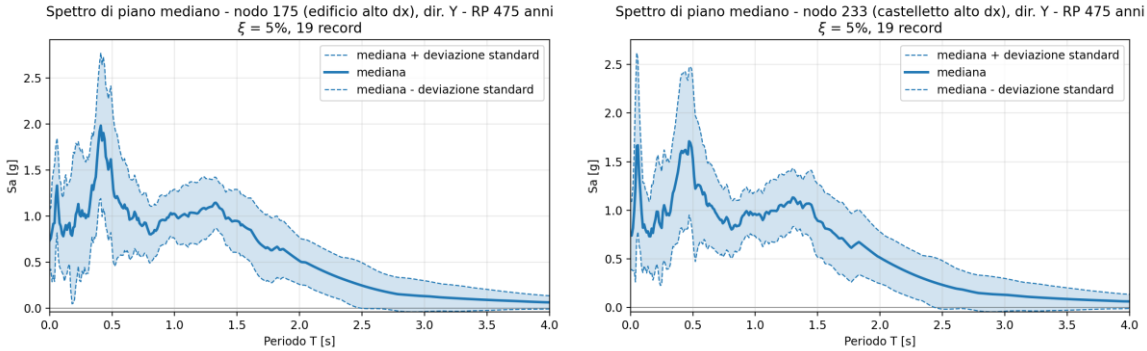


Figura 5.6: Spettri di piano del nodo 152 (edificio basso-sx) in direzione x, modello accoppiato: (a) RP30; (b) RP475; (c) mediane per tutti i periodi di ritorno

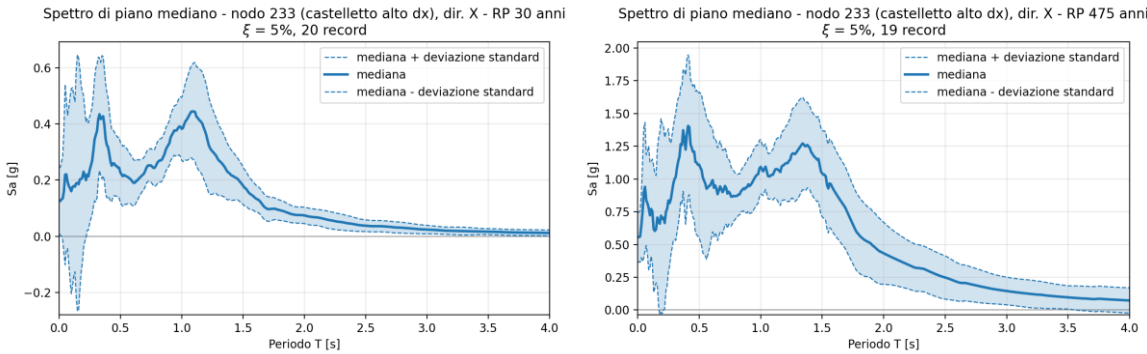
In direzione y gli spettri dei nodi del castelletto sono molto simili a quelli dei nodi dell'edificio. Nella Figura 5.7 si confrontano, a RP475, lo spettro del nodo 233 (castelletto alto-dx) e quello del nodo 175 (edificio alto-dx). I due spettri hanno lo stesso andamento, con i due picchi negli stessi intervalli di periodi. Le differenze sono contenute e locali: in corrispondenza del primo picco lo spettro del castelletto è inferiore di circa il 20%, mentre in corrispondenza del secondo, i due picchi sono pressoché coincidenti, con valori di circa 1,1g. Questo risultato è coerente con quanto osservato per i drift: in direzione y il castelletto è ancorato all'edificio e si muove in modo solidale con esso.



(a) (b)

Figura 5.7: Spettri di piano in direzione y a RP475, modello accoppiato: (a) nodo 175 (edificio alto-dx); (b) nodo 233 (castelletto alto-dx)

Poiché il castelletto è modellato con elementi elastici, ci si aspetterebbe per i suoi nodi una risposta lineare. Nel modello accoppiato la risposta è invece non lineare, perché il castelletto è collegato all'edificio e ne segue il comportamento. Lo si vede chiaramente nel nodo 233 in direzione x (Figura 5.8), anche se non è ancorato direttamente all'edificio in questa posizione. A RP30 lo spettro presenta picchi a circa 0,33 s e 1,10 s, cioè agli stessi periodi dell'edificio; a RP475 i picchi si spostano a circa 0,41 s e 1,34 s e diventano meno pronunciati, con un rapporto tra il secondo picco e il minimo tra i picchi che passa da circa 2,3 a 1,5. L'allungamento dei periodi e l'appiattimento dei picchi sono quindi gli stessi osservati per l'edificio: la non linearità della risposta del castelletto non dipende dai suoi elementi, ma è trasmessa dall'edificio attraverso l'accoppiamento.



(a) (b)

Figura 5.8: Spettri di piano del nodo 233 (castelletto alto-dx) in direzione x, modello accoppiato: (a) RP30; (b) RP475

Gli spettri del castelletto isolato sono molto diversi da quelli del castelletto accoppiato all'edificio (Figura 5.9). Nel modello con cerniere le traslazioni orizzontali dei nodi collegati

agli ancoraggi sono bloccate a ogni piano, per cui la loro accelerazione coincide con quella del suolo e lo spettro di piano riproduce lo spettro dell'accelerogramma applicato. Gli spettri dei quattro montanti sono infatti coincidenti in direzione y, e in direzione x i montanti in alto in pianta, non ancorati, presentano differenze minime.

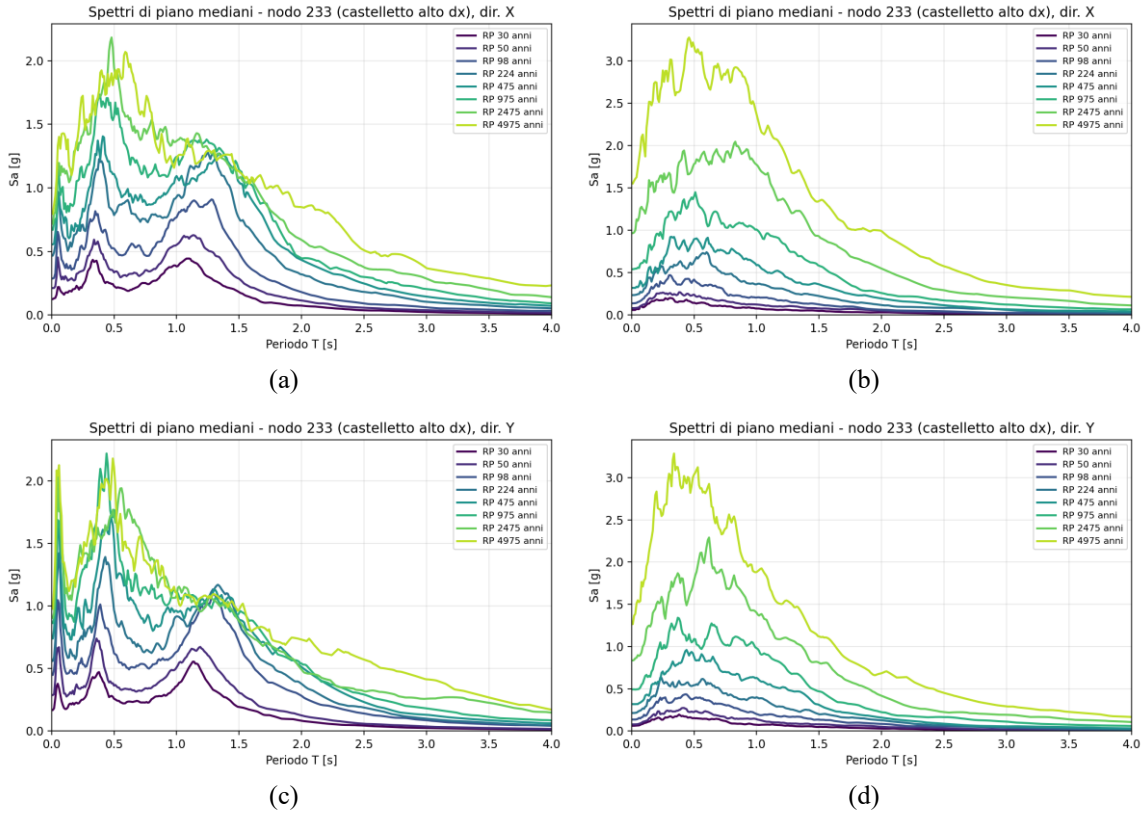


Figura 5.9: Mediane degli spettri di piano del nodo 233 (castelletto alto-dx) per tutti i periodi di ritorno: (a) modello accoppiato, direzione x; (b) modello con cerniere, direzione x; (c) modello accoppiato, direzione y; (d) modello con cerniere, direzione y

6. MODELLAZIONE AVANZATA DEI COLLEGAMENTI

Il confronto svolto nel Capitolo 5 ha mostrato che il modello accoppiato con ancoraggi rigidi restituisce azioni molto maggiori di quelle stimate con lo schema della pratica progettuale corrente. Gli elementi del castelletto risultano quindi sollecitati più di quanto previsto in fase di progetto, e alcuni di essi possono risultare non verificati.

In questo capitolo si studia una possibile soluzione al problema: dispositivi dissipativi in grado di scorrere una volta raggiunto un determinato valore di forza. In questo modo la forza trasmessa dagli ancoraggi resta limitata al valore di soglia, riducendo di conseguenza le sollecitazioni negli elementi del castelletto.

6.1 Dispositivo dissipativo

Dal punto di vista costruttivo, un dispositivo dissipativo si ottiene con piastre sovrapposte collegate da bulloni precaricati. Finché la forza agente resta inferiore alla resistenza per attrito fornita dal precarico dei bulloni, il dispositivo si comporta come un vincolo rigido. Quando la forza supera questo valore, le piastre scorrono lungo la corsa e la forza trasmessa non cresce più.

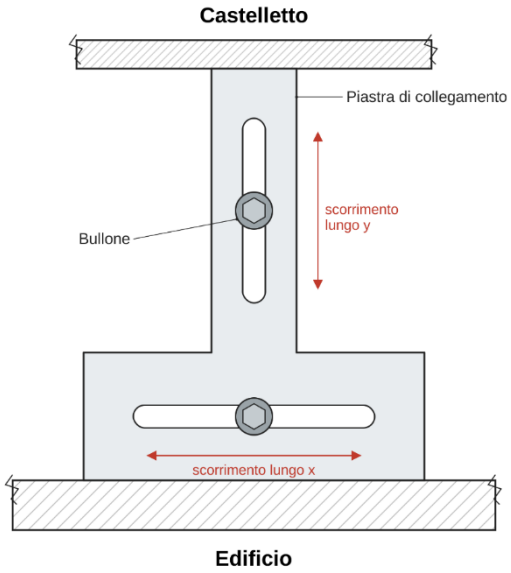


Figura 6.1: Schema del dispositivo dissipativo

Nel modello OpenSees questo comportamento si riproduce modificando il legame assegnato agli elementi ZeroLength che modellano i collegamenti. Nelle due direzioni orizzontali si adotta il materiale ElasticPP, che descrive un legame uniassiale elastico-perfettamente plastico. In direzione verticale il collegamento resta libero, come negli altri modelli.

La sintassi da utilizzare per le due direzioni orizzontali è quindi la seguente:

```
op.uniaxialMaterial('ElasticPP', 6/7, k, εpsP , -εpsP , 0.0)
```

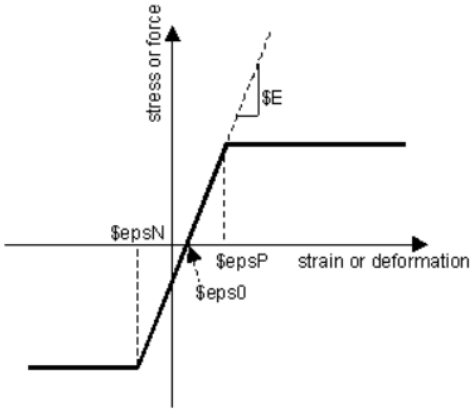


Figura 6.2: Legame elastico-perfettamente plastico (ElasticPP) adottato per gli ancoraggi con dispositivo dissipativo

Il materiale è definito da due soli parametri: la rigidezza k del ramo elastico e la deformazione ε_{psP} oltre la quale inizia lo scorrimento.

La rigidezza k è assunta pari a 50000 kN/m.

Per definire la soglia di scorrimento si assume, in ciascuna direzione, il valore mediano minimo della forza negli ancoraggi ottenuto dal modello ad ancoraggi rigidi per il periodo di ritorno di 475 anni: circa 4 kN in direzione x e circa 10 kN in direzione y. Questi valori vengono poi ridotti al 50% e al 25%, ottenendo due livelli di soglia. La deformazione di soglia si ricava come $\varepsilon_{psP} = \frac{F}{k}$.

Si riportano nella tabella di seguito i risultati ottenuti.

Tabella 6.1: Livelli di soglia adottati per i dispositivi dissipativi: forze di scorrimento Fx e Fy [kN] e deformazioni di soglia corrispondenti

Livello di soglia	Fx	Fy	εpspx	εpspy
50%	2	5	4,0E-05	1,0E-04
25%	1	2,5	2,0E-05	5,0E-05

Per la soglia al 50% gli ancoraggi sono descritti dai seguenti materiali, rispettivamente in direzione x e in direzione y:

```
op.uniaxialMaterial('ElasticPP', 6, 50.000E+003, 4.000E-005, -4.000E-005,
0.0)
op.uniaxialMaterial('ElasticPP', 7, 50.000E+003, 1.000E-004, -1.000E-004,
0.0)
```

Questo modello verrà chiamato in seguito per semplicità El-Pl_50.

Per la soglia al 25%:

```
op.uniaxialMaterial('ElasticPP', 6, 50.000E+003, 2.000E-005, -2.000E-005,
0.0)
op.uniaxialMaterial('ElasticPP', 7, 50.000E+003, 5.000E-005, -5.0000E-005,
0.0)
```

Questo modello verrà chiamato in seguito per semplicità El-Pl_25.

6.2 Forze scambiate agli attacchi

In questo paragrafo si confrontano le forze scambiate negli attacchi nel modello con ancoraggi rigidi e nei due modelli con dispositivi dissipativi, ossia El-Pl_50 ed El-Pl_25. Nel testo si riportano i grafici relativi al periodo di ritorno di 475 anni, mentre quelli relativi agli altri sette periodi di ritorno sono raccolti nell'Appendice A. Nei titoli dei grafici il modello accoppiato è indicato come "EDIFICIO+CASTELLETTO", il modello El-Pl_50 come "ANCORAGGI El-Pl_50" e il modello El-Pl_25 come "ANCORAGGI El-Pl_25". Si riportano sei grafici, due per modello: le Fx rappresentano le forze di taglio negli attacchi, le Fy le azioni assiali. Sull'asse verticale è indicato il piano dell'attacco, su quello orizzontale la forza. Le barre blu rappresentano la mediana dei valori massimi dei venti record, quelle arancioni la mediana sommata alla deviazione standard.

Per seguire l'andamento dei risultati al crescere dell'intensità sismica, la Tabella 6.2 riporta, per ciascun periodo di ritorno, il valore massimo delle mediane tra tutti gli attacchi e tra parentesi il piano degli attacchi in cui si verifica.

Tabella 6.2: Valore massimo delle mediane delle forze negli attacchi per ciascun periodo di ritorno nei tre modelli (tra parentesi i piani degli attacchi in cui si verifica)

Periodo di ritorno	Fx - taglio [kN]			Fy - azione assiale [kN]		
	Rigidi	El-Pl_50	El-Pl_25	Rigidi	El-Pl_50	El-Pl_25
RP30	2,32 (3)	2,00 (1-3)	1,00 (1-2-3-4)	3,37 (5)	3,55 (5)	2,50 (5)
RP50	2,68 (3)	2,00 (2-3-4-5)	1,00 (1-2-3-4-5)	4,45 (5)	4,51 (5)	2,50 (3-4-5)
RP98	3,96 (4)	2,00 (1-2-3-4-5)	1,00 (1-2-3-4-5)	6,15 (5)	5,00 (5)	2,50 (1-2-3-4-5)
RP224	6,37 (4)	2,00 (1-2-3-4-5)	1,00 (1-2-3-4-5)	9,84 (5)	5,00 (1-2-3-4-5)	2,50 (1-2-3-4-5)
RP475	8,52 (4)	2,00 (1-2-3-4-5)	1,00 (1-2-3-4-5)	14,18 (1)	5,00 (1-2-3-4-5)	2,50 (1-2-3-4-5)
RP975	13,61 (4)	2,00 (1-2-3-4-5)	1,00 (1-2-3-4-5)	23,88 (1)	5,00 (1-2-3-4-5)	2,50 (1-2-3-4-5)
RP2475	22,99 (3)	2,00 (1-2-3-4-5)	1,00 (1-2-3-4-5)	44,63 (1)	5,00 (1-2-3-4-5)	2,50 (1-2-3-4-5)
RP4975	45,88 (1)	2,00 (1-2-3-4-5)	1,00 (1-2-3-4-5)	135,47 (1)	5,00 (1-2-3-4-5)	2,50 (1-2-3-4-5)

La posizione degli ancoraggi più sollecitati rimane la stessa nei tre modelli. Il confronto è visibile ai periodi di ritorno bassi, dove i valori di forza massimi non sono ancora raggiunti ovunque. A RP30, per le Fx, gli attacchi più sollecitati sono quelli al piano 3 nel modello con ancoraggi rigidi, e resta tra i più sollecitati anche nei due modelli con dispositivi dissipativi, dove raggiungono i valori di forza massimi insieme agli attacchi al piano 1 nel modello El-Pl_50 e agli attacchi dei piani 1, 2 e 4 nel modello El-Pl_25. Per le Fy il massimo si verifica agli attacchi del piano 5 in tutti e tre i modelli. Lo scorrimento riduce quindi l'intensità delle forze senza modificare la posizione degli attacchi più sollecitati.

I valori di forza massimi nei modelli con dispositivi dissipativi vengono raggiunti rapidamente in tutti gli attacchi. Per le Fx ciò avviene a partire da RP98 per il modello El-Pl_50 e da RP50 per il modello El-Pl_25, mentre per le Fy da RP224 per il modello El-Pl_50 e da RP98 per il modello El-Pl_25. Da questi livelli di intensità in poi la forza negli ancoraggi coincide con i valori massimi di forza. Di conseguenza, la variabilità della risposta è fortemente ridotta e la dispersione è molto contenuta già ai periodi di ritorno bassi e si annulla a quelli più elevati, dove gli attacchi raggiungono i valori massimi in tutti i record. Il comportamento è opposto a quello del modello con ancoraggi rigidi, nel quale la dispersione cresce con l'intensità.

Il confronto più significativo è quello al periodo di ritorno di progetto, ossia a RP475.

Si riportano di seguito i grafici delle forze per i tre modelli e la Tabella 6.3, che riporta le mediane degli attacchi per ogni piano.

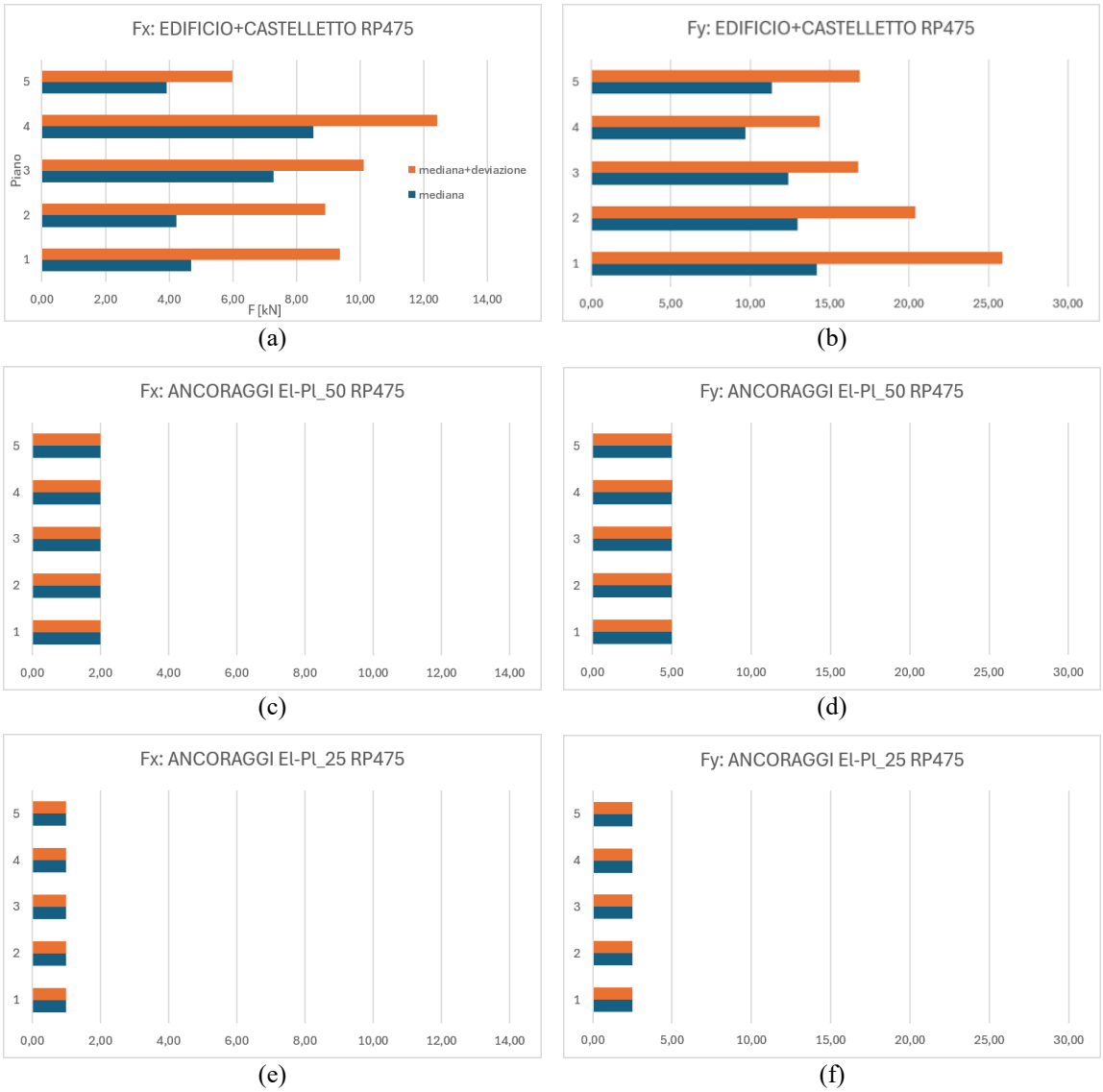


Figura 6.3: Forze negli attacchi a RP475: (a) Fx e (b) Fy, modello con ancoraggi rigidi; (c) Fx e (d) Fy, modello El-Pl_50; (e) Fx e (f) Fy, modello El-Pl_25

Tabella 6.3: Mediane delle forze negli attacchi a RP475 per ciascun piano nei tre modelli

Attacco	Fx - taglio [kN]			Fy - azione assiale [kN]		
	Rigidi	El-Pl_50	El-Pl_25	Rigidi	El-Pl_50	El-Pl_25
1	4,69	2,00	1,00	14,18	5,00	2,50
2	4,23	2,00	1,00	12,98	5,00	2,50
3	7,28	2,00	1,00	12,41	5,00	2,50
4	8,52	2,00	1,00	9,71	5,00	2,50
5	3,91	2,00	1,00	11,35	5,00	2,50
MAX	8,52	2,00	1,00	14,18	5,00	2,50

Il valore massimo tra tutti gli attacchi passa, per le Fx, da 8,52 kN nel modello con ancoraggi rigidi a 2,00 kN e 1,00 kN nei due modelli con dispositivi dissipativi, con rapporti pari a 4,3 e 8,5. Per le Fy passa da 14,18 kN a 5,00 kN e 2,50 kN, con rapporti pari a 2,8 e 5,7. Tali rapporti crescono con l'intensità sismica, perché nei modelli con i dispositivi dissipativi la forza resta costante mentre nel modello con ancoraggi rigidi continua a crescere: a RP4975 il rapporto arriva a 23 e 46 per le Fx e a 27 e 54 per le Fy.

6.3 Drift interpiano

In questo paragrafo si riportano i drift interpiano dei modelli con dispositivi dissipativi e del modello con ancoraggi rigidi, già presentato al paragrafo 5.2. I confronti sono riportati a coppie: il primo gruppo di grafici mette a confronto il modello con ancoraggi rigidi e il modello El-Pl_50, il secondo gruppo il modello El-Pl_50 e il modello El-Pl_25. Come nel capitolo precedente, nel testo si riportano alcuni grafici relativi a RP475 utilizzati come esempio per i commenti di seguito, mentre quelli relativi agli altri periodi di ritorno sono raccolti nell'Appendice B. Anche i grafici di RP475 non riportati nel testo sono raccolti nell'Appendice B. Le pilastrate dell'edificio e i montanti del castelletto sono indicati secondo la nomenclatura in pianta della Figura 5.1. Nei grafici di seguito, sull'asse verticale è indicato il piano, su quello orizzontale il drift in percentuale. Le linee continue rappresentano le mediane dei valori massimi dei venti record, quelle tratteggiate la mediana sommata e sottratta alla deviazione standard.

Nel confronto tra il modello con ancoraggi rigidi, in blu, e il modello El-Pl_50, in rosso, i drift del castelletto in direzione x diminuiscono quasi ovunque, come mostrato in figura 6.4. Tale riduzione è conseguenza diretta dei dispositivi dissipativi: raggiunta la soglia di scorrimento, l'ancoraggio scorre e il castelletto non è più obbligato a seguire lo spostamento dell'edificio, per cui lo spostamento del castelletto si riduce e con esso il drift.

In direzione y, invece, la diminuzione risulta inferiore ed è localizzata solo in alcuni piani.

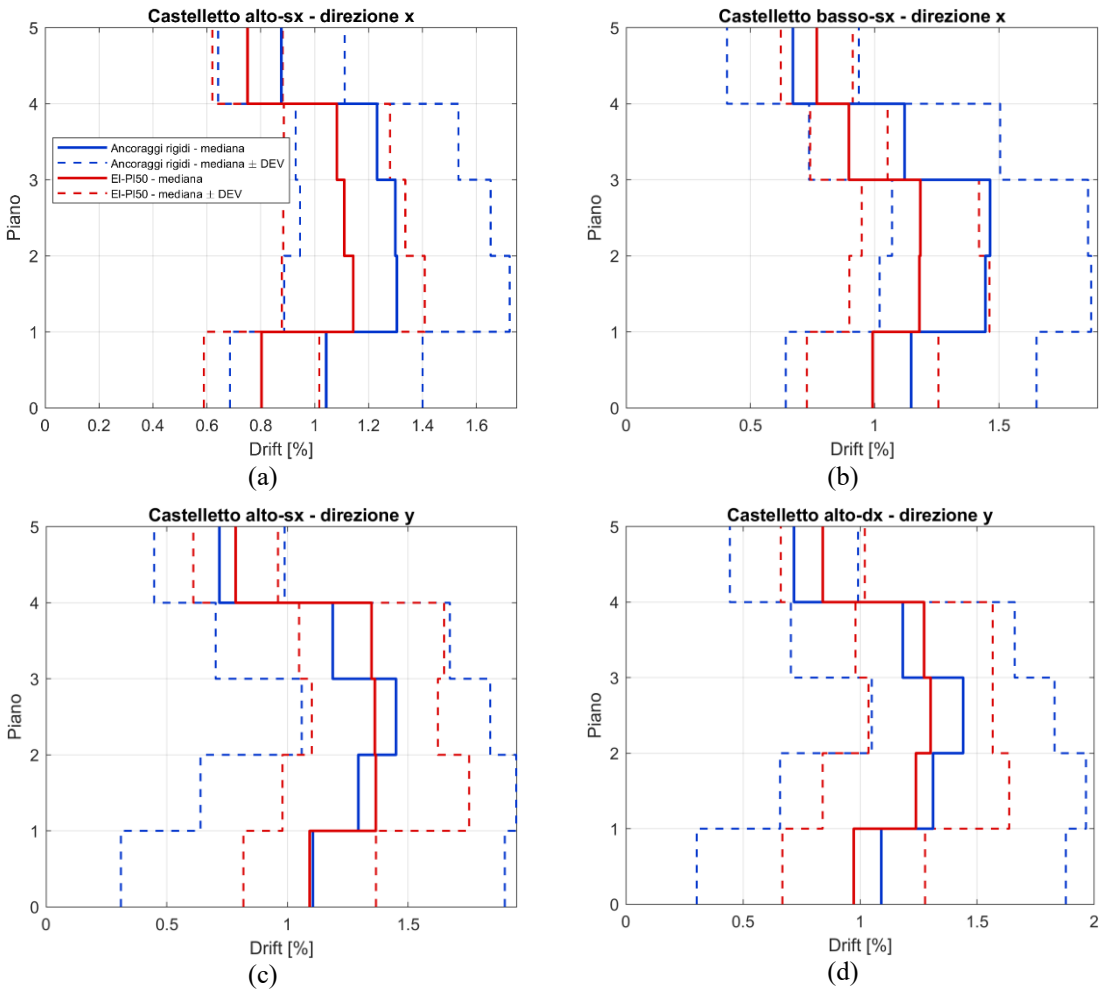


Figura 6.4: Drift interpiano a RP475, confronto tra il modello con ancoraggi rigidi (blu) e il modello El-Pl_50 (rosso), castelletto: (a) montante alto-sx, direzione x; (b) montante basso-sx, direzione x; (c) montante alto-sx, direzione y; (d) montante alto-dx, direzione y

Il confronto dei drift dei nodi dell'edificio mostra invece curve pressoché identiche, sia in direzione x sia in direzione y, come mostrato in figura 6.5. Il risultato è quello atteso: la massa e la rigidezza del castelletto sono molto piccole rispetto a quelle del fabbricato, per cui la modifica degli ancoraggi cambia la risposta del castelletto ma non quella dell'edificio.

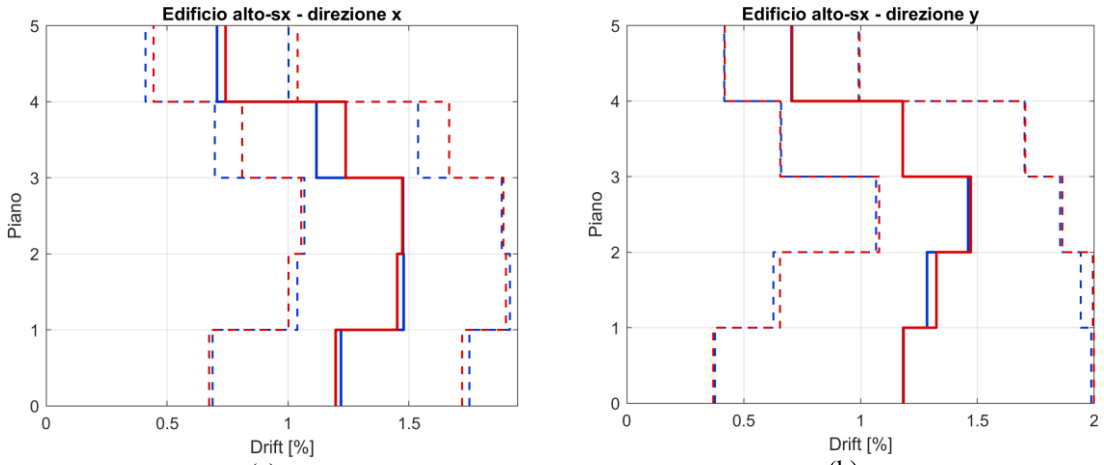


Figura 6.5: Drift interpiano a RP475, confronto tra il modello con ancoraggi rigidi (blu) e il modello El-Pl_50 (rosso), edificio: (a) pilastrata alto-sx, direzione x; (b) pilastrata alto-sx, direzione y

Il secondo confronto riguarda i due modelli con dissipatori plastici, El-Pl_50 in blu ed El-Pl_25 in rosso. I drift del castelletto nel modello El-Pl_25 sono inferiori a quelli del modello El-Pl_50 a tutti i piani e in entrambe le direzioni, come mostrato in figura 6.6. Il risultato è quello atteso: dimezzando la soglia di attivazione, lo scorrimento si innesca per forze più basse e risulta quindi maggiore, con una conseguente riduzione del drift.

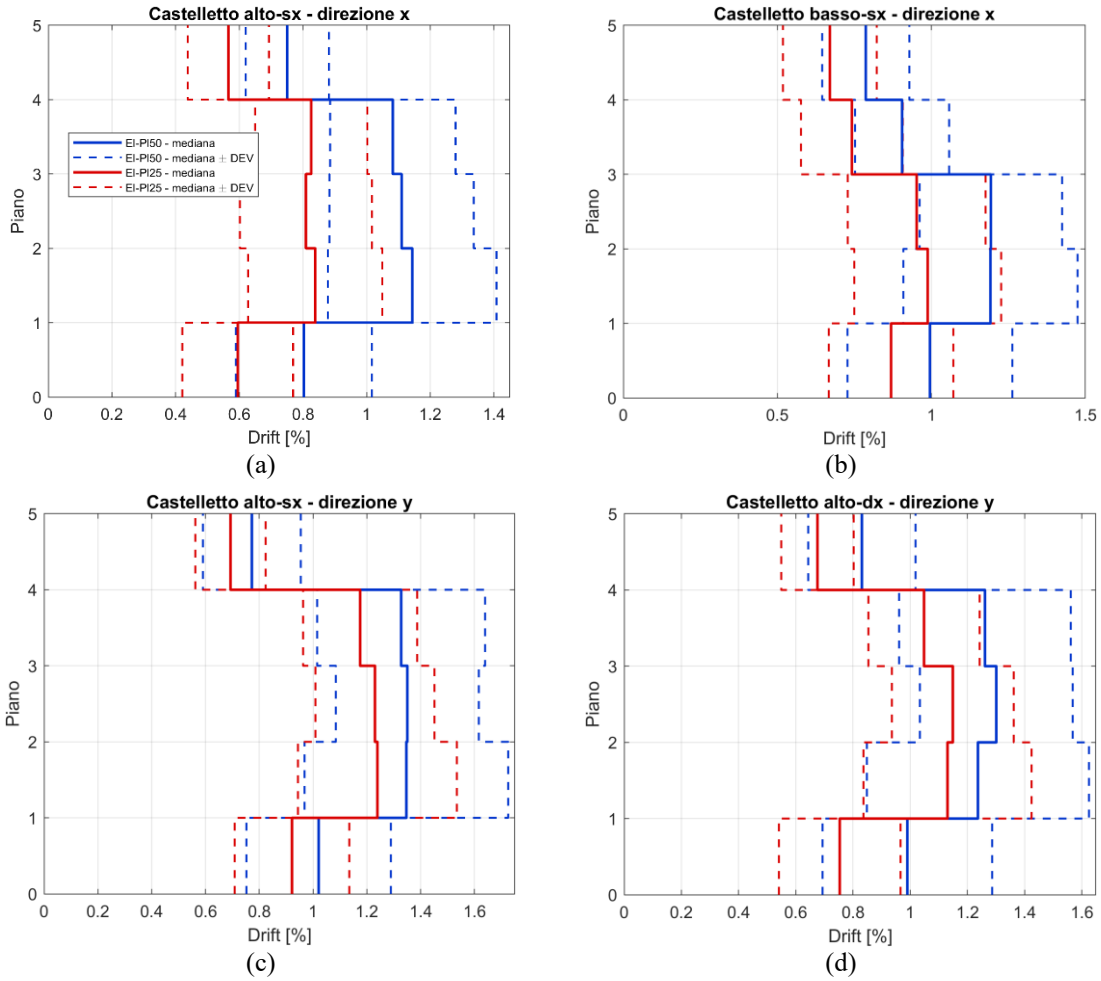
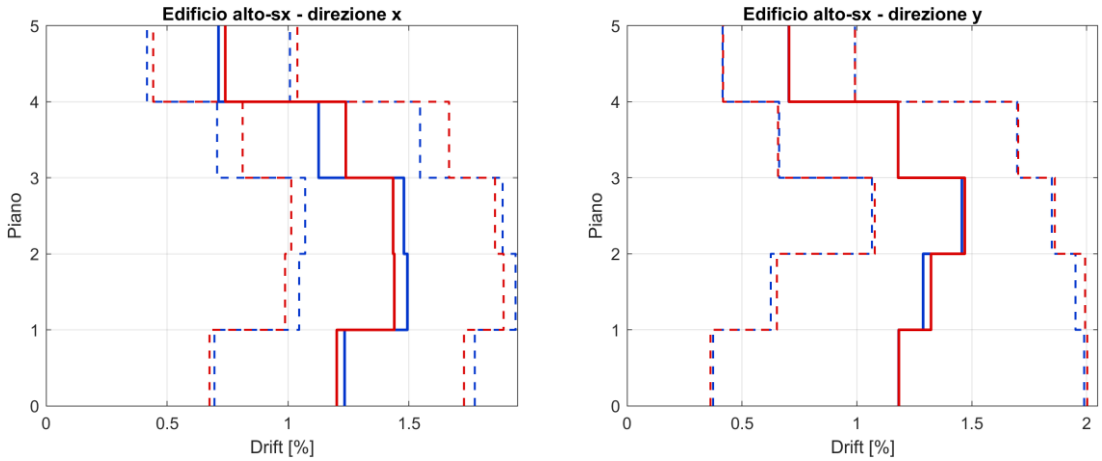


Figura 6.6: Drift interpiano a RP475, confronto tra il modello El-Pl_50 (blu) e il modello El-Pl_25 (rosso), castelletto: (a) montante alto-sx, direzione x; (b) montante basso-sx, direzione x; (c) montante alto-sx, direzione y; (d) montante alto-dx, direzione y

Anche in questo confronto i drift dei nodi dell'edificio restano pressoché invariati, come mostrato in figura 6.7.



(a) (b)

Figura 6.7: Drift interpiano a RP475, confronto tra il modello El-Pl_50 (blu) e il modello El-Pl_25 (rosso), edificio: (a) pilastrata alto-sx, direzione x; (b) pilastrata alto-sx, direzione y

6.4 Spettri di risposta di piano in accelerazione

In questo paragrafo si riportano gli spettri di risposta di piano in accelerazione assoluta, calcolati con uno smorzamento del 5% a partire dalle storie di accelerazione dei nodi di sommità. Si considerano i nodi in sommità dei quattro spigoli dell'edificio e quelli dei quattro montanti del castelletto, indicati nella Tabella 5.3 con il numero del nodo in sommità nel modello e la posizione in pianta secondo la nomenclatura della Figura 5.1.

Come per le altre grandezze, per ciascun periodo di ritorno si riporta la mediana degli spettri dei singoli record, insieme alle curve ottenute sommando e sottraendo la deviazione standard alla mediana. Ai periodi di ritorno più elevati alcuni record sono stati esclusi dal calcolo per mancata convergenza o collasso. Il numero di record effettivamente utilizzati è indicato nel titolo di ciascun grafico. Dato il numero elevato di spettri, nel testo si riportano solo quelli utilizzati come esempio per illustrare le analogie e le differenze commentate di seguito. Tutti gli spettri sono raccolti nell'Appendice C.

Gli spettri relativi ai nodi in sommità dell'edificio sono praticamente gli stessi nei tre modelli. Nella Figura 6.8 si riportano, come esempio, gli spettri del nodo 152 (edificio basso-sx) di tutti e tre i modelli in direzione x per il periodo di ritorno di 475 anni.

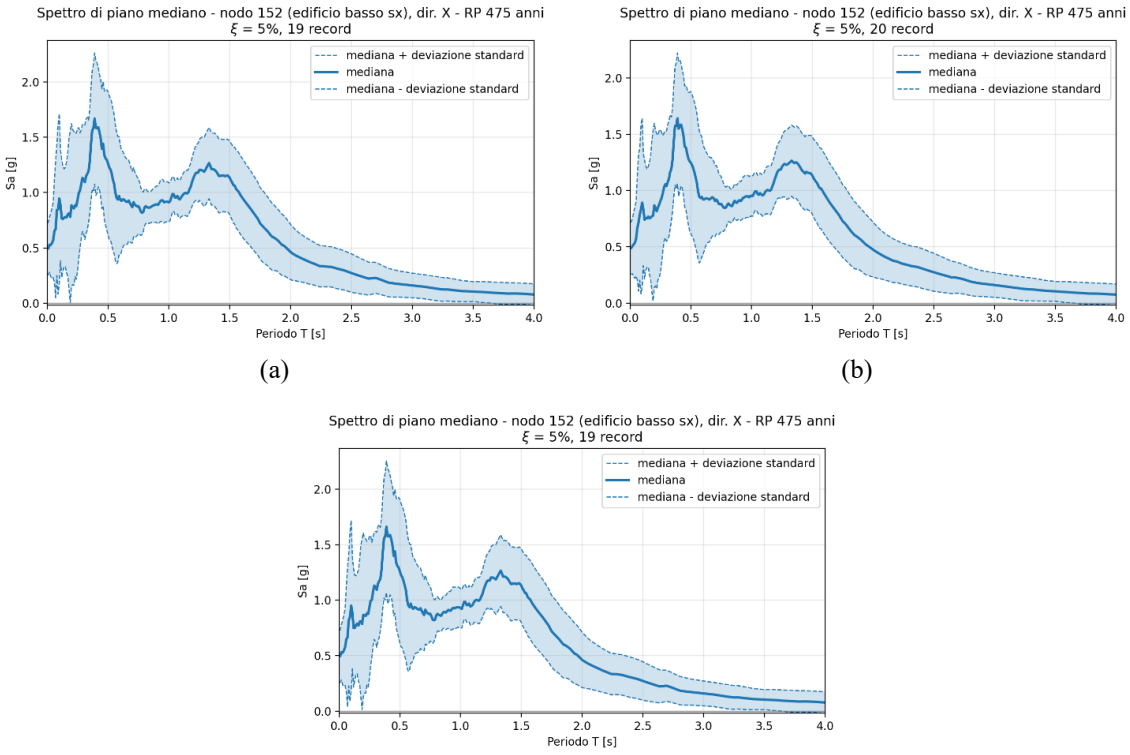


Figura 6.8: Spettri di piano del nodo 152 (edificio basso-sx) in direzione x a RP475: (a) modello con ancoraggi rigidi; (b) modello El-Pl_50; (c) modello El-Pl_25

Le tre curve hanno lo stesso andamento e i picchi cadono in corrispondenza degli stessi periodi: il primo a circa 0,39 s e il secondo a circa 1,33 s. Anche le ordinate spettrali sono di fatto coincidenti: il primo picco vale circa 1,63 g nel modello con ancoraggi rigidi, 1,60 g nel modello El-Pl_50 e 1,62 g nel modello El-Pl_25, mentre il secondo vale circa 1,26 g in tutti e tre i casi. Questo conferma quanto osservato al paragrafo 6.3: la massa e la rigidezza del castelletto sono molto piccole rispetto a quelle del fabbricato, per cui la modifica degli ancoraggi cambia la risposta del castelletto ma non quella dell'edificio.

Passando ai nodi del castelletto, gli spettri dei tre modelli presentano invece differenze rilevanti. Nella Figura 6.9 si riportano, come esempio, gli spettri del nodo 233 (castelletto alto-dx) di tutti e tre i modelli in direzione x per il periodo di ritorno di 475 anni.

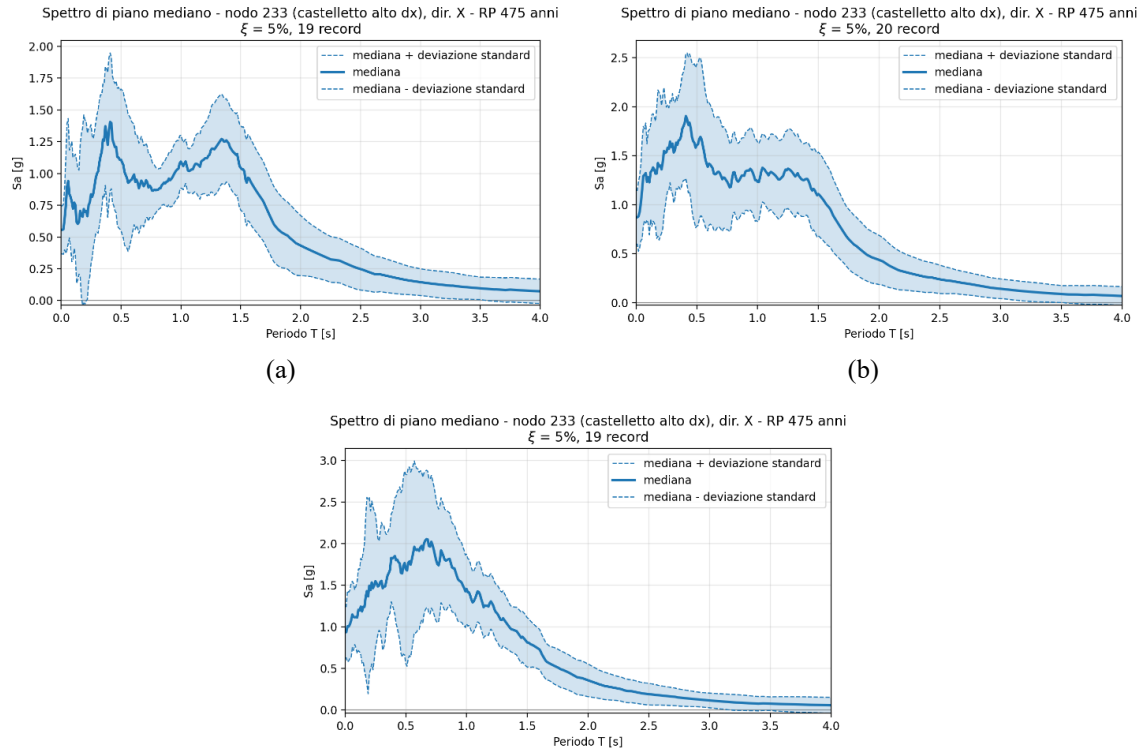


Figura 6.9: Spettri di piano del nodo 233 (castelletto alto-dx) in direzione x a RP475: (a) modello con ancoraggi rigidi; (b) modello El-Pl_50; (c) modello El-Pl_25

L'andamento dei tre spettri è completamente diverso. Nel modello con gli ancoraggi rigidi si individuano due picchi ben marcati, in corrispondenza dei periodi propri della struttura nella direzione x: il primo a circa 0,42 s, con un'ordinata di circa 1,36 g, e il secondo a circa 1,35 s, con un'ordinata di circa 1,27 g. Nel modello El-Pl_50 il primo picco cade nello stesso intervallo di periodi, a circa 0,41 s, ma con un'ordinata di circa 1,87 g, mentre il secondo picco non è più distinguibile. Nel modello El-Pl_25, infine, non si individua alcun picco netto. Lo spettro presenta un andamento ampio e regolare, con il massimo di circa 2,05 g spostato a circa 0,67 s.

Questo comportamento è dovuto alla diversa modellazione degli ancoraggi. Con ancoraggi rigidi il castelletto è obbligato a seguire lo spostamento dell'edificio. Lo spettro di piano tende a riprodurre quindi i periodi propri del fabbricato, con picchi netti in corrispondenza dei modi. Con i dispositivi dissipativi, invece, una volta raggiunta la soglia di scorrimento il castelletto risulta parzialmente svincolato dall'edificio e i picchi legati ai modi del fabbricato si attenuano. Quanto più bassa è la soglia, tanto maggiore è l'indipendenza del castelletto dalla risposta dell'edificio, per cui i picchi si attenuano progressivamente, fino quasi a scomparire.

6.5 Valutazione dell'efficacia dei dispositivi dissipativi

Per verificare se i dispositivi dissipativi portano un beneficio concreto agli elementi del castelletto, si confronta la capacità ultima del castelletto, ricavata dal modello con ancoraggi rigidi, con la domanda massima ottenuta nei due modelli con dispositivi dissipativi. La capacità ultima del castelletto si ricava a partire dagli elementi che convergono nei collegamenti. Per ognuno di essi si conduce una verifica di tipo tensionale.

Le sezioni dei traversi e dei montanti sono in classe 3, quindi la verifica viene condotta in campo elastico. La tensione in un punto di coordinate generiche (y,z), riferite agli assi principali d'inerzia, vale:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed,y}}{I_y} z - \frac{M_{Ed,z}}{I_z} y$$

Dove N_{Ed}, $M_{Ed,y}$ e $M_{Ed,z}$ sono l'azione assiale e i momenti flettenti agenti attorno ai due assi principali, A è l'area della sezione e Iz e Iy sono i momenti d'inerzia principali. La verifica tensionale risulta soddisfatta se: $|\sigma| \leq \frac{f_{yk}}{\gamma_{m0}}$, dove f_{yk} è la tensione di snervamento dell'acciaio S250GD+Z e γ_{m0} è il coefficiente parziale di sicurezza.

I punti nei quali sono state eseguite le verifiche tensionali sono riportati in figura 6.10.

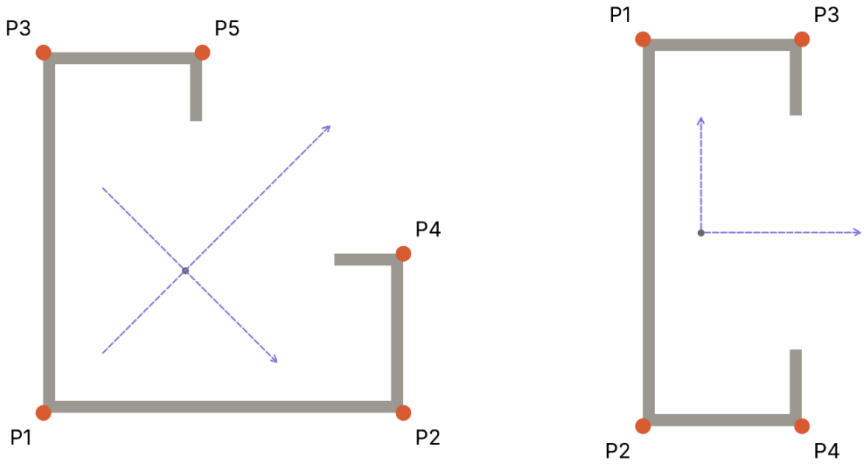


Figura 6.10: Punti considerati per le verifiche tensionali nelle sezioni degli elementi che convergono negli ancoraggi: montante (a sinistra) e traverso (a destra)

Per ciascun record e per ogni elemento che converge negli ancoraggi si calcola, istante per istante, la tensione nei punti di verifica e si individua il primo istante in cui in uno di essi la verifica non risulta soddisfatta. La somma del taglio alla base del castelletto e delle forze negli ancoraggi in quell'istante rappresenta la capacità ultima del castelletto per quel record.

Ripetendo la procedura su tutti i record si ottiene una distribuzione di valori della capacità ultima, che viene descritta attraverso la mediana.

La Tabella 6.4 riporta i risultati ottenuti.

Tabella 6.4: Capacità ultima del castelletto ottenuta per ciascun record e relativa mediana

Record	Capacità ultima [kN]
1	82,58
2	88,79
3	105,28
4	82,60
5	77,08
6	68,49
7	82,42
8	69,22
9	86,96
10	76,54
11	118,58
12	87,52
13	74,09
15	91,15
16	85,86
17	73,64
19	135,19
20	72,48
MEDIANA	82,59

Nei modelli con i dispositivi dissipativi si valuta invece la domanda massima. Per ogni record relativo al periodo di ritorno di 475 anni si calcola, istante per istante, la somma del taglio alla base del castelletto e delle forze negli ancoraggi e si assume il valore massimo come domanda massima per quel record. Anche in questo caso i valori ottenuti dai singoli record sono descritti attraverso la mediana.

Si riportano nella tabella di seguito i valori ottenuti.

Tabella 6.5: Domanda massima mediana nei modelli con dispositivi dissipativi

Modello	Domanda massima mediana [kN]
El-Pl_50	95,20
El-Pl_25	62,57

Nel modello El-Pl_25 la domanda massima mediana, pari a 62,57 kN, è inferiore alla capacità ultima mediana ricavata dal modello con ancoraggi rigidi, pari a 82,59 kN: si può quindi concludere che nessun elemento del castelletto entra in crisi e che il dispositivo dissipativo svolge efficacemente la funzione di protezione. Nel modello El-Pl_50, invece, la domanda massima mediana, pari a 95,20 kN, supera la capacità ultima mediana. In questo caso, quindi, l'introduzione del dissipatore plastico non garantisce la protezione degli elementi del castelletto.

7. CONCLUSIONI

Le analisi svolte e i risultati discussi nei due capitoli precedenti consentono di trarre le seguenti conclusioni.

In primo luogo, la prassi progettuale corrente, che considera il castelletto come struttura isolata, porta a dimensionarlo con azioni notevolmente sottostimate rispetto a quelle che si sviluppano quando il castelletto è collegato all'edificio. Ne deriva un dimensionamento inadeguato e possibili crisi di alcuni elementi del castelletto. Anche i drift interpiano risultano fortemente sottostimati. Questo porta a problemi di tipo principalmente funzionale, come il disallineamento delle guide, con possibili ripercussioni sulla regolarità del moto della cabina.

I dispositivi dissipativi rappresentano una possibile soluzione a questo problema. Come mostrato nel capitolo 6, consentono di ridurre in modo significativo sia le azioni trasmesse al castelletto sia i drift. Se la soglia di attivazione dello scorrimento è adeguata, permettono quindi di salvaguardare gli elementi del castelletto, come accade con il modello El-Pl_25.

L'applicazione dei dispositivi dissipativi ha però un costo in termini di spostamento. Considerando il modello El-Pl_25 e la mediana degli spostamenti massimi dei collegamenti nelle due direzioni orizzontali, per un periodo di ritorno di 475 anni il valore richiesto è di 16,9 cm: servirebbe quindi un'asola di circa 35 cm per non avere danneggiamenti negli elementi del castelletto, lunghezza piuttosto elevata. Va però considerato che il castelletto analizzato è stato progettato secondo la prassi attuale e per una località a sismicità minore rispetto a quella qui considerata. Progettare il castelletto tenendo conto dell'interazione con l'edificio e quindi con elementi in grado di sopportare forze maggiori, consentirebbe di innalzare la soglia di attivazione e di contenere gli spostamenti richiesti, riducendo di conseguenza la lunghezza delle asole.

I dispositivi dissipativi non incontrano particolari limiti nei castelletti esterni, dove non ci sono limitazioni di spazio, mentre la loro applicazione risulta più problematica nelle installazioni interne. In questi casi lo scorrimento deve essere necessariamente contenuto e occorre tenere conto della lunghezza finita dell'asola. Raggiunta la fine della corsa, il bullone sbatte contro la piastra e il collegamento torna ad avere una rigidezza molto elevata. Se il moto prosegue nella stessa direzione, il castelletto riprende quindi a spostarsi in maniera solidale all'edificio.

Il lavoro analizza inoltre un unico caso studio, con una sola posizione relativa tra castelletto ed edificio. Una diversa collocazione del castelletto lungo il perimetro oppure un edificio con rigidezza e periodi propri diversi porterebbero a valori diversi da quelli ottenuti in questa tesi.

Il lavoro, inoltre, analizza solamente castelletti esterni. Nelle installazioni interne il castelletto è inserito nel vano scala e può essere collegato all'edificio su più lati, oltre che alle scale stesse. Le condizioni di vincolo sono quindi diverse, e con esse le azioni scambiate e il modo in cui si distribuiscono tra gli attacchi.

Questi limiti suggeriscono alcuni possibili sviluppi futuri.

Un primo sviluppo consiste nell'analizzare un castelletto interno, variando quindi il numero e la posizione degli ancoraggi e introducendo il fine corsa dei dispositivi dissipativi. Un secondo sviluppo riguarda la progettazione ex novo di un castelletto esterno, considerando l'interazione con l'edificio e ricercando il giusto equilibrio tra la soglia di scorrimento e lo spostamento dei collegamenti. Infine, si potrebbero studiare castelletti esterni collegati a edifici con caratteristiche dinamiche diverse, variandone altezza, massa e rigidezza, per valutare se presentano analogie con i risultati ottenuti in questo lavoro.

BIBLIOGRAFIA

[1] Team di Ascensoristi.com. «Incastellature metalliche per ascensori: guida informativa». In: *Ascensoristi.com* (2019). URL: https://ascensoristi.com/incastellature-metalliche-per-ascensori-guida-informativa/.

[2] Univiti S.r.l. «Certificazione UNI EN 1090: che cos'è?». In: *Univiti*. URL: https://www.univiti.it/it/approfondimenti/normative/certificazione-uni-en-1090-che-cos-e.

[3] UNI – Ente Italiano di Normazione. *UNI EN 1993-1-3:2007. Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-3: Regole generali – Regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo*. Milano: UNI, 2007.

[4] Paolo Tattoli. *UNI EN 81-20:2020 e UNI EN 81-50:2020. Regole di sicurezza per la costruzione e l'installazione degli ascensori*. Materiale del corso. UNI – Ente Italiano di Normazione, 2021. URL: https://www.uni.com/wp-content/uploads/Corso_UNI-EN-81-20-_1_151221w-1.pdf.

[5] CIAM Ascensori. *Guida alla scelta dell'incastellatura*. URL: https://www.ascensori-montascale-ciam.it/userdata/pdf/Guida-alla-scelta-dell-incastellatura-e-sua-tamponatura.pdf.

[6] Alessandra Marra. «Ascensori: guida alla scelta e alla progettazione». In: *Edilportale* (dic. 2015). URL: https://www.edilportale.com/news/2015/12/focus/ascensori-guida-alla-scelta-e-alla-progettazione_49435_67.html.

[7] Seismosoft Srl. «A proposito di SeismoBuild». In: *SeismoBuild – Guida in linea* (2026). URL: https://help.seismosoft.com/seismobuild/2026/it/about_seismobuild/index.htm.

[8] Minjie Zhu. *The OpenSeesPy Library*. Documentazione, versione 3.5.1.3. URL: https://openseespydoc.readthedocs.io/en/latest/index.html.

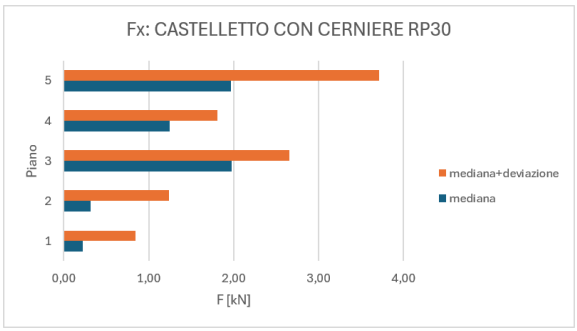
[9] Frigoli Ascensori srl. «Impianti in castelletto». In: *Frigoli Ascensori*. URL: https://www.frigoliascensori.it/impianti-in-castelletto/.

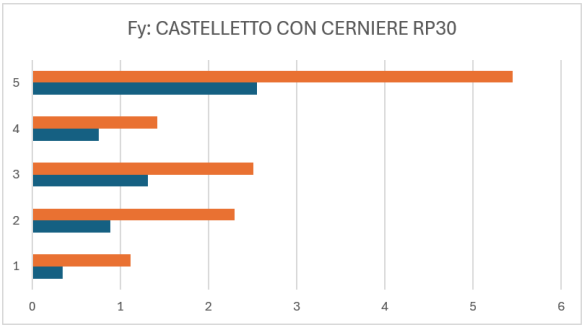
APPENDICE A – FORZE NEI LINK

In tutti i grafici sono riportati il piano in ordinata e le forze nei link in ascissa, espresse in kN. Le barre blu rappresentano la mediana, quelle arancioni la mediana più la deviazione standard.

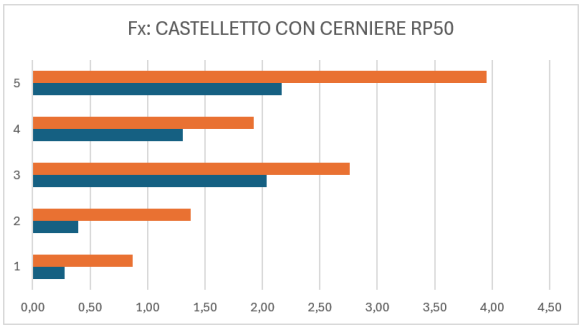
A.1 Modello castelletto incernierato

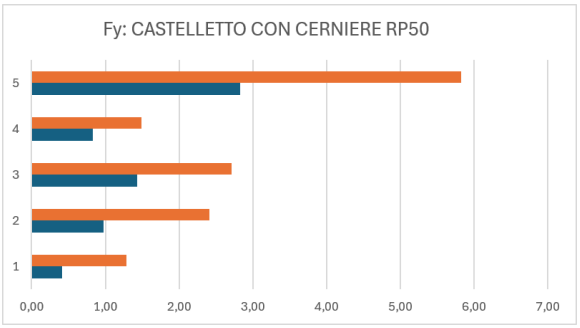
RP30



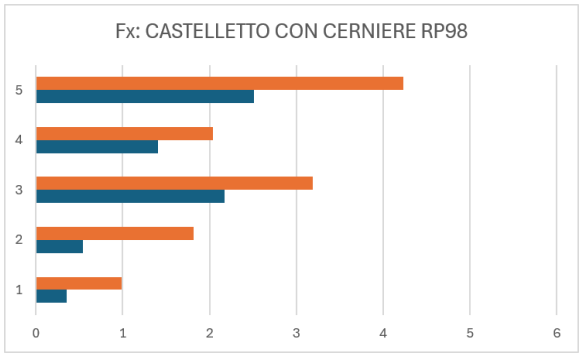


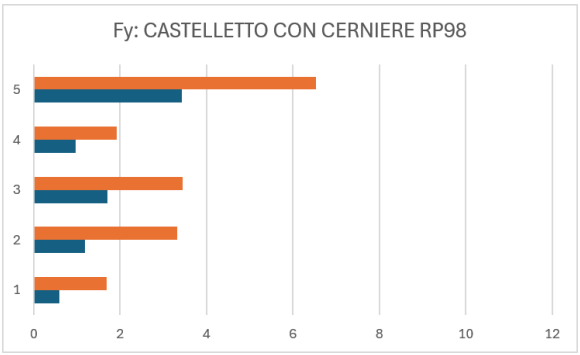
RP50



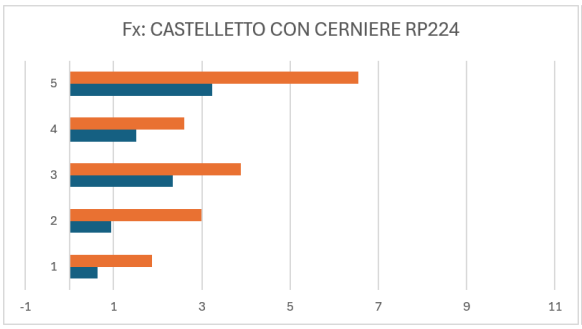


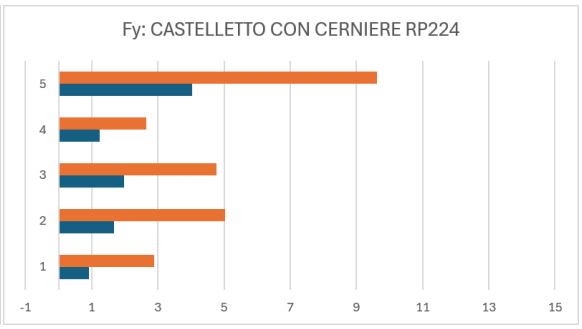
RP98



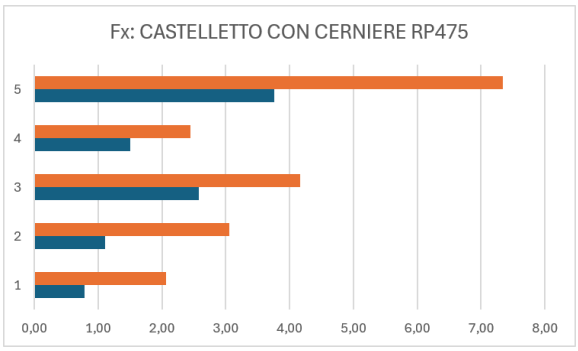


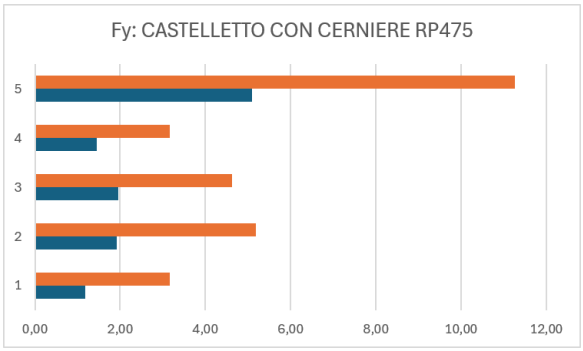
RP224



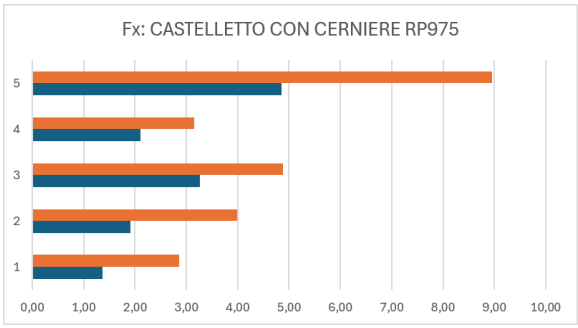


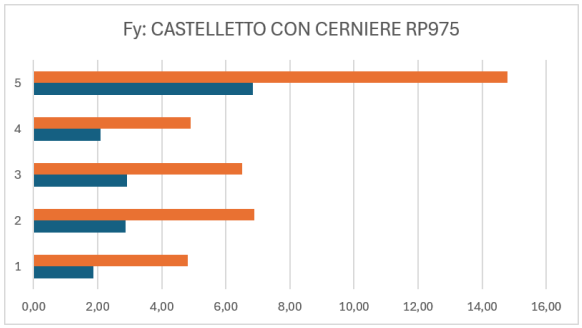
RP475



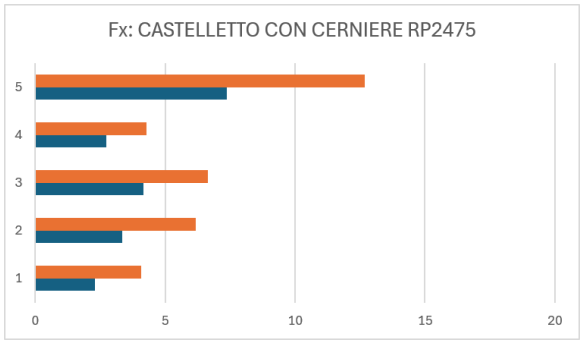


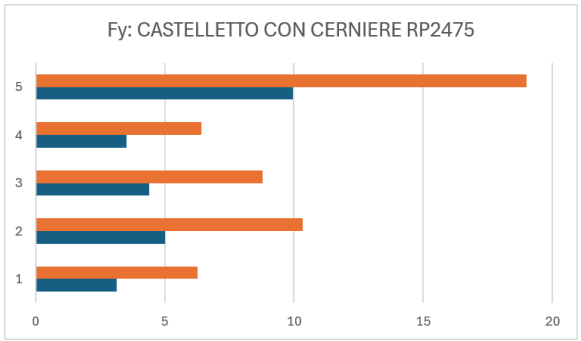
RP975



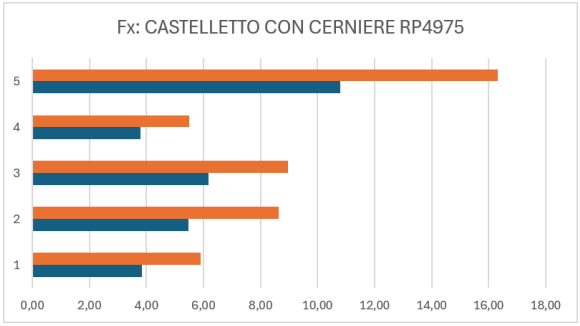


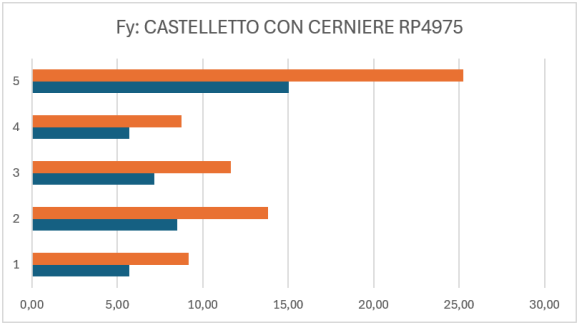
RP2475





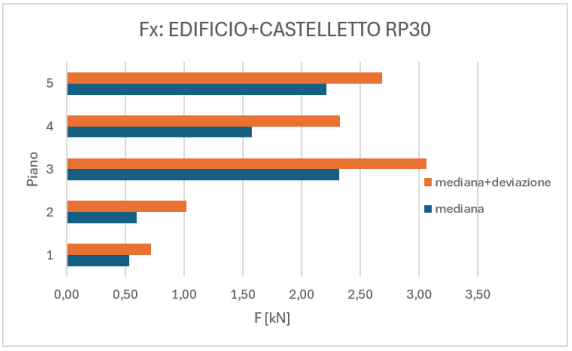
RP4975

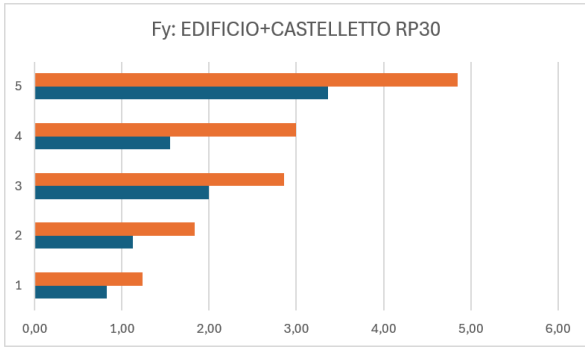

Fx: CASTELLETTO CON CERNIERE RP4975
5
4
3
2
1
0,00
2,00
4,00
6,00
8,00
10,00
12,00
14,00
16,00
18,00


Fy: CASTELLETTO CON CERNIERE RP4975
5
4
3
2
1
0,00
5,00
10,00
15,00
20,00
25,00
30,00

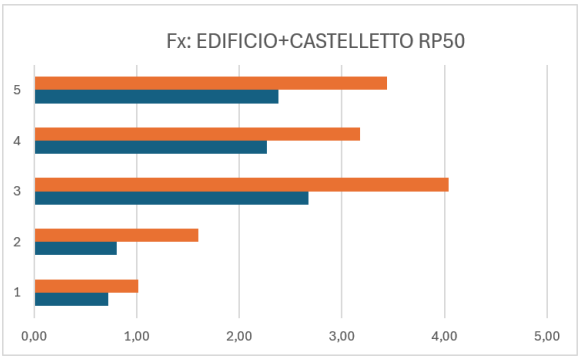
A.2 Modello edificio+castelletto con ancoraggi rigidi

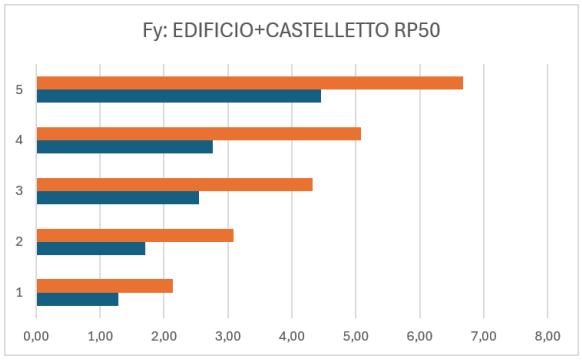
RP30



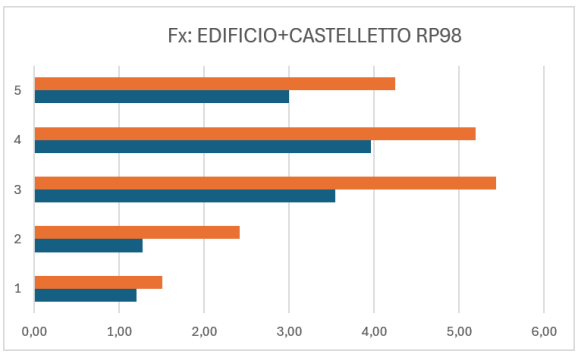


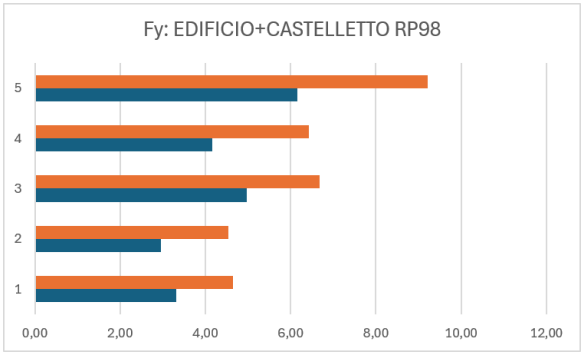
RP50



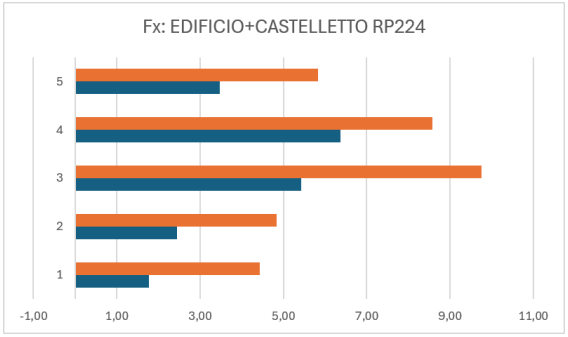


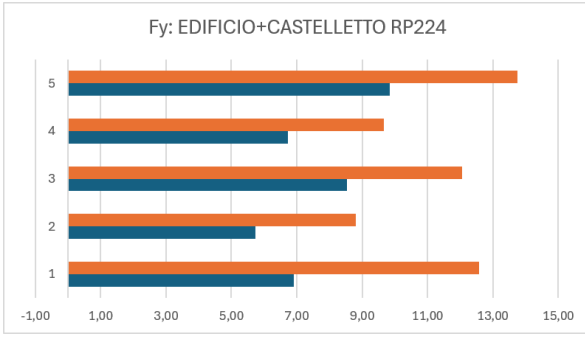
RP98



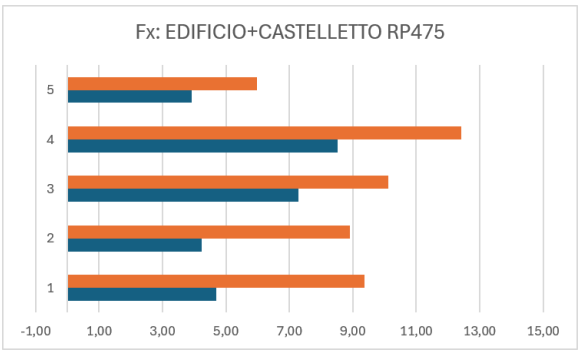


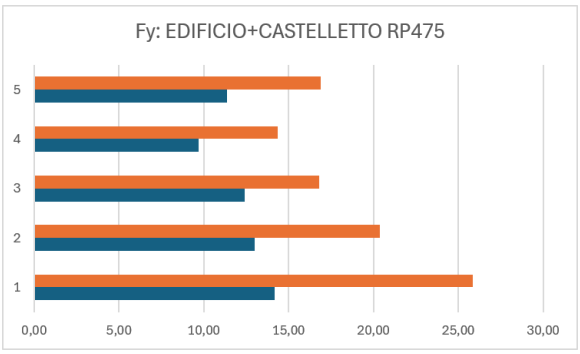
RP224



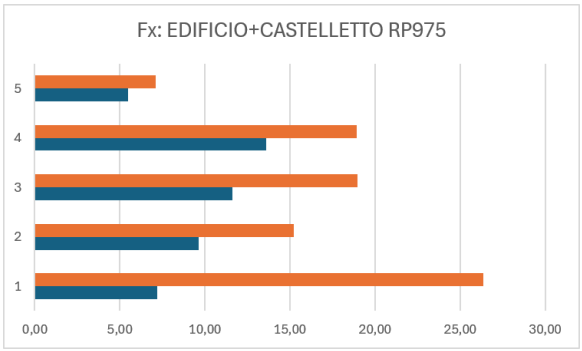


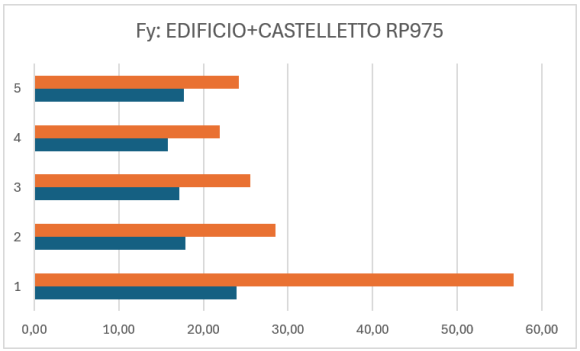
RP475



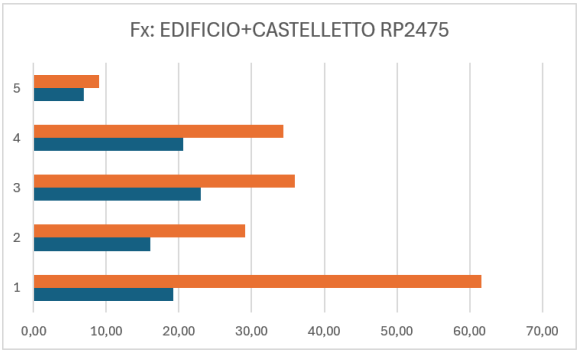


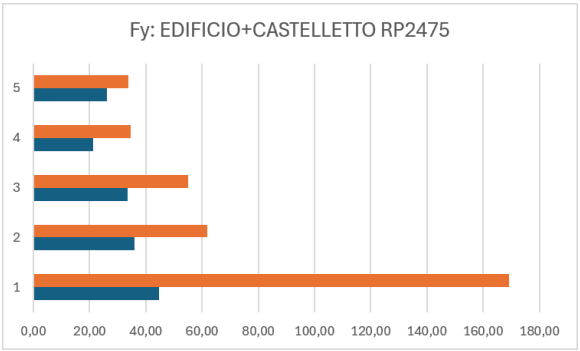
RP975



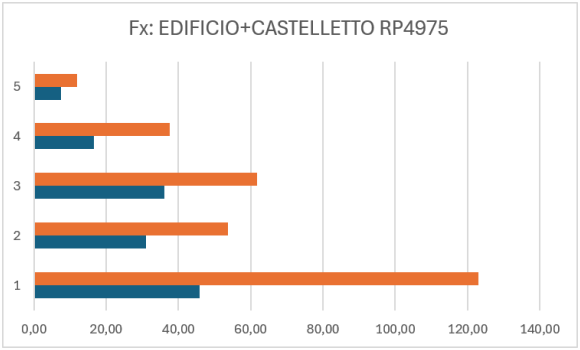


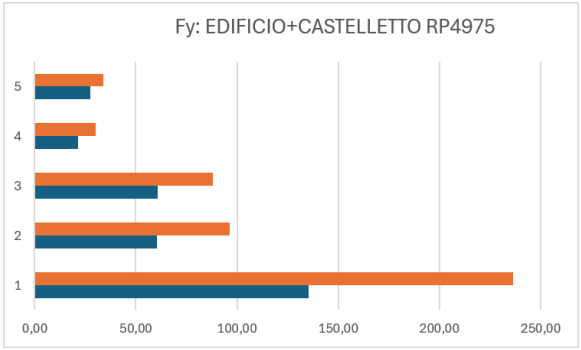
RP2475





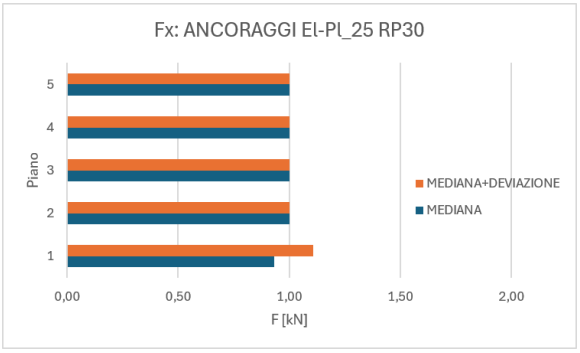
RP4975

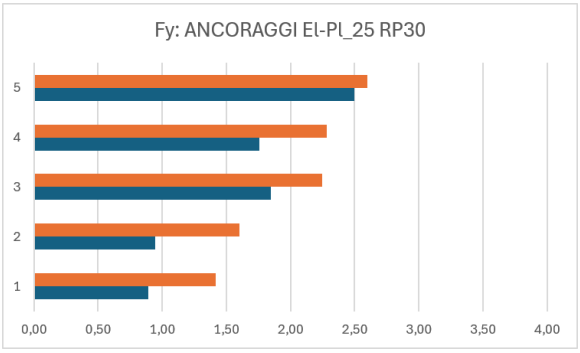

Fx: EDIFICIO+CASTELLETTO RP4975
5
4
3
2
1
0,00
20,00
40,00
60,00
80,00
100,00
120,00
140,00


Fy: EDIFICIO+CASTELLETTO RP4975
5
4
3
2
1
0,00
50,00
100,00
150,00
200,00
250,00

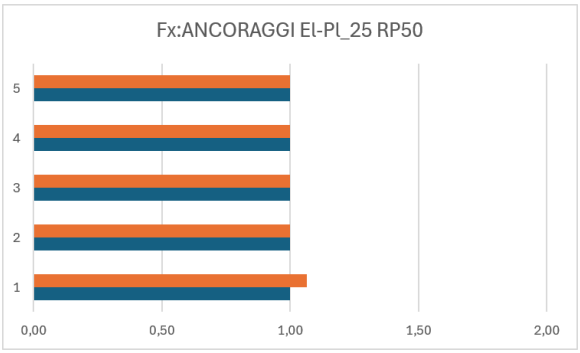
A.3 Modello ancoraggi El-Pl_25

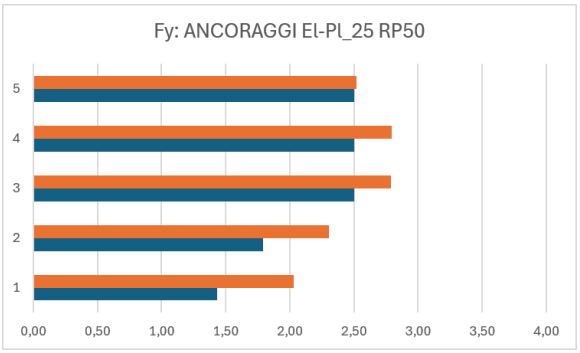
RP30



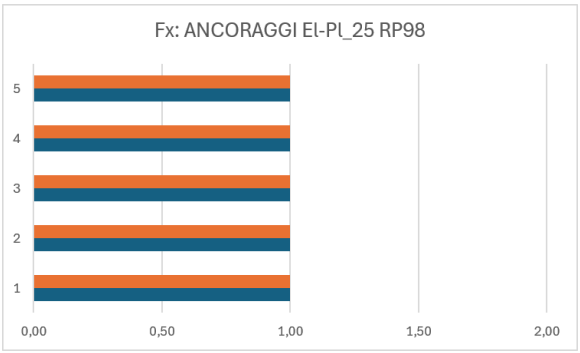


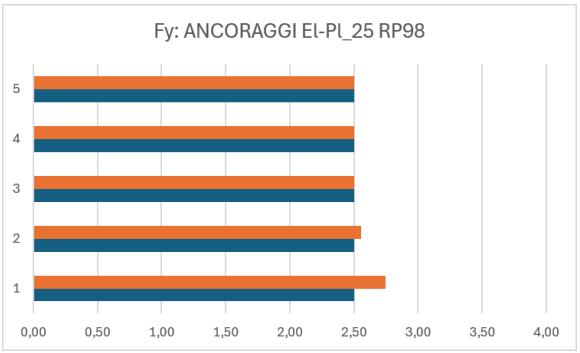
RP50



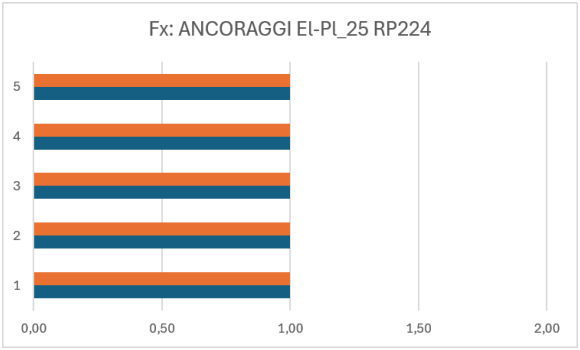


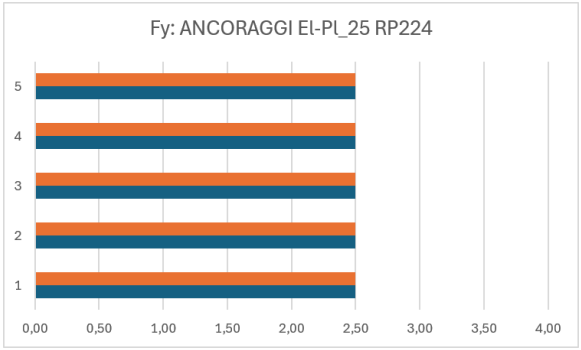
RP98



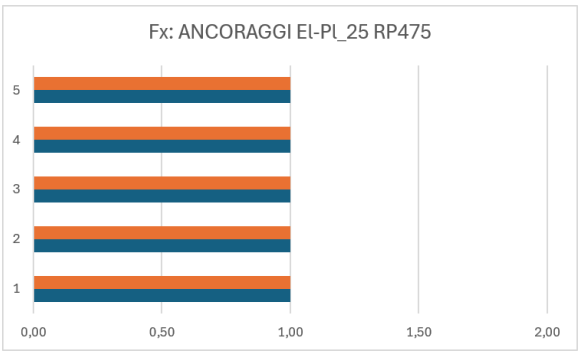


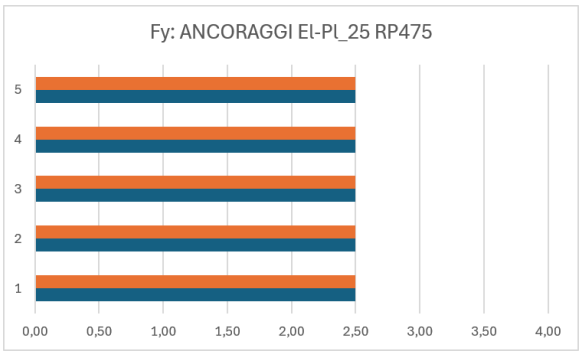
RP224



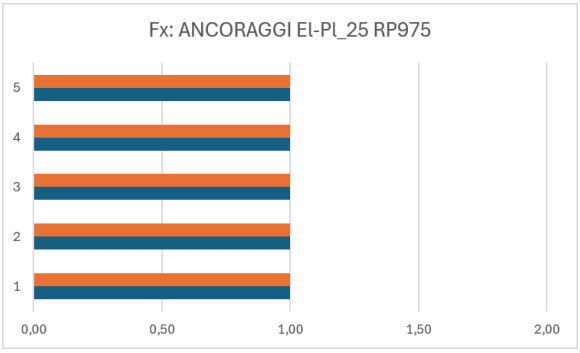


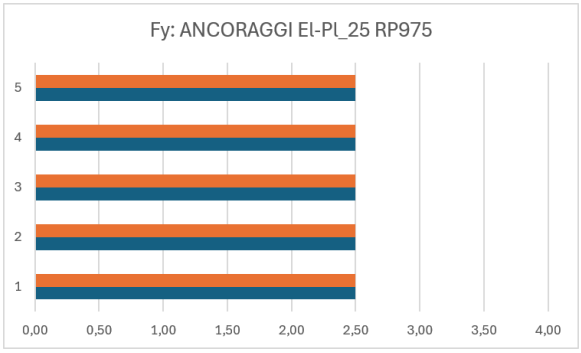
RP475



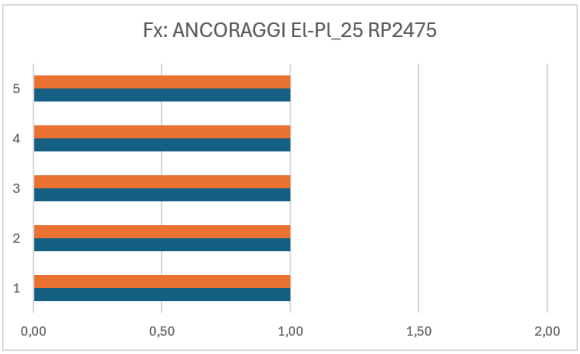


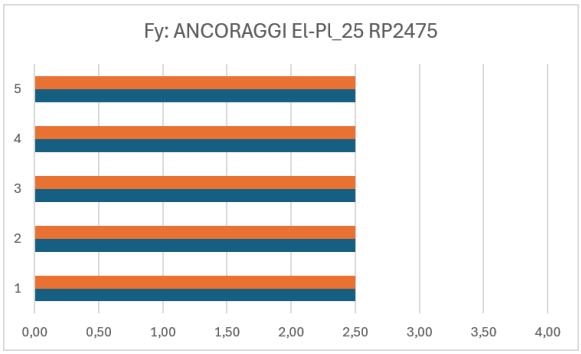
RP975



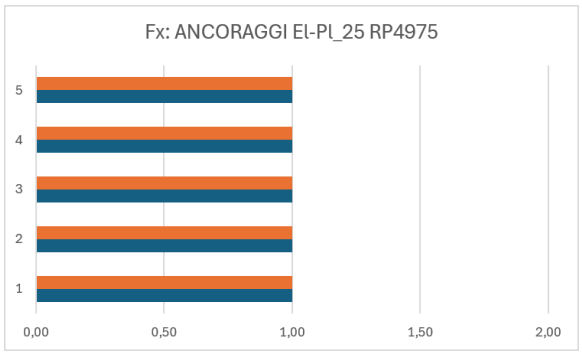


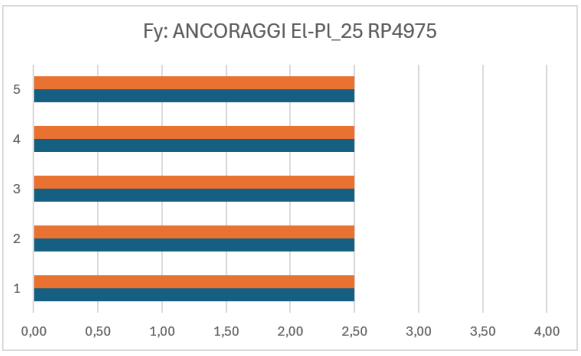
RP2475





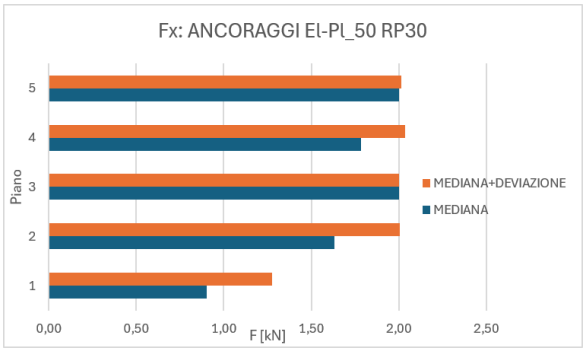
RP4975

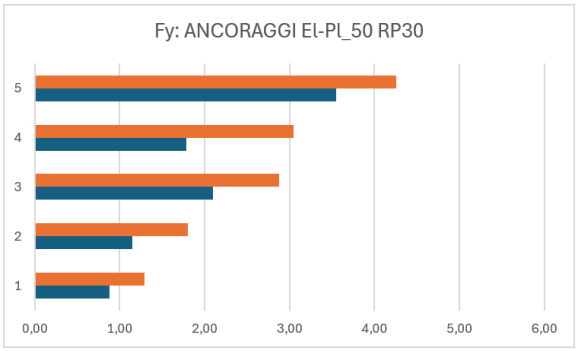

Fx: ANCORAGGI El-Pl_25 RP4975
5
4
3
2
1
0,00
0,50
1,00
1,50
2,00


Fy: ANCORAGGI El-Pl_25 RP4975
5
4
3
2
1
0,00
0,50
1,00
1,50
2,00
2,50
3,00
3,50
4,00

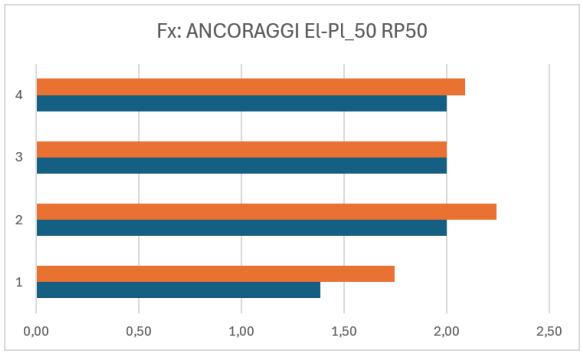
A.4 Modello ancoraggi El-Pl_50

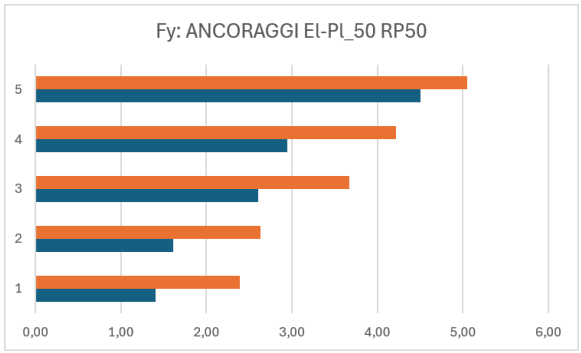
RP30



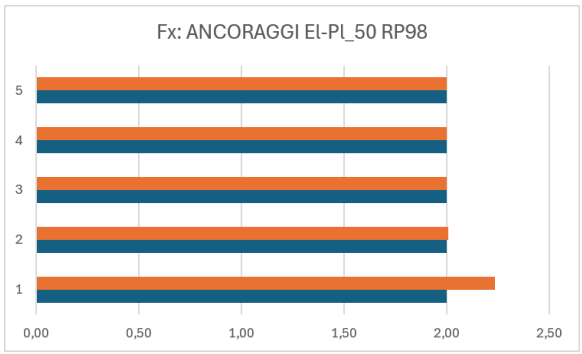


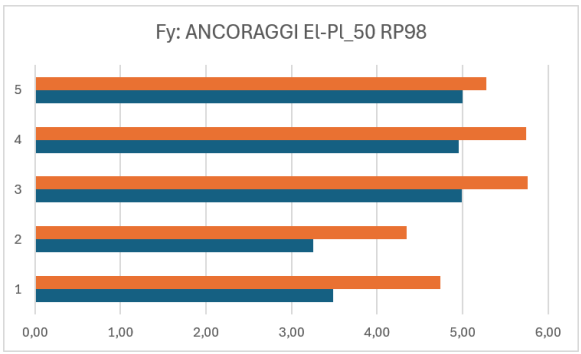
RP50



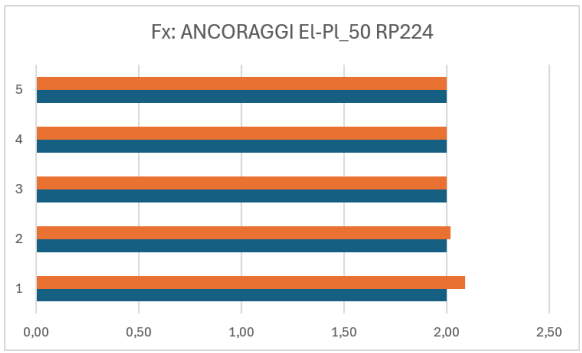


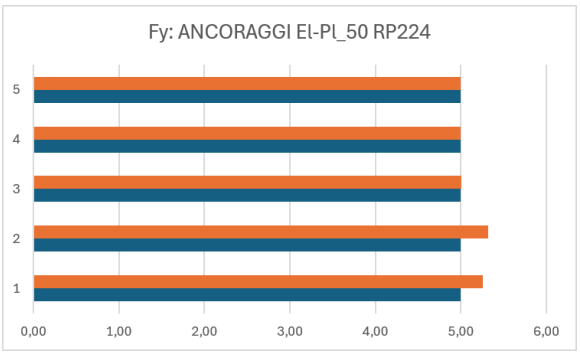
RP98



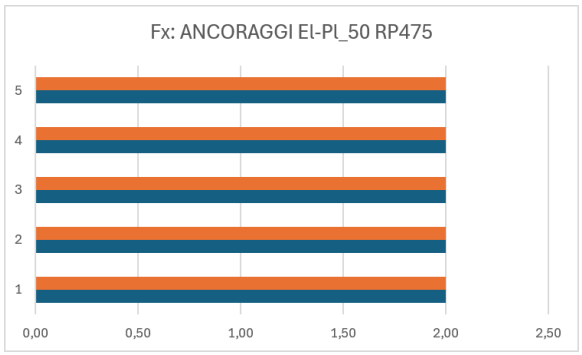


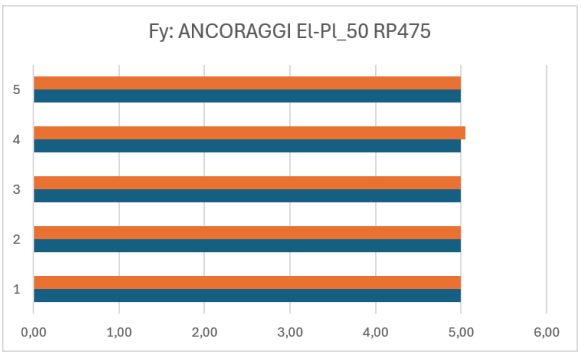
RP224



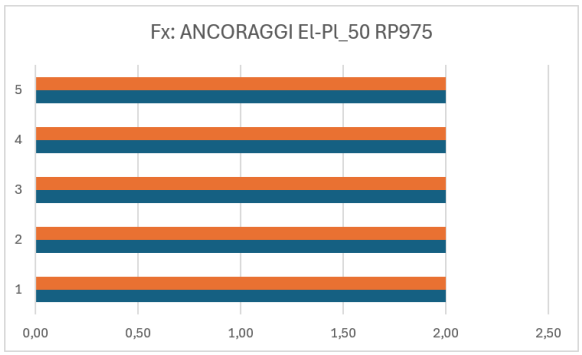


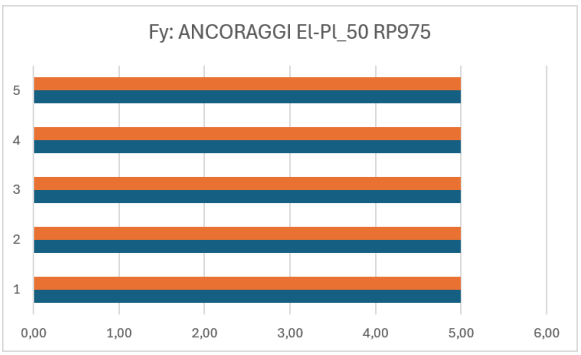
RP475



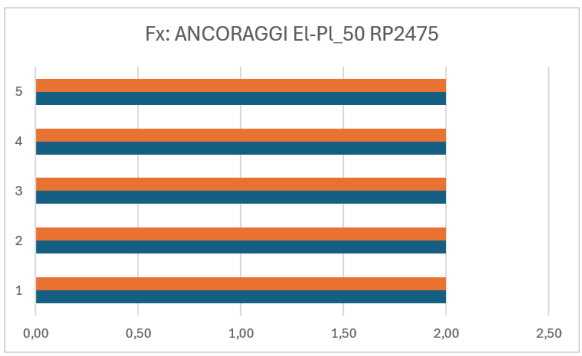


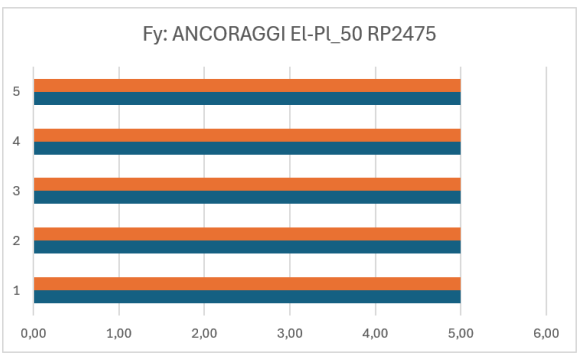
RP975



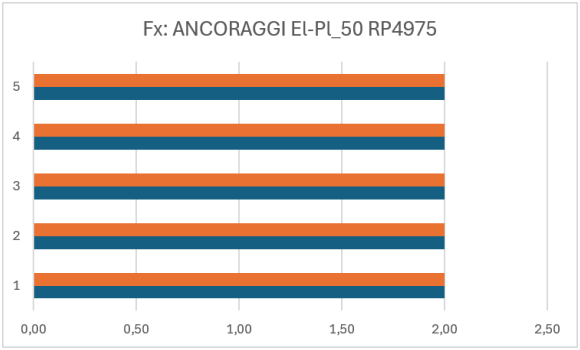


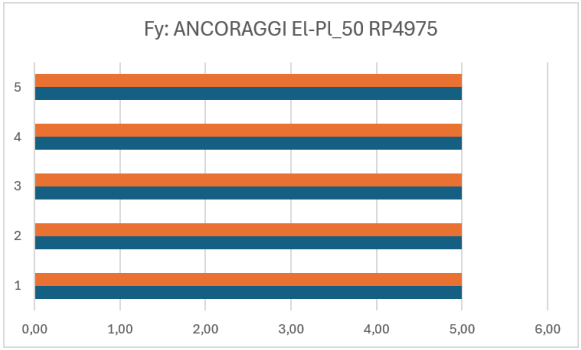
RP2475





RP4975


Fx: ANCORAGGI El-Pl_50 RP4975
5
4
3
2
1
0,00
0,50
1,00
1,50
2,00
2,50

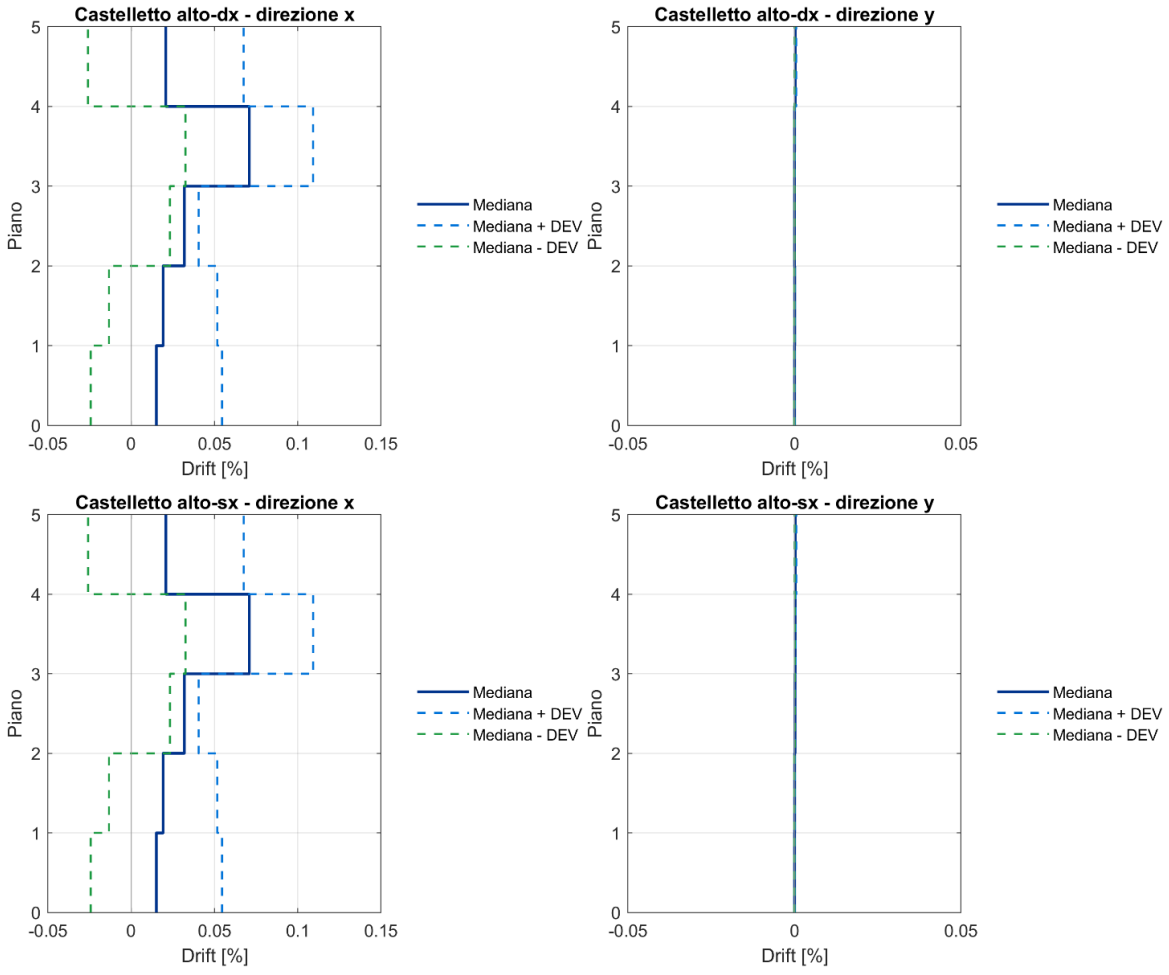

Fy: ANCORAGGI El-Pl_50 RP4975
5
4
3
2
1
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00

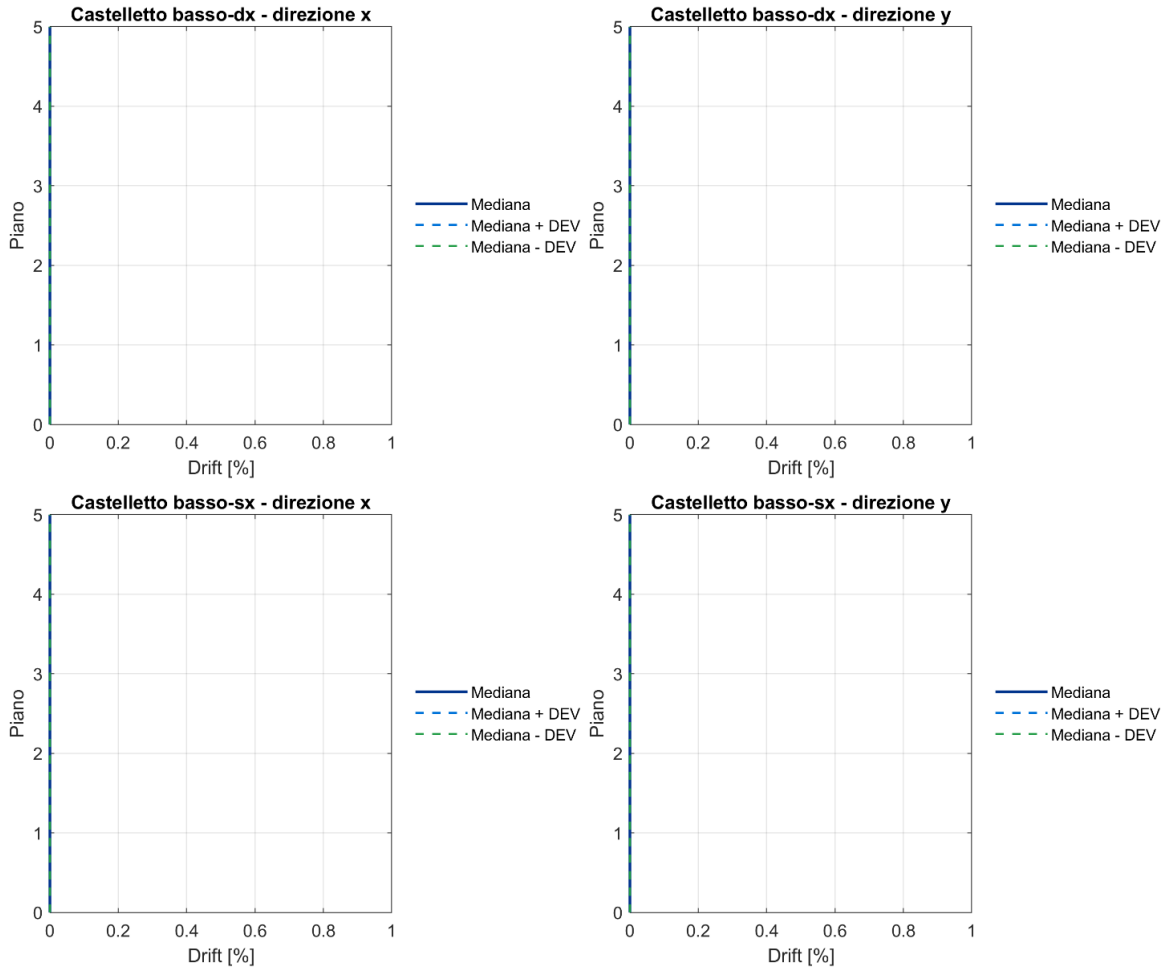
APPENDICE B – DRIFT DI PIANO

B.1 Modello castelletto incernierato

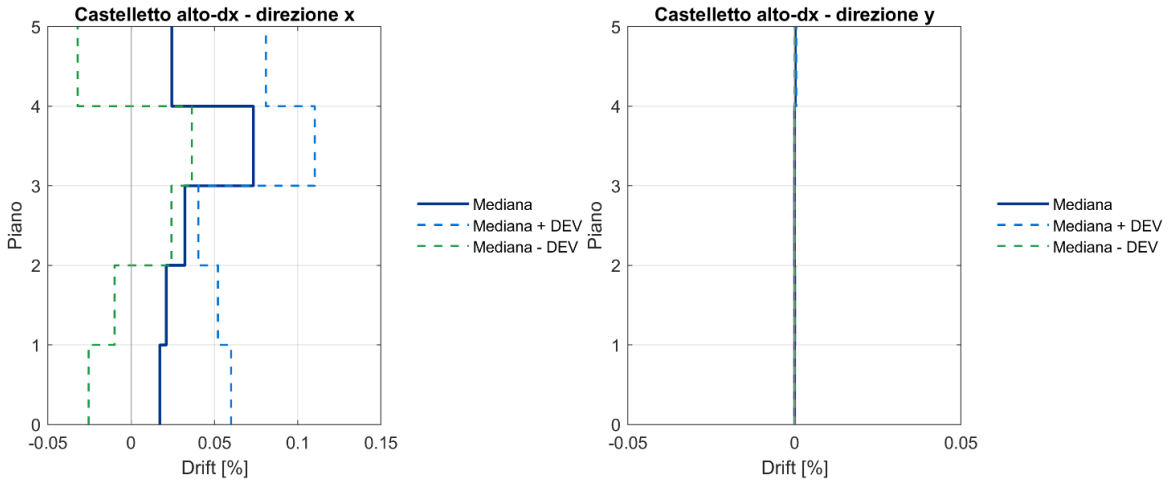
Nei grafici di seguito sull'asse verticale è indicato il piano, su quello orizzontale il drift in percentuale. Le linee continue rappresentano le mediane dei valori massimi dei venti record, quelle tratteggiate la mediana sommata e sottratta alla deviazione standard.

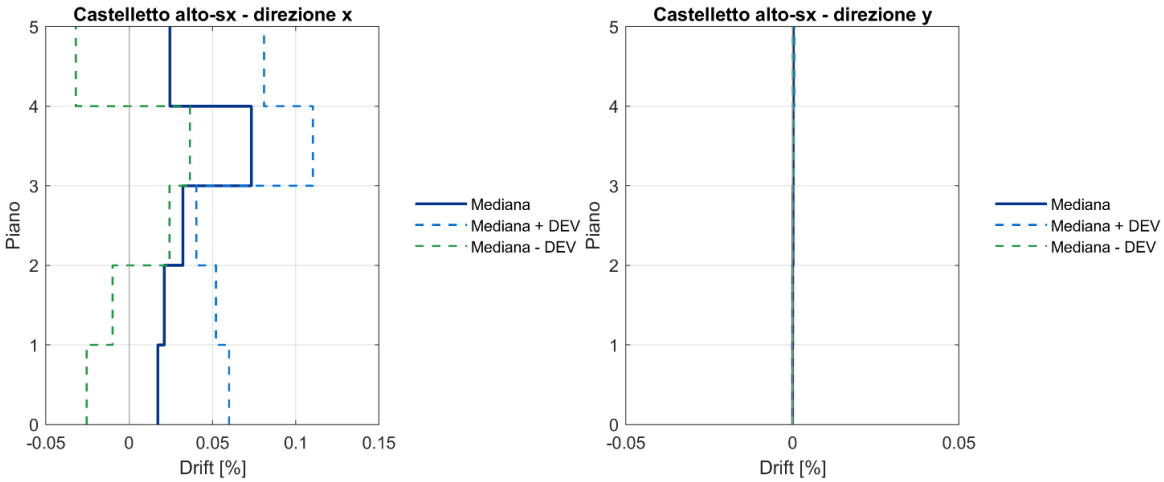
RP30



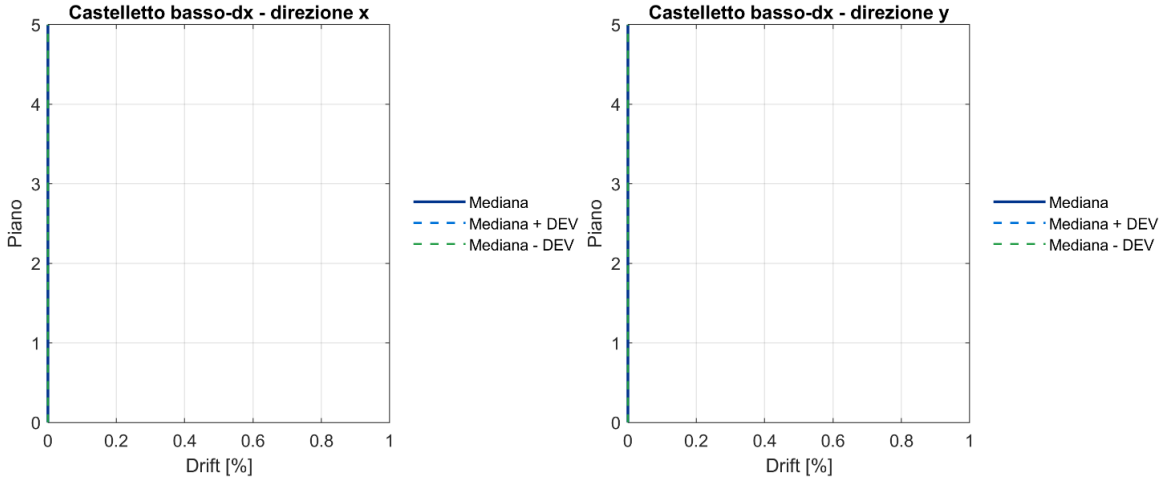

Castelletto basso-dx - direzione x
Castelletto basso-dx - direzione y
Castelletto basso-sx - direzione x
Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

RP50

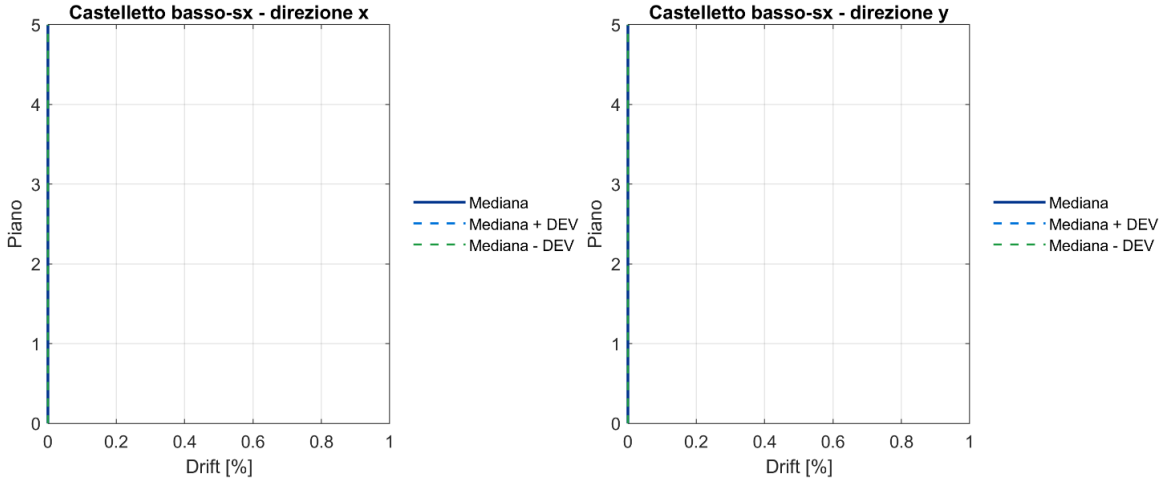

Castelletto alto-dx - direzione x
Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV


Castelletto alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

Castelletto alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

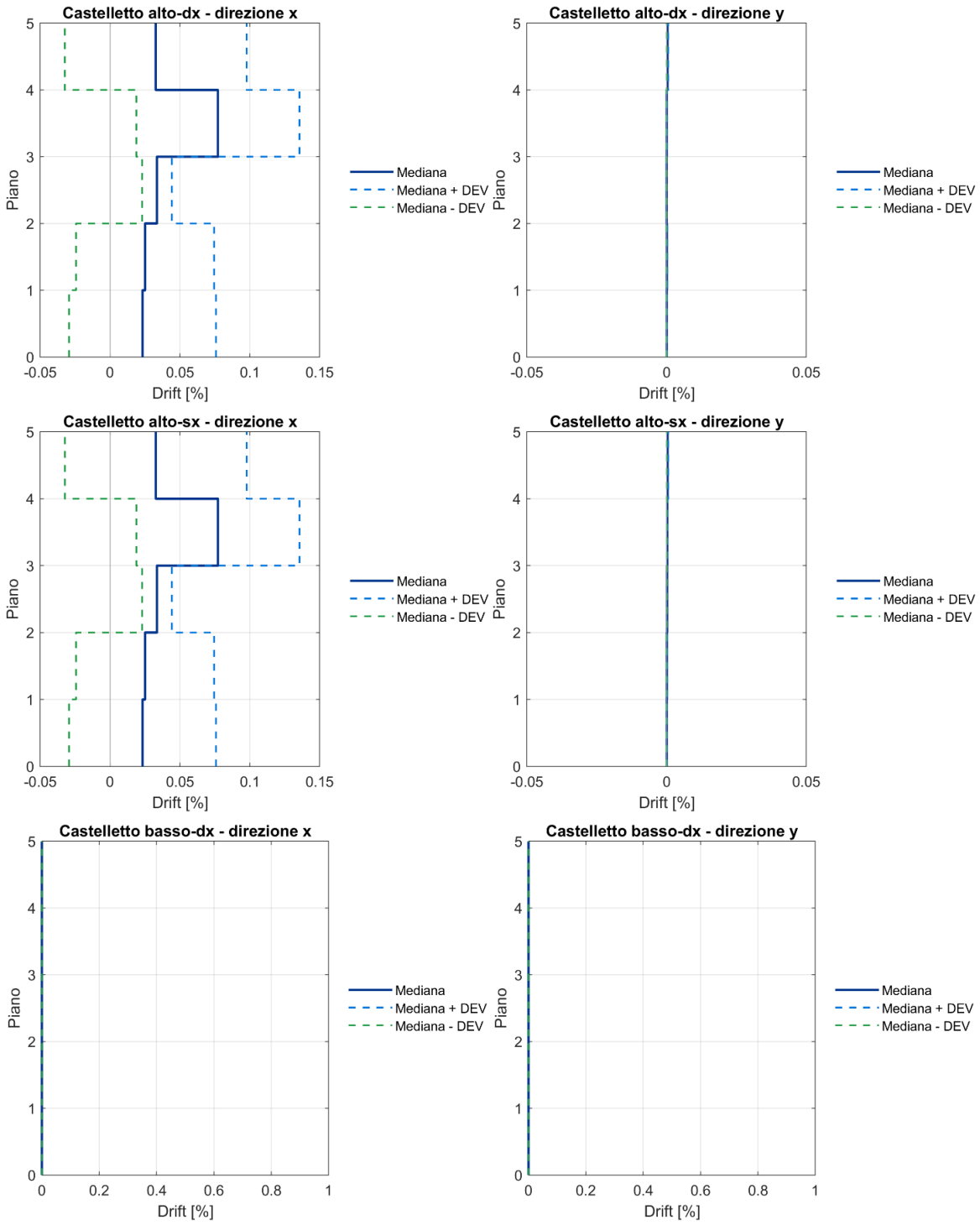

Castelletto basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

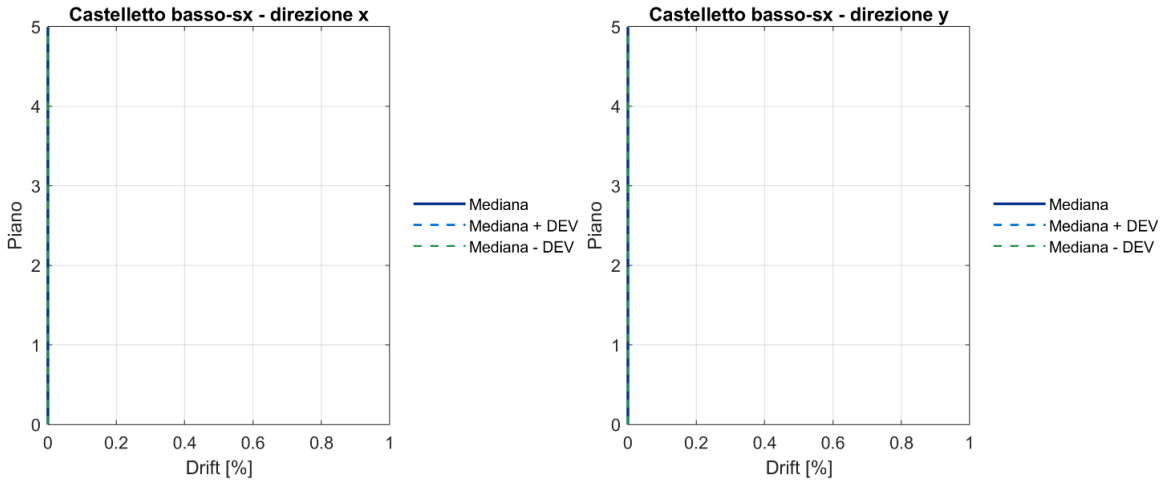
Castelletto basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV


Castelletto basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

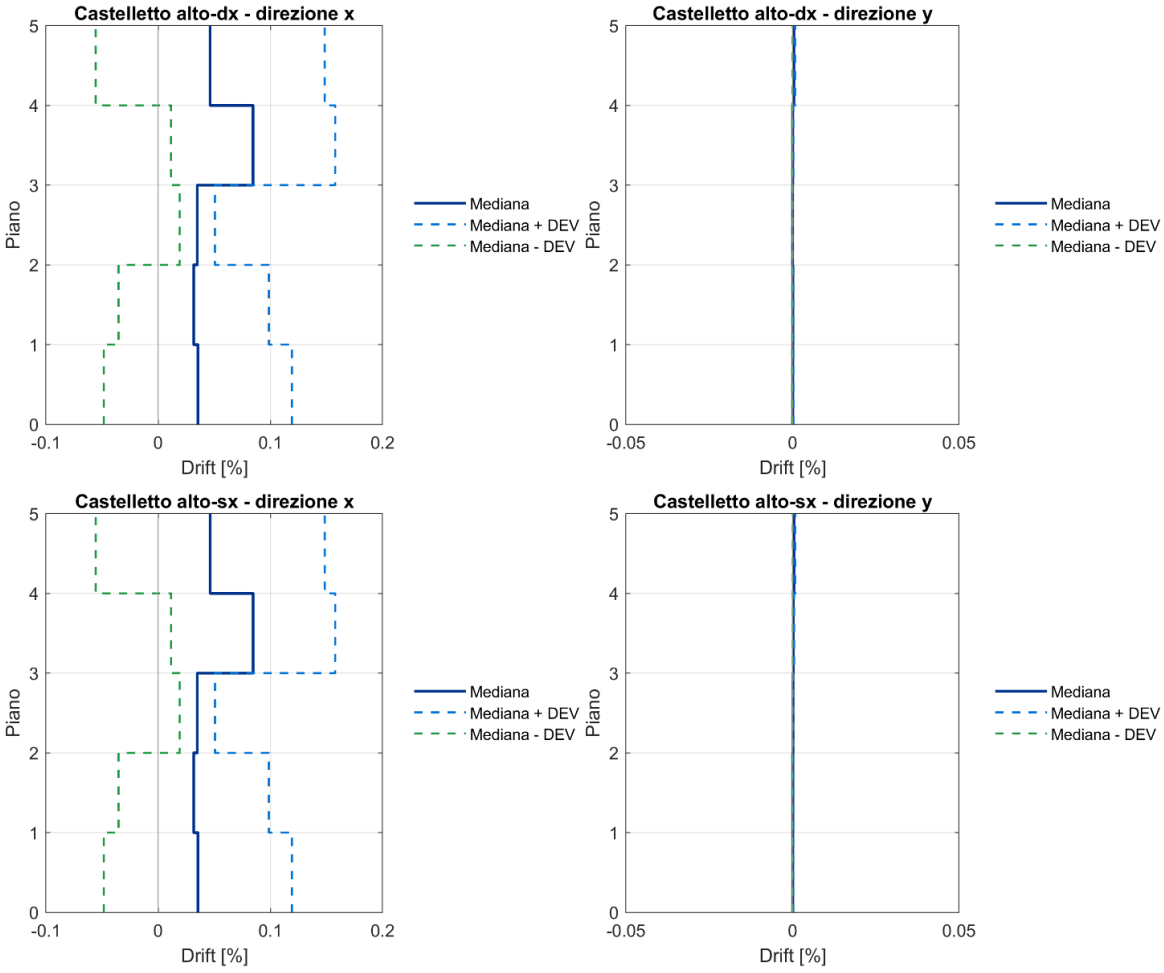
Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

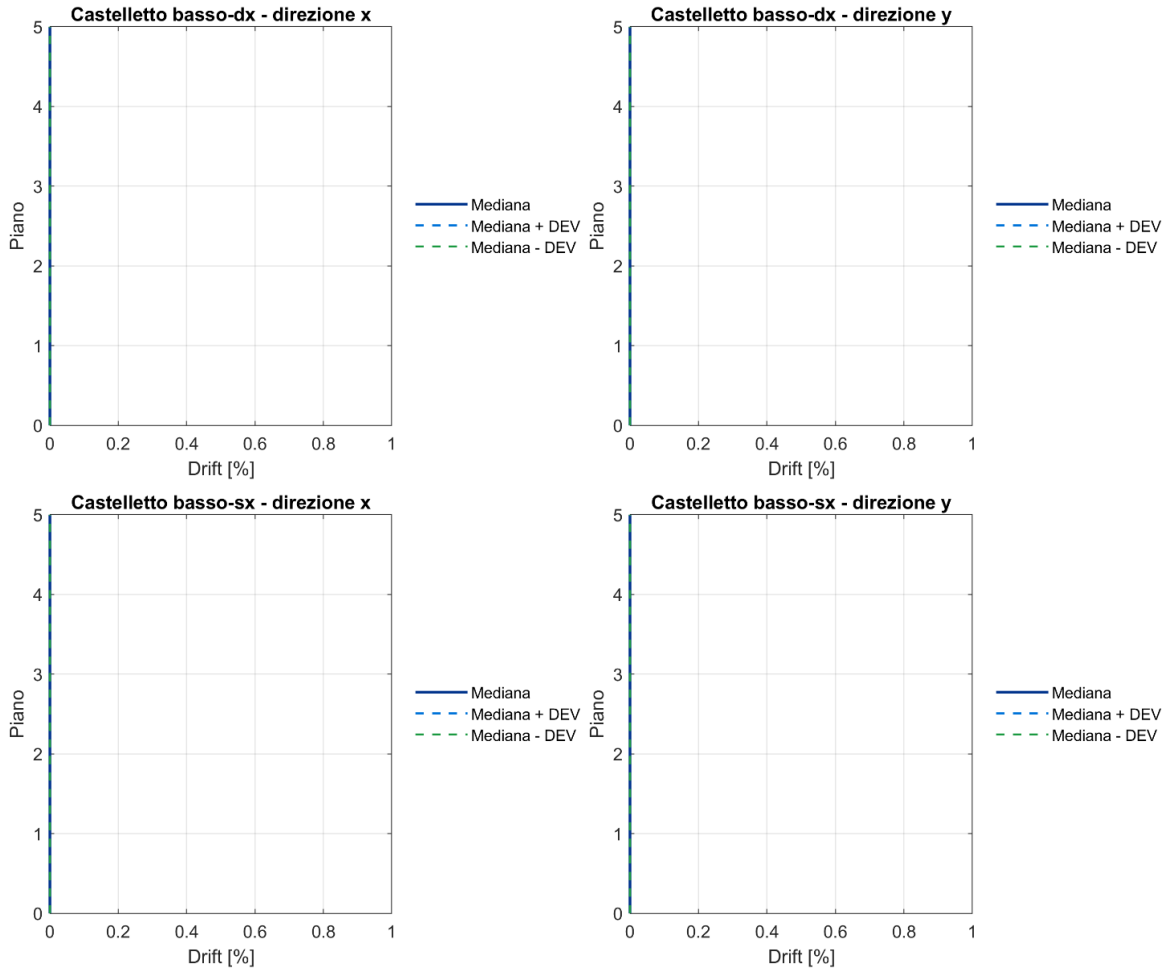
RP98


Castelletto alto-dx - direzione x
Castelletto alto-dx - direzione y
Castelletto alto-sx - direzione x
Castelletto alto-sx - direzione y
Castelletto basso-dx - direzione x
Castelletto basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

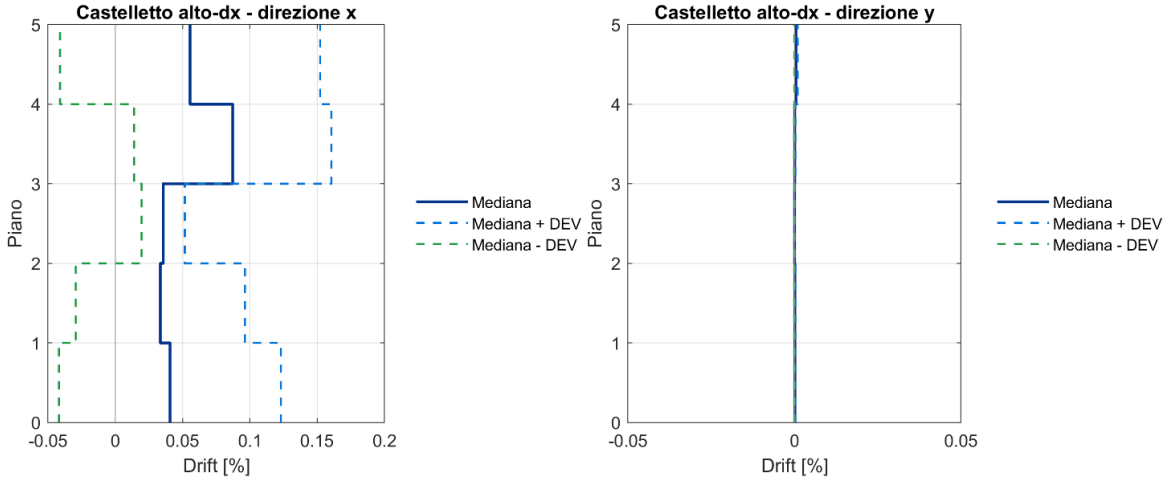

Castelletto basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

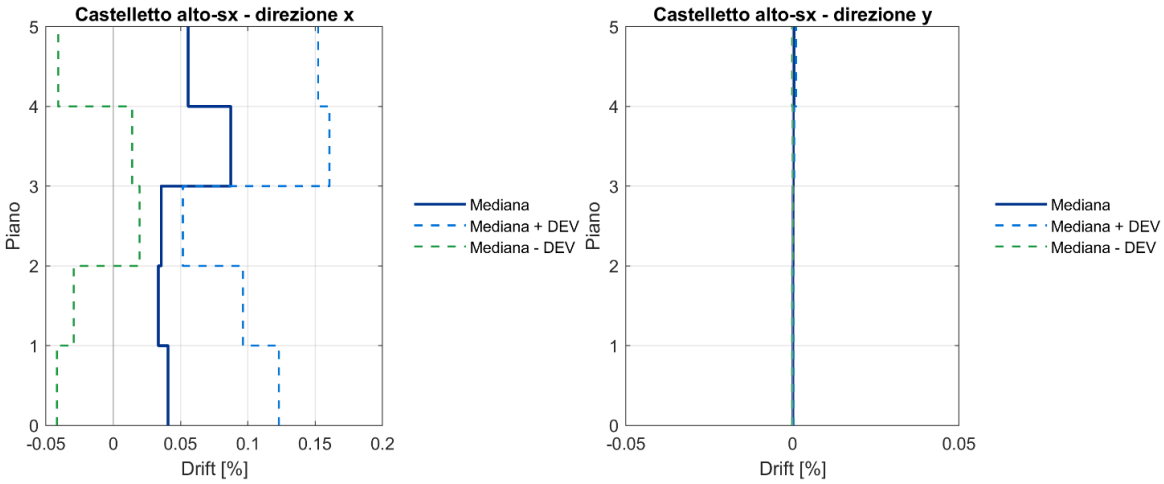
RP224


Castelletto alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Castelletto alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Castelletto alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

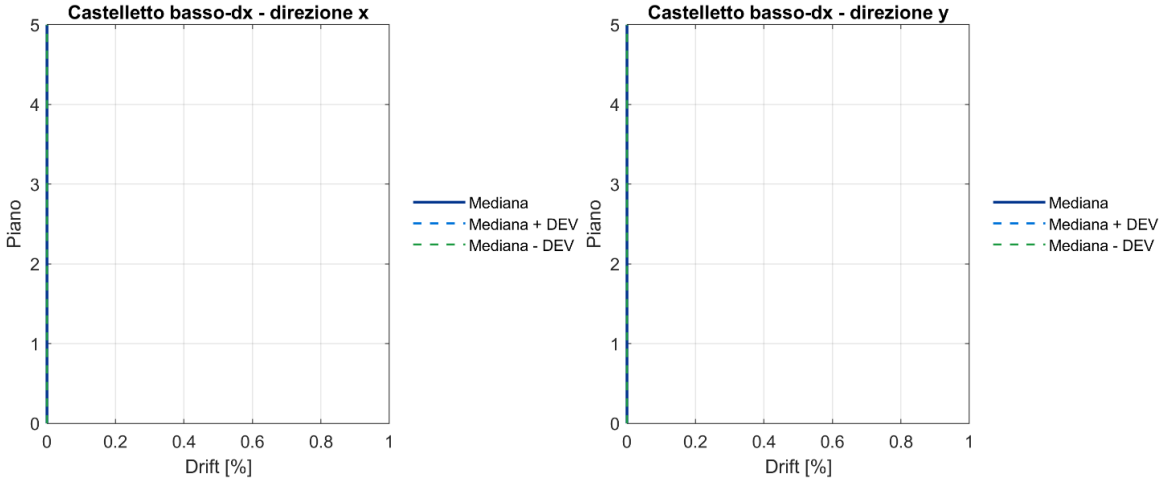

Castelletto basso-dx - direzione x
Castelletto basso-dx - direzione y
Castelletto basso-sx - direzione x
Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

RP475

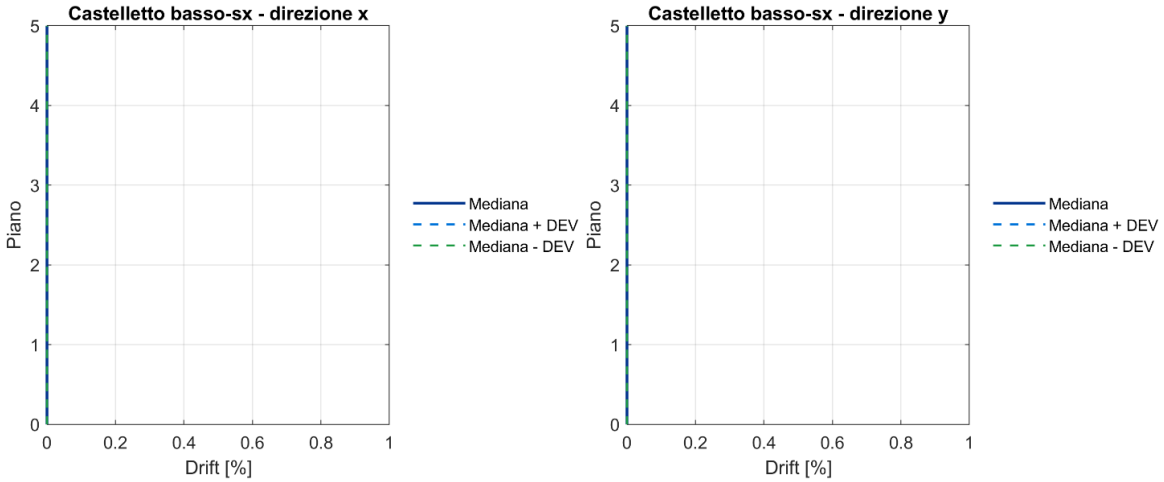

Castelletto alto-dx - direzione x
Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV


Castelletto alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

Castelletto alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

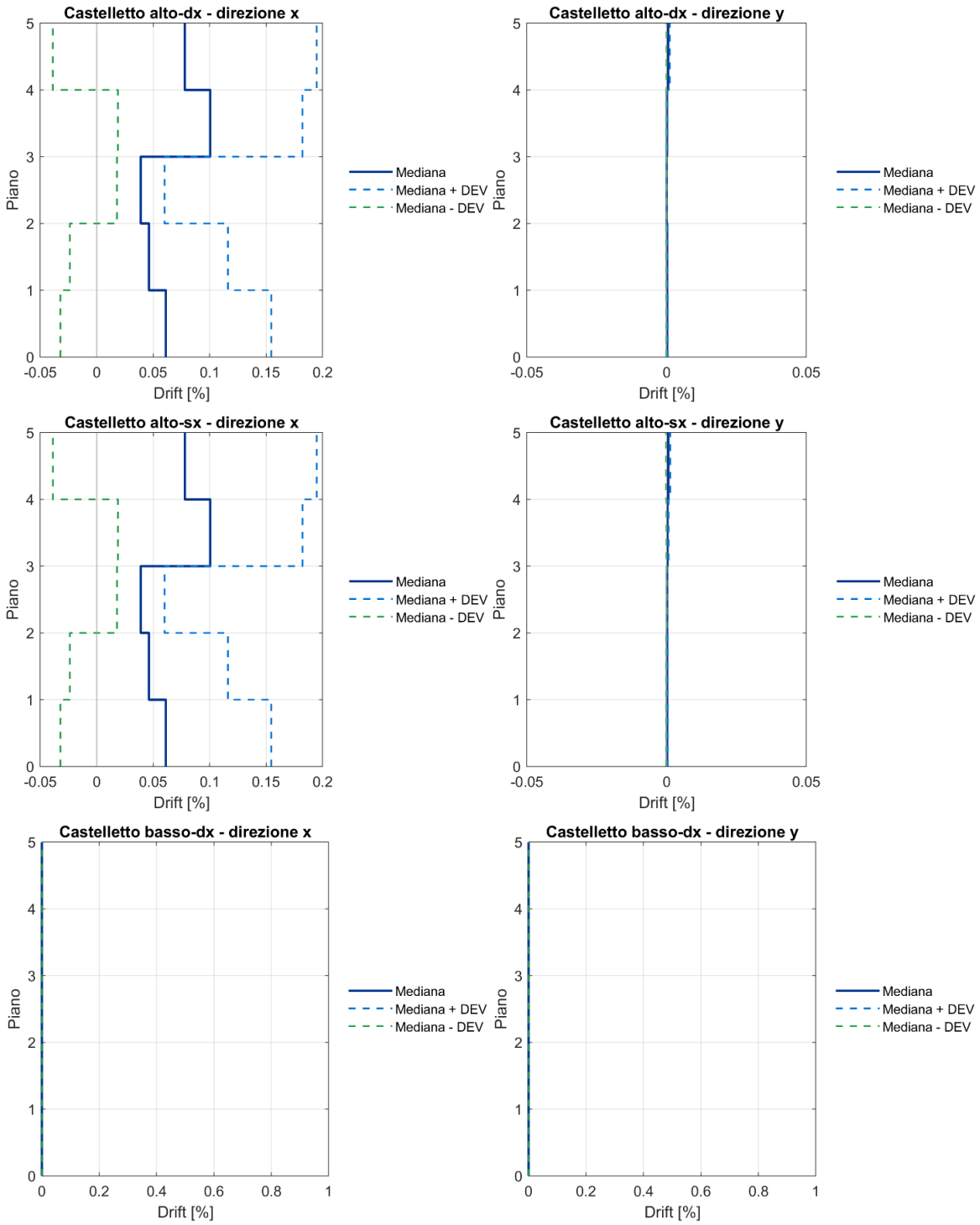

Castelletto basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

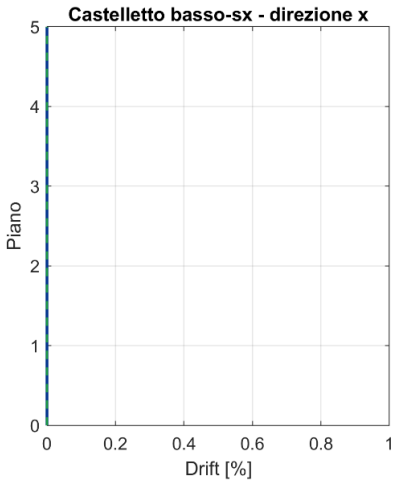
Castelletto basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

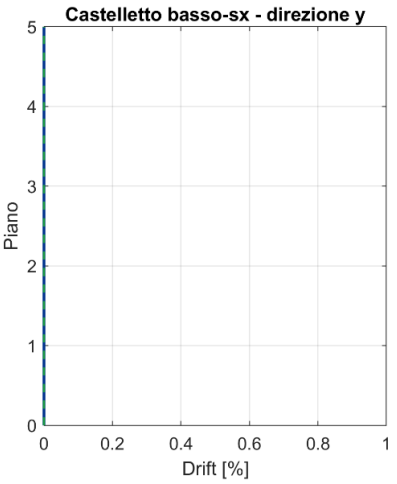

Castelletto basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

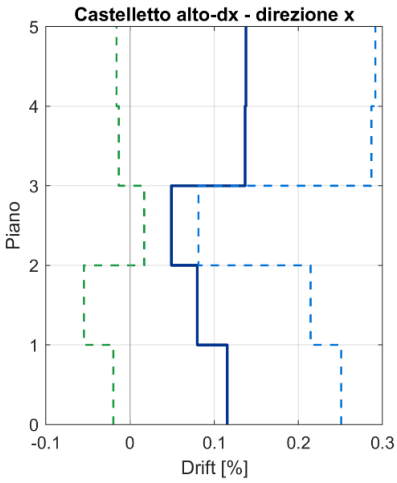
RP975

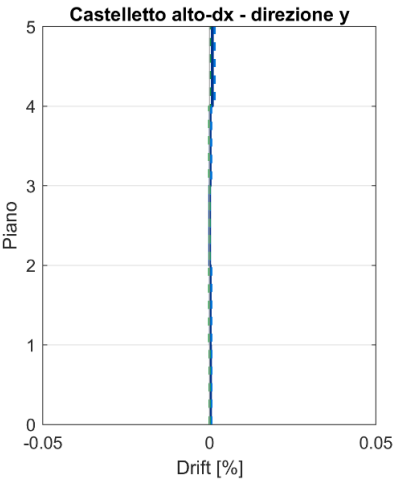

Castelletto alto-dx - direzione x
Castelletto alto-dx - direzione y
Castelletto alto-sx - direzione x
Castelletto alto-sx - direzione y
Castelletto basso-dx - direzione x
Castelletto basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

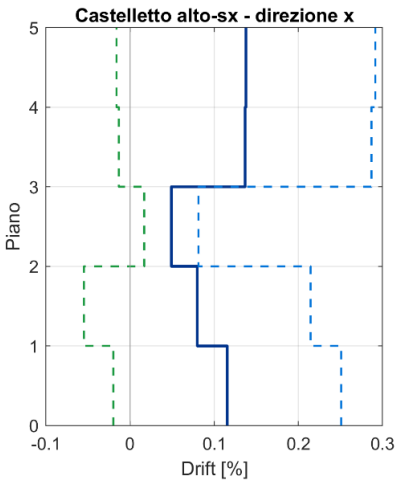

Castelletto basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

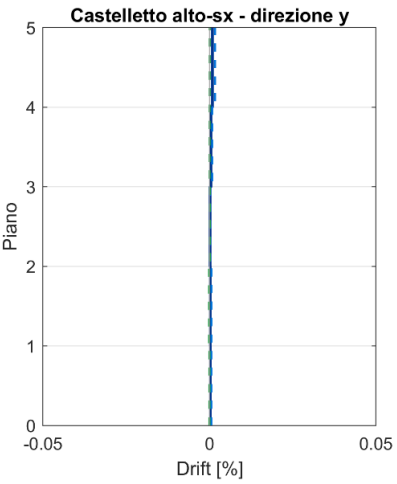

Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

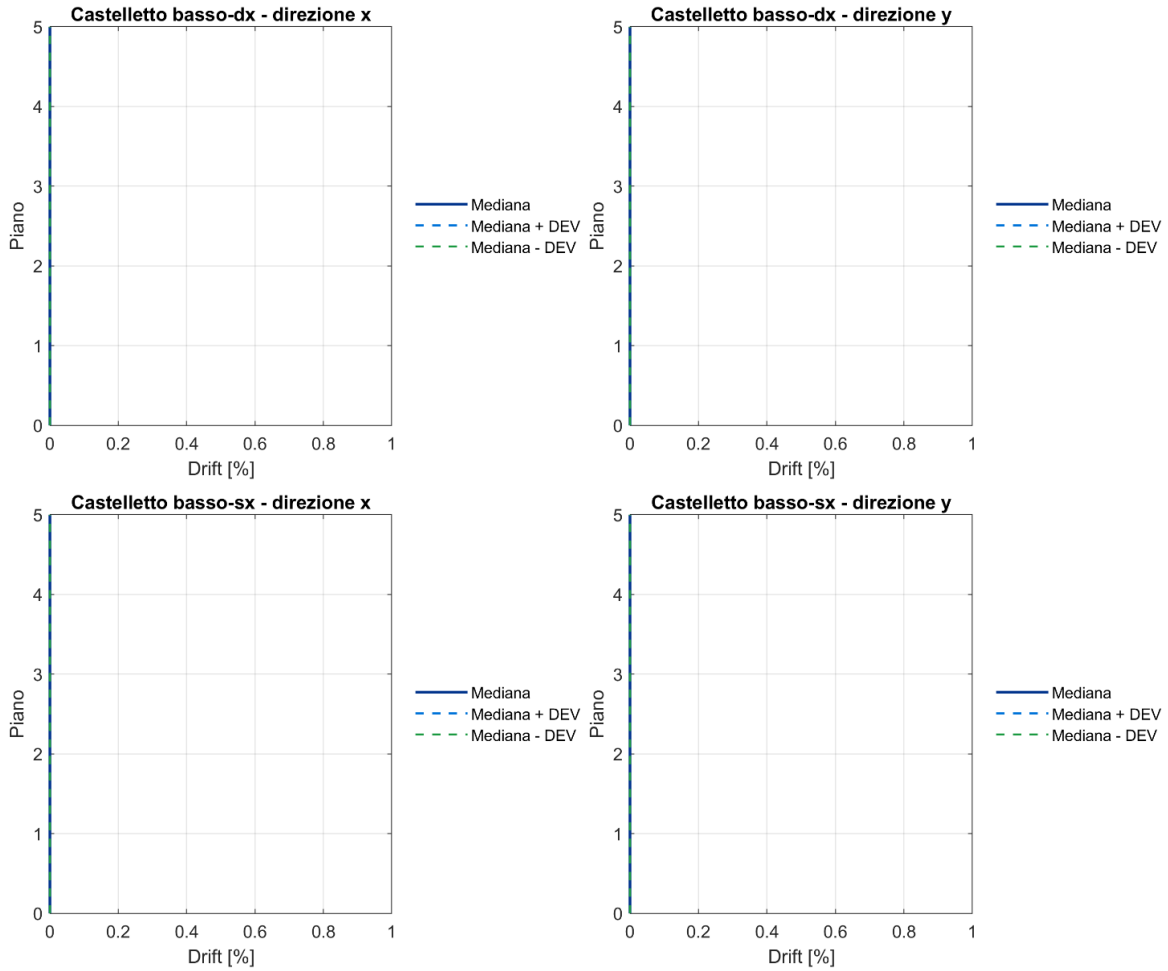
RP2475


Castelletto alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

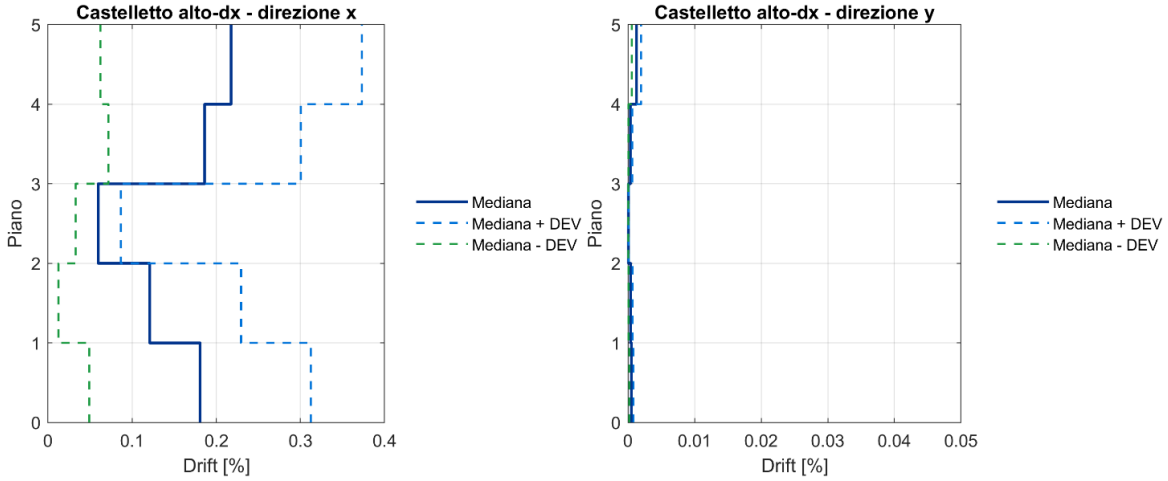

Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

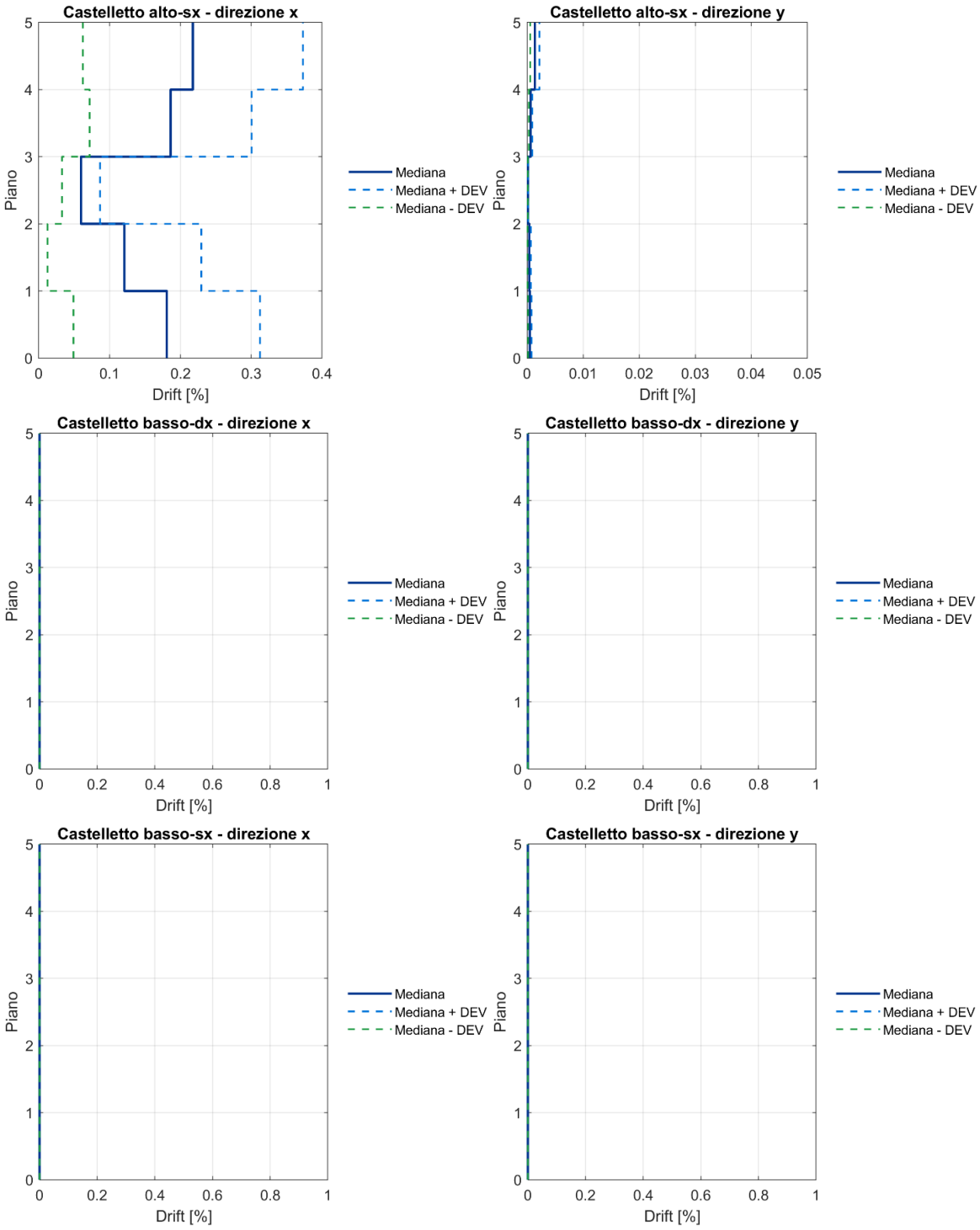

Castelletto alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV


Castelletto alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV


Castelletto basso-dx - direzione x
Castelletto basso-dx - direzione y
Castelletto basso-sx - direzione x
Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

RP4975

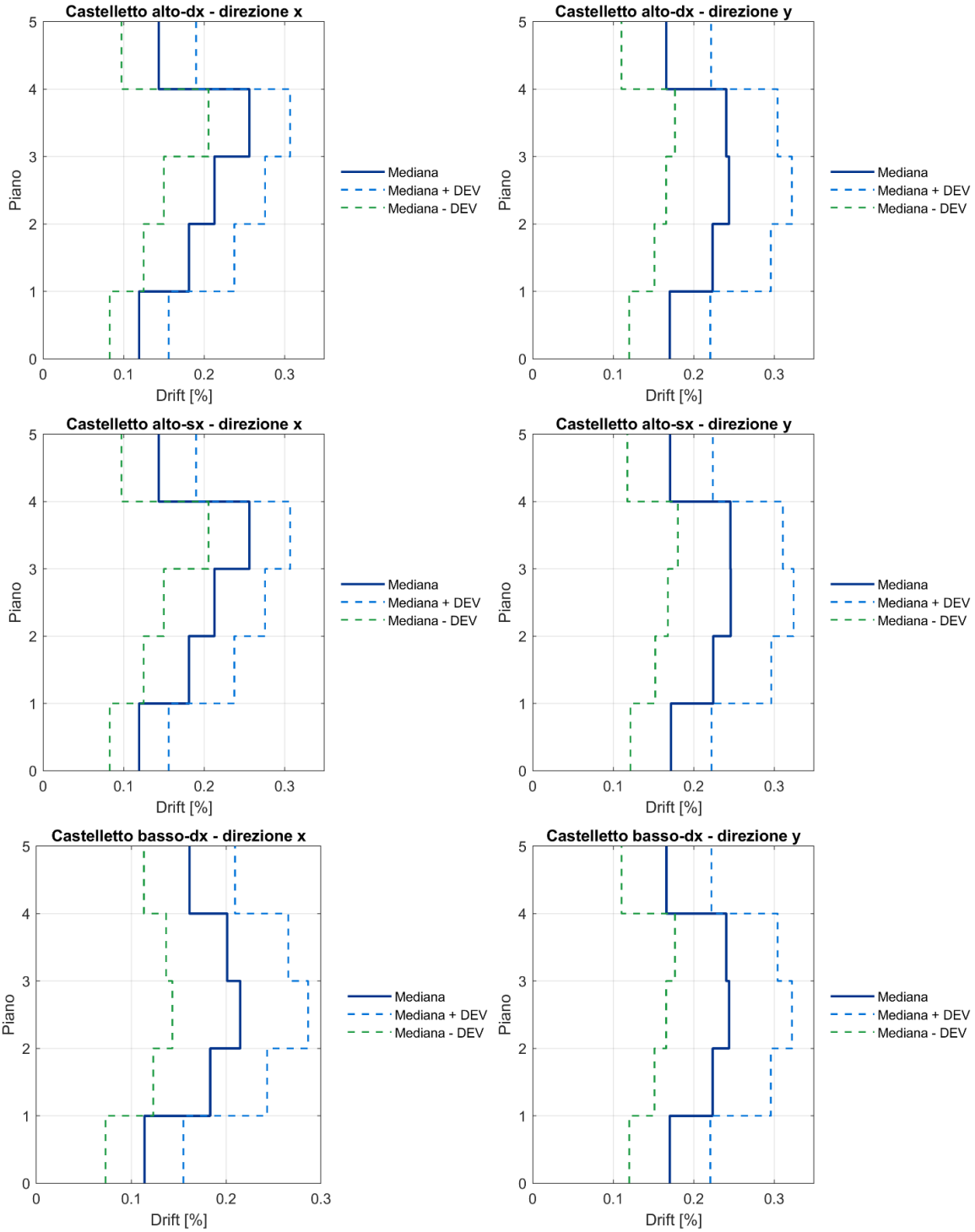

Castelletto alto-dx - direzione x
Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

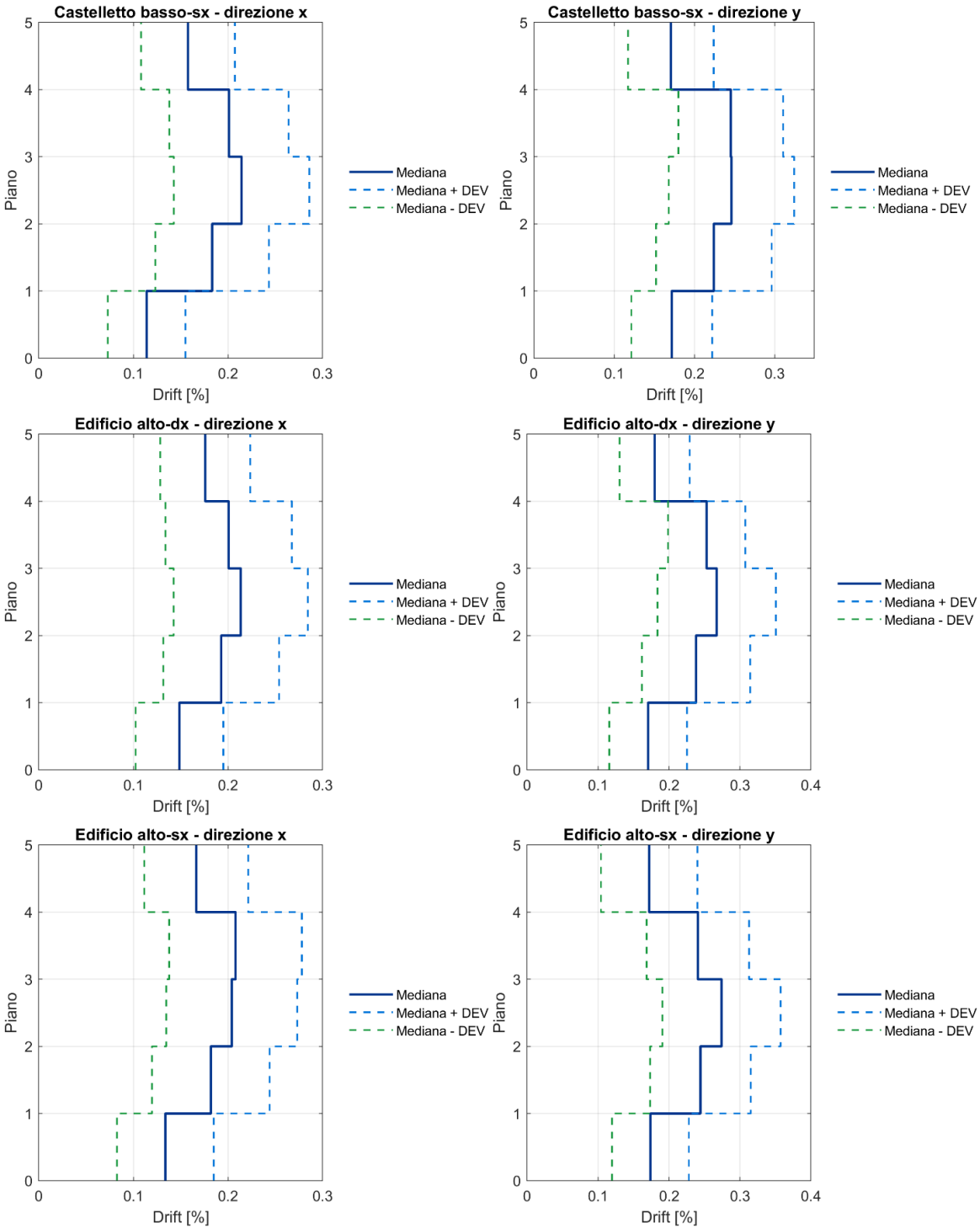

Castelletto alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Castelletto alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Castelletto basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Castelletto basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Castelletto basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

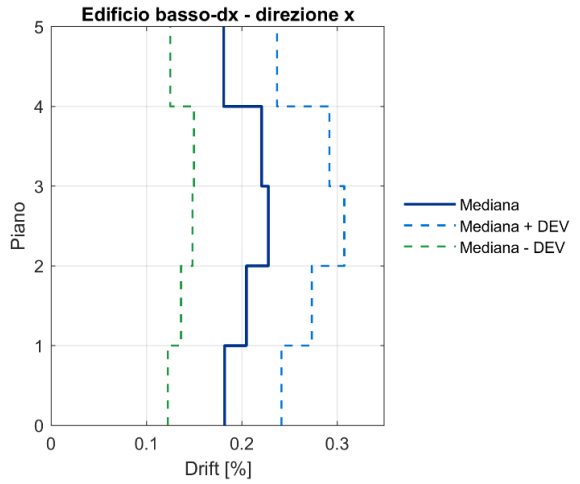
B.2 Modello edificio+castelletto con ancoraggi rigidi

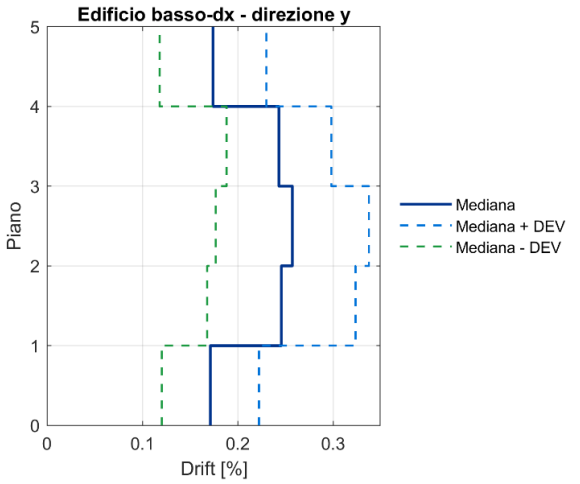
Nei grafici di seguito sull'asse verticale è indicato il piano, su quello orizzontale il drift in percentuale. Le linee continue rappresentano le mediane dei valori massimi dei venti record, quelle tratteggiate la mediana sommata e sottratta alla deviazione standard.

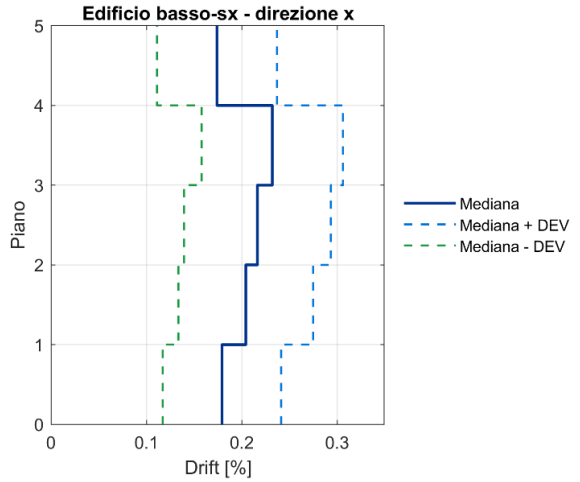
RP30

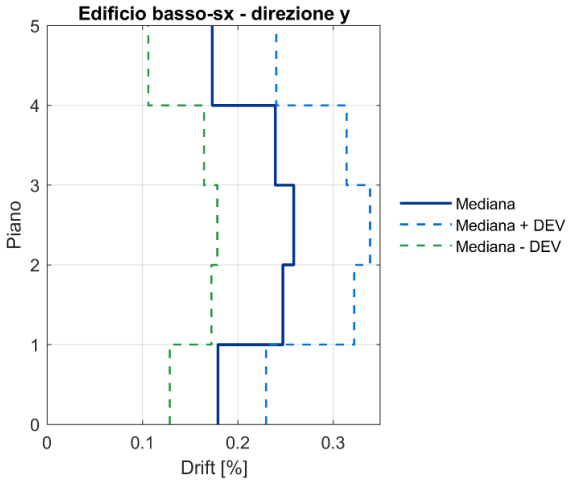



Castelletto basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Edificio alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Edificio alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

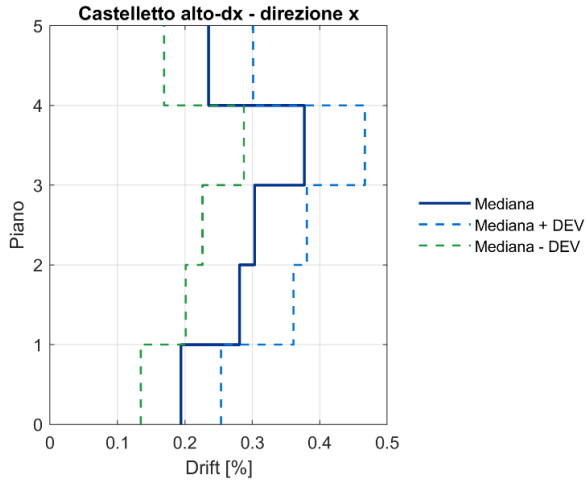

Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

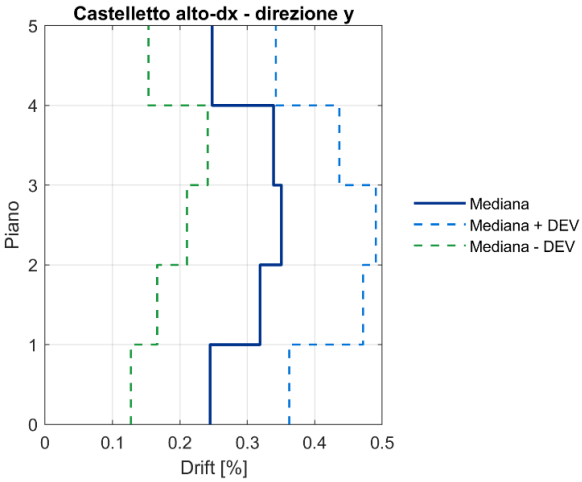

Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

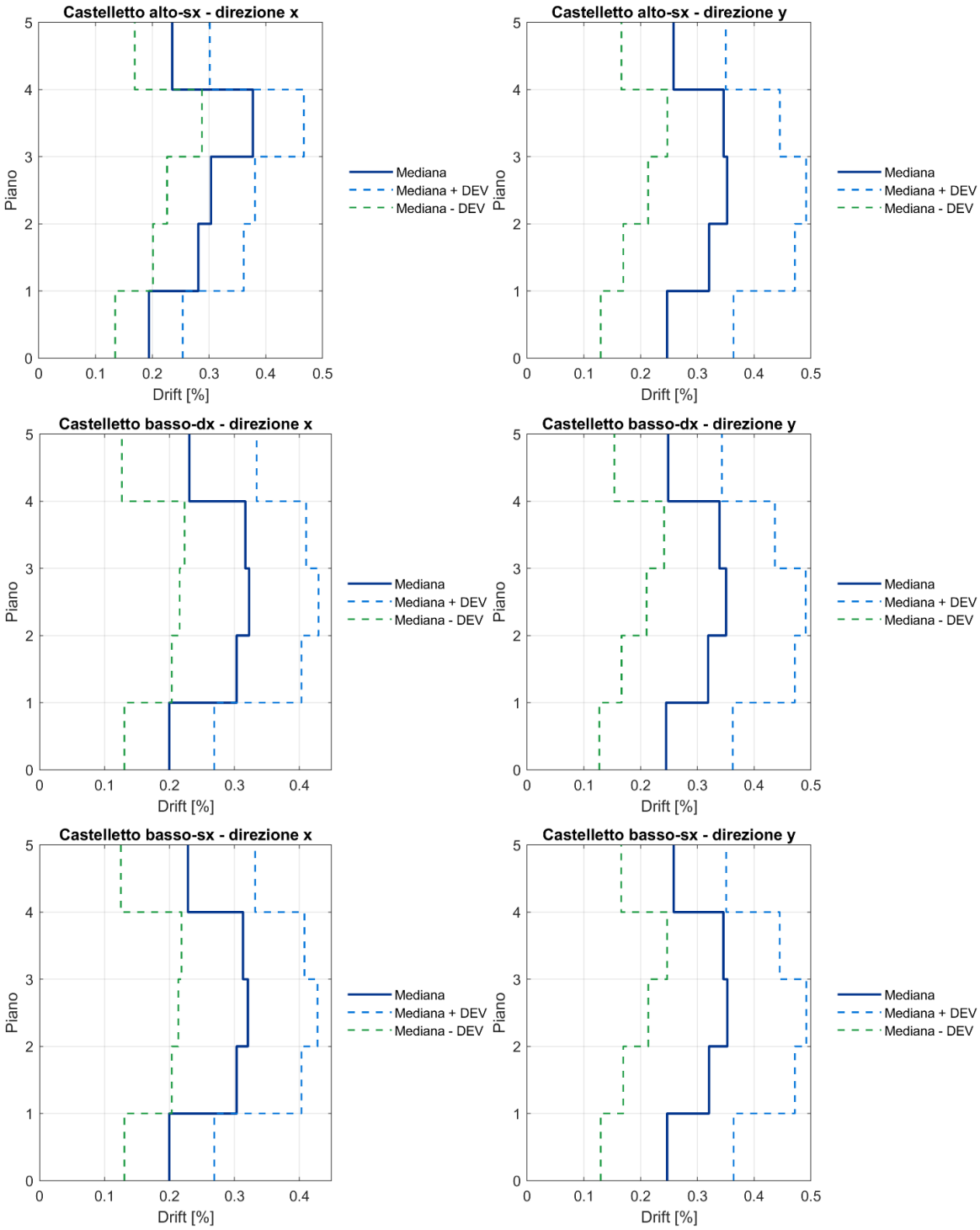

Edificio basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

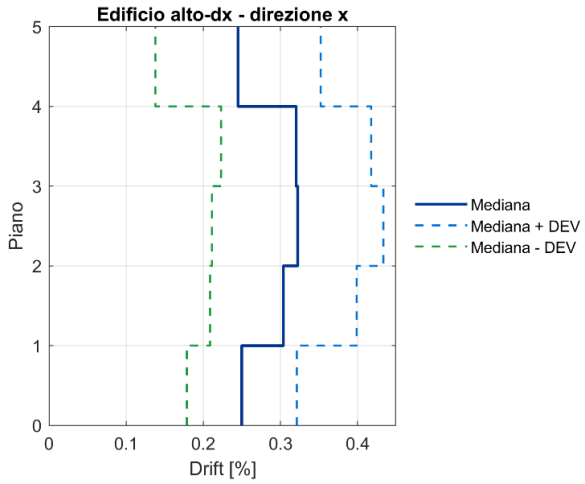

Edificio basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

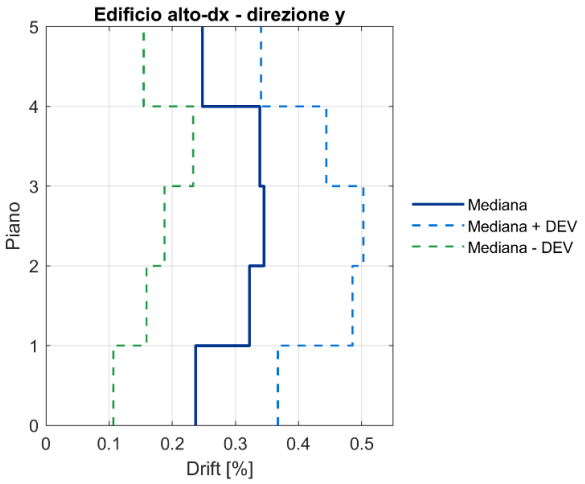
RP50

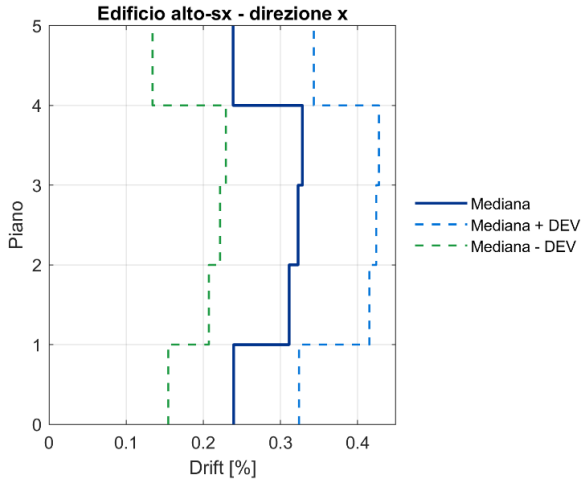

Castelletto alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

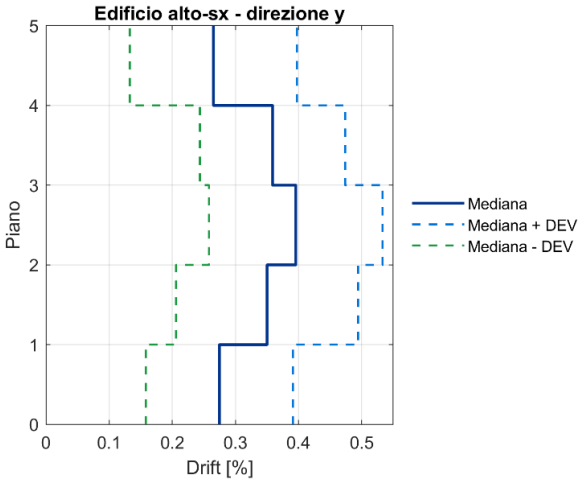

Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

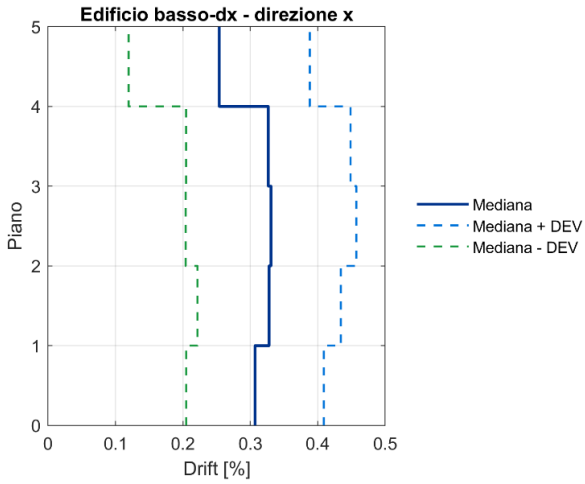

Castelletto alto-sx - direzione x
Castelletto alto-sx - direzione y
Castelletto basso-dx - direzione x
Castelletto basso-dx - direzione y
Castelletto basso-sx - direzione x
Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

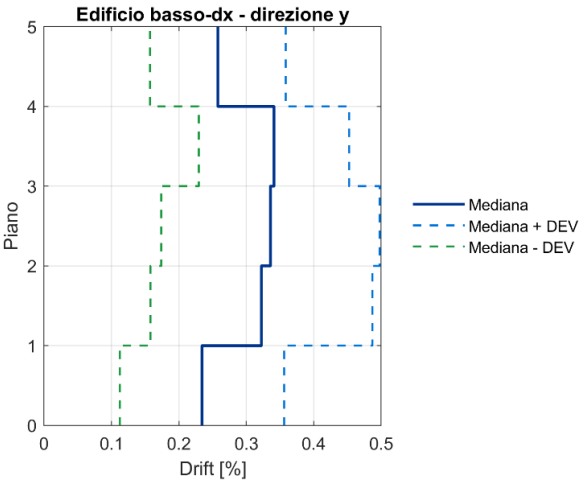

Edificio alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

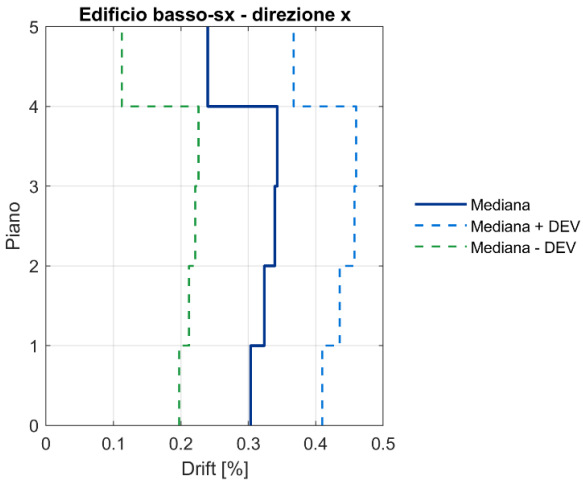

Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

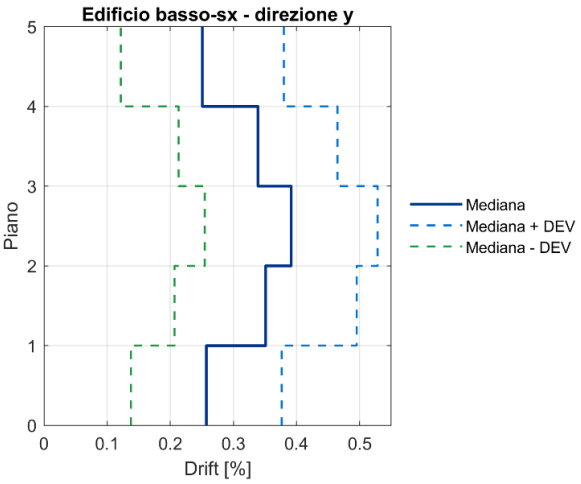

Edificio alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV


Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

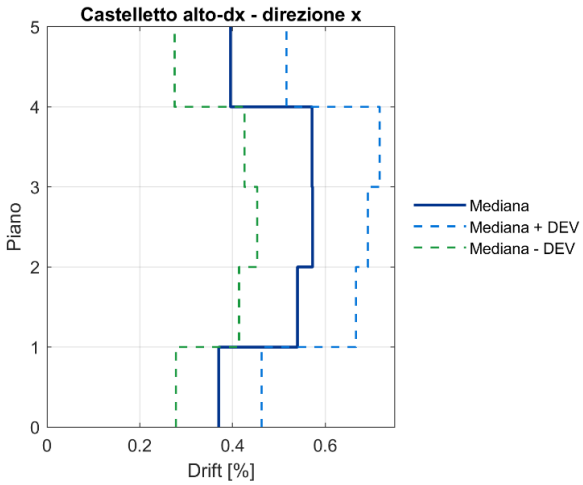

Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

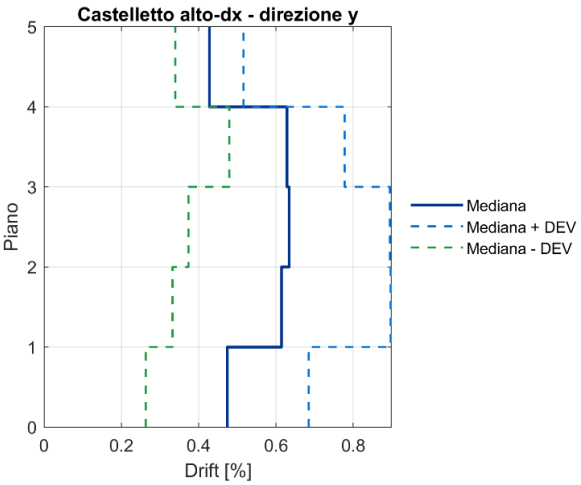

Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

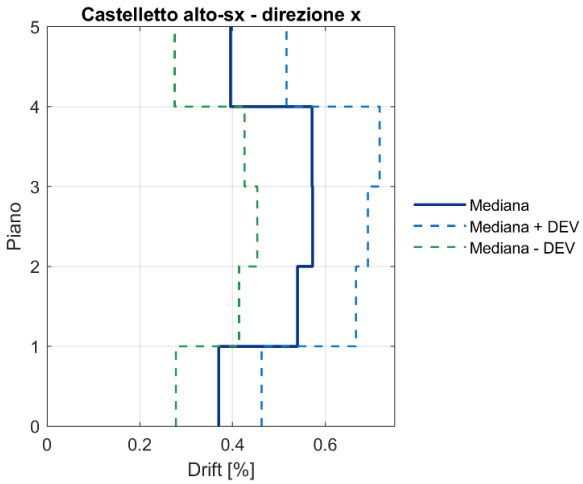

Edificio basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

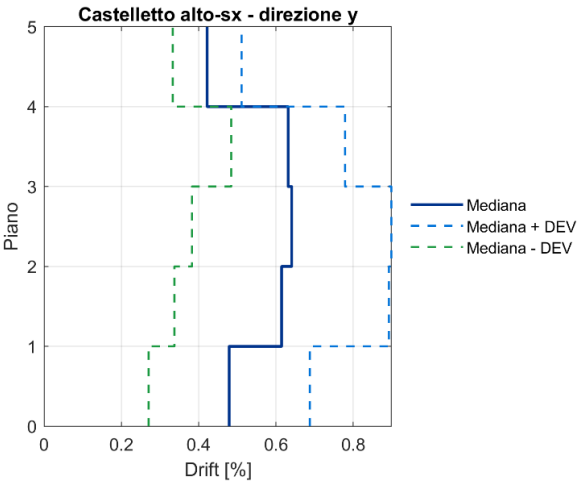

Edificio basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

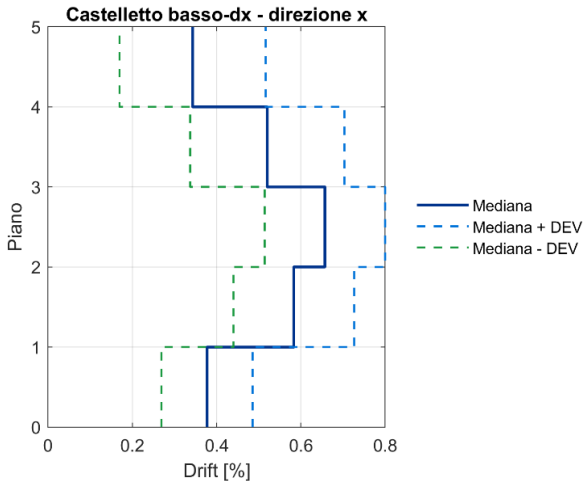
RP98

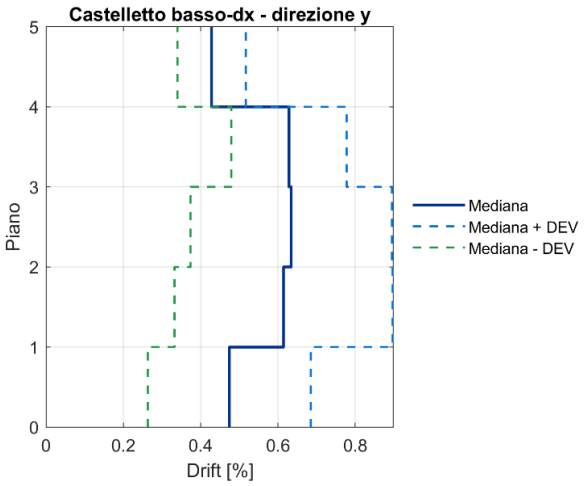

Castelletto alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

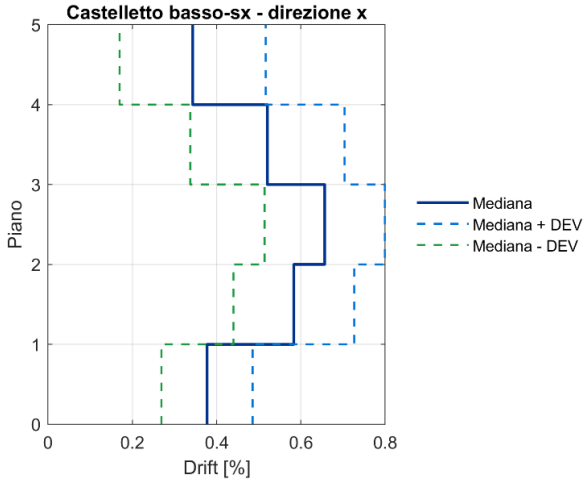

Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

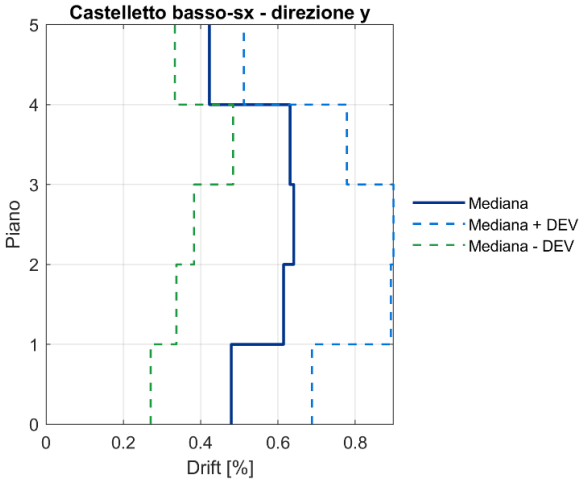

Castelletto alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

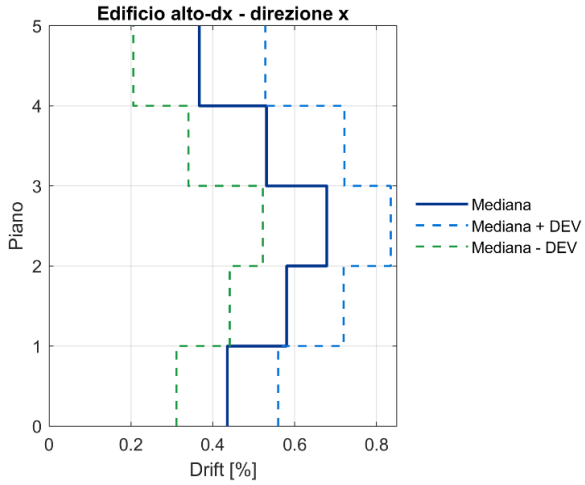

Castelletto alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

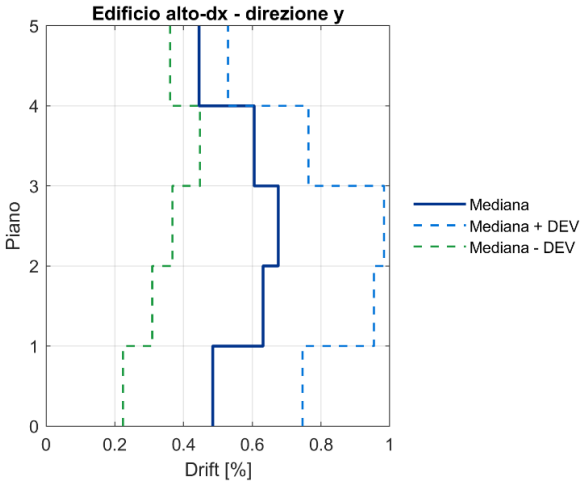

Castelletto basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

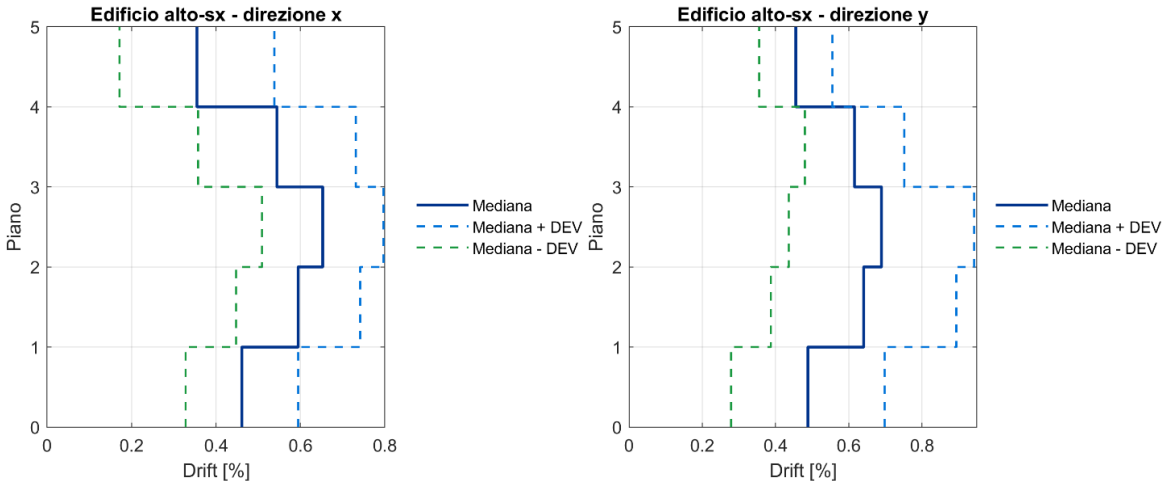

Castelletto basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV


Castelletto basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

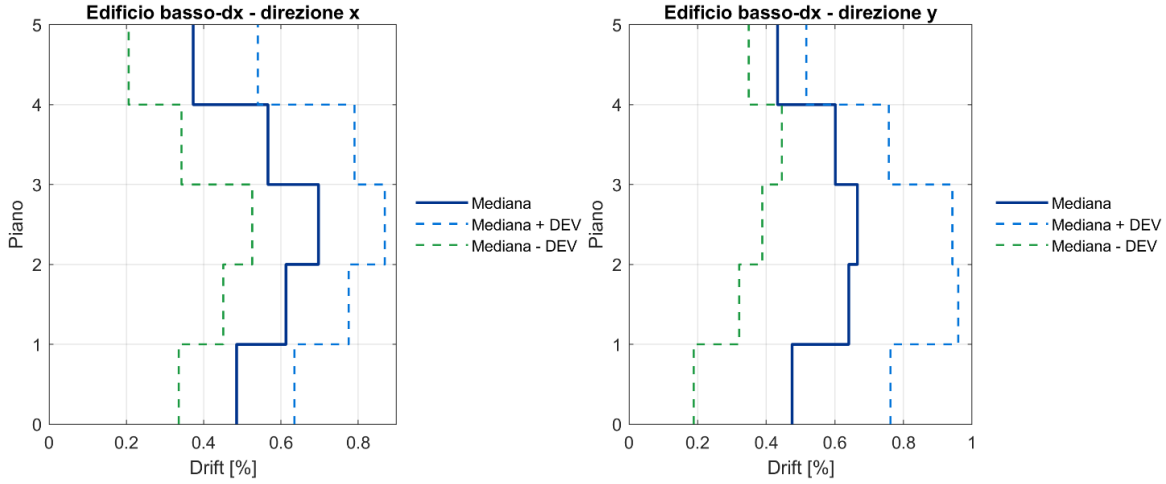

Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV


Edificio alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

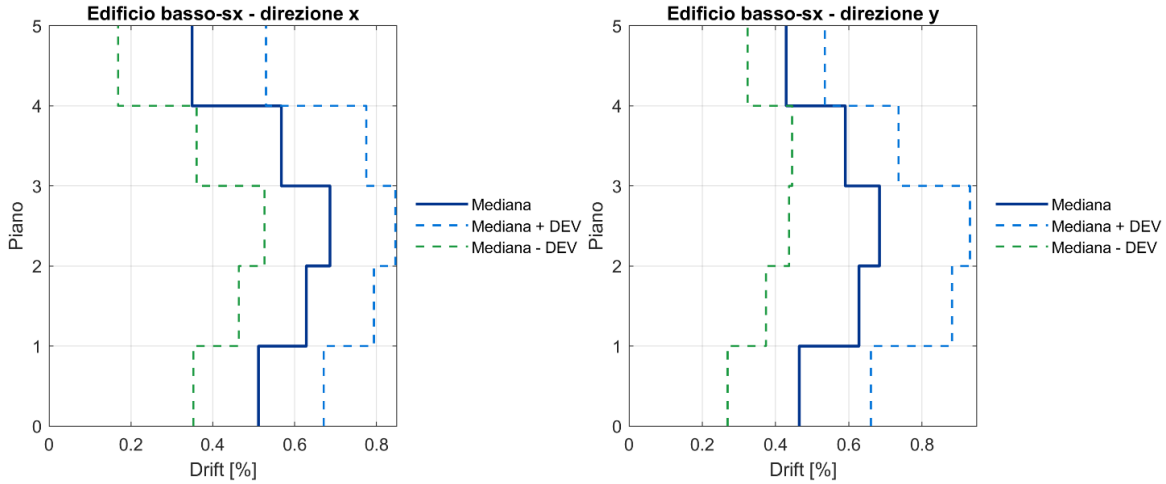

Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV


Edificio alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

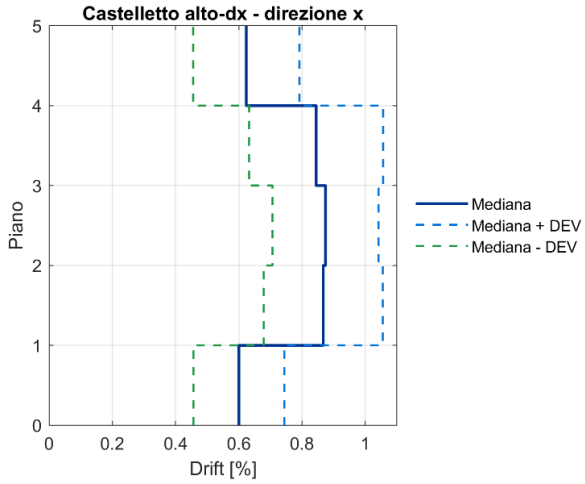

Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

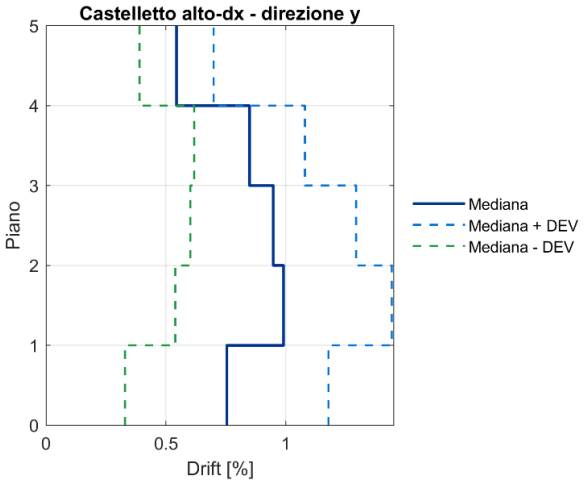
Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

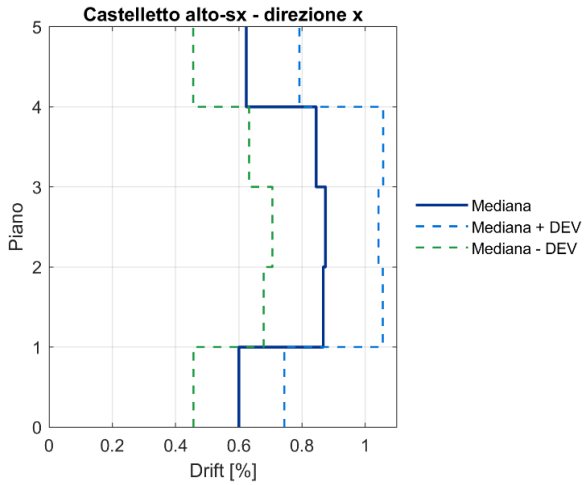

Edificio basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

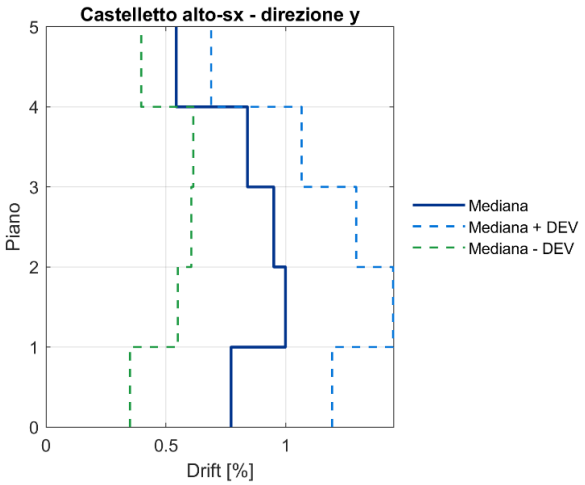
Edificio basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

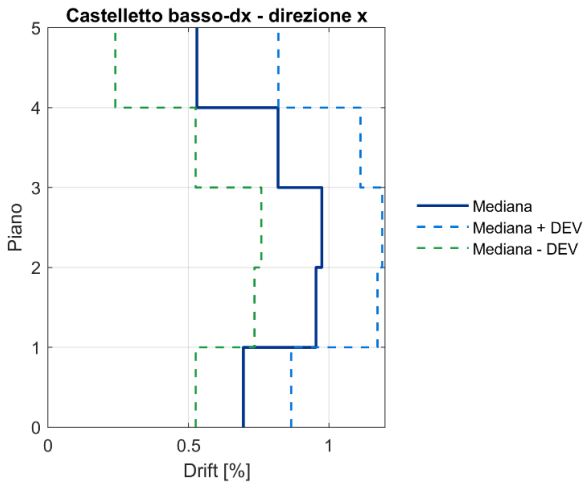
RP224

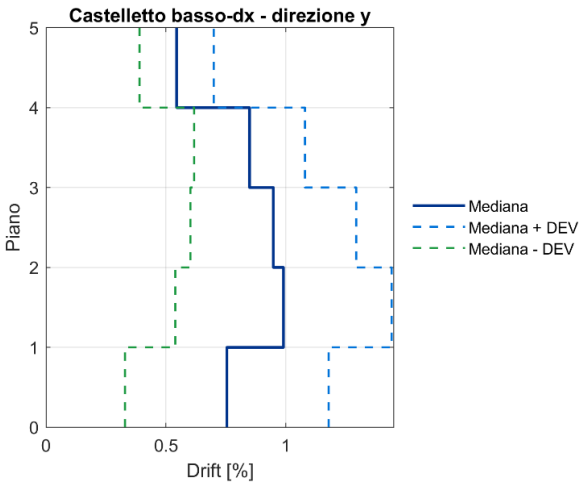

Castelletto alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

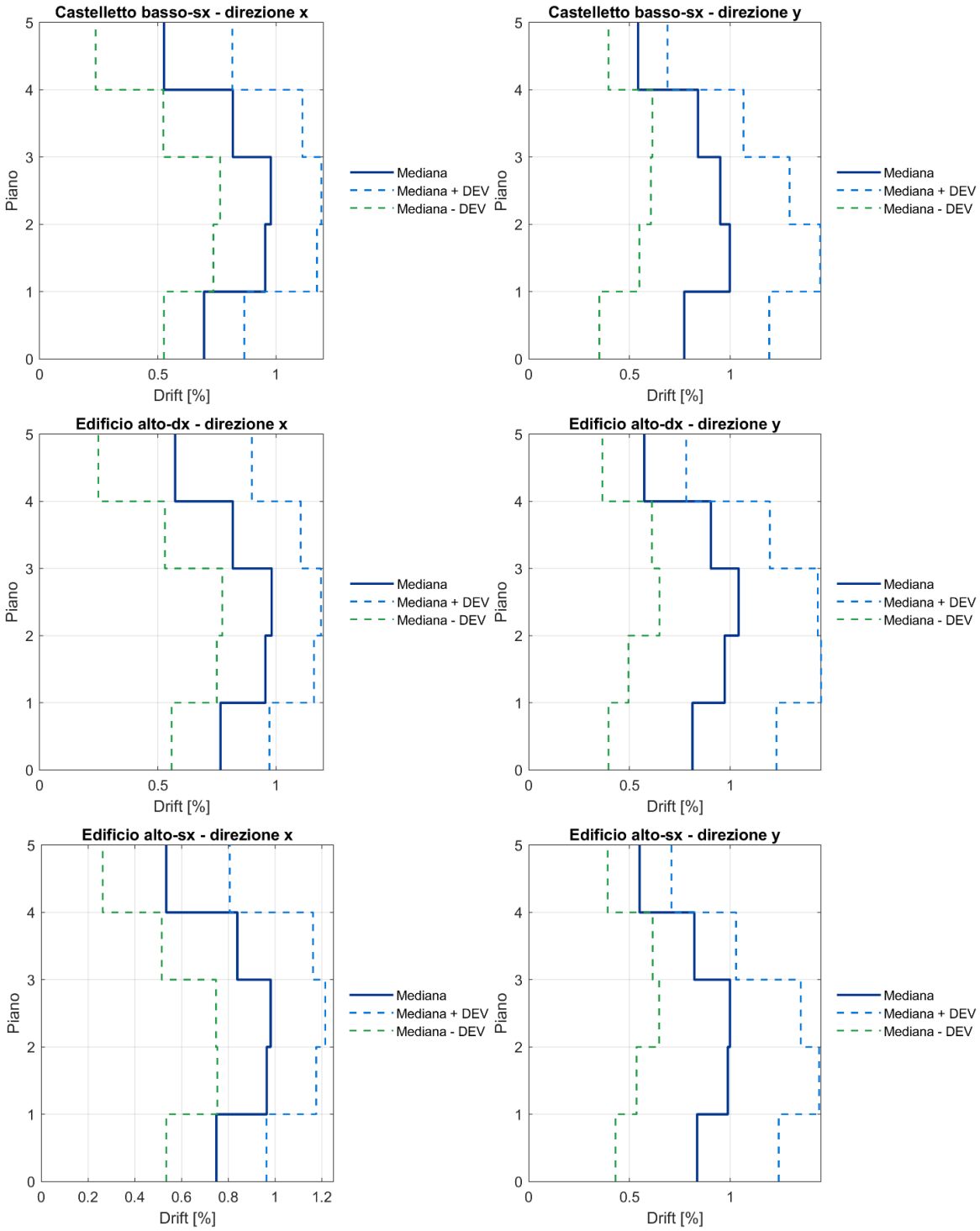

Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

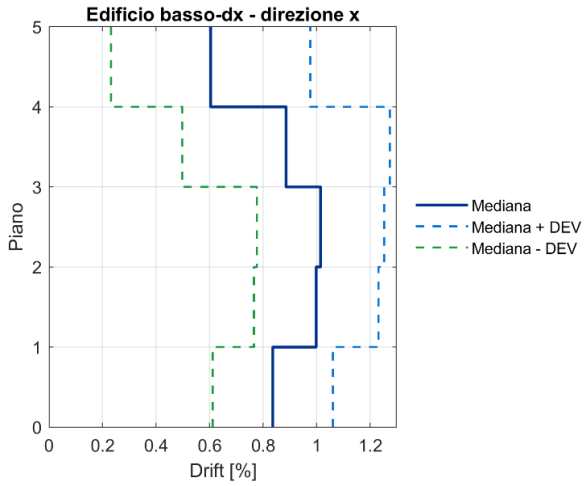

Castelletto alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

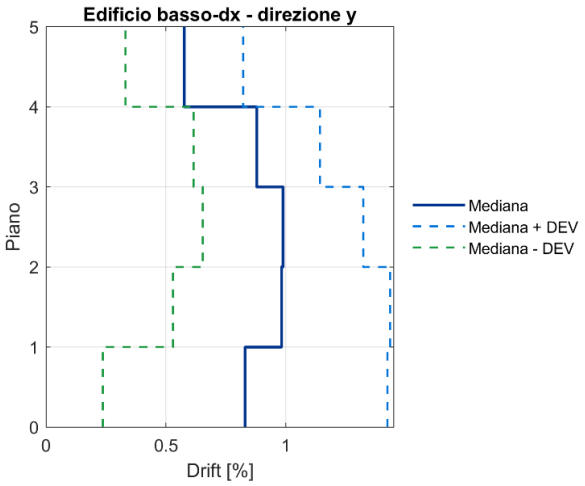

Castelletto alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

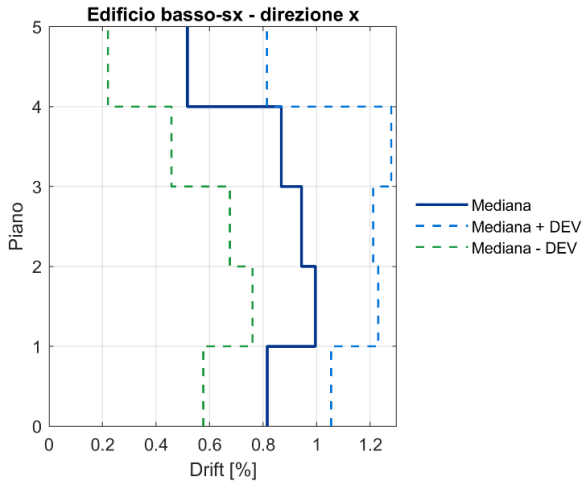

Castelletto basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

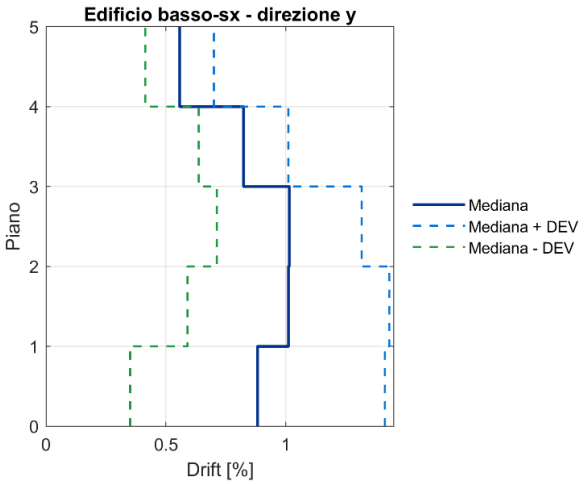

Castelletto basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV


Castelletto basso-sx - direzione x
Castelletto basso-sx - direzione y
Edificio alto-dx - direzione x
Edificio alto-dx - direzione y
Edificio alto-sx - direzione x
Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

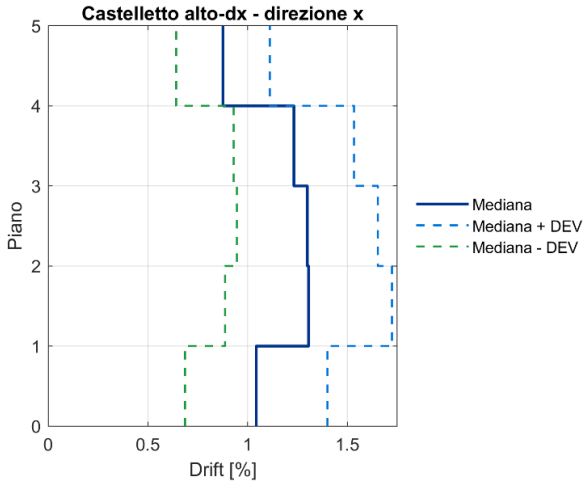

Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

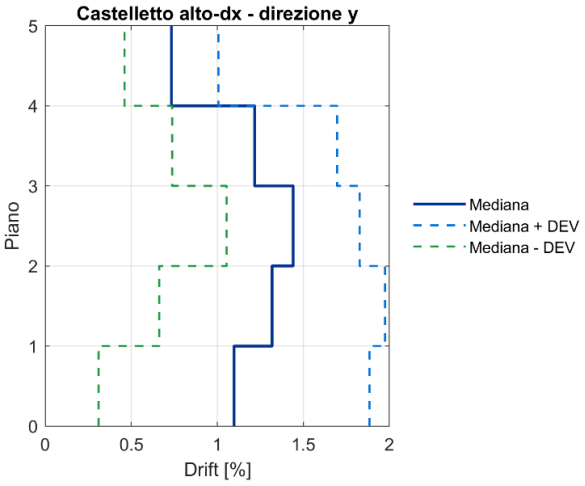

Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

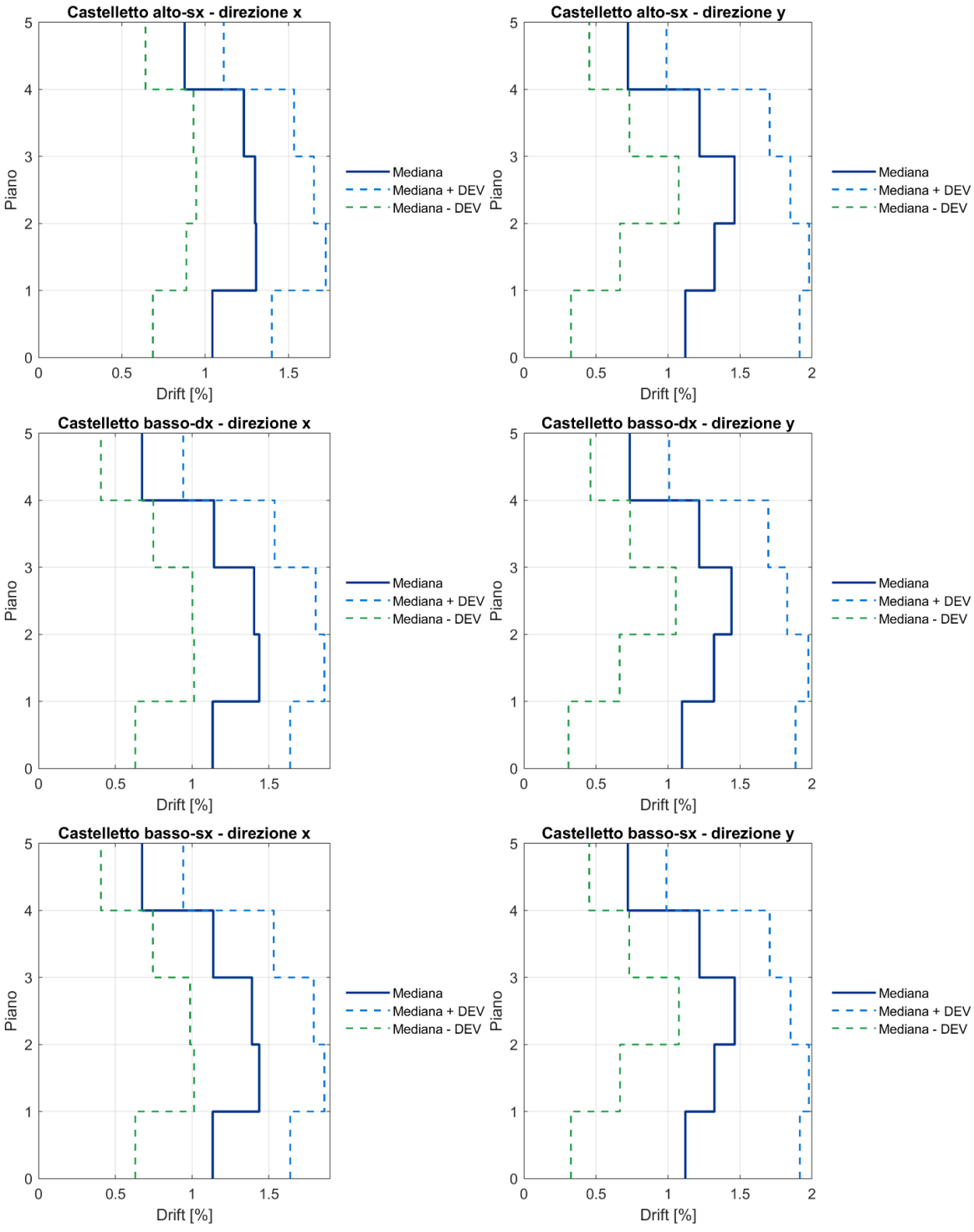

Edificio basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

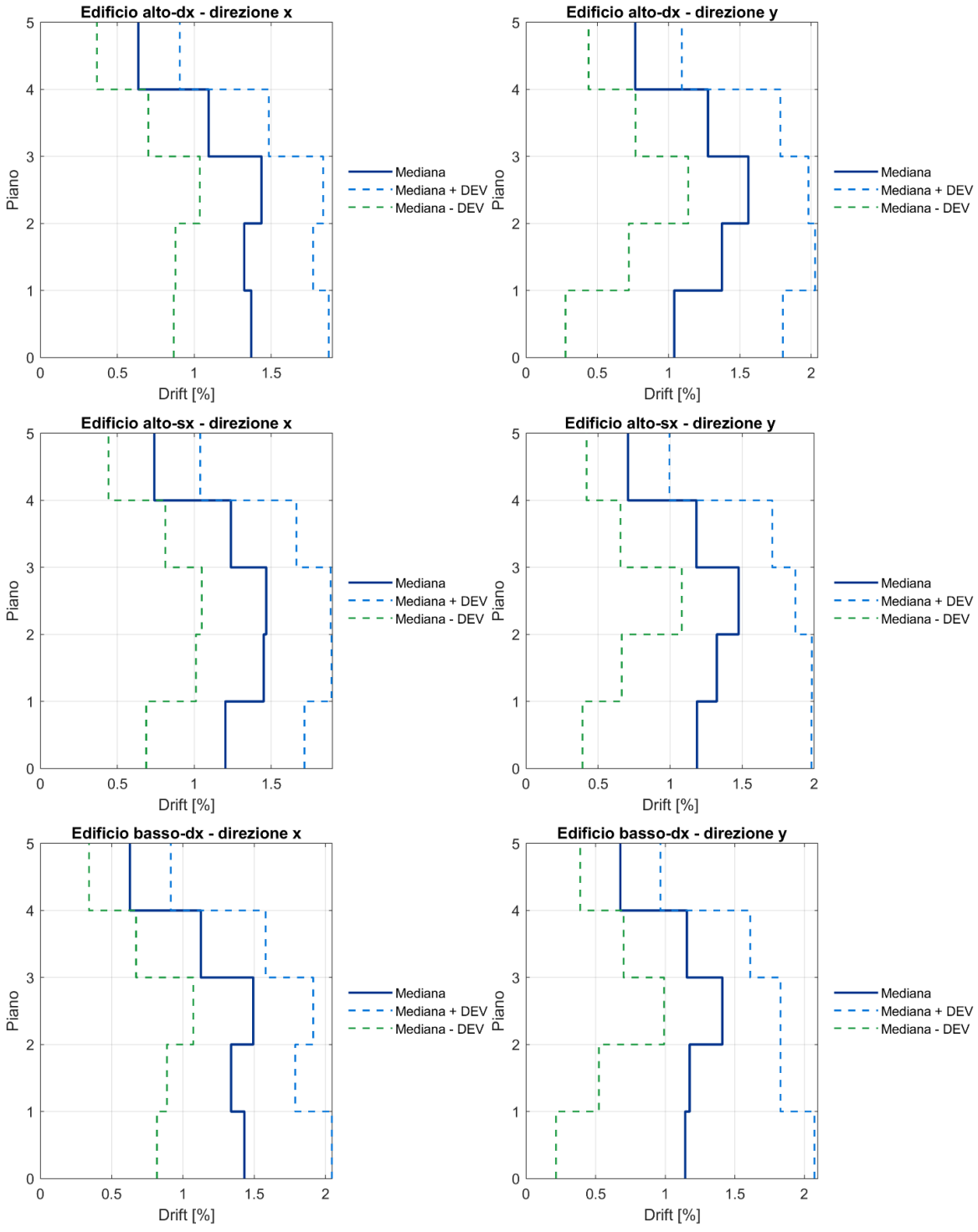

Edificio basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

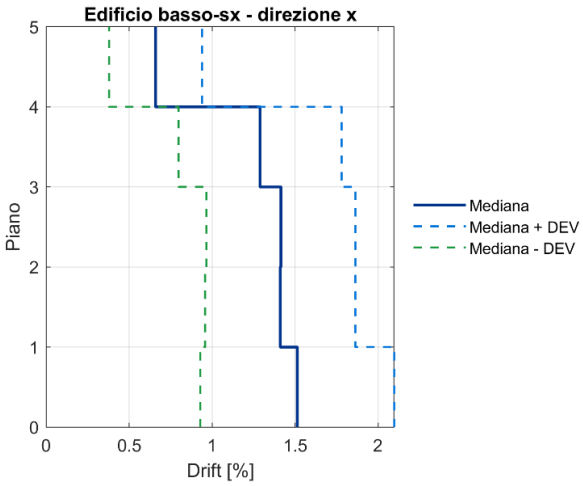
RP475

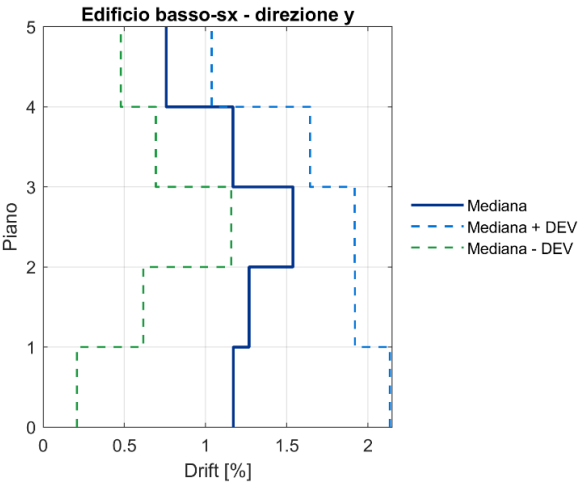

Castelletto alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV


Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

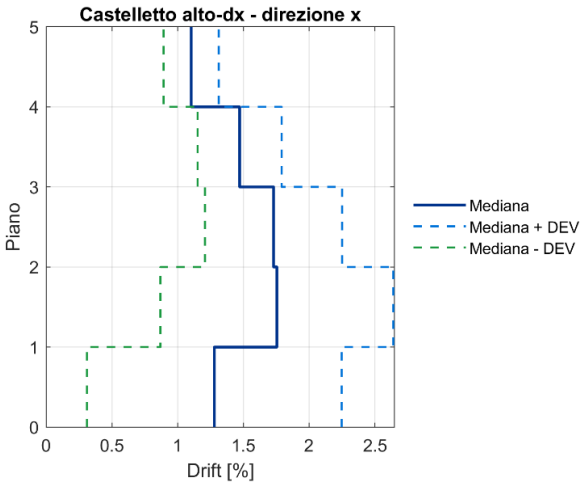

Castelletto alto-sx - direzione x
Castelletto alto-sx - direzione y
Castelletto basso-dx - direzione x
Castelletto basso-dx - direzione y
Castelletto basso-sx - direzione x
Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

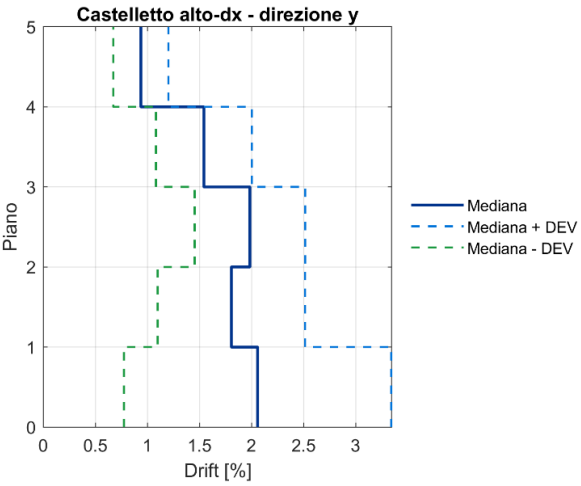

Edificio alto-dx - direzione x
Edificio alto-dx - direzione y
Edificio alto-sx - direzione x
Edificio alto-sx - direzione y
Edificio basso-dx - direzione x
Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

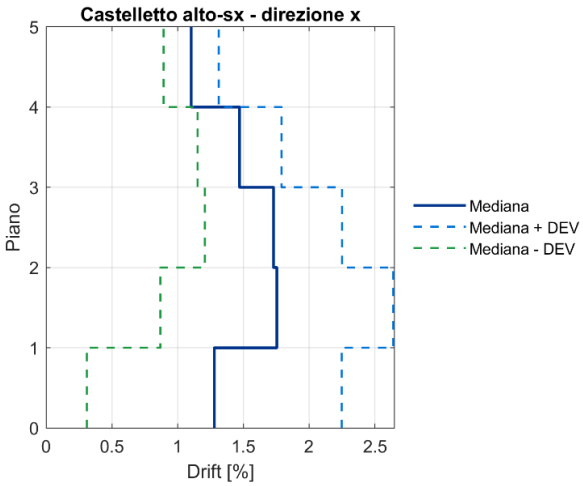

Edificio basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

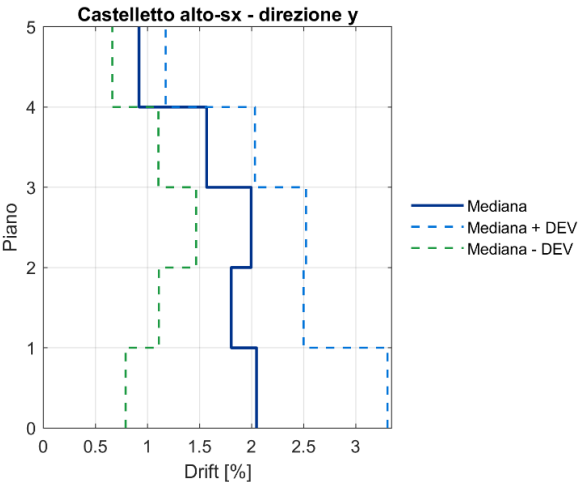

Edificio basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

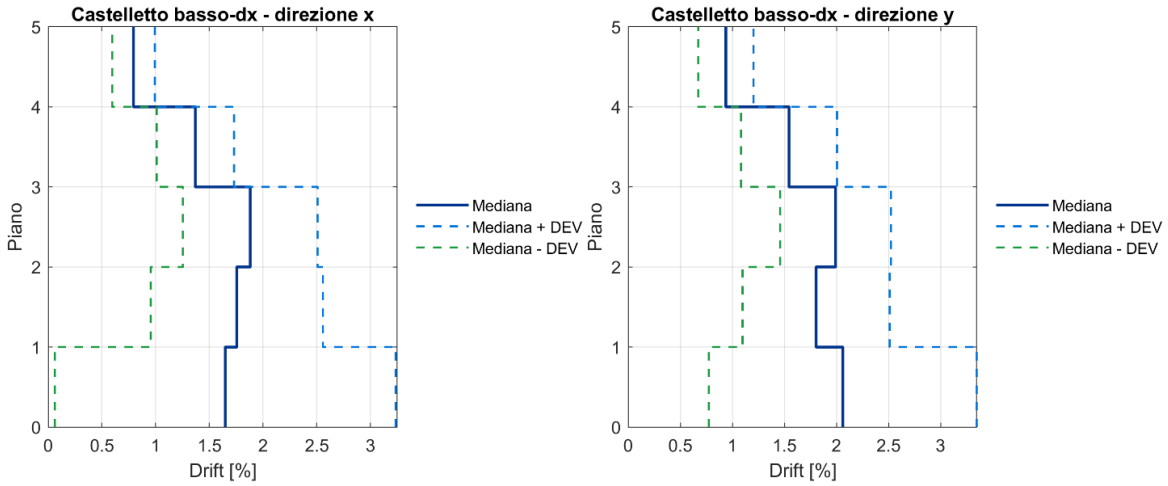
RP975


Castelletto alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

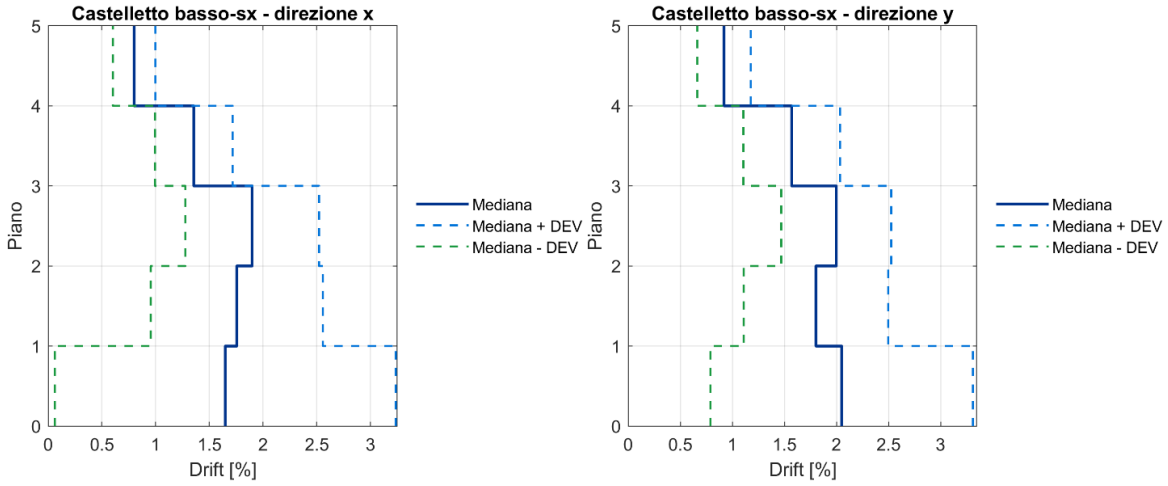

Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV


Castelletto alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

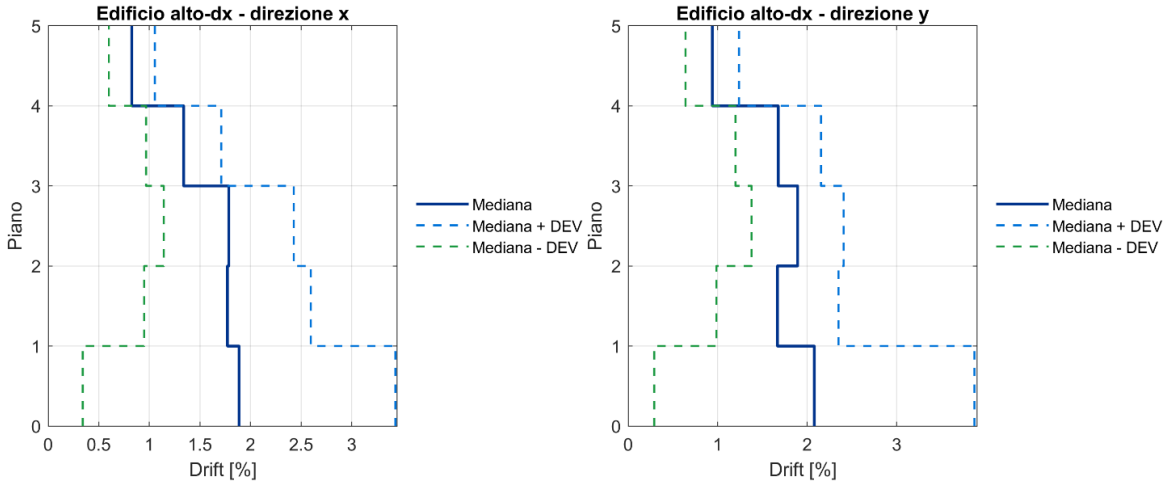

Castelletto alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV


Castelletto basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

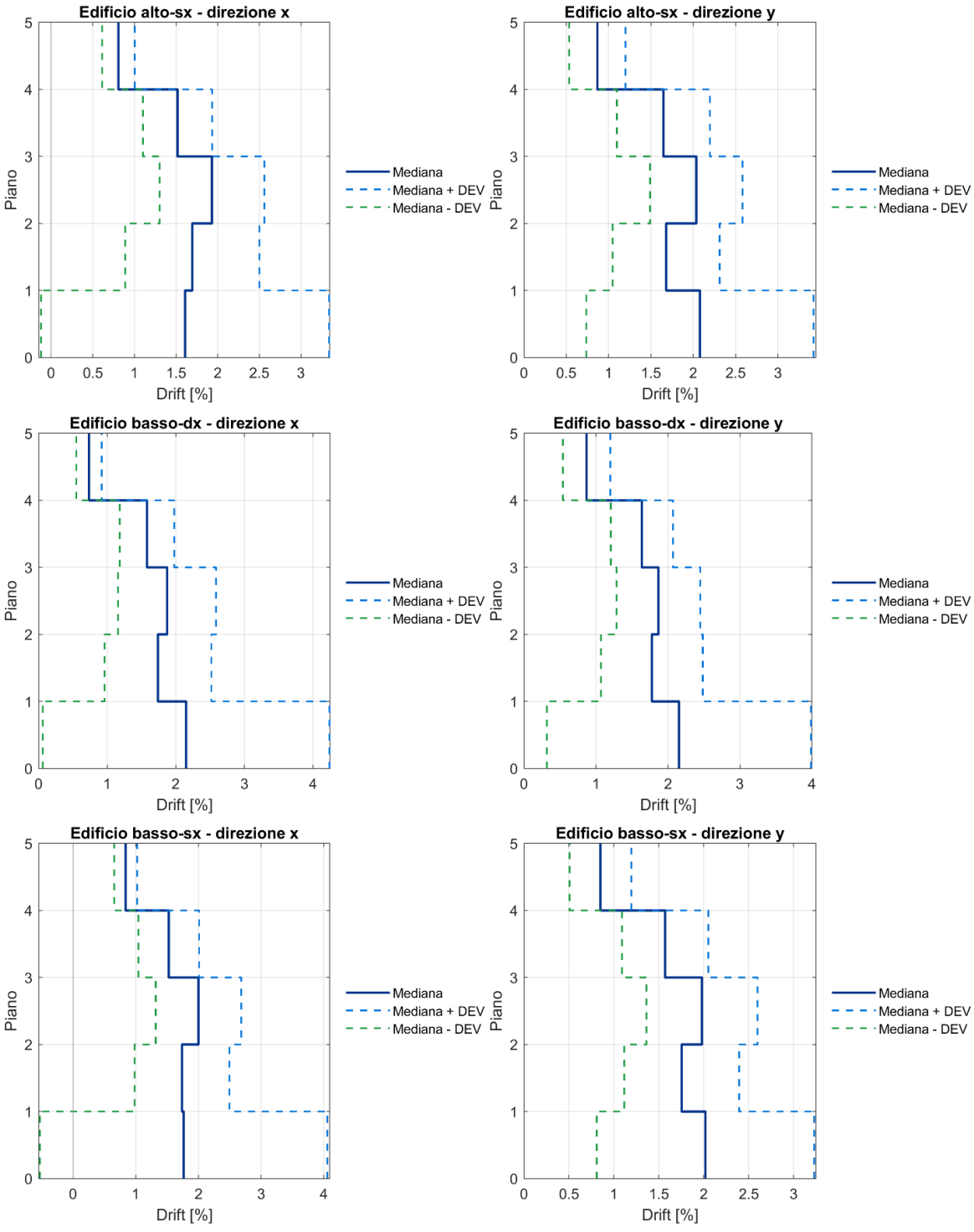
Castelletto basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV


Castelletto basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

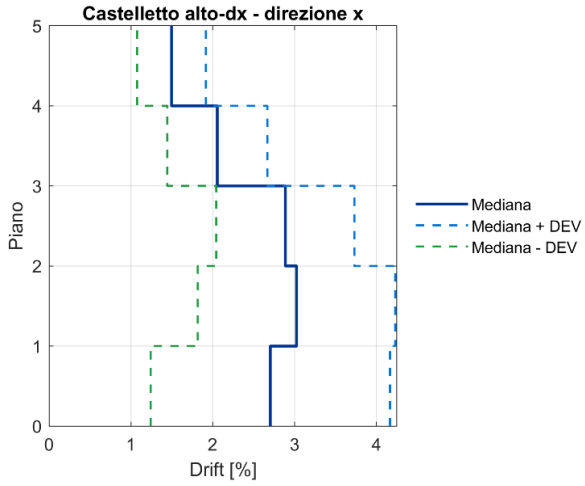
Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

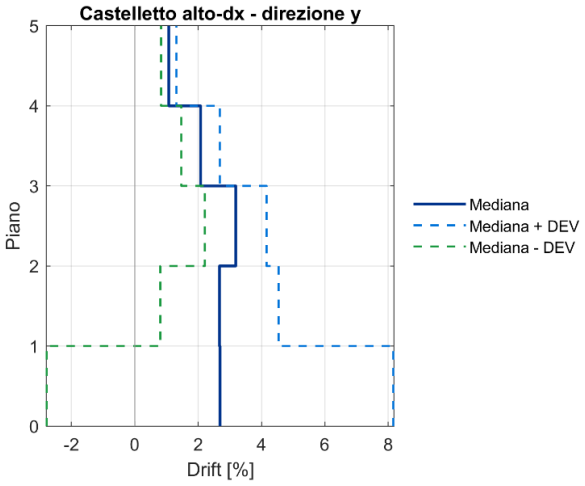

Edificio alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

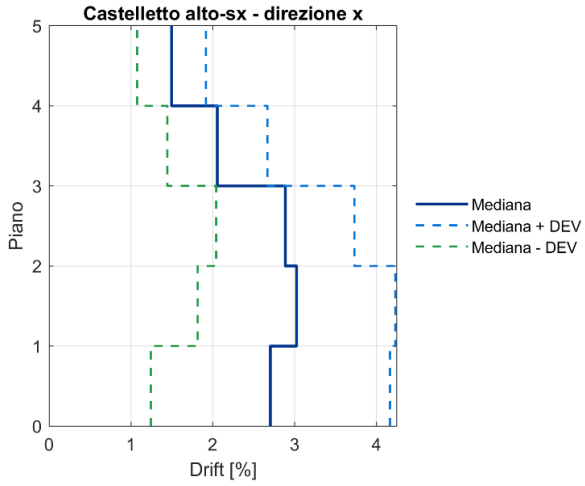
Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

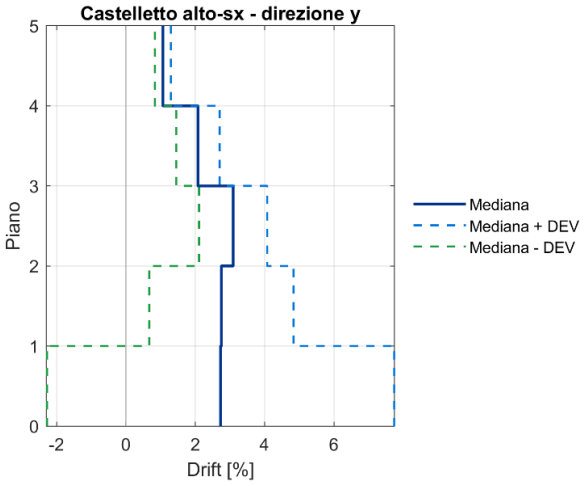

Edificio alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Edificio basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Edificio basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

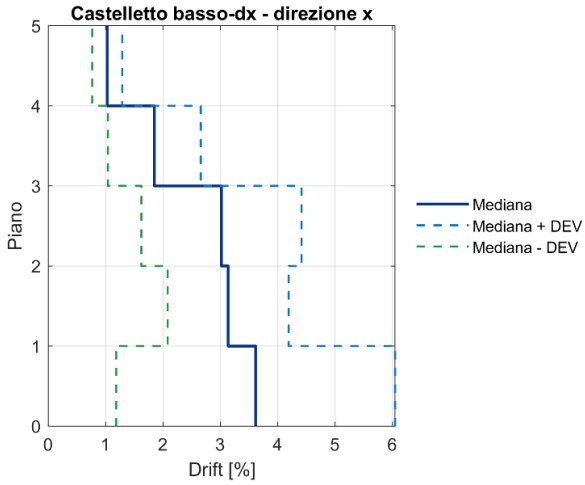
RP2475

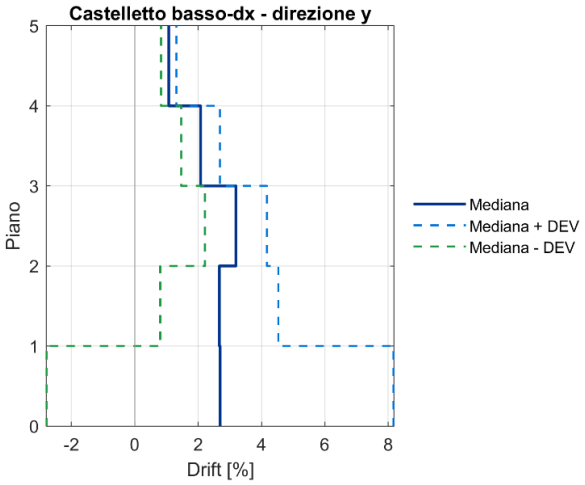

Castelletto alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

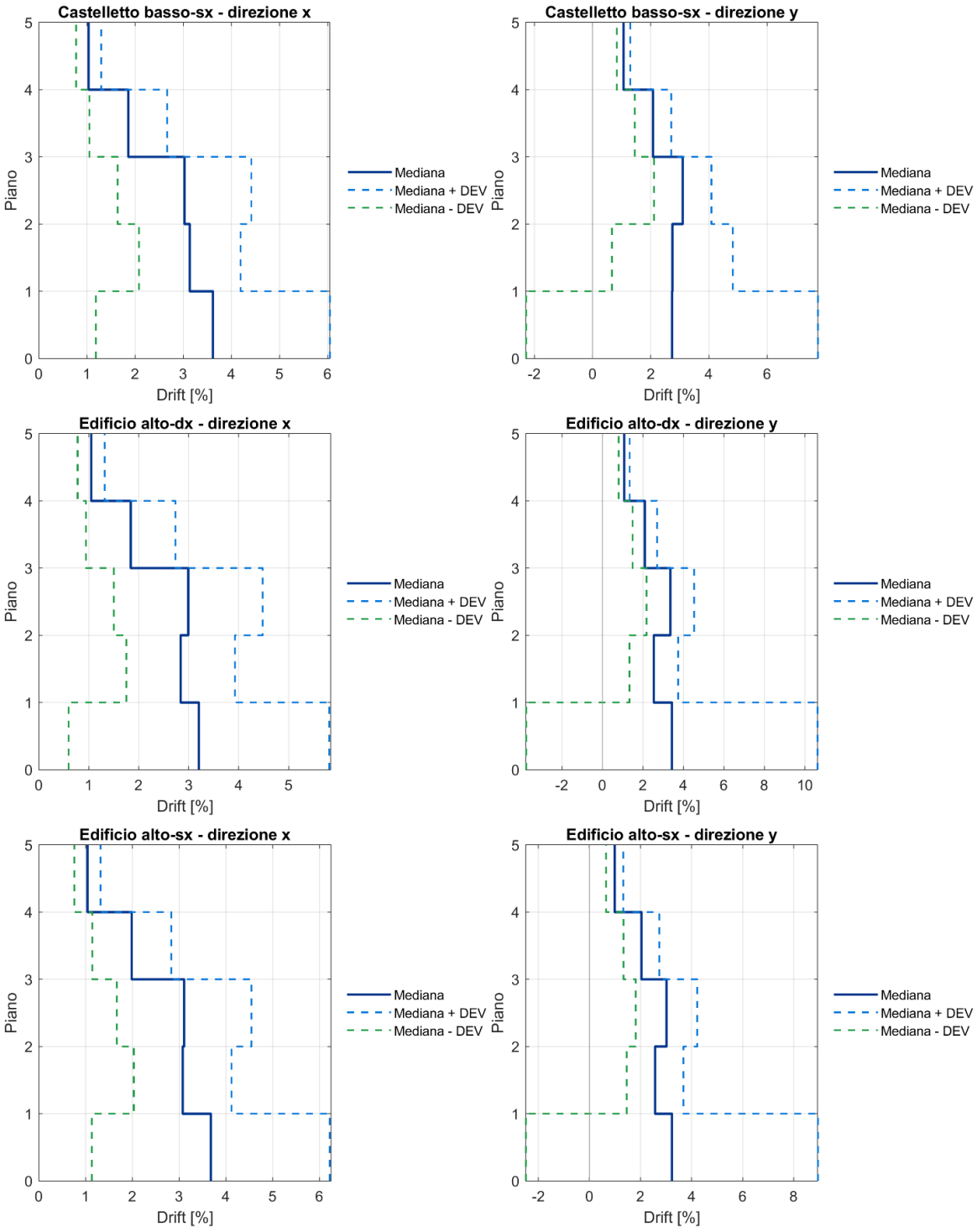

Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

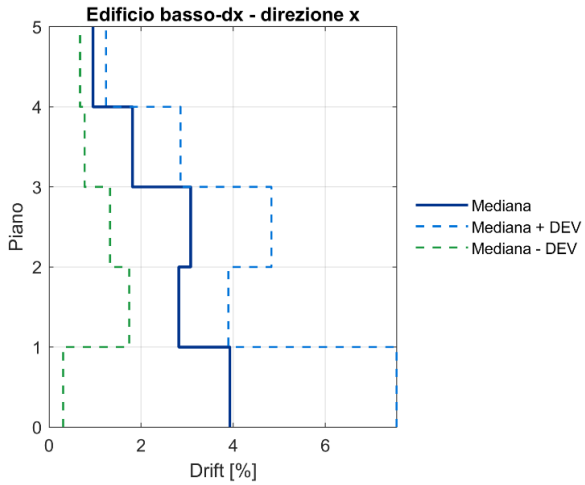

Castelletto alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

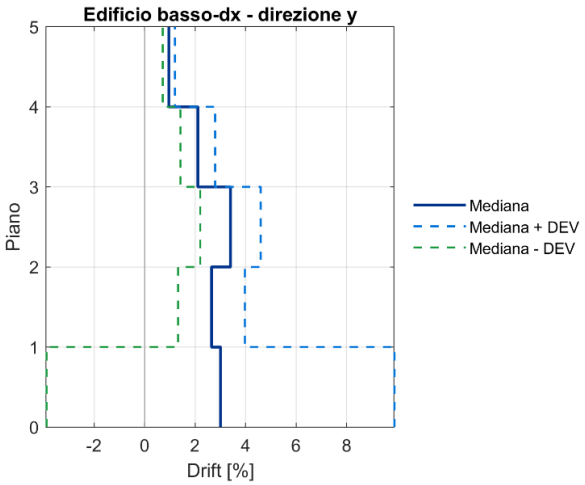

Castelletto alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

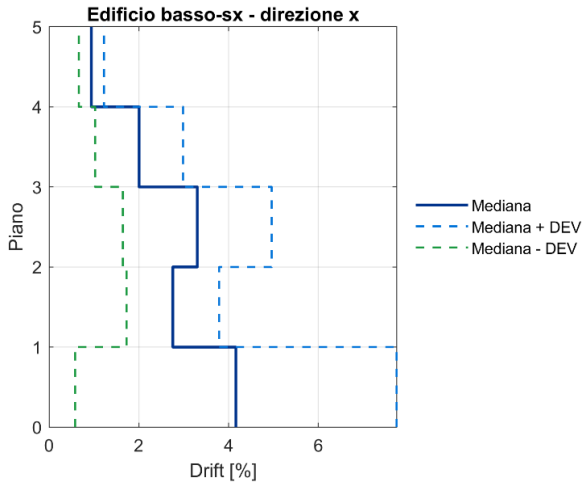

Castelletto basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

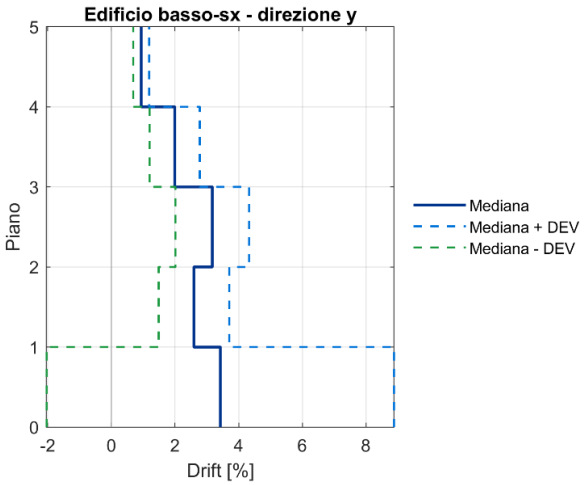

Castelletto basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV


Castelletto basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Edificio alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Edificio alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

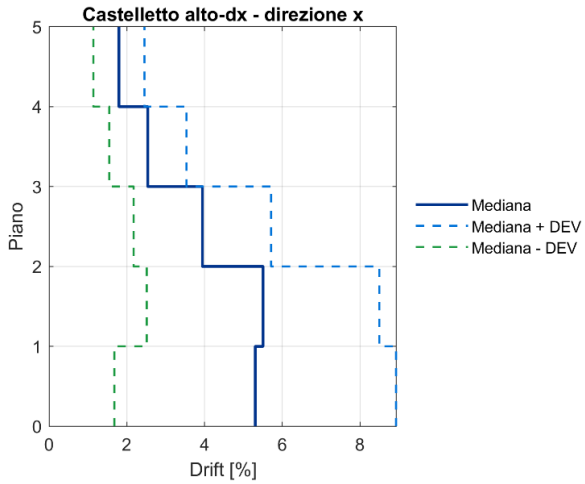

Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

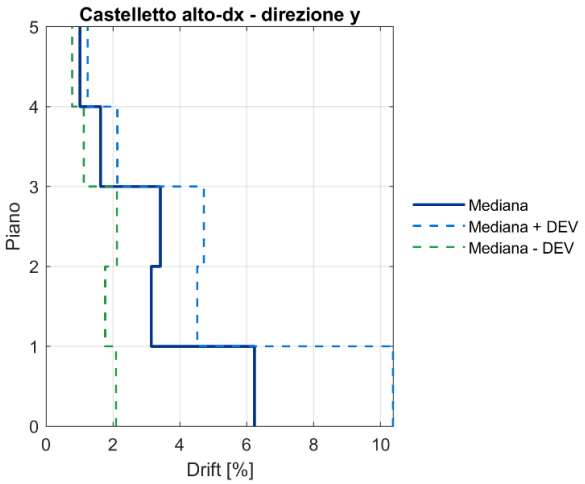

Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

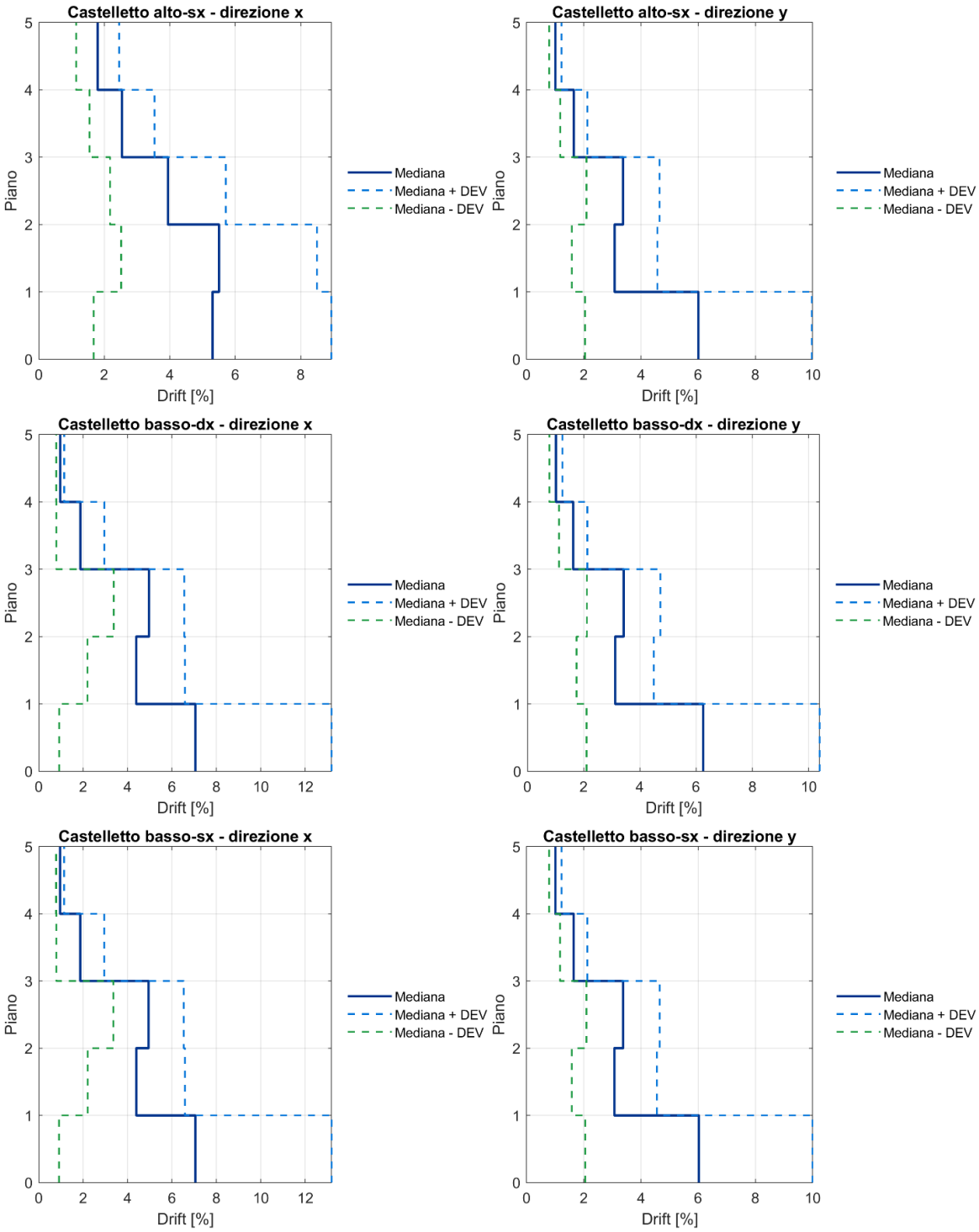

Edificio basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

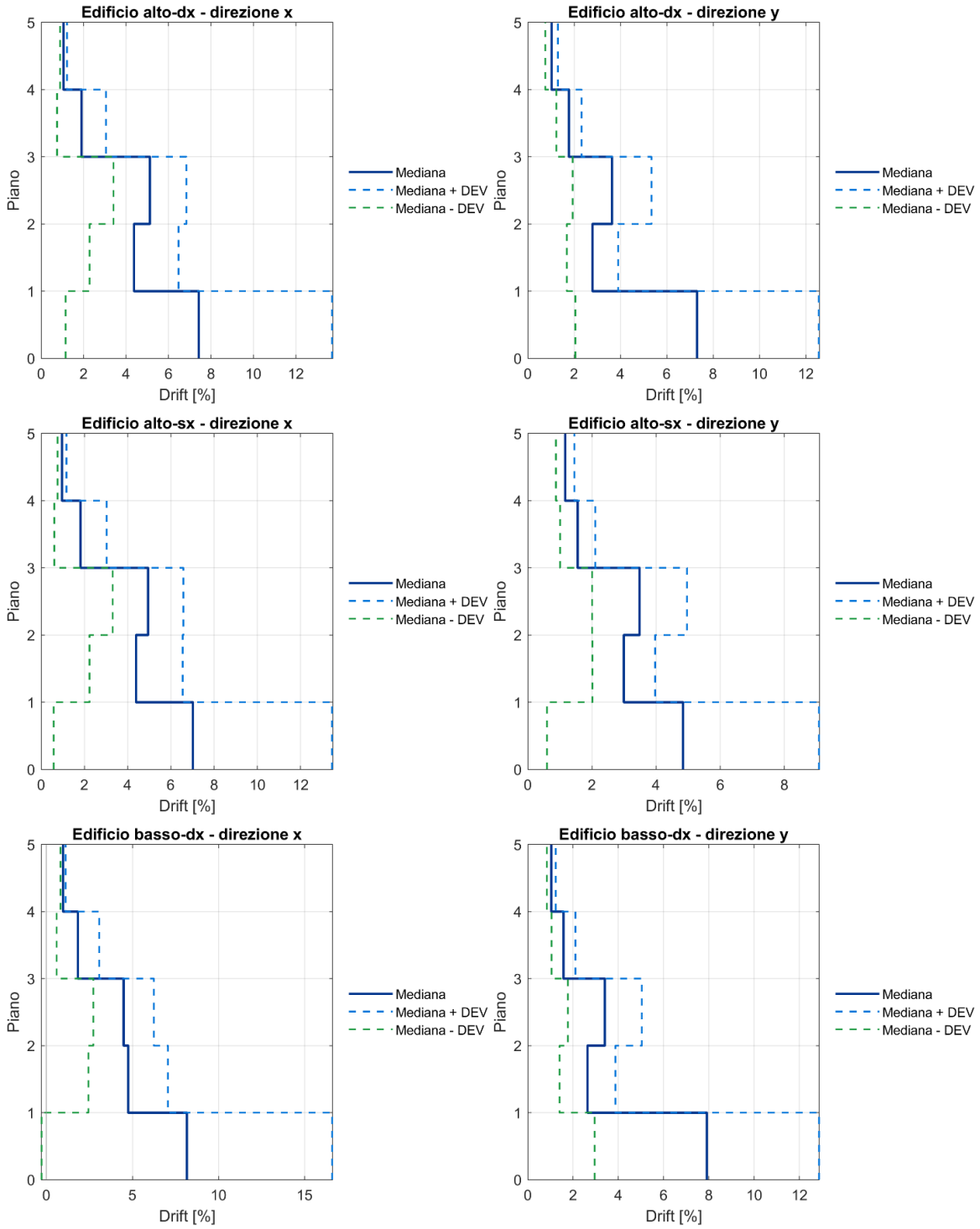

Edificio basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

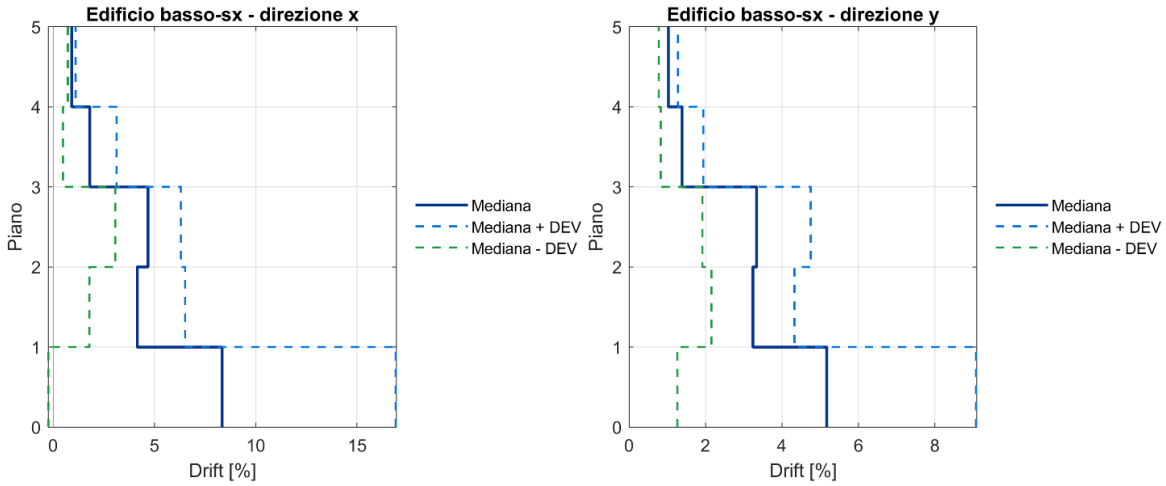
RP4975


Castelletto alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV


Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV


Castelletto alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Castelletto alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Castelletto basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Castelletto basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Castelletto basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

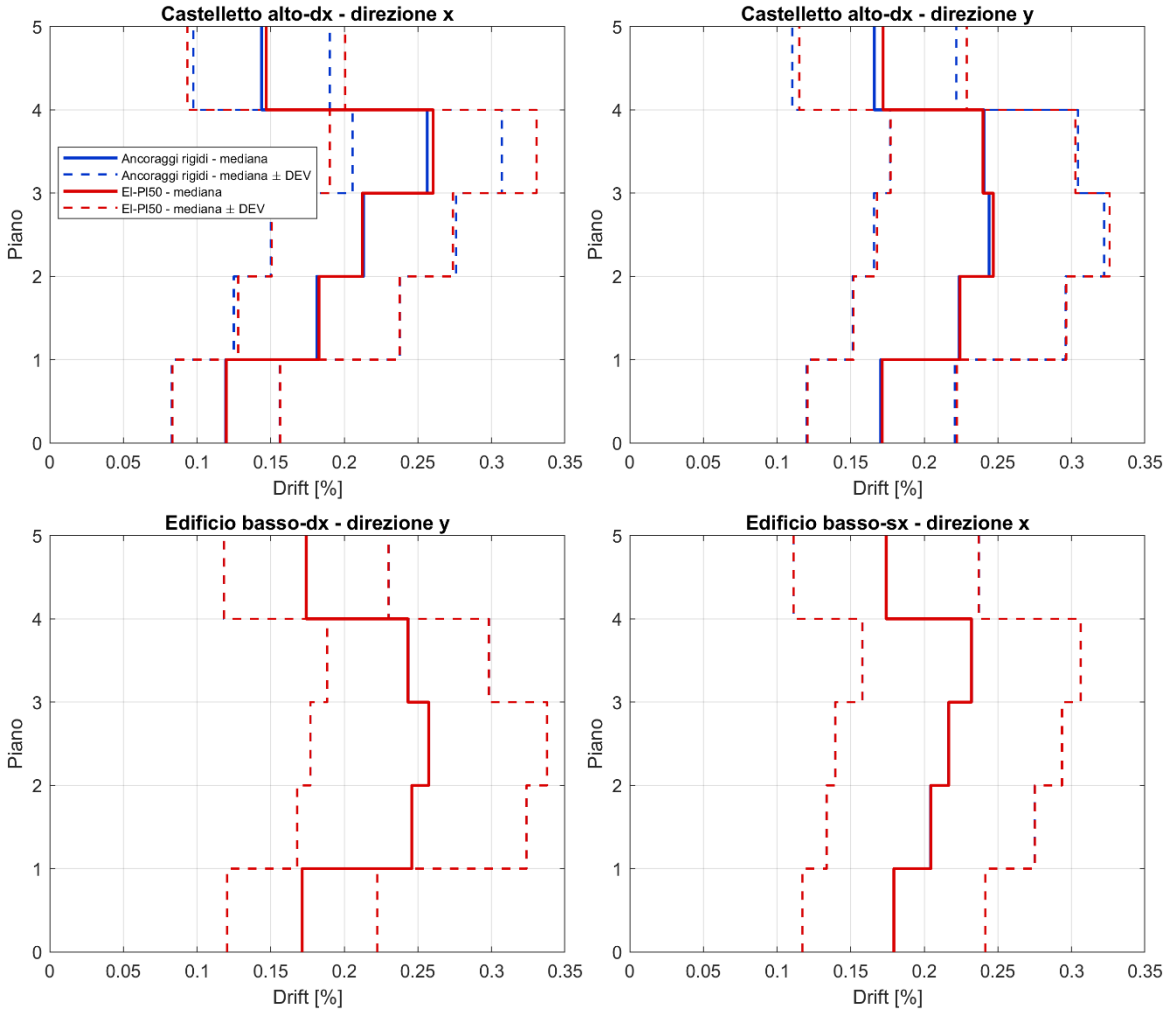

Edificio alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Edificio alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

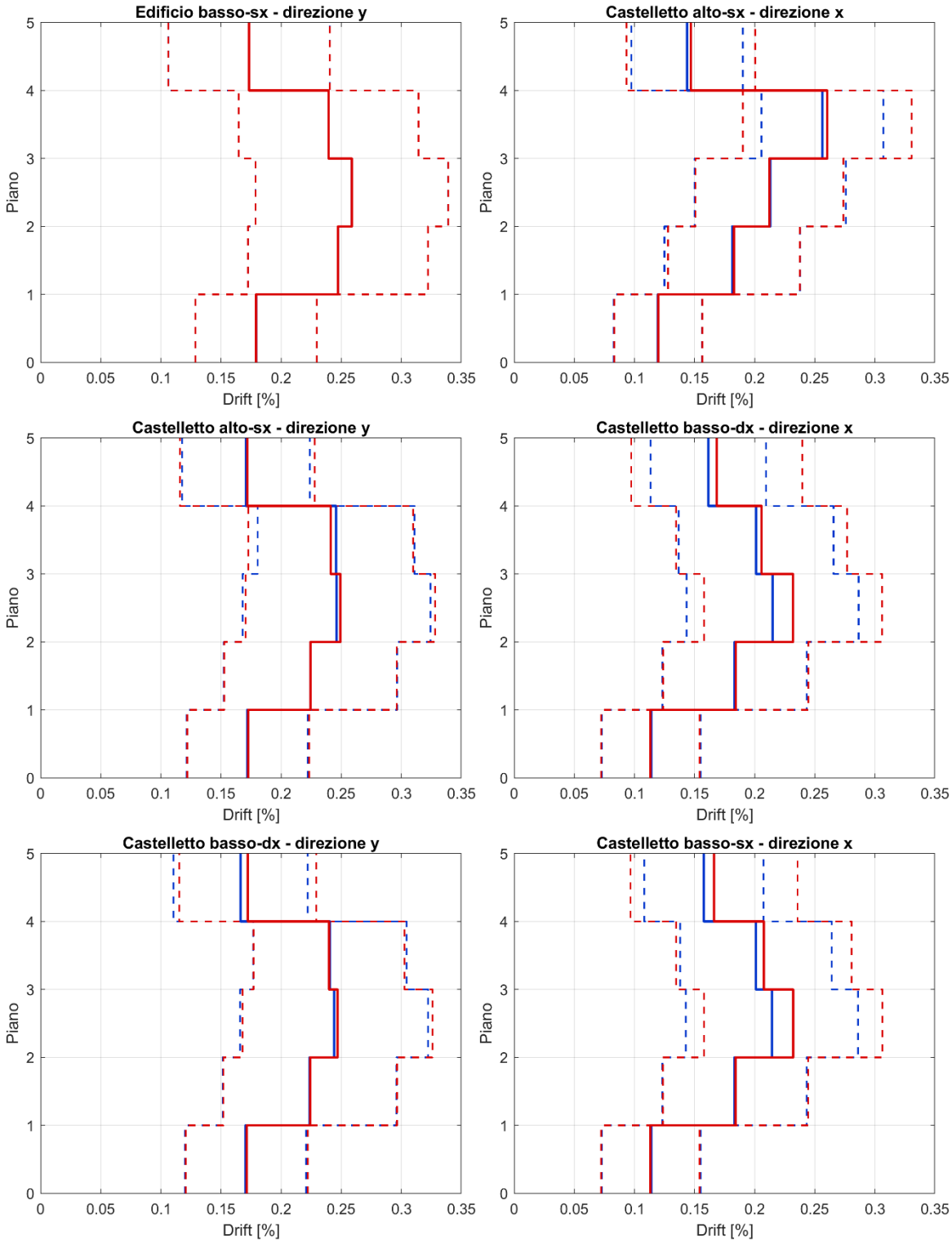

Edificio basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
0
5
10
15
0
1
2
3
4
5
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV
Edificio basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
0
2
4
6
8
0
1
2
3
4
5
Mediana
Mediana + DEV
Mediana - DEV

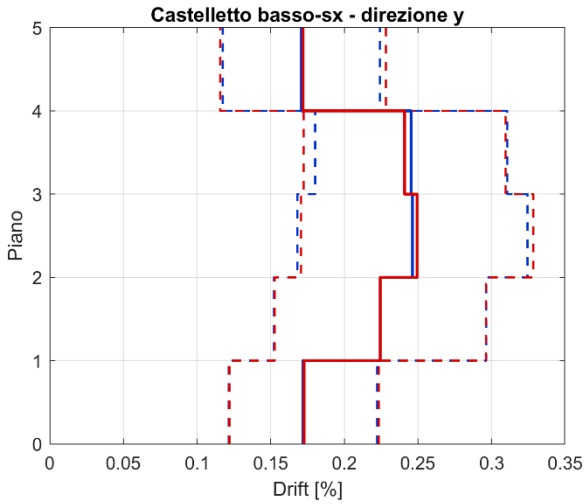
B.3 Modello edificio+castelletto con ancoraggi rigidi vs ancoraggi El-Pl_50

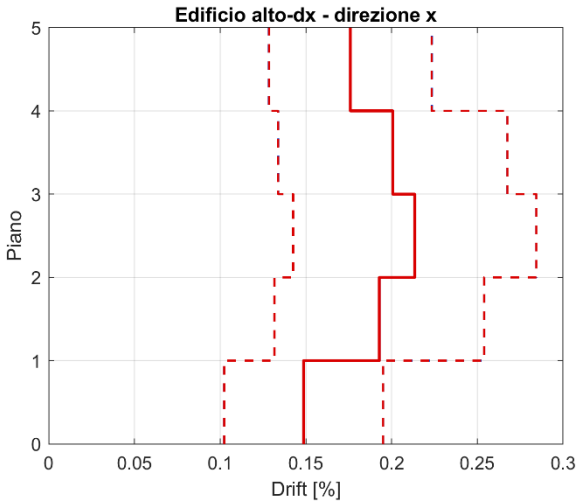
Nei grafici di seguito sull'asse verticale è indicato il piano, su quello orizzontale il drift in percentuale. Le linee continue rappresentano le mediane dei valori massimi dei venti record, quelle tratteggiate la mediana sommata e sottratta alla deviazione standard. Le linee di colore rosso rappresentano il modello El-Pl_50 mentre quelle di colore blu il modello ad ancoraggi rigidi. Nei grafici le pilastrate dell'edificio e i montanti del castelletto sono indicati con la loro posizione in pianta, secondo la nomenclatura della Figura 5.1.

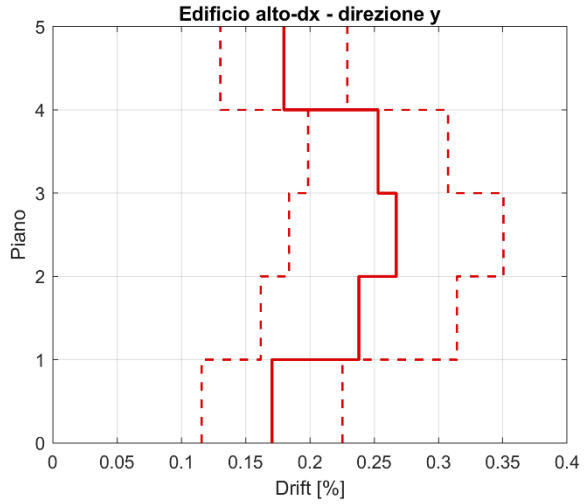
RP30

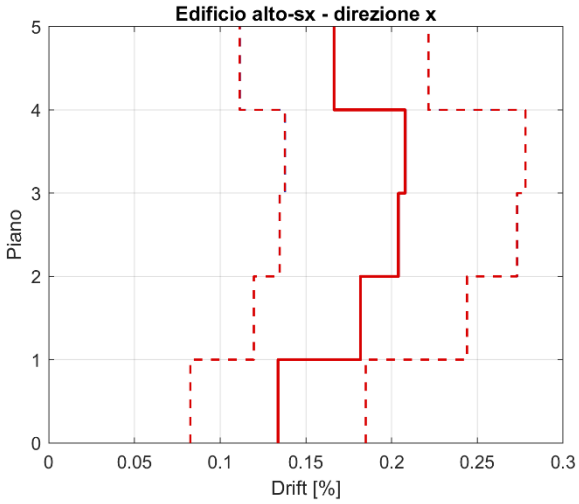


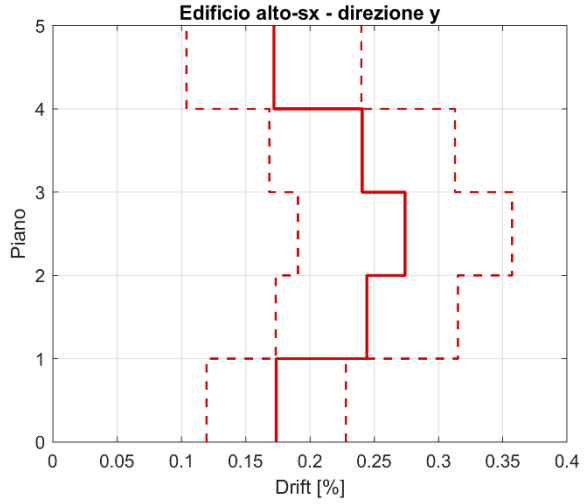

Edificio basso-sx - direzione y
Castelletto alto-sx - direzione x
Castelletto alto-sx - direzione y
Castelletto basso-dx - direzione x
Castelletto basso-dx - direzione y
Castelletto basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0.05
0.1
0.15
0.2
0.25
0.3
0.35

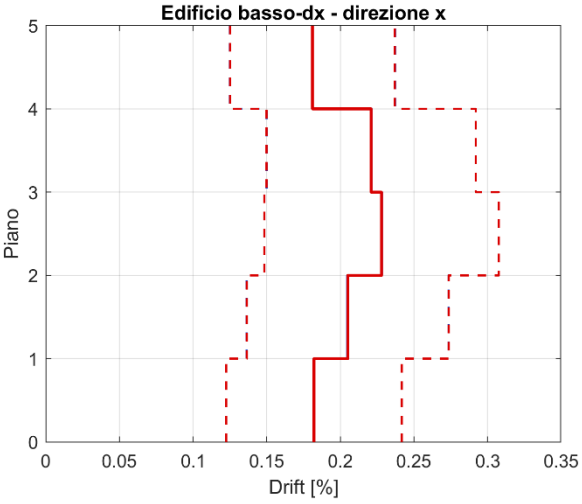

Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]


Edificio alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

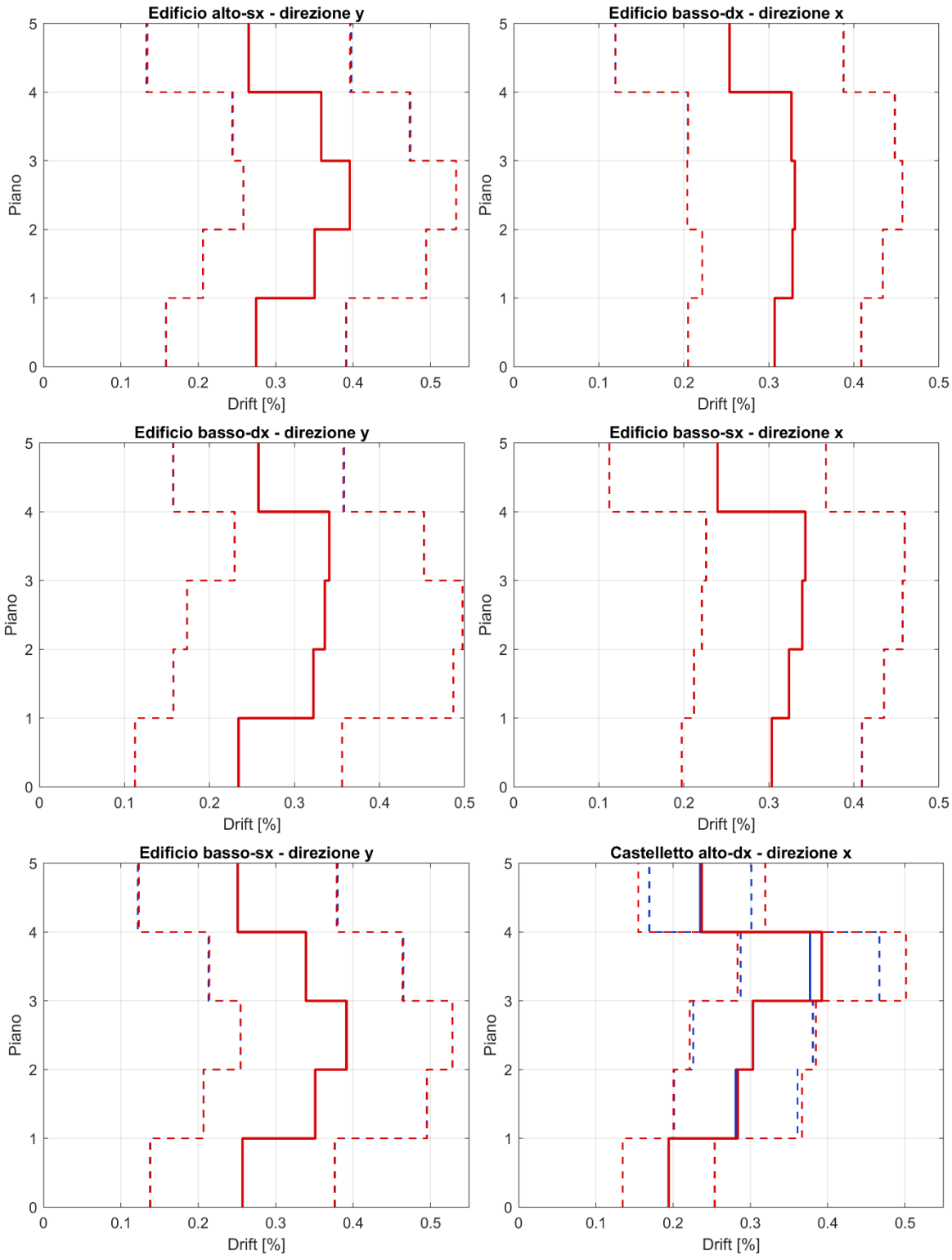

Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

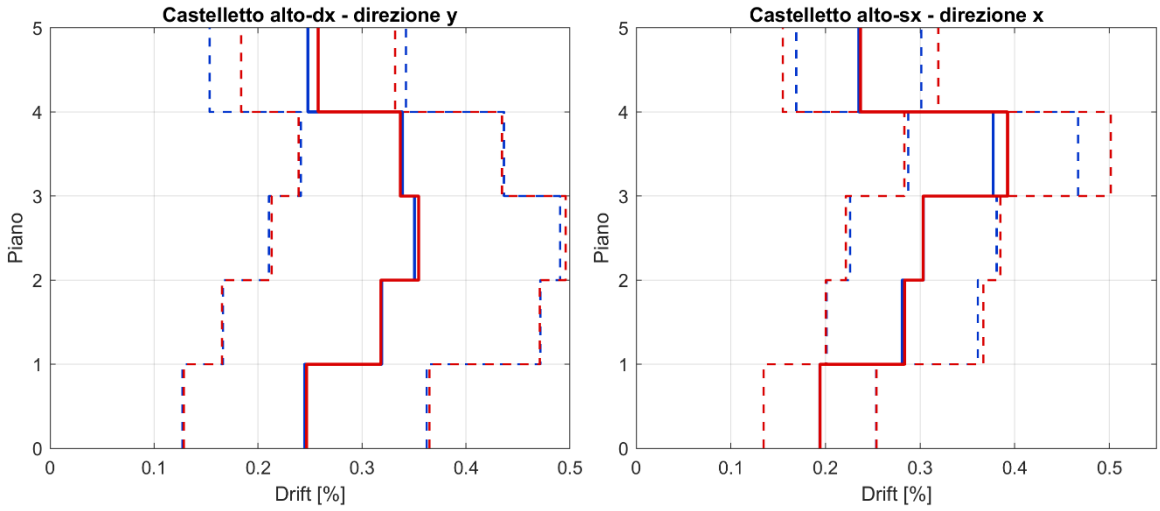

Edificio alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]


Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

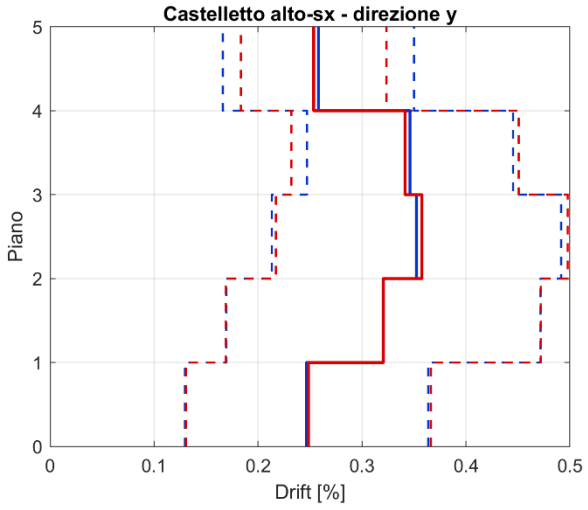

Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

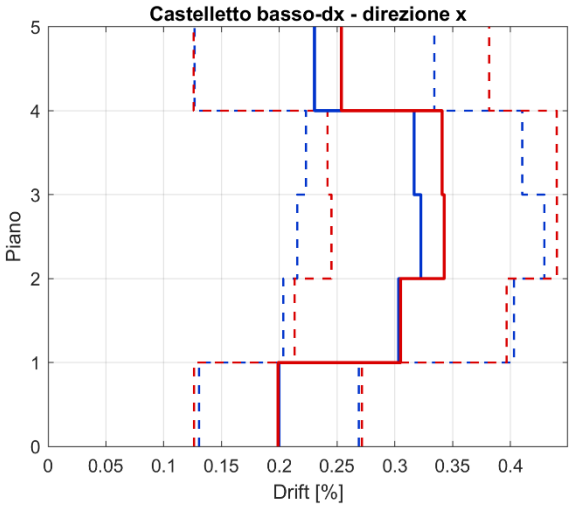
RP50

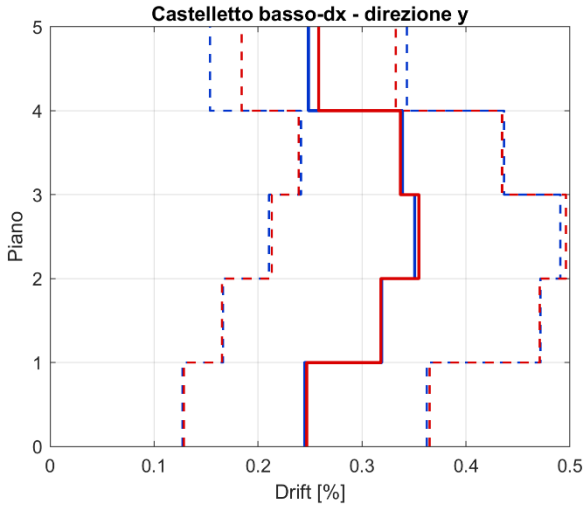

Edificio alto-sx - direzione y
Edificio basso-dx - direzione x
Edificio basso-dx - direzione y
Edificio basso-sx - direzione x
Edificio basso-sx - direzione y
Castelletto alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

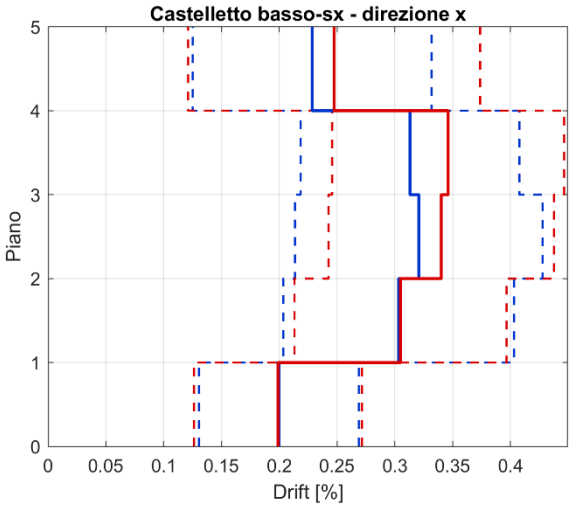

Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

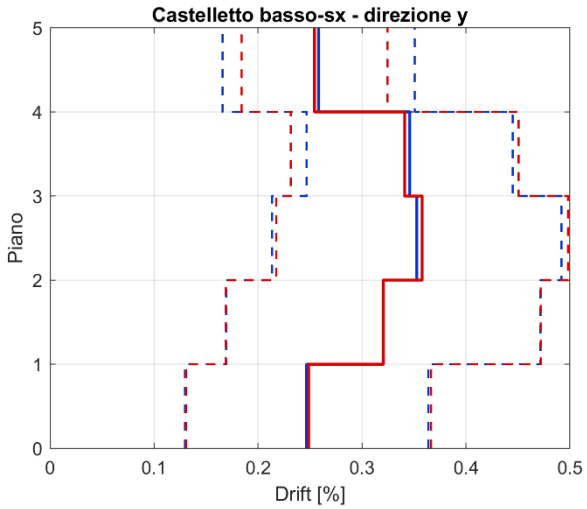
Castelletto alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

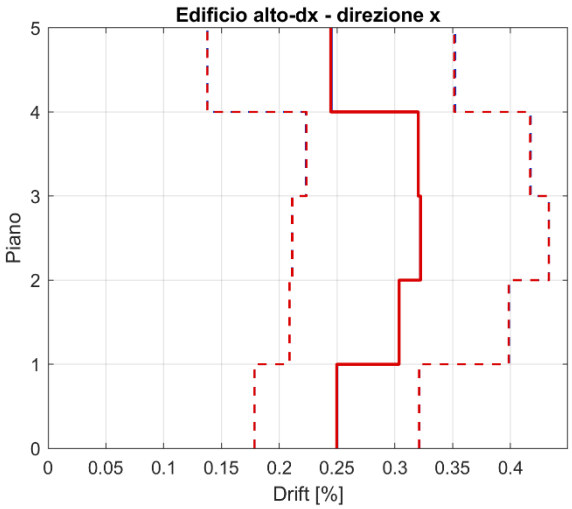

Castelletto alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

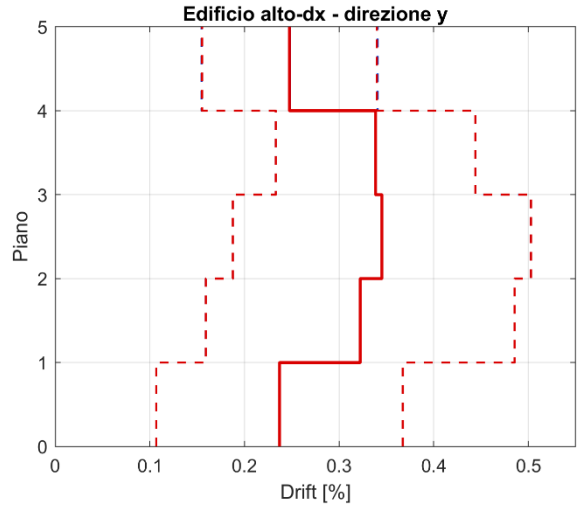

Castelletto basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

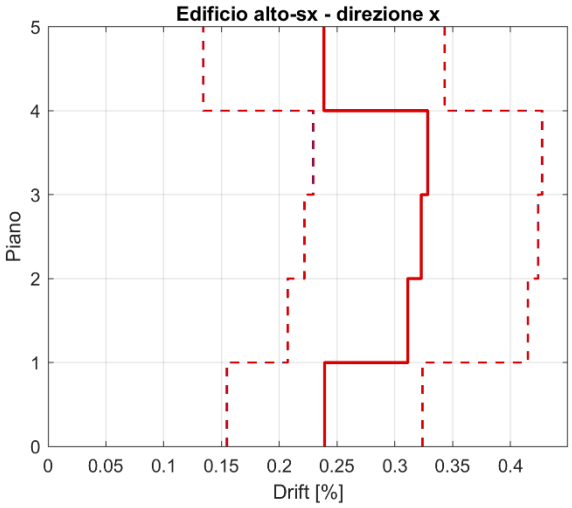

Castelletto basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]


Castelletto basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

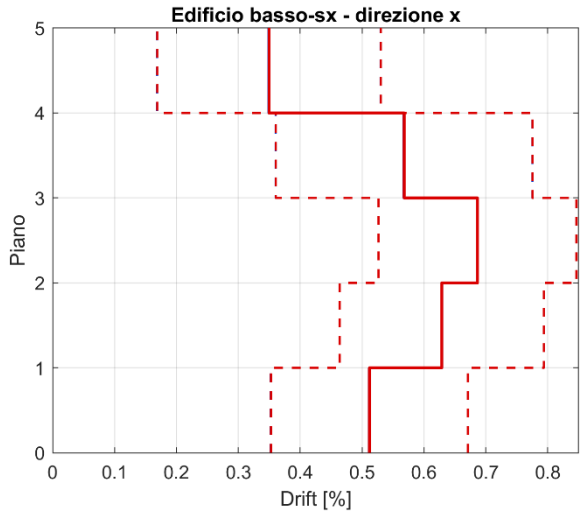

Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

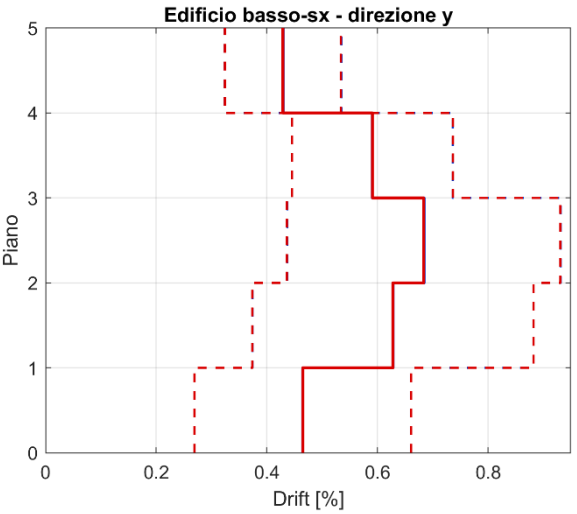

Edificio alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

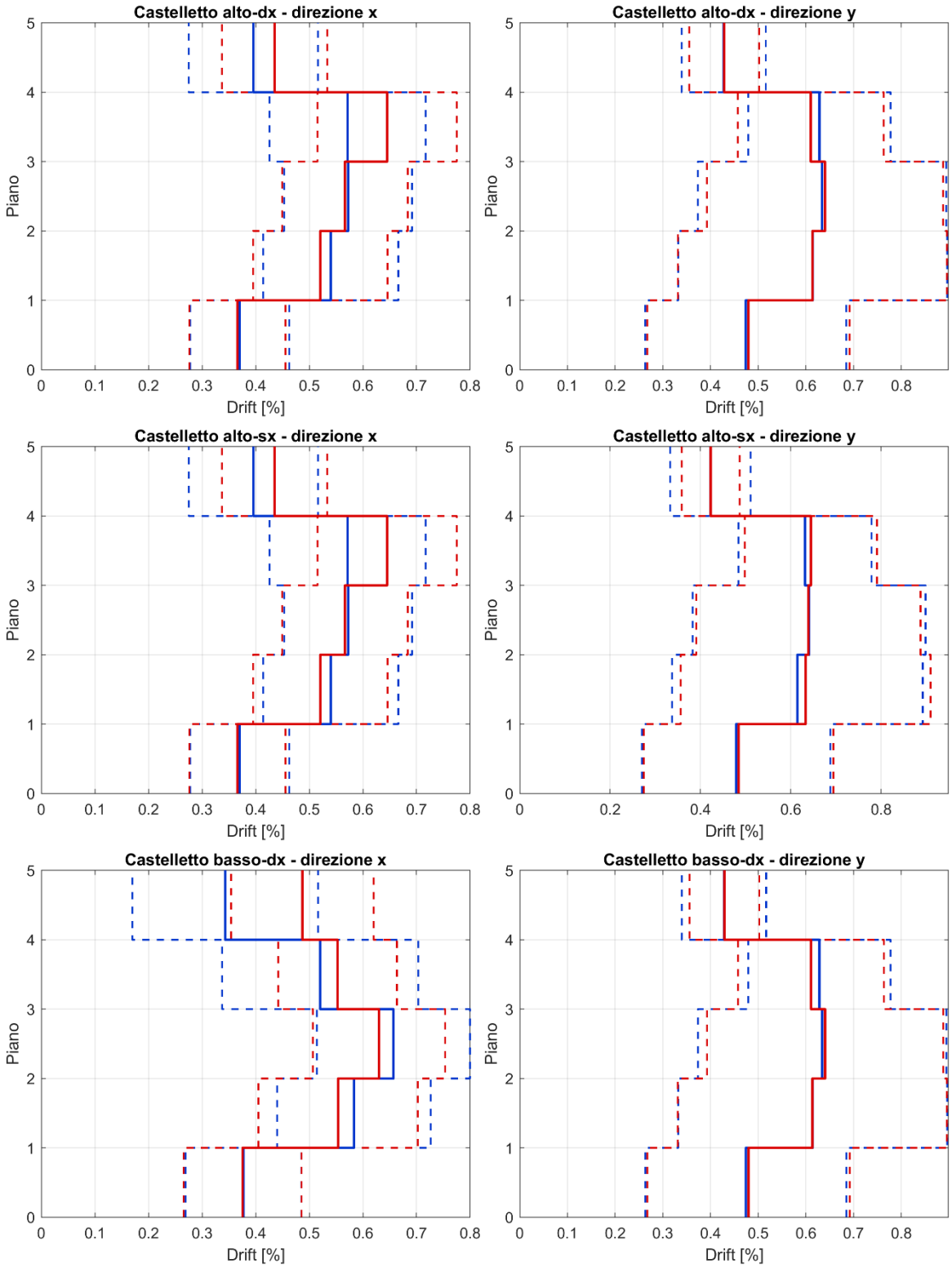

Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

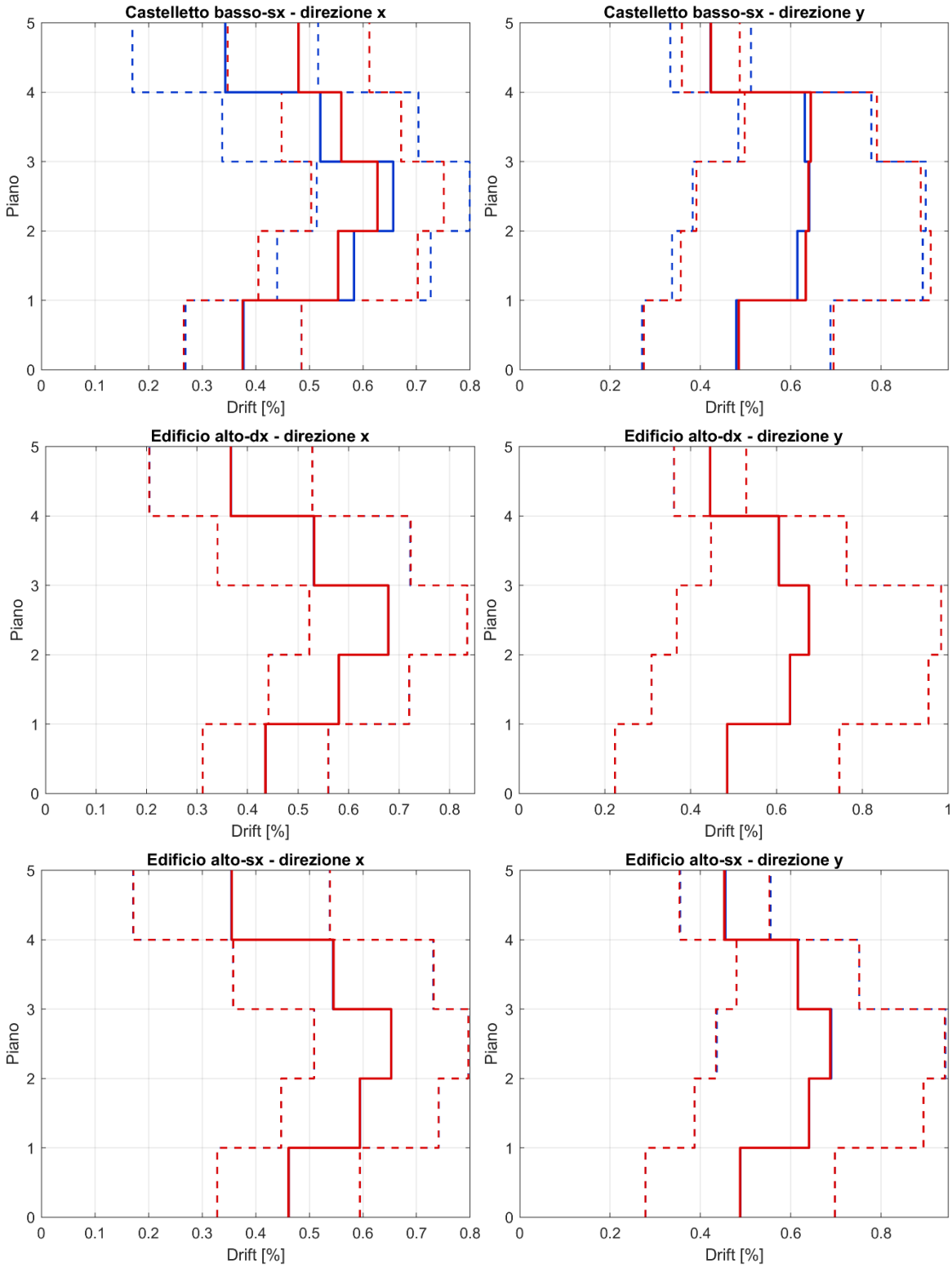

Edificio alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

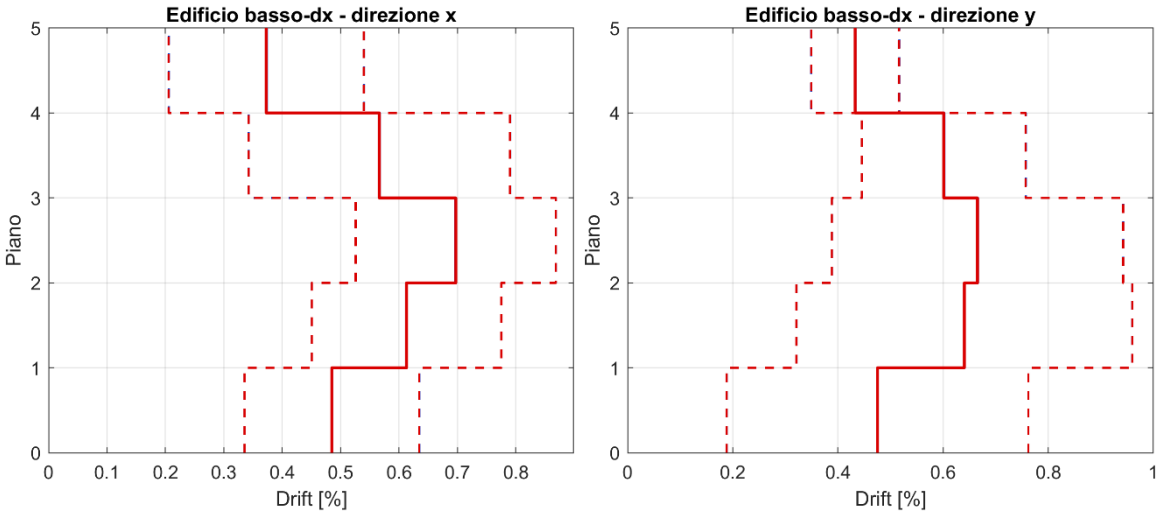
RP98


Edificio basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

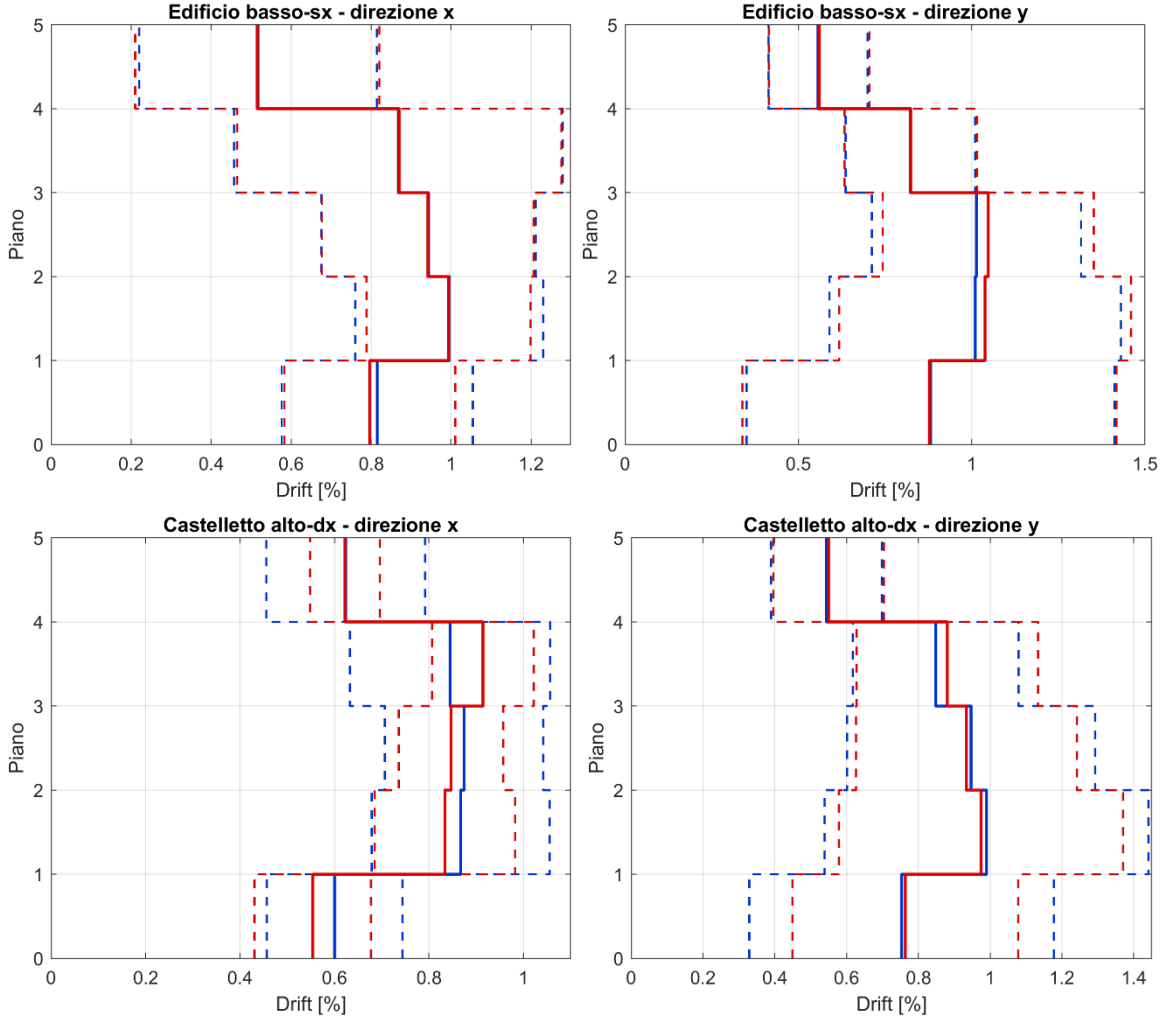

Edificio basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

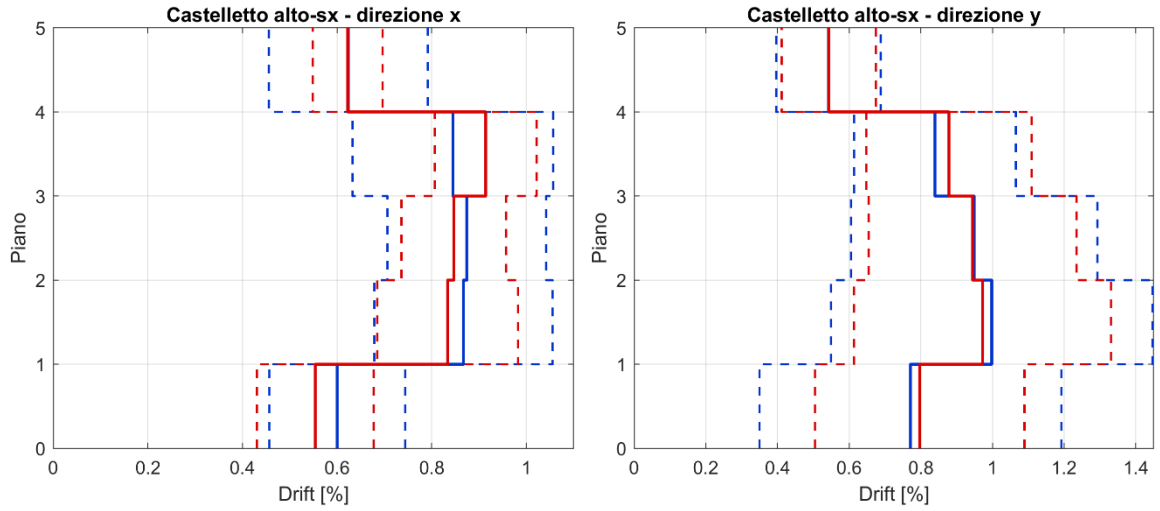

Castelletto alto-dx - direzione x
Castelletto alto-dx - direzione y
Castelletto alto-sx - direzione x
Castelletto alto-sx - direzione y
Castelletto basso-dx - direzione x
Castelletto basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]


Castelletto basso-sx - direzione x
Castelletto basso-sx - direzione y
Edificio alto-dx - direzione x
Edificio alto-dx - direzione y
Edificio alto-sx - direzione x
Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

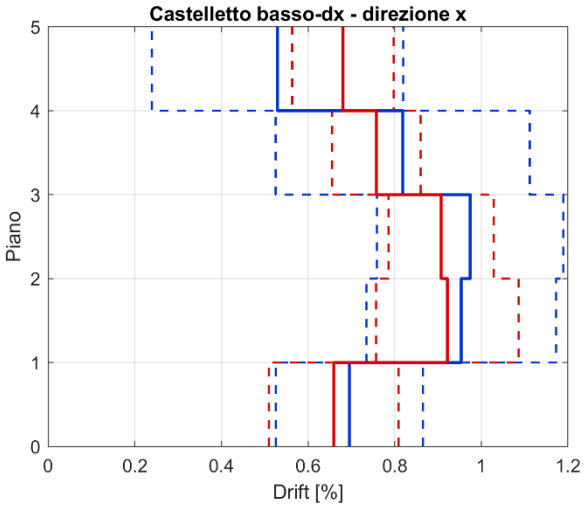

Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

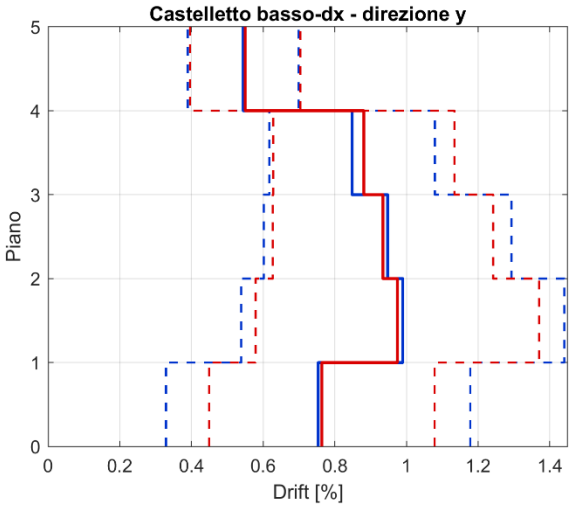
RP224

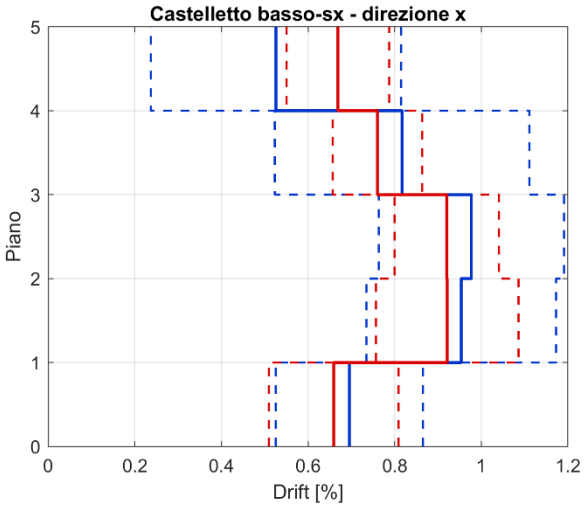

Edificio basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Edificio basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Castelletto alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

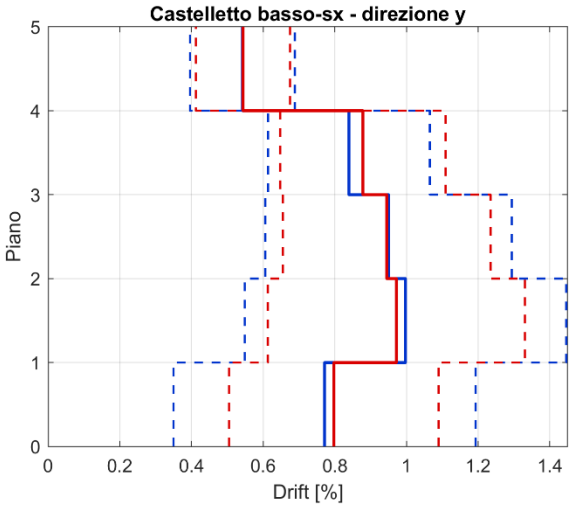

Castelletto alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

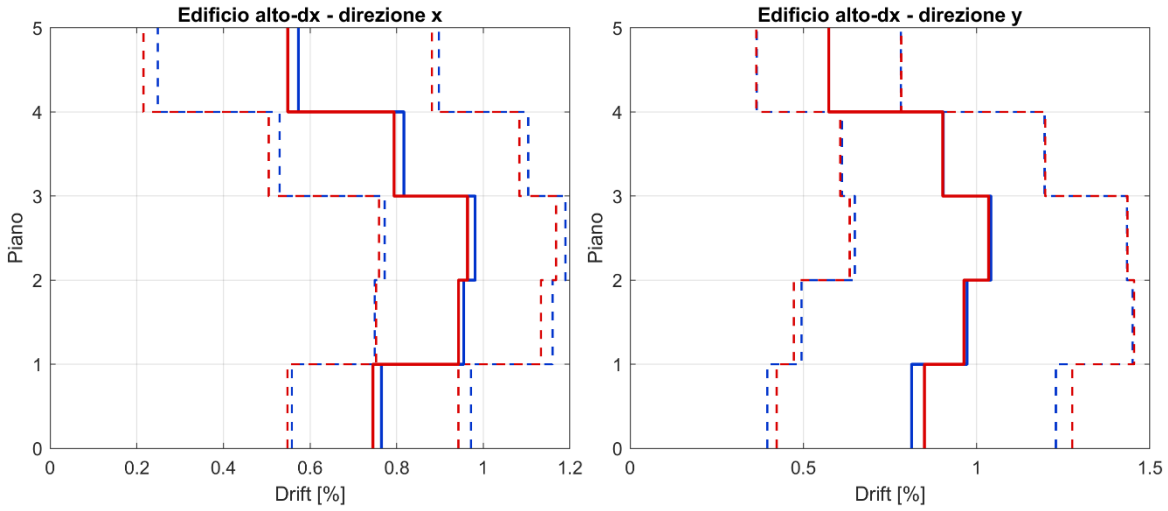
Castelletto alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]


Castelletto basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

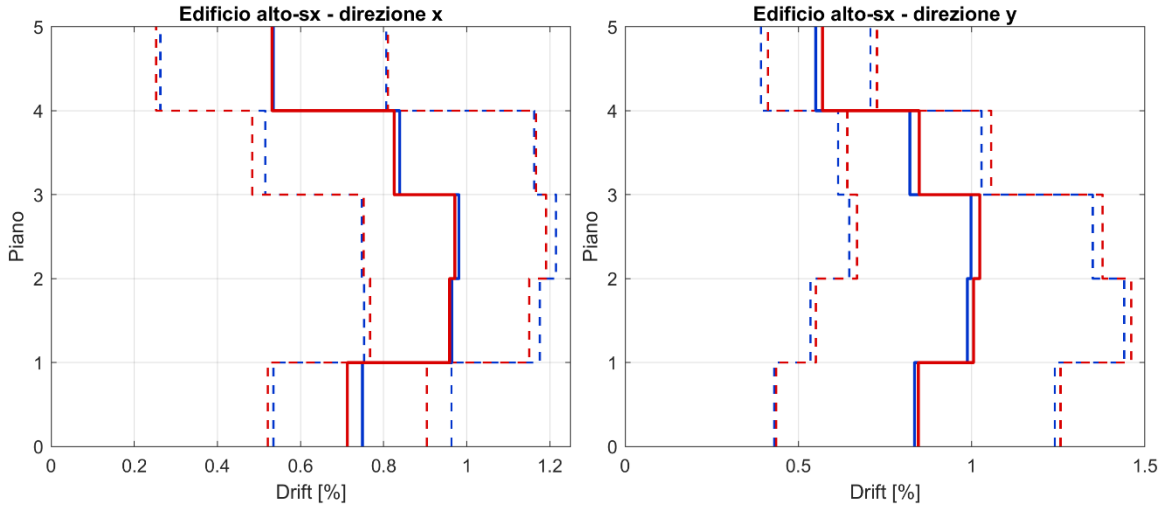

Castelletto basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]


Castelletto basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

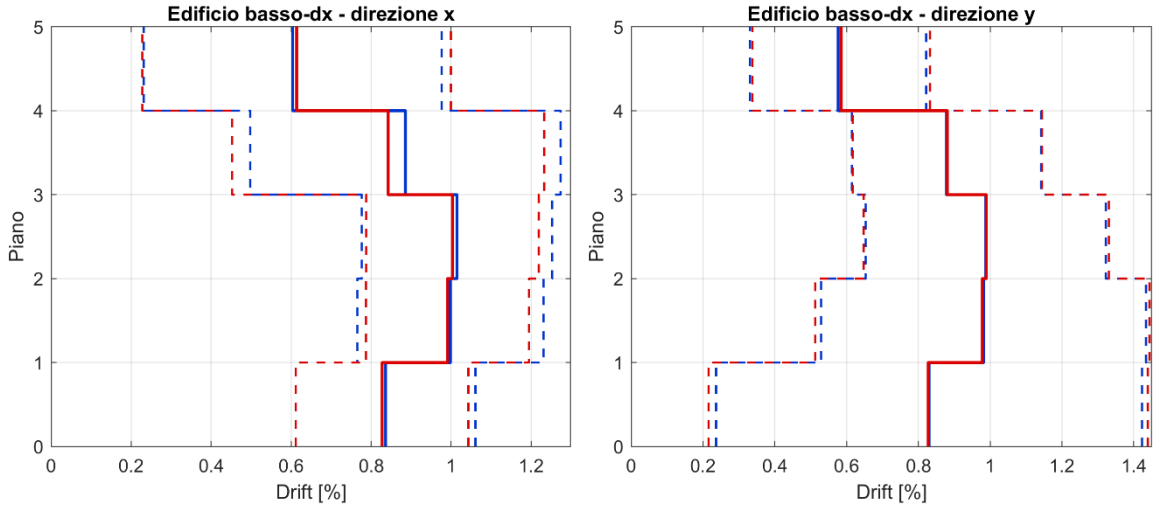

Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]


Edificio alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2

Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0.5
1
1.5

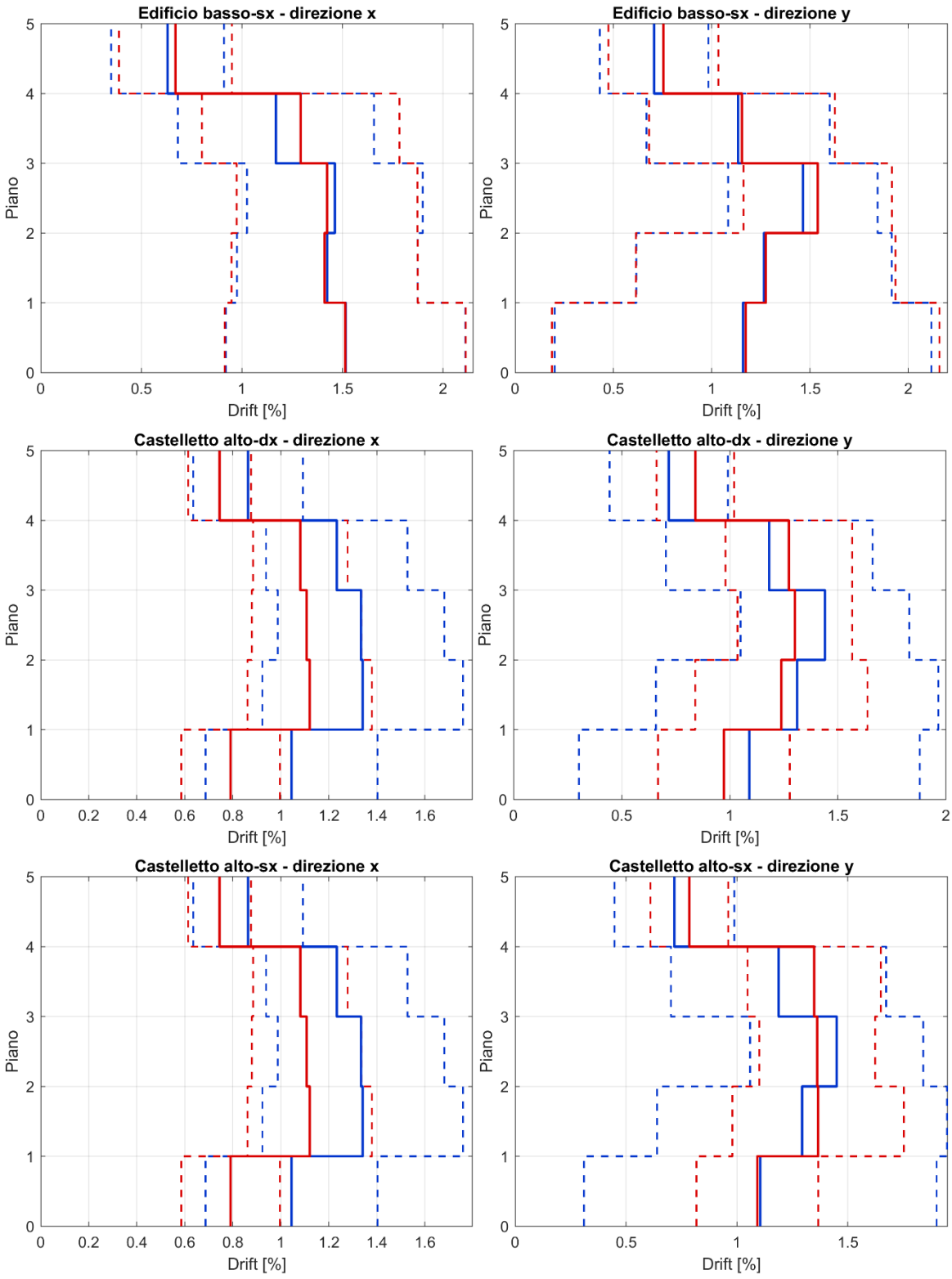

Edificio alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2

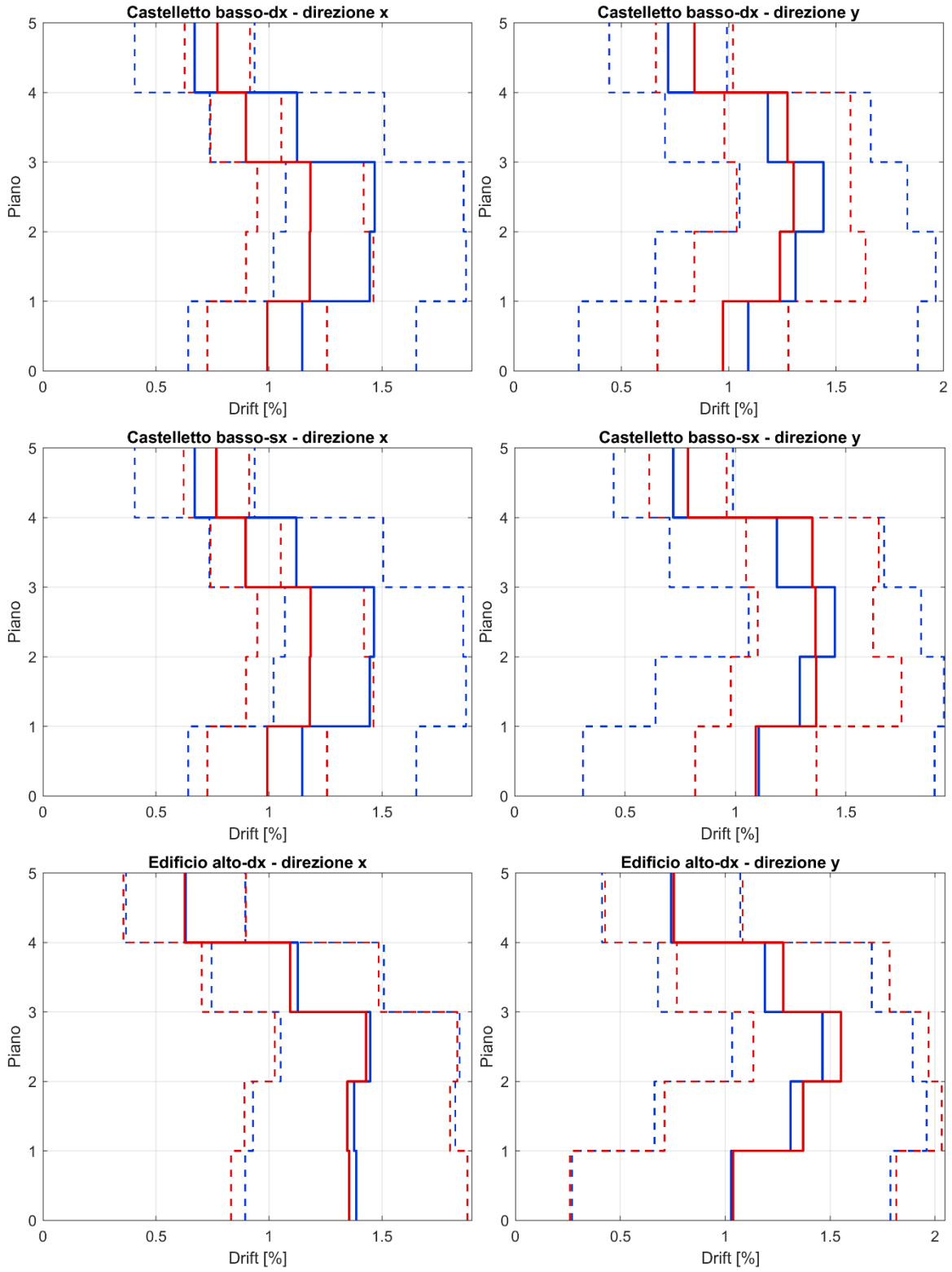
Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0.5
1
1.5

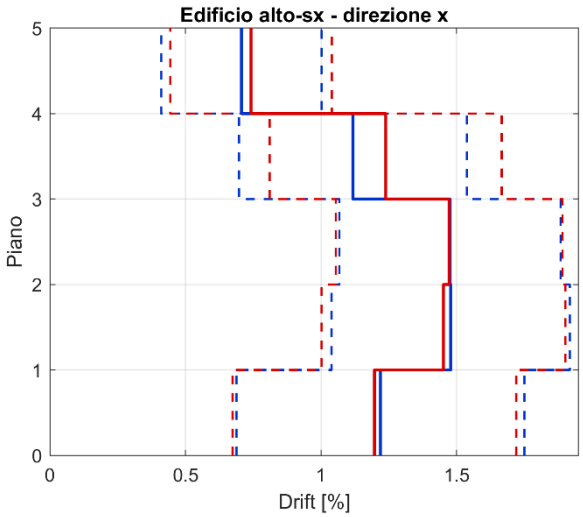

Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2

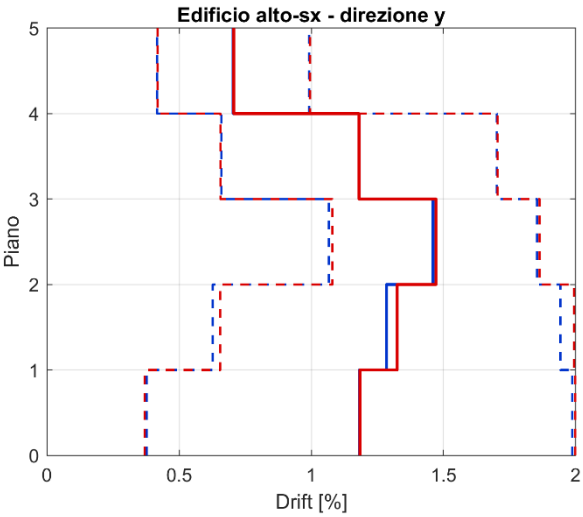
Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4

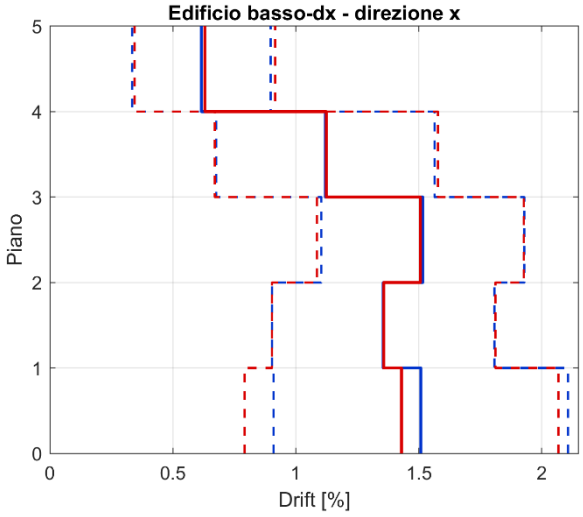
RP475

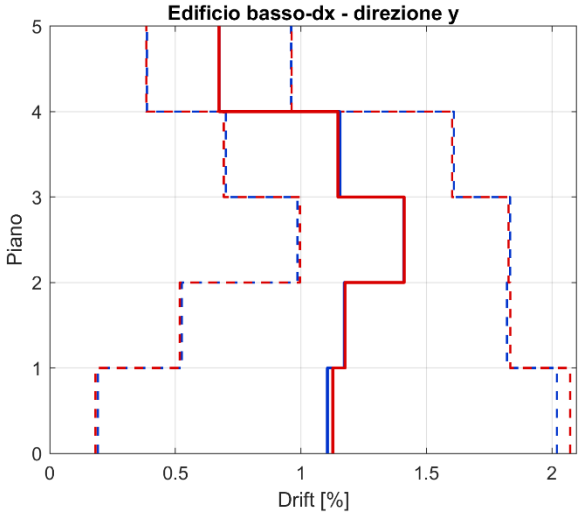

Edificio basso-sx - direzione x
Edificio basso-sx - direzione y
Castelletto alto-dx - direzione x
Castelletto alto-dx - direzione y
Castelletto alto-sx - direzione x
Castelletto alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]


Castelletto basso-dx - direzione x
Castelletto basso-dx - direzione y
Castelletto basso-sx - direzione x
Castelletto basso-sx - direzione y
Edificio alto-dx - direzione x
Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

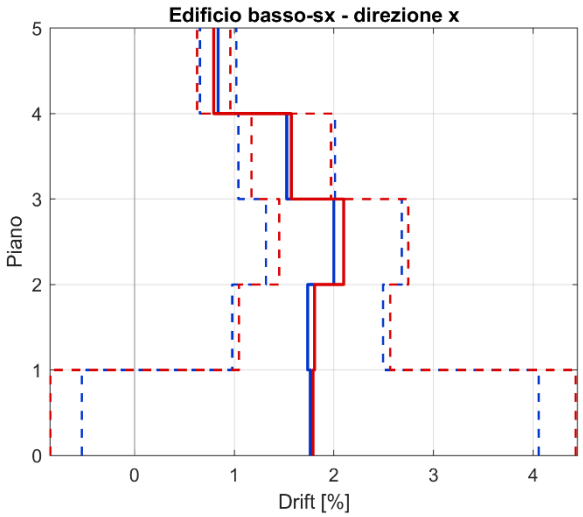

Edificio alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

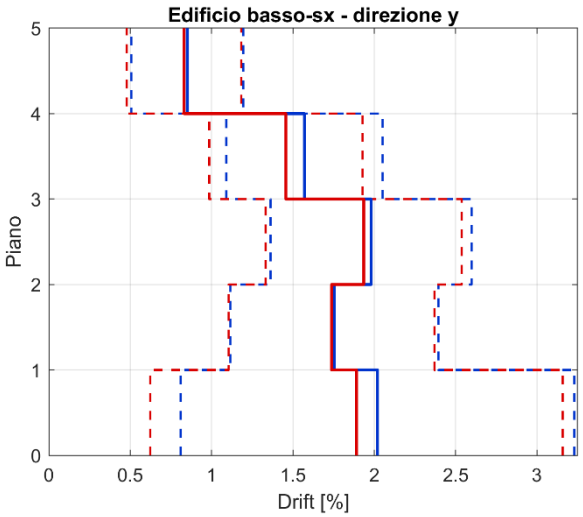

Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

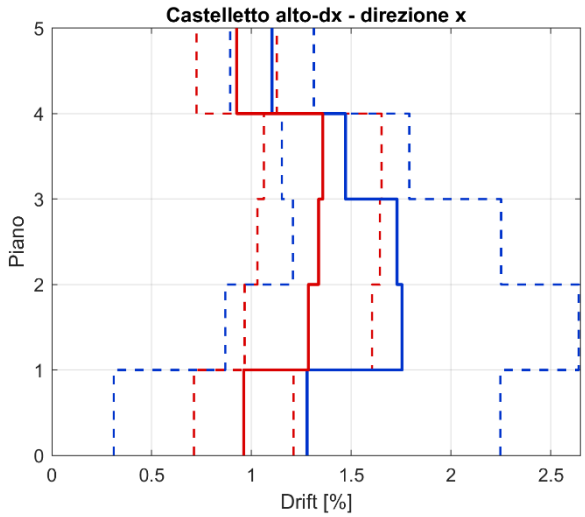

Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

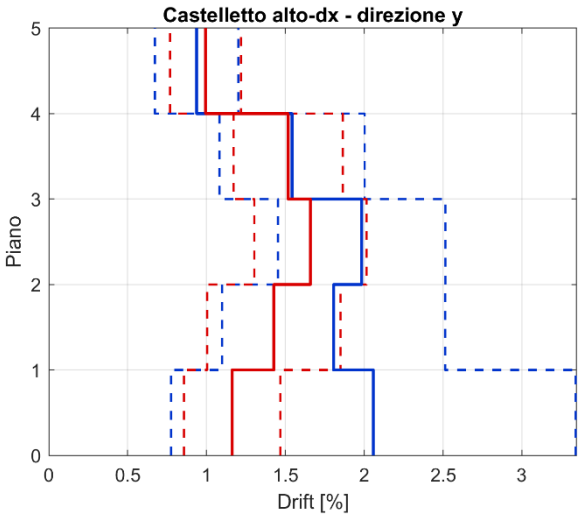

Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

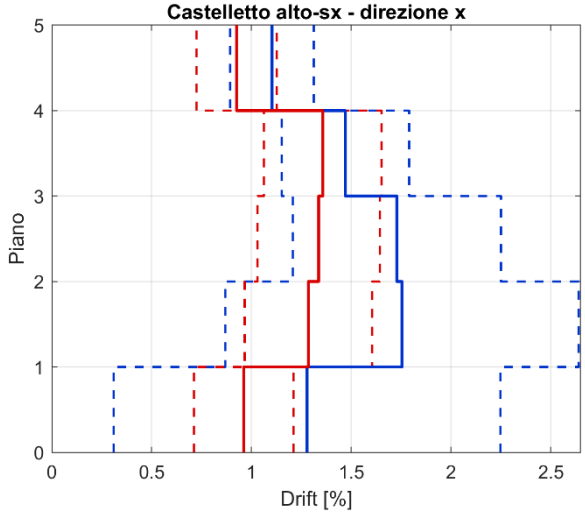
RP975

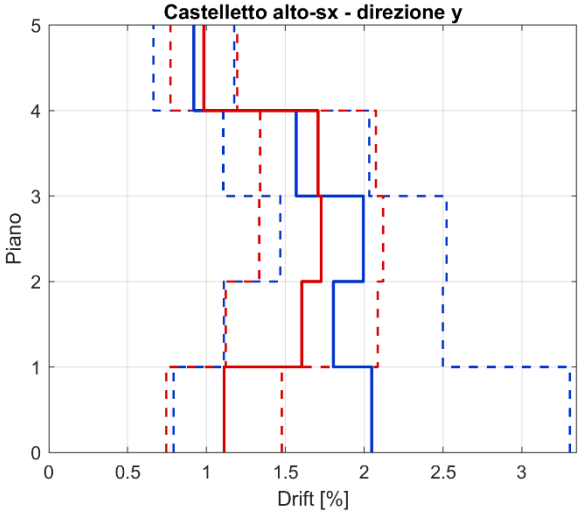

Edificio basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

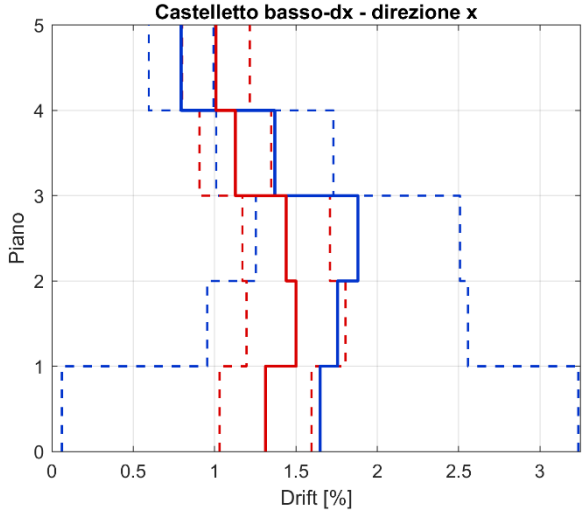

Edificio basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

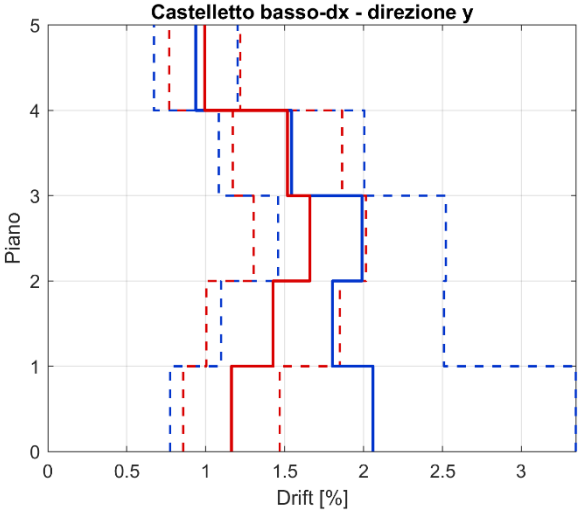

Castelletto alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

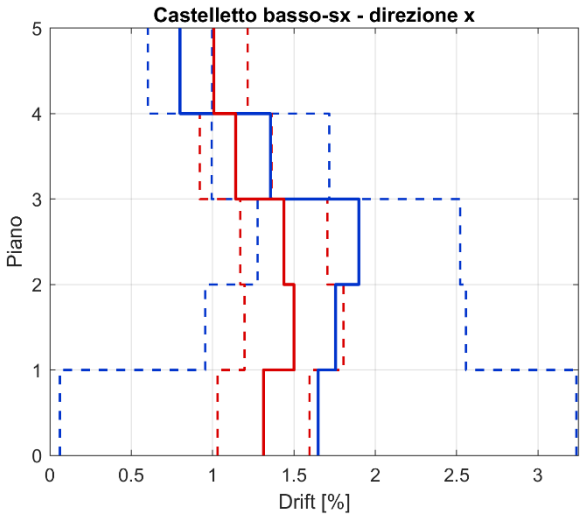

Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

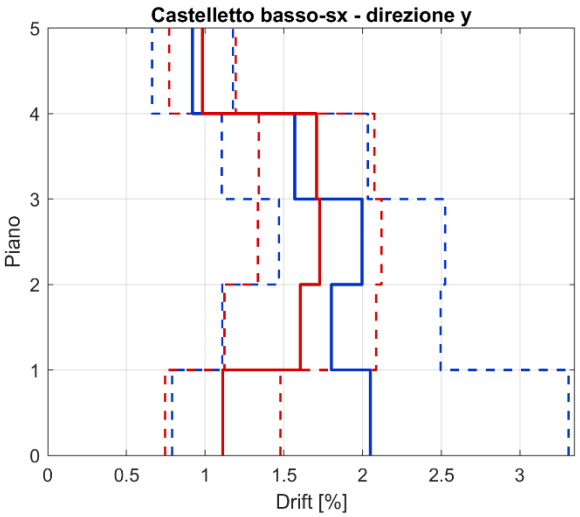

Castelletto alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

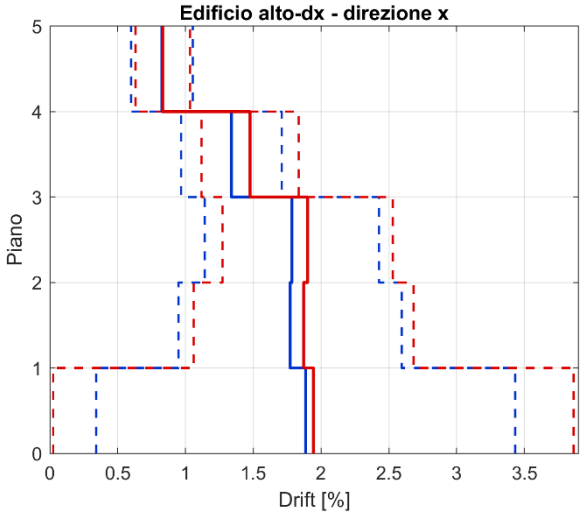

Castelletto alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

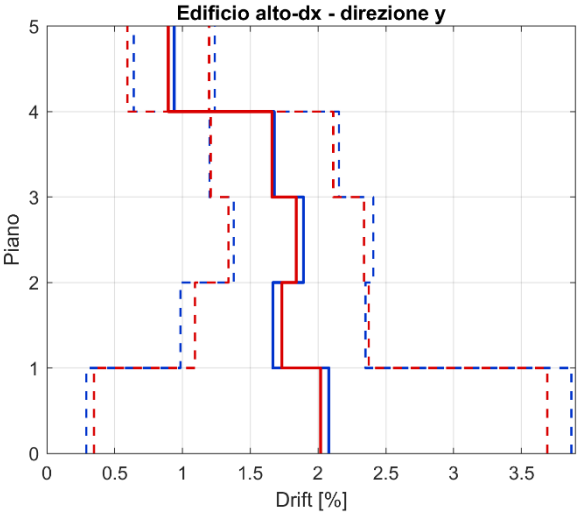

Castelletto basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

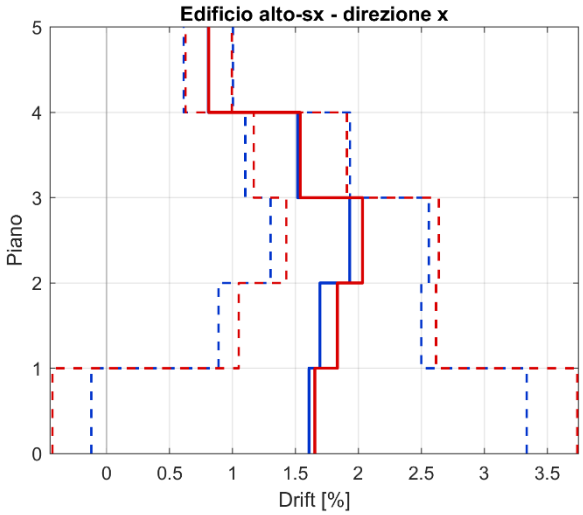

Castelletto basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

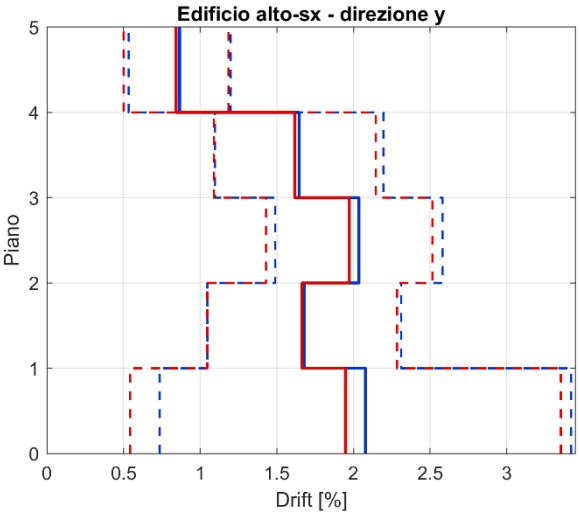

Castelletto basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

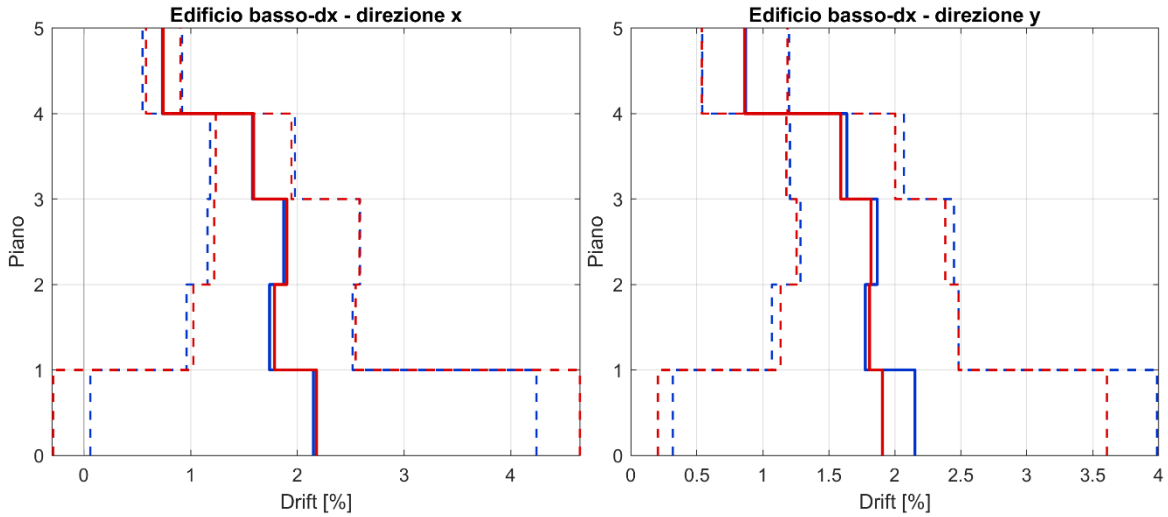

Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]


Edificio alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

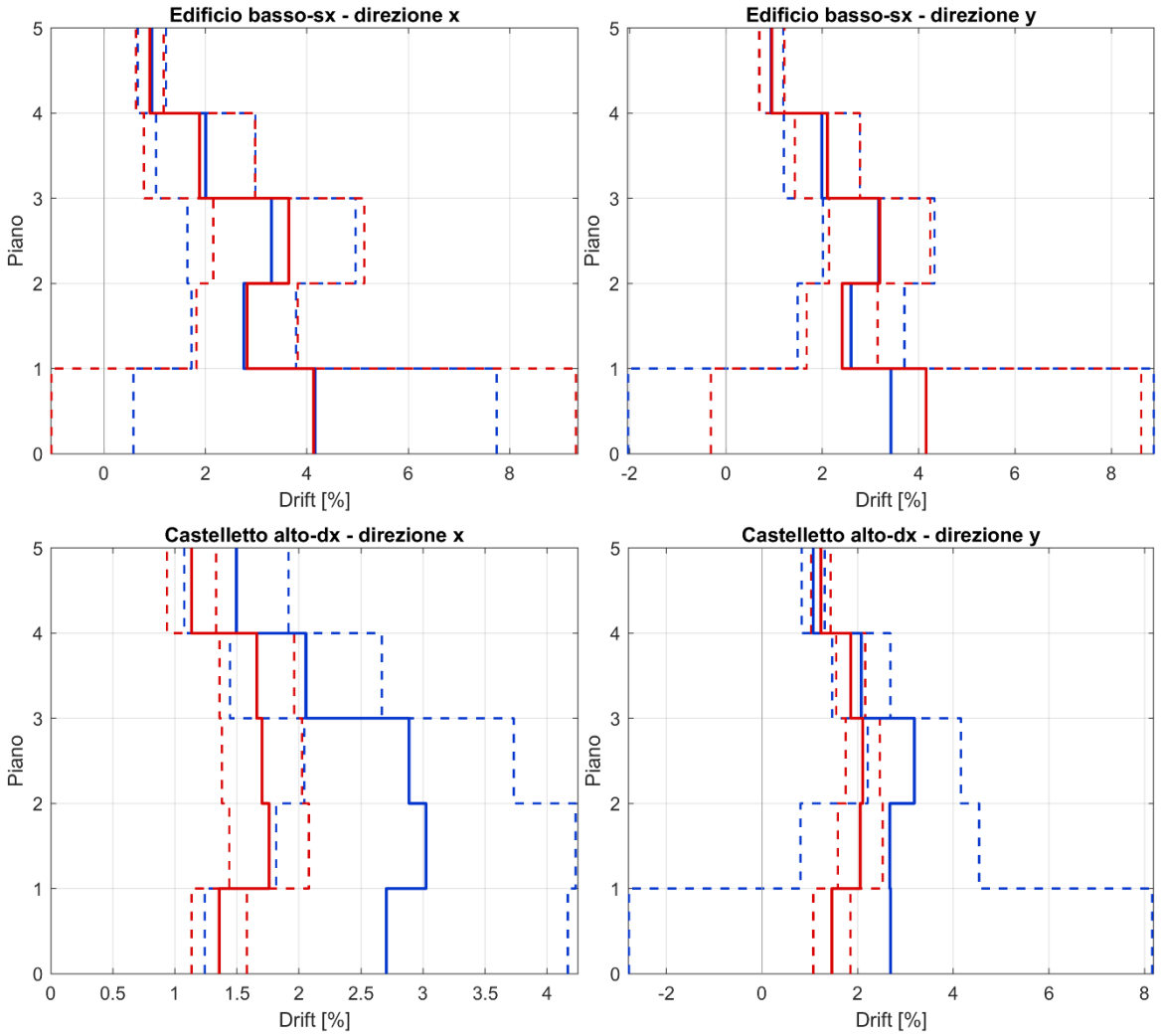

Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

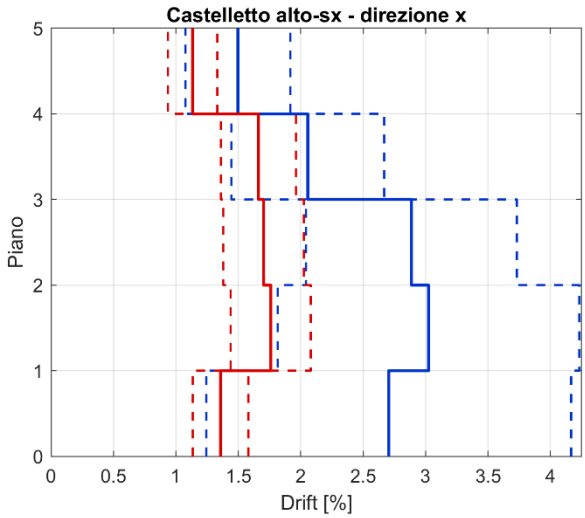

Edificio alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

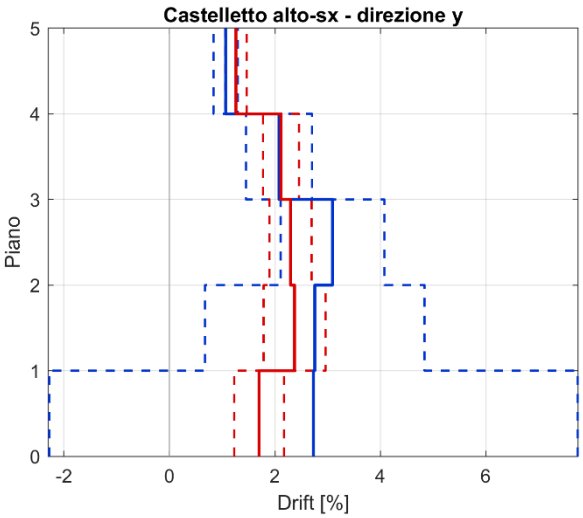

Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

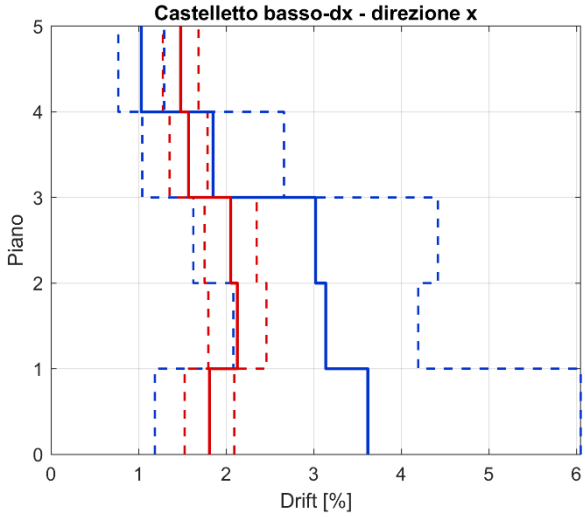

Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

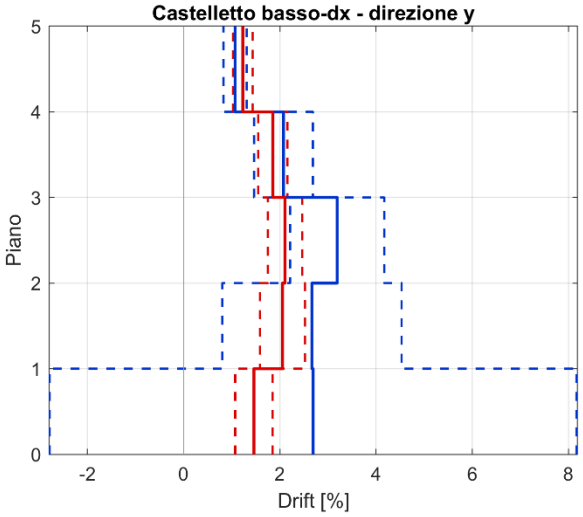
RP2475

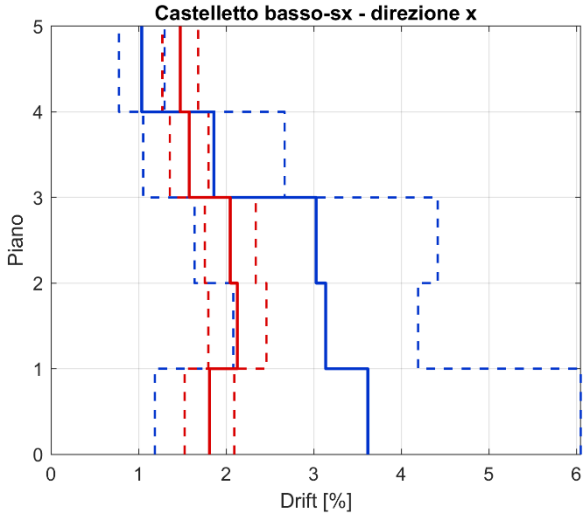

Edificio basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Edificio basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Castelletto alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

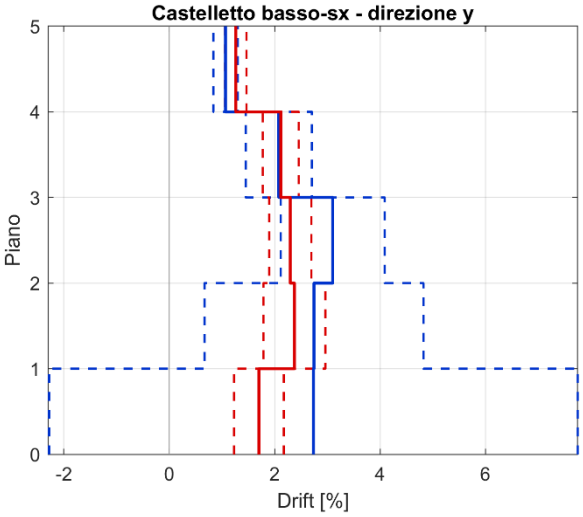

Castelletto alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

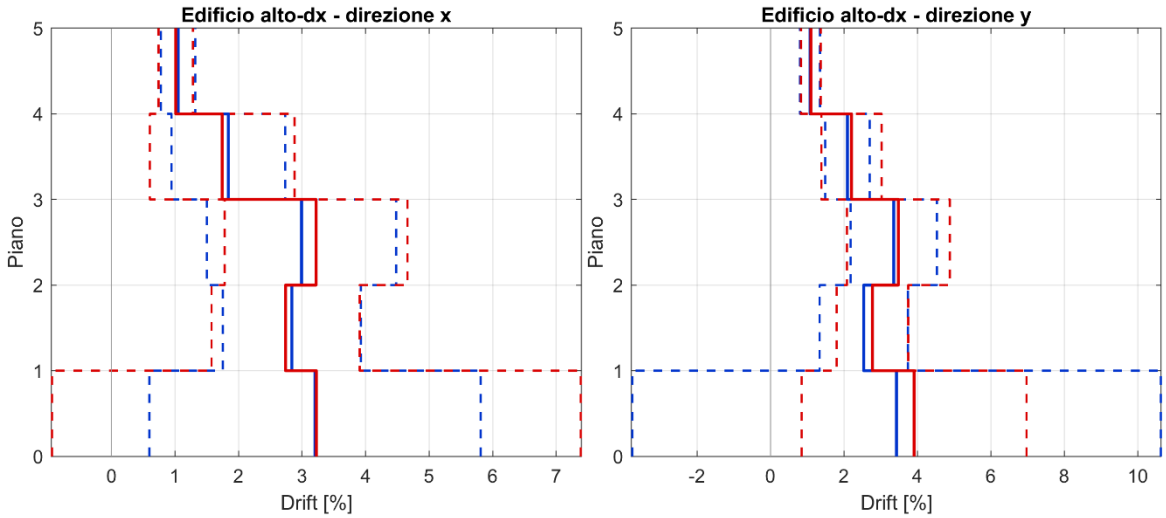

Castelletto alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]


Castelletto basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

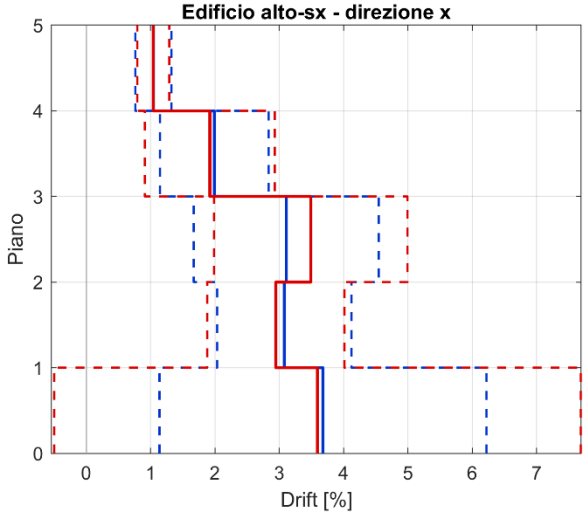

Castelletto basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

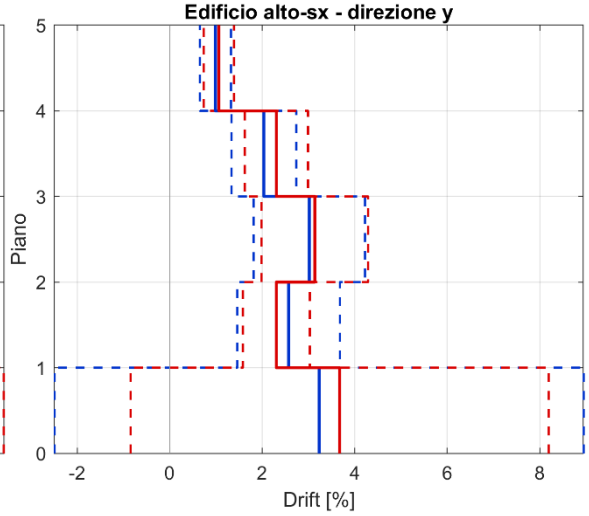

Castelletto basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

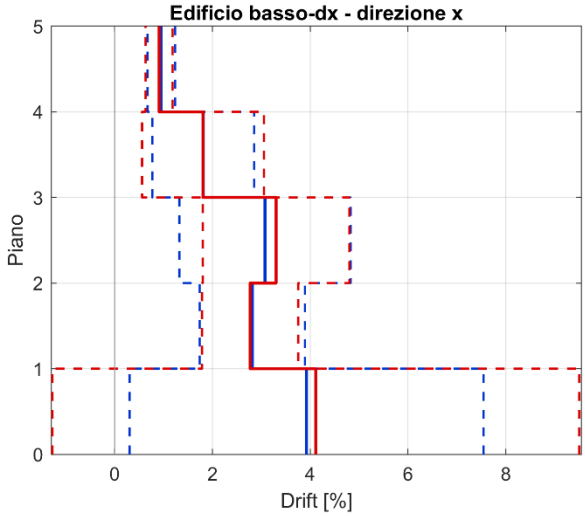

Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

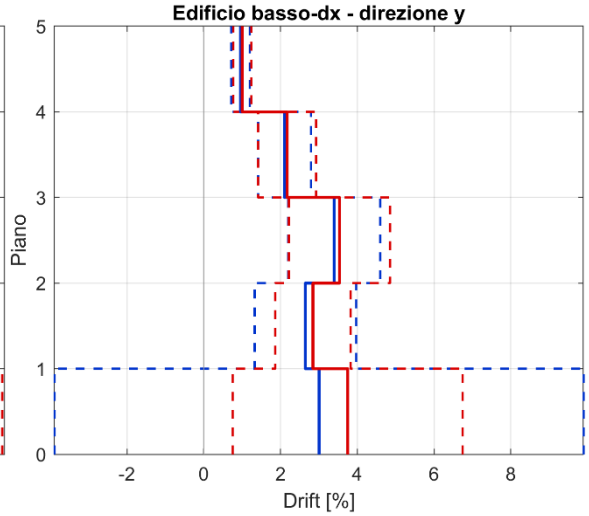

Edificio alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

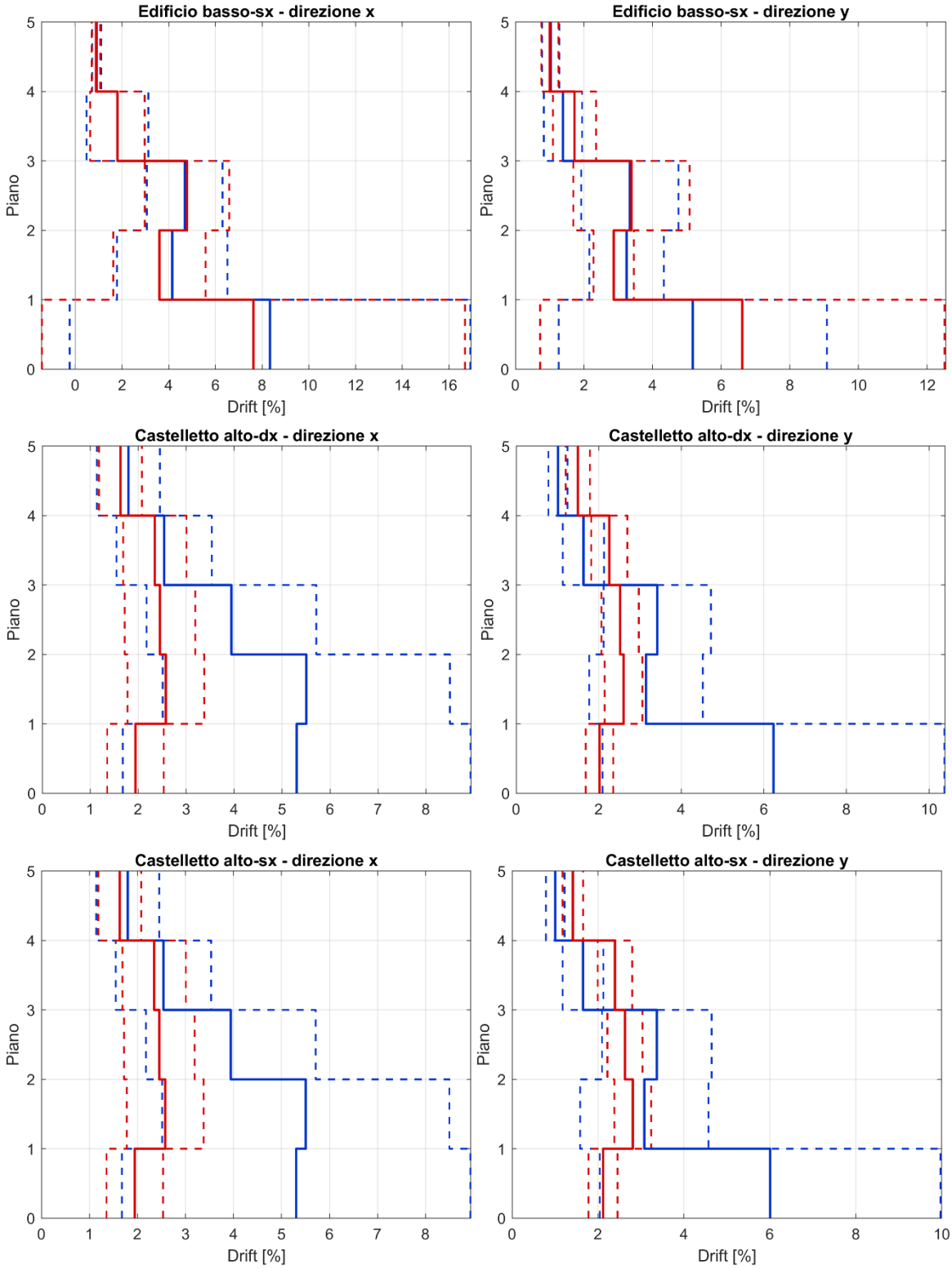

Edificio alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

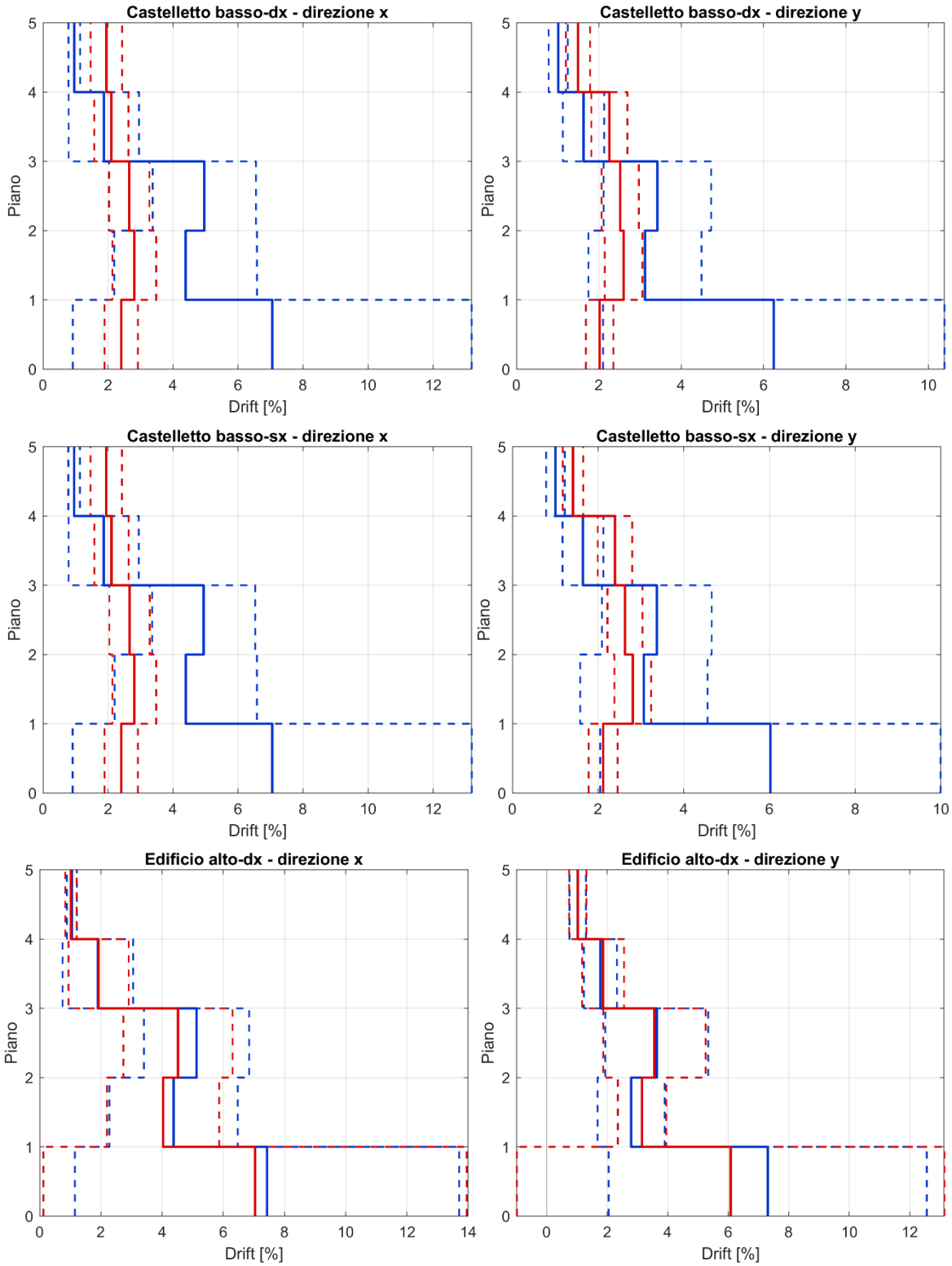

Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

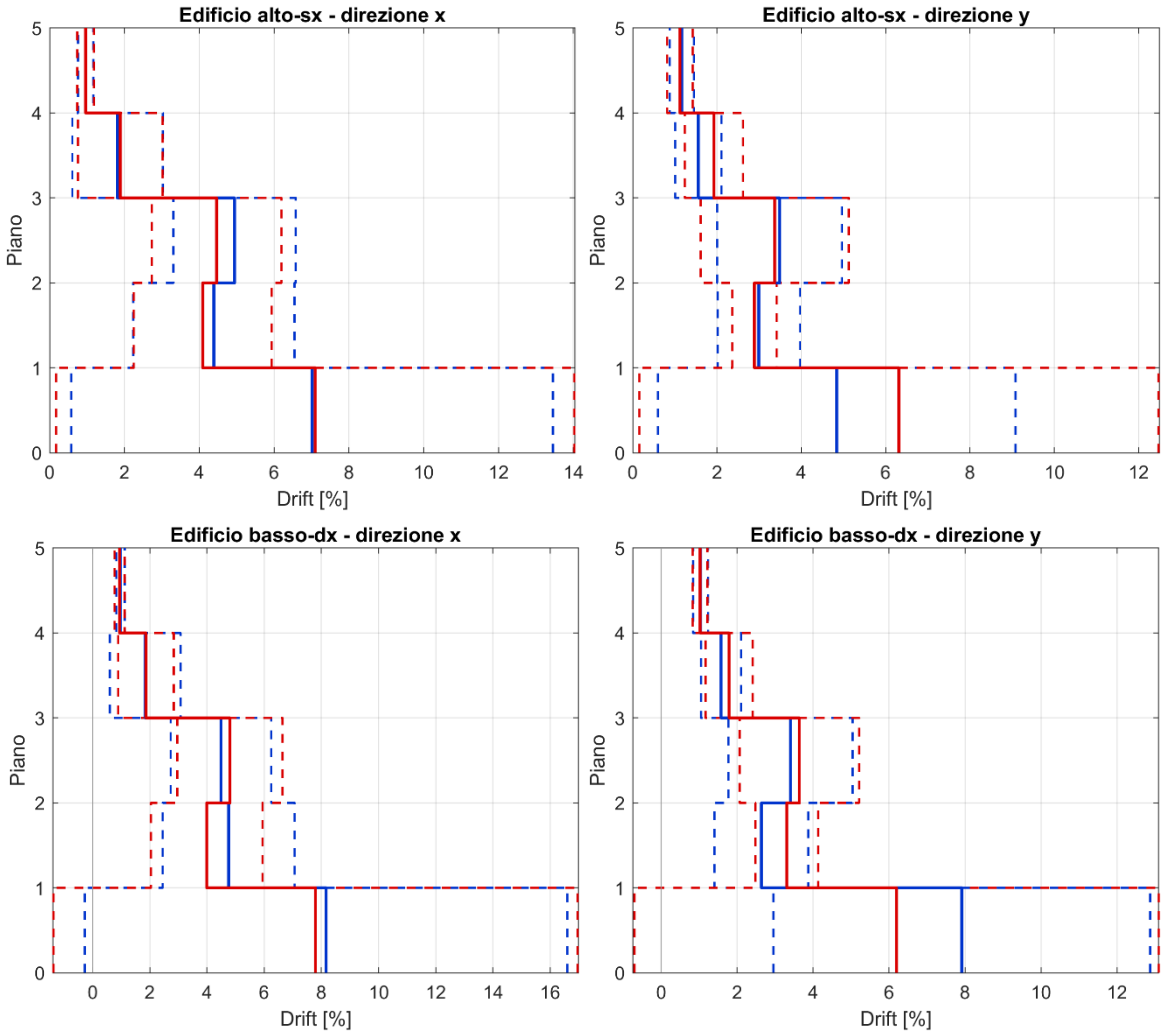

Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]


Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

RP4975


Edificio basso-sx - direzione x
Edificio basso-sx - direzione y
Castelletto alto-dx - direzione x
Castelletto alto-dx - direzione y
Castelletto alto-sx - direzione x
Castelletto alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

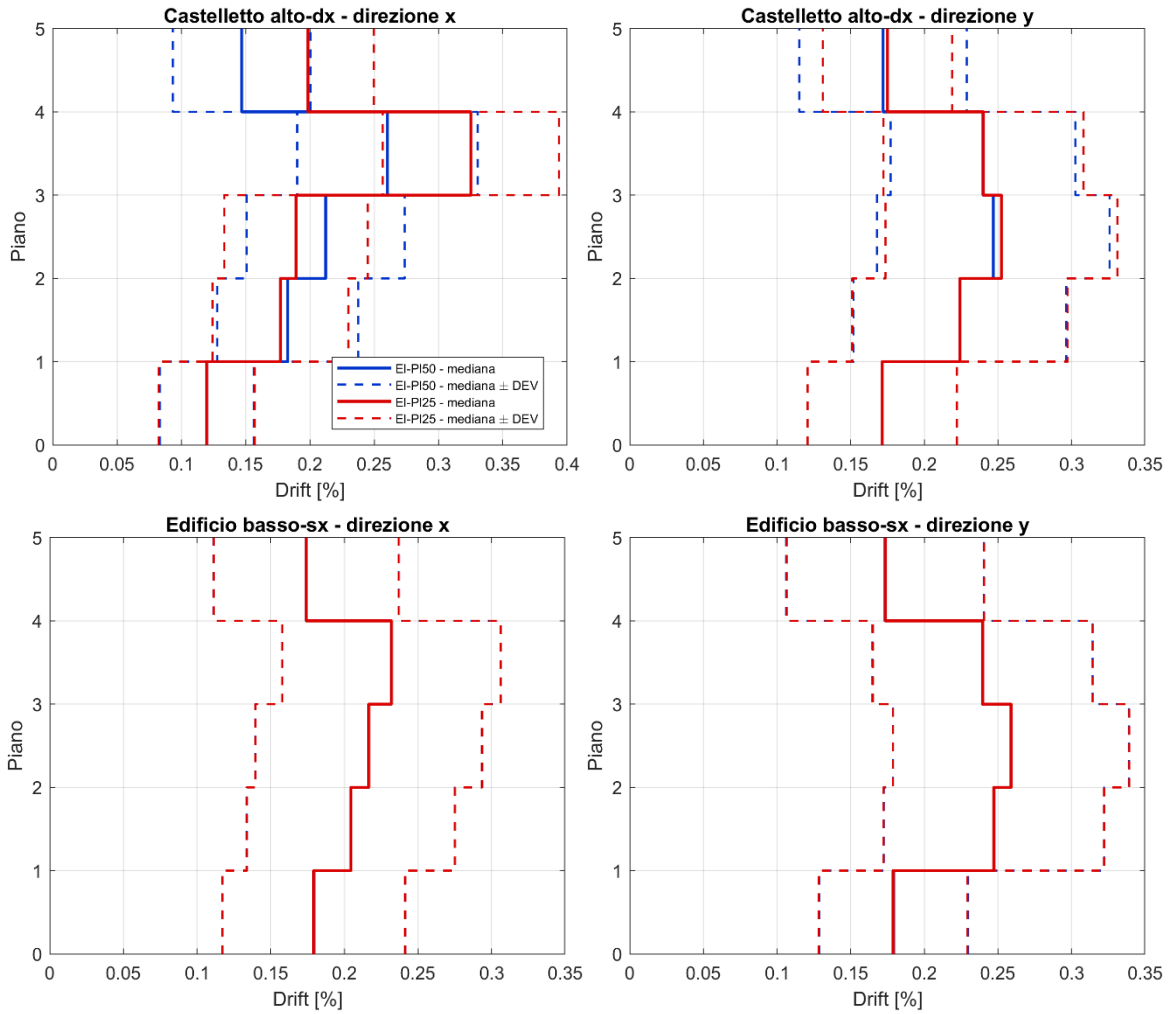

Castelletto basso-dx - direzione x
Castelletto basso-dx - direzione y
Castelletto basso-sx - direzione x
Castelletto basso-sx - direzione y
Edificio alto-dx - direzione x
Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

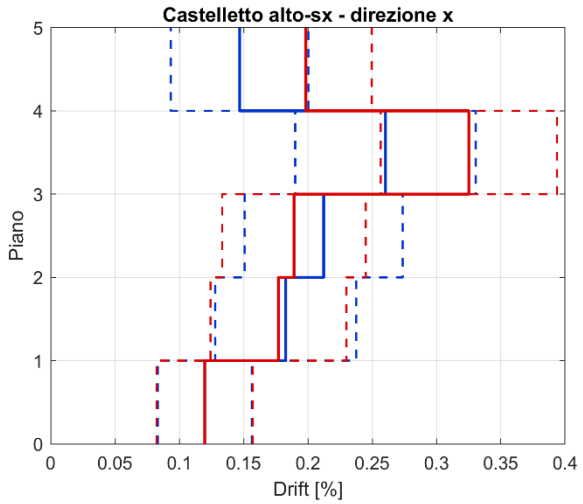

Edificio alto-sx - direzione x
Edificio alto-sx - direzione y
Edificio basso-dx - direzione x
Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

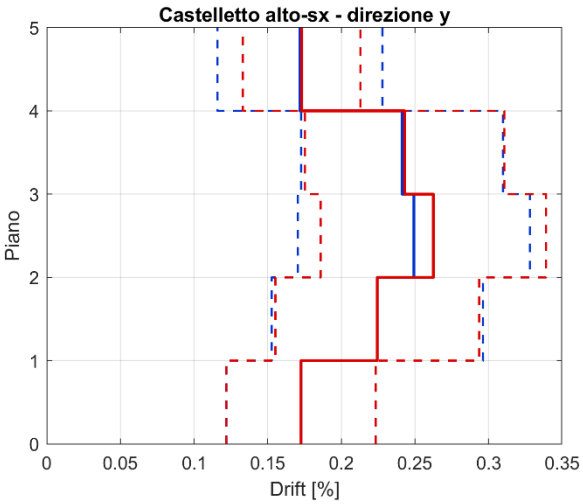
B.4 Modello ancoraggi El-Pl_50 vs ancoraggi El-Pl_25

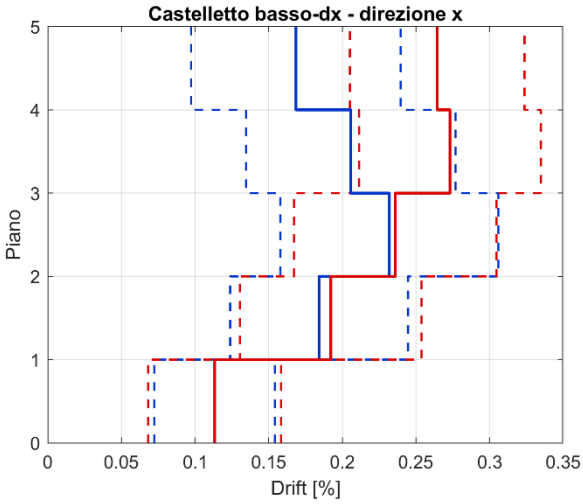
Nei grafici di seguito sull'asse verticale è indicato il piano, su quello orizzontale il drift in percentuale. Le linee continue rappresentano le mediane dei valori massimi dei venti record, quelle tratteggiate la mediana sommata e sottratta alla deviazione standard. Le linee di colore rosso rappresentano il modello El-Pl_25 mentre quelle di colore blu il modello El-Pl_50. Nei grafici le pilastrate dell'edificio e i montanti del castelletto sono indicati con la loro posizione in pianta, secondo la nomenclatura della Figura 5.1.

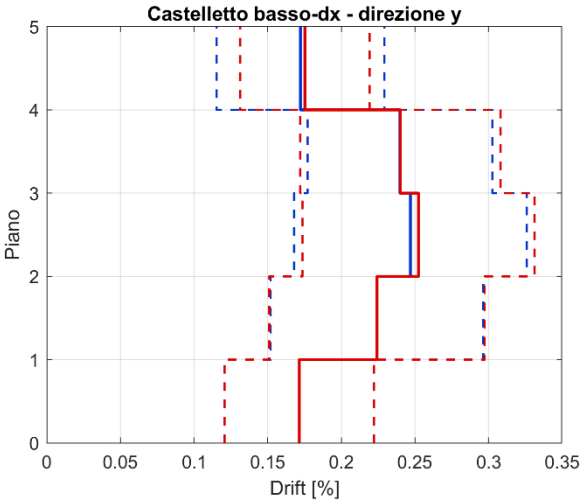
RP30

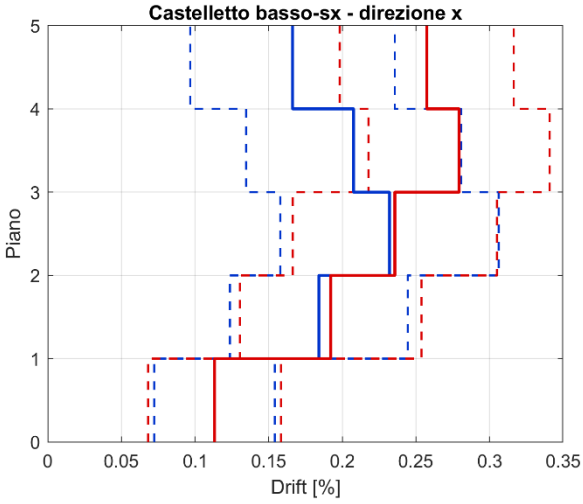


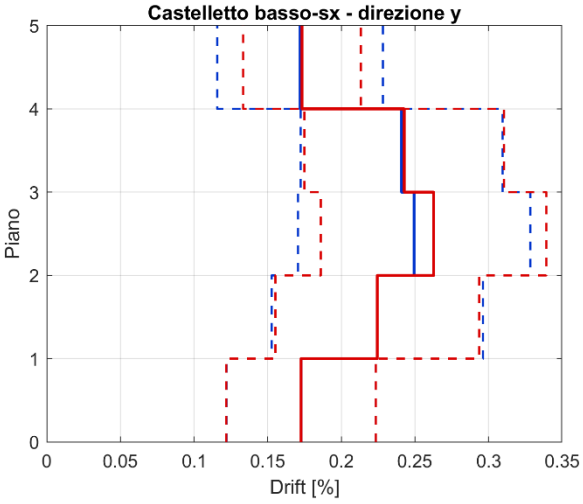

Castelletto alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

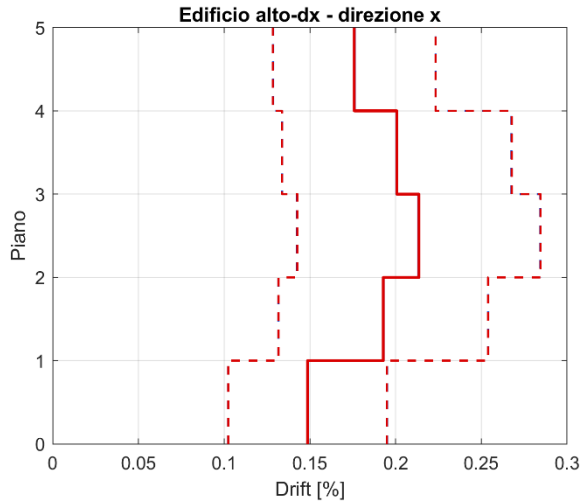

Castelletto alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

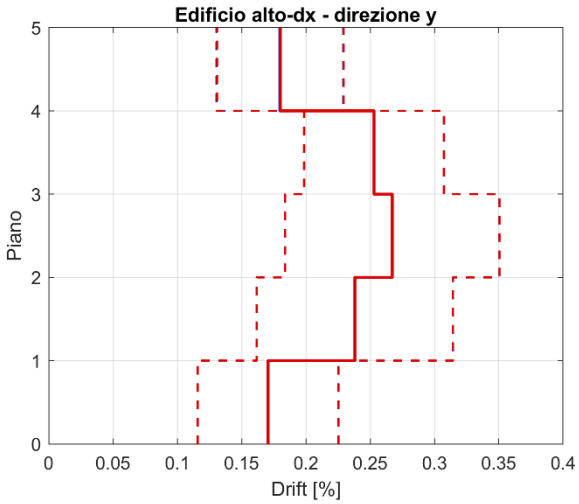

Castelletto basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

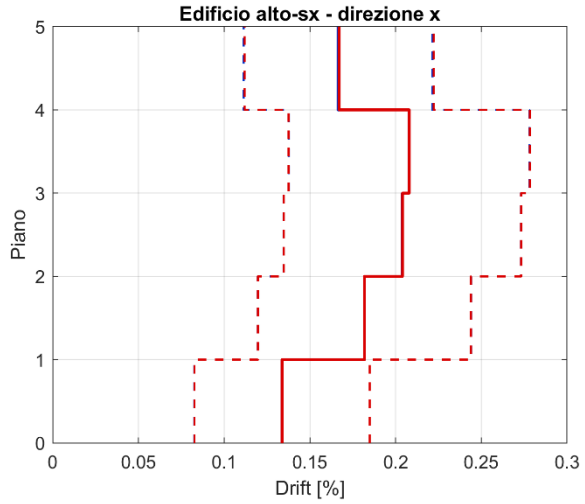

Castelletto basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

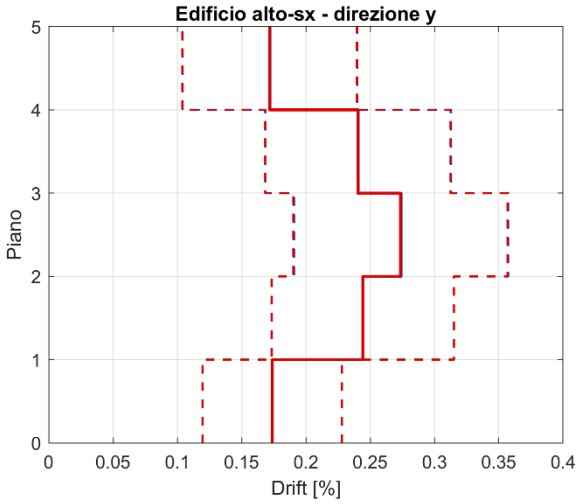

Castelletto basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

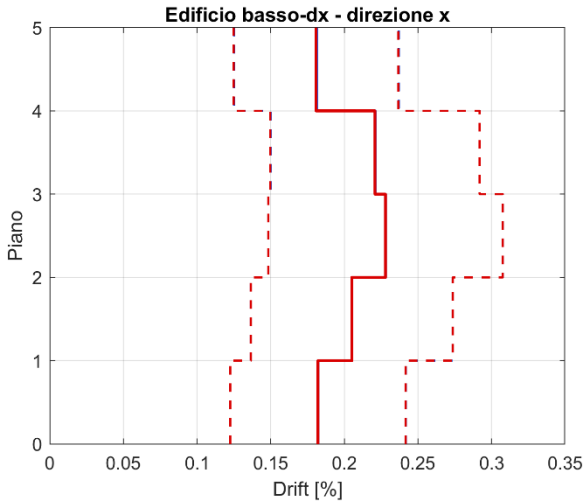

Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

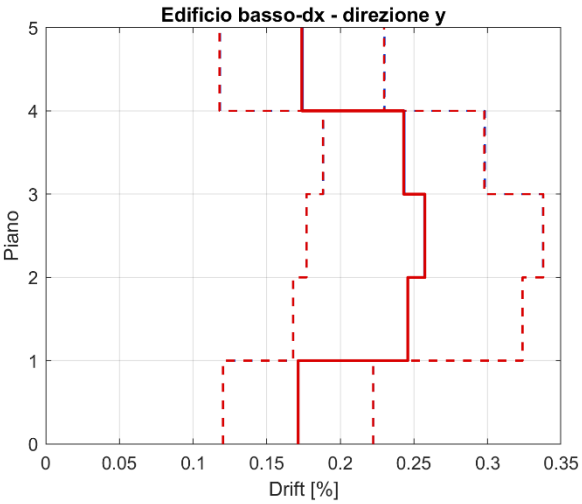

Edificio alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]


Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

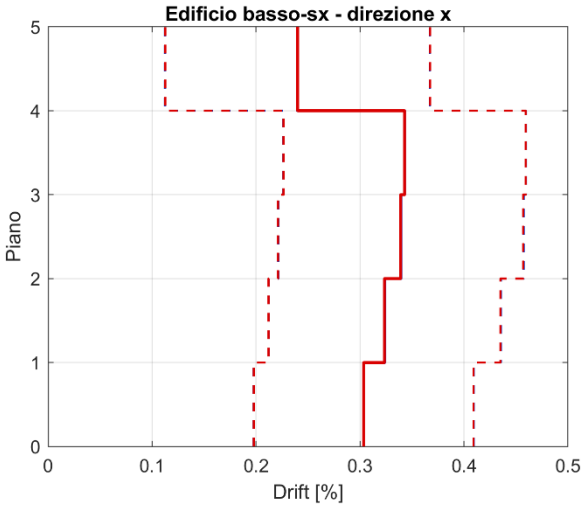

Edificio alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

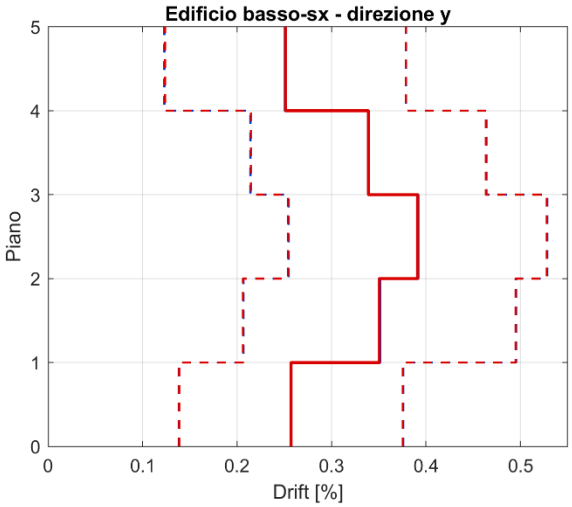

Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

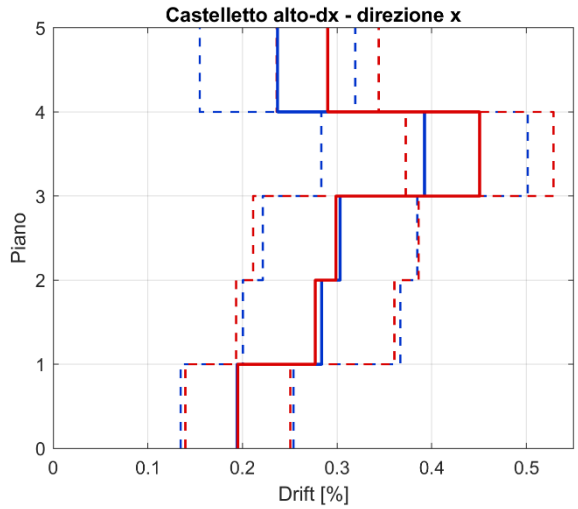

Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

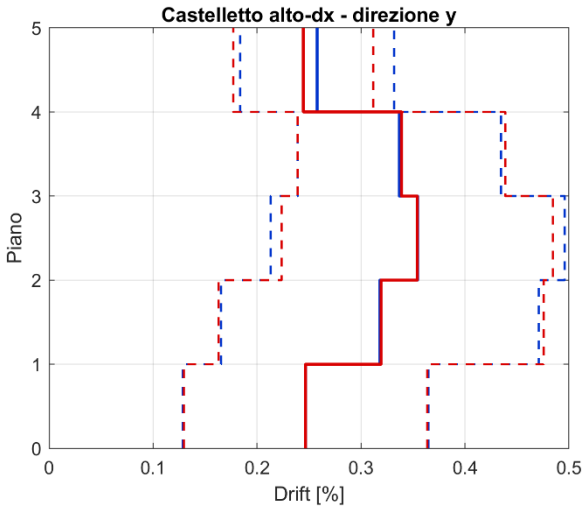

Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

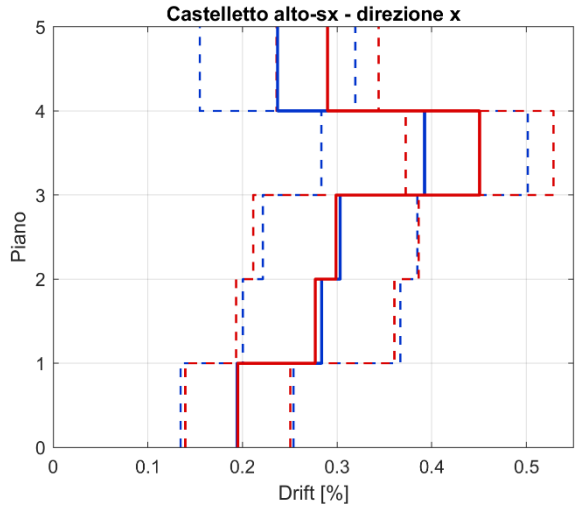
RP50

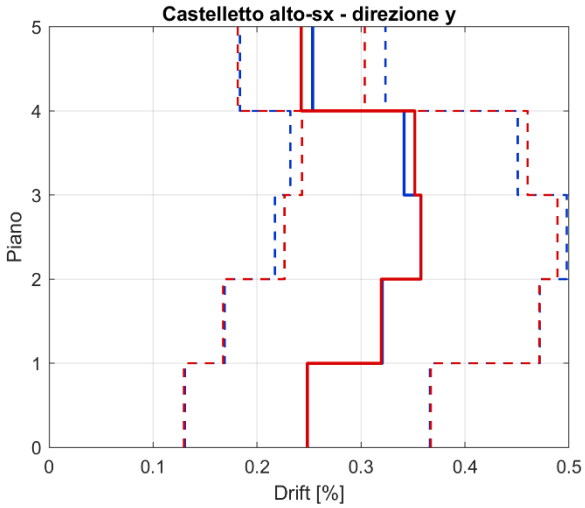

Edificio basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5

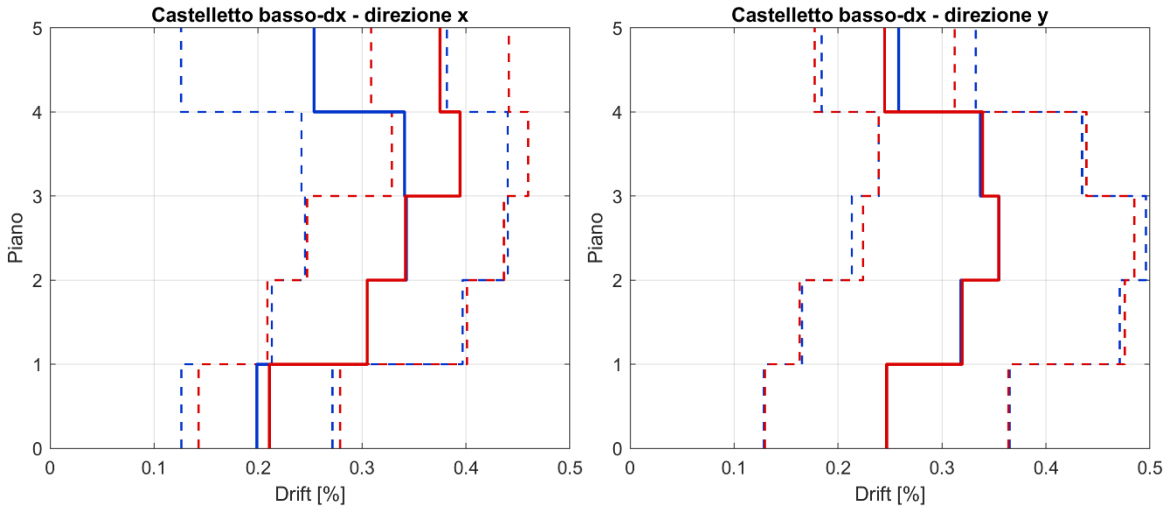

Edificio basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5


Castelletto alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5

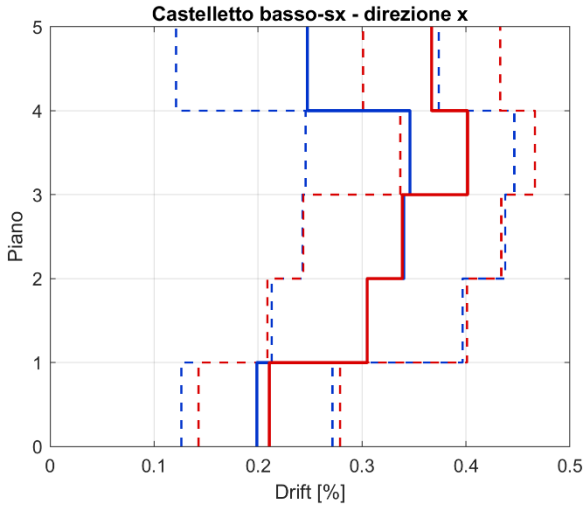

Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5

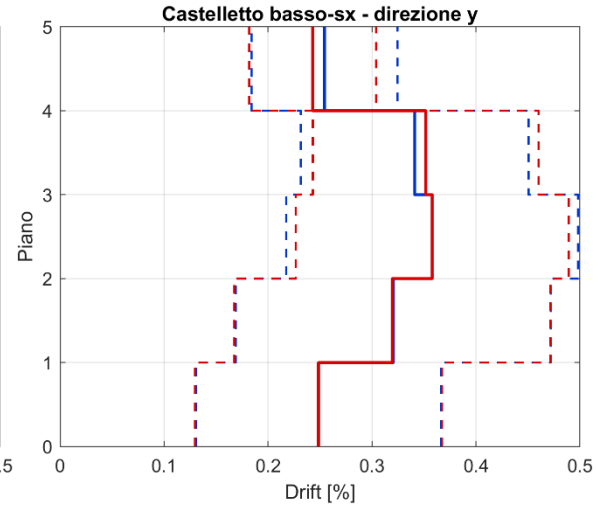

Castelletto alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5

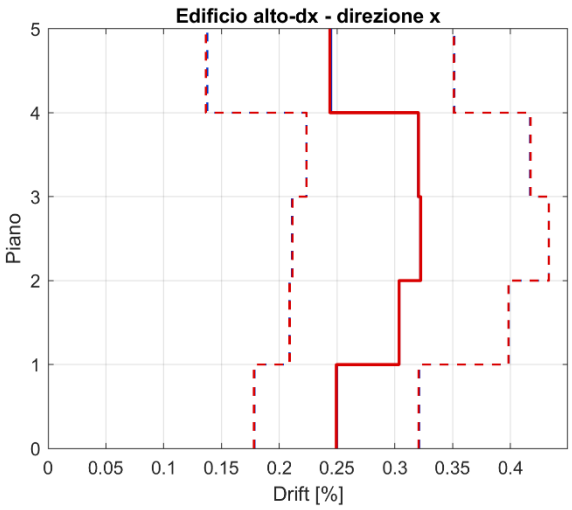

Castelletto alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5

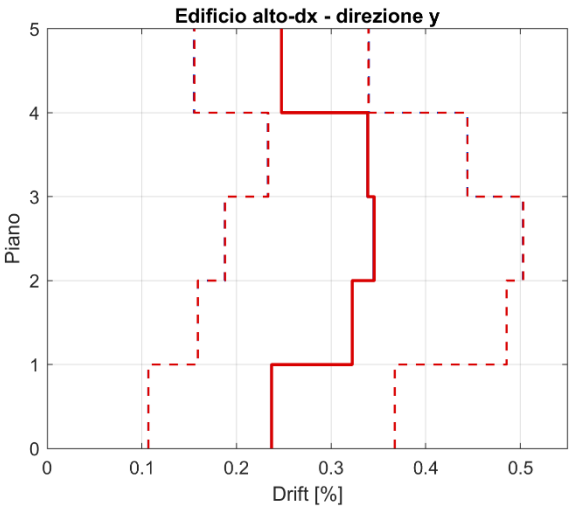

Castelletto basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5

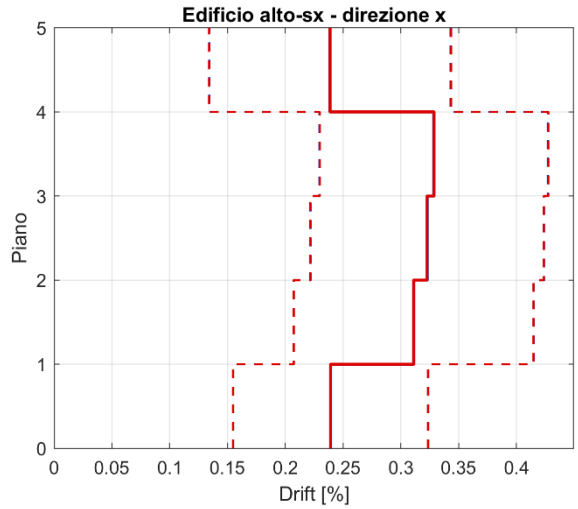
Castelletto basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5

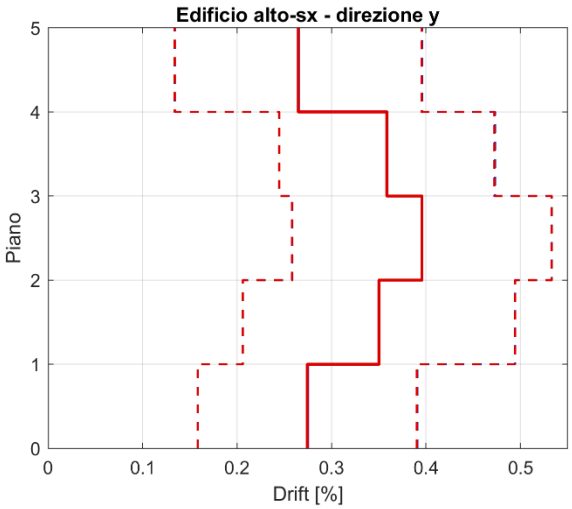

Castelletto basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5

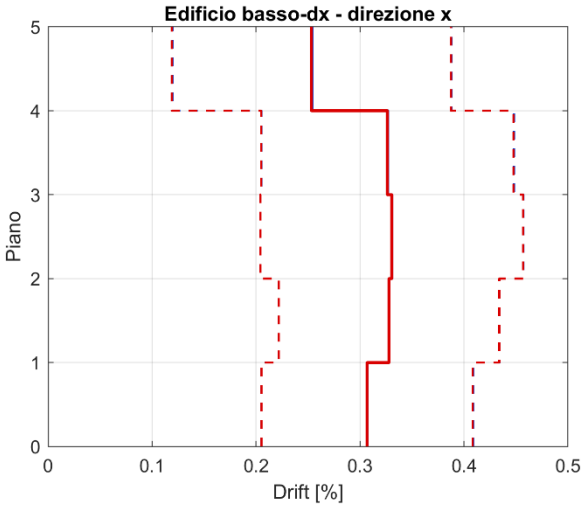

Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5

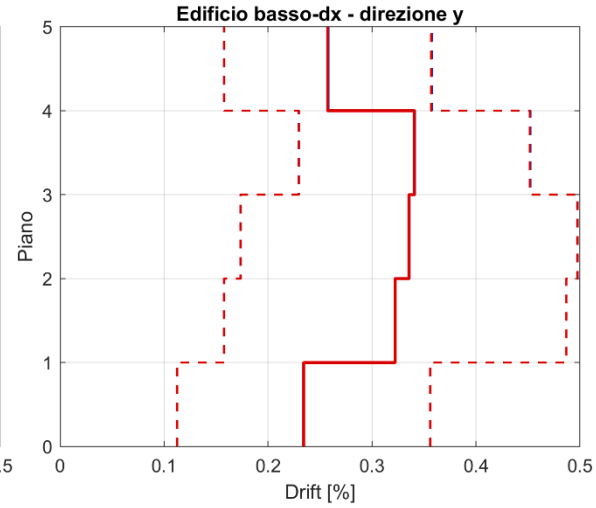

Edificio alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0
0.05
0.1
0.15
0.2
0.25
0.3
0.35
0.4


Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5

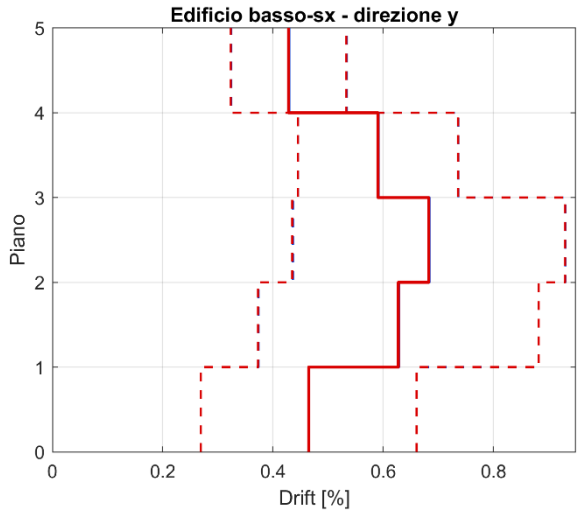

Edificio alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

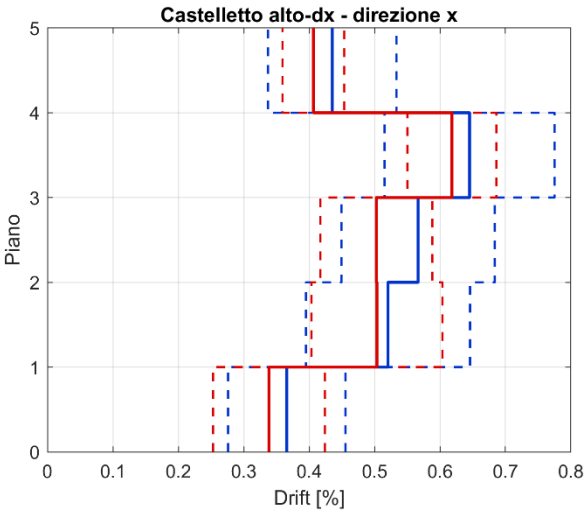

Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

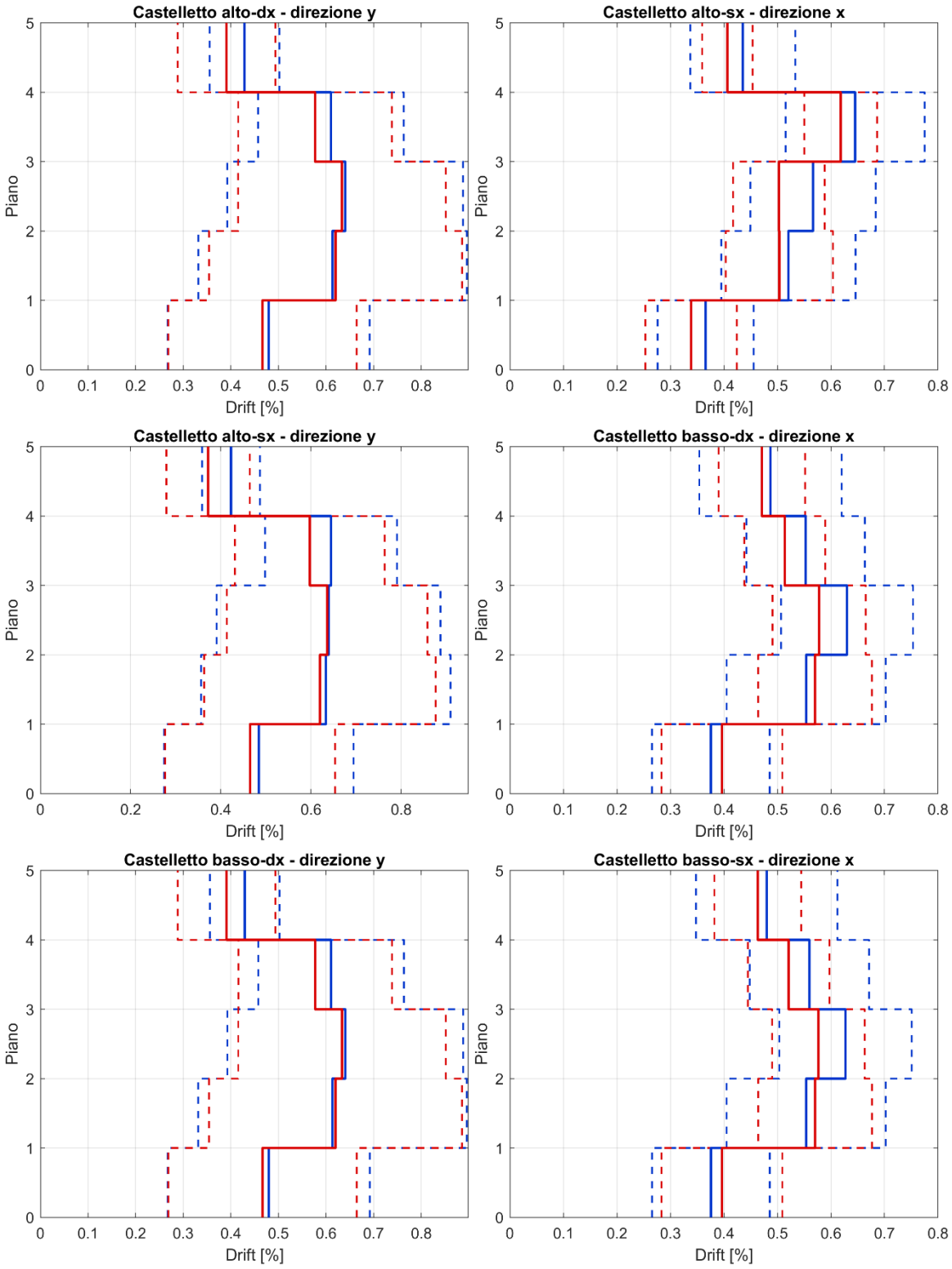

Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

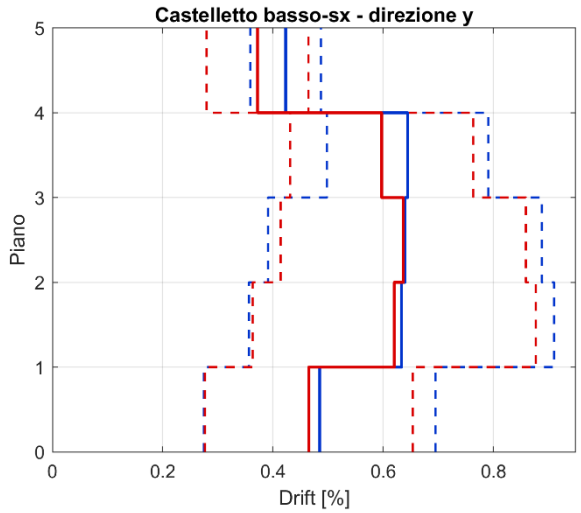

Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

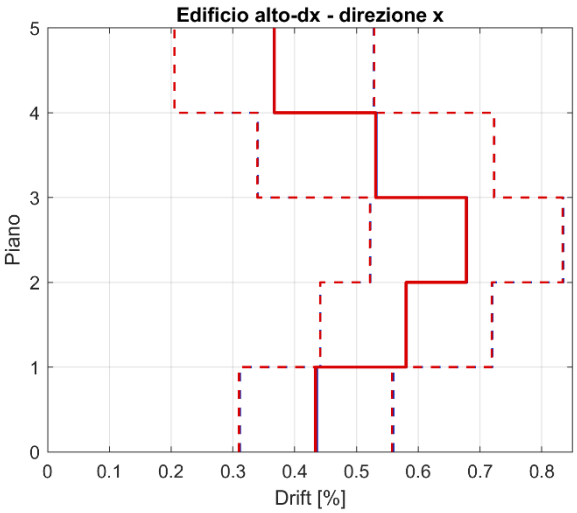
RP98

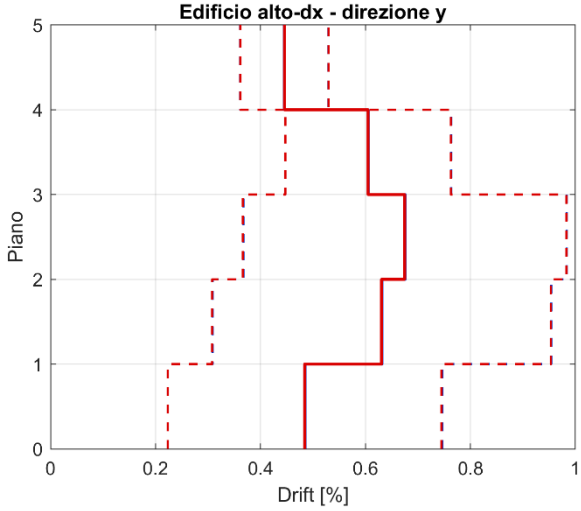

Edificio basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

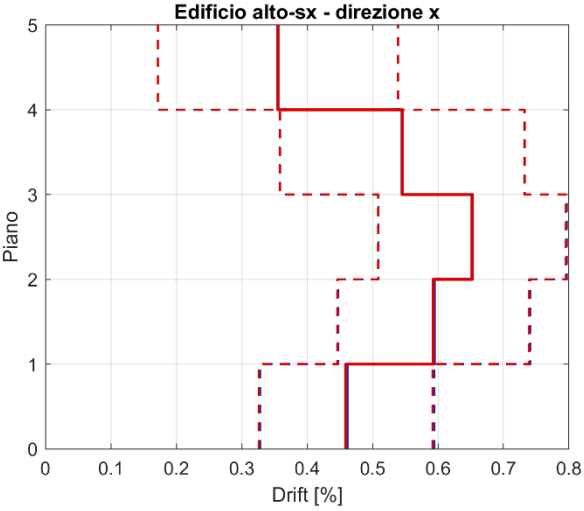

Castelletto alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

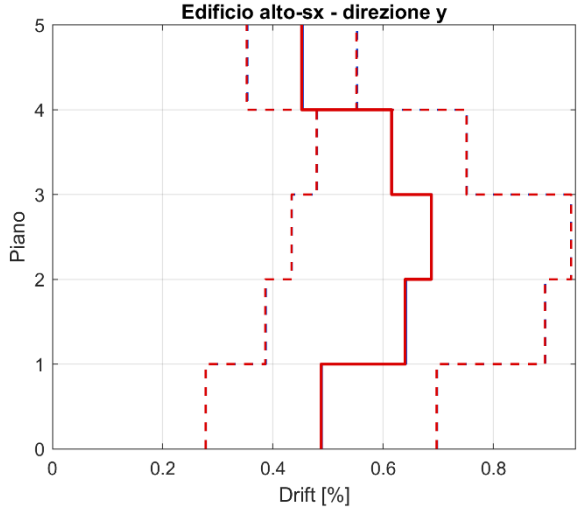

Castelletto alto-dx - direzione y
Castelletto alto-sx - direzione x
Castelletto alto-sx - direzione y
Castelletto basso-dx - direzione x
Castelletto basso-dx - direzione y
Castelletto basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

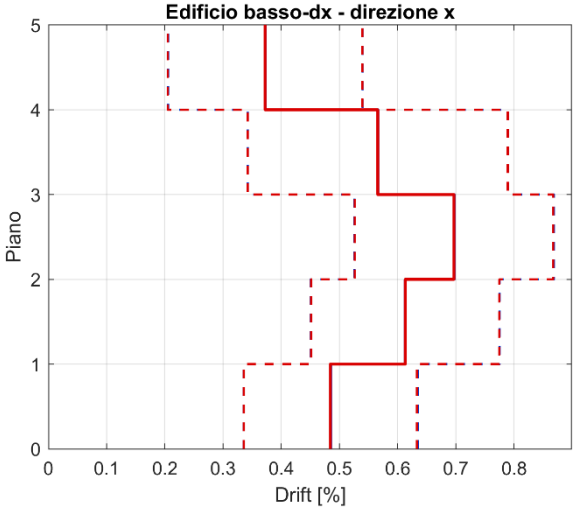

Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

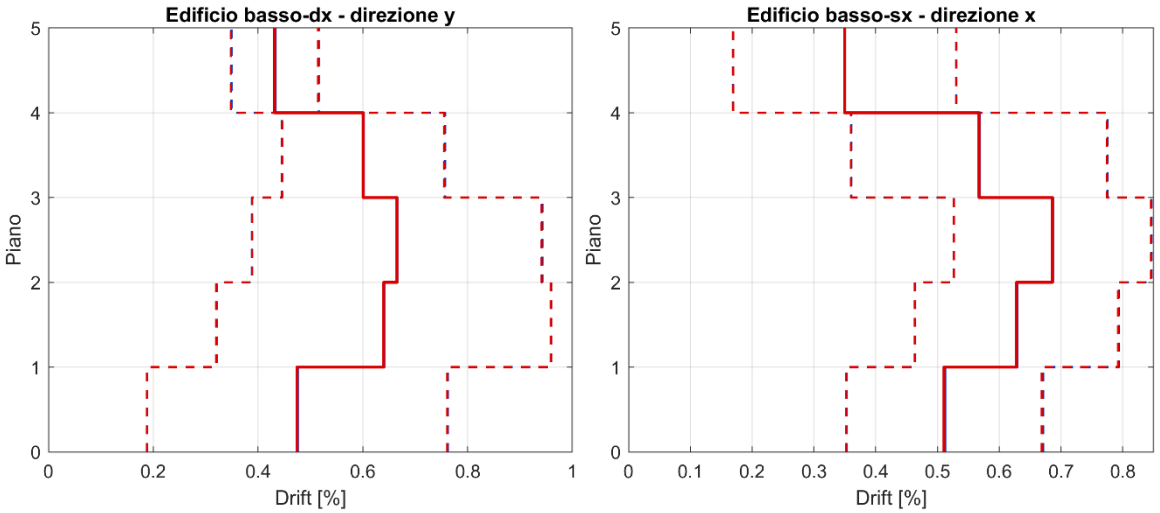

Edificio alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]


Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

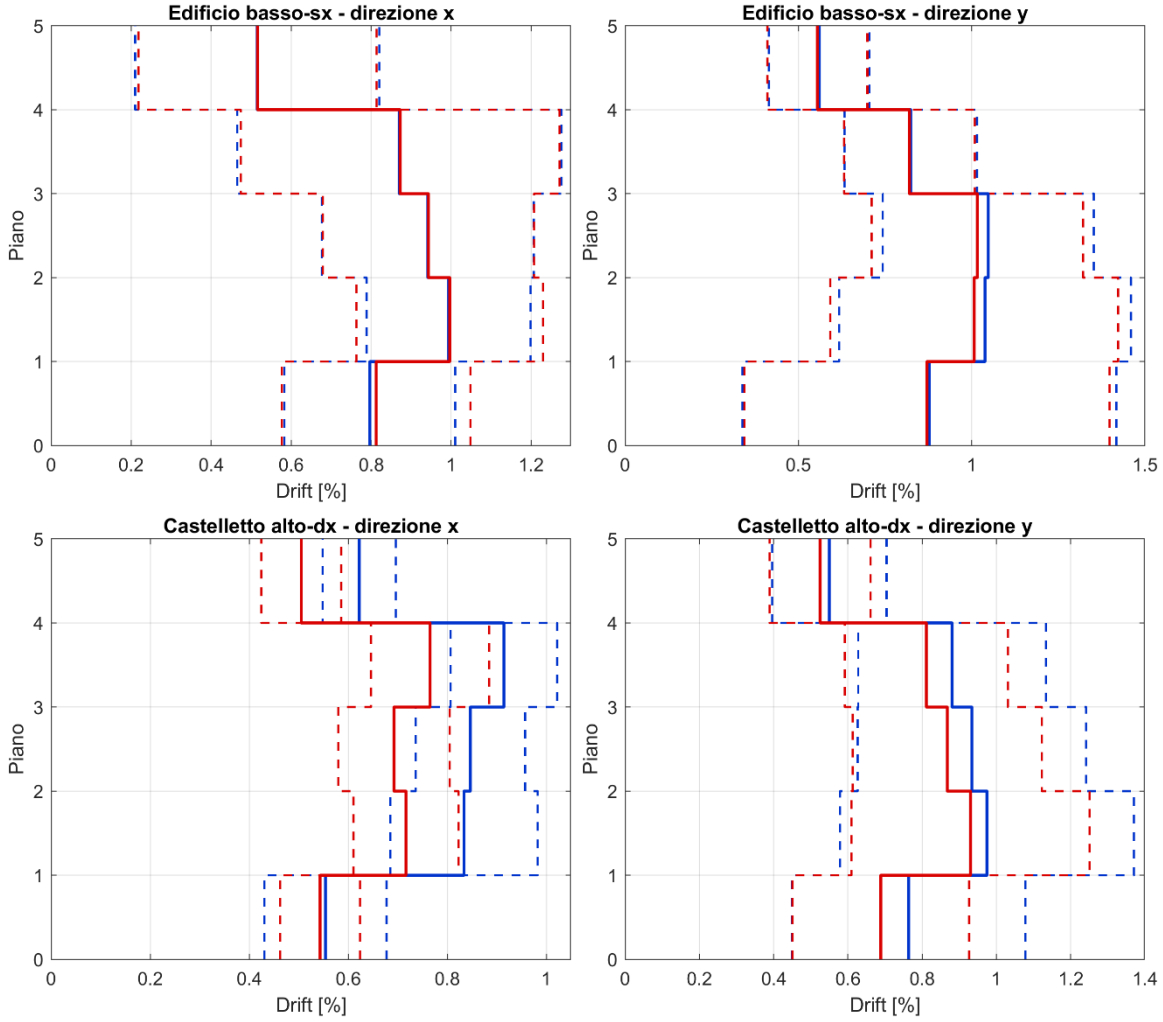

Edificio alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

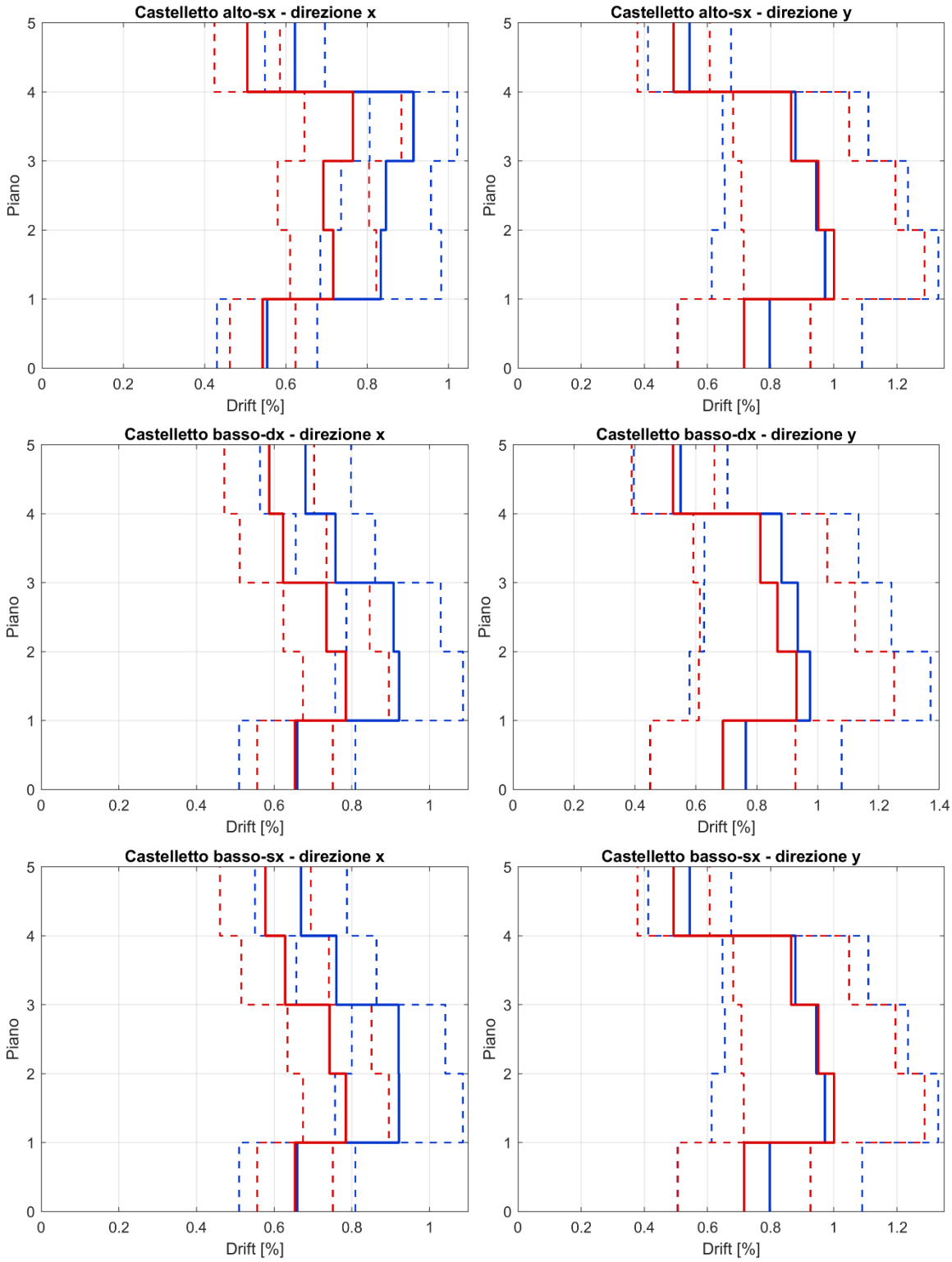

Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

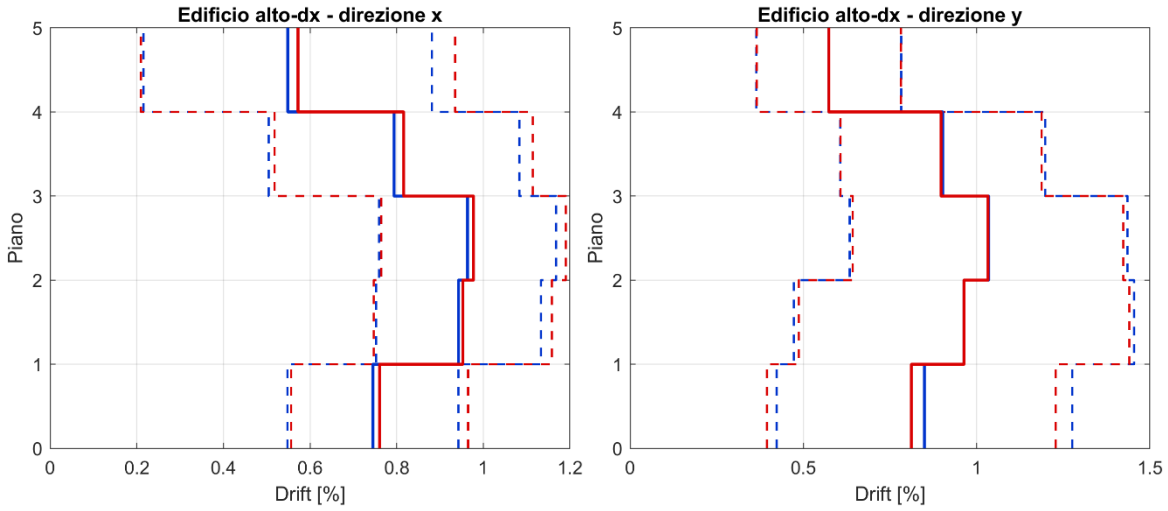

Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]


Edificio basso-dx - direzione y
Edificio basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

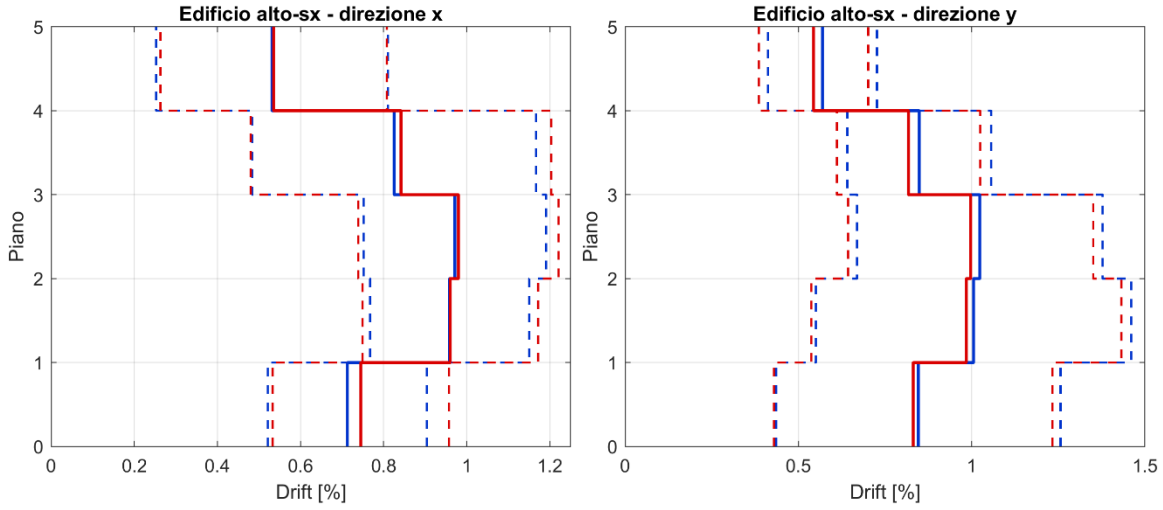
RP224


Edificio basso-sx - direzione x
Edificio basso-sx - direzione y
Castelletto alto-dx - direzione x
Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

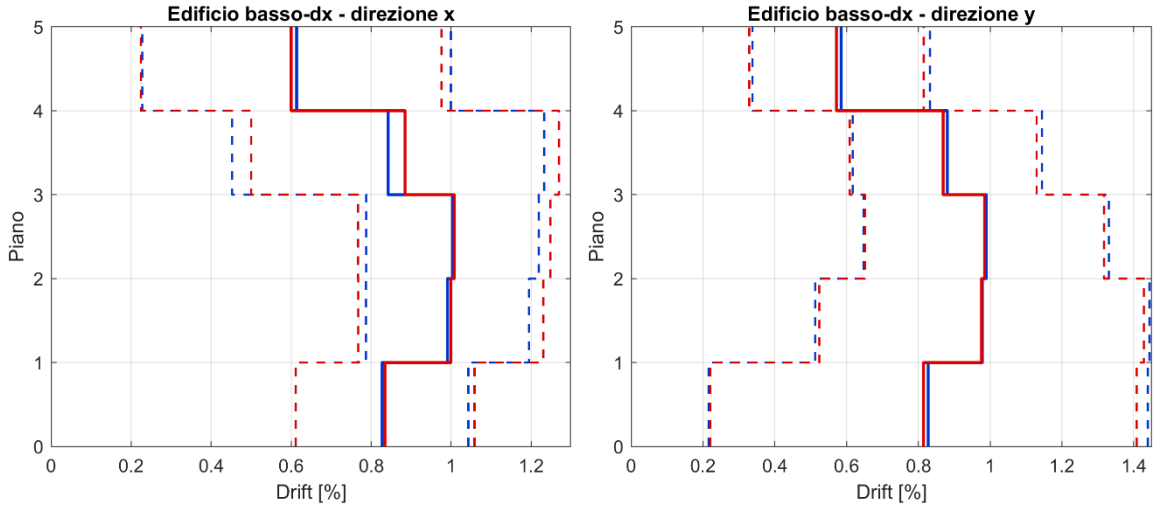

Castelletto alto-sx - direzione x
Castelletto alto-sx - direzione y
Castelletto basso-dx - direzione x
Castelletto basso-dx - direzione y
Castelletto basso-sx - direzione x
Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]


Edificio alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2

Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0.5
1
1.5

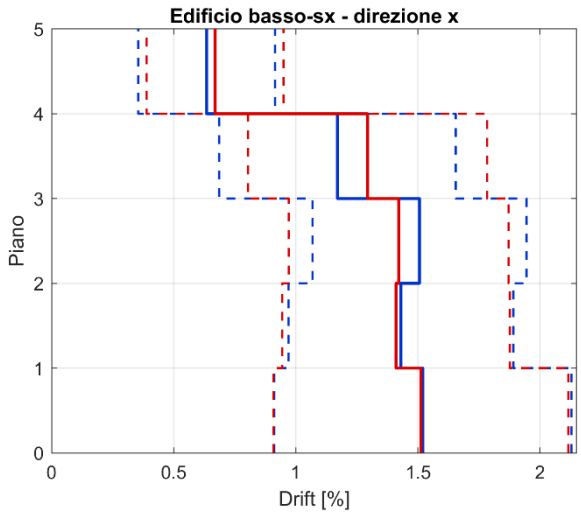

Edificio alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2

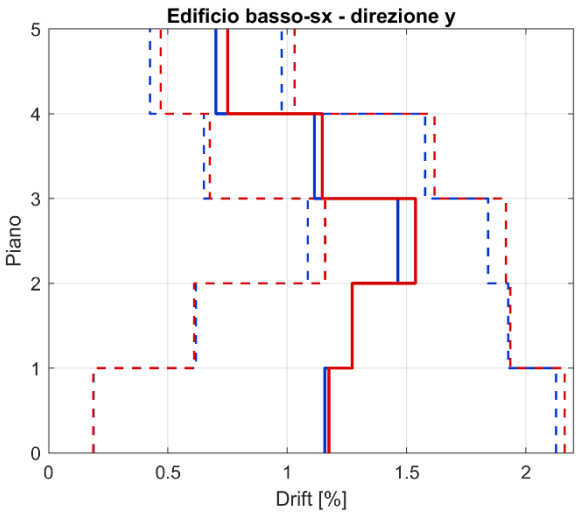
Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0.5
1
1.5

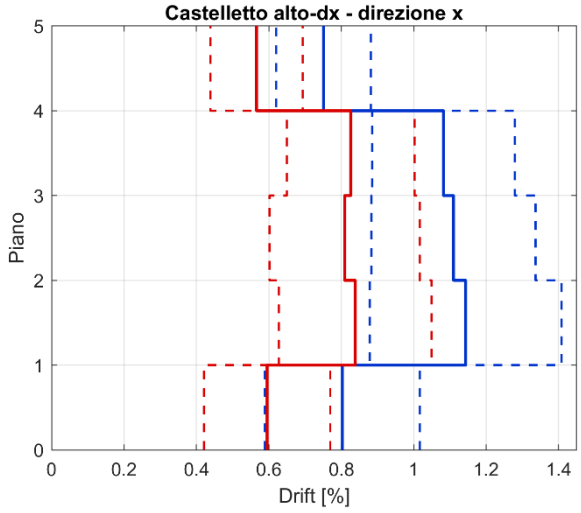

Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2

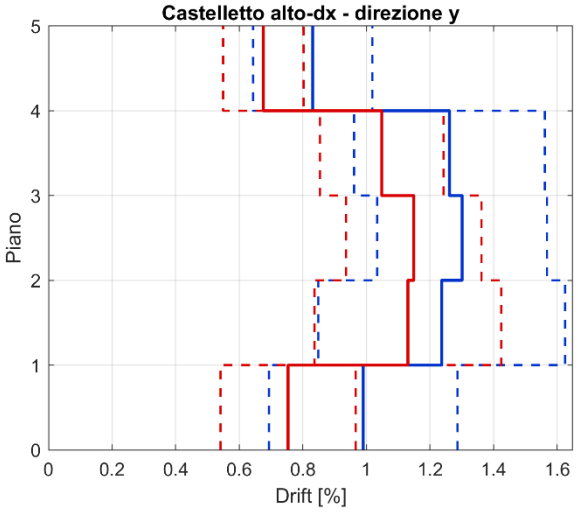
Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4

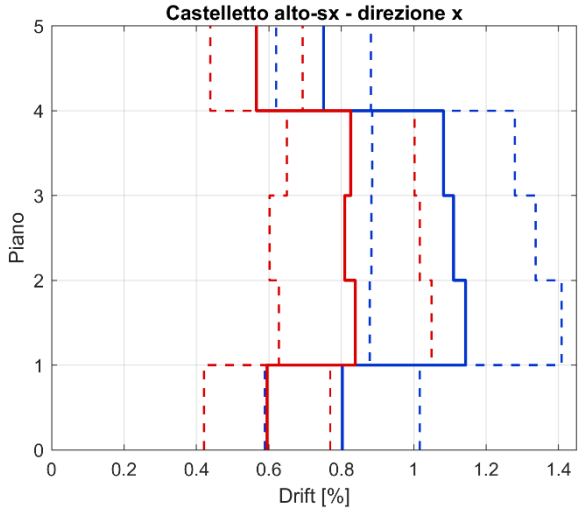
RP475

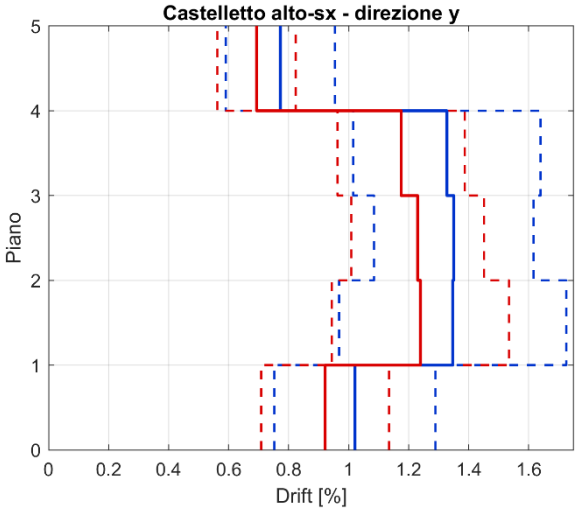

Edificio basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

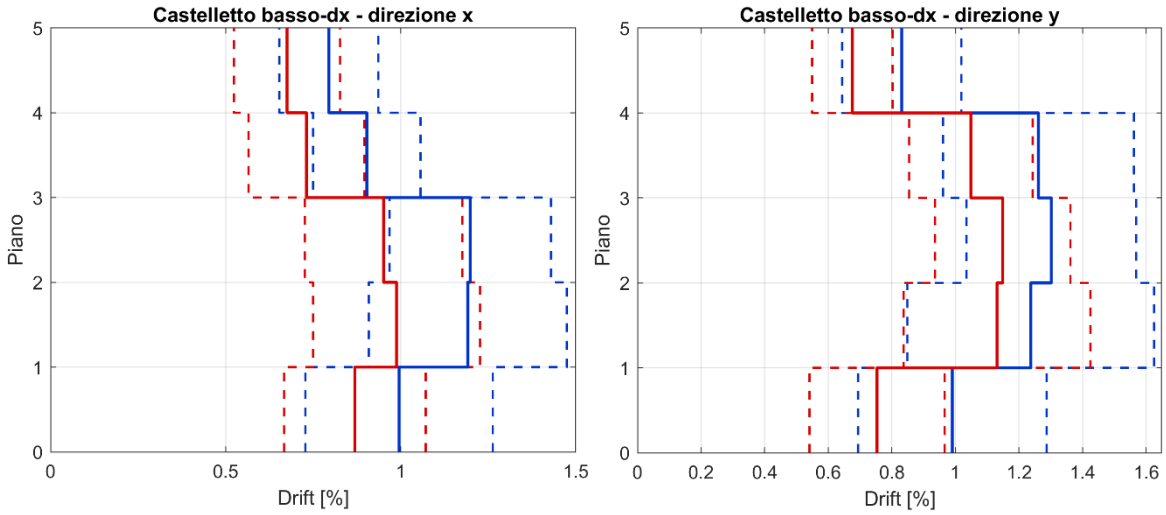

Edificio basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]


Castelletto alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

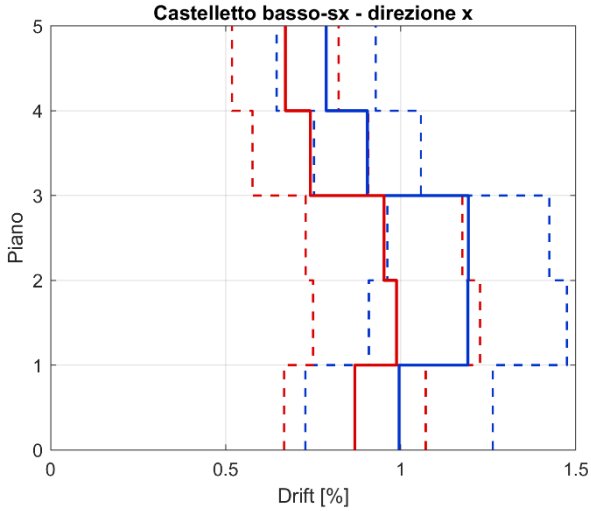

Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

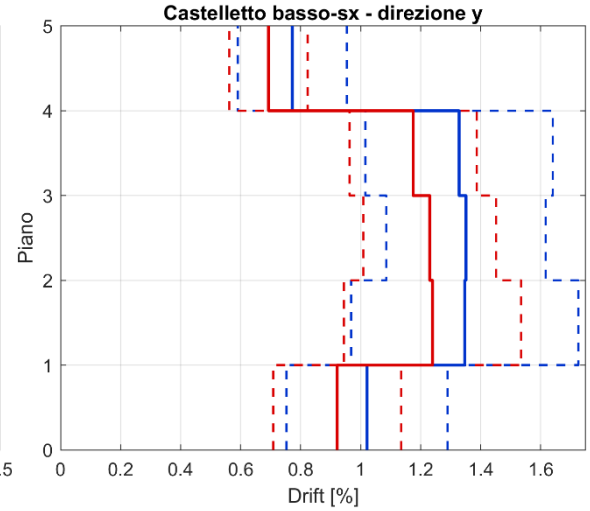

Castelletto alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

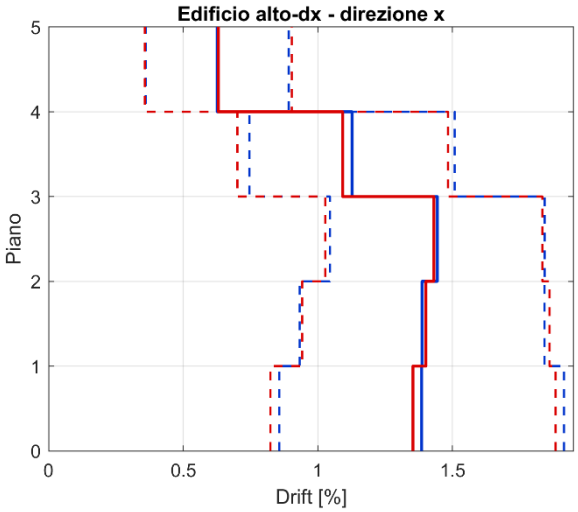

Castelletto alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

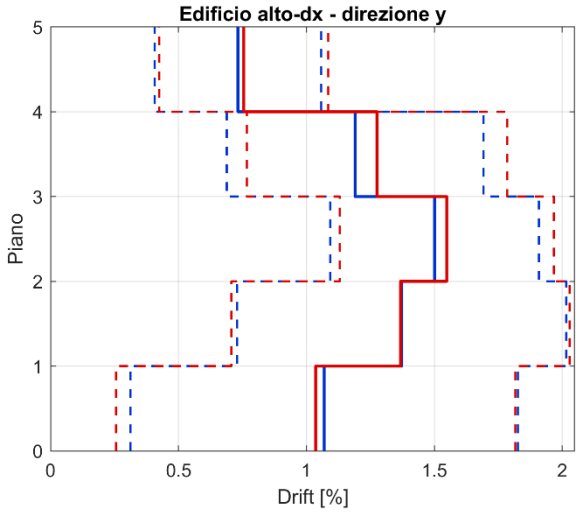

Castelletto basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0
0.5
1
1.5

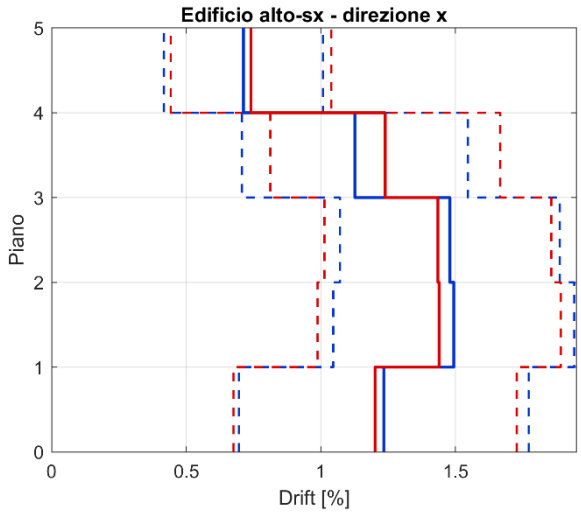
Castelletto basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6

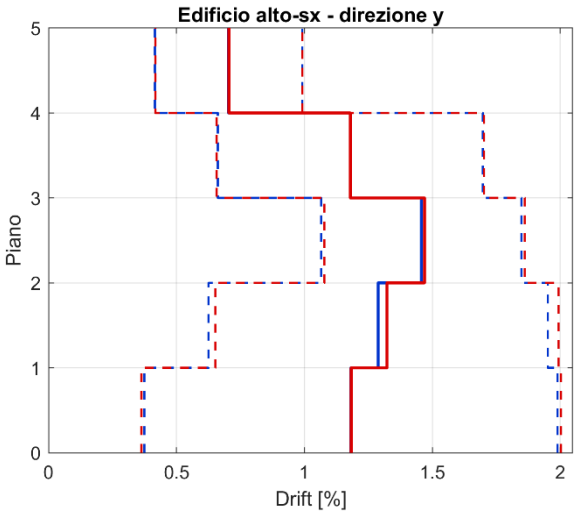

Castelletto basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0
0.5
1
1.5

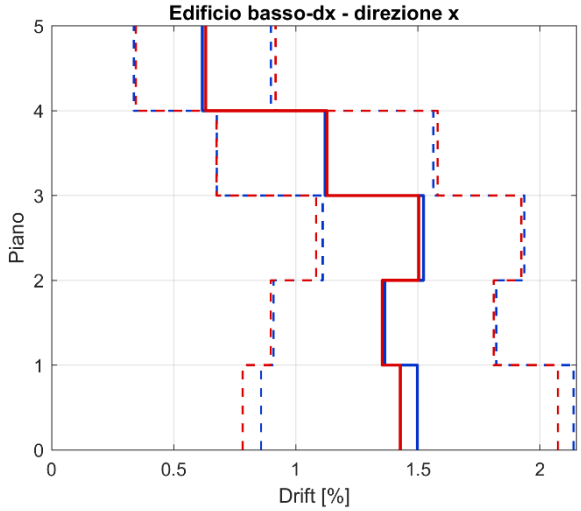

Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6

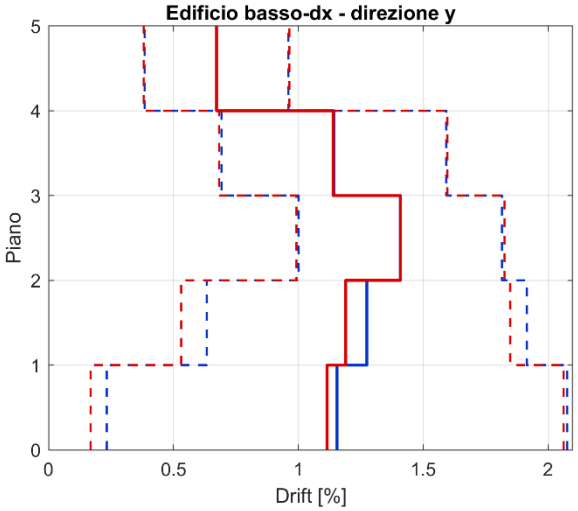

Edificio alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0
0.5
1
1.5


Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]
0
1
2
3
4
5
0
0.5
1
1.5
2

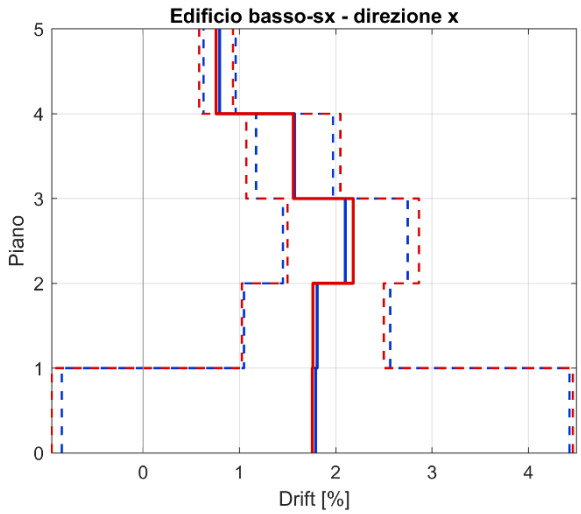

Edificio alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

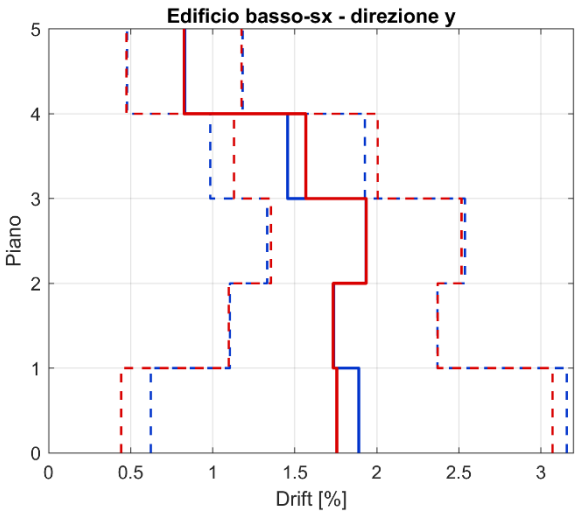

Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

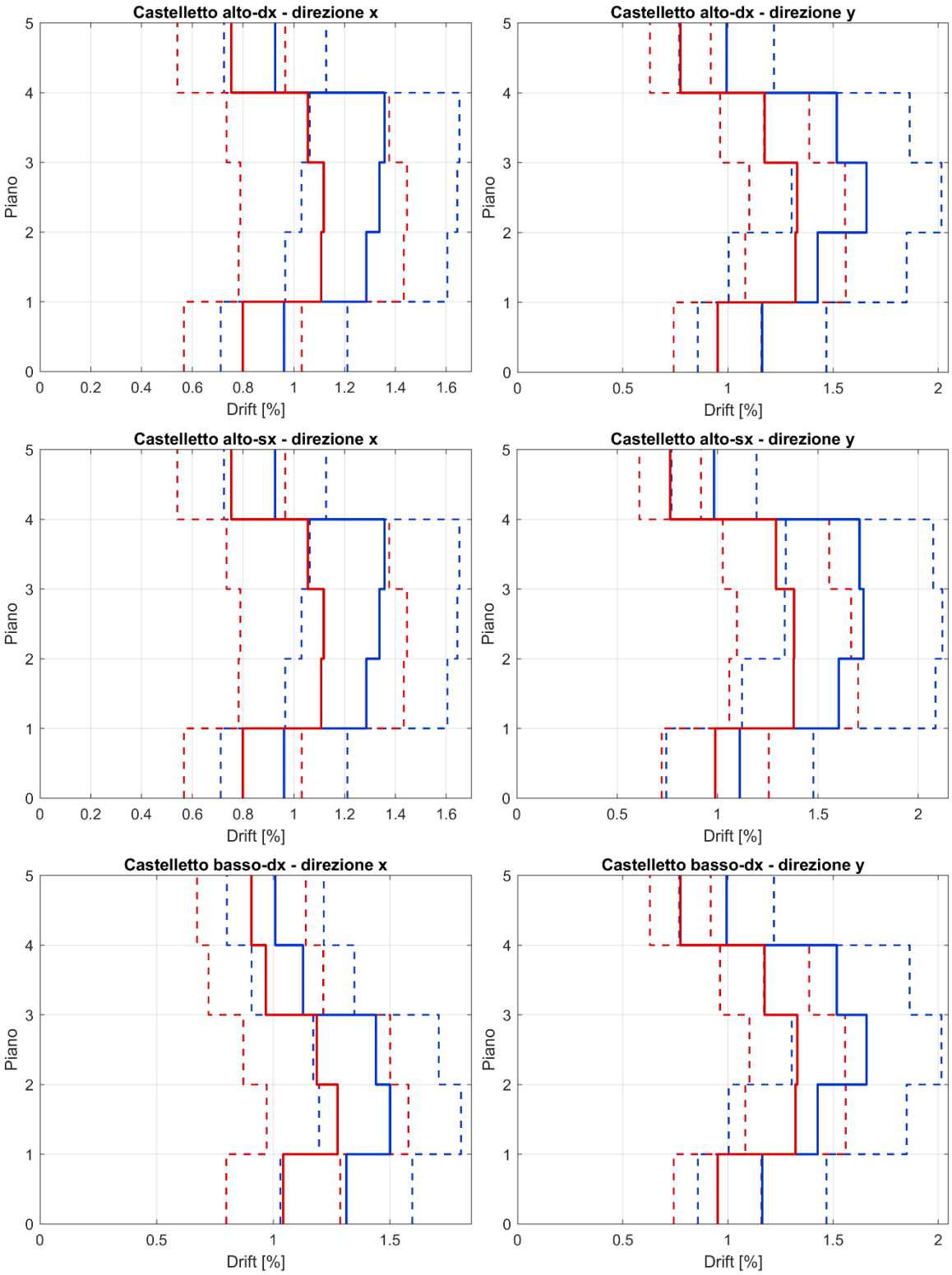

Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

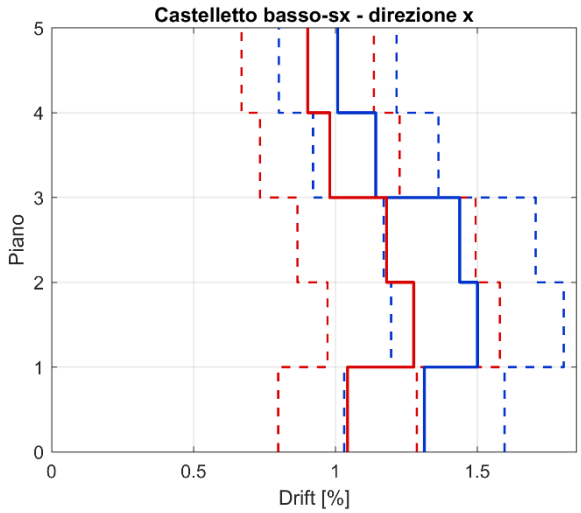

Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

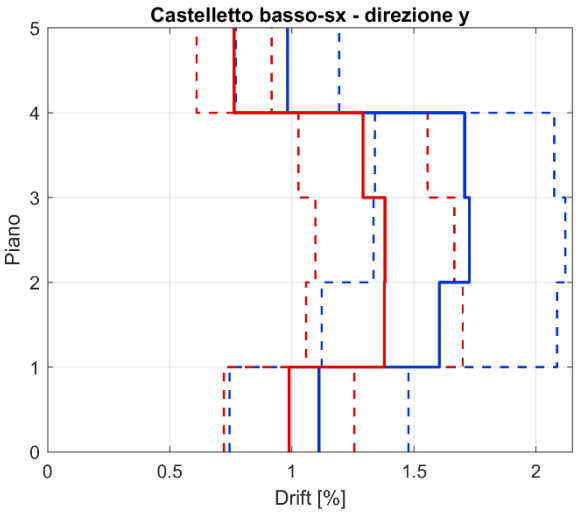
RP975

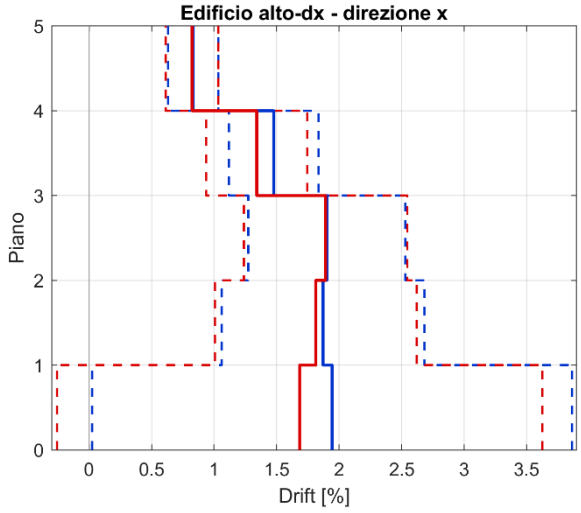

Edificio basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

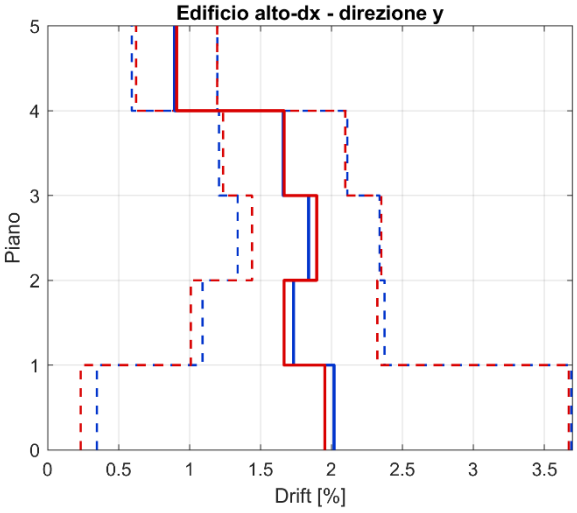

Edificio basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

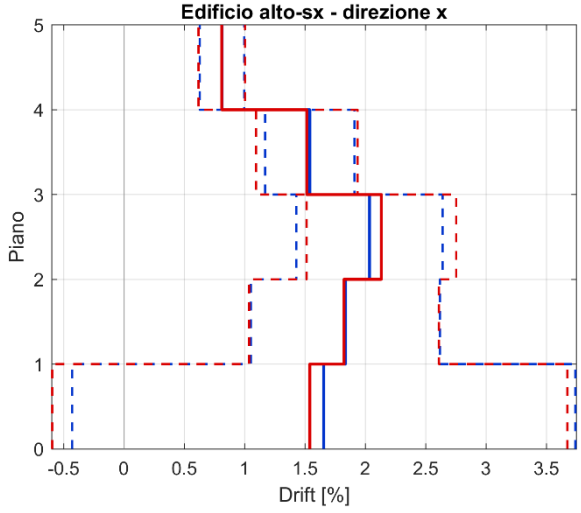

Castelletto alto-dx - direzione x
Castelletto alto-dx - direzione y
Castelletto alto-sx - direzione x
Castelletto alto-sx - direzione y
Castelletto basso-dx - direzione x
Castelletto basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

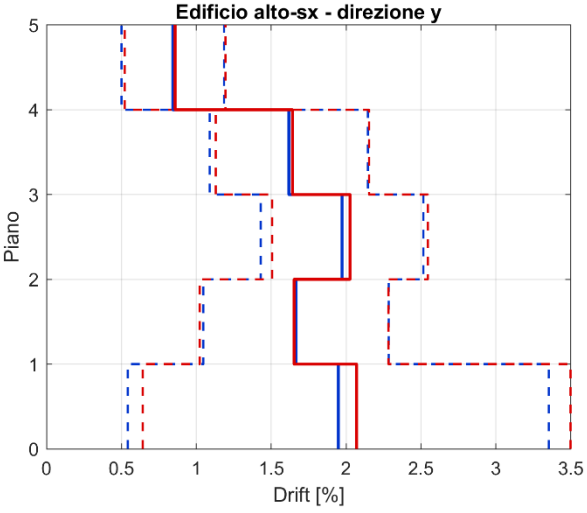

Castelletto basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

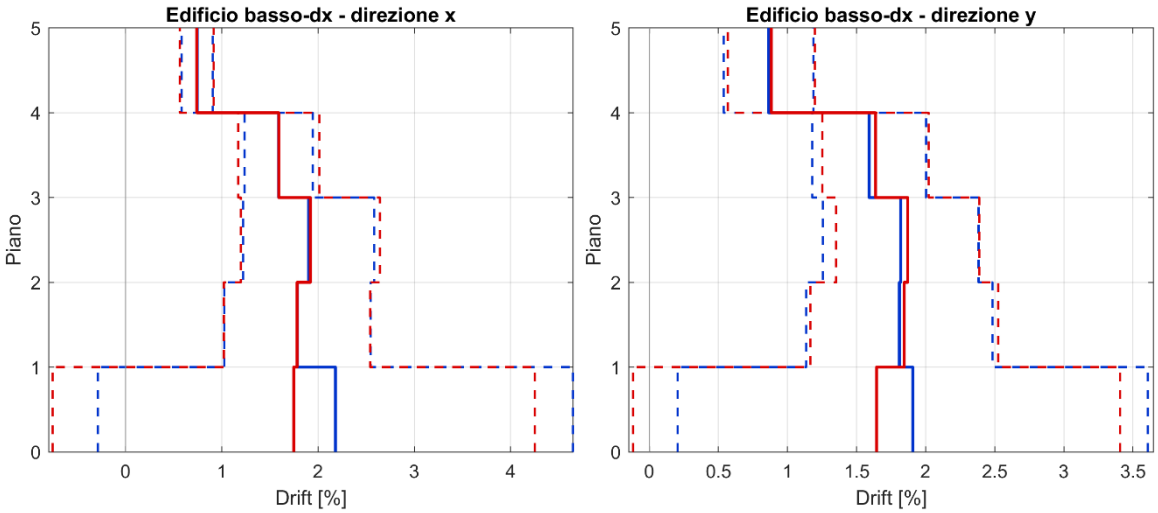

Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]


Edificio alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

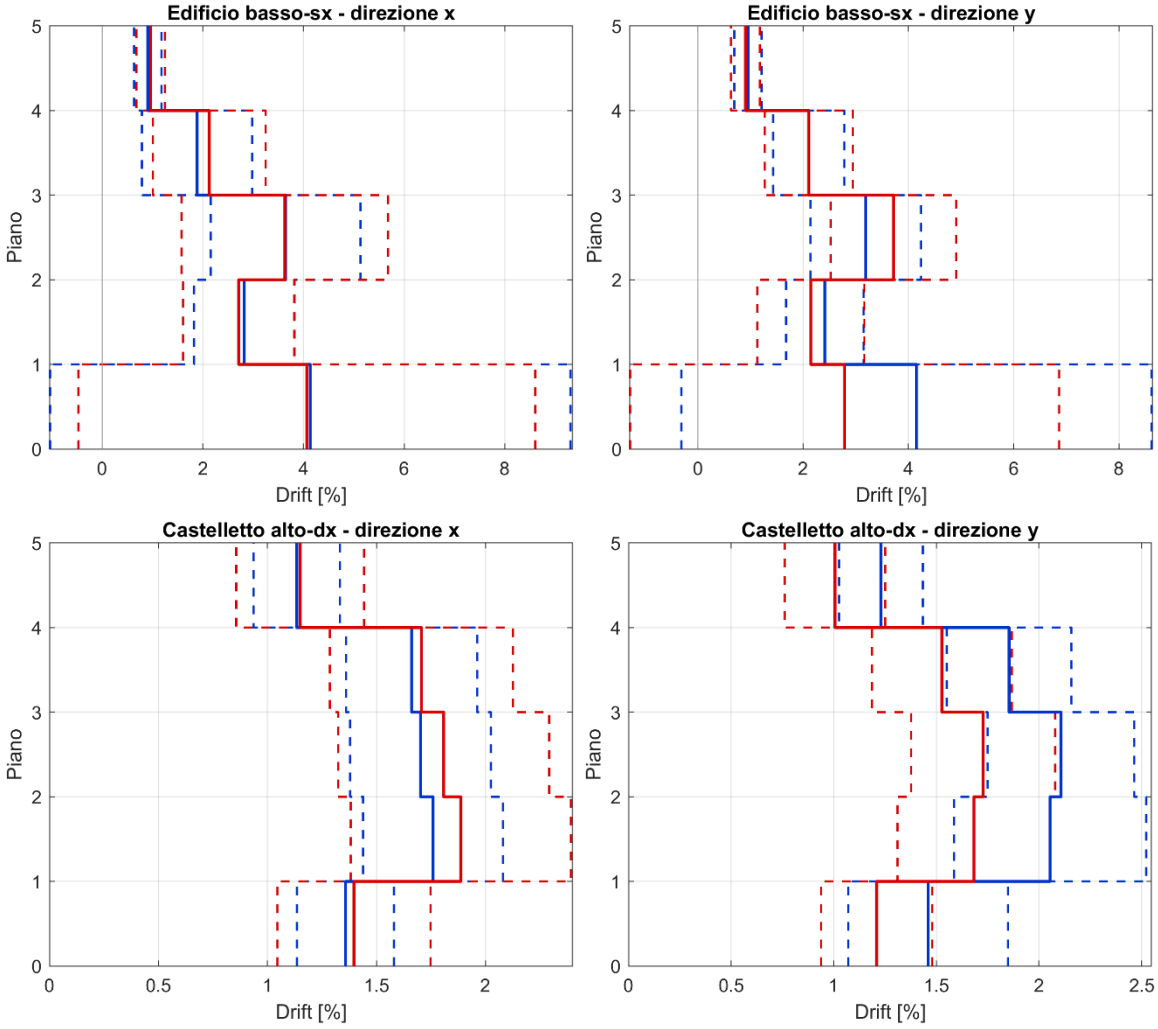

Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

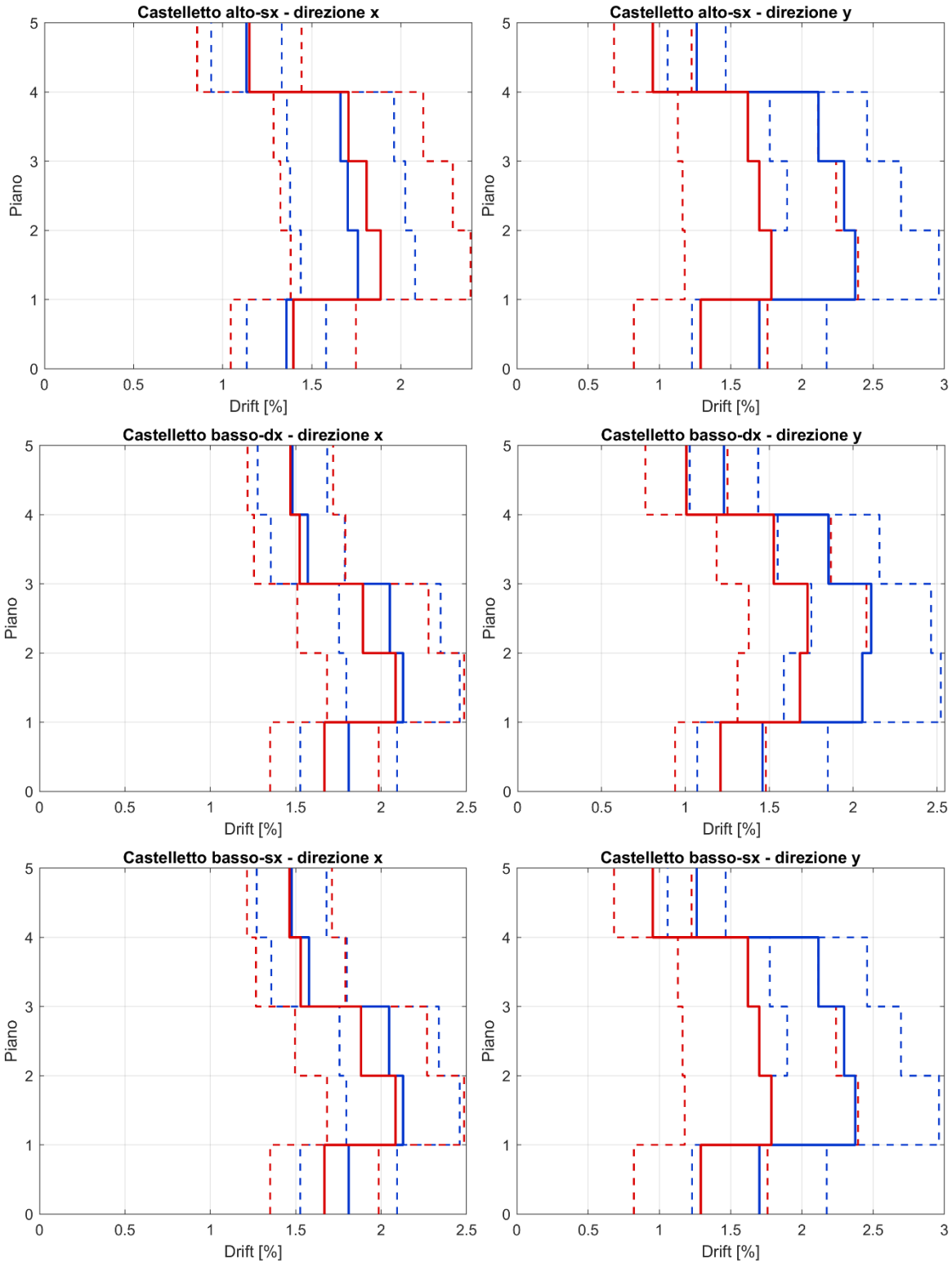

Edificio alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

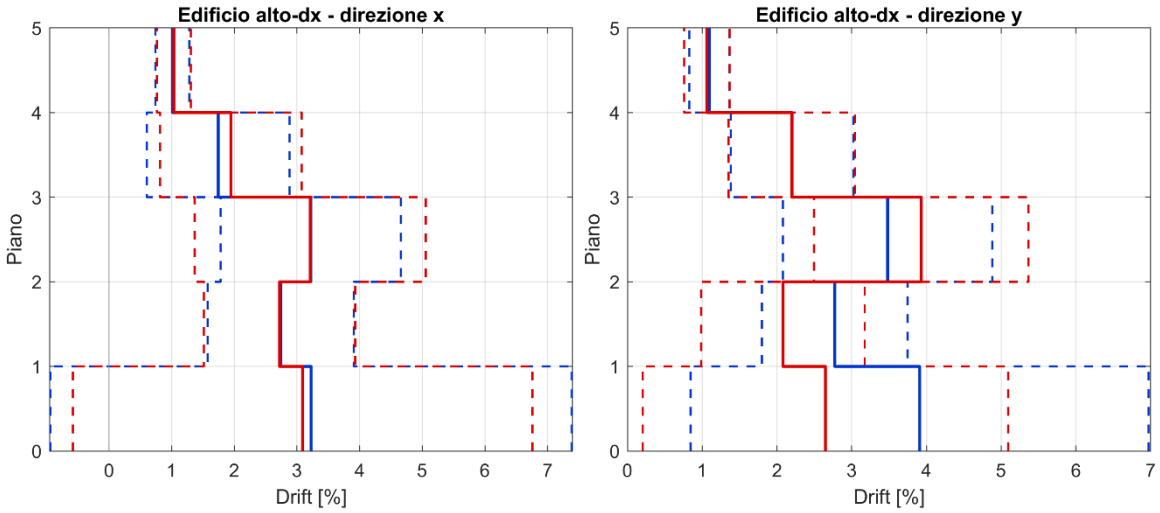

Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]


Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

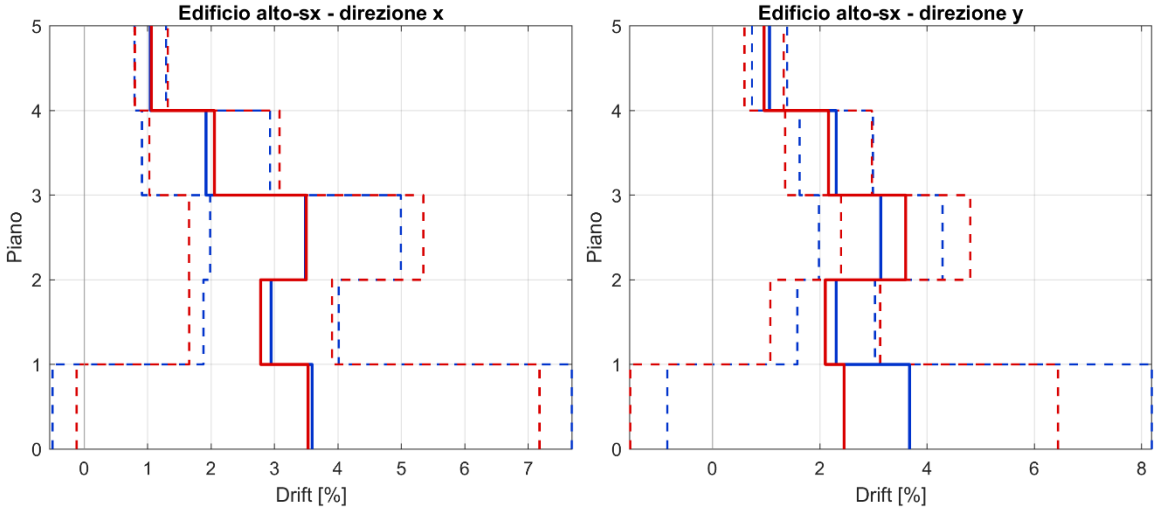
RP2475


Edificio basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Edificio basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Castelletto alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

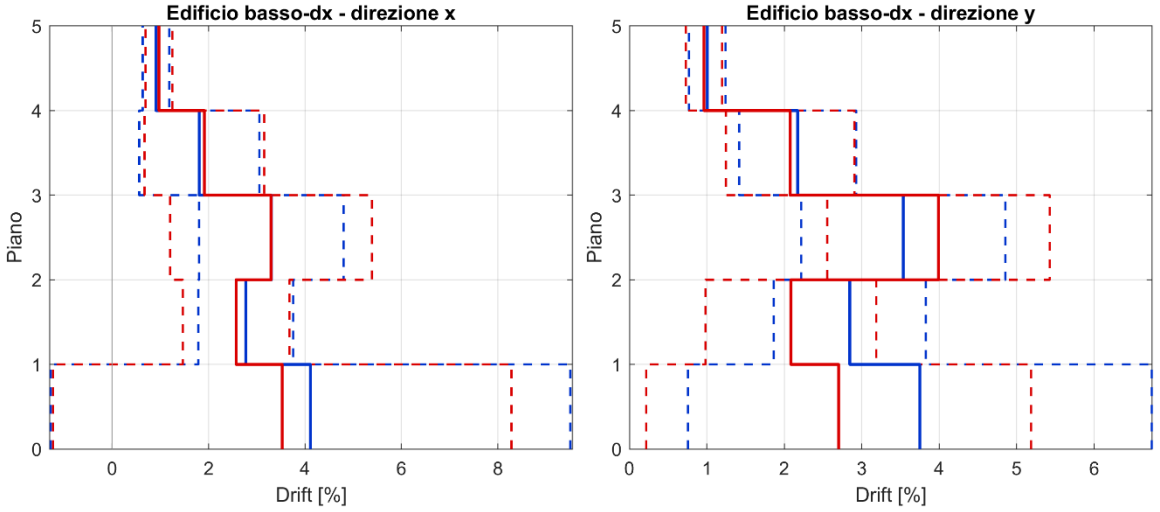

Castelletto alto-sx - direzione x
Castelletto alto-sx - direzione y
Castelletto basso-dx - direzione x
Castelletto basso-dx - direzione y
Castelletto basso-sx - direzione x
Castelletto basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]


Edificio alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

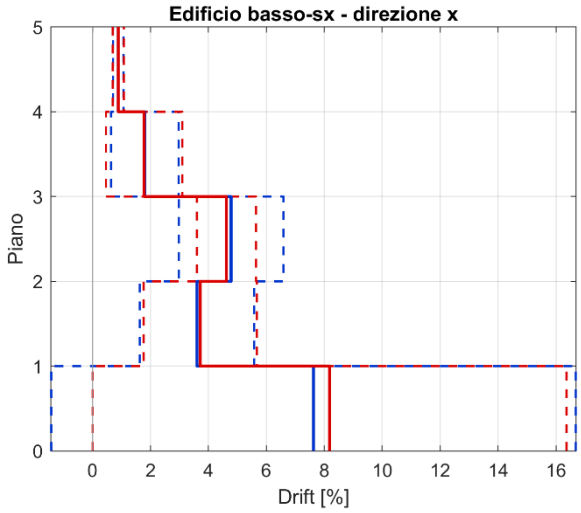

Edificio alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

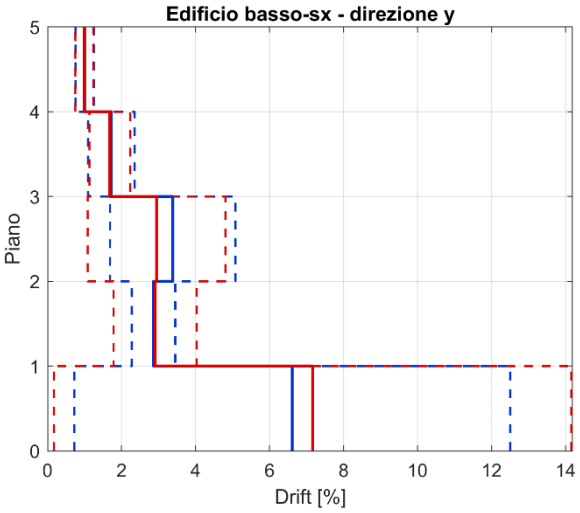
Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

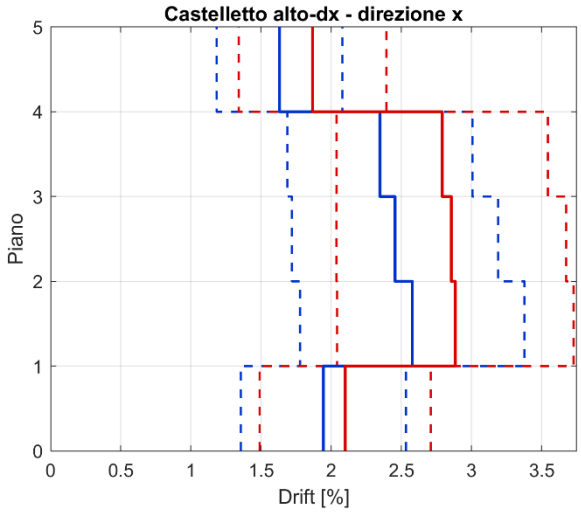

Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]

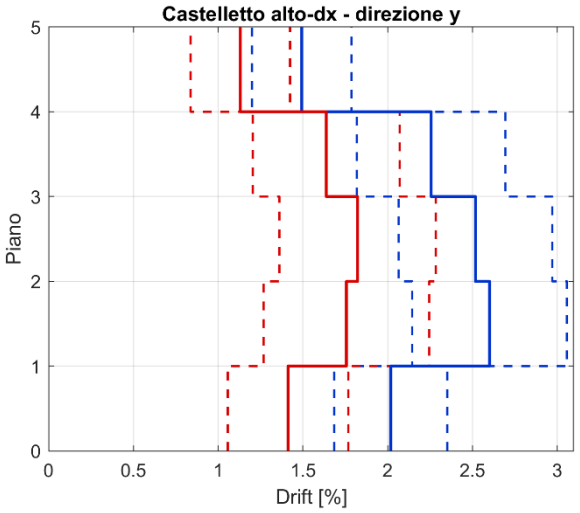
Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

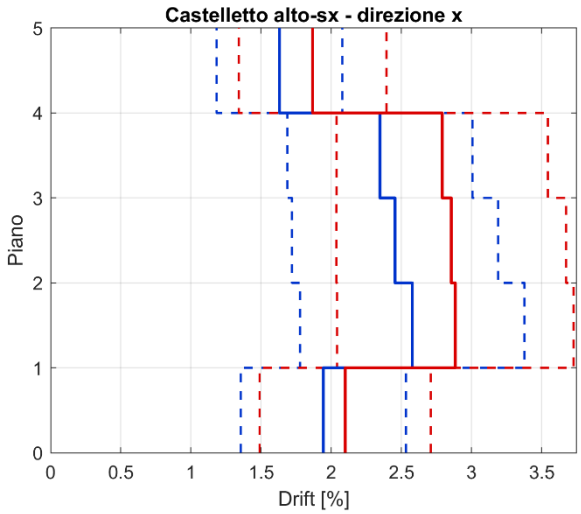
RP4975

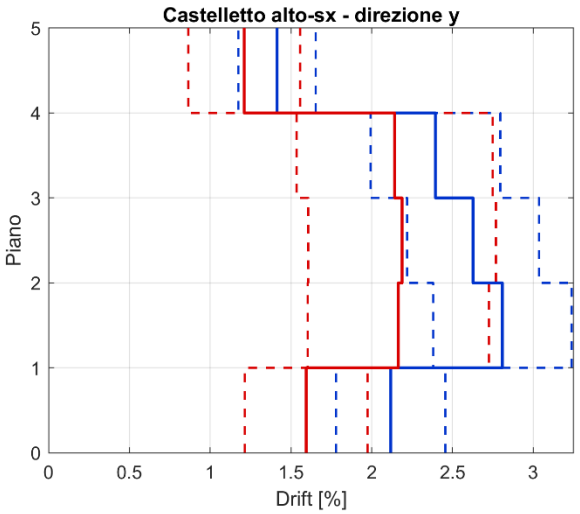

Edificio basso-sx - direzione x
Piano
Drift [%]

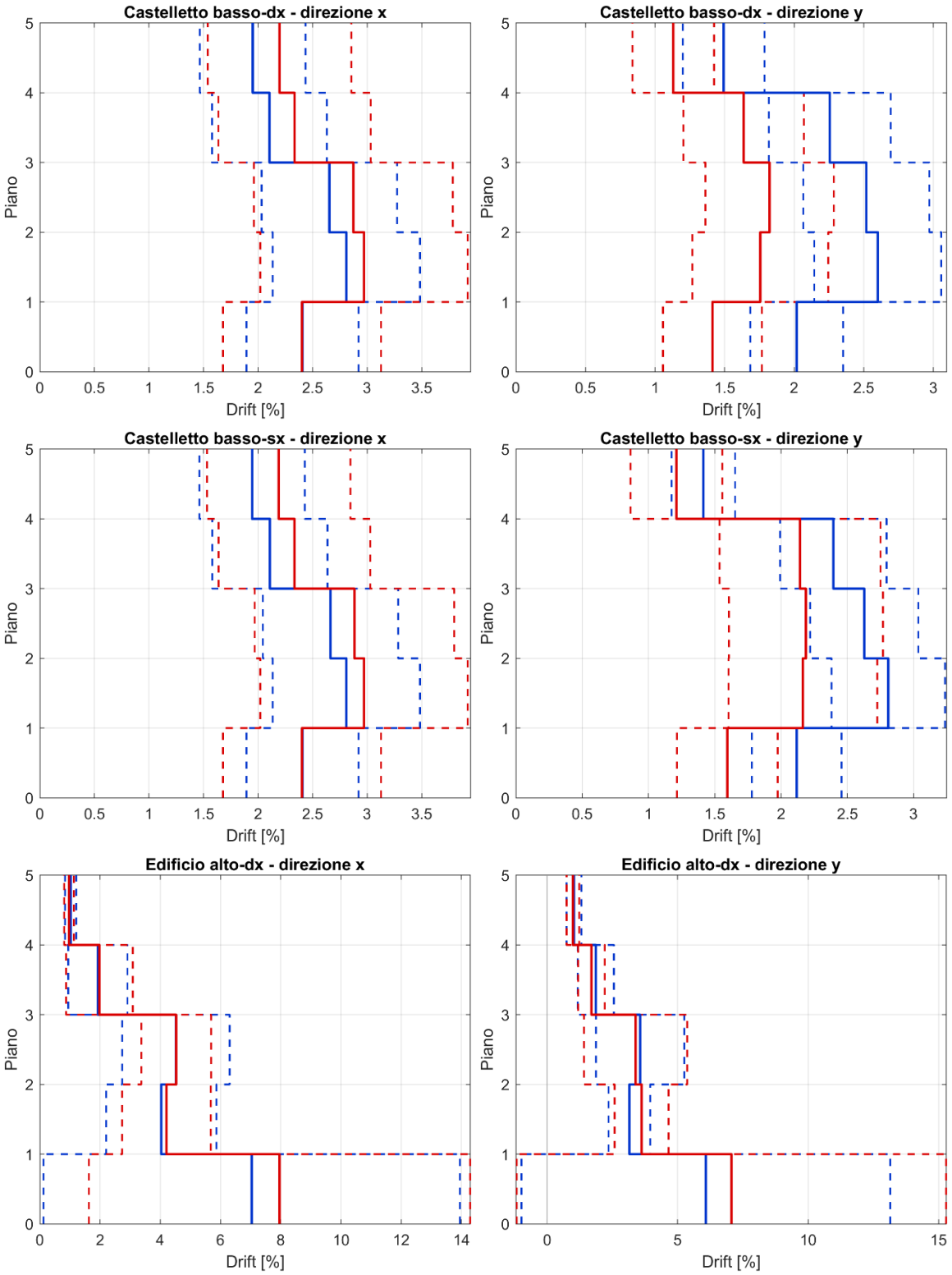

Edificio basso-sx - direzione y
Piano
Drift [%]

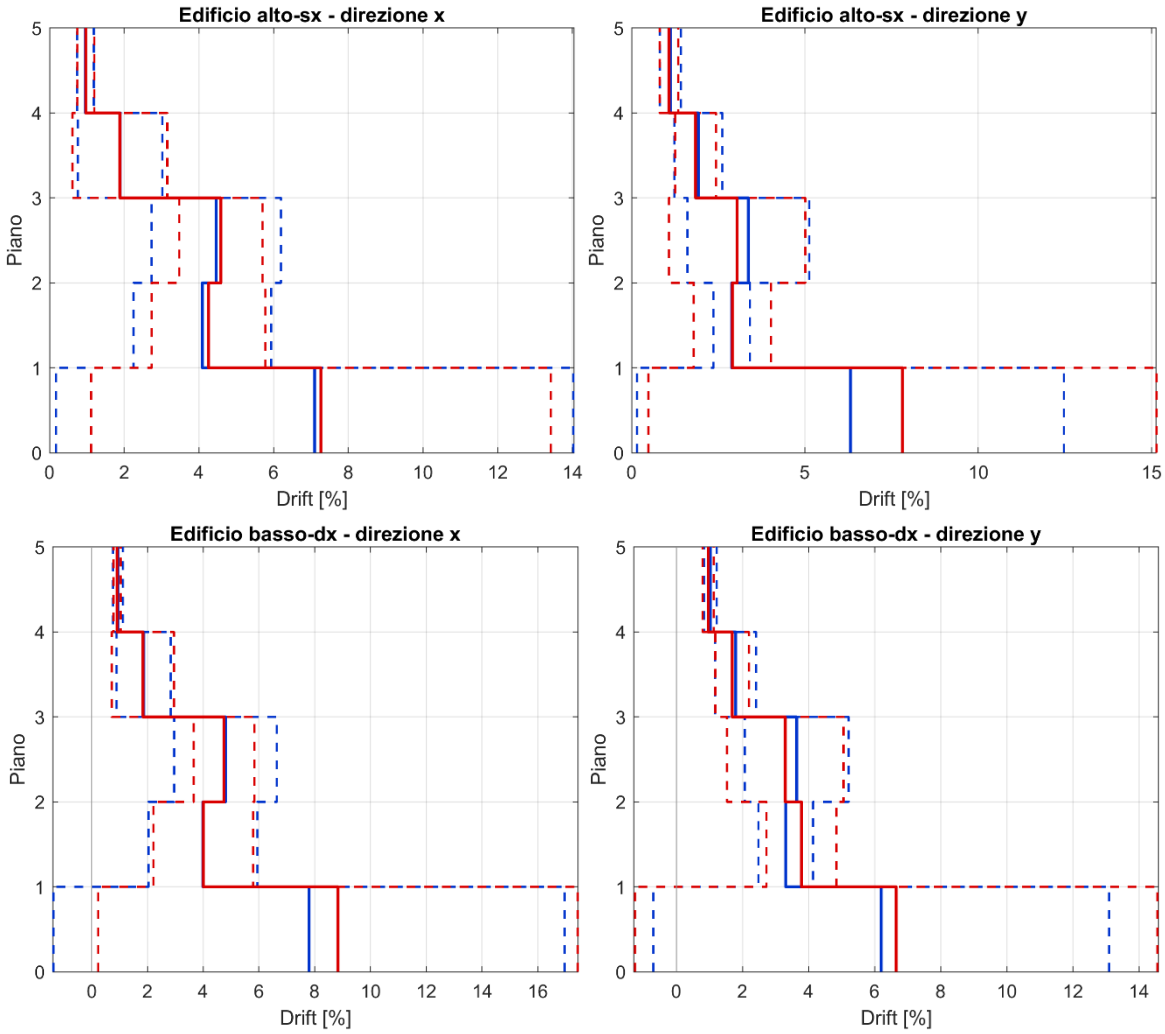

Castelletto alto-dx - direzione x
Piano
Drift [%]


Castelletto alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]


Castelletto alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]


Castelletto alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]


Castelletto basso-dx - direzione x
Castelletto basso-dx - direzione y
Castelletto basso-sx - direzione x
Castelletto basso-sx - direzione y
Edificio alto-dx - direzione x
Edificio alto-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

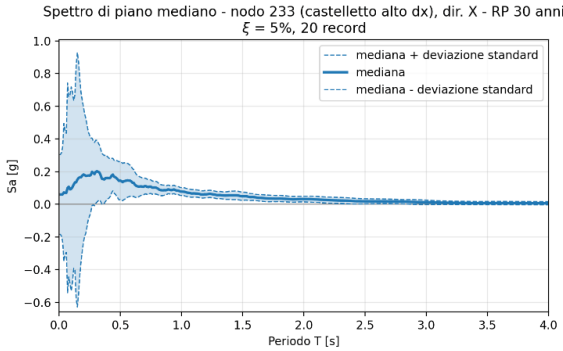

Edificio alto-sx - direzione x
Piano
Drift [%]
Edificio alto-sx - direzione y
Piano
Drift [%]
Edificio basso-dx - direzione x
Piano
Drift [%]
Edificio basso-dx - direzione y
Piano
Drift [%]

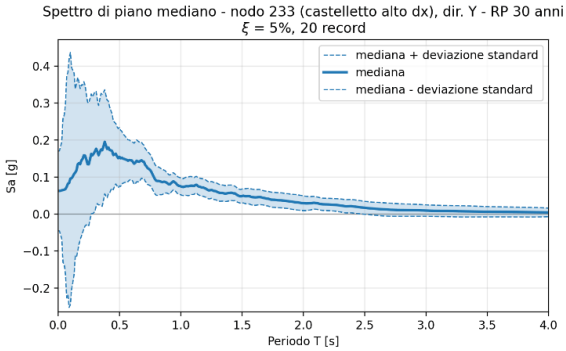
APPENDICE C – SPETTRI DI PIANO IN ACCELERAZIONE

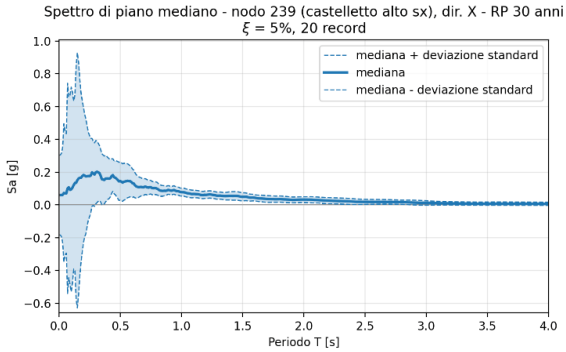
Si riportano gli spettri di risposta di piano in accelerazione assoluta, calcolati con uno smorzamento del 5% a partire dalle storie di accelerazione dei nodi di sommità. Si considerano i quattro spigoli dell'edificio e i quattro montanti del castelletto, indicati nella Tabella 5.3 con il numero del nodo in sommità nel modello e la posizione in pianta secondo la nomenclatura della Figura 5.1.

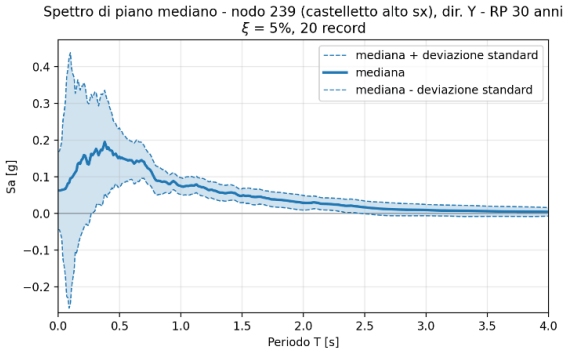
C.1 Modello castelletto incernierato

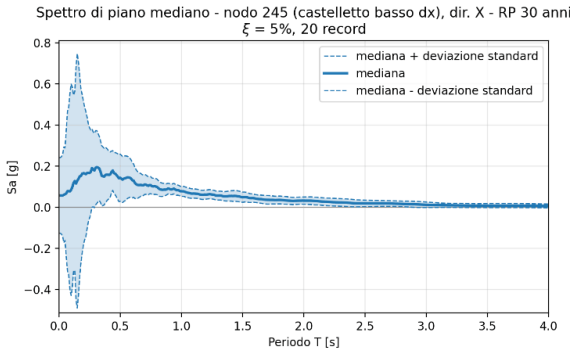
RP30

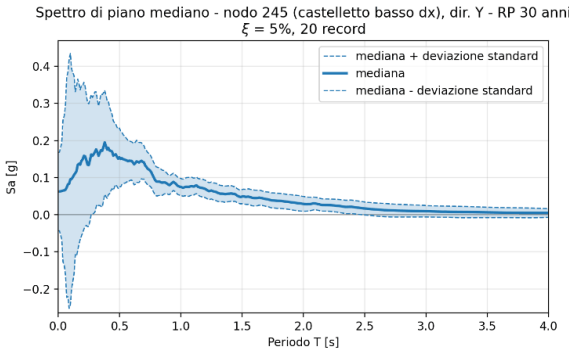


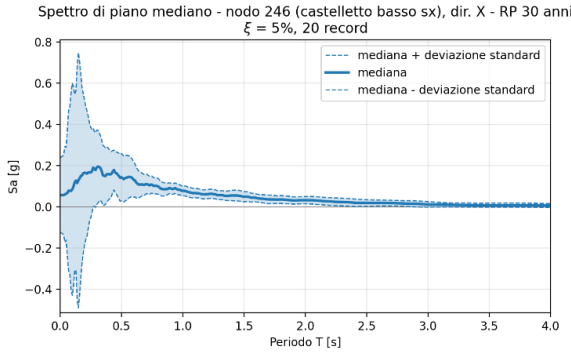


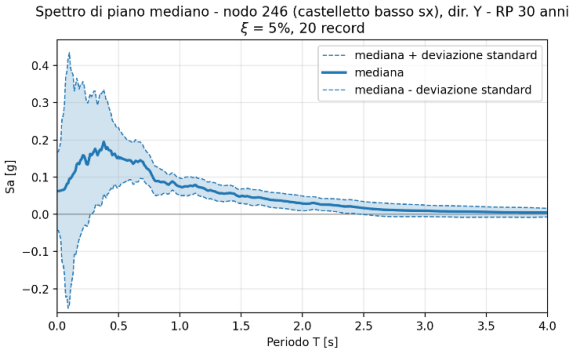




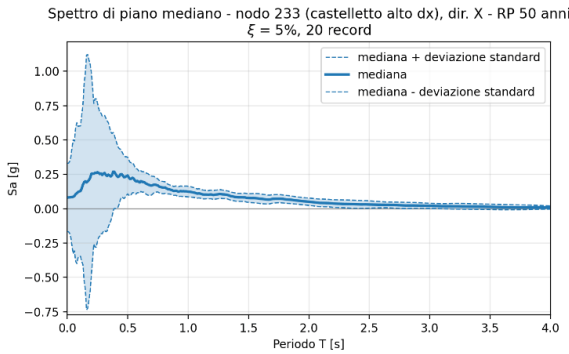


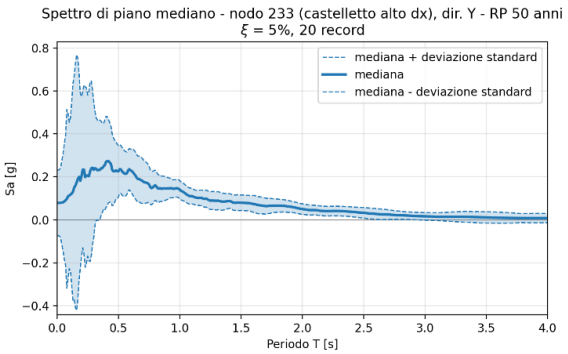


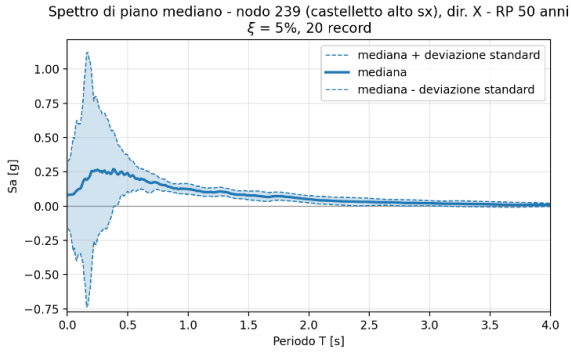

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

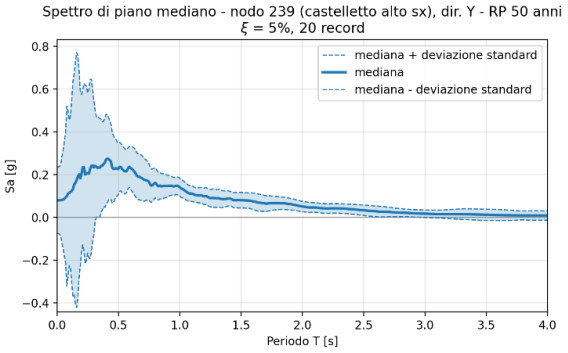

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

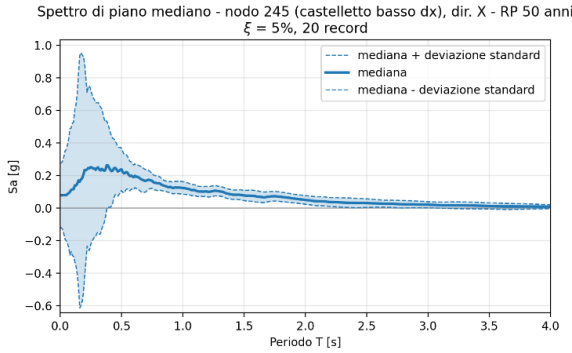
RP50

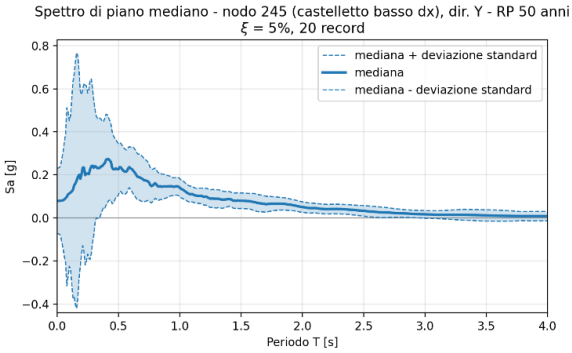

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

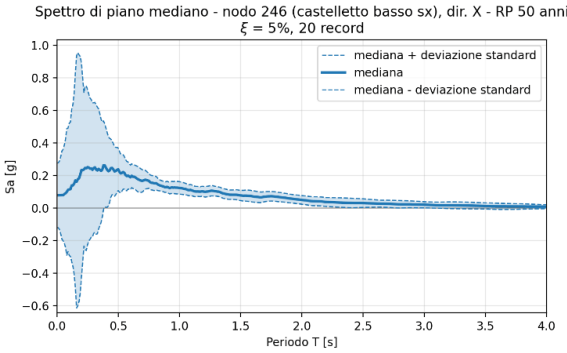

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

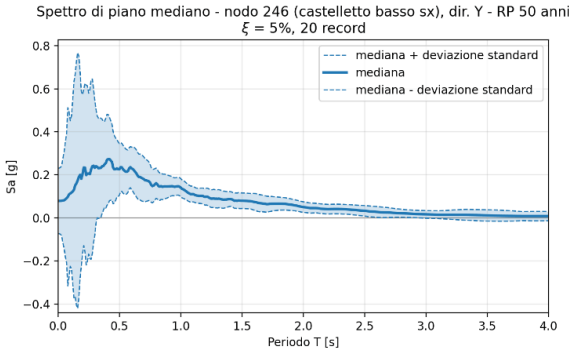

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

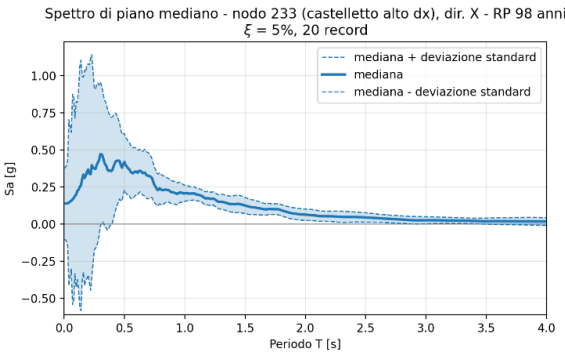

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

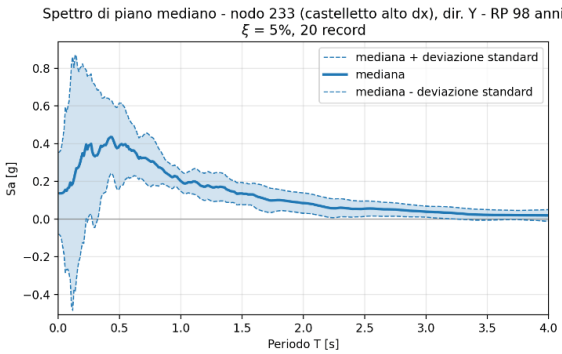

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

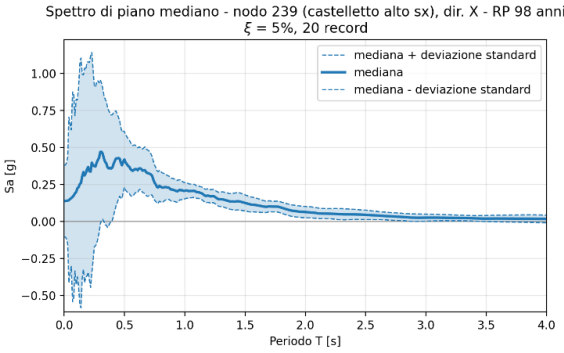

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

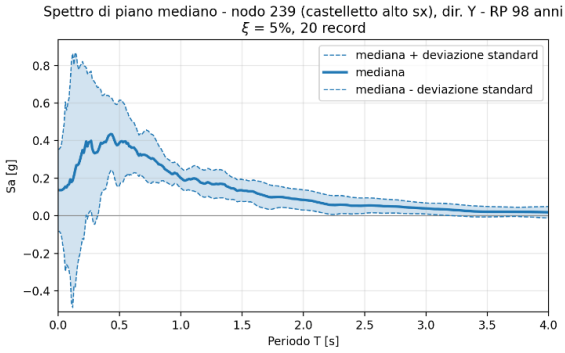

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

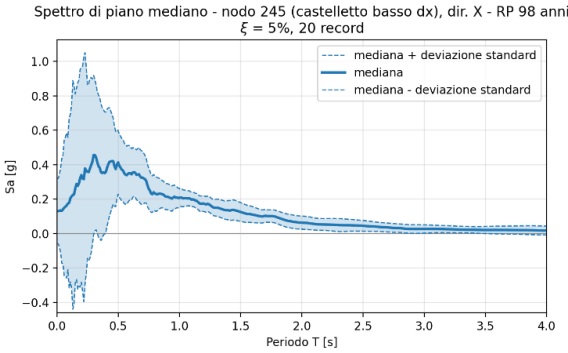
RP98

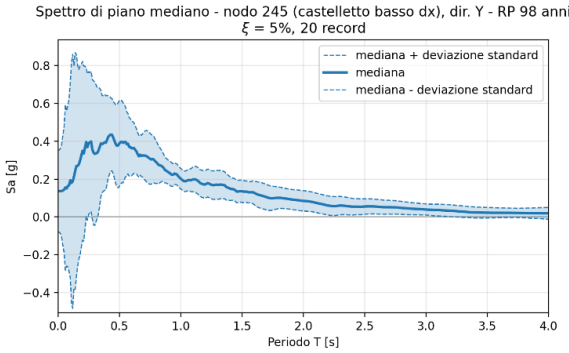

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

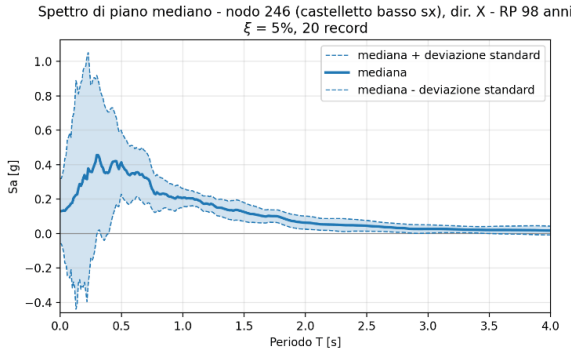

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

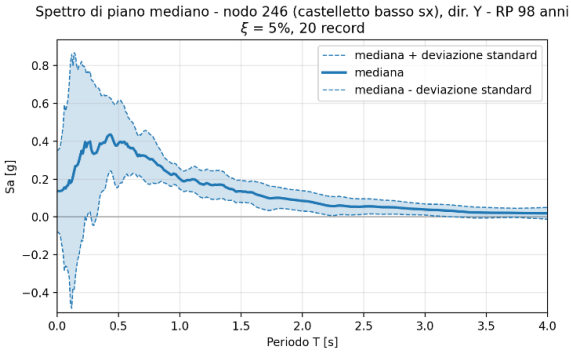

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

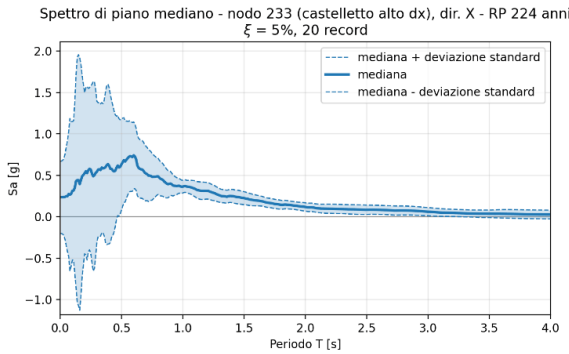

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

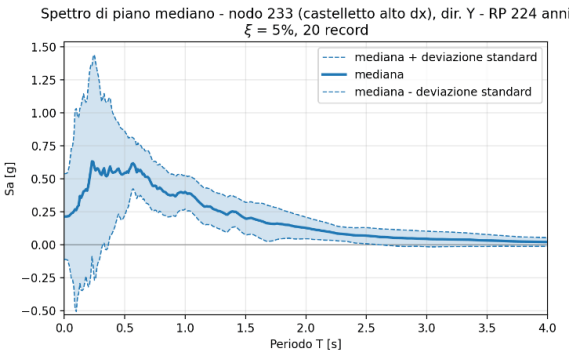

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

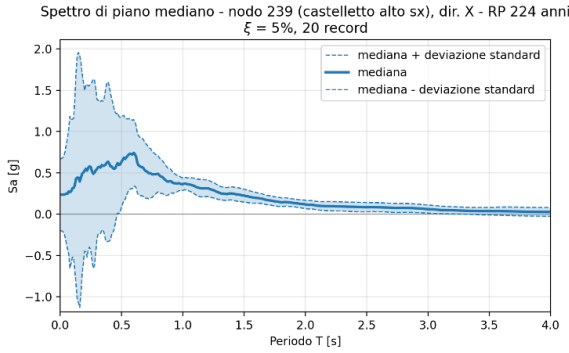

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

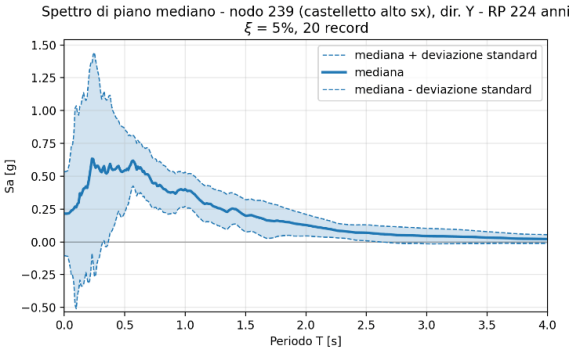

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

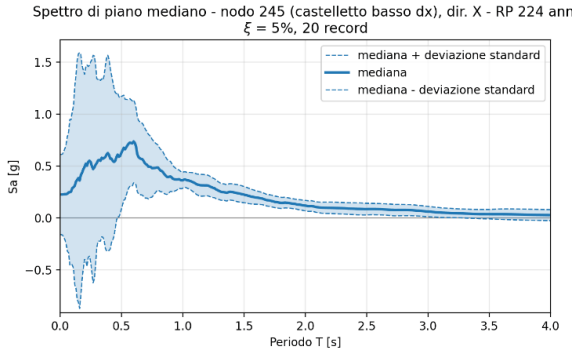
RP224

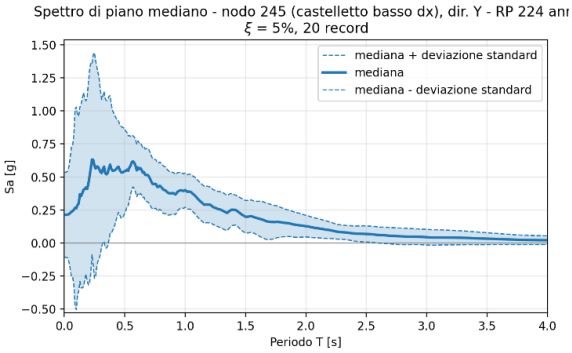

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

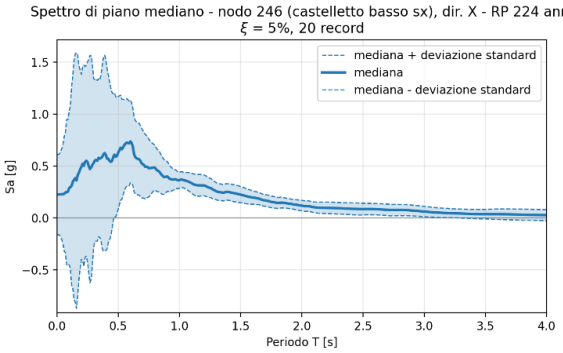

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

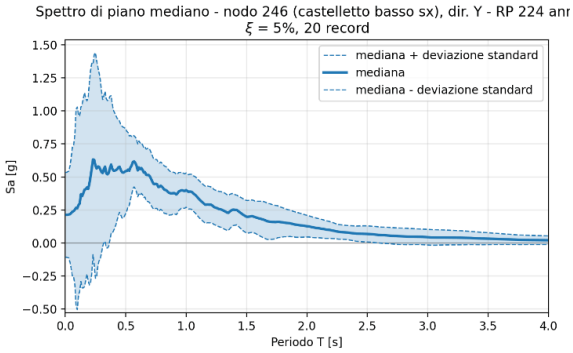

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

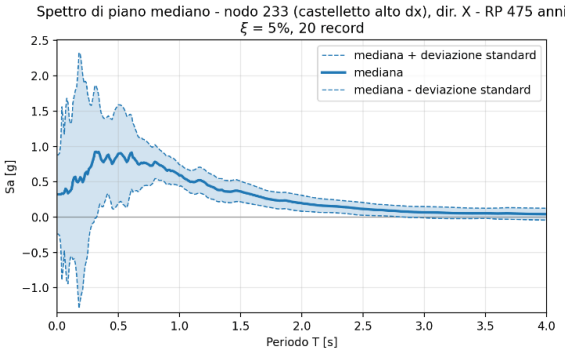

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

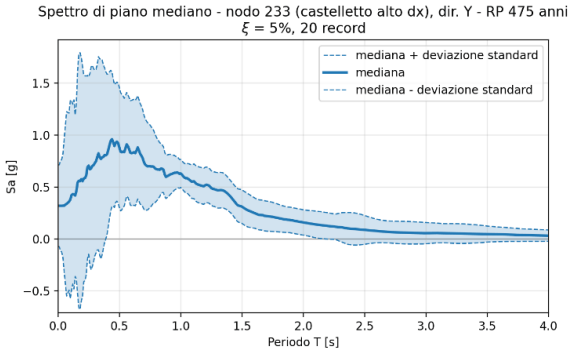

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

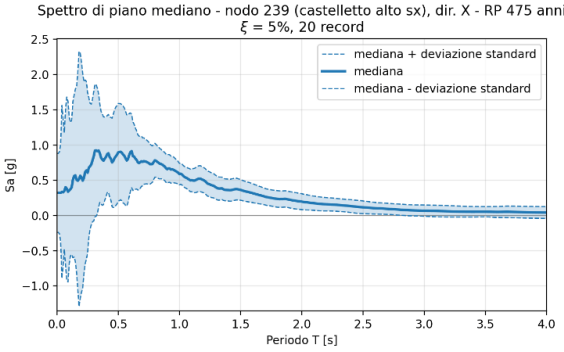

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 224 ann
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

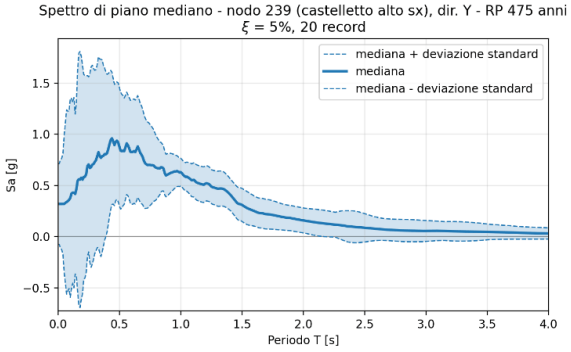

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 224 anr
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

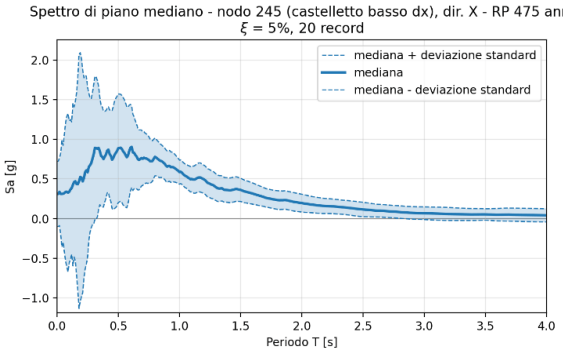
RP475

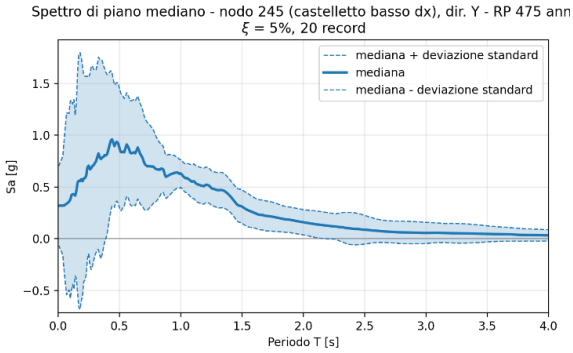

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

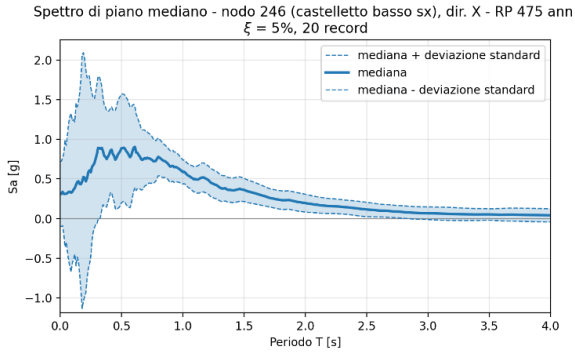

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

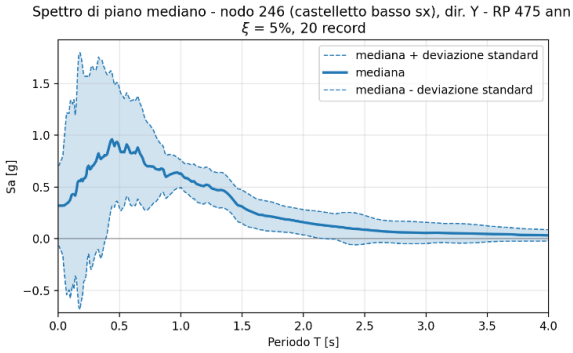

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

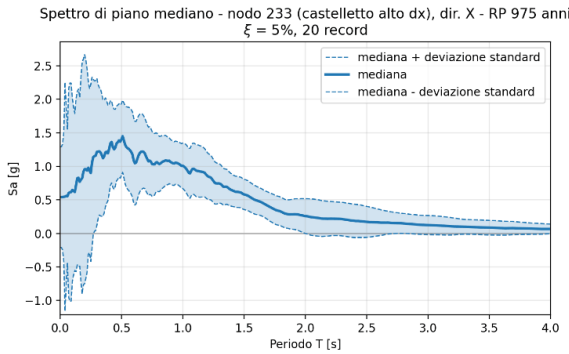

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 475 ann
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

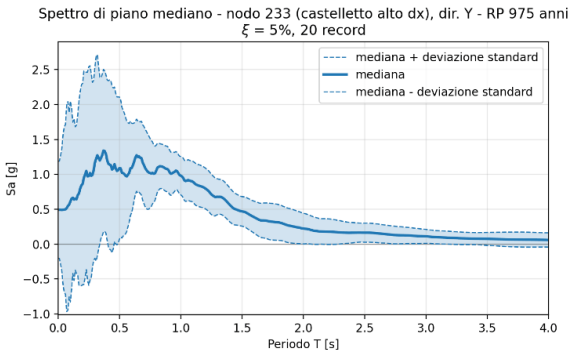

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 475 ann
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

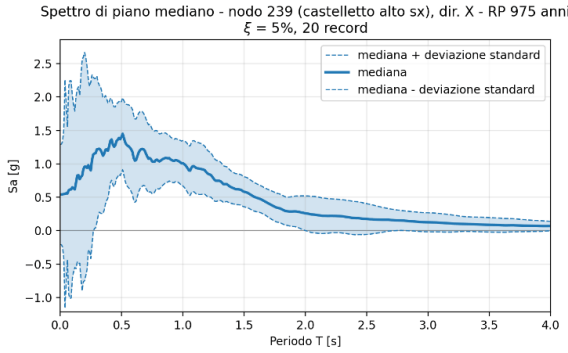

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 475 ann
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

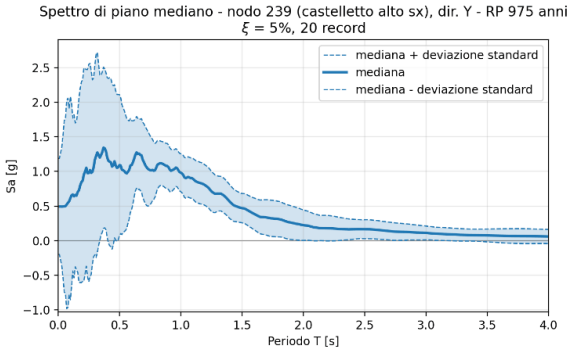

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 475 ann
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

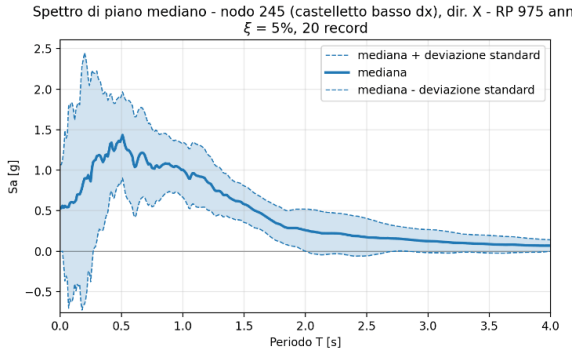
RP975

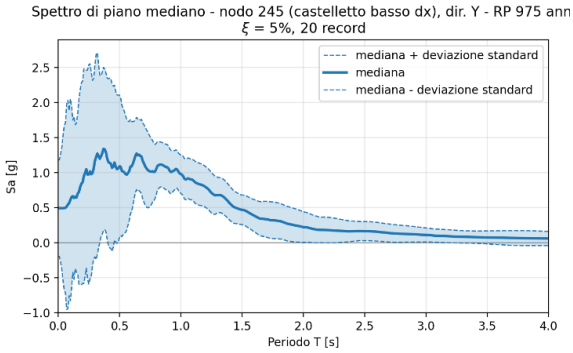

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

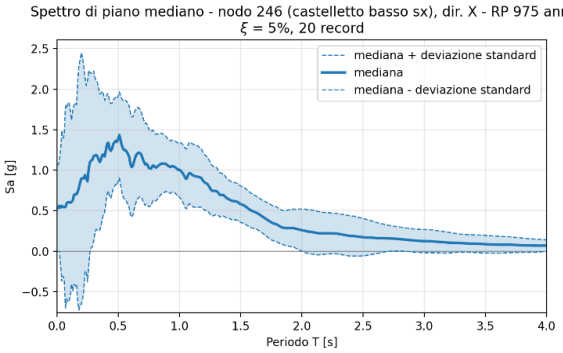

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

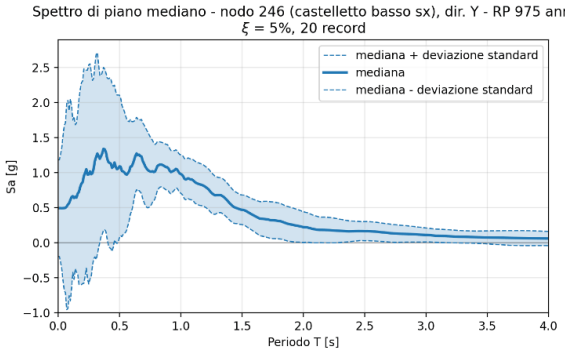

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

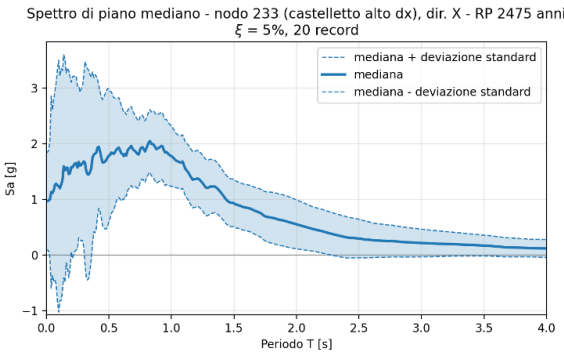

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 975 ann
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

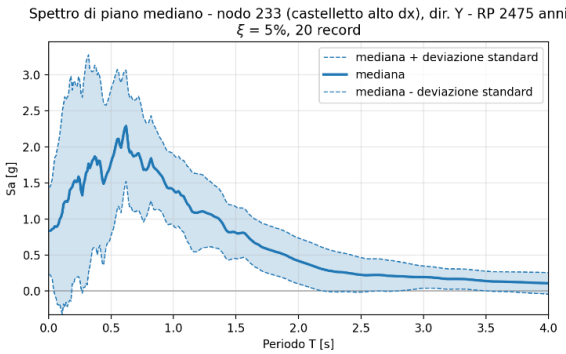

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 975 ann
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

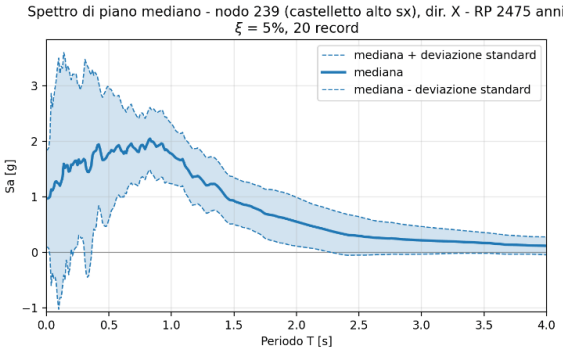

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 975 ann
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

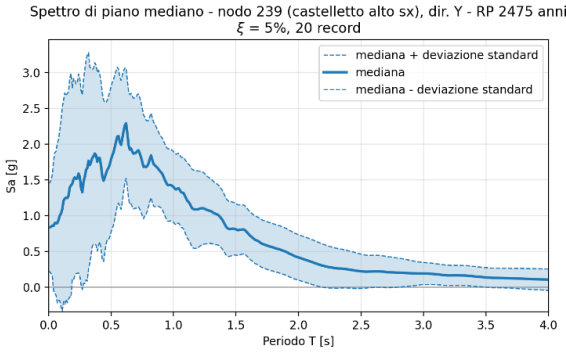

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 975 ann
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

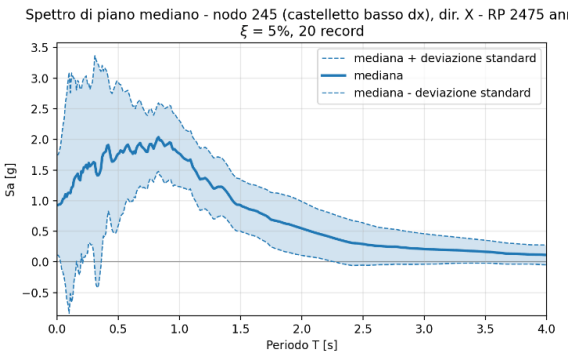
RP2475

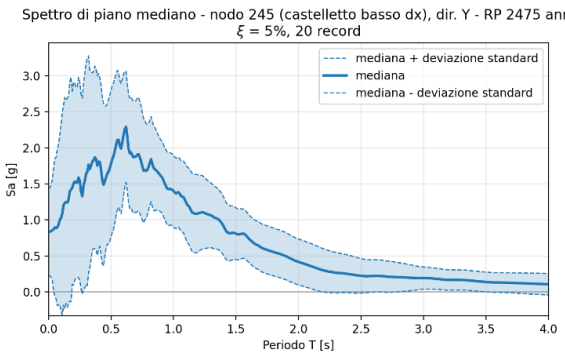

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

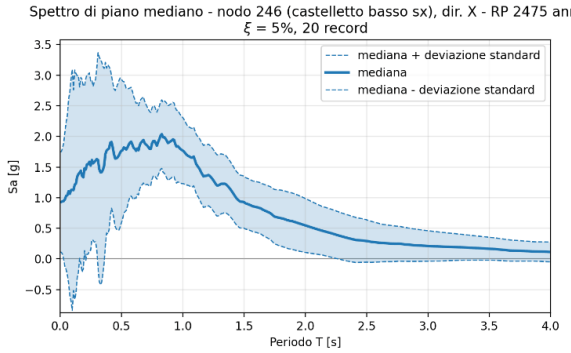

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

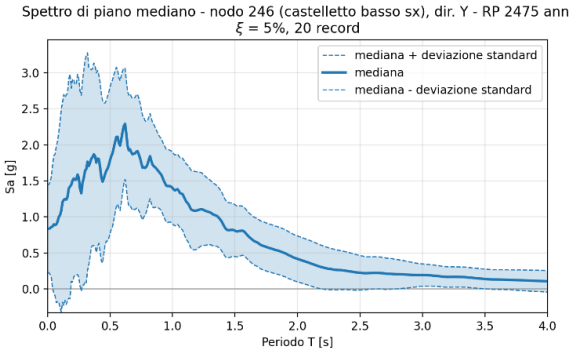

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

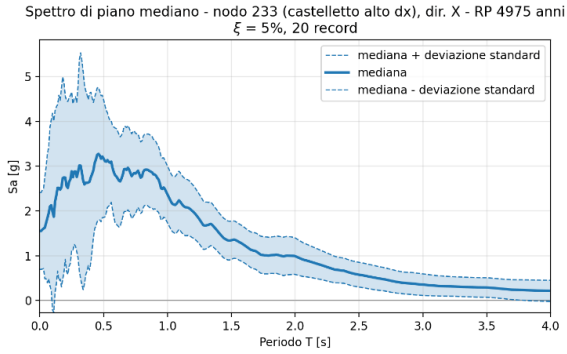

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 2475 ani
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

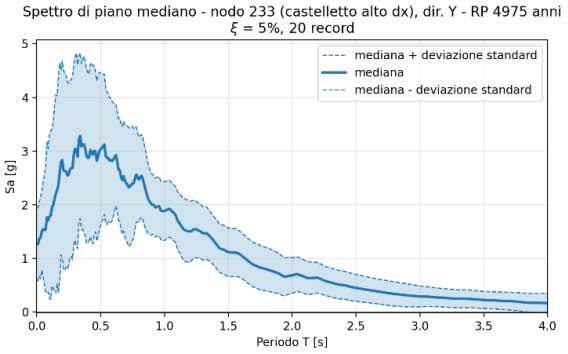

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 2475 ann
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

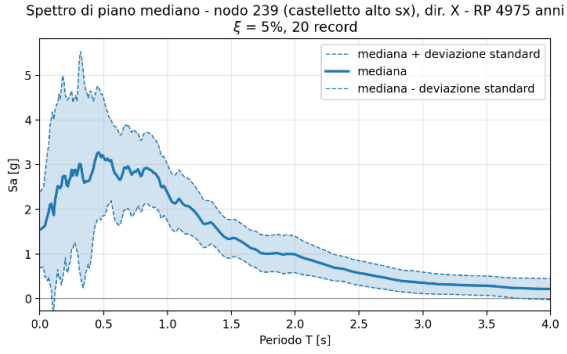

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 2475 ani
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

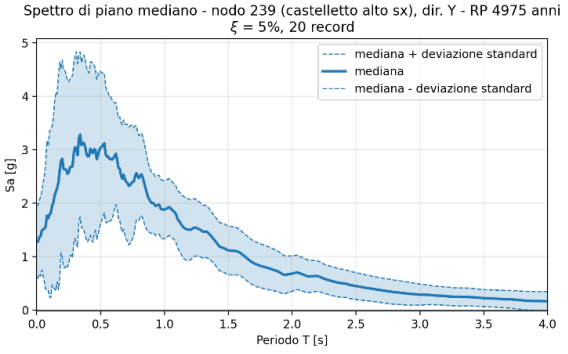

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 2475 ann
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

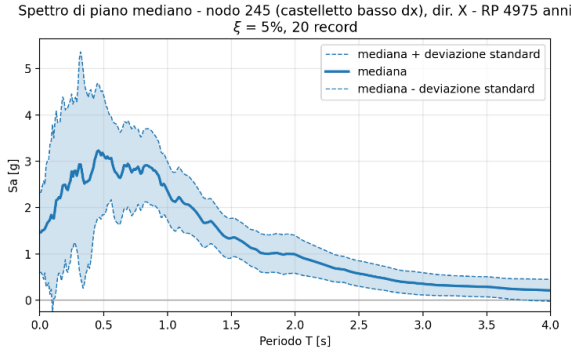
RP4975

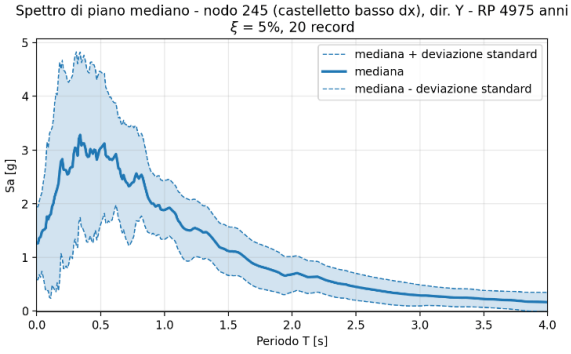

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

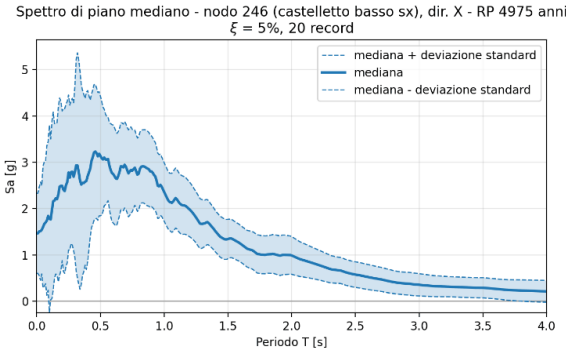

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

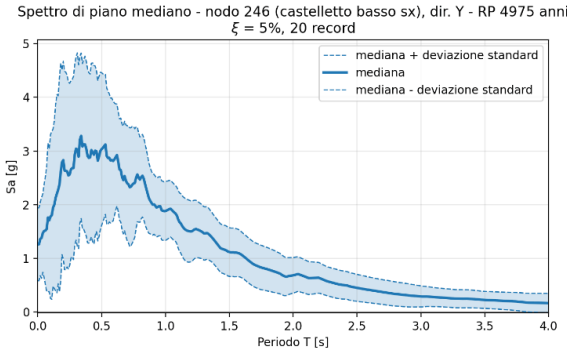

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

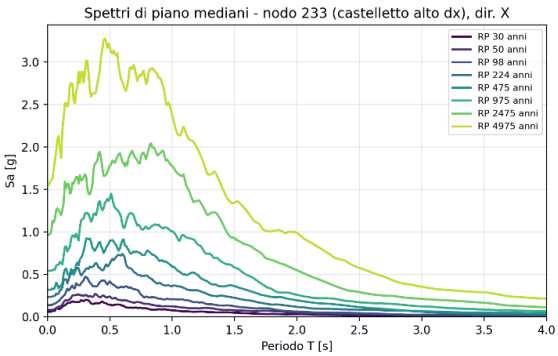

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

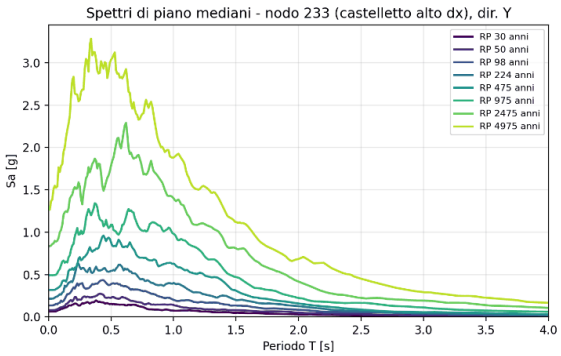

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

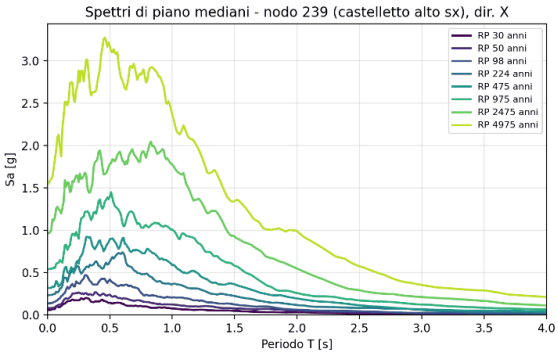

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

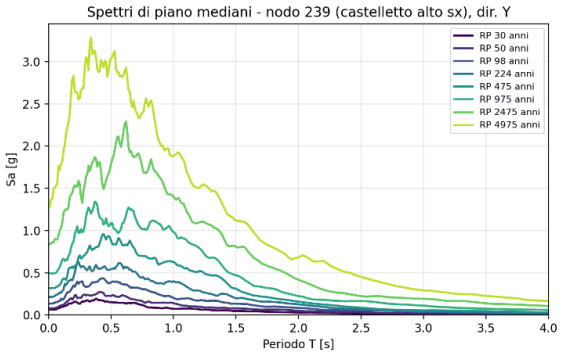

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

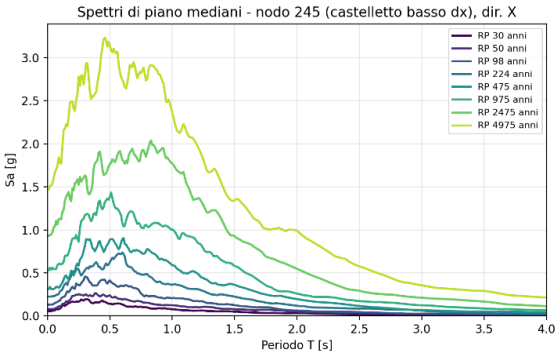
CONFRONTI

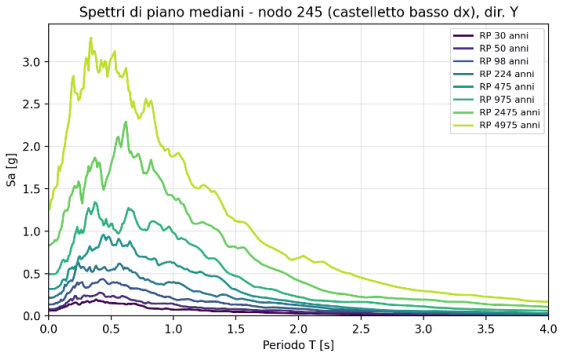

Spettri di piano mediani - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

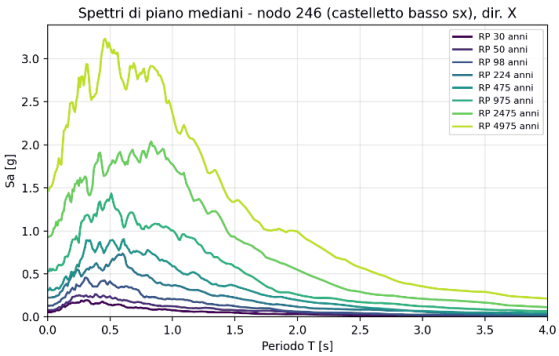

Spettri di piano mediani - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

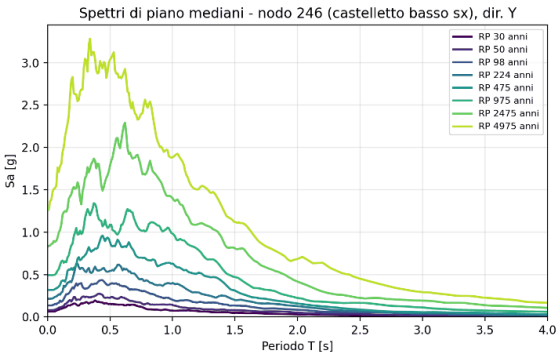

Spettri di piano mediani - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettri di piano mediani - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettri di piano mediani - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

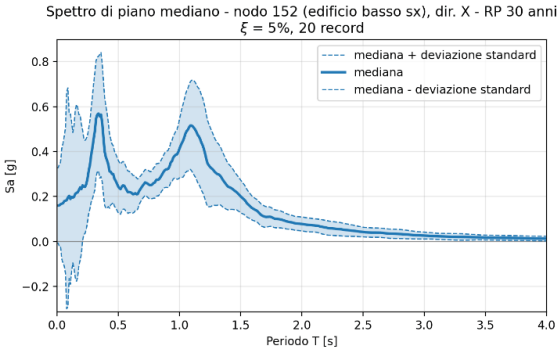

Spettri di piano mediani - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

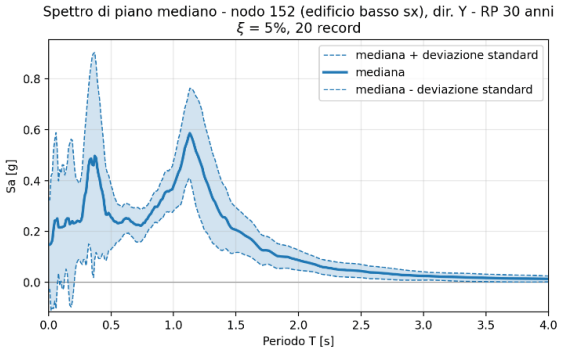

Spettri di piano mediani - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni

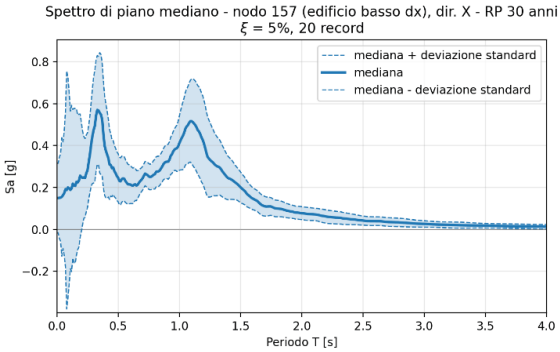

Spettri di piano mediani - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni

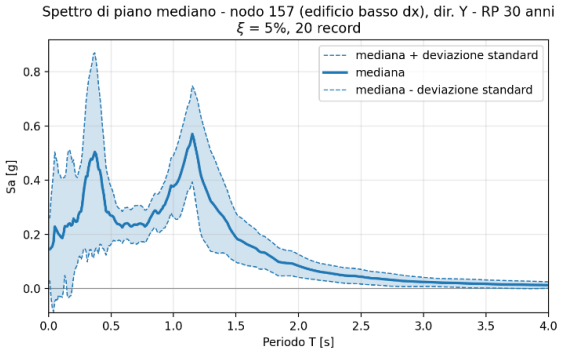
C.2 Modello edificio+castelletto con ancoraggi rigidi

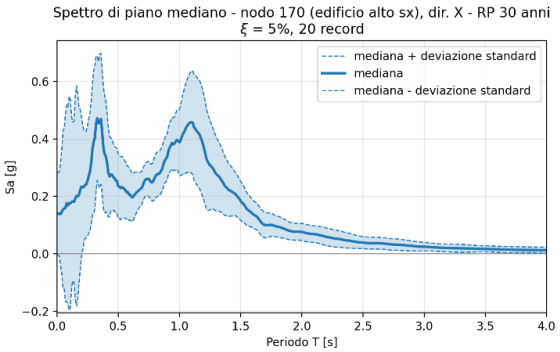
RP30

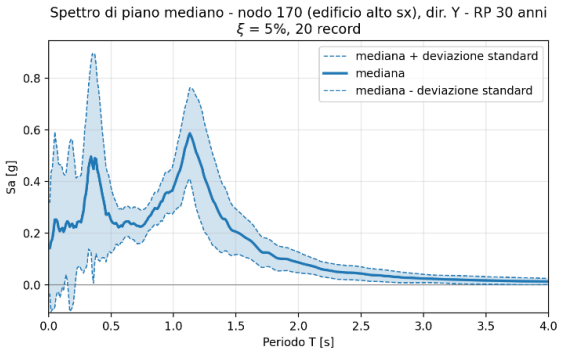


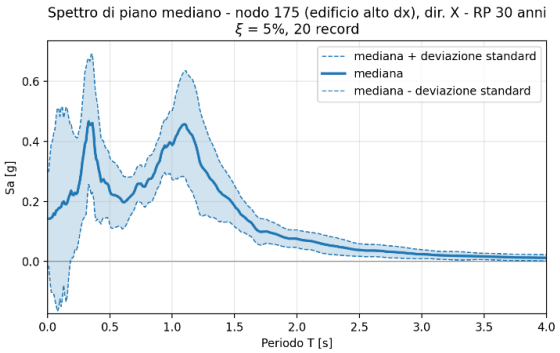


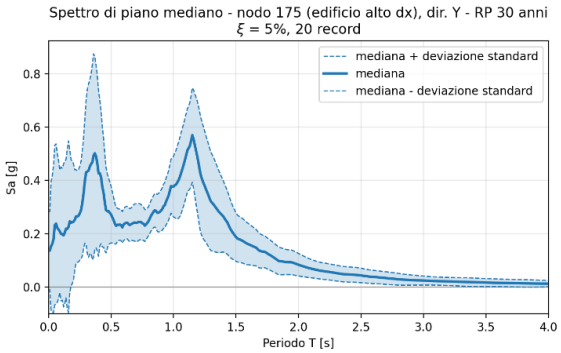


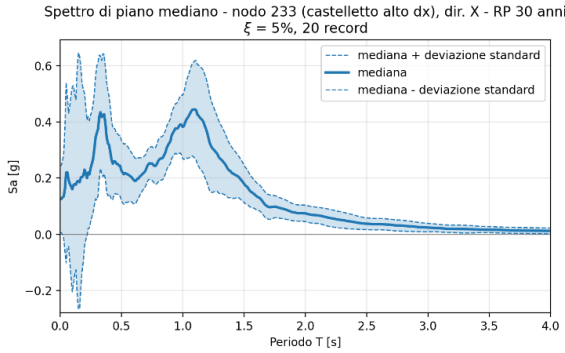


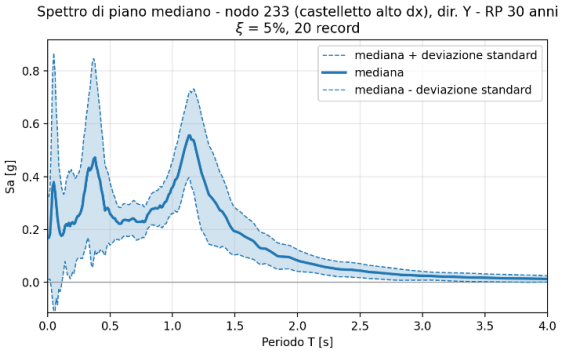


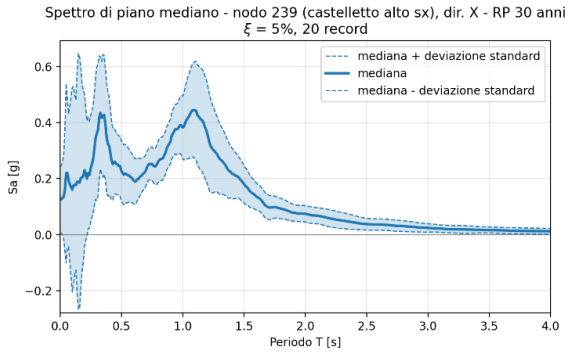


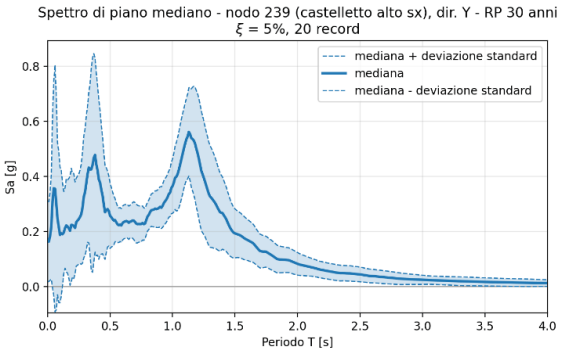


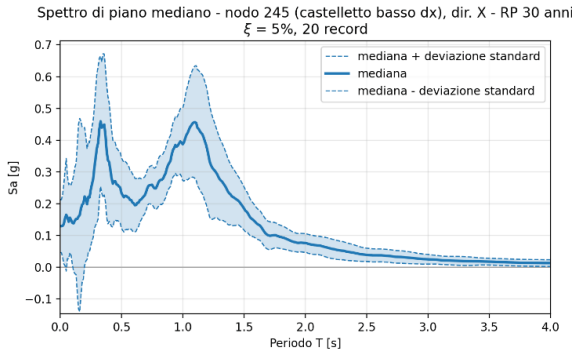


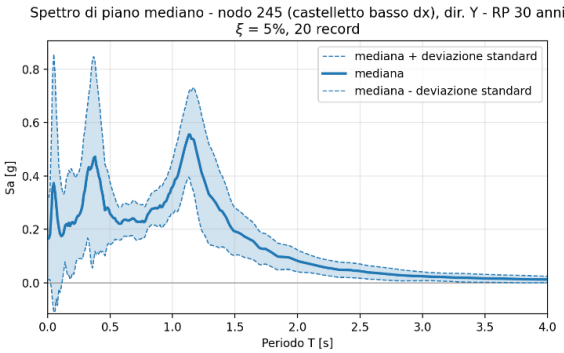

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

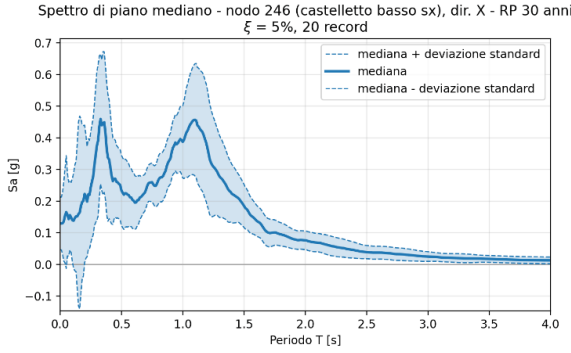

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

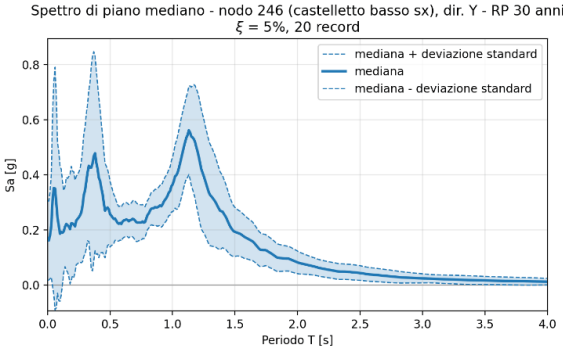

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

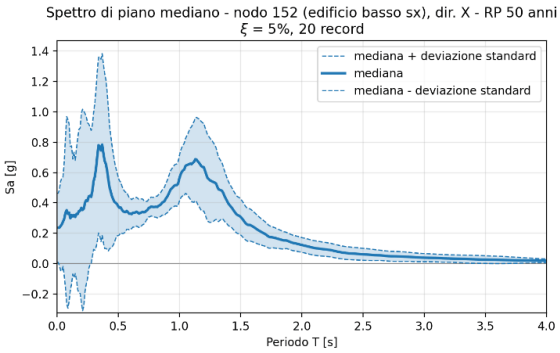

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

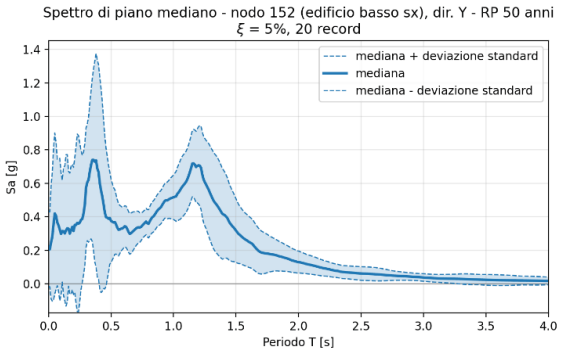

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

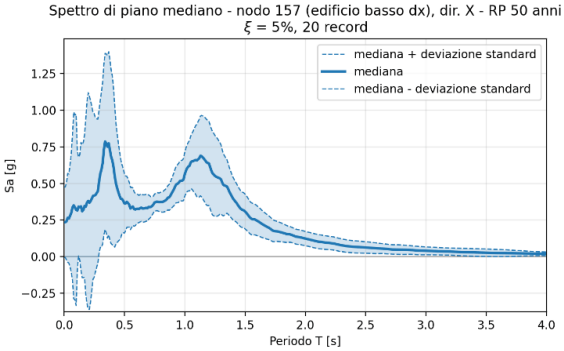

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

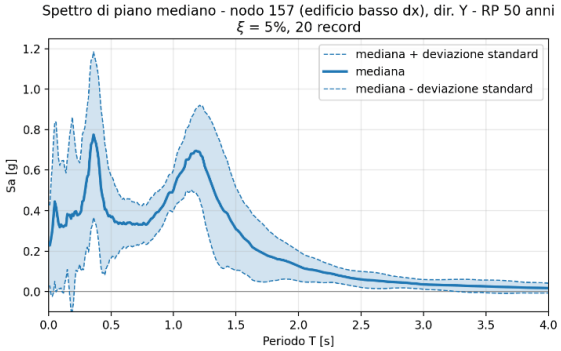

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

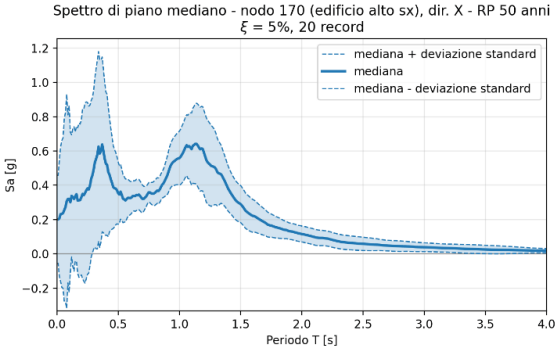
RP50

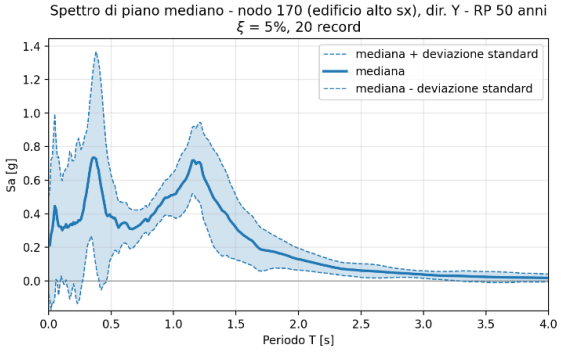

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

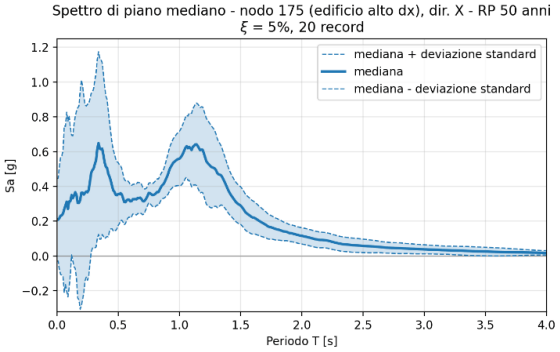

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

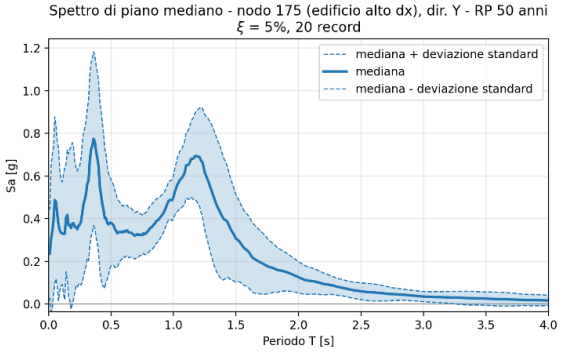

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

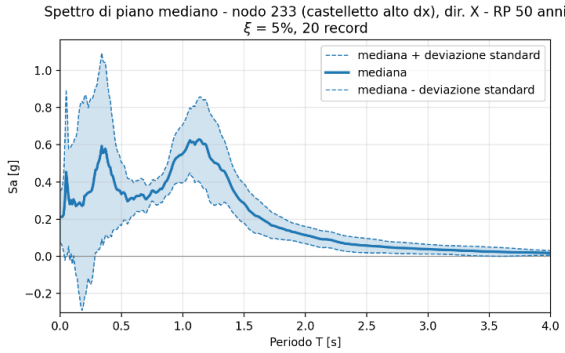

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

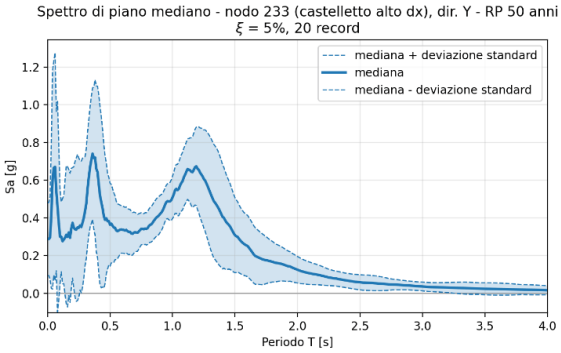

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

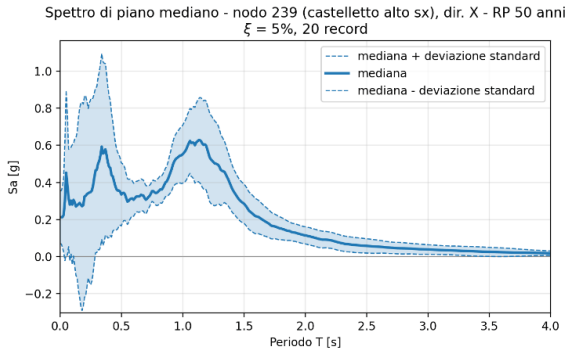

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

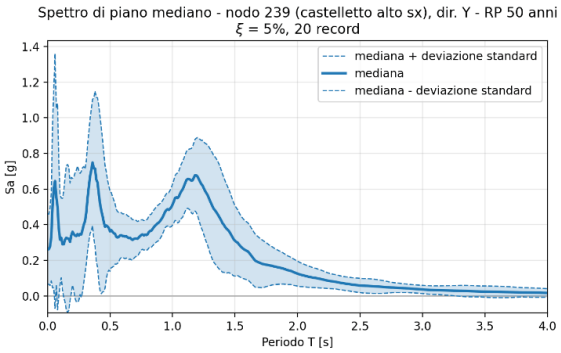

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

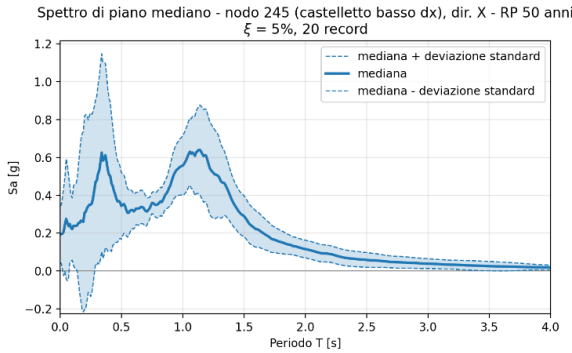

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

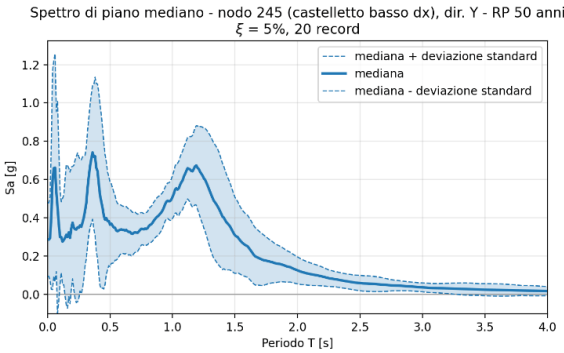

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

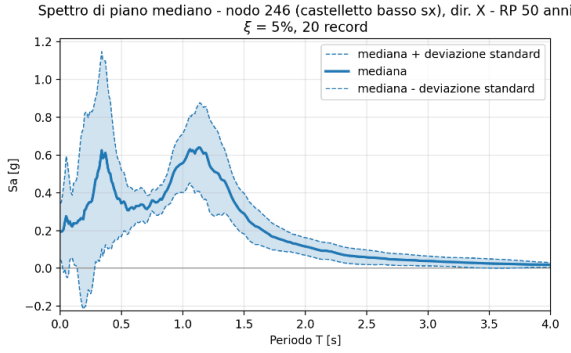

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

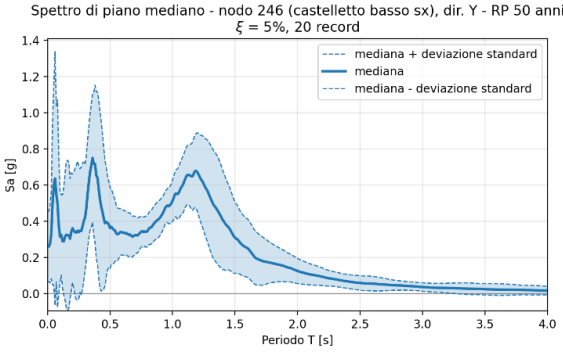

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

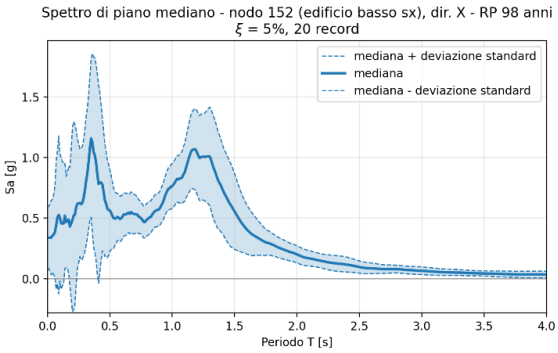

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

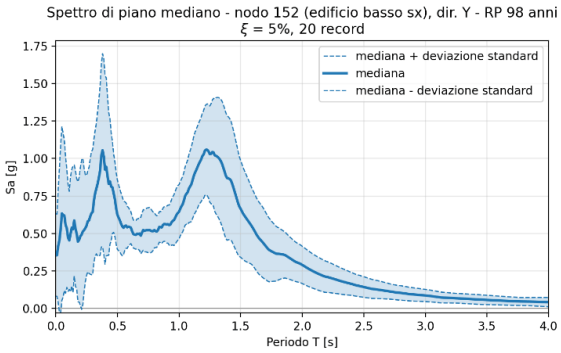

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

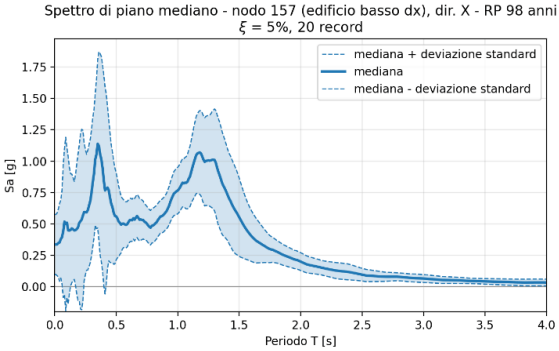

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

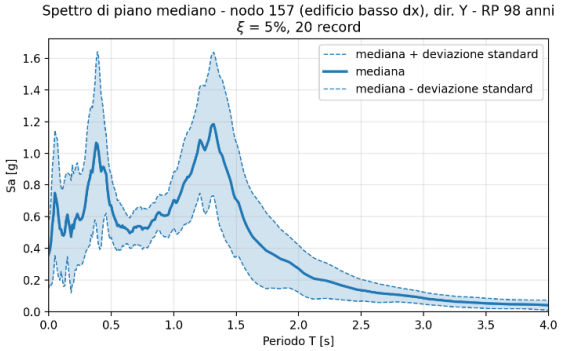

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

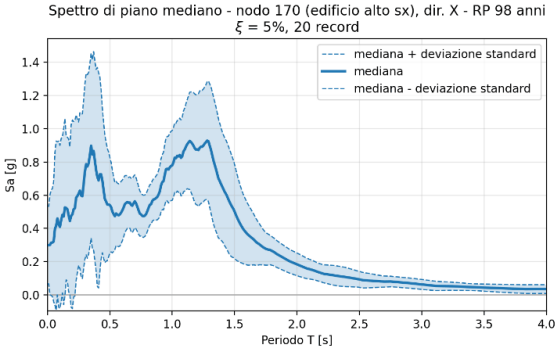
RP98

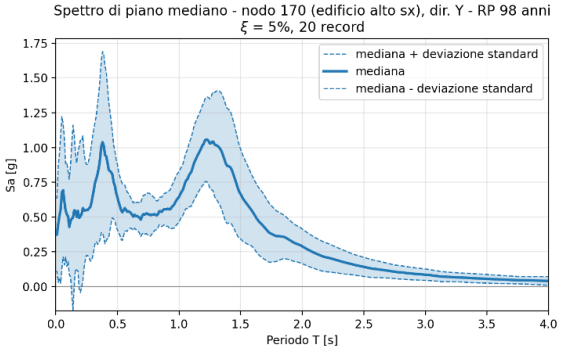

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

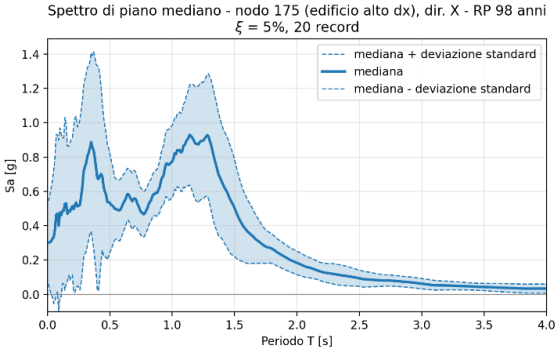

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

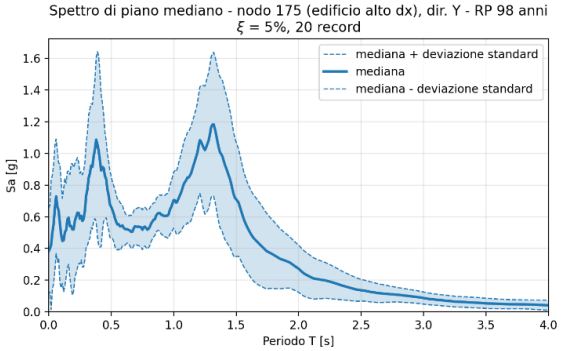

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

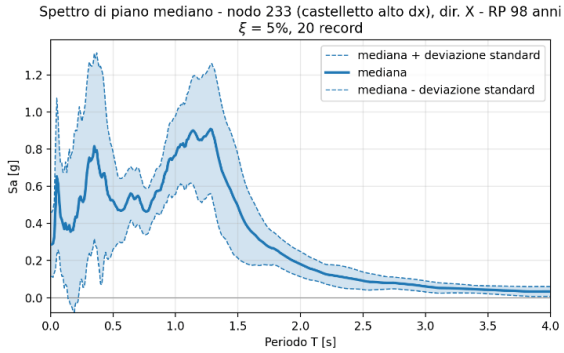

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

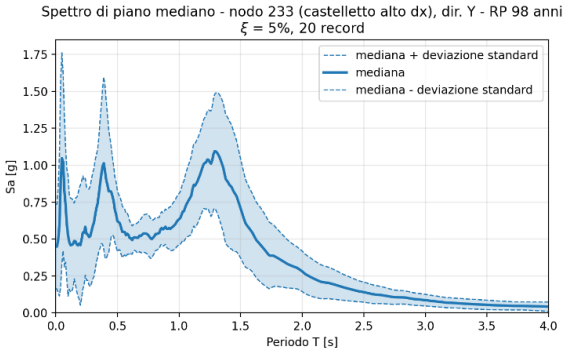

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

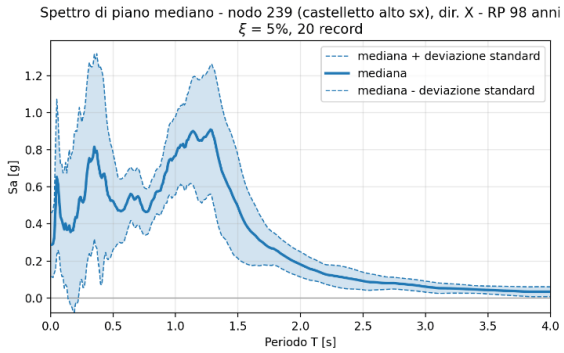

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

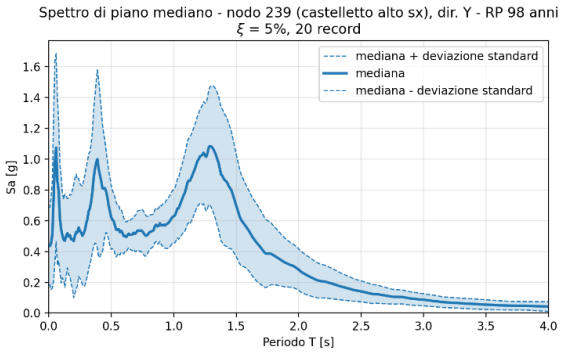

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

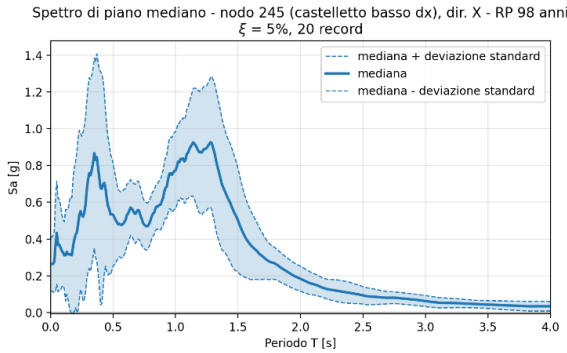

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

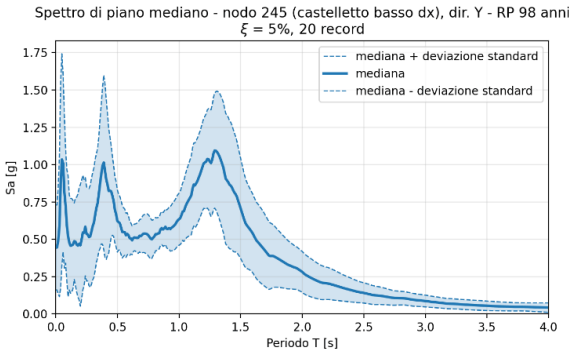

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

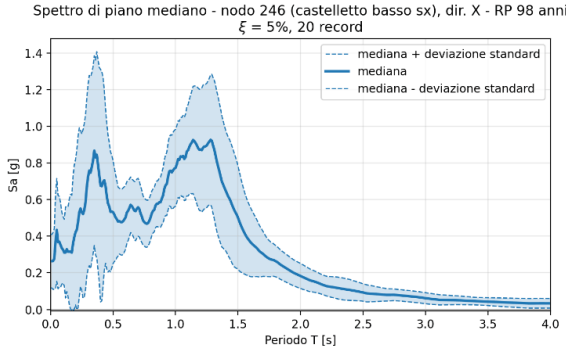

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

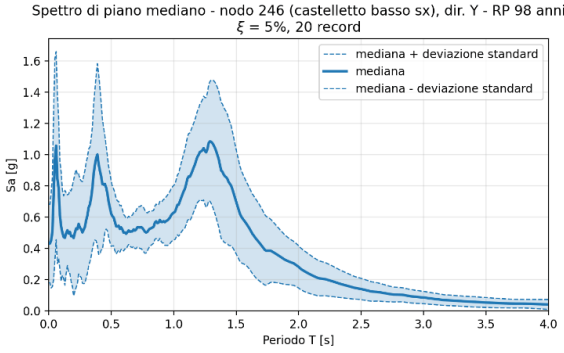

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

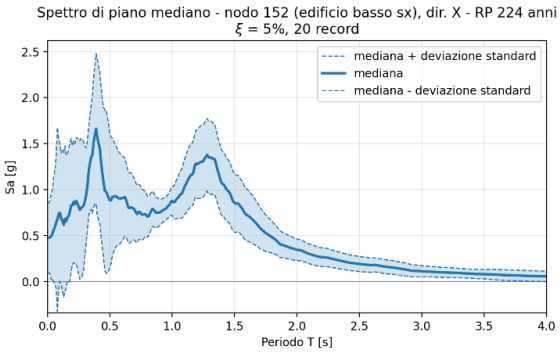

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

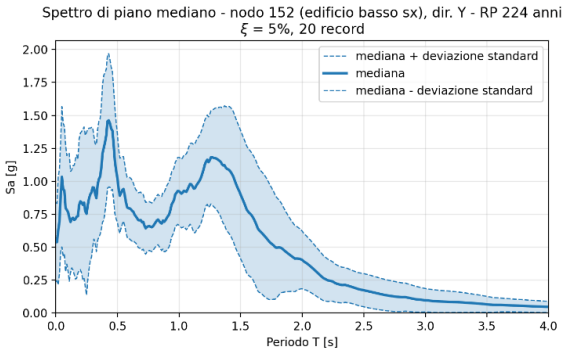

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

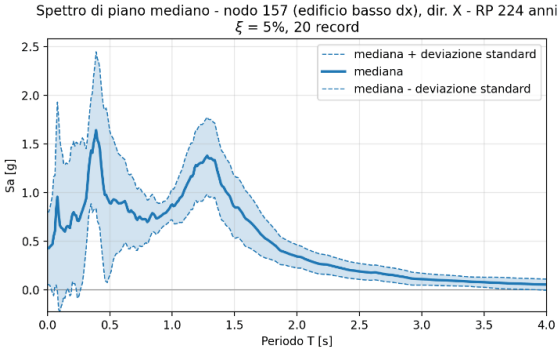

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

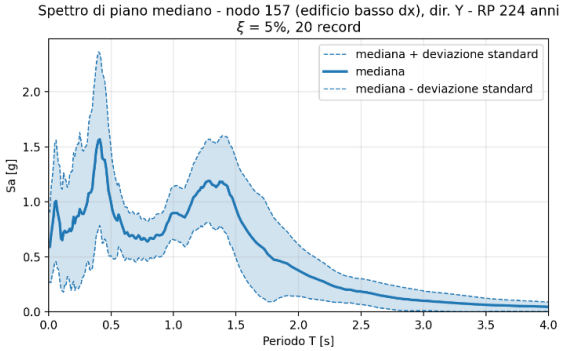

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

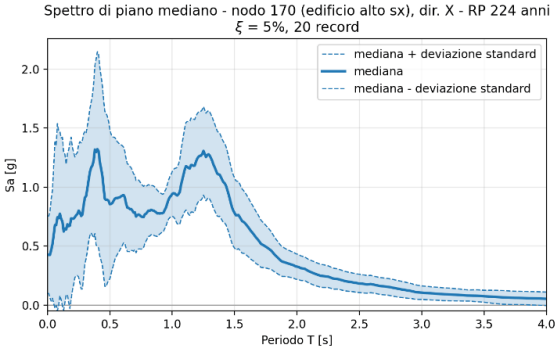
RP224

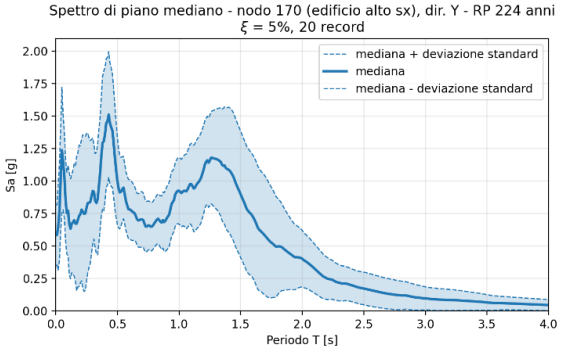

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

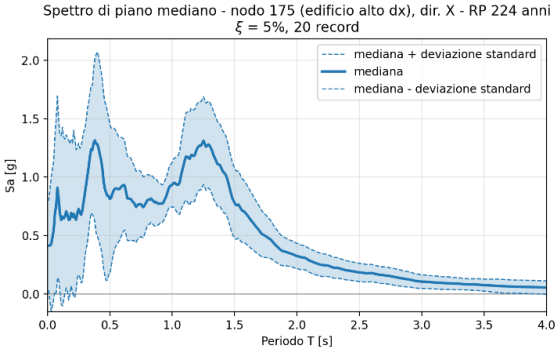

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

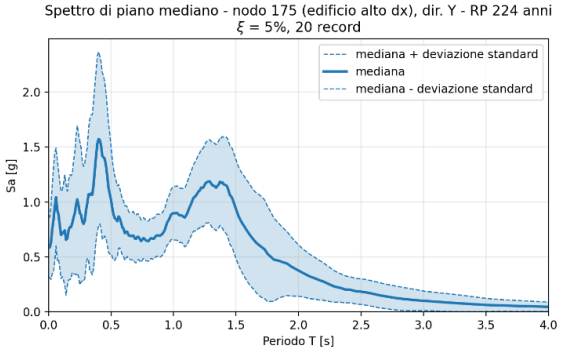

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

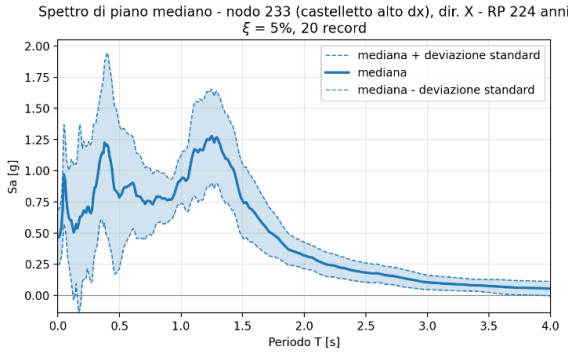

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

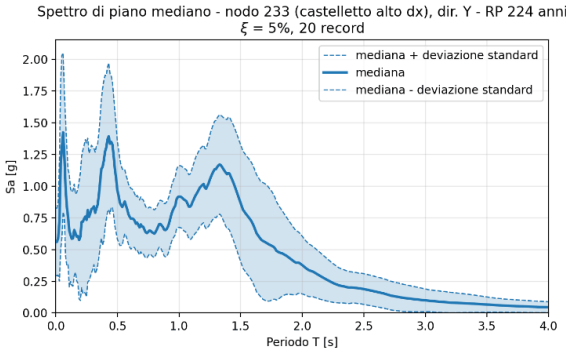

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

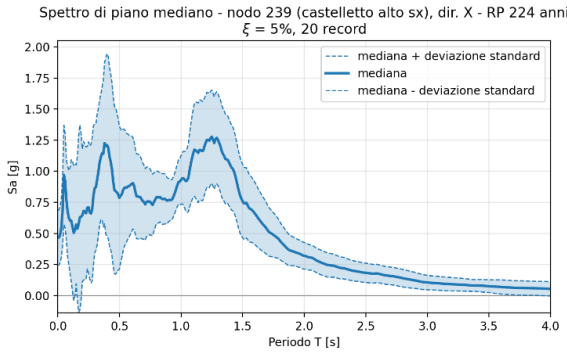

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

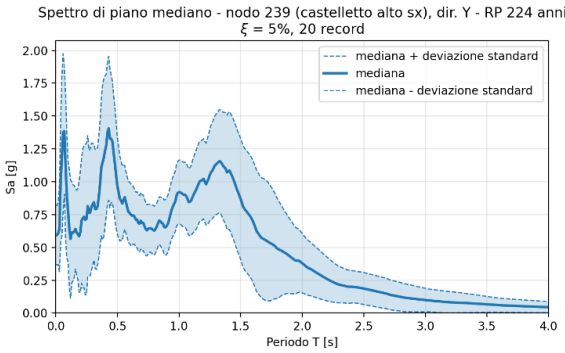

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

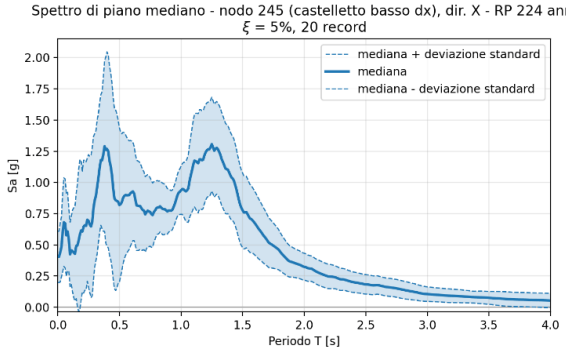

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

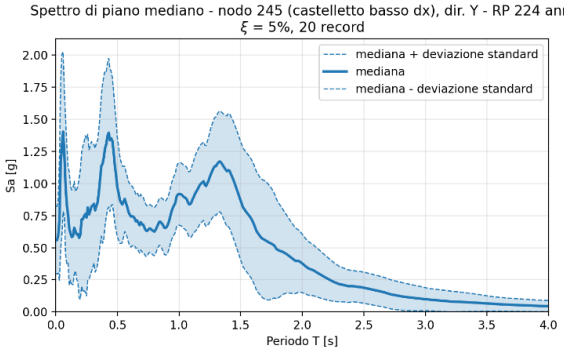

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

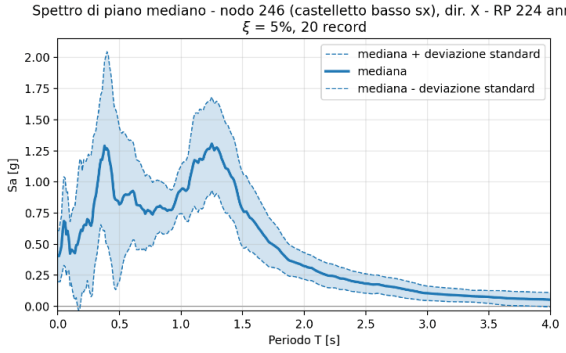

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

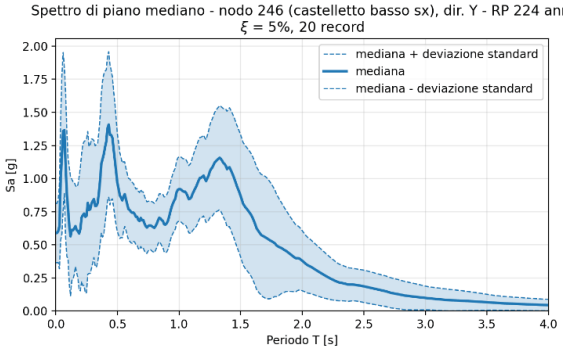

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

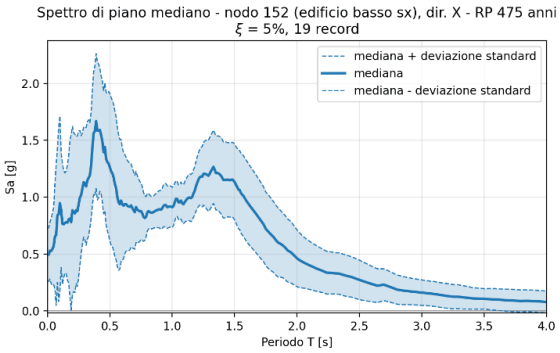

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 224 ann
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

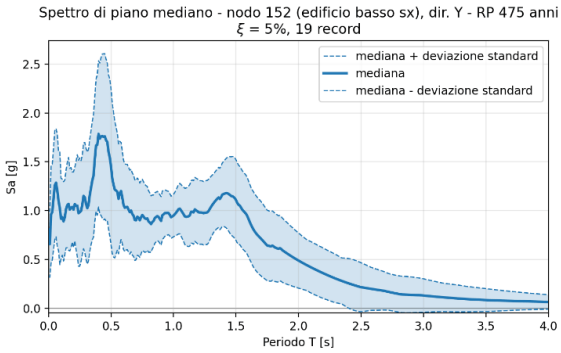

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 224 ann
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

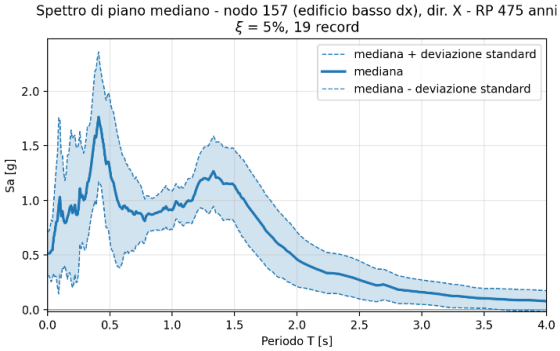

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 224 ann
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

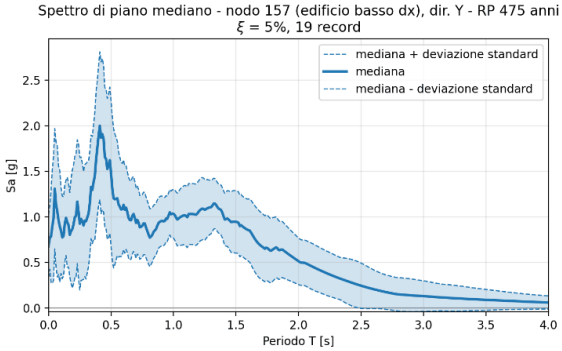

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 224 ann
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

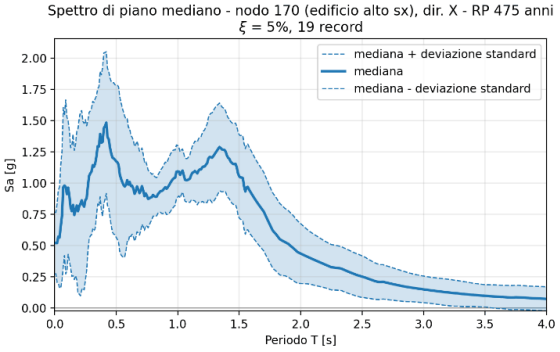
RP475

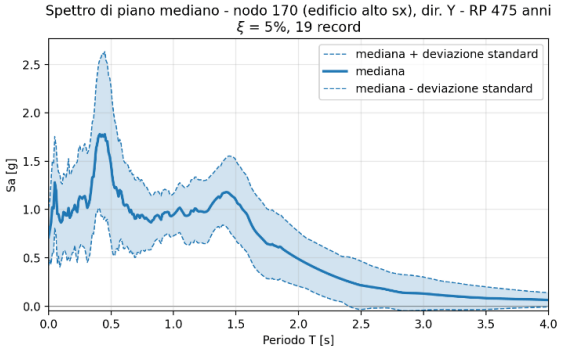

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

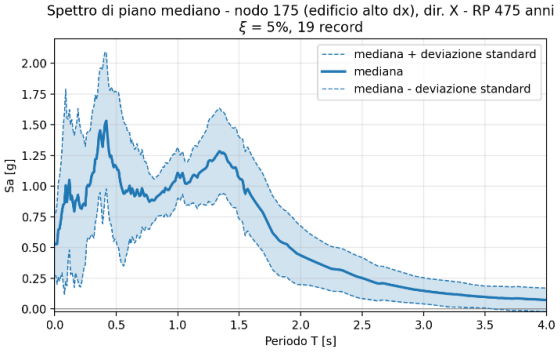

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

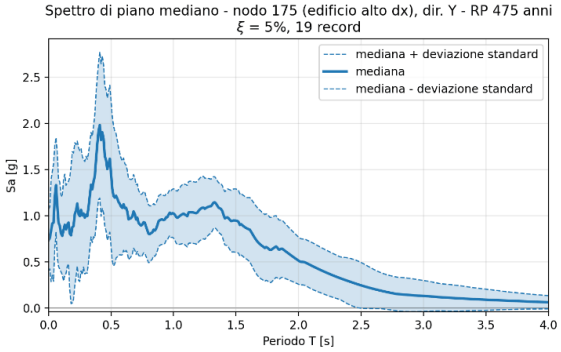

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

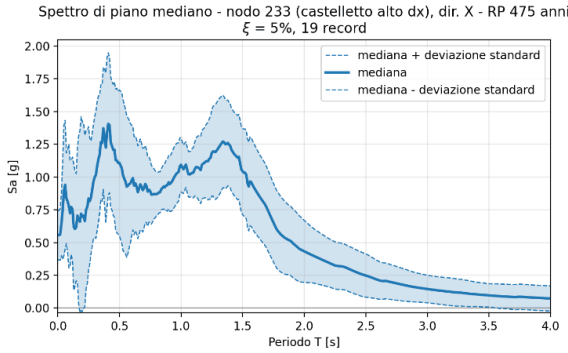

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

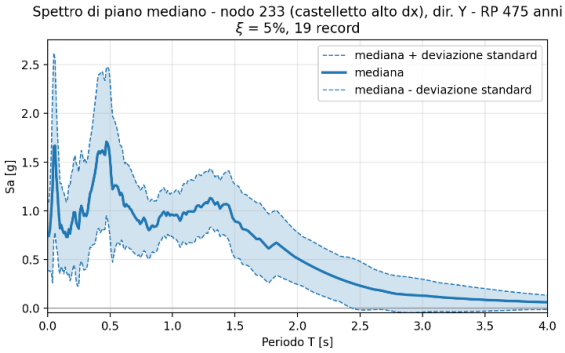

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

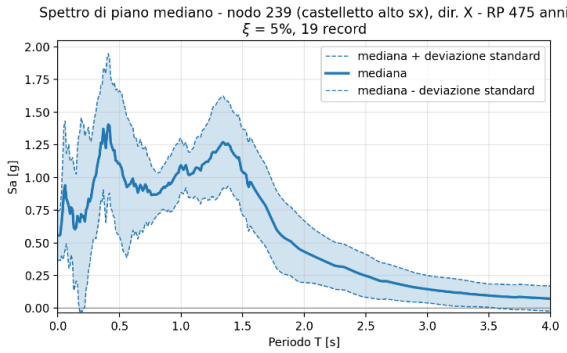

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

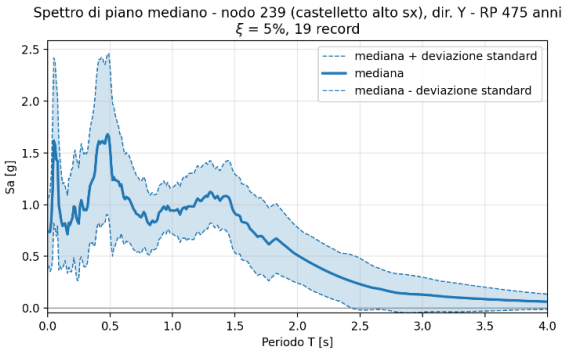

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

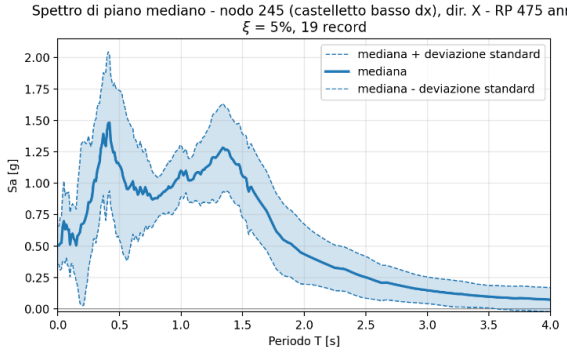

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

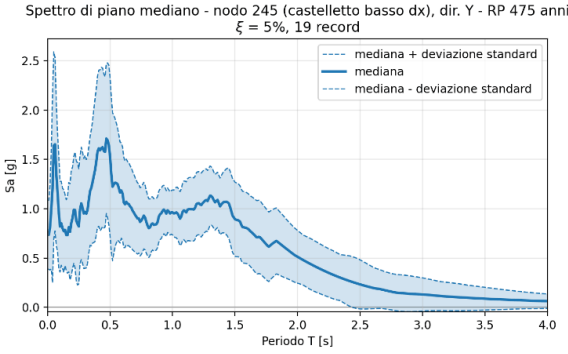

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

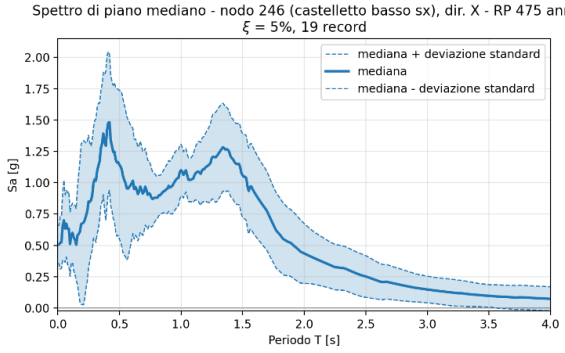

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

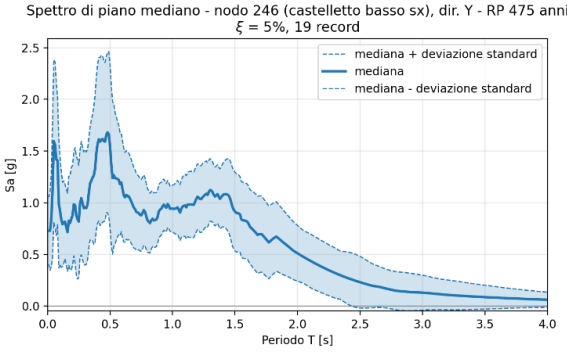

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

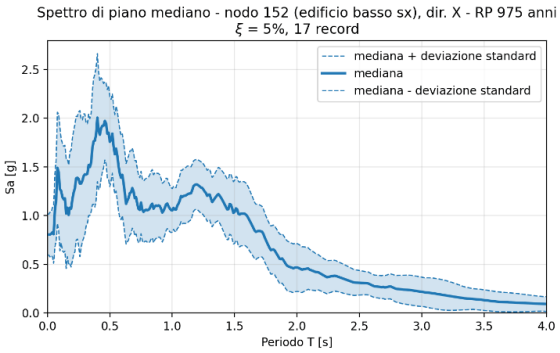

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 475 ann
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

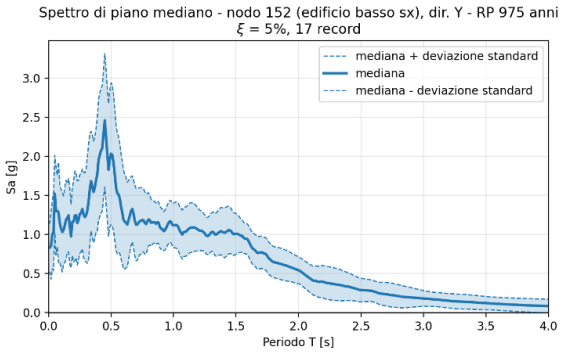

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

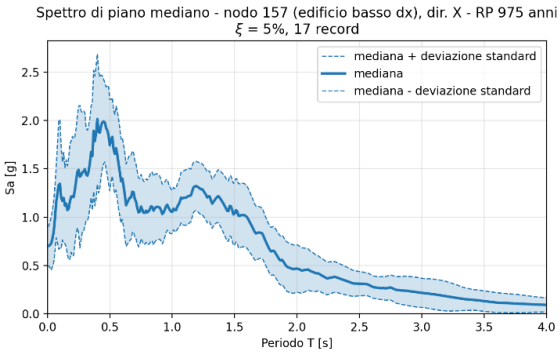

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 475 ann
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

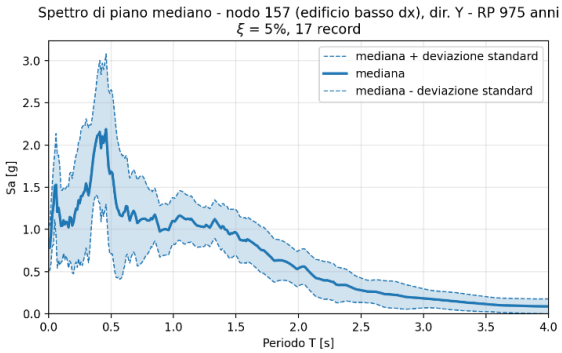

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

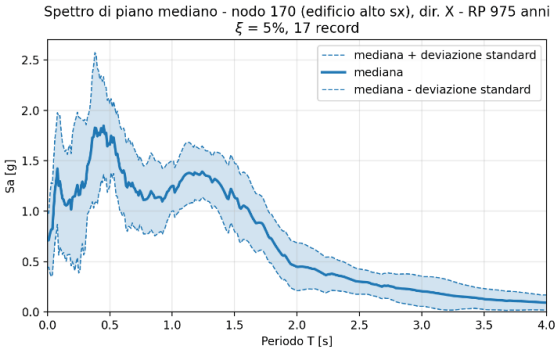
RP975

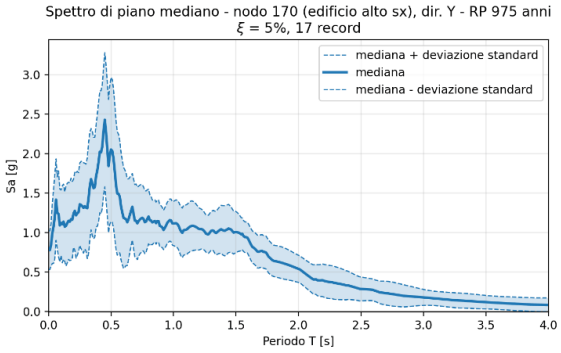

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

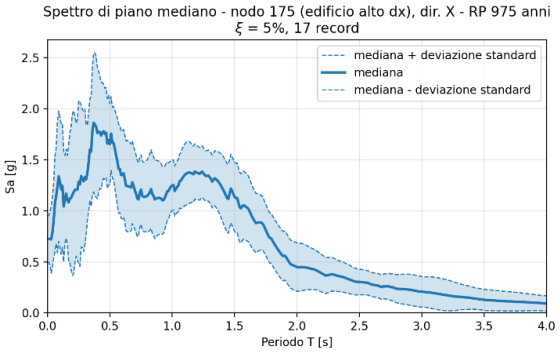

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

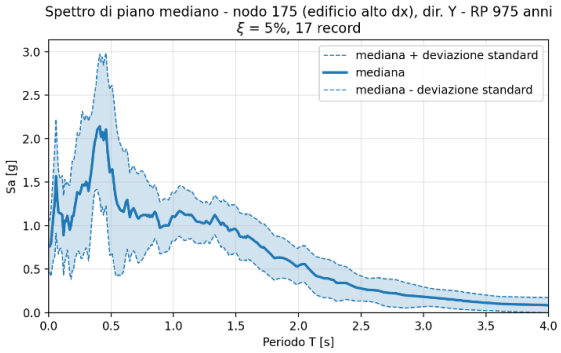

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

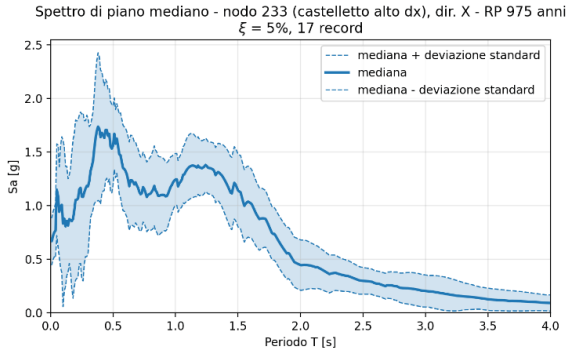

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

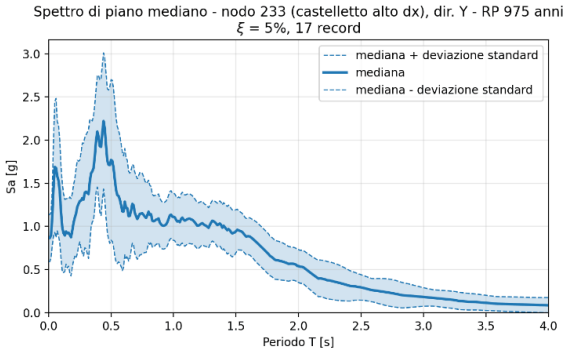

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

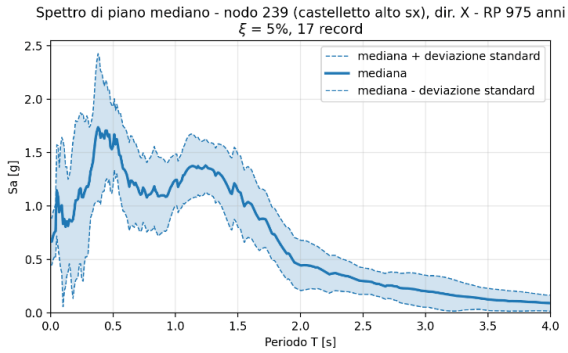

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

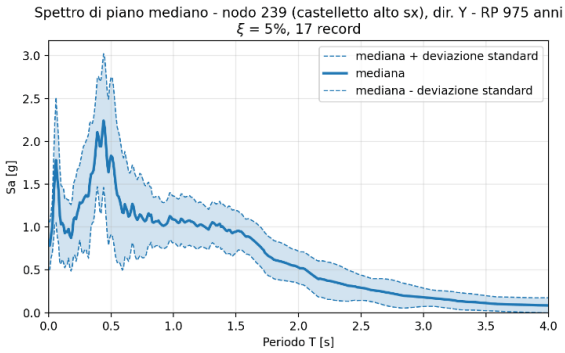

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

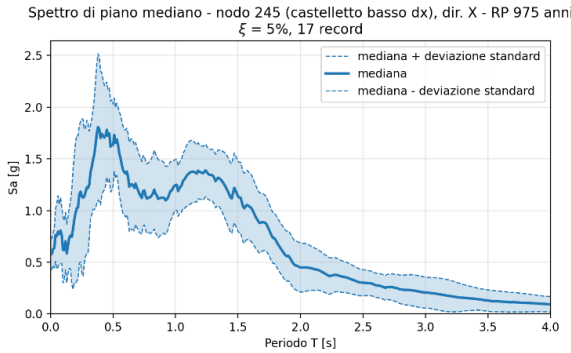

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

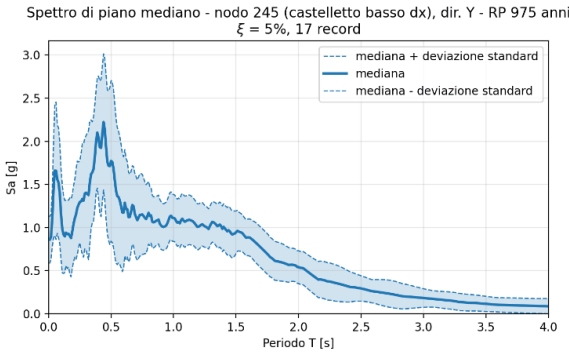

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

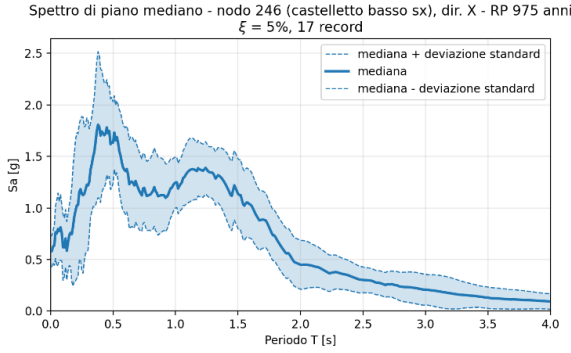

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

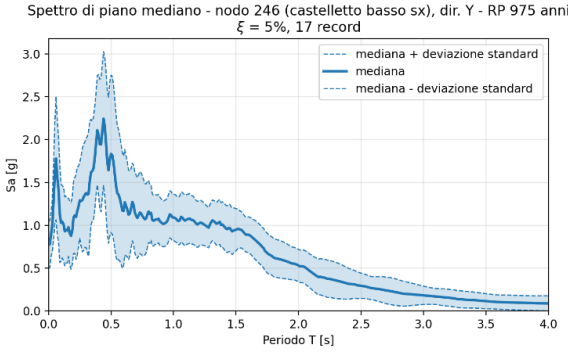

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

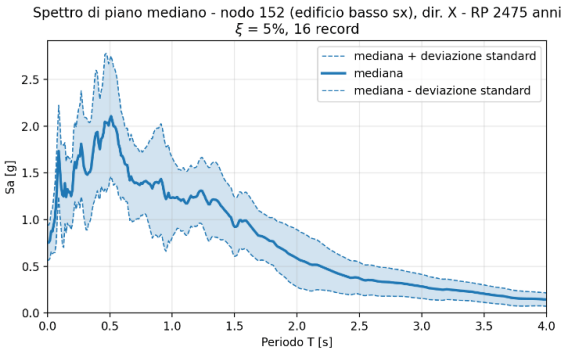

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

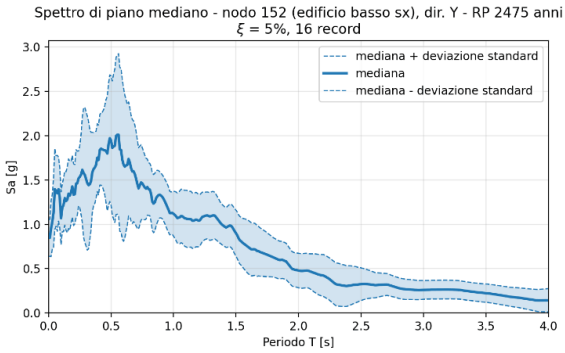

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

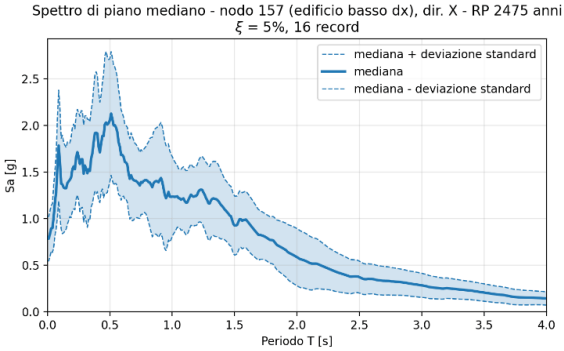

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

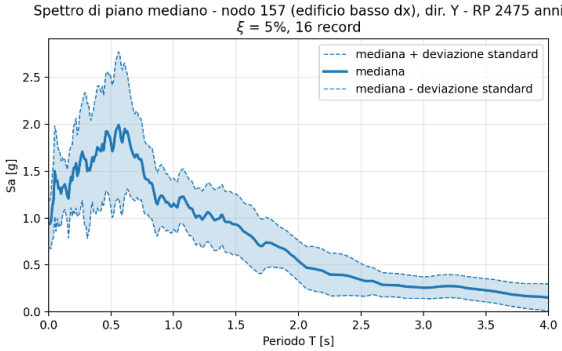

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

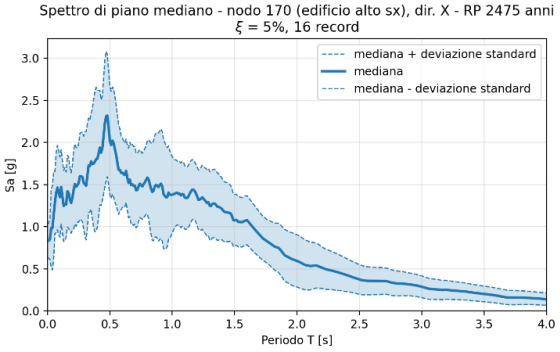
RP2475

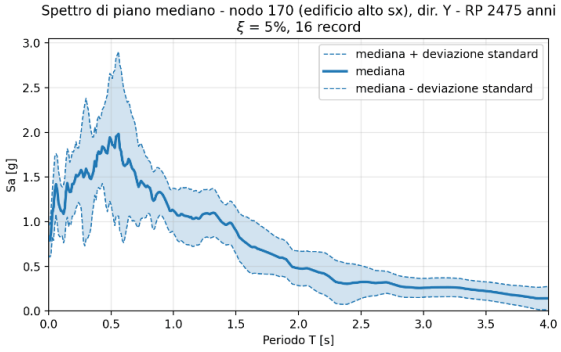

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 16 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

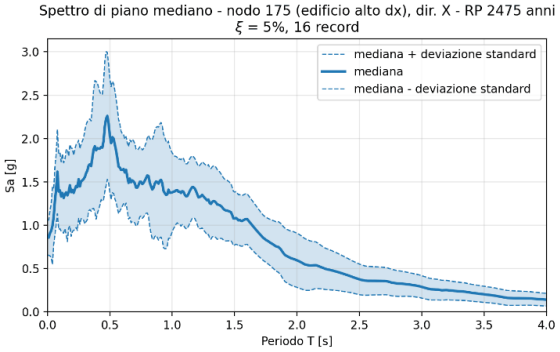

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 16 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

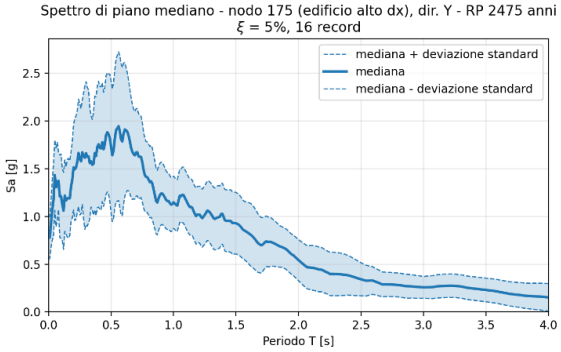

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 16 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

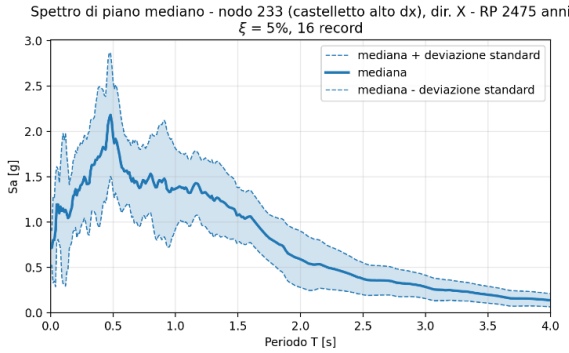

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 16 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

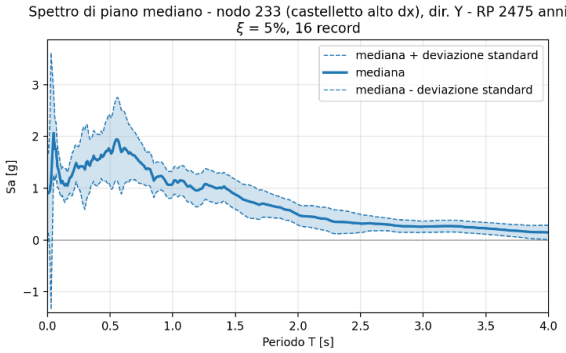

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 16 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

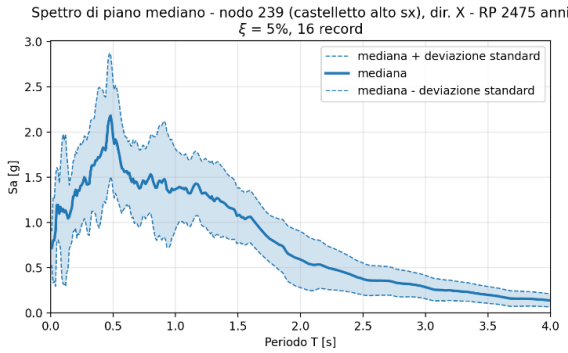

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 16 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

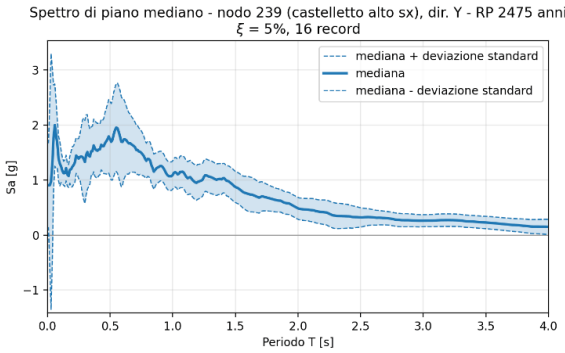

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 16 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

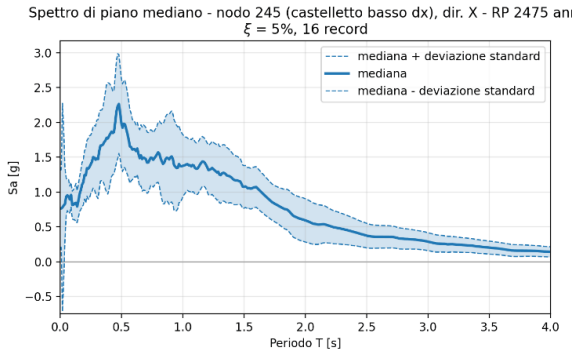

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 16 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

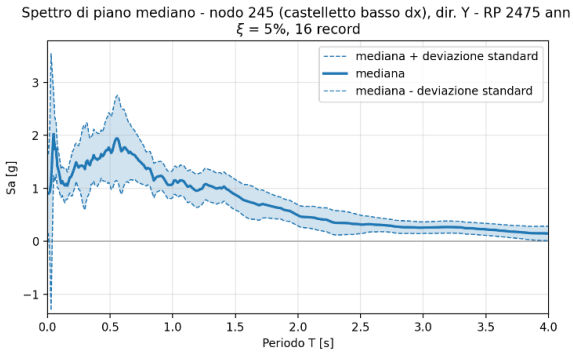

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 16 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

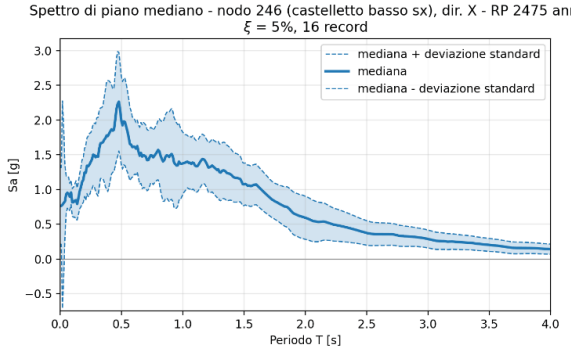

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 16 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

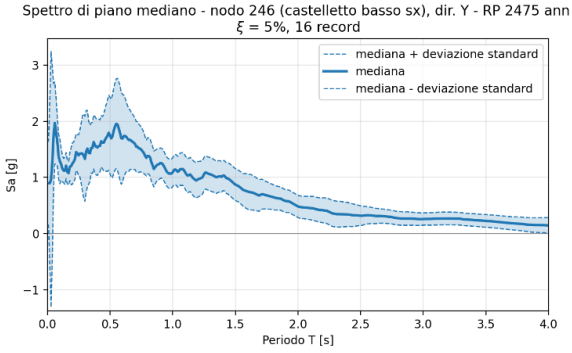

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 16 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 16 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

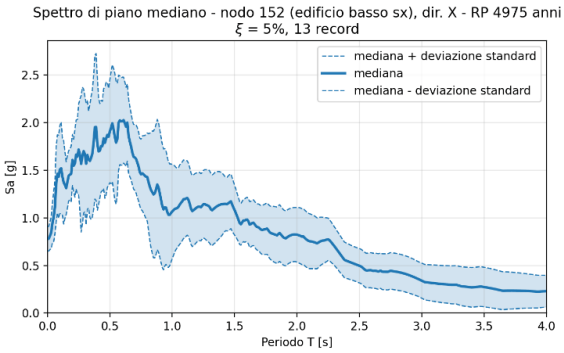

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 2475 ani
ξ = 5%, 16 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

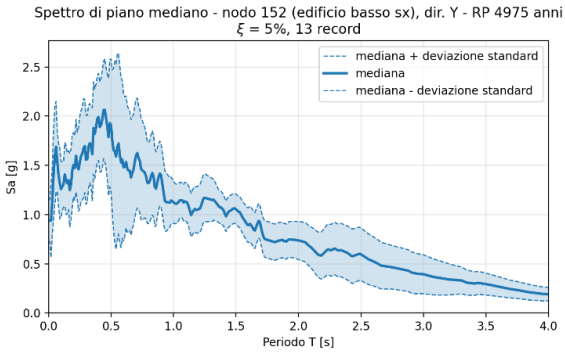

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 2475 ann
ξ = 5%, 16 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

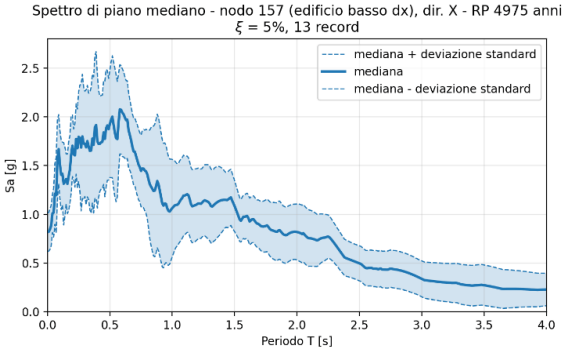

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 2475 ani
ξ = 5%, 16 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

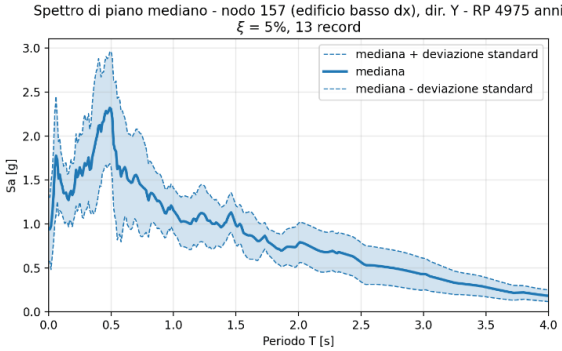

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 2475 ann
ξ = 5%, 16 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

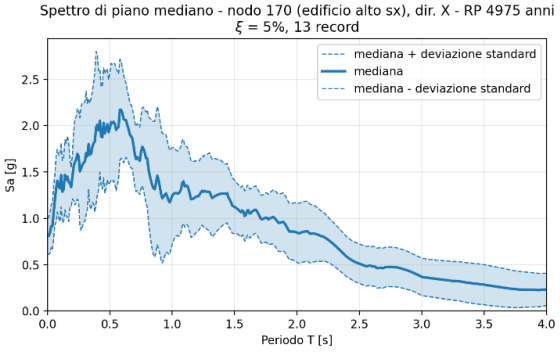
RP4975

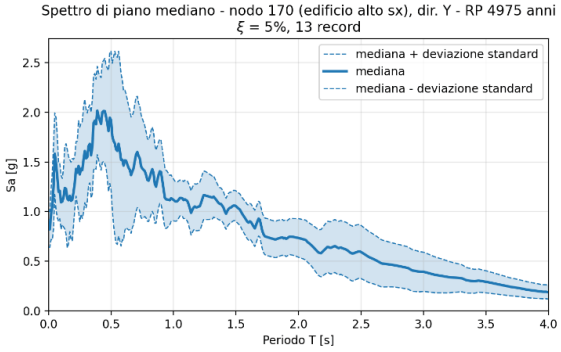

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 13 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

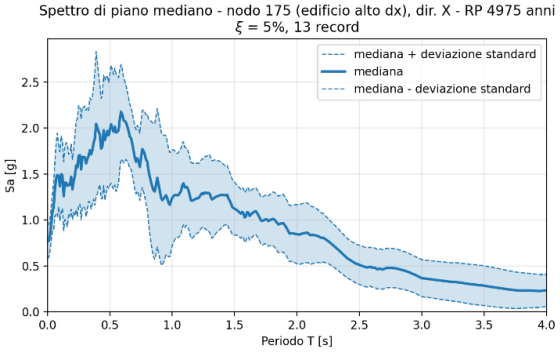

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 13 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

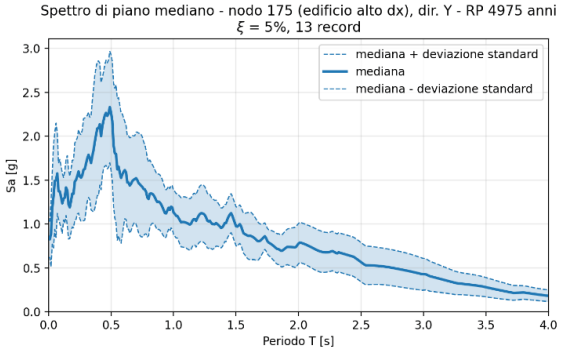

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 13 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

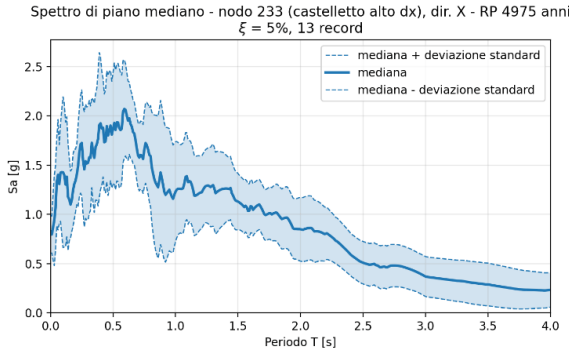

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 13 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

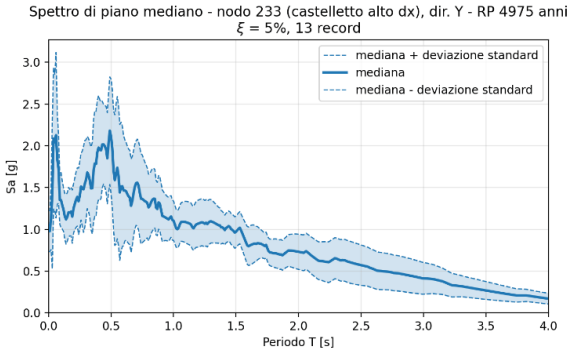

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 13 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

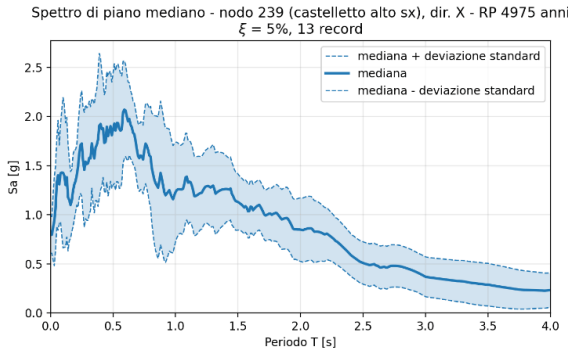

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 13 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

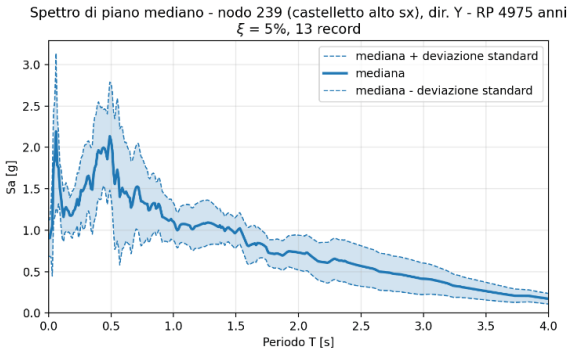

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 13 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

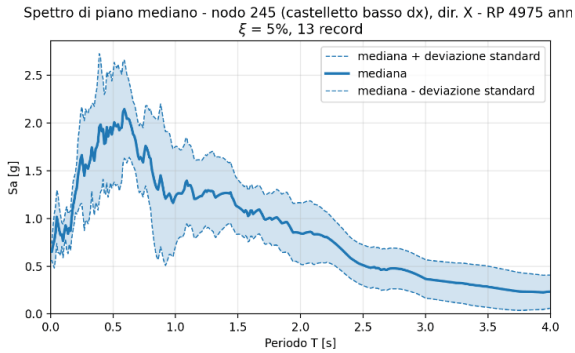

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 13 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

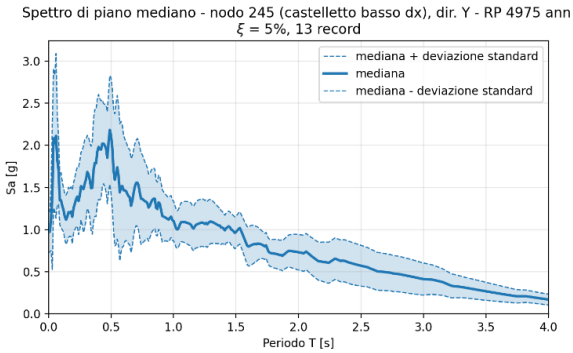

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 13 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

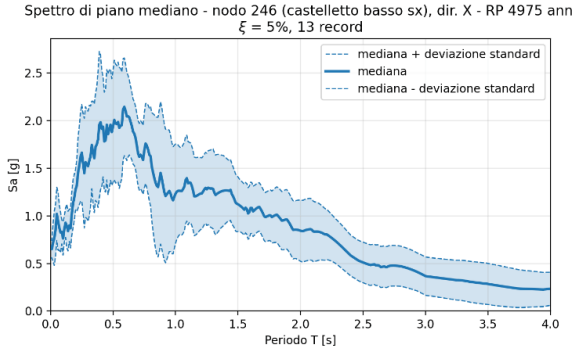

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 13 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

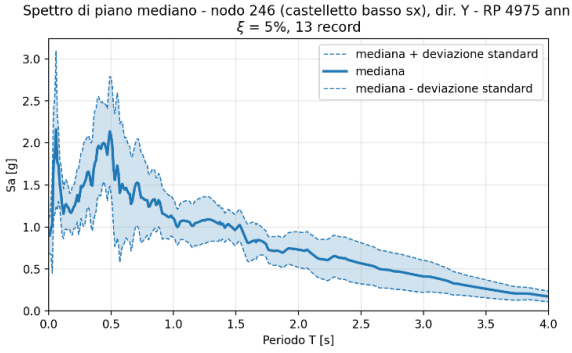

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 13 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 13 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

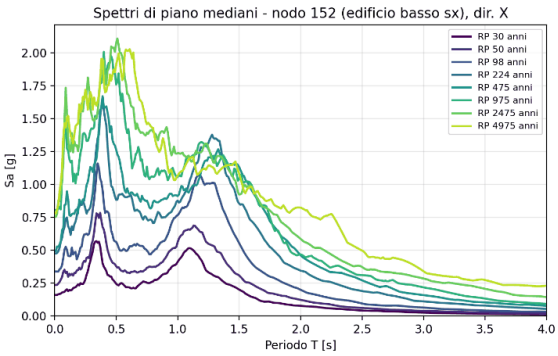

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 4975 ann
ξ = 5%, 13 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

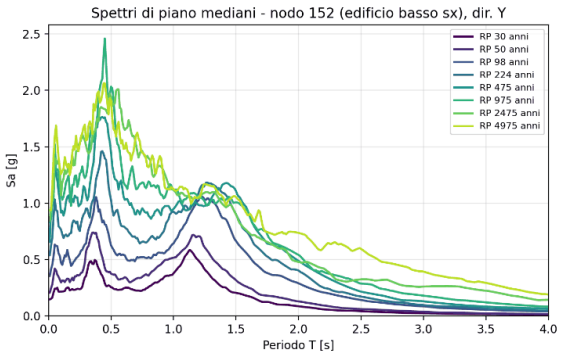

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 4975 ann
ξ = 5%, 13 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

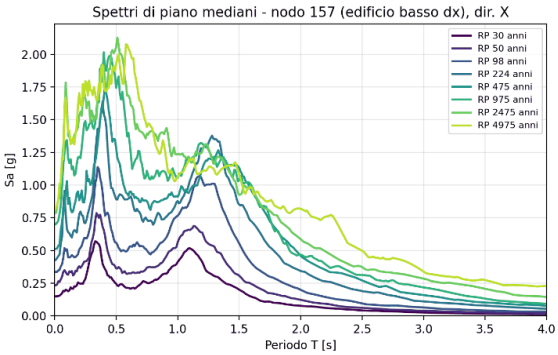

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 4975 ann
ξ = 5%, 13 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

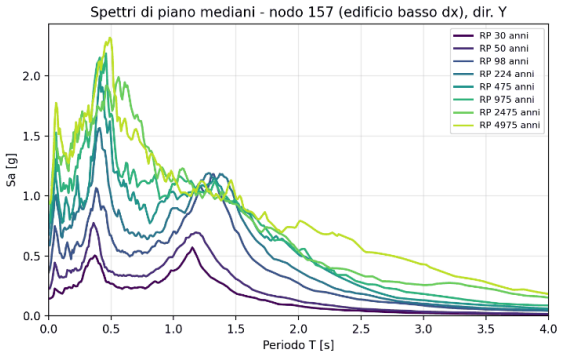

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 4975 ann
ξ = 5%, 13 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

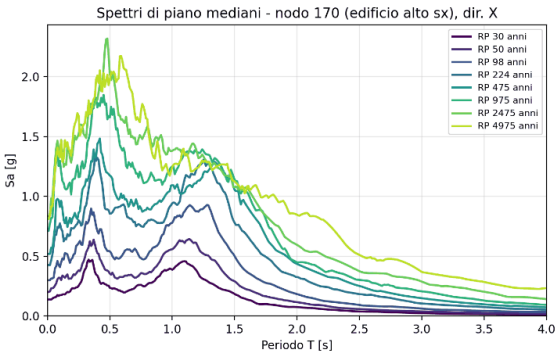
CONFRONTI

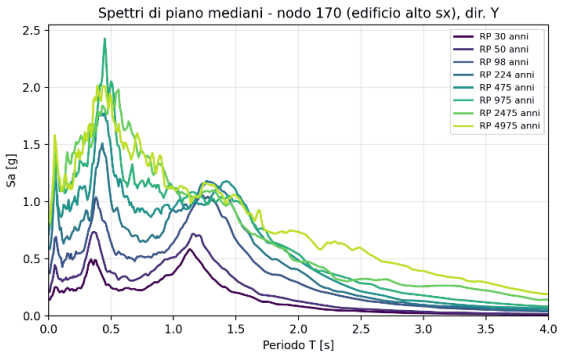

Spettri di piano mediani - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

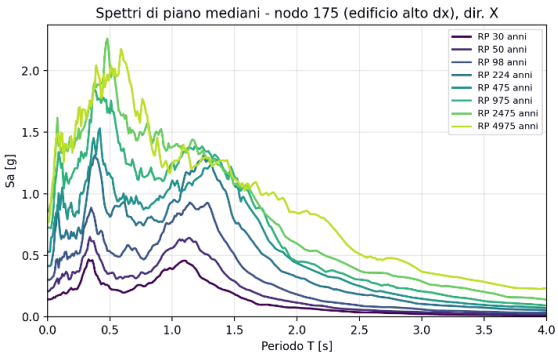

Spettri di piano mediani - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

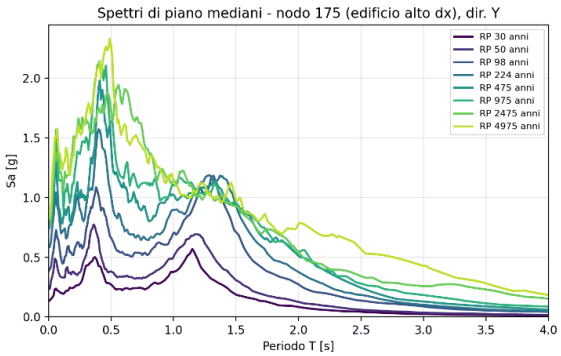

Spettri di piano mediani - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

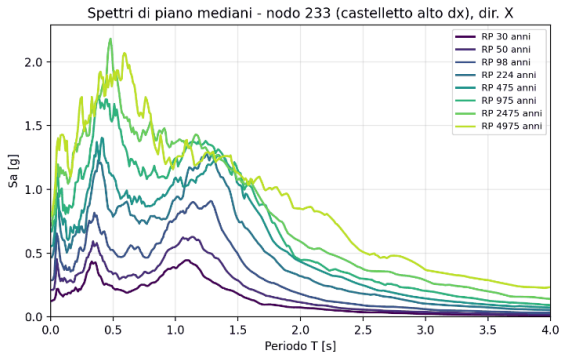

Spettri di piano mediani - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

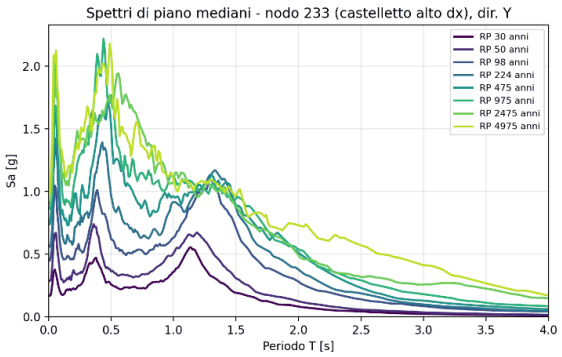

Spettri di piano mediani - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

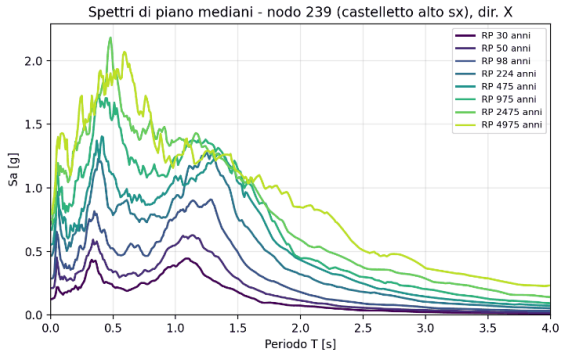

Spettri di piano mediani - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

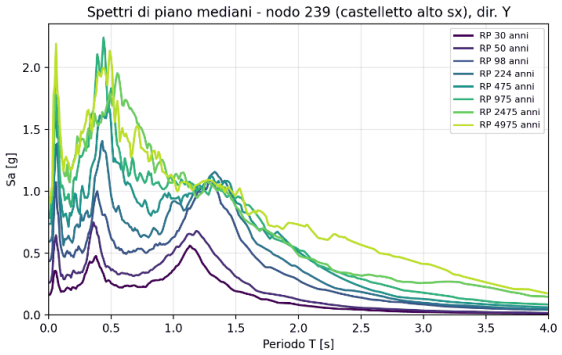

Spettri di piano mediani - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

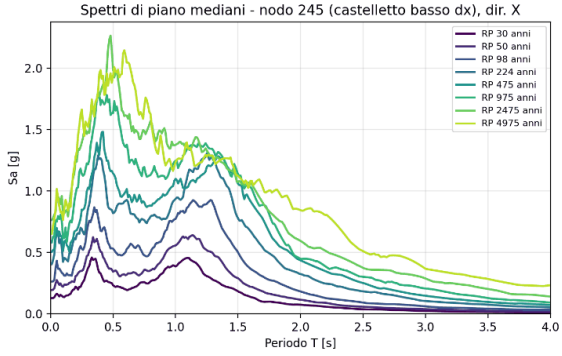

Spettri di piano mediani - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

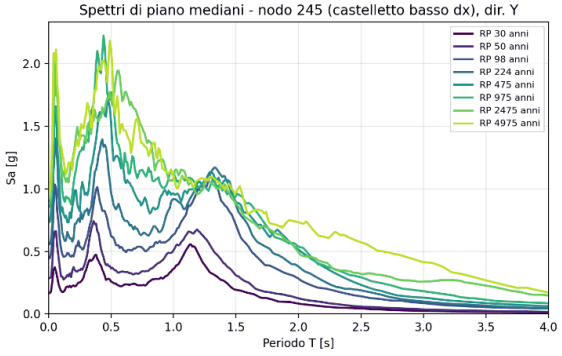

Spettri di piano mediani - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni

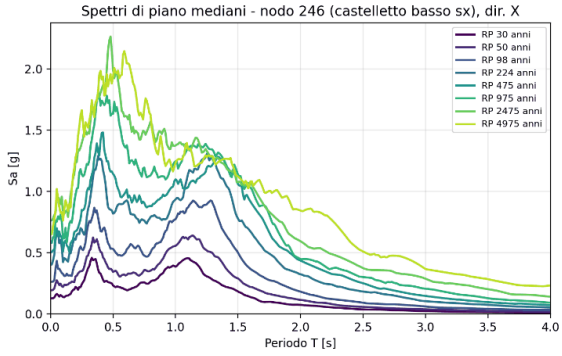

Spettri di piano mediani - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni

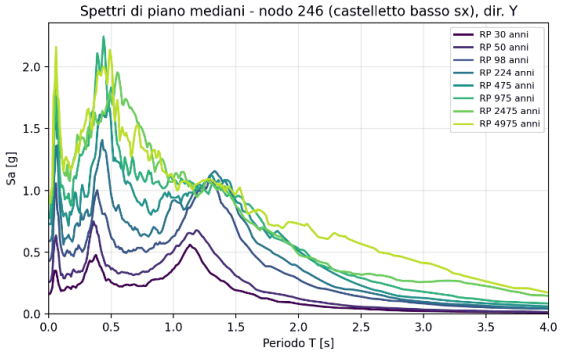

Spettri di piano mediani - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni


Spettri di piano mediani - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni


Spettri di piano mediani - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni

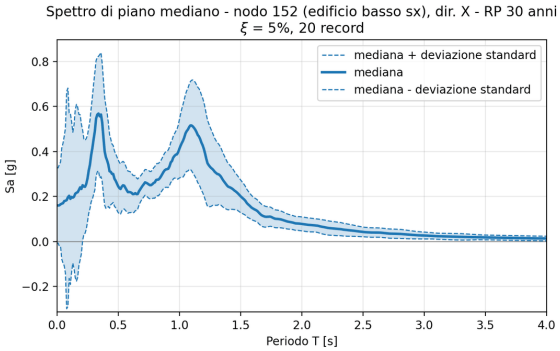

Spettri di piano mediani - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni

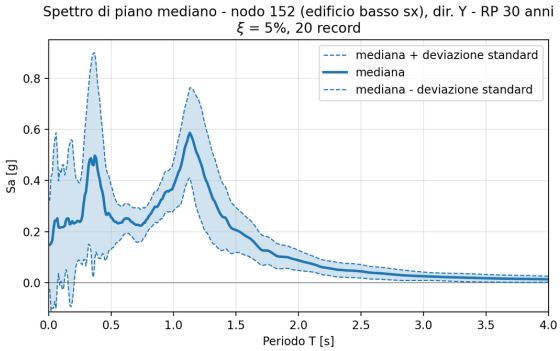

Spettri di piano mediani - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni

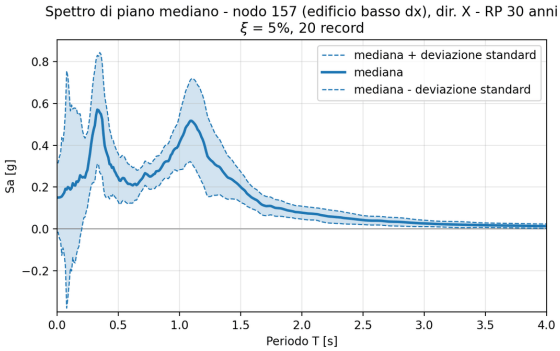

Spettri di piano mediani - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni

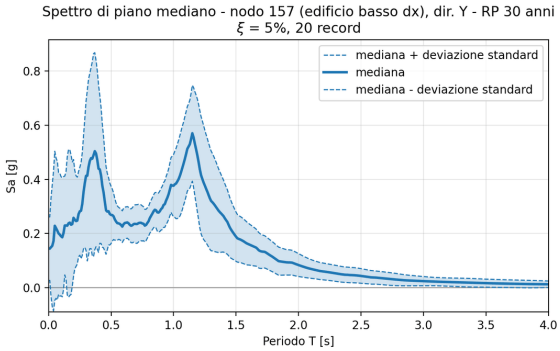
C.3 Modello ancoraggi El-Pl_25

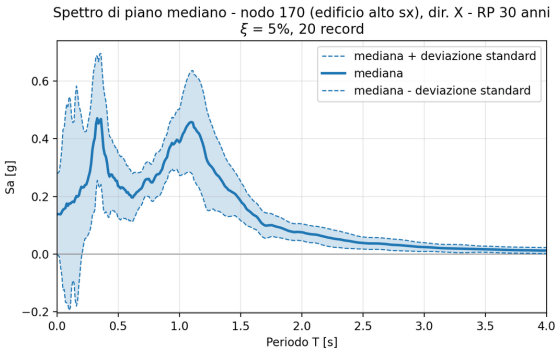
RP30

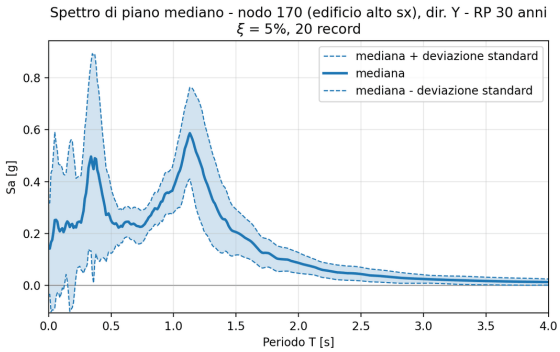


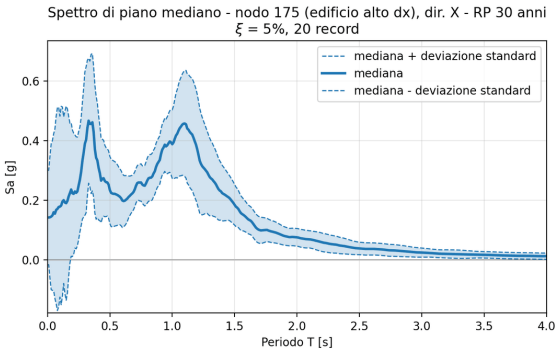


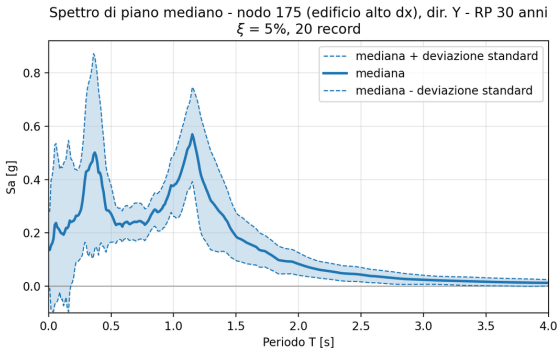


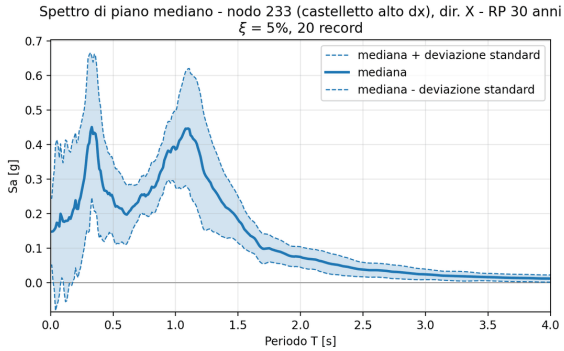


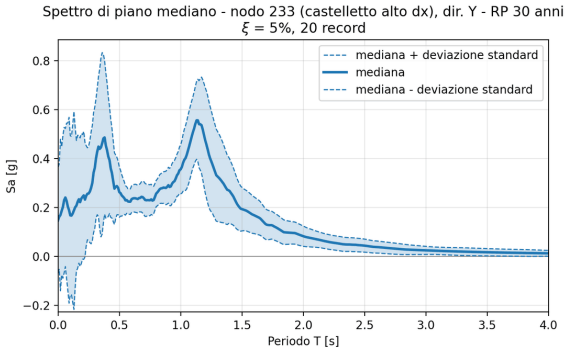


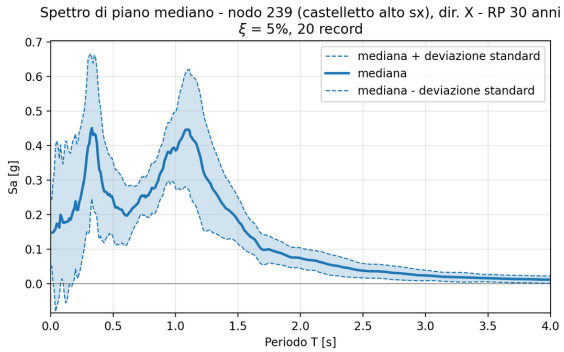


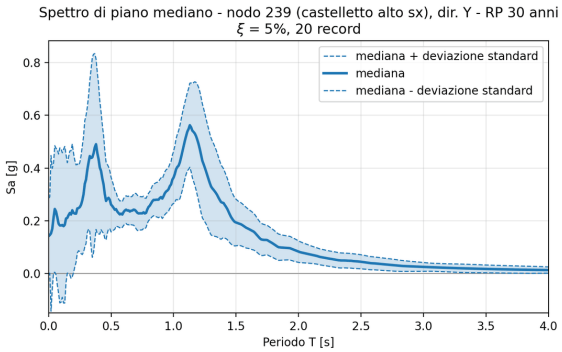


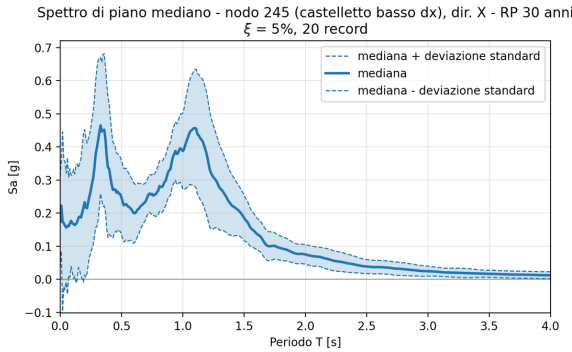


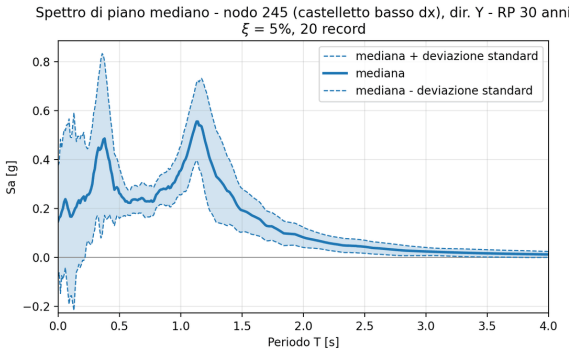

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

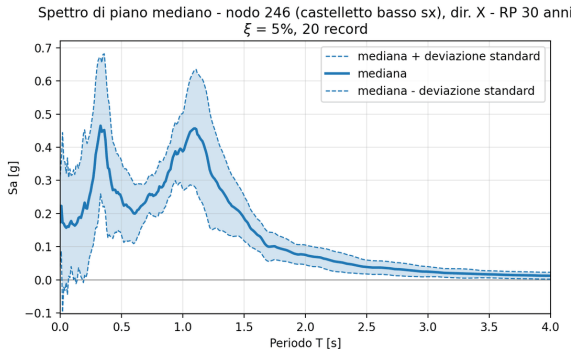

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

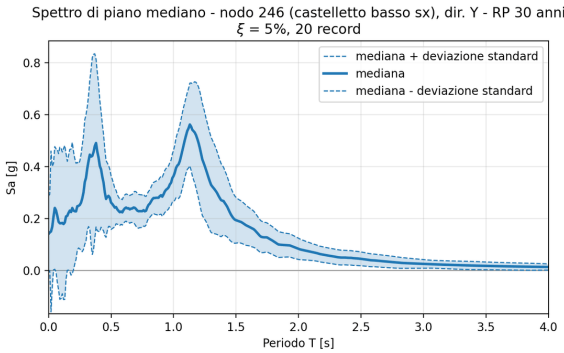

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

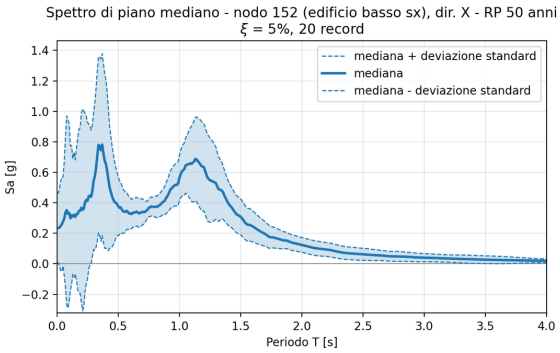

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

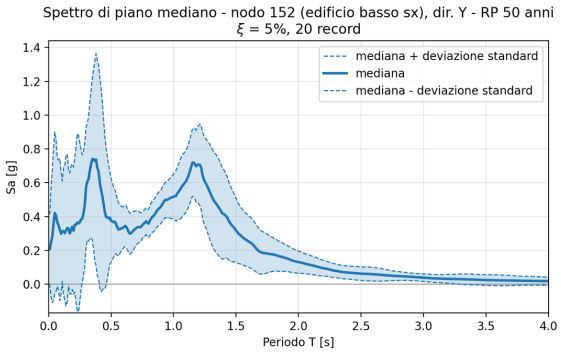

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

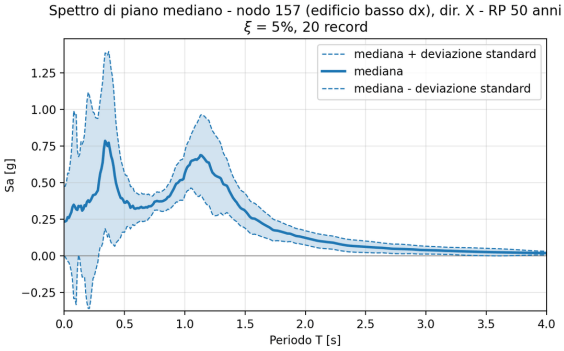

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

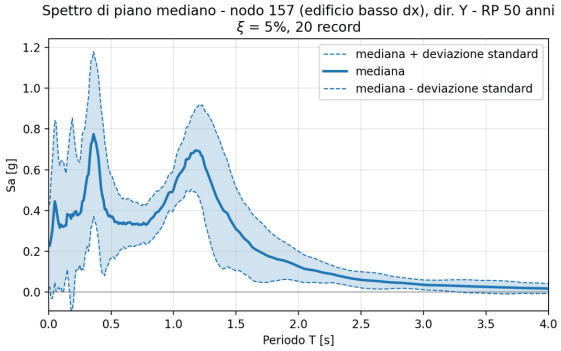

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

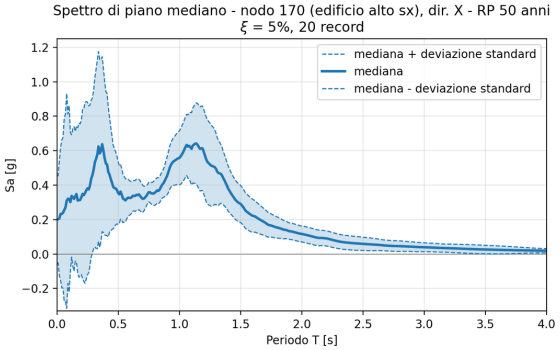
RP50

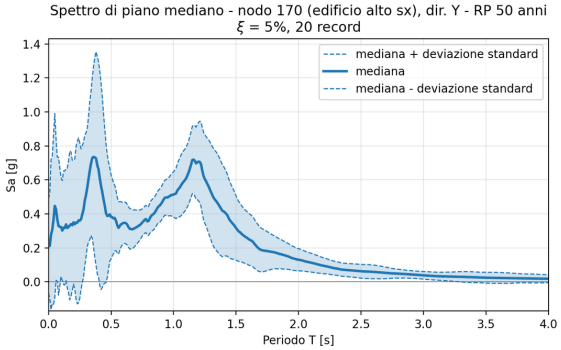

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

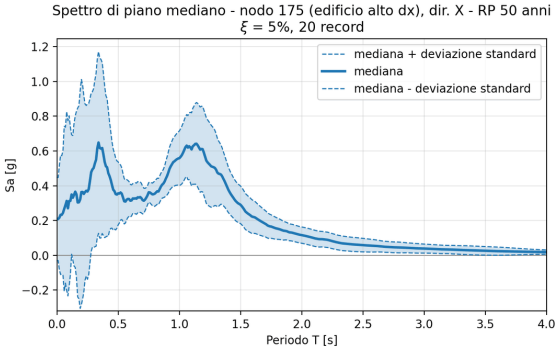

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

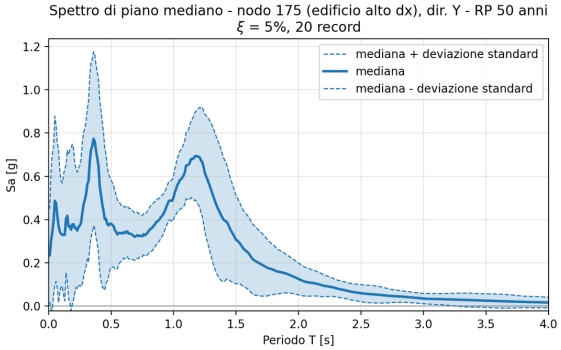

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

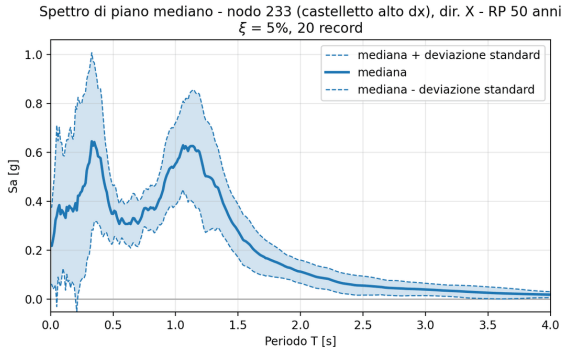

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

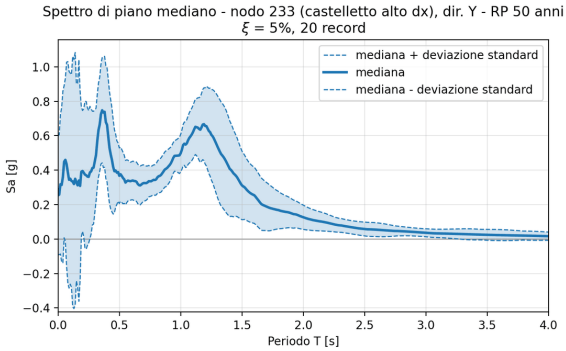

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

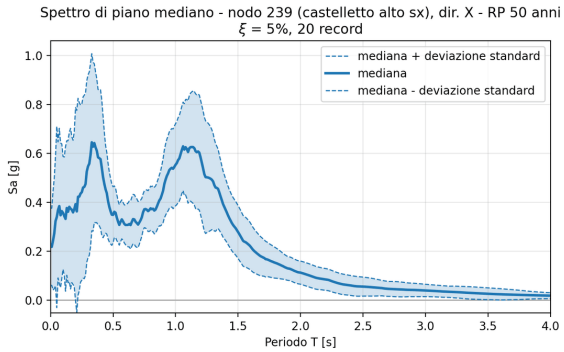

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

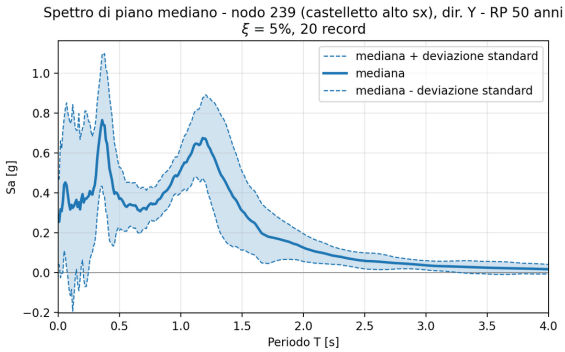

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

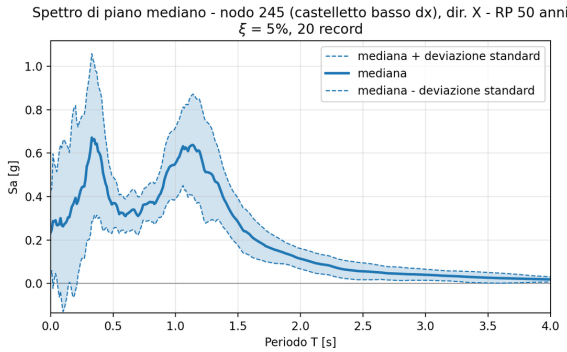

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

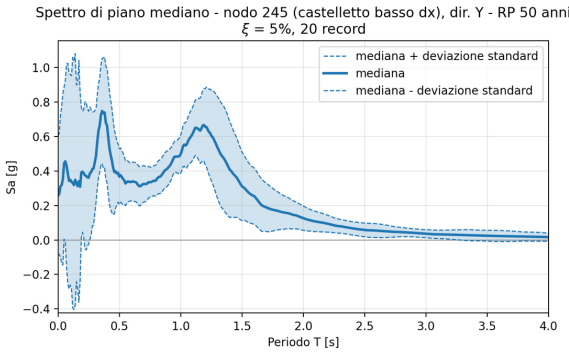

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

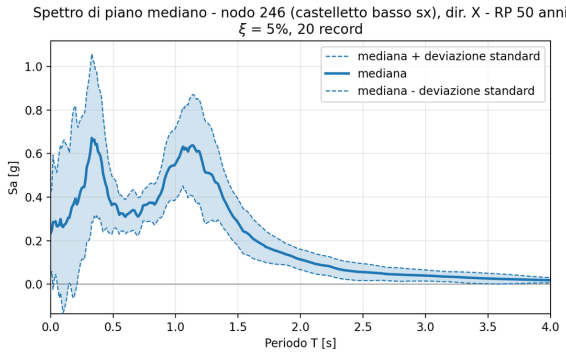

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

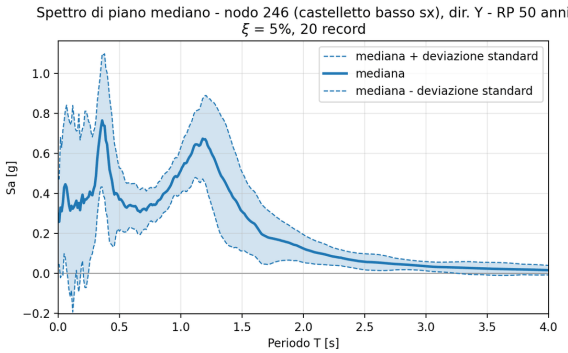

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

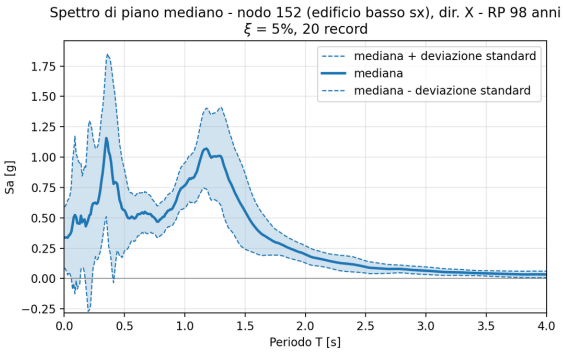

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

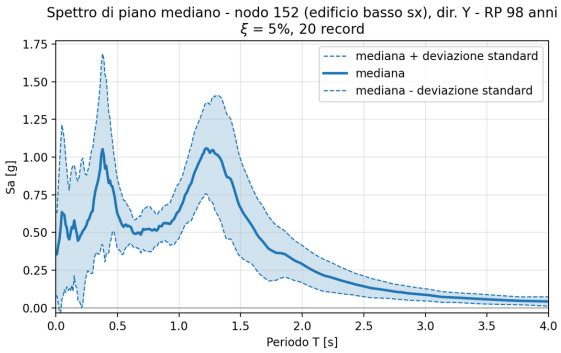

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

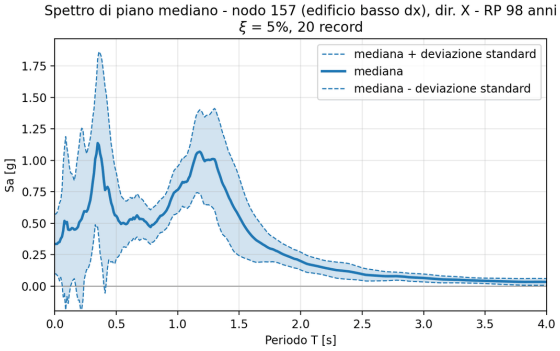

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

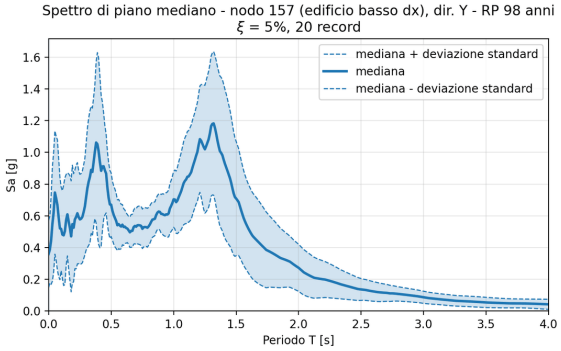

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

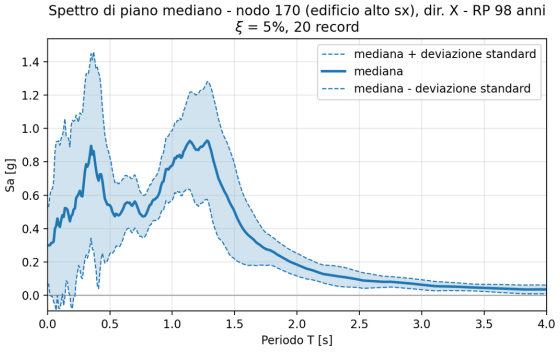
RP98

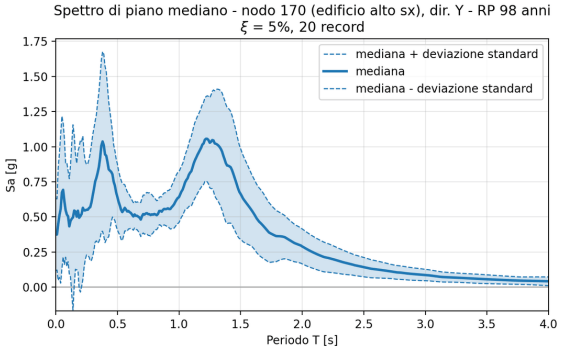

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

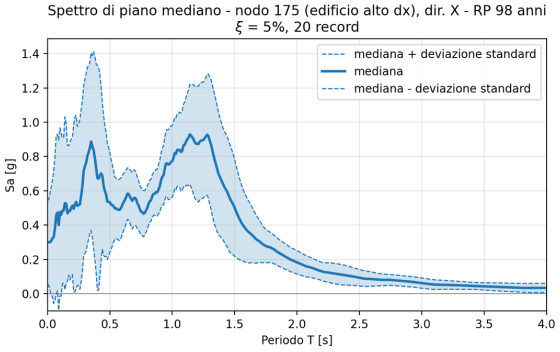

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

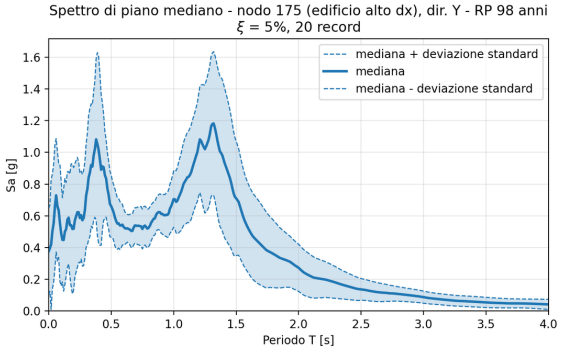

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

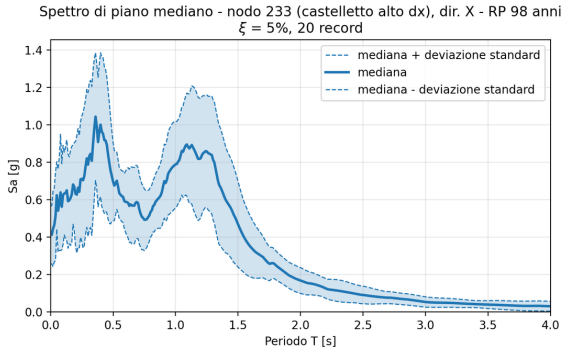

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

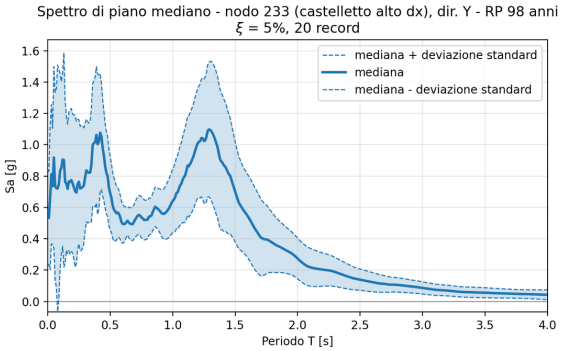

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

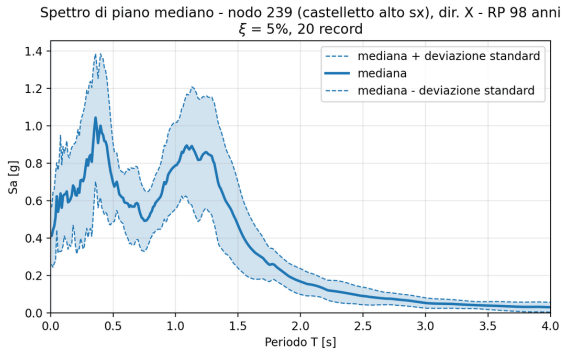

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

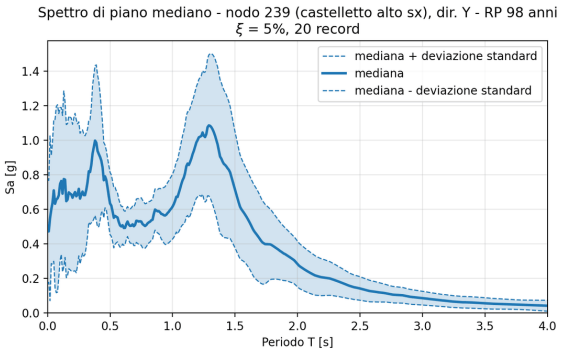

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

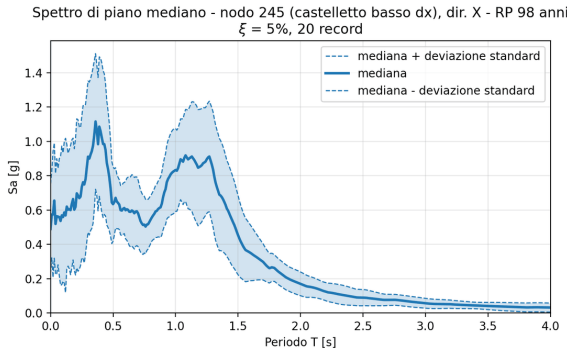

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

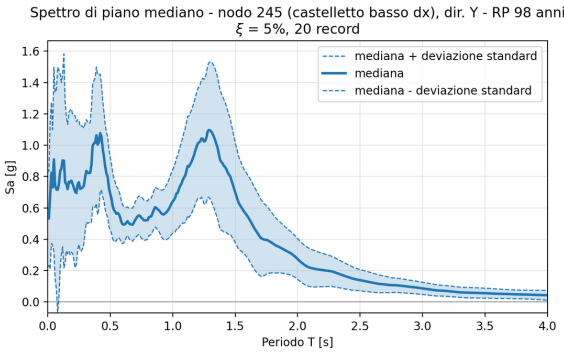

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

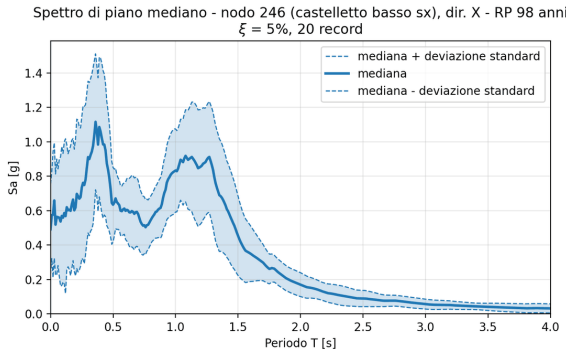

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

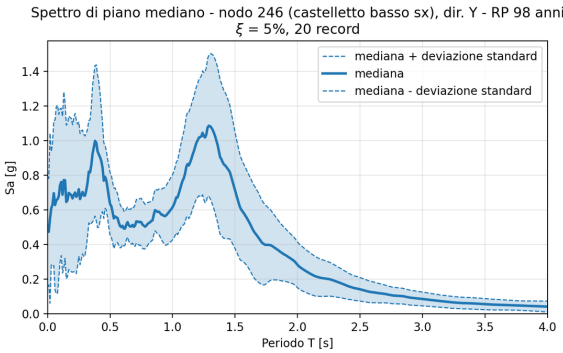

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

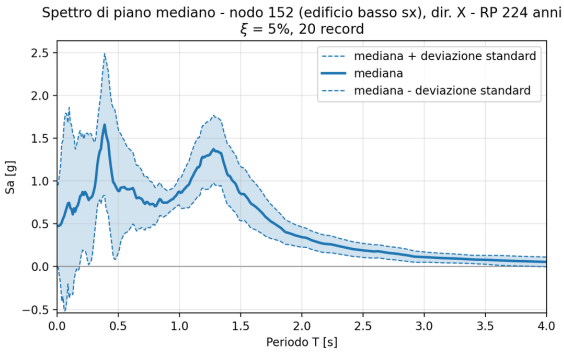

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

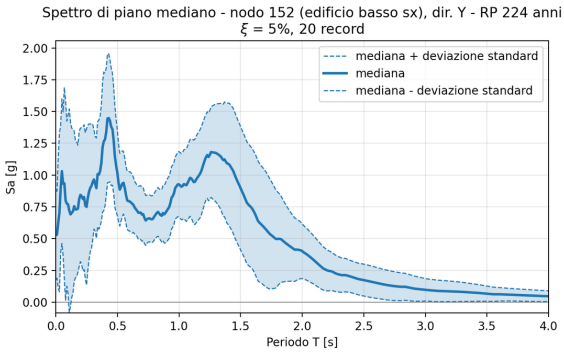

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

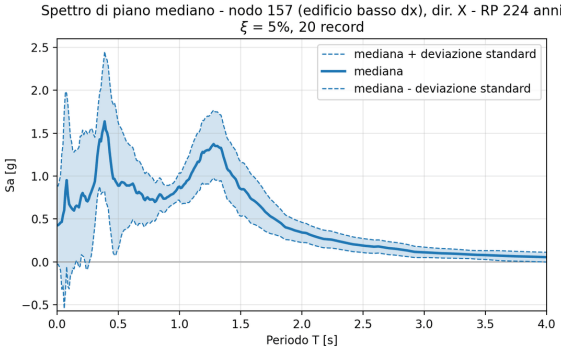

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

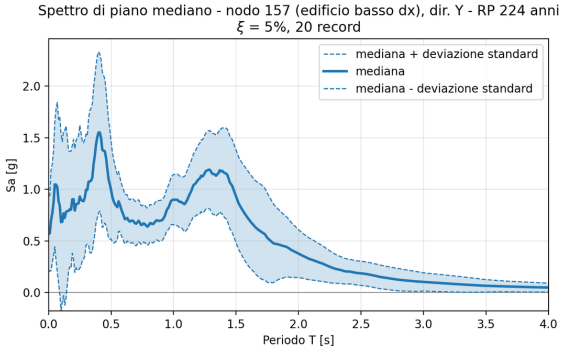

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

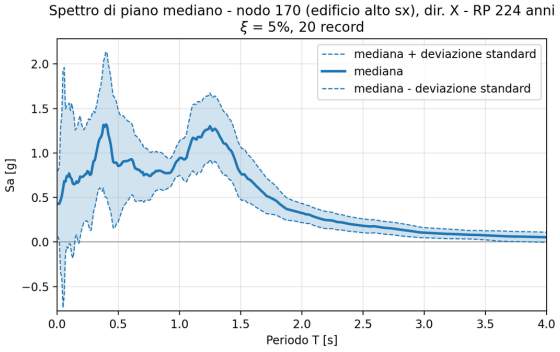
RP224

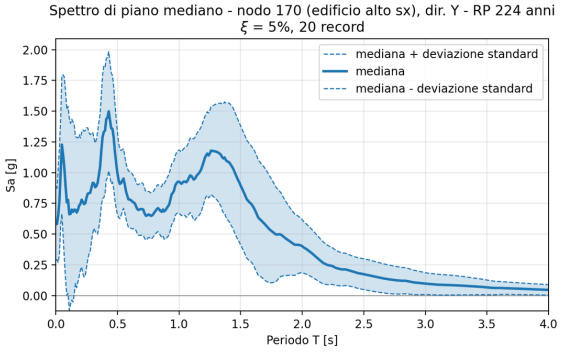

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

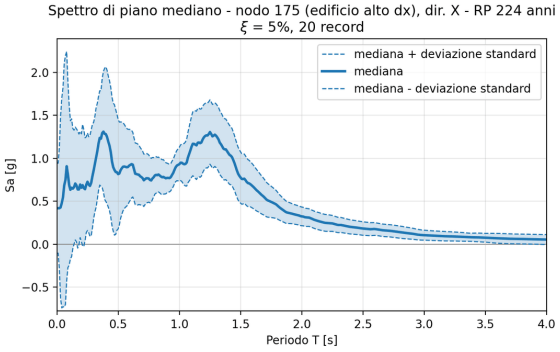

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

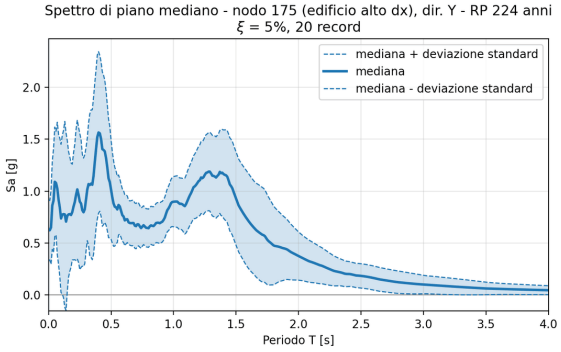

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

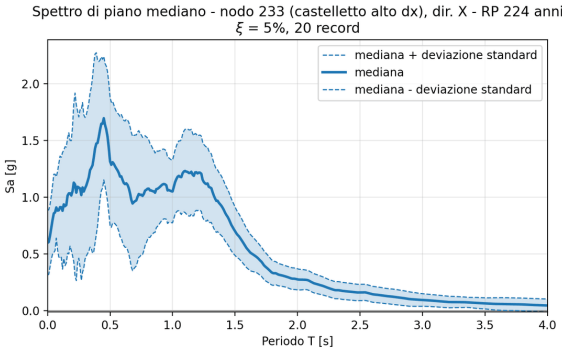

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

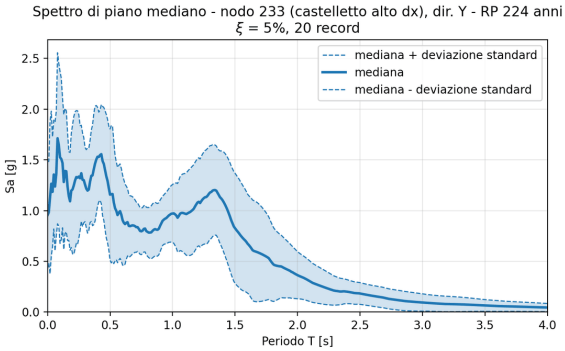

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

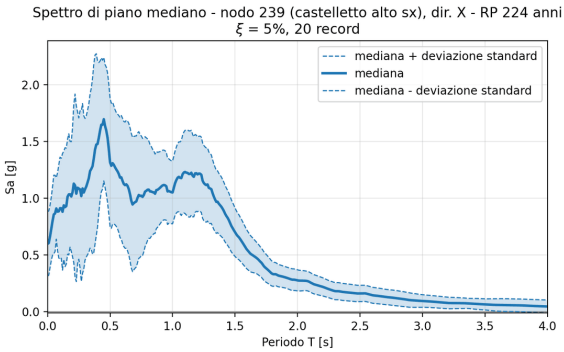

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

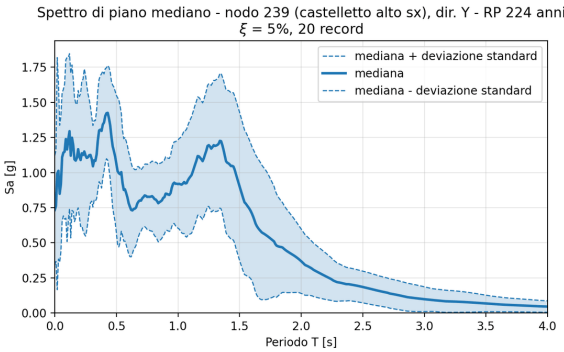

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

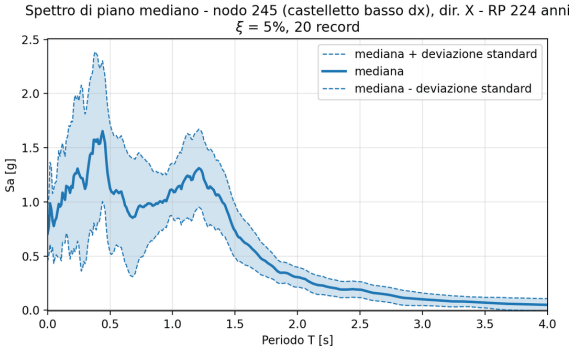

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

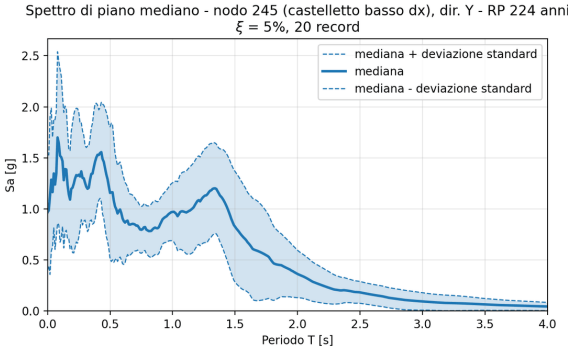

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

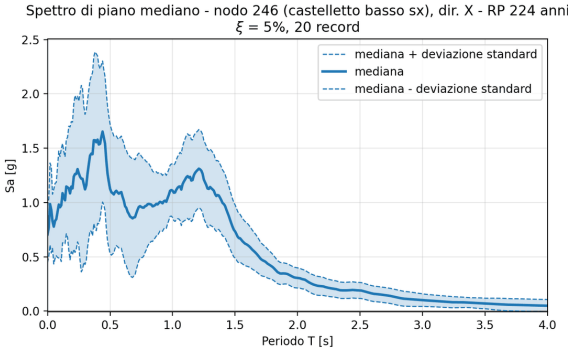

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

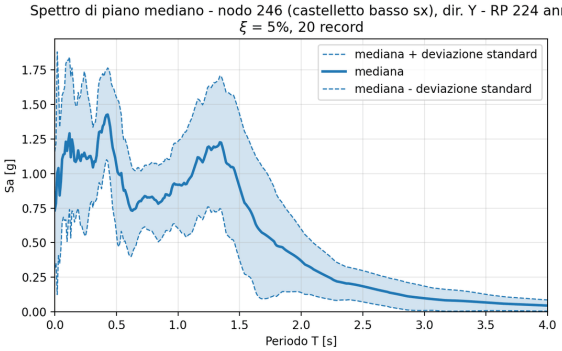

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

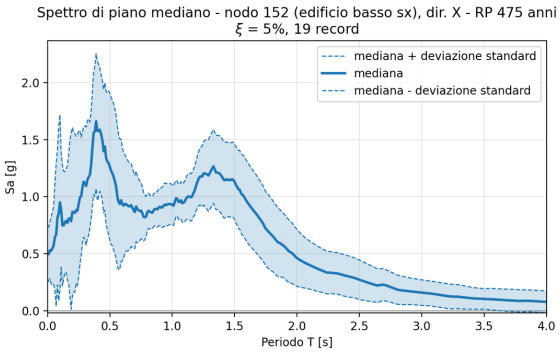

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

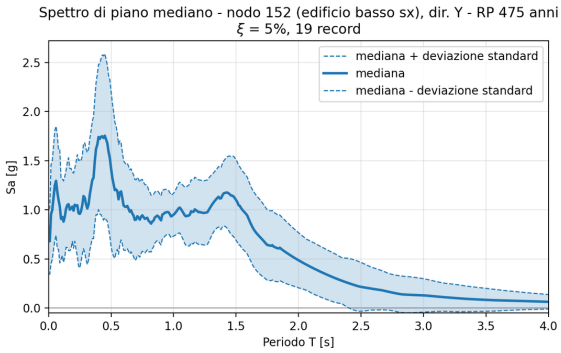

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

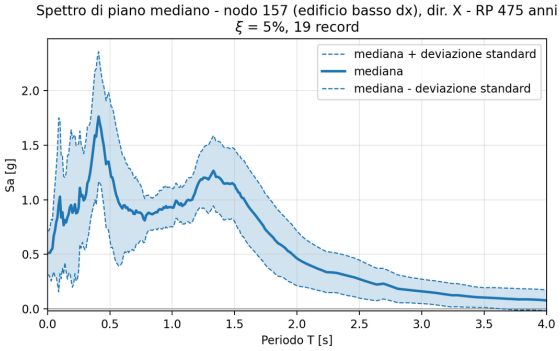

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

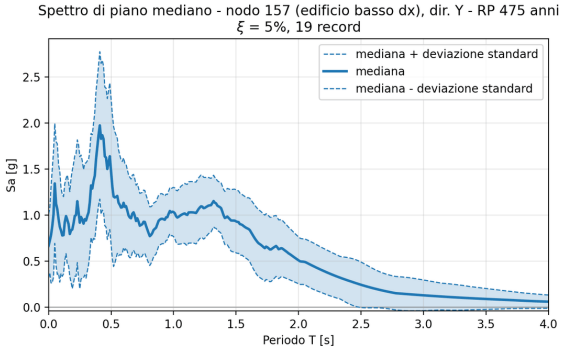

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 224 ann
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

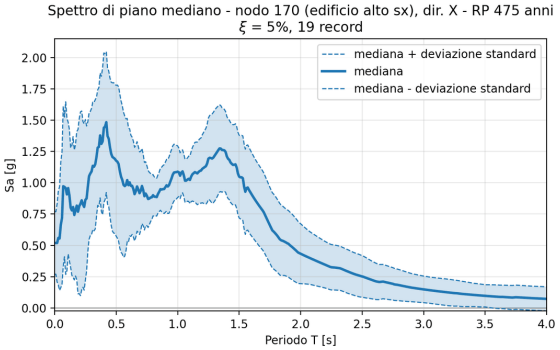
RP475

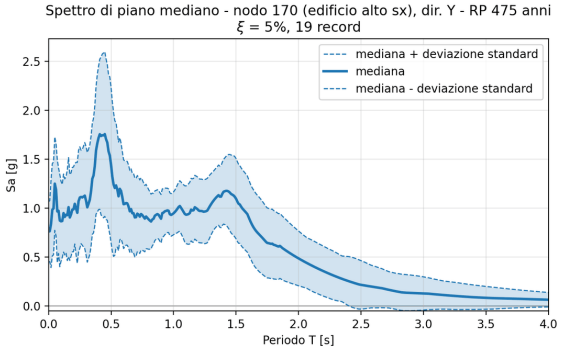

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

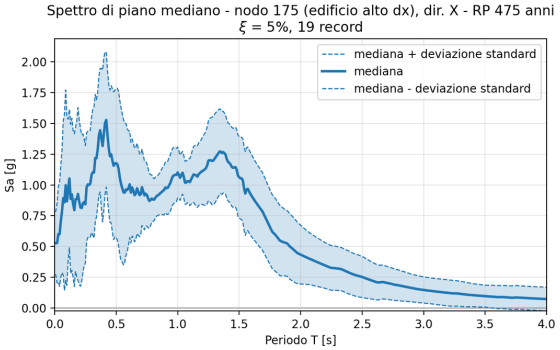

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

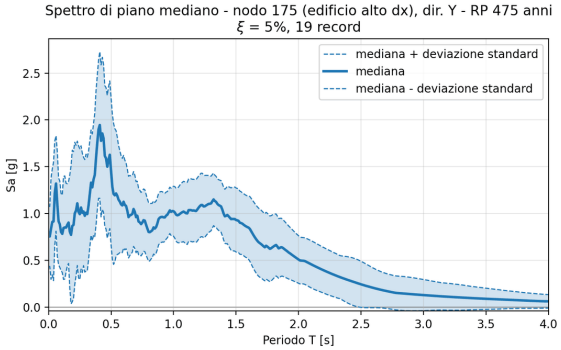

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

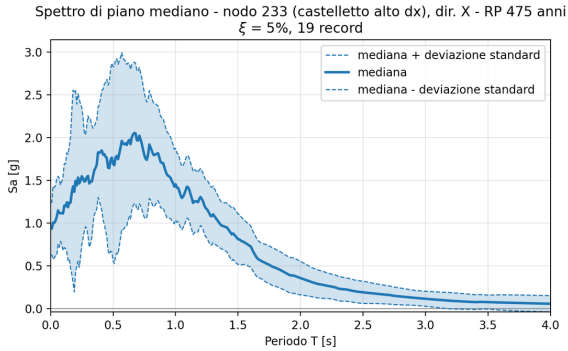

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

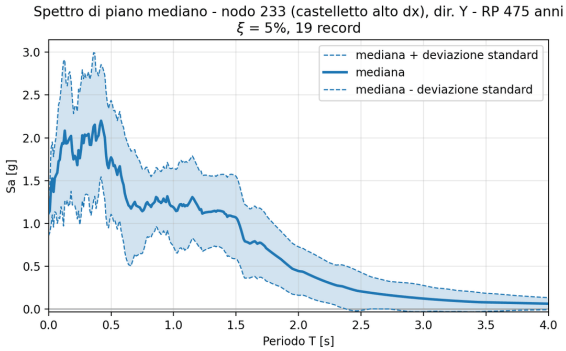

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

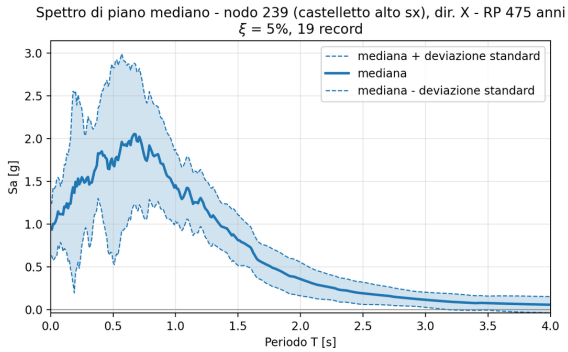

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

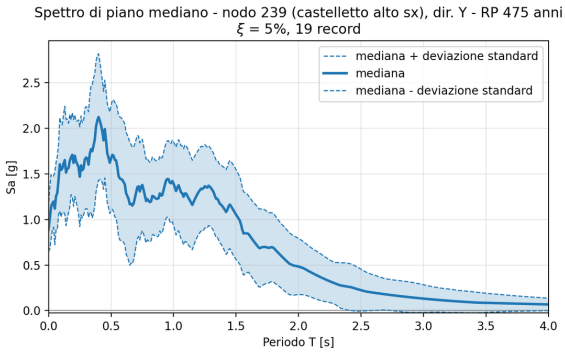

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

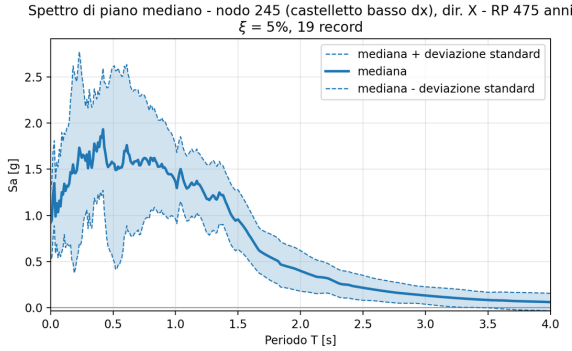

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

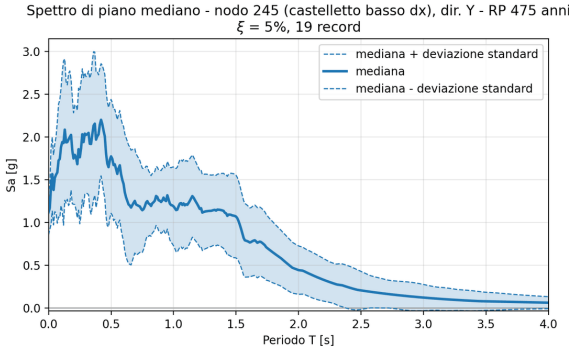

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

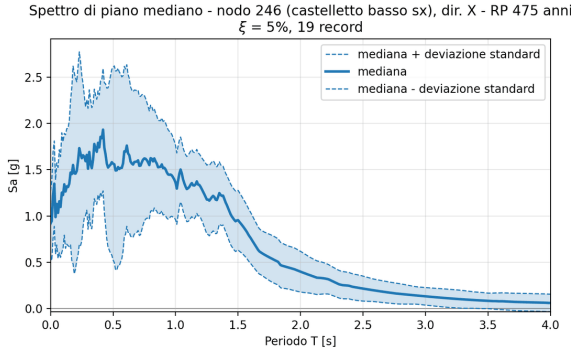

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

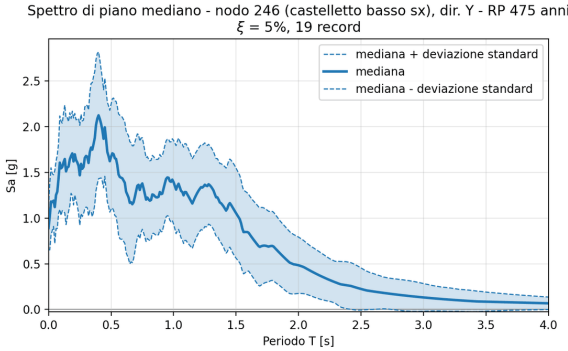

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

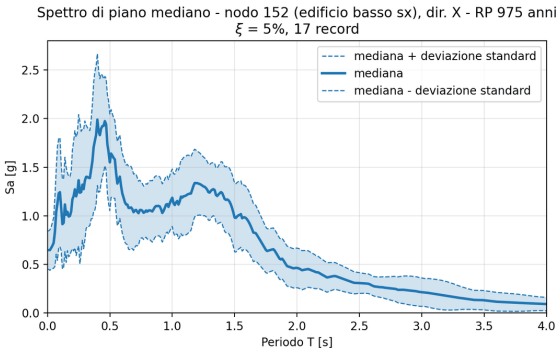

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

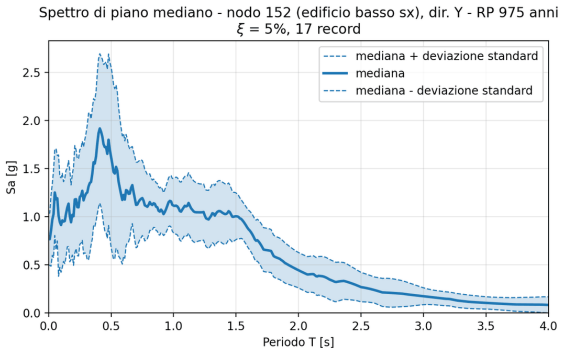

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

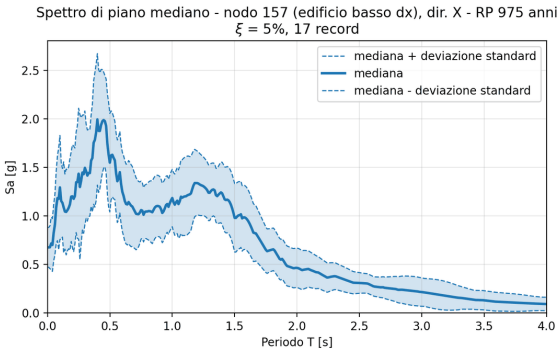

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

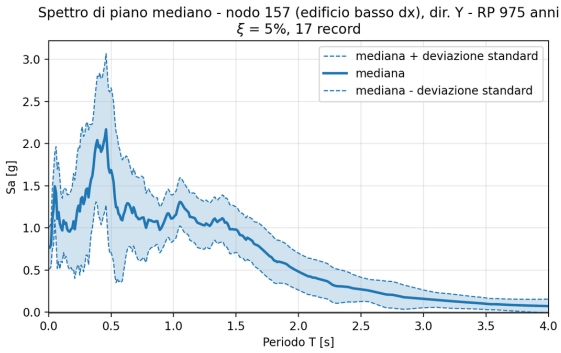

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

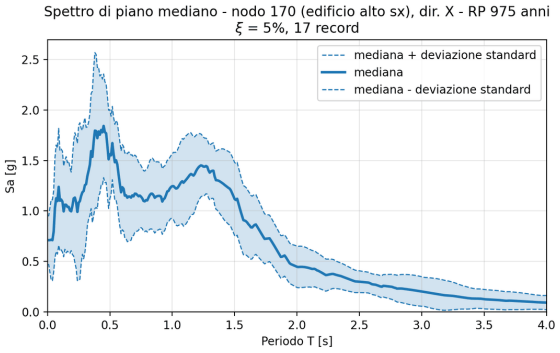
RP975

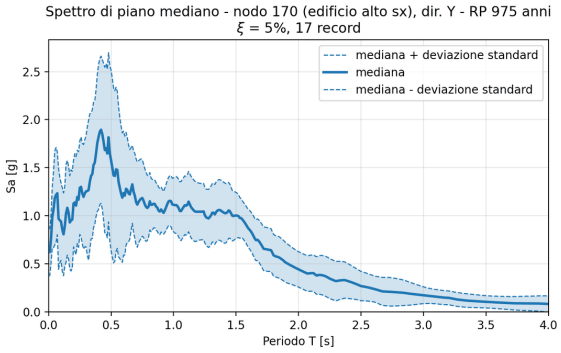

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

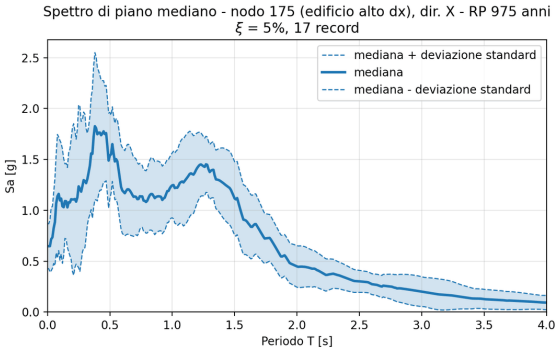

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

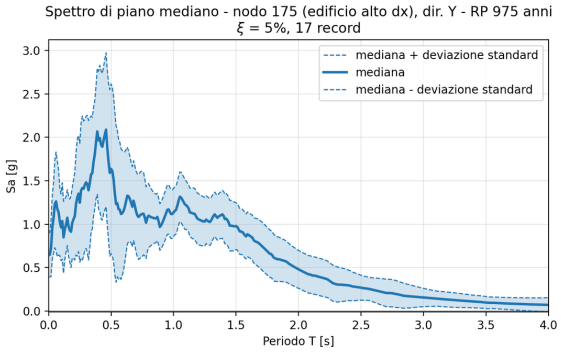

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

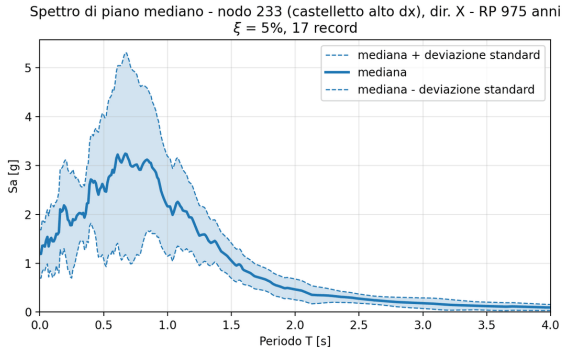

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

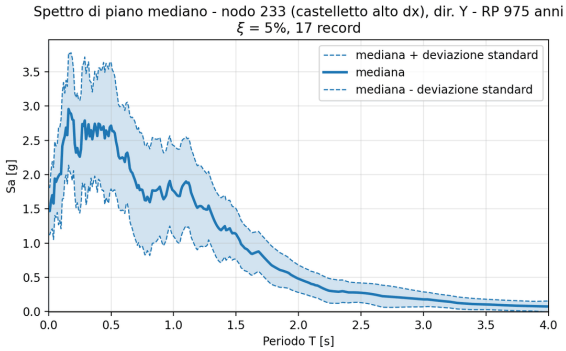

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

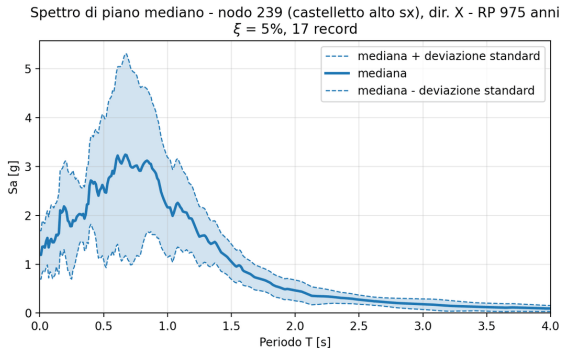

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

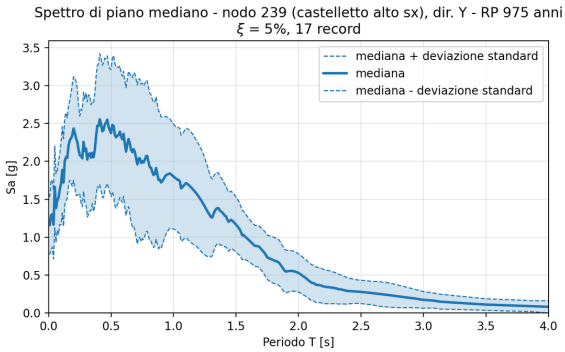

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

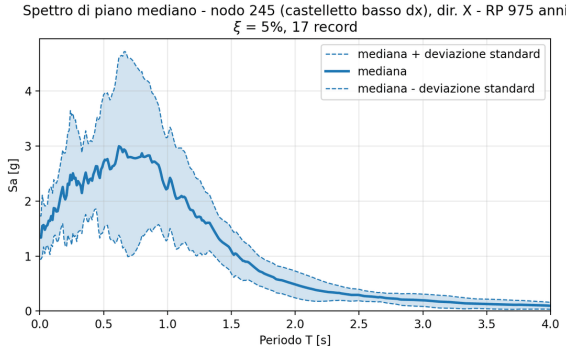

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

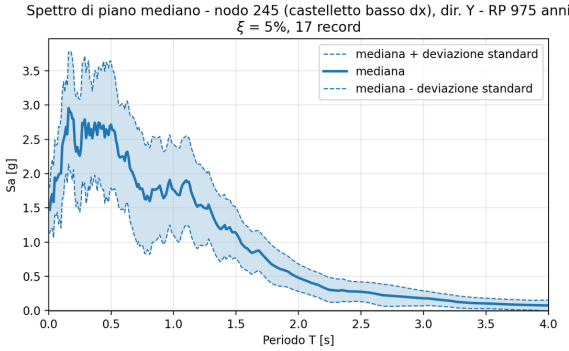

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

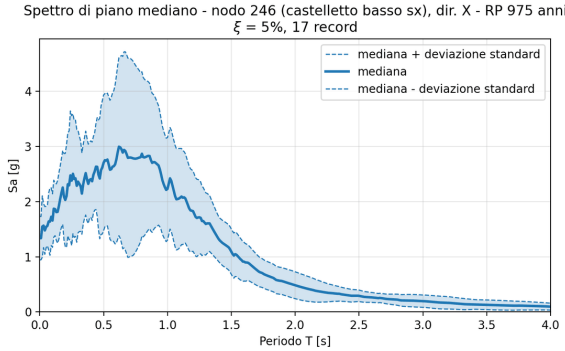

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

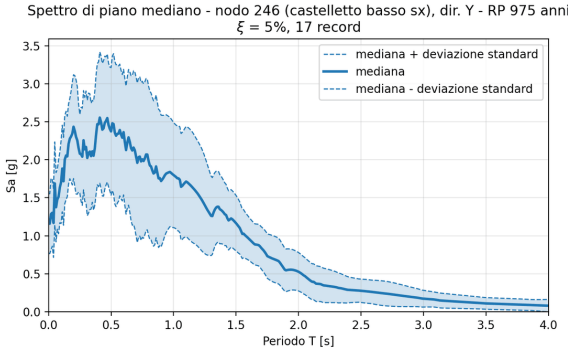

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

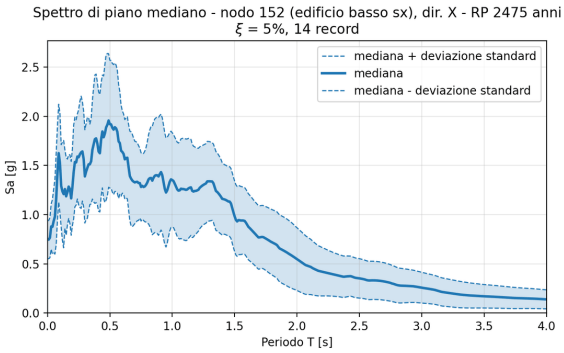

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

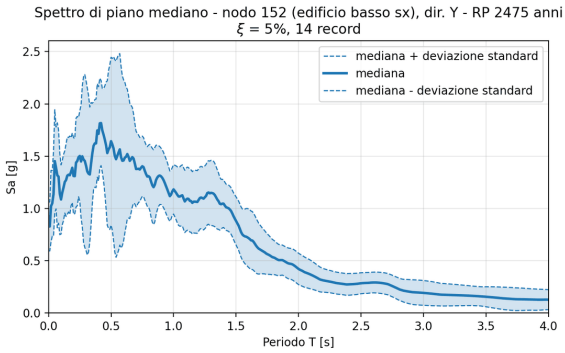

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

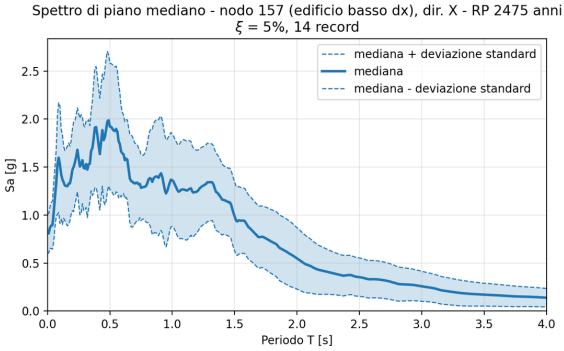

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

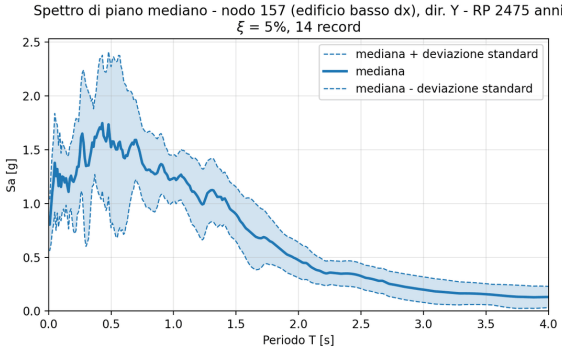

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 17 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

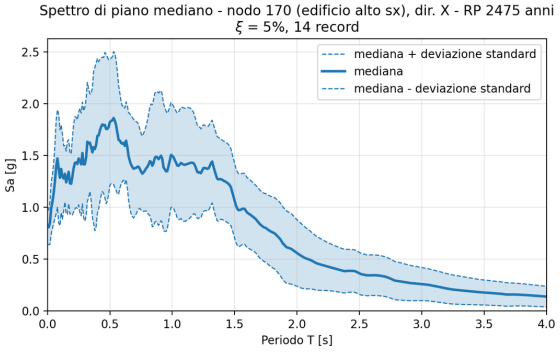
RP2475

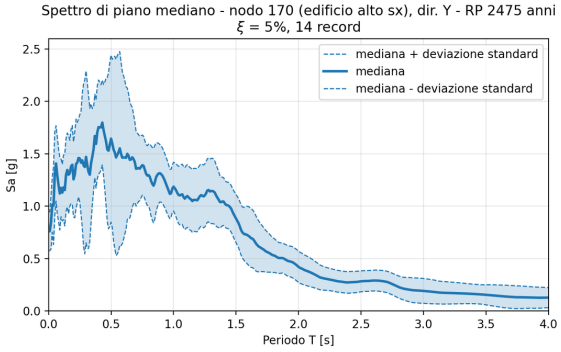

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

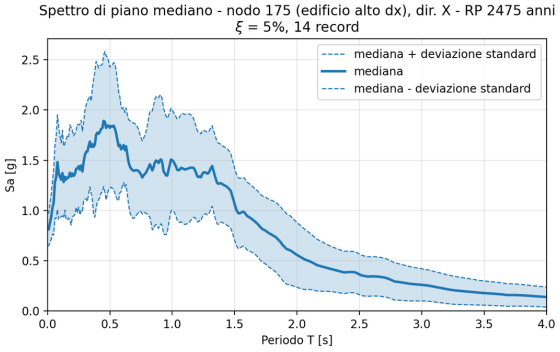

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

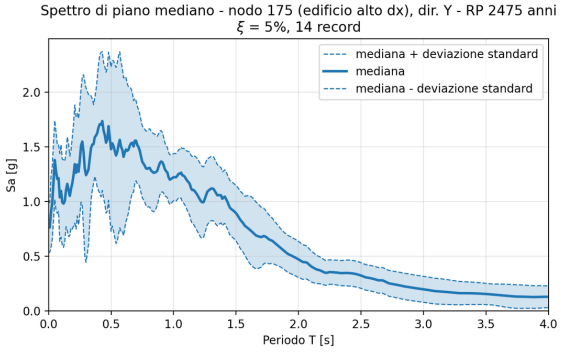

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

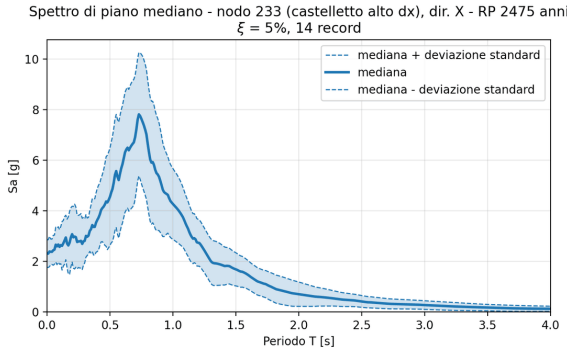

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

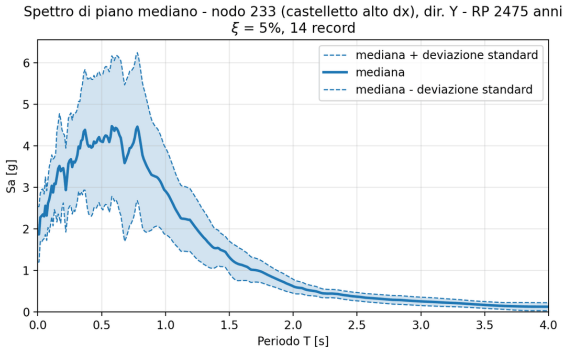

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

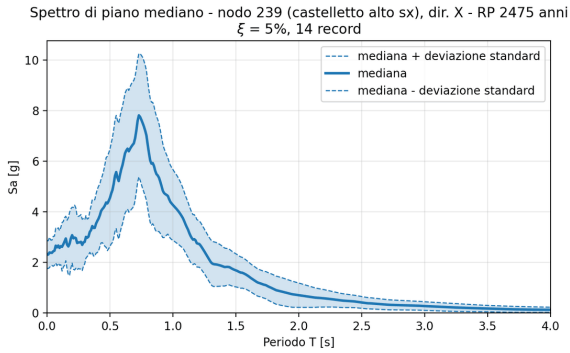

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

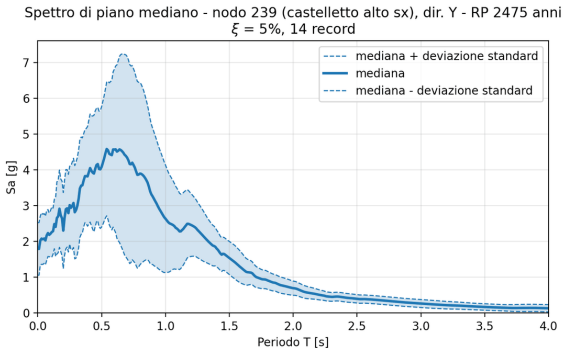

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

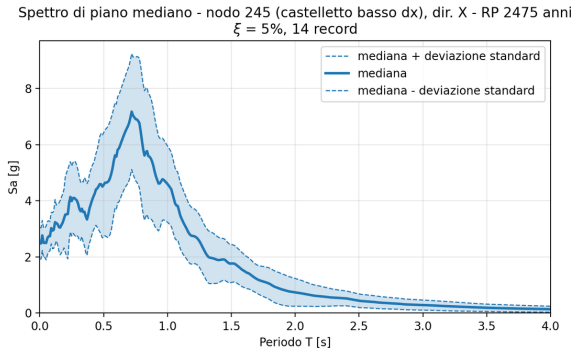

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

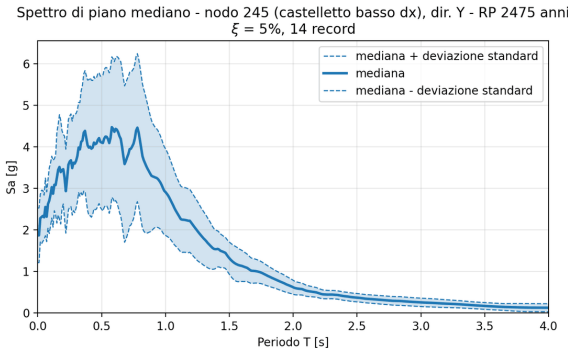

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

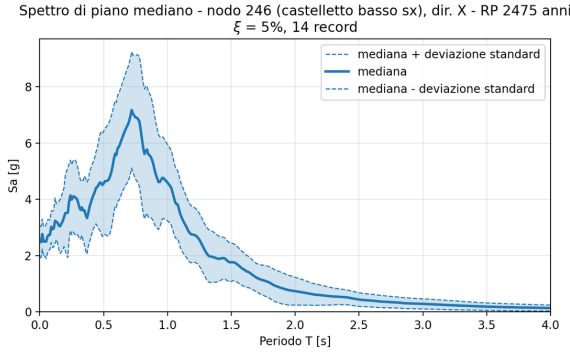

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

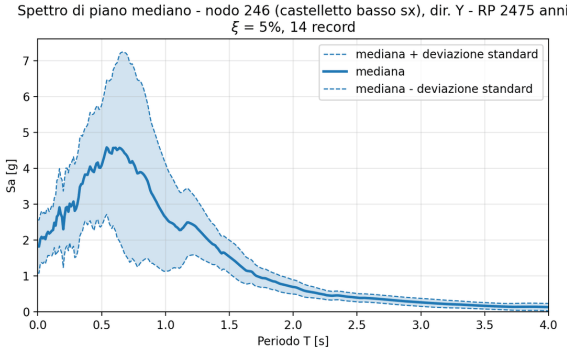

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

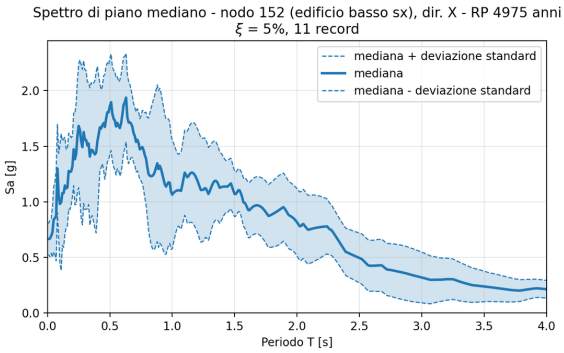

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

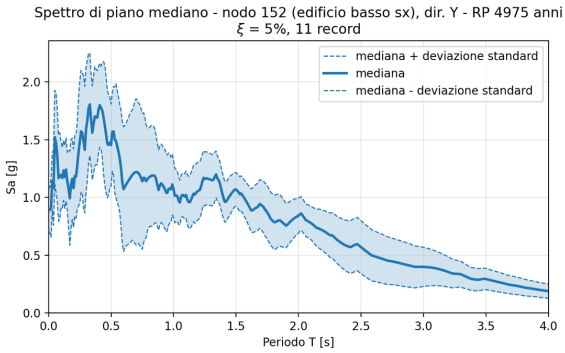

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

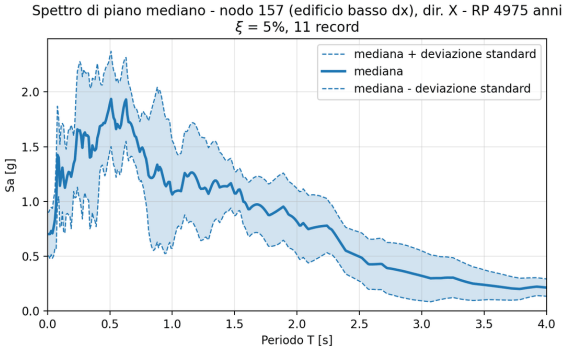

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

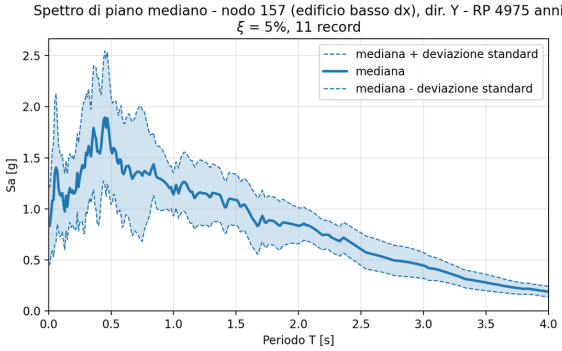

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

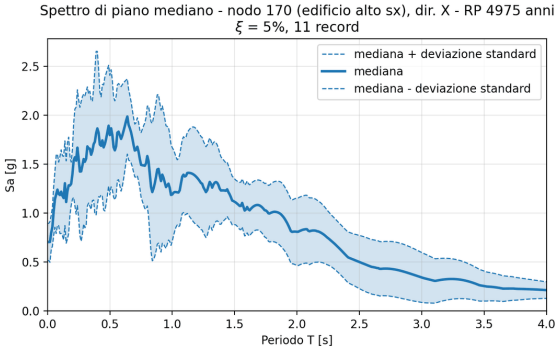
RP4975

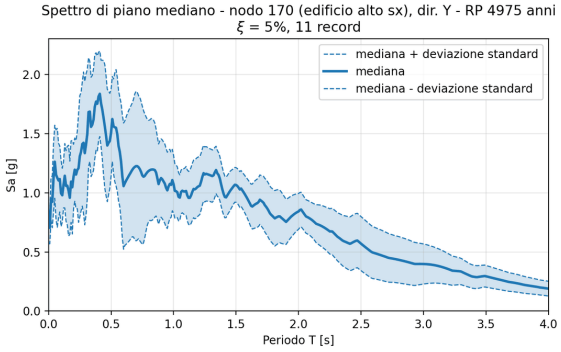

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 11 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

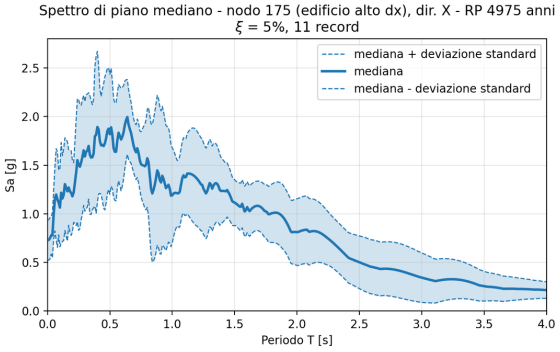

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 11 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

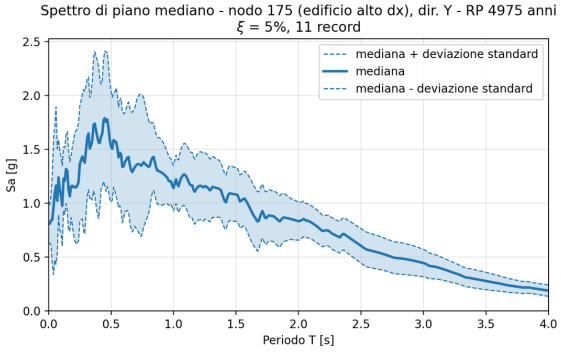

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 11 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

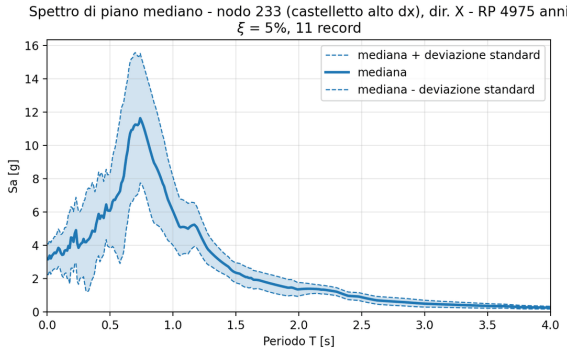

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 11 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

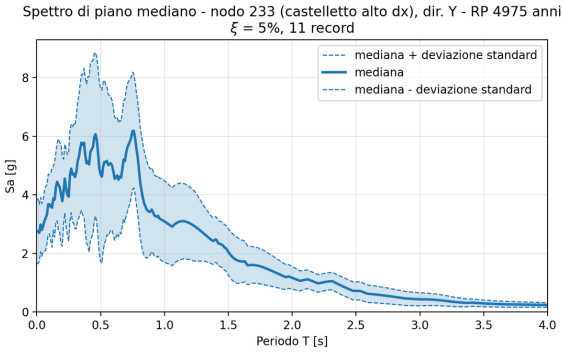

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 11 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

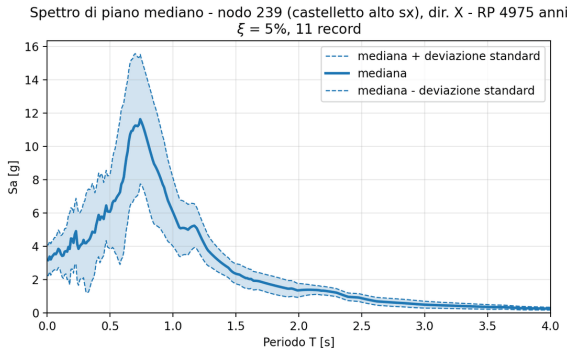

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 11 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

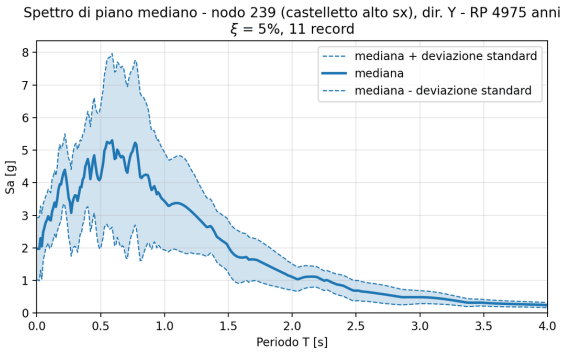

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 11 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

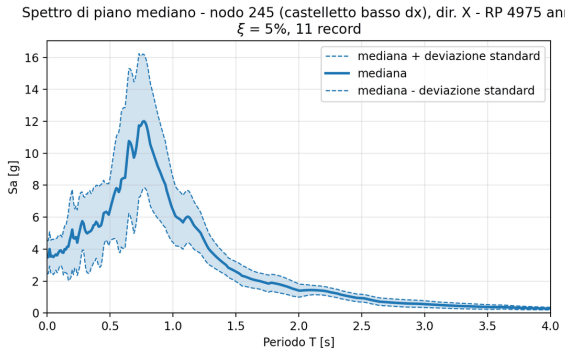

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 11 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

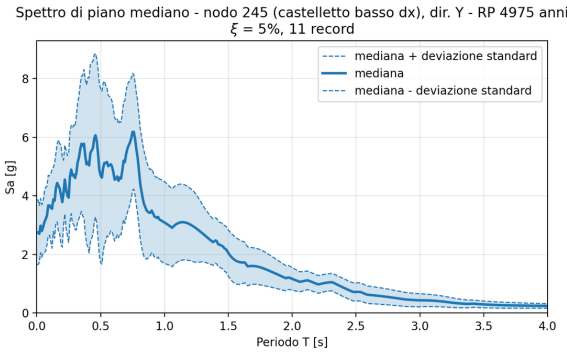

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 11 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

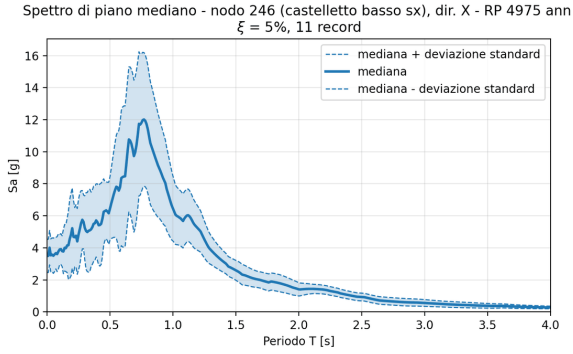

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 11 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

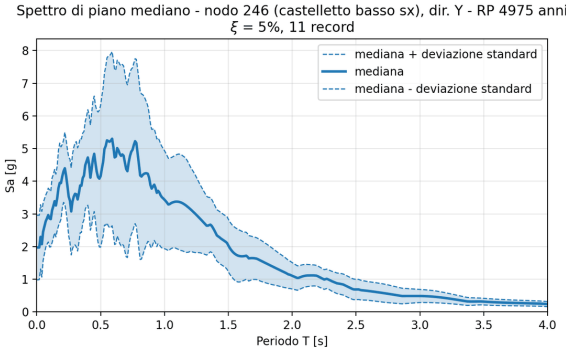

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 11 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 11 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

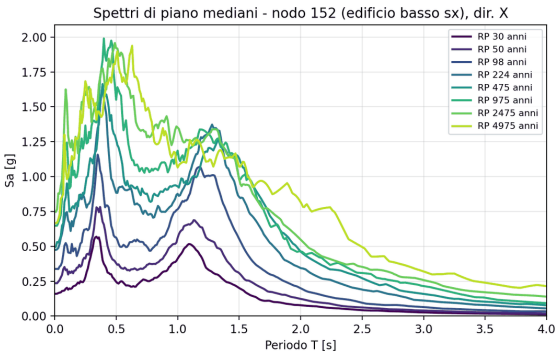

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 4975 ann
ξ = 5%, 11 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

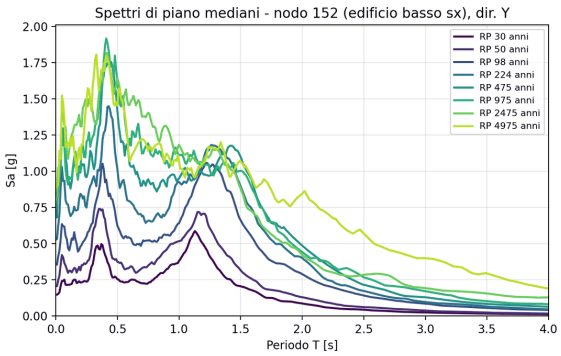

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 11 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

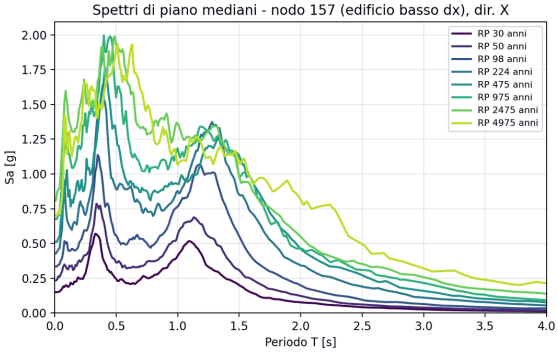

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 4975 ann
ξ = 5%, 11 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

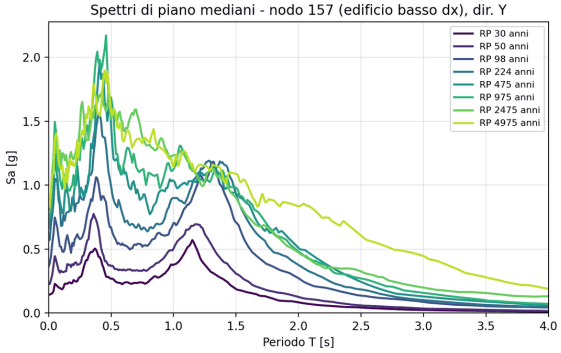

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 11 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

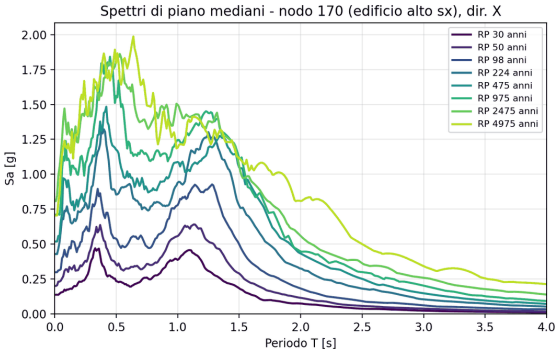
CONFRONTI

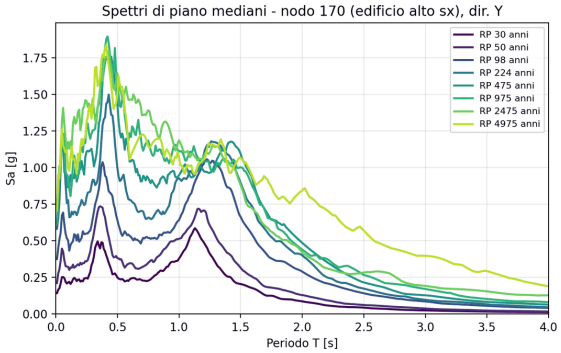

Spettri di piano mediani - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

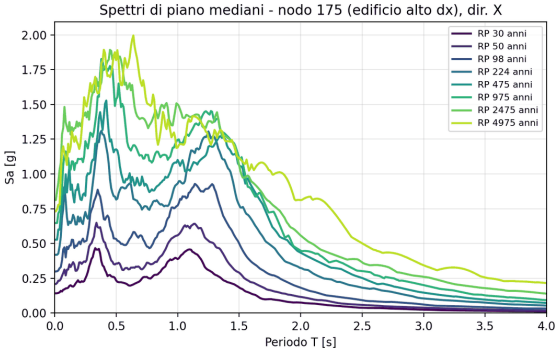

Spettri di piano mediani - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

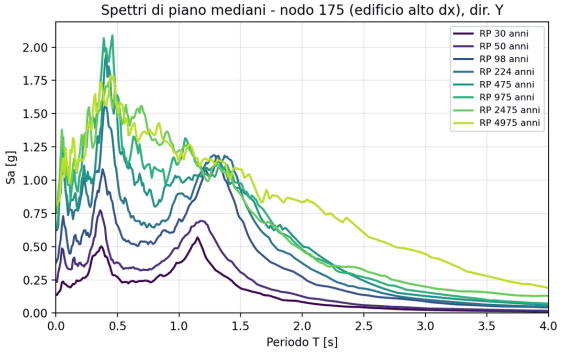

Spettri di piano mediani - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

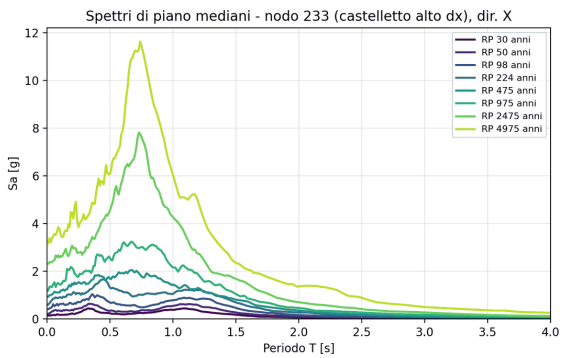

Spettri di piano mediani - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

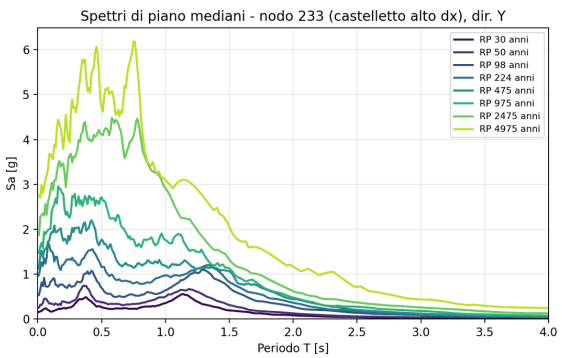

Spettri di piano mediani - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

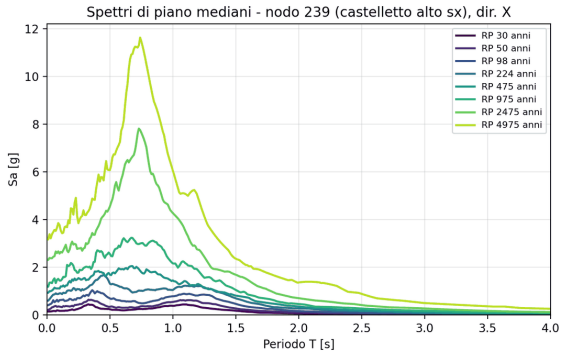

Spettri di piano mediani - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

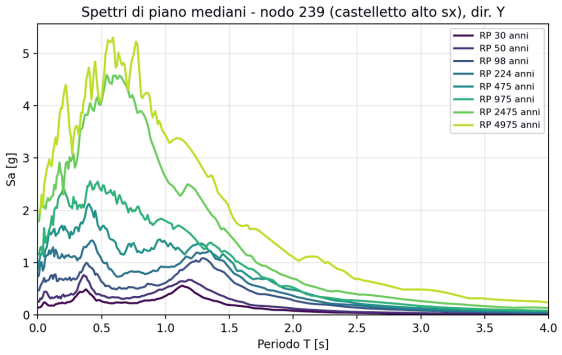

Spettri di piano mediani - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

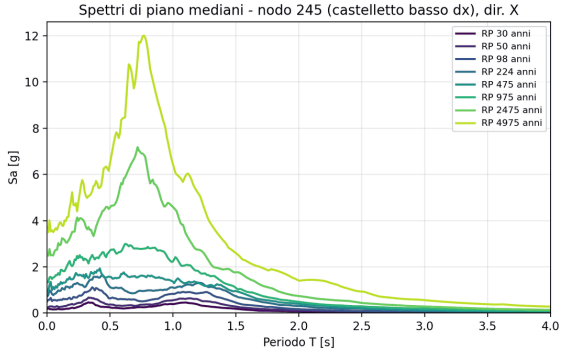

Spettri di piano mediani - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

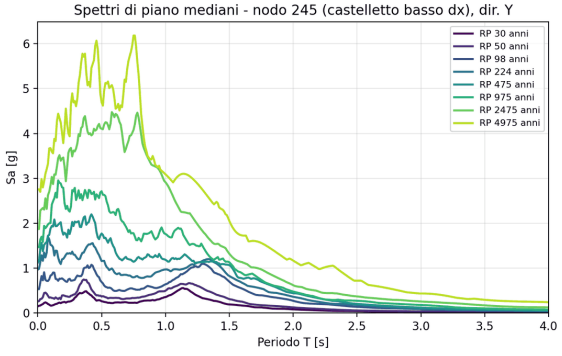

Spettri di piano mediani - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni

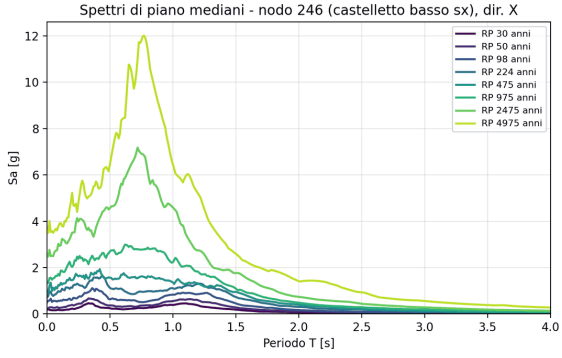

Spettri di piano mediani - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni

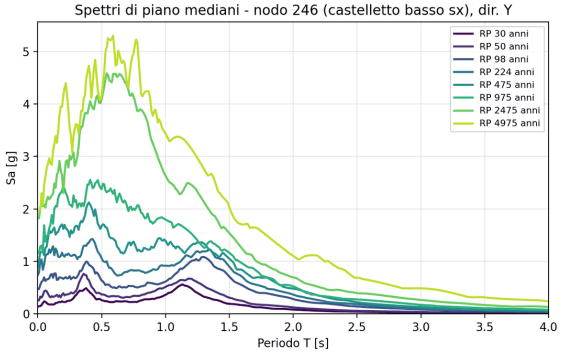

Spettri di piano mediani - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni


Spettri di piano mediani - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni


Spettri di piano mediani - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni

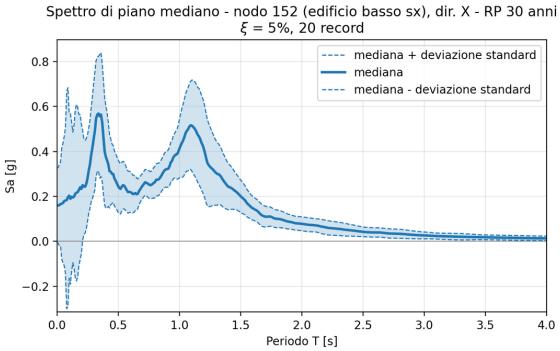

Spettri di piano mediani - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni

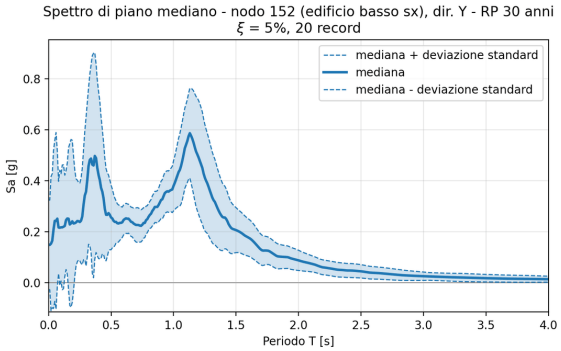

Spettri di piano mediani - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni

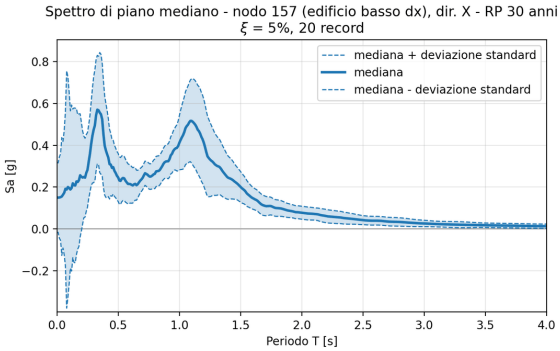

Spettri di piano mediani - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni

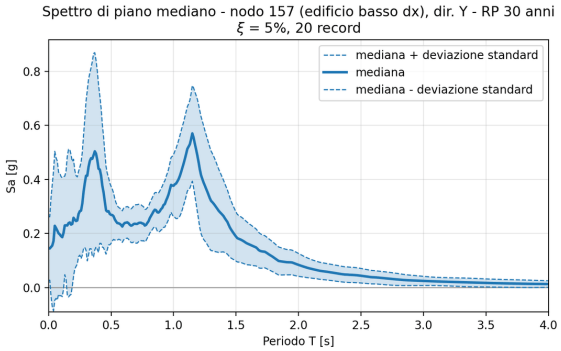
C.4 Modello ancoraggi El-Pl_50

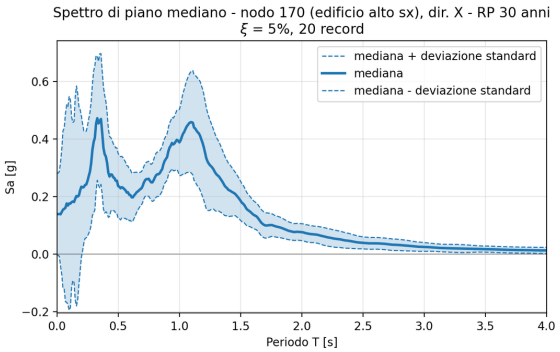
RP30

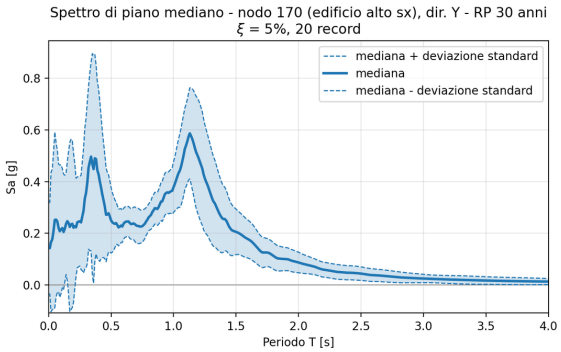


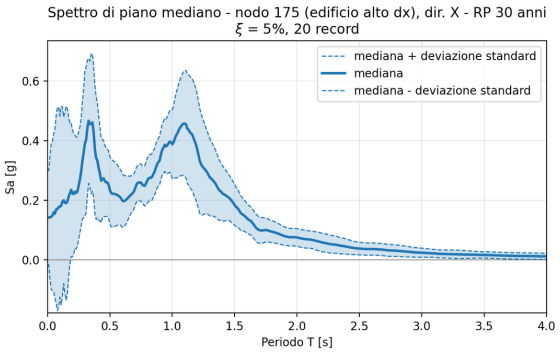


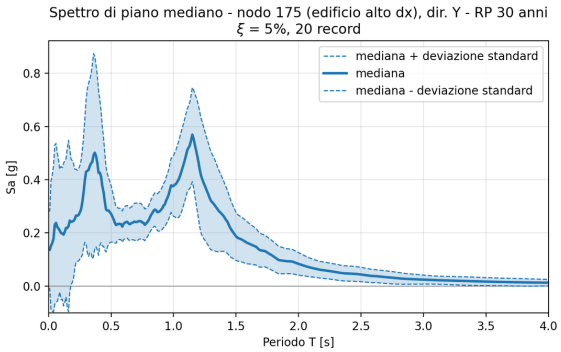


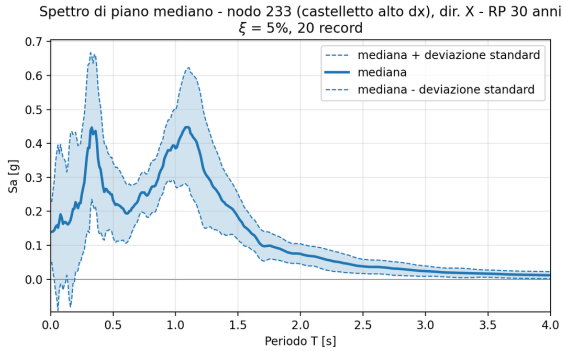


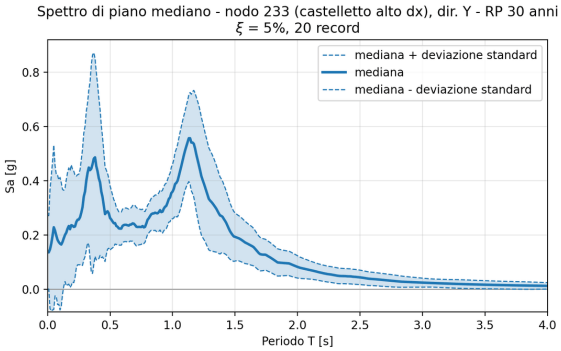


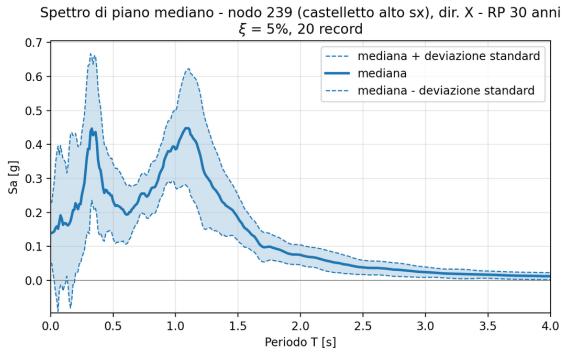


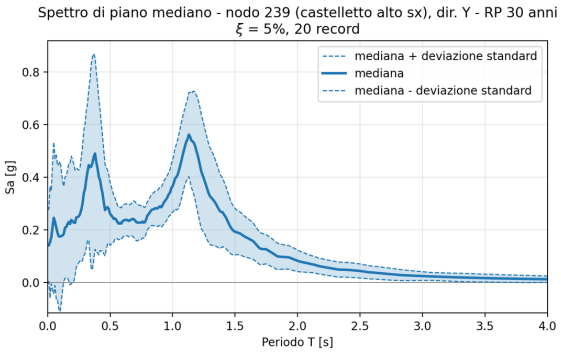


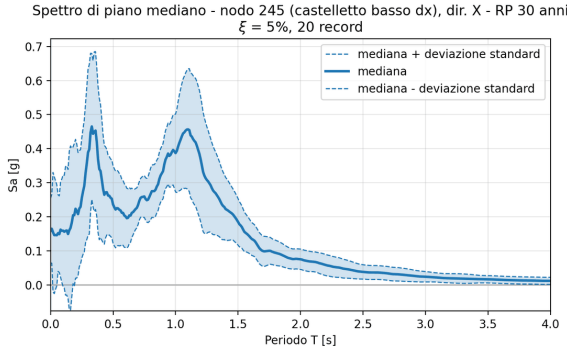


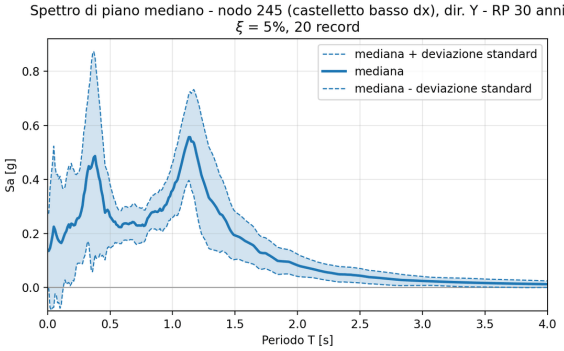

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

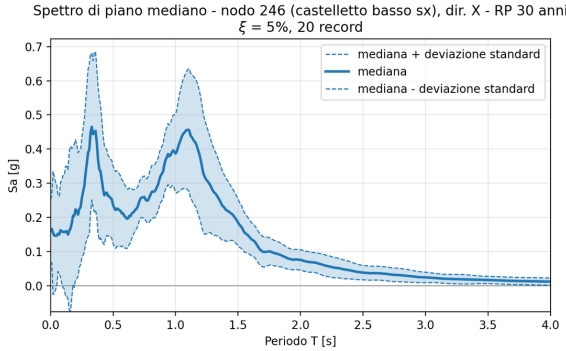

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

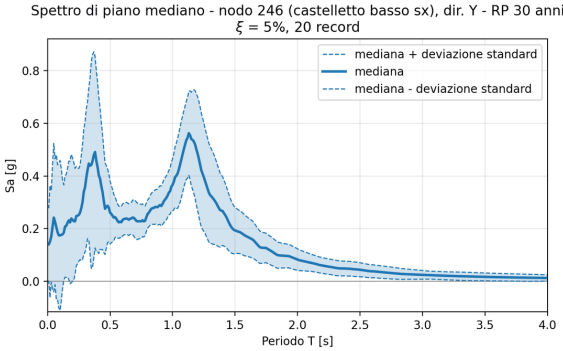

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

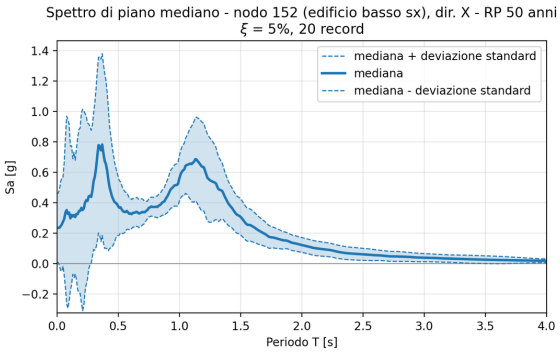

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

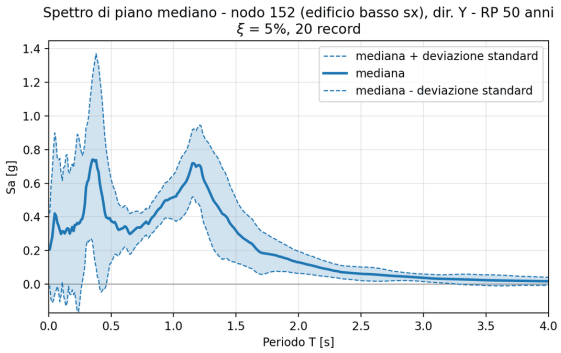

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

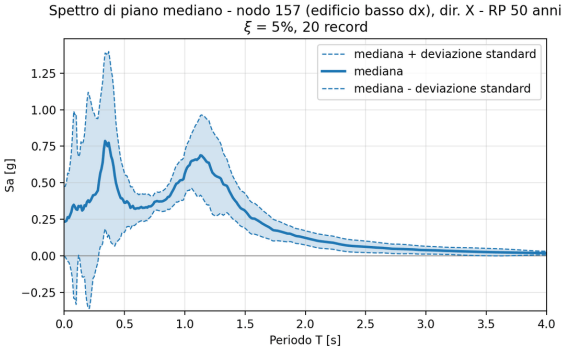

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

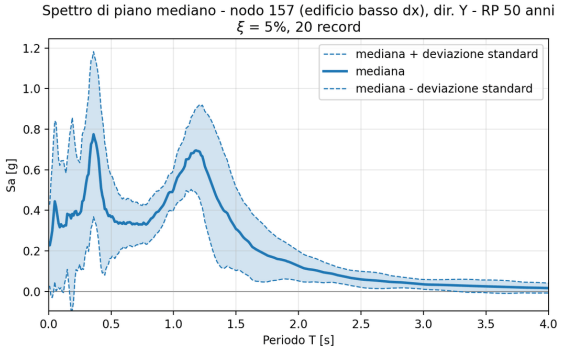

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 30 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

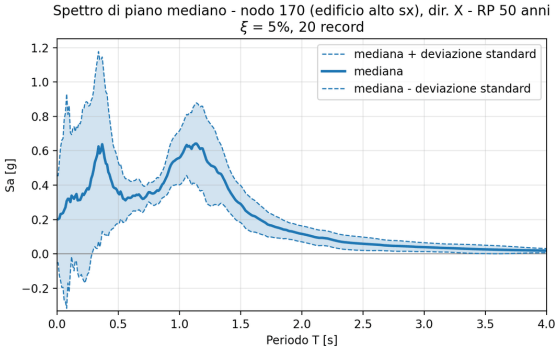
RP50

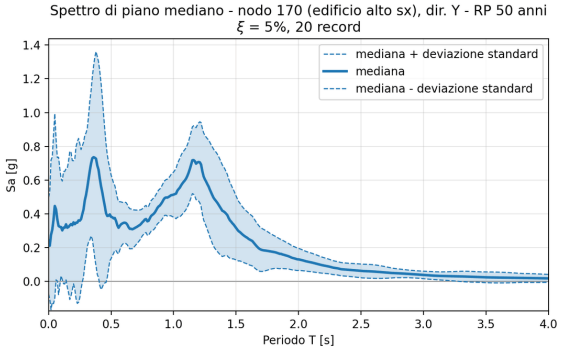

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

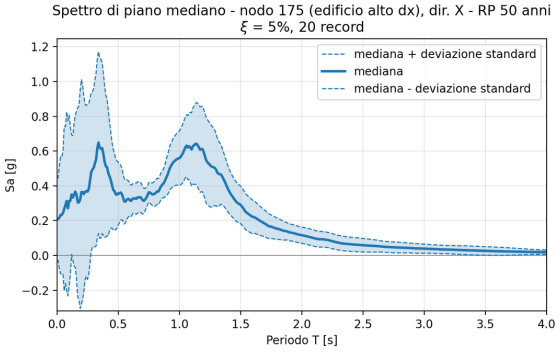

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

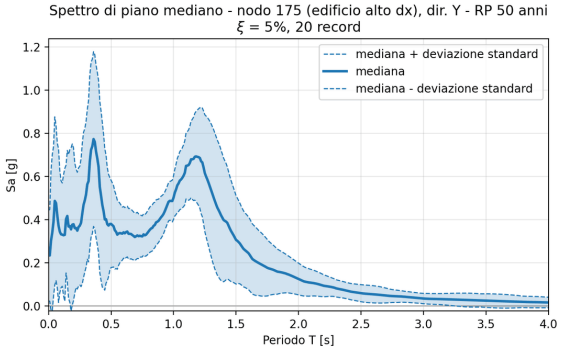

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

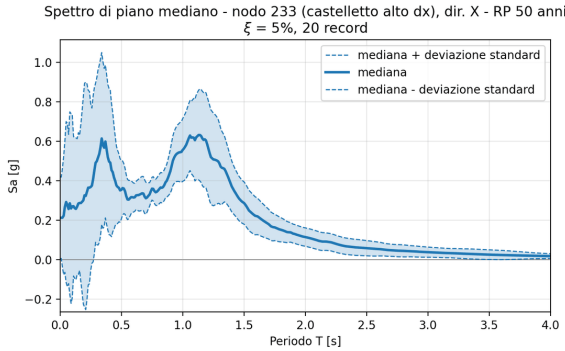

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

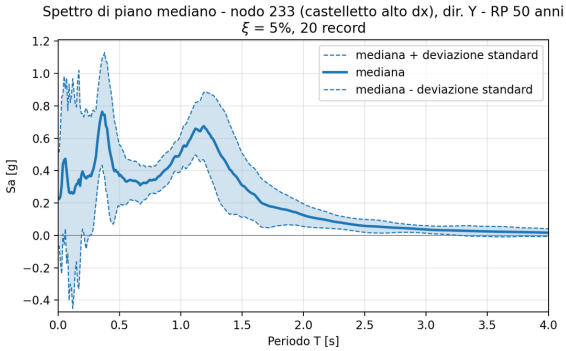

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

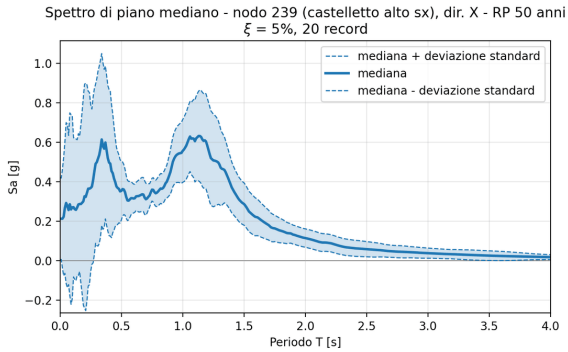

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

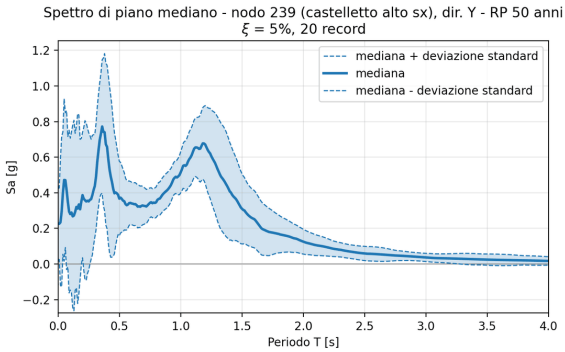

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

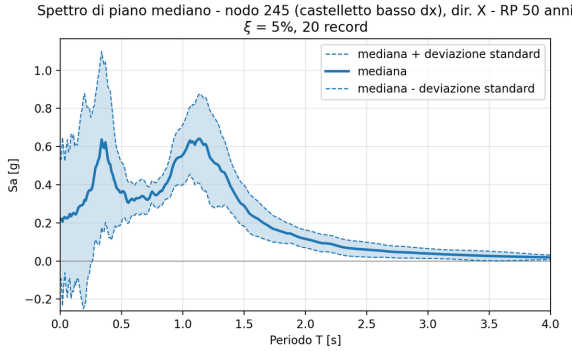

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

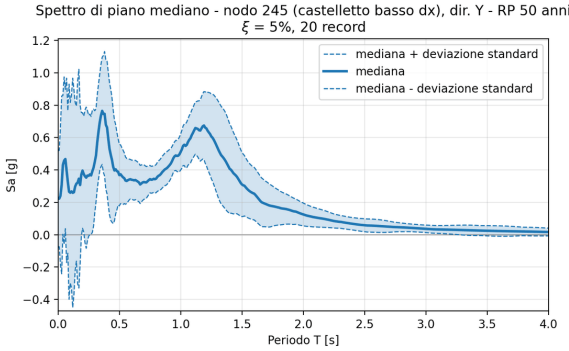

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

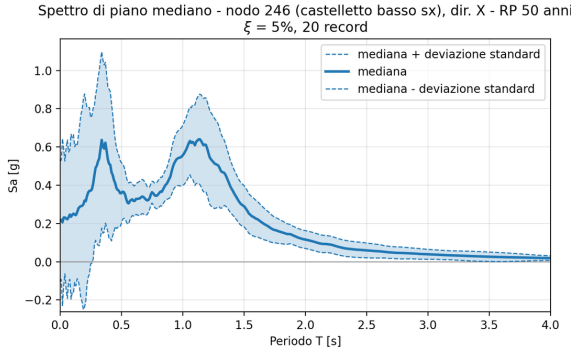

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

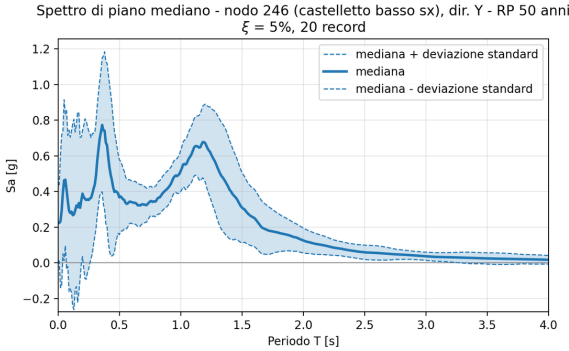

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

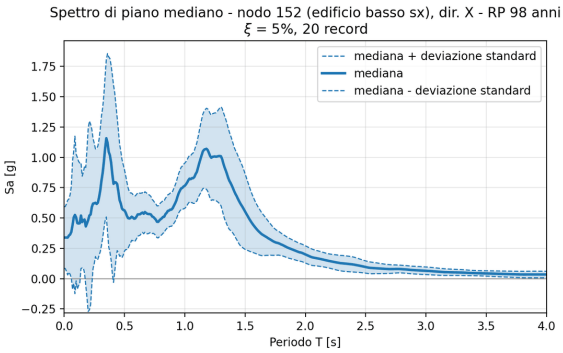

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

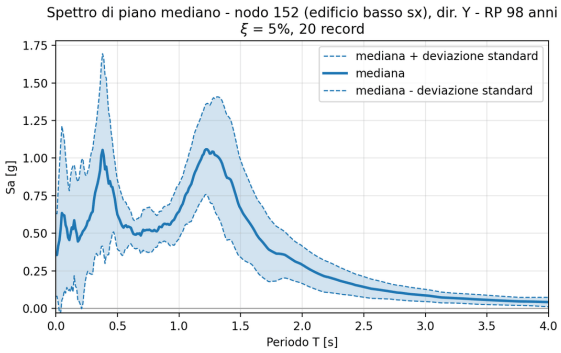

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

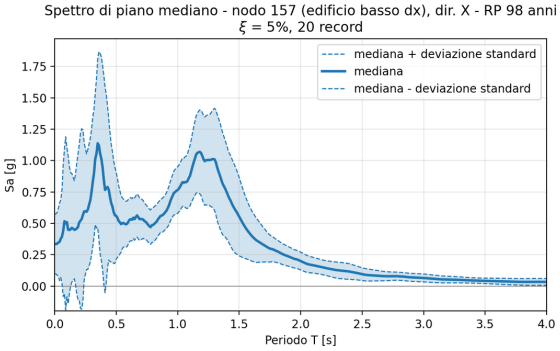

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

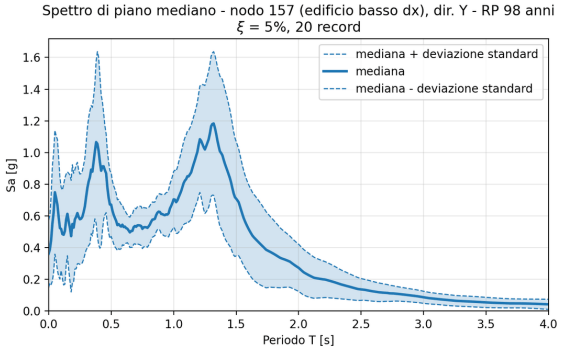

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 50 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

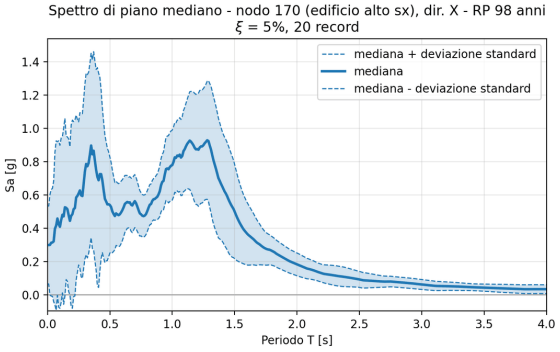
RP98

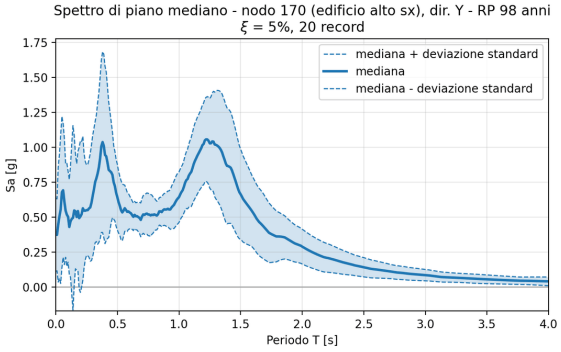

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

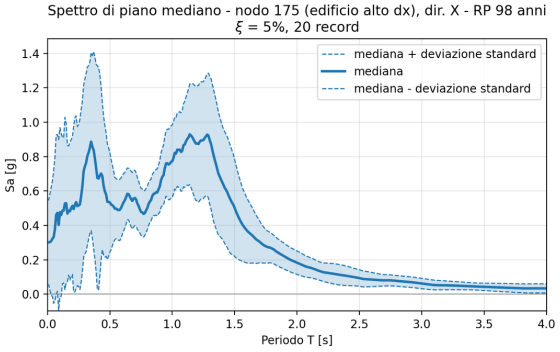

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

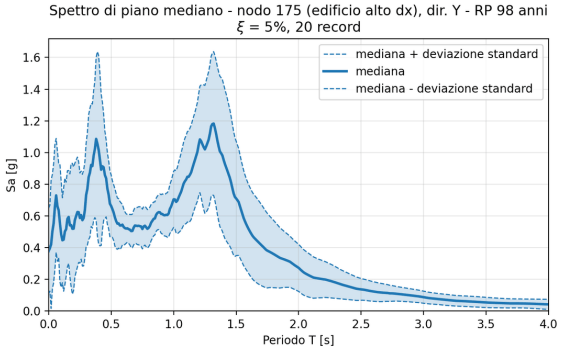

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

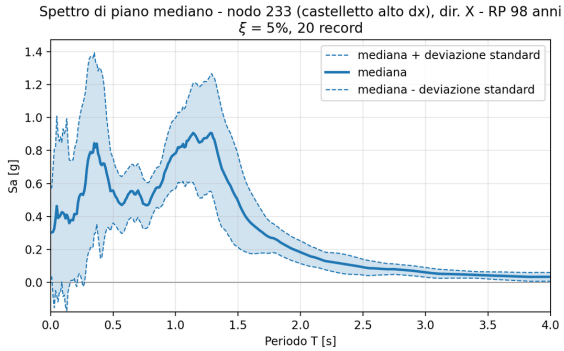

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

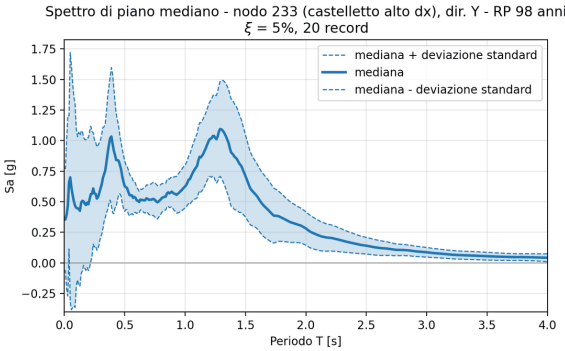

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

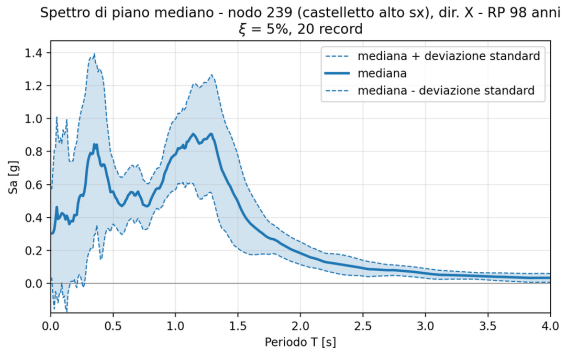

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

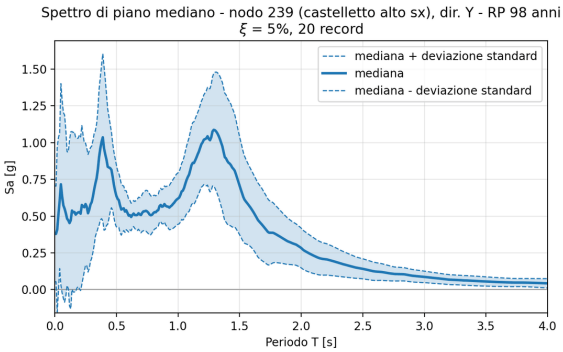

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

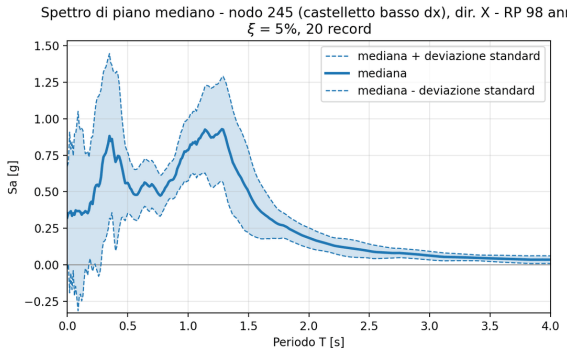

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

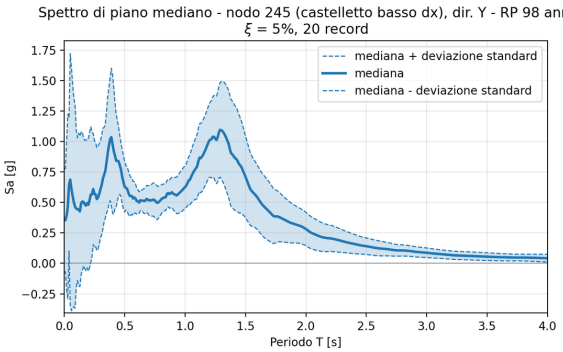

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

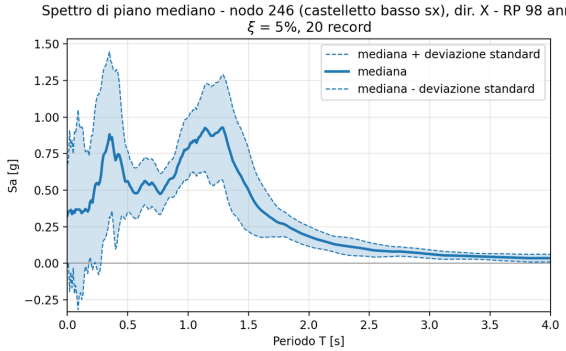

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

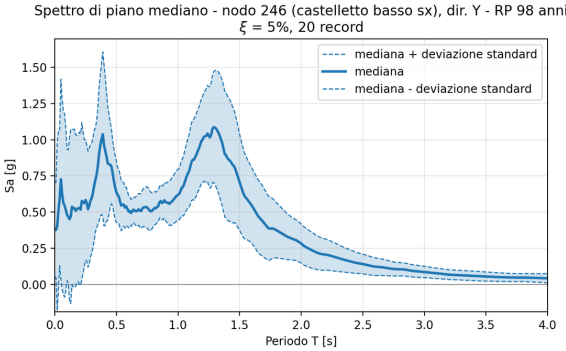

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

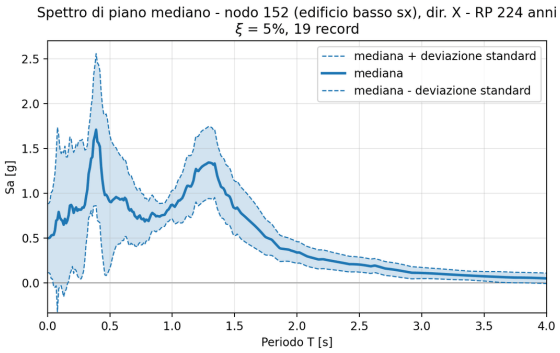

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 98 ann
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

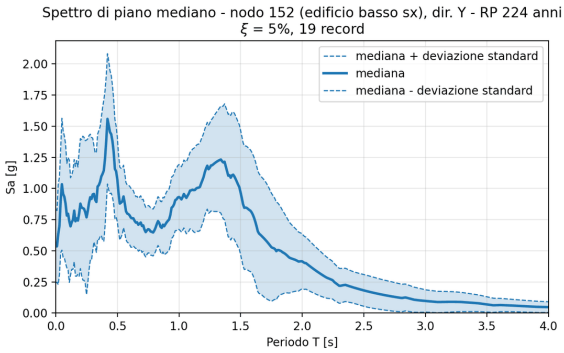

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 98 ann
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

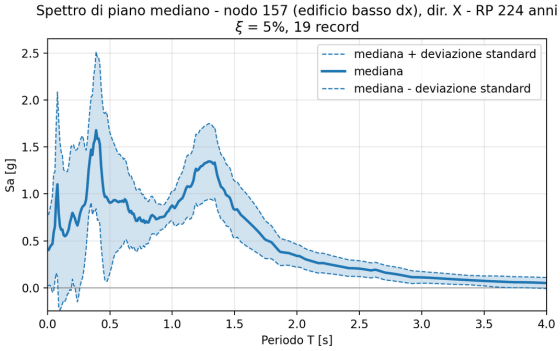

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 98 ann
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

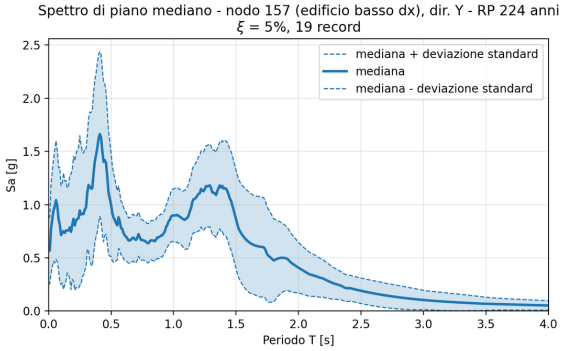

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 98 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

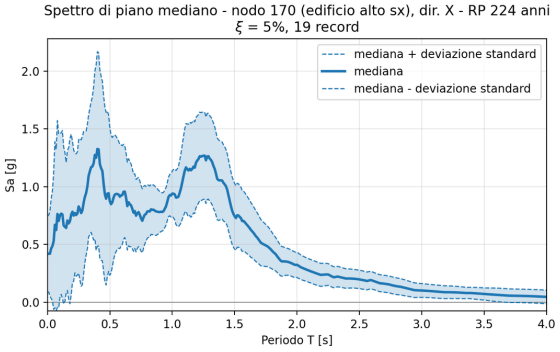
RP224

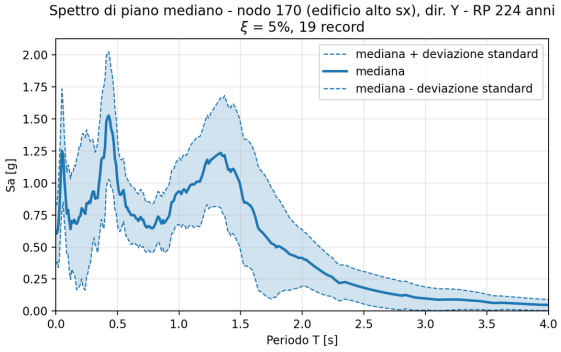

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

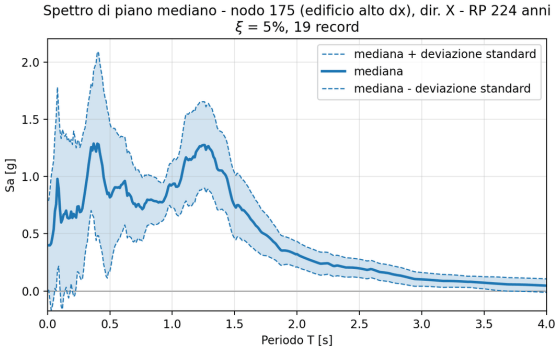

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

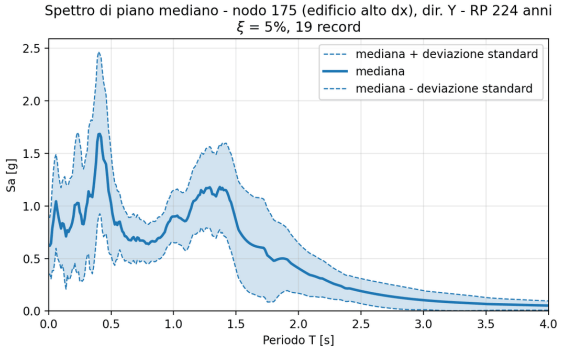

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

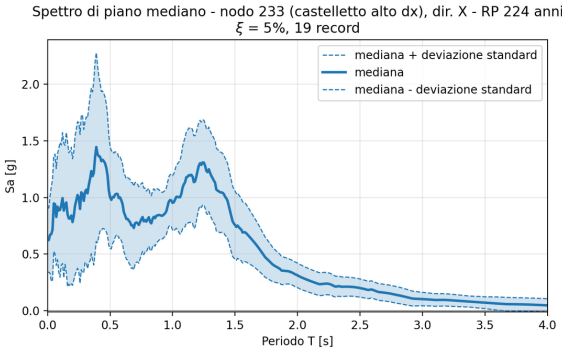

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

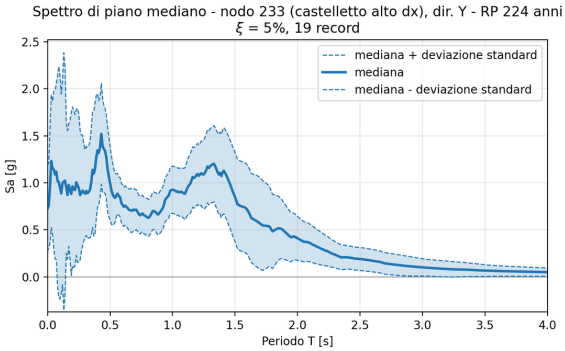

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

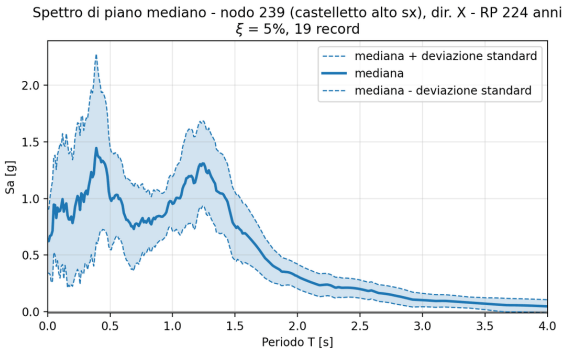

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

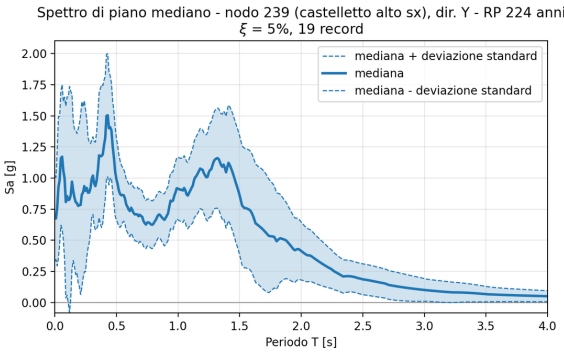

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

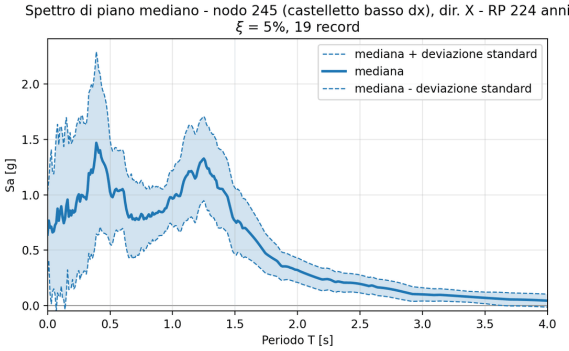

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

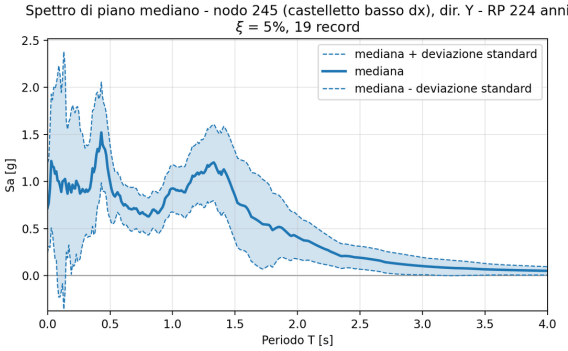

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

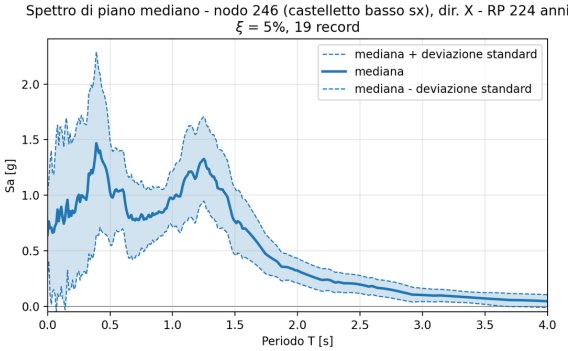

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

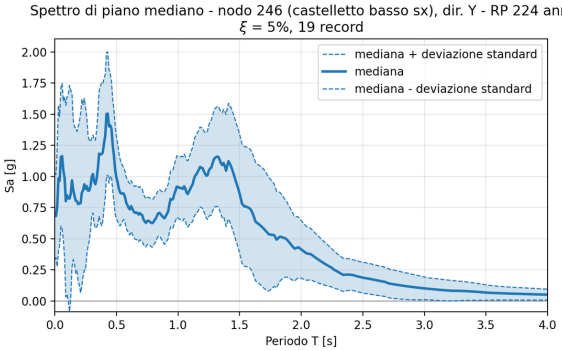

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

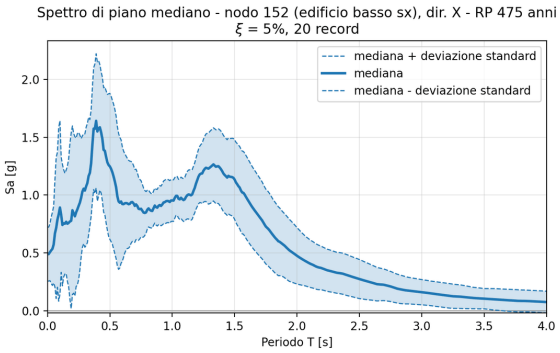

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

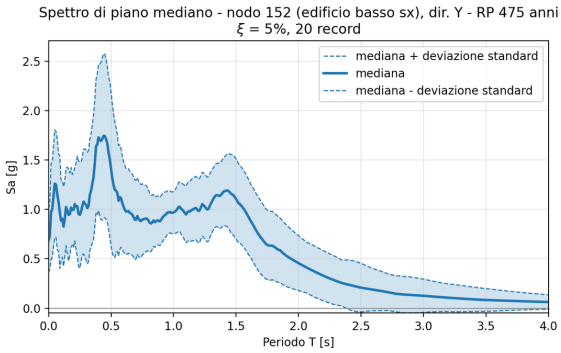

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 224 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

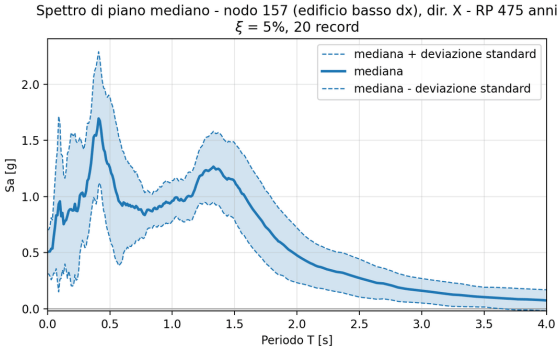

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 224 anni
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

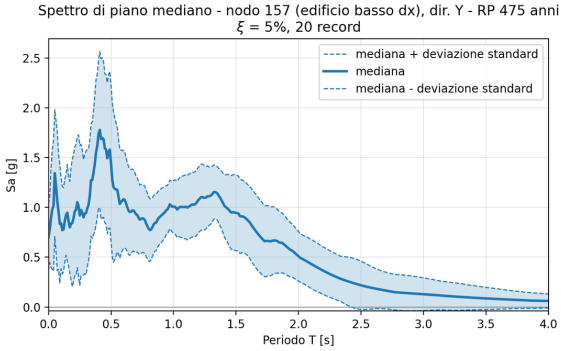

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 224 ann
ξ = 5%, 19 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

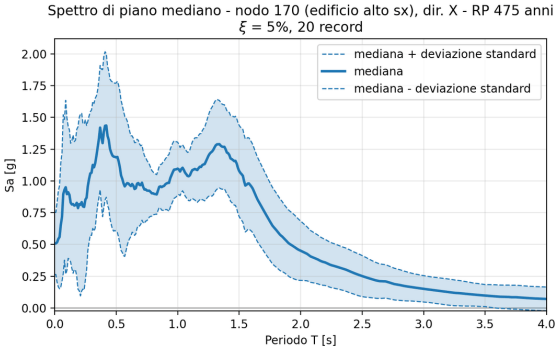
RP475

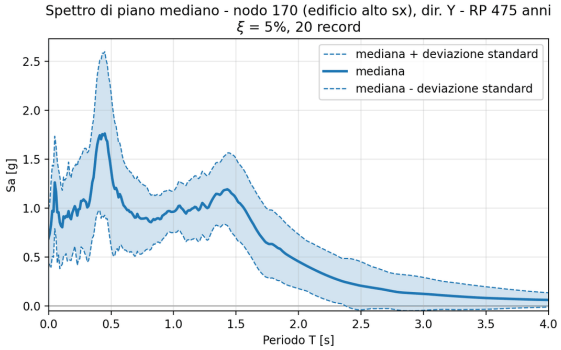

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

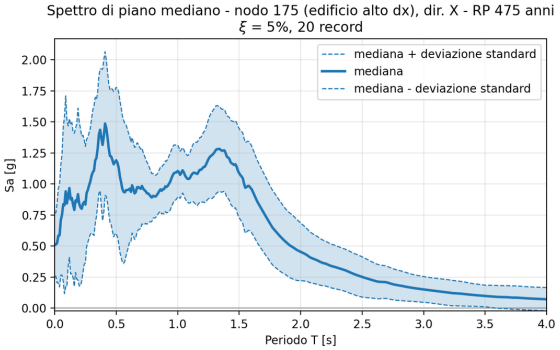

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

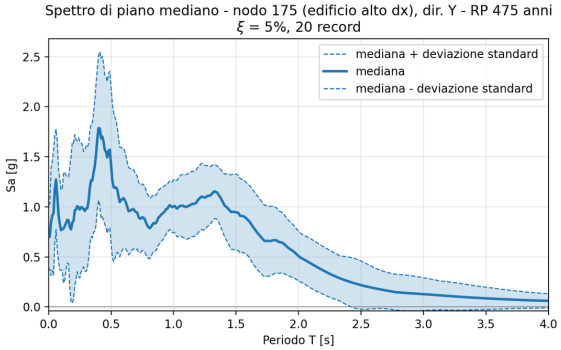

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

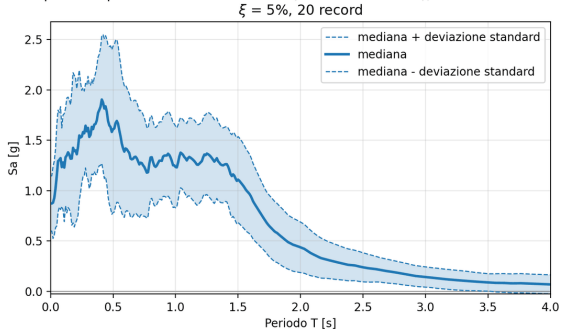

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

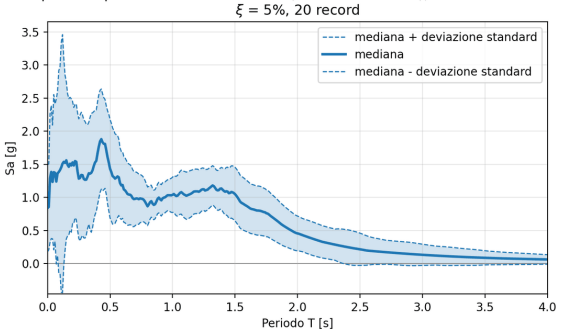

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 20 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

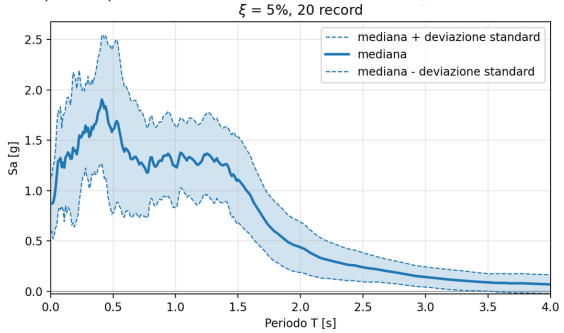
Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 20 record



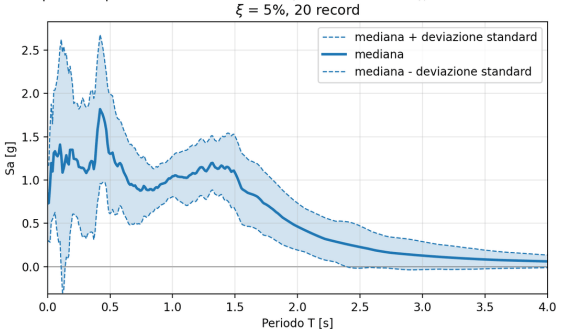
Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 20 record



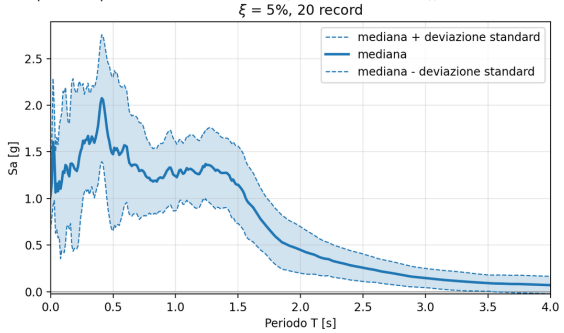
Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 20 record



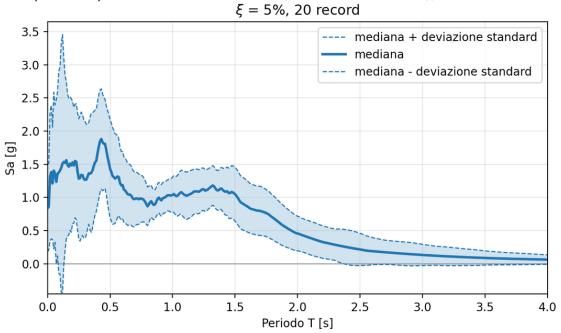
Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 20 record



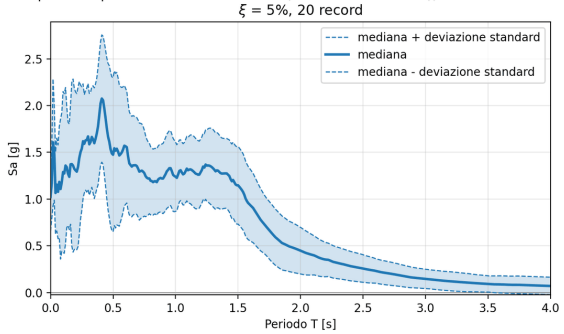
Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 20 record



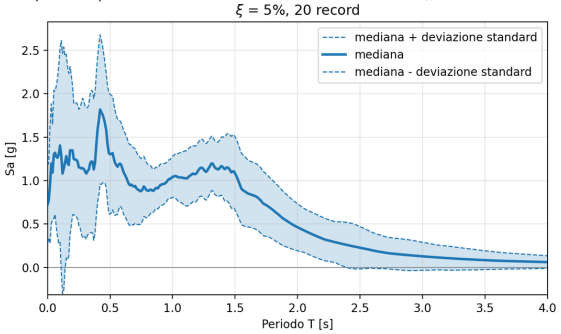
Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 20 record



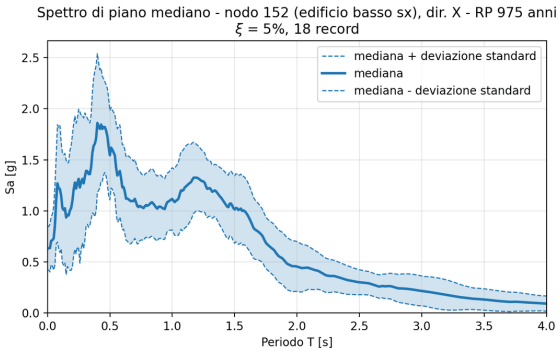
Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 475 anni
ξ = 5%, 20 record

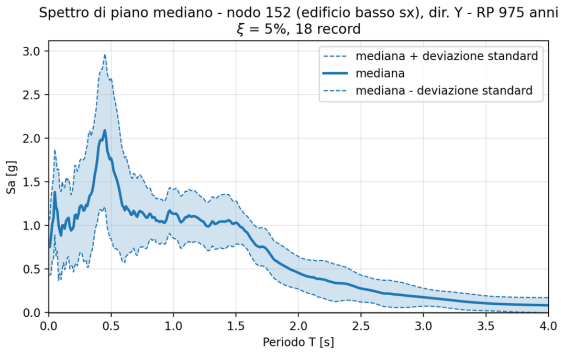


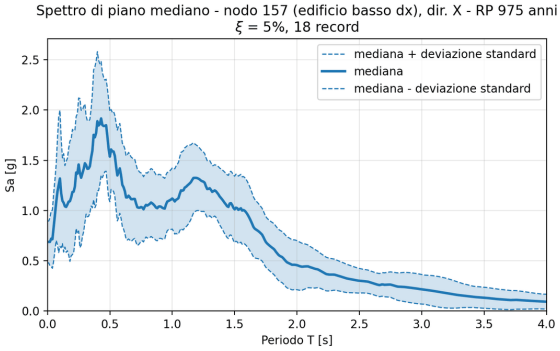
Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 475 anni
ξ = 5%, 20 record

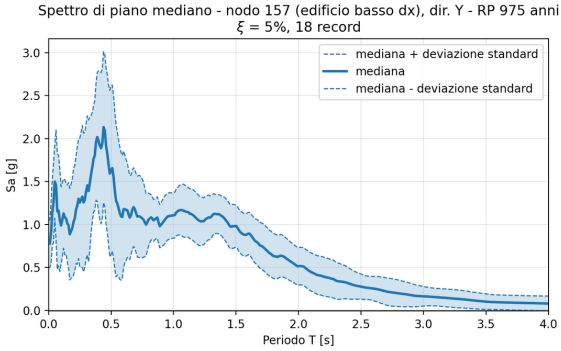


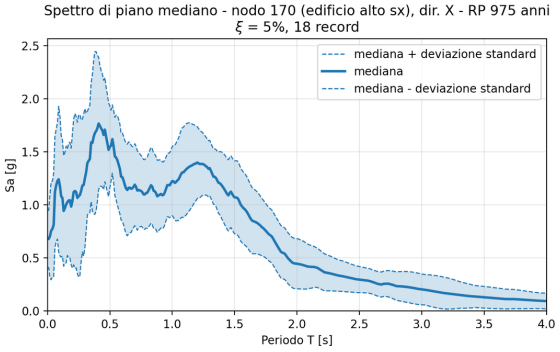
RP975

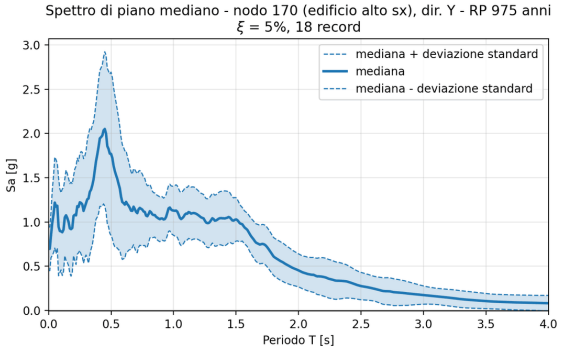

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 18 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

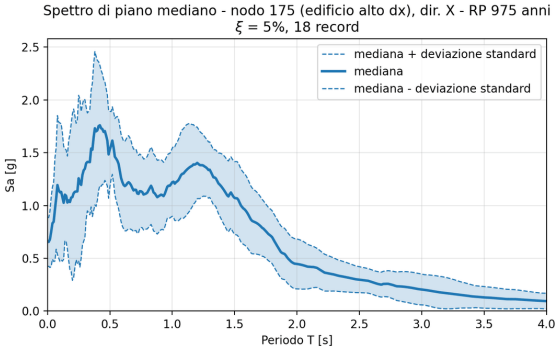

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 18 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

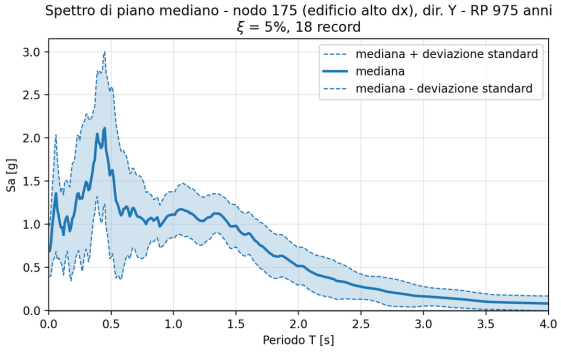

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 18 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

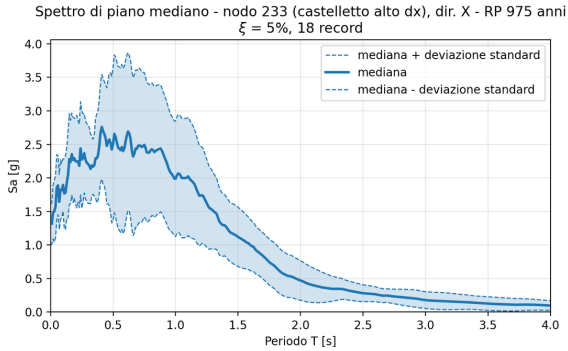

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 18 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

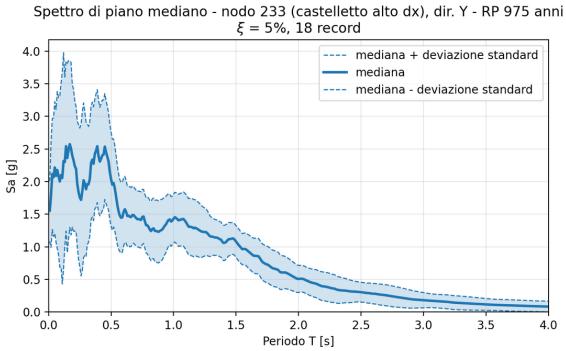

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 18 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

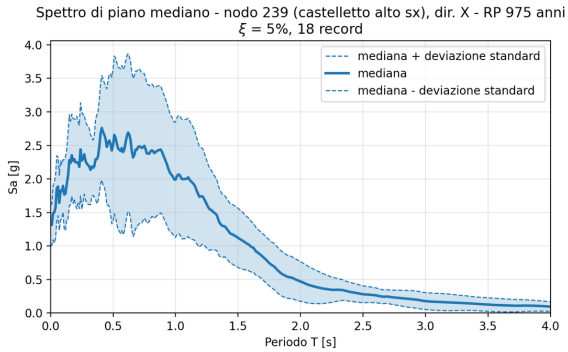

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 18 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

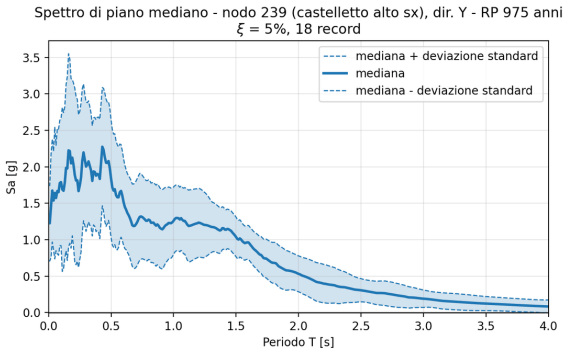

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 18 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

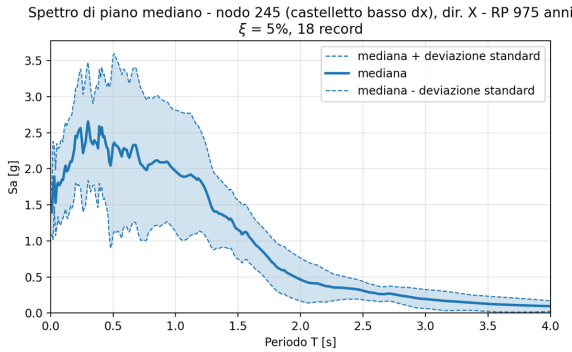

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 18 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

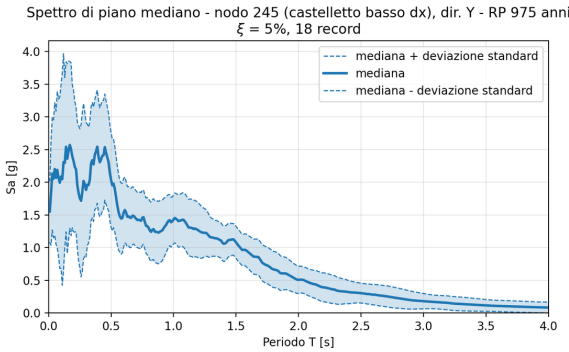

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 18 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

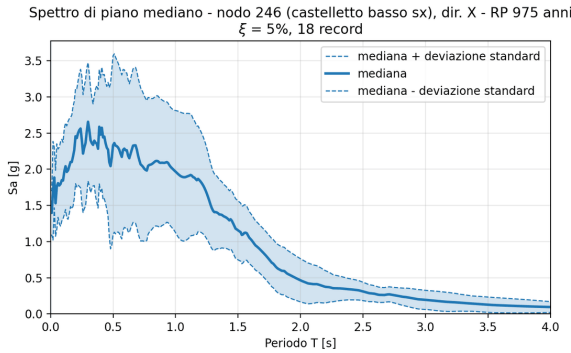

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 18 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

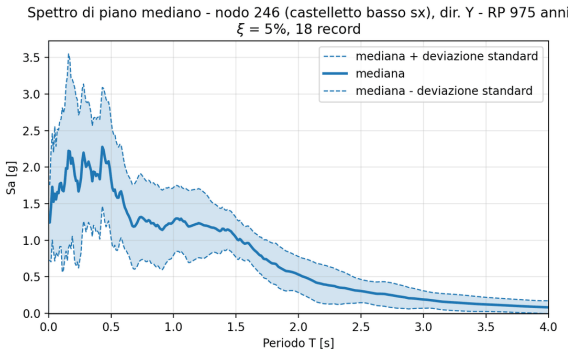

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 18 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 18 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

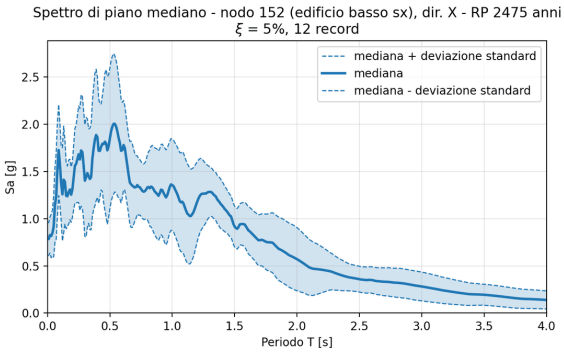

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 18 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

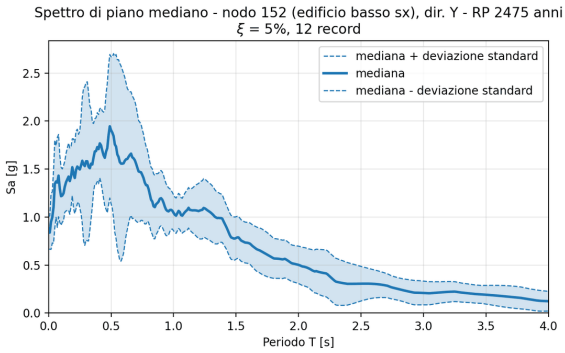

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 18 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

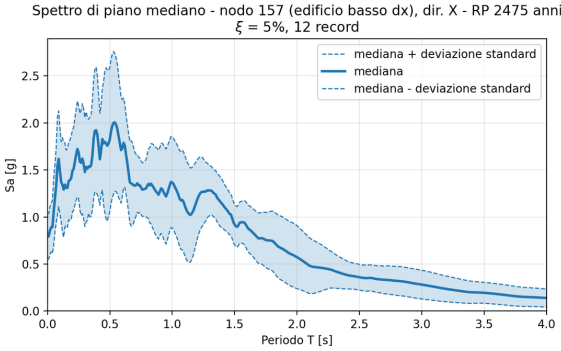

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 975 anni
ξ = 5%, 18 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

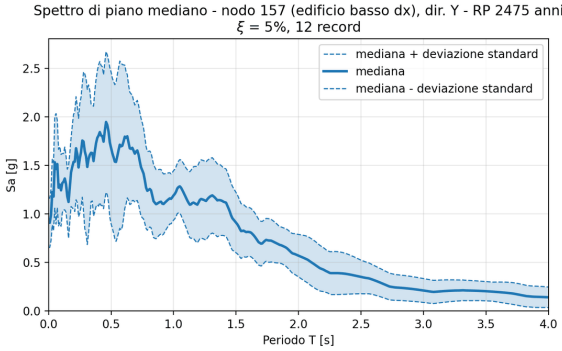

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 975 anni
ξ = 5%, 18 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

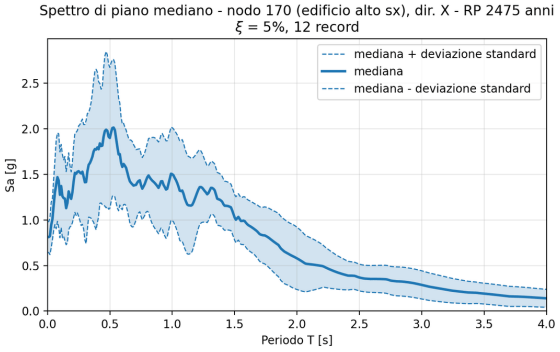
RP2475

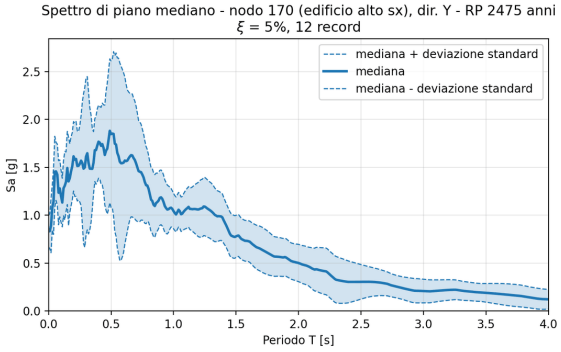

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 12 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

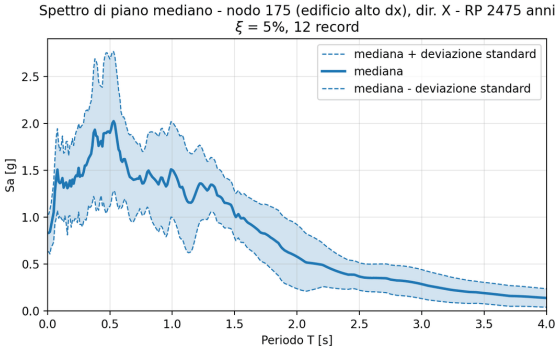

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 12 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

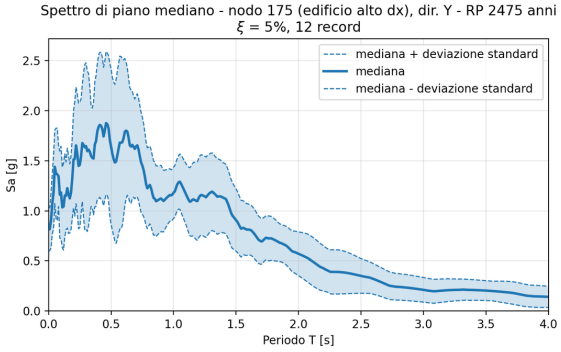

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 12 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

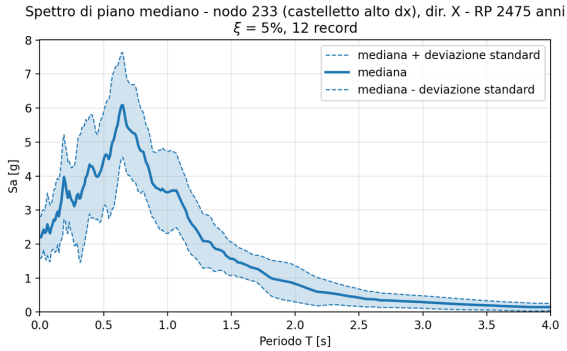

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 12 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

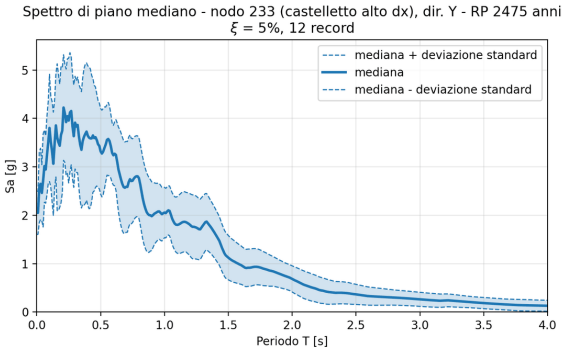

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 12 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

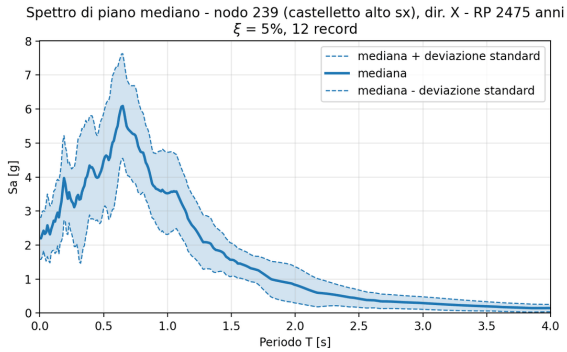

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 12 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

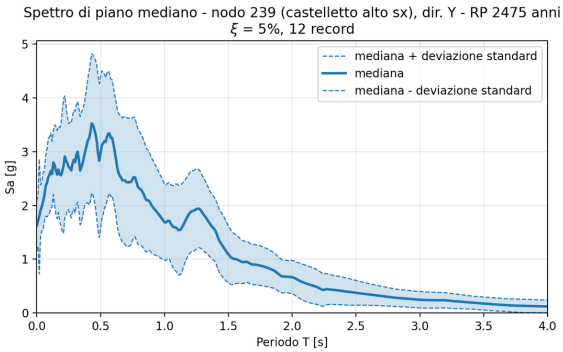

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 12 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

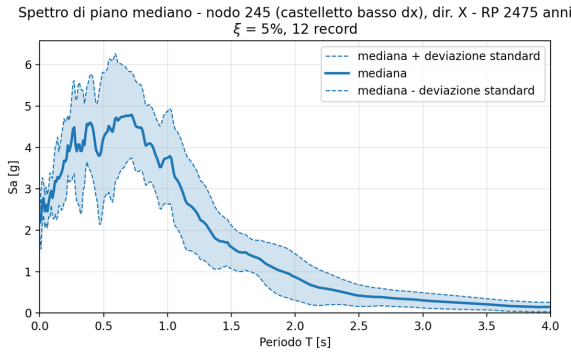

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 12 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

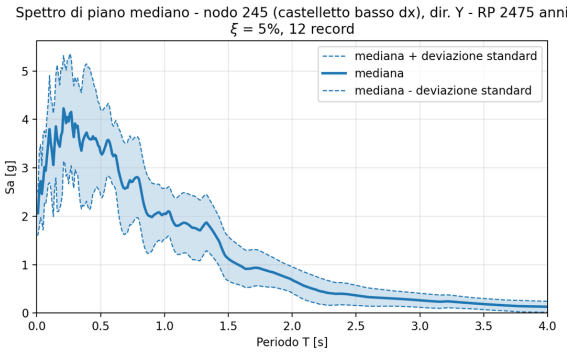

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 12 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

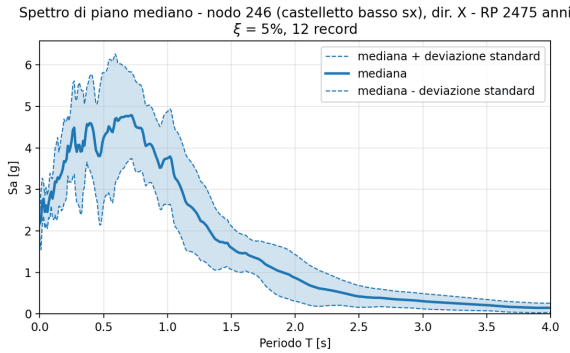

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 12 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

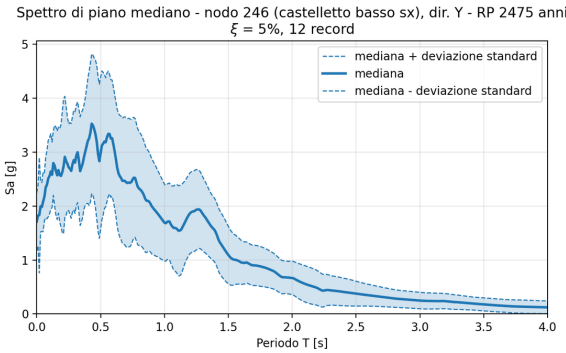

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 12 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 12 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

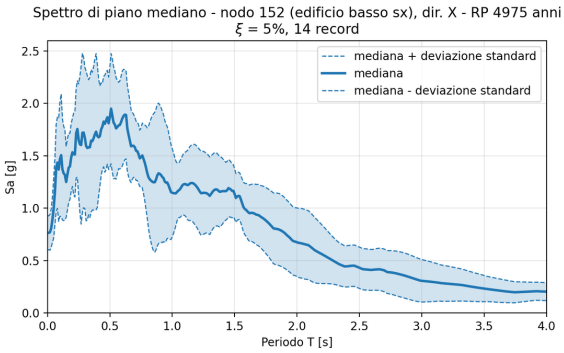

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 12 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

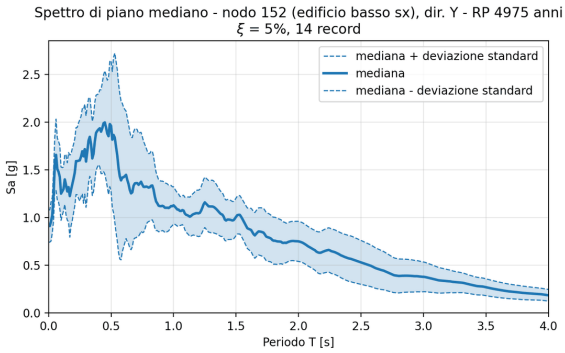

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 12 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

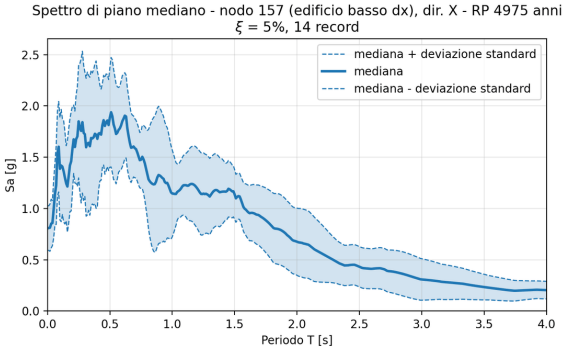

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 2475 anni
ξ = 5%, 12 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

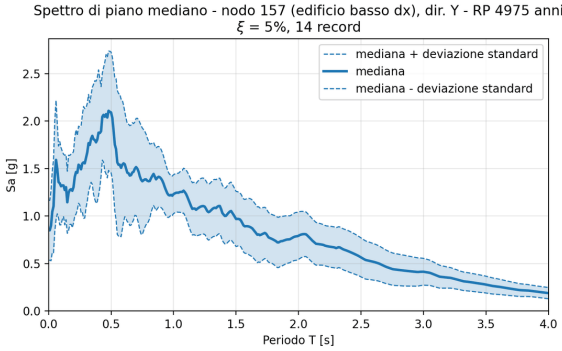

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 2475 anni
ξ = 5%, 12 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

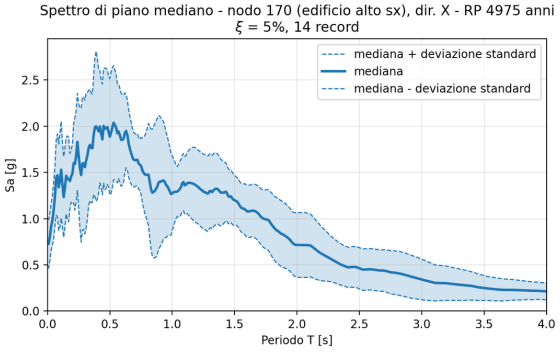
RP4975

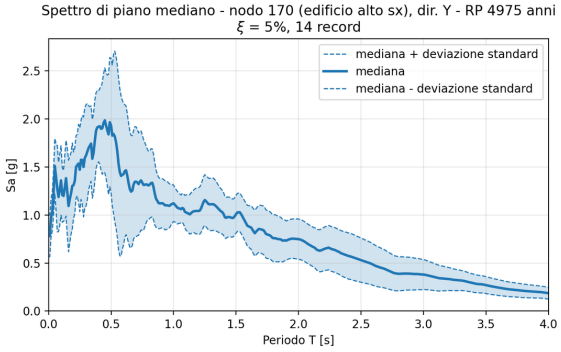

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

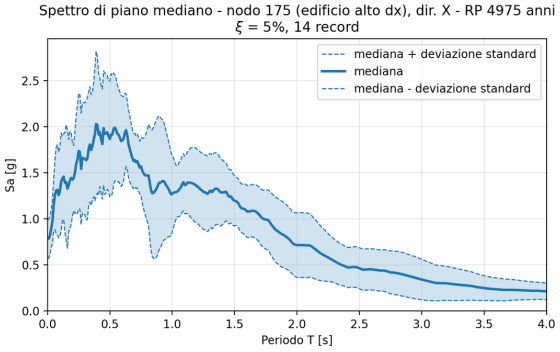

Spettro di piano mediano - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

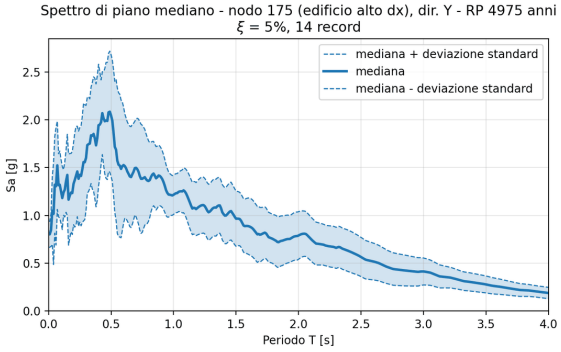

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

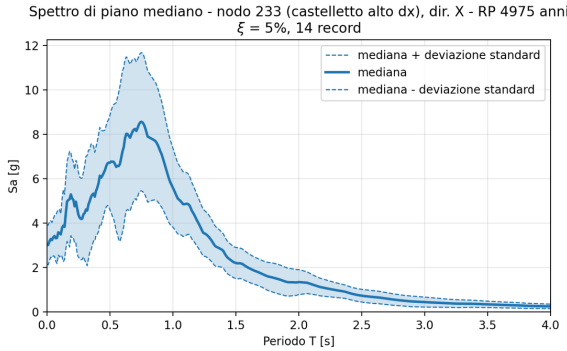

Spettro di piano mediano - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

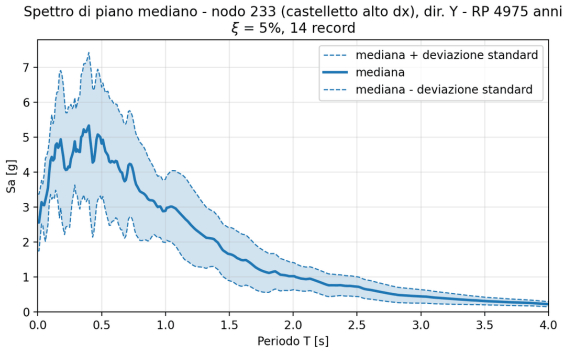

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

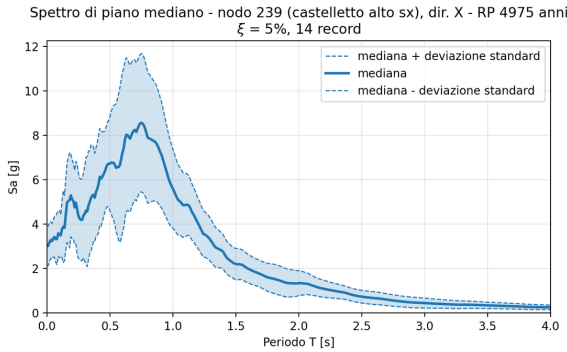

Spettro di piano mediano - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

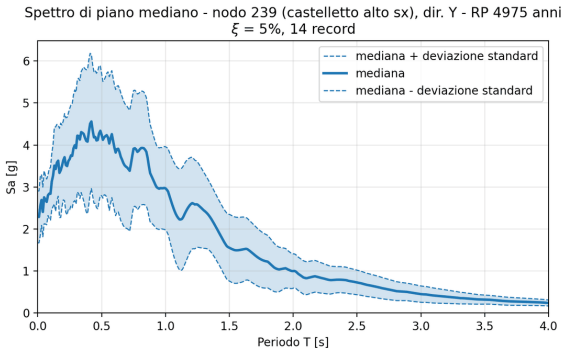

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

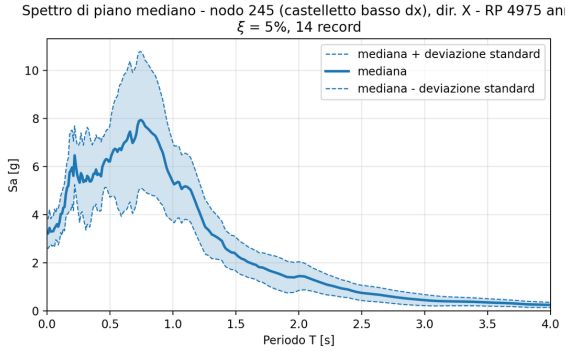

Spettro di piano mediano - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

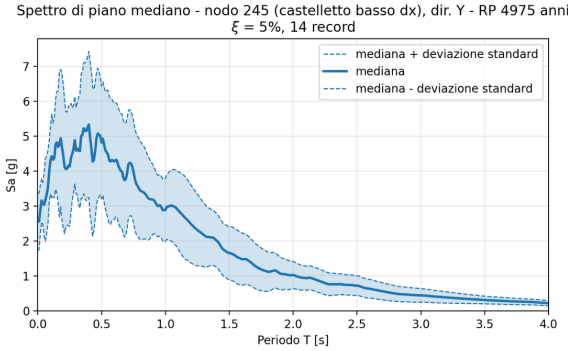

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

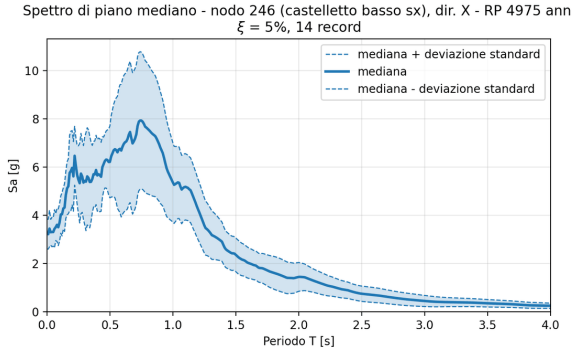

Spettro di piano mediano - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

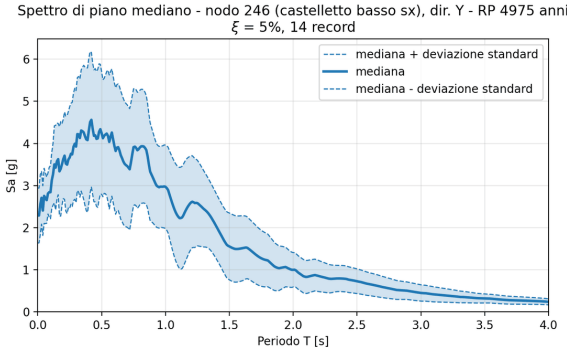

Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X - RP 4975 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]


Spettro di piano mediano - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

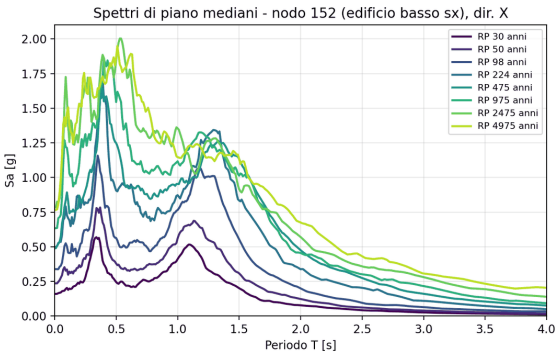

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X - RP 4975 ann
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

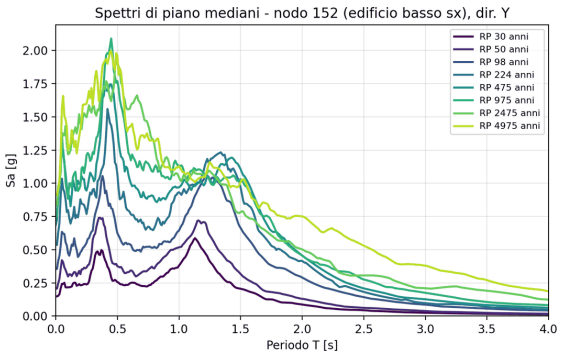

Spettro di piano mediano - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

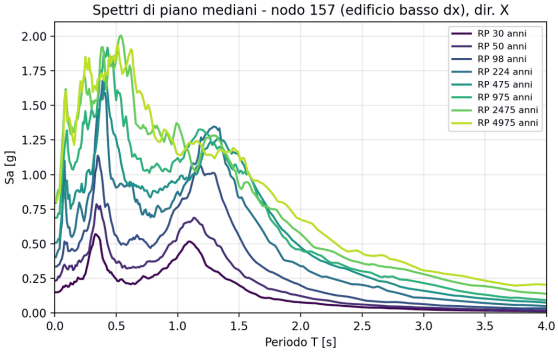

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X - RP 4975 ann
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

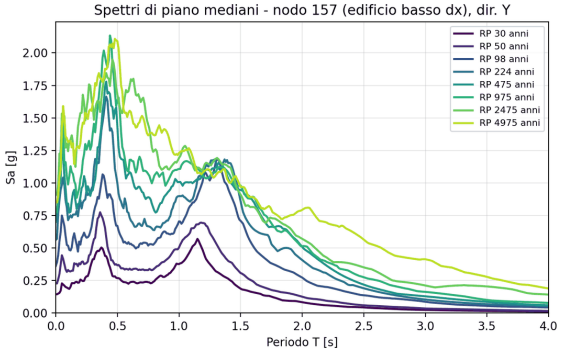

Spettro di piano mediano - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y - RP 4975 anni
ξ = 5%, 14 record
mediana + deviazione standard
mediana
mediana - deviazione standard
Sa [g]
Periodo T [s]

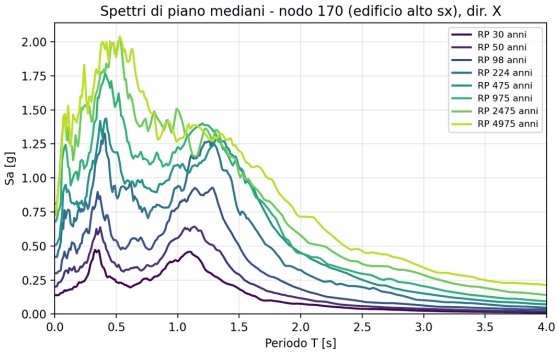
CONFRONTI

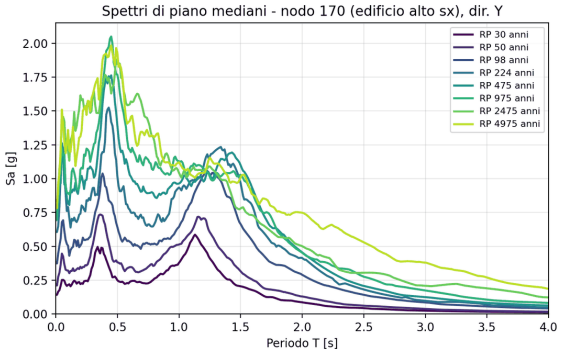

Spettri di piano mediani - nodo 152 (edificio basso sx), dir. X
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

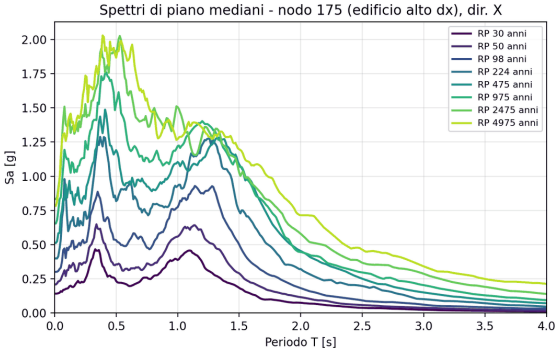

Spettri di piano mediani - nodo 152 (edificio basso sx), dir. Y
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

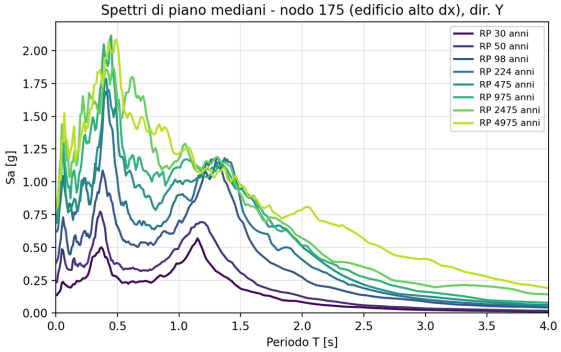

Spettri di piano mediani - nodo 157 (edificio basso dx), dir. X
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

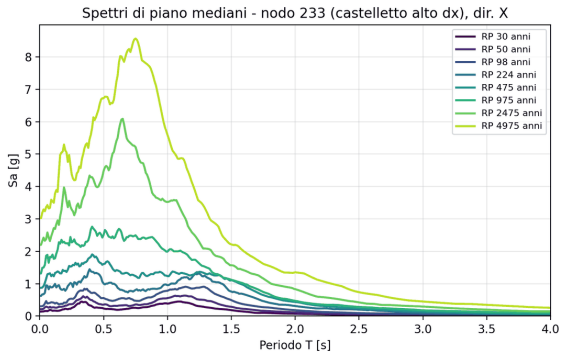

Spettri di piano mediani - nodo 157 (edificio basso dx), dir. Y
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

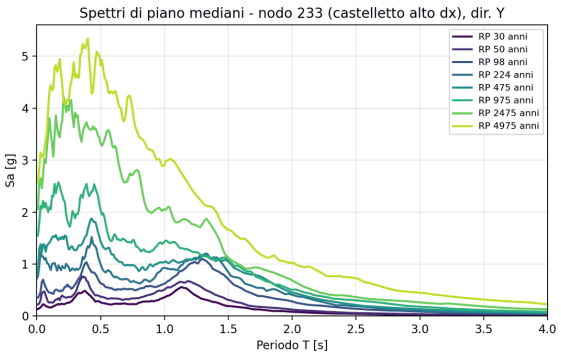

Spettri di piano mediani - nodo 170 (edificio alto sx), dir. X
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

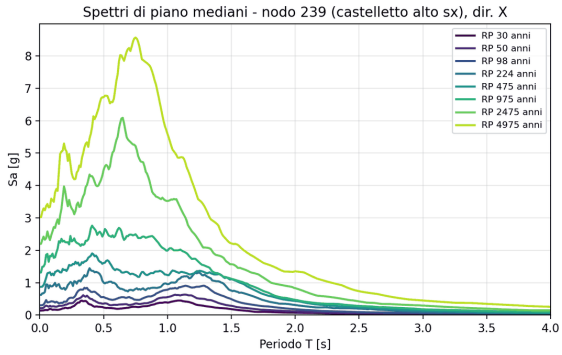

Spettri di piano mediani - nodo 170 (edificio alto sx), dir. Y
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

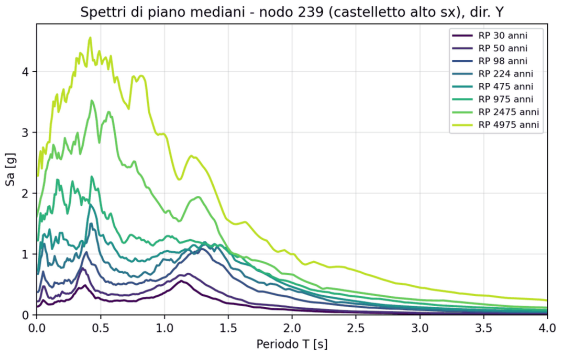

Spettri di piano mediani - nodo 175 (edificio alto dx), dir. X
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

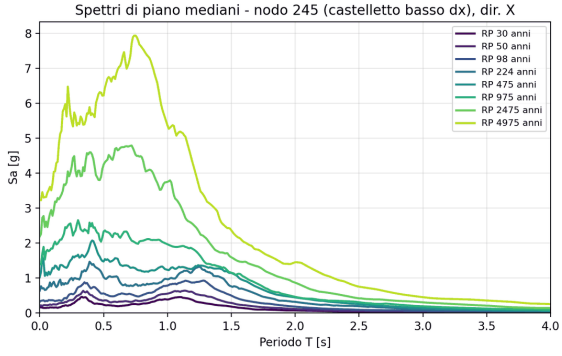

Spettri di piano mediani - nodo 175 (edificio alto dx), dir. Y
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni
Sa [g]
Periodo T [s]

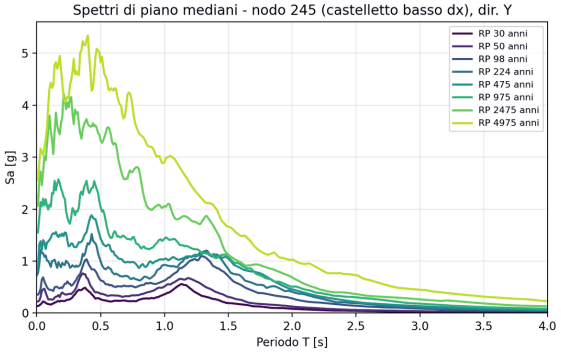

Spettri di piano mediani - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. X
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni

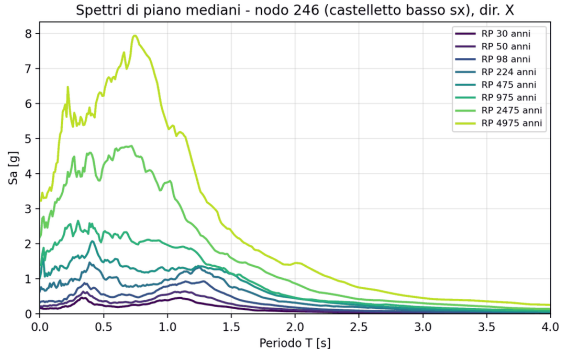

Spettri di piano mediani - nodo 233 (castelletto alto dx), dir. Y
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni

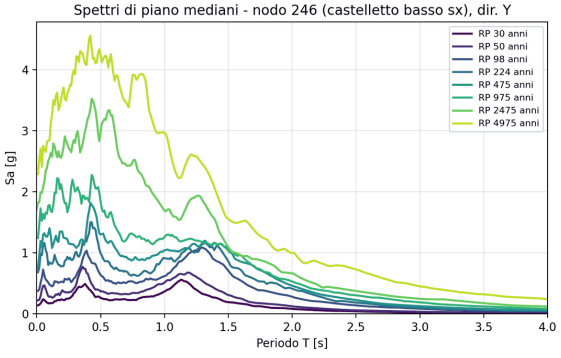

Spettri di piano mediani - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. X
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni


Spettri di piano mediani - nodo 239 (castelletto alto sx), dir. Y
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni


Spettri di piano mediani - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. X
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni


Spettri di piano mediani - nodo 245 (castelletto basso dx), dir. Y
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni


Spettri di piano mediani - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. X
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni


Spettri di piano mediani - nodo 246 (castelletto basso sx), dir. Y
Sa [g]
Periodo T [s]
RP 30 anni
RP 50 anni
RP 98 anni
RP 224 anni
RP 475 anni
RP 975 anni
RP 2475 anni
RP 4975 anni