

1. PREMESSA

Nella presente Relazione si riportano le verifiche di vulnerabilità sismica degli esistenti corpi di fabbrica rientranti nel progetto di ampliamento dell'Ospedale veterinario sito nel complesso "Frullone" nel comune di Napoli, con la descrizione dei conseguenti interventi di consolidamento strutturale, meglio identificati negli elaborati grafici facenti parte integrante della presente Relazione.

Sono oggetto di analisi sismica blocchi 1-2-3-4 attualmente costituenti un unico corpo strutturale

2. CORPO DI FABBRICA IN C.A.

Il complesso in esame presenta una forma in pianta ed in elevazione irregolare, risultando composto da diversi corpi di fabbrica non strutturalmente indipendenti tra loro. Il sistema costruttivo di tali strutture è quello di edifici intelaiati in c.a. monopiano.

Sulla base dei dati forniti dalla Stazione appaltante circa la caratterizzazione dei materiali e delle strutture derivanti da una campagna di indagini diagnostiche, si è eseguita una valutazione di vulnerabilità sismica dell'intero complesso allo stato attuale.

Per ottenere una previsione immediata ma nello stesso tempo accurata e realistica della risposta sismica dell'intero complesso allo stato attuale, è stata condotta una verifica di vulnerabilità sismica utilizzando quale metodo di calcolo, un'analisi statica non lineari che permette di cogliere il comportamento non lineare e la sua evoluzione nel tempo della struttura analizzata. Non si entra nel merito della teoria dei metodi di analisi statiche non lineari, a cui si rinvia a testi specialistici per esigenze di sintesi.

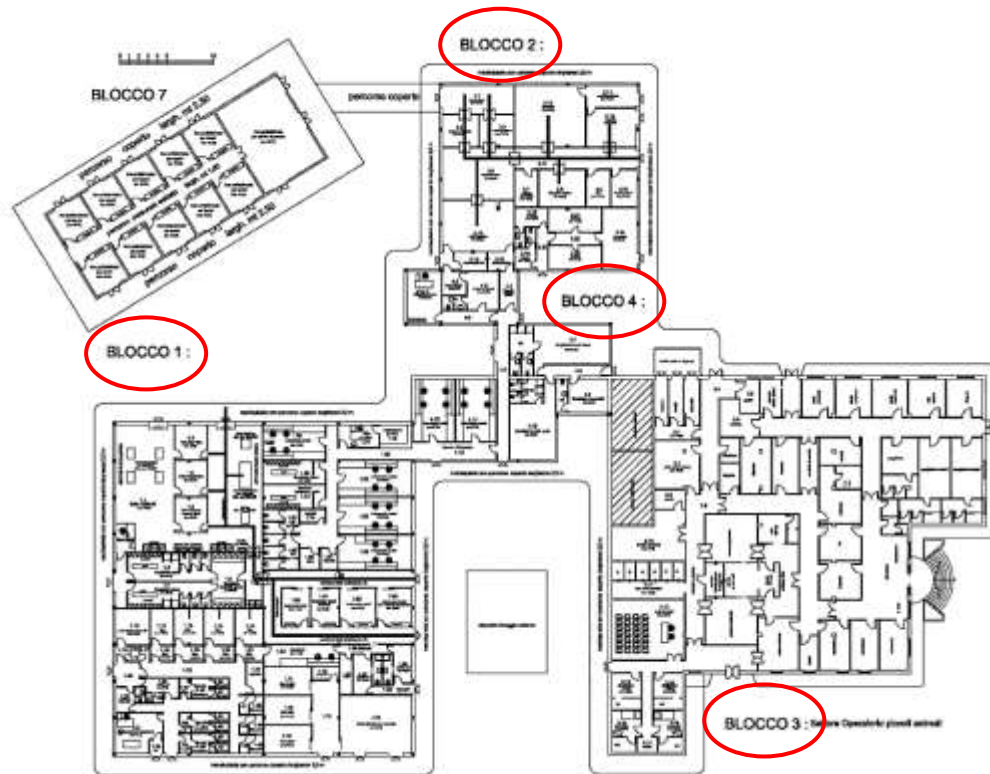


Figura 1 – Vista in pianta complesso Frullone con indicazione Blocchi

3. CONOSCENZA DELLA STRUTTURA

In virtù della classe d'uso dell'edificio, si è scelto di adottare un livello di conoscenza della struttura pari a LC3 secondo la definizione di cui alle NTC 2008 e successiva Circolare 617/2009, ritenendo di integrare i dati già disponibili delle indagini diagnostiche con ulteriori indagini che il soggetto concorrente si impegnerà ad eseguire in caso di aggiudicazione dell'appalto, oltre al reperimento di documentazione disponibile presso gli enti preposti.

Sulla base dei rilievi strutturale geometrico, dei dettagli costruttivi ed prove in situ sui materiali, si è definito un modello strutturale idoneo ad un'analisi statica non lineare.

I risultati reperiti dalla Fase di conoscenza, sono relativi al blocco 1 ma si può ritenere che per omogeneità dei materiali impiegati, tipologia strutturale e criteri di calcolo utilizzati, siano estendibili anche ai blocchi 2-3-4.

Il rilievo dei dettagli costruttivi e della geometria strutturale dell'intero edificio blocco

1 è riportata negli allegati grafici.

Il rilievo strutturale ha reso possibile definire, in particolare, le seguenti caratteristiche dell'edificio:

- per i pilastri: passo e diametro delle staffe, quantità e disposizione delle armature longitudinali;
- per le travi: passo e diametro delle staffe, quantità e disposizione delle armature longitudinali.

I saggi sui pilastri sono stati effettuati all'incirca nella mezzeria dell'elemento, dove le sollecitazioni di flessione sono ridotte e considerato che la quantità e la disposizione delle armature non varia lungo l'altezza dell'elemento.

Per le travi, per ciascun elemento indagato è stato effettuato un saggio in prossimità degli appoggi e un saggio in prossimità della mezzeria.

Sui solai è stato effettuato dei saggi per la definizione delle seguenti caratteristiche:

- tipologia
- Orditura
- Interasse tra le nervature
- Armature principali,
- Armature di ripartizione
- presenza di fasce piene e loro estensione.

Le indagini distruttive, sono state effettuate su pilastri e travi, sia per la caratterizzazione del cls (prelievo carote) che per la definizione delle caratteristiche dell'acciaio di armatura.

In fondazione non risulta essere disponibile nessun tipo di indagine per cui si ipotizza la presenza di fondazioni isolate a plinti e senza travi di collegamento, salvo poi verificare tale assunzione nelle eventuali fasi successive di progettazione.

4. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

L'esecuzione delle indagini diagnostiche sulle strutture ha permesso di definire le resistenze del calcestruzzo e acciaio.

La resistenza a compressione di ogni singola carota prelevata, ottenuta dalle prove di laboratorio e stata convertita nella corrispondente resistenza del calcestruzzo in situ tramite la seguente relazione:

$$f_{cis} = (C_{h/D} \times C_{dia} \times C_a \times C_d) \times f_{car} \quad (\text{resistenza cilindrica a compressione})$$

con

- $C_{h/D}$ e il coefficiente correttivo per rapporti h/D diversi da 2, pari a: $C_{h/D} = 2/(1.5 + D/h)$, essendo h l'altezza della carota e D il suo diametro;
- C_{dia} e il coefficiente correttivo relativo al diametro, da assumere pari a 1.06, 1.00 e 0.98 per D pari, rispettivamente, a 50, 100 e 150 mm;
- C_a e il coefficiente correttivo relativo alla presenza di armature incluse, variabile tra 1.03 per barre di piccolo diametro (φ 10) e 1.13 per barre di diametro maggiore (\cdot 20);
- C_d e il coefficiente correttivo per tener conto del disturbo arrecato alla carota nelle operazioni di estrazione e preparazione assunto pari a $C_d = 1.20$ per $f_{car} < 20$ MPa, e $C_d = 1.10$ per $f_{car} > 20$ MPa.

Nei tabulati di calcolo sono riportati i valori delle resistenze medie di progetto assunti per il cls e l'acciaio.

Cautelativamente, le resistenze di calcolo sono state ottenute dai valori medi indicati, divisi per $FC=1,20$ anche se si è assunto un livello di conoscenza LC3.

5. MODELLO DI CALCOLO

Per la valutazione sismica dell'edificio, si sono utilizzati come modelli di calcolo quelli esplicitamente richiamati nel D.M. 14.01.2008 ed in particolare:

- analisi elastica lineare per il calcolo delle sollecitazioni derivanti da carichi statici
- analisi dinamica modale con spettro elastico per il calcolo delle forme modali;
- analisi statica non lineare (push Over) per il calcolo delle sollecitazioni di progetto dovute all'azione sismica per la valutazione della capacità dell'edificio;
- verifiche sezionali agli s.l.u. per le sezioni in c.a. utilizzando il legame parabola rettangolo per il calcestruzzo ed il legame elastico-plastico con incrudimento a duttilità limitata per l'acciaio;

6. AZIONI SULLA COSTRUZIONE

Le azioni che vengono considerate ai fini della valutazione della vulnerabilità sismica del plesso ospedaliero sono riportate nei tabulati di calcolo allegati alla presente relazione.

7. COMBINAZIONE DELLE AZIONI

Le combinazioni di carico sismiche che sono utilizzate ai fini della valutazione della vulnerabilità sono quelle afferenti i due profili di forzanti laterali proporzionali alle masse di piano ed alla deformata modale fondamentale. Per quello che riguarda le azioni gravitazionali si fa riferimento esclusivamente alla combinazione di carico sismica in cui i pesi propri strutturali e non strutturali sono presi con il loro valore nominale, mentre i carichi variabili sono considerati affetti dai coefficienti di combinazione sismica. Attraverso questa procedura si riesce a controllare che gli elementi strutturali abbiano le risorse di resistenza minime previste per "sopportare" l'aliquota di carico statico che secondo normativa è presente in fase sismica.

8. MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA

L'analisi dell'edificio è stata effettuata con il codice di calcolo CDS WIN versione 2010, della S.T.S. srl. Il package di calcolo CDS WIN permette di effettuare, con schematizzazione totalmente tridimensionale, l'analisi della struttura con tecniche F.E.M. (Finite Element Method) mediante modellazione con elementi monodimensionali e bidimensionali.

In particolare le travi ed i pilastri sono schematizzati con elementi beam a due nodi deformabili assialmente, a flessione e taglio utilizzando funzioni di forma cubiche di Hermite. Tale modello finito ha la caratteristica di fornire la soluzione esatta in campo elastico lineare per cui non necessita di ulteriori suddivisioni interne.

Il modello geometrico e meccanico dell'edificio di studio è stato definito nel programma sulla base dei dati ottenuti durante le indagini effettuate. I solai sono considerati infinitamente rigidi nel proprio piano mentre gli elementi in c.a. sono stati

armati con un quantitativo di barre longitudinali e trasversali così come è stato desunto dai dati ricavati dalle indagini in situ.

Le caratteristiche dei materiali implementate nel modello di calcolo derivano direttamente dalle elaborazioni eseguite nel paragrafo precedente relativi alle indagini effettuate sui materiali. E' stato utilizzato lo stesso materiale sia per i pilastri che per le travi, viste le stesse risultanze ottenute dalle indagini. I valori di calcolo sono ottenuti a partire da quelli medi rilevati dalle prove in situ applicando il fattore di confidenza $FC = 1,2$

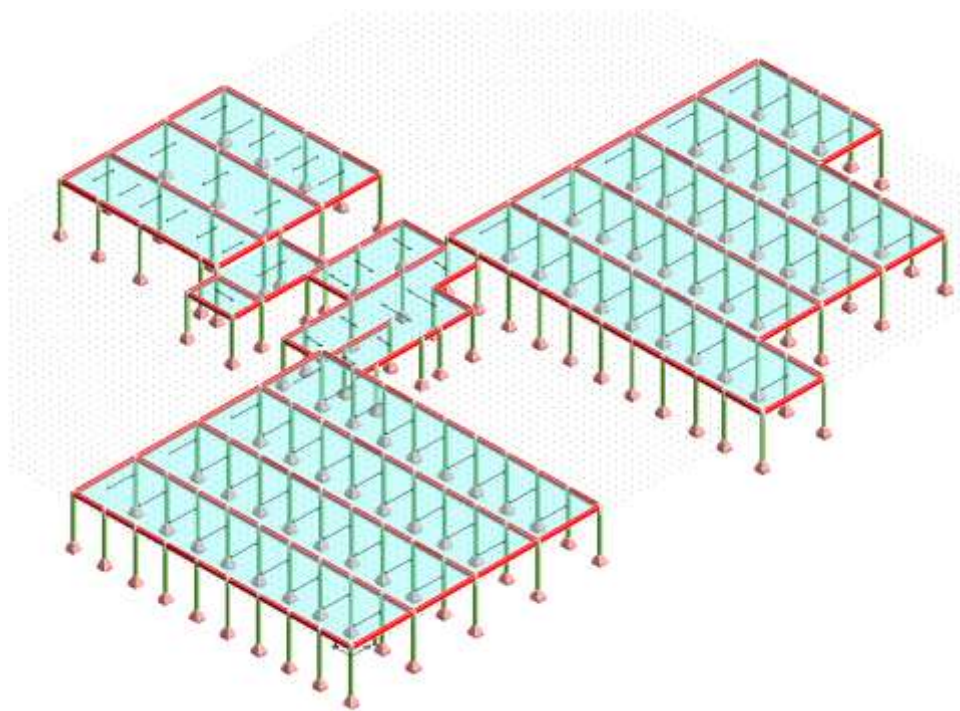


Figura 2 – modello strutturale del complesso Frullone

9. METODI DI ANALISI

Il metodo utilizzato per l'analisi sismica della struttura è l'analisi statica non lineare (pushover). Per tale tipo di analisi il CDS WIN utilizza un solutore le cui principali caratteristiche sono:

- Analisi incrementale di tipo "event by event" che tiene conto del collasso dei vari elementi strutturali, man mano che questi si verificano, valutando anche la necessaria redistribuzione delle azioni attraverso la tecnica dello scarico generale.

- Modellazione degli elementi beam di tipo elastoplastico a plasticità concentrata e duttilità limitata. Le cerniere plastiche sono localizzate nelle sezioni critiche e vengono caratterizzate in funzione del tipo di materiale, della geometria e, per le aste in c.a., in base anche alle armature presenti. Sia i valori resistenti ultimi, per i vari tipi di sollecitazione, che le capacità rotazionali delle cerniere vengono calcolate in base alle indicazioni delle NTC08 ed agli Eurocodici.
- Per le sezioni in c.a. è possibile tenere in conto del confinamento delle staffe ai fini della valutazione della resistenza e deformazione ultima del calcestruzzo conformemente alle più recenti teorie riportate nelle nuove versioni degli eurocodici EC8. Oltre ai meccanismi duttili sono tenuti in conto anche i meccanismi fragili quali ad esempio il meccansimo di collasso a taglio per gli elementi in c.a. ed il collasso dei nodi non confinati delle strutture in c.a.

L'analisi Push-Over fornisce il meccanismo di collasso con la progressione della formazione delle cerniere plastiche ed il loro impegno in termini di deformazioni anelastiche.

Le verifiche di sicurezza in questo tipo di analisi si ottengono confrontando la Curva di Capacità, che descrive come varia il taglio resistente totale alla base in funzione dello spostamento del baricentro dell'ultimo piano (*performance point*), con la domanda del sisma espressa in termini di spostamento.

Le verifiche sono effettuate, definendo sulla curva i vari livelli di prestazioni in termini di capacità di spostamento dell'edificio, valutate conformemente alle disposizioni delle NTC08 e della relativa circolare applicativa n°617 del 02/02/2009 e verificando che la domanda di spostamento dovuto al sisma atteso nel sito per quel livello di prestazione sia inferiore.

CDS WIN riporta inoltre i valori limite di PGA per i vari livelli di prestazione richiesti dalla normativa.

Relativamente al modello strutturale, gli elementi finiti monodimensionali a due nodi vengono usati dal CDS WIN in analisi di *tipo non lineare* potendo modellare non linearità sia di tipo geometrico che meccanico con i seguenti modelli :

- Matrice geometrica per gli effetti del II° ordine

- Non linearità meccanica per comportamento assiale solo resistente a trazione o compressione
- Non linearità meccanica di tipo elasto-plastica con modellazione a plasticità concentrata e duttilità limitata con controllo della capacità rotazionale ultima delle cerniere plastiche.

10. ANALISI STATICA NON LINEARE

Le NTC08 specificano in modo abbastanza preciso quali sono le condizioni di applicabilità del metodo (§ 7.3.4.1); l'utilizzo del metodo viene reso lecito solo se ricorrono le condizioni di applicabilità generali di seguito precisate per le distribuzioni principali (Gruppo 1).

Si devono considerare almeno due distribuzioni di forze laterali, ricadenti l'una nelle distribuzioni principali (Gruppo 1) e l'altra nelle distribuzioni secondarie (Gruppo 2), le quali sono così illustrate:

Gruppo 1 – Distribuzioni principali:

- distribuzione proporzionale alle forze statiche di cui al § 7.3.3.2, applicabile solo se il modo di vibrare fondamentale nella direzione considerata ha una partecipazione di massa non inferiore al 75% ed a condizione di utilizzare come seconda distribuzione la 2 a);
- distribuzione corrispondente ad una distribuzione di accelerazioni proporzionali alla forma del modo di vibrare (andrebbe specificato ("fondamentale"), applicabile solo se il modo di vibrare fondamentale nella direzione considerata ha una partecipazione di massa non inferiore al 75%;
- distribuzione corrispondente alla distribuzione dei tagli di piano calcolati in una analisi dinamica lineare, applicabile solo se il periodo fondamentale della struttura è superiore a T_c .

Gruppo 2 – Distribuzioni secondarie:

- a) distribuzione uniforme di forze, da intendersi come derivata da una distribuzione uniforme di accelerazioni lungo l'altezza della costruzione;

b) distribuzione adattiva, che cambia al crescere dello spostamento del punto di controllo in funzione della plasticizzazione della struttura.

E' evidente che tali limiti indicano che la Norma ritiene l'analisi statica non lineare utilizzabile solo per costruzioni il cui comportamento sotto la componente del terremoto considerata è governata da un modo di vibrare naturale principale, caratterizzato da una significativa partecipazione di massa, come nel caso in esame trattandosi di un edificio ad un solo impalcato.

11. CARATTERIZZAZIONE MODALE DELLA STRUTTURA

Si riportano di le prime tre forme modali dell'analisi dinamica.

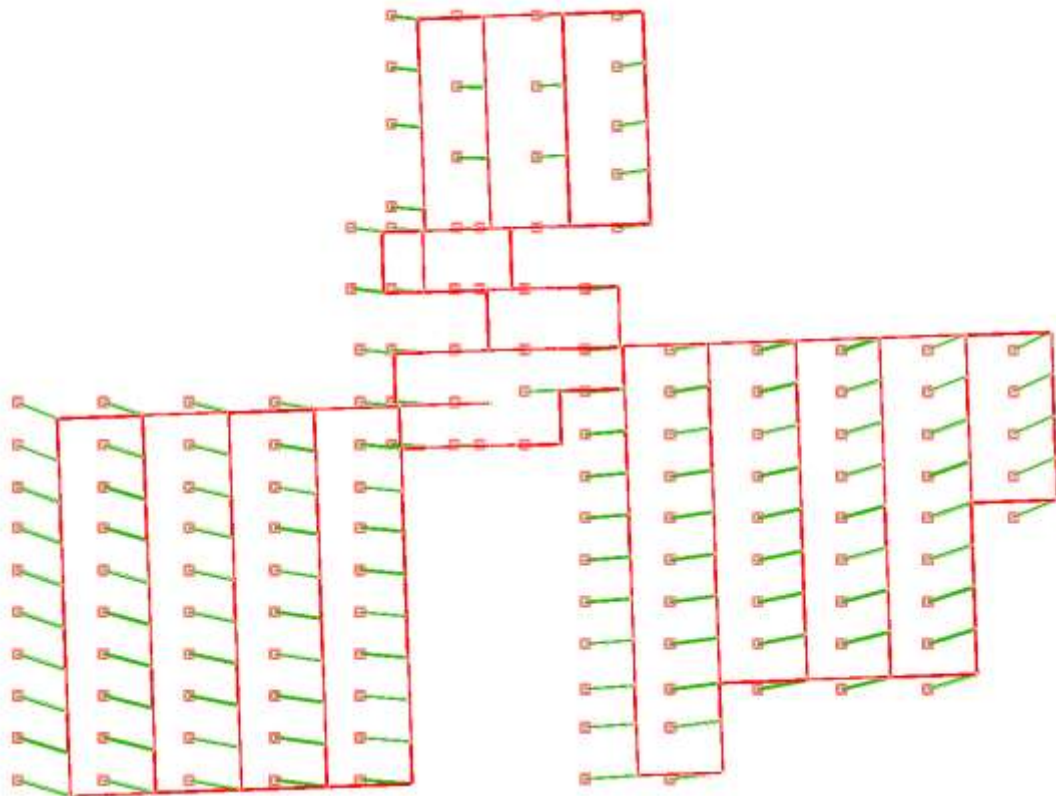


Figura 2 Forma modale n° 1

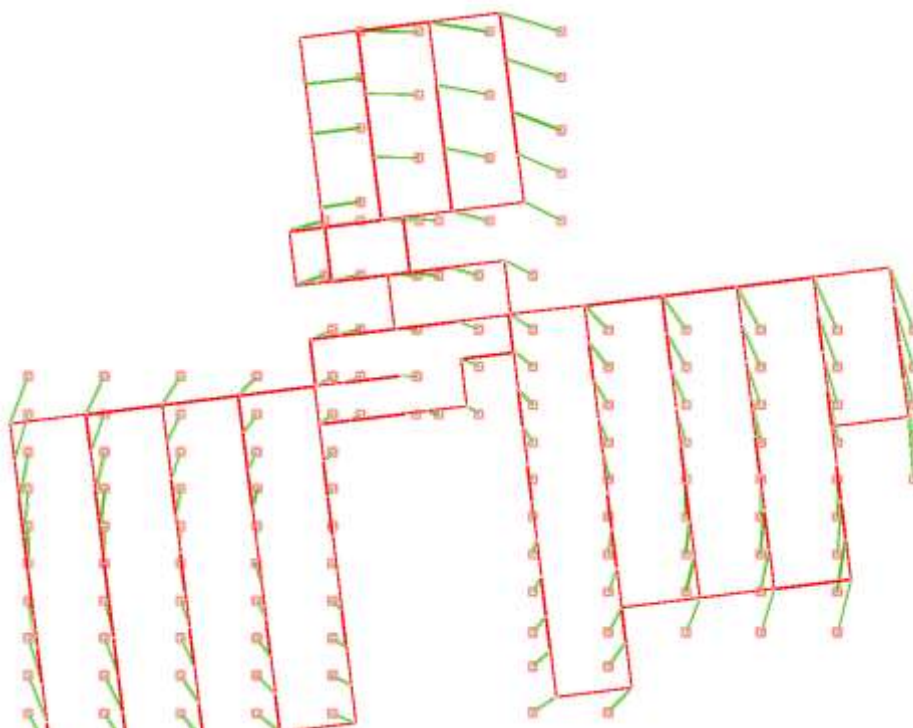


Figura 3 Forma modale n° 2

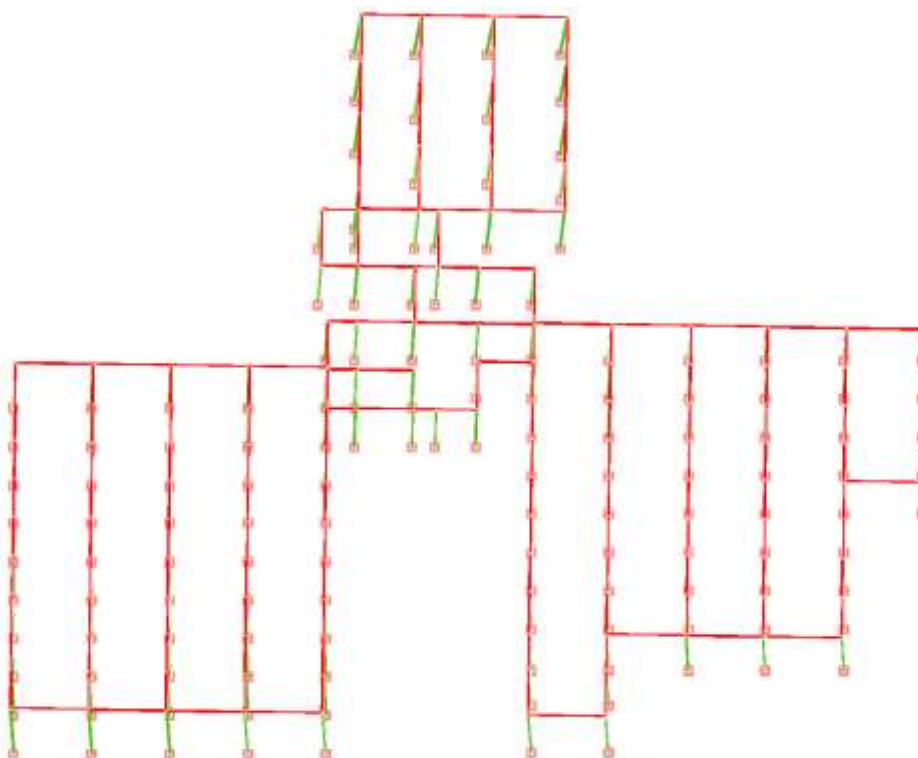


Figura 4 Forma modale n° 3

Come risulta dalle deformate in figura, l'edificio presenta maggiore deformabilità secondo l'asse X (orizzontale al foglio) ed un significativo accoppiamento nella seconda forma modale, di tipo rotazionale, mentre la forma modale n° 3 risulta traslazionale lungo Y.

12. ANALISI DELLE CRITICITÀ PER AZIONI SISMICHE

Le strutture in esame presentano una serie di evidenti vulnerabilità nei confronti delle azioni orizzontali da sisma, tra le quali si annoverano:

- progettazione per soli carichi verticali;
- presenza di idonei sistemi sismo-resistenti in un'unica direzione;
- irregolarità in pianta, a causa della forma irregolare del complesso composto da blocchi strutturalmente collegati tra loro;
- irregolarità in elevazione, a causa della diversa altezza dei blocchi costituenti il complesso;
- pilastri tozzi in corrispondenza dei telai comuni a blocchi aventi altezza diversa;
- scarsa cura delle regole di dettaglio, essenziale per le caratteristiche locali di resistenza e duttilità (armature a taglio, armature nei nodi, cura dei particolari costruttivi).
- fondazioni isolate.

In particolare, si sottolinea che le strutture presentano solamente telai in un'unica direzione, collegati esclusivamente dai solai latero-cementizi ma senza nessuna trave nell'altra direzione se si eccettuano le travi perimetrali, ad evidenziare che la progettazione è stata effettuata per soli carichi verticali.

Le analisi pushover effettuate, evidenziano le criticità esposte, fornendo valori molto bassi degli indicatori di vulnerabilità sismica allo SLV. In particolare, come si evince dai diagrammi di fig. 6 e fig. 7, rappresentativi dei due gruppi di curve pushover riportati in fig. 8, la domanda di spostamento $D(SLV)$ risulta essere sempre superiore alla Capacità di spostamento della struttura $C(SLV)$.

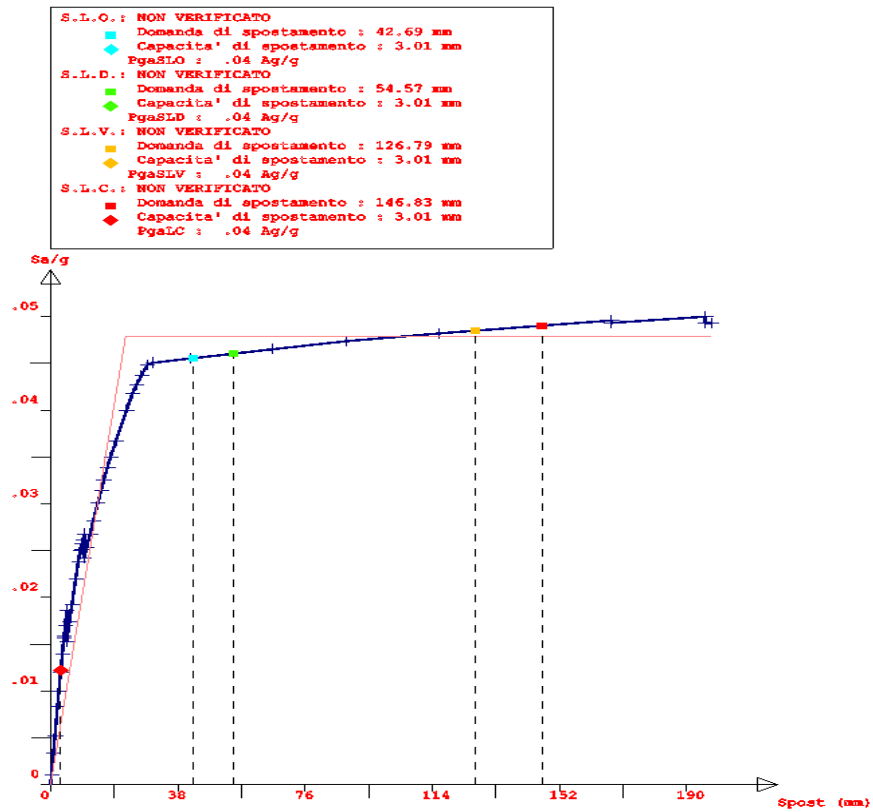


Figura 6 Curva ADSR - push n° 1

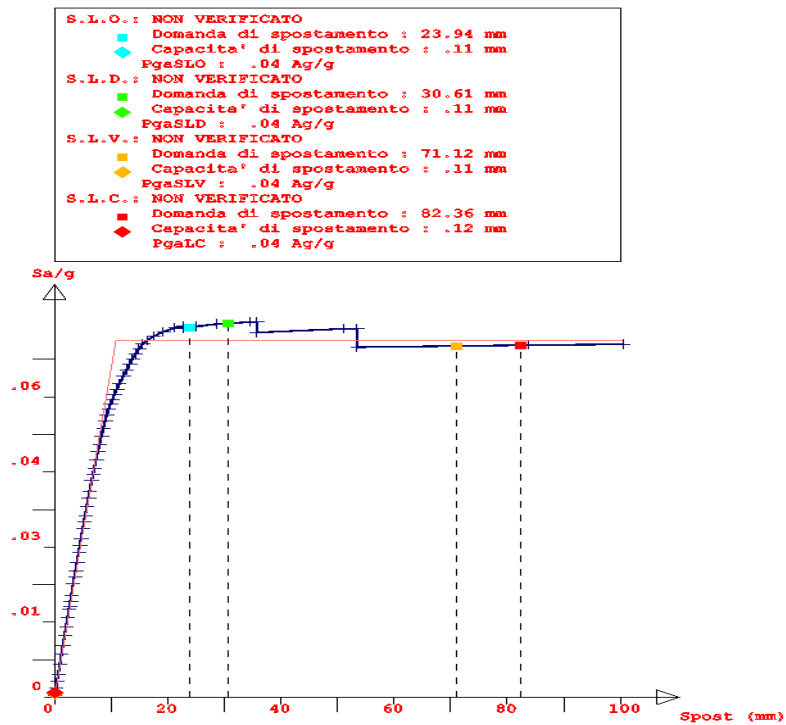


Figura 7 Curva ADSR - push n° 3

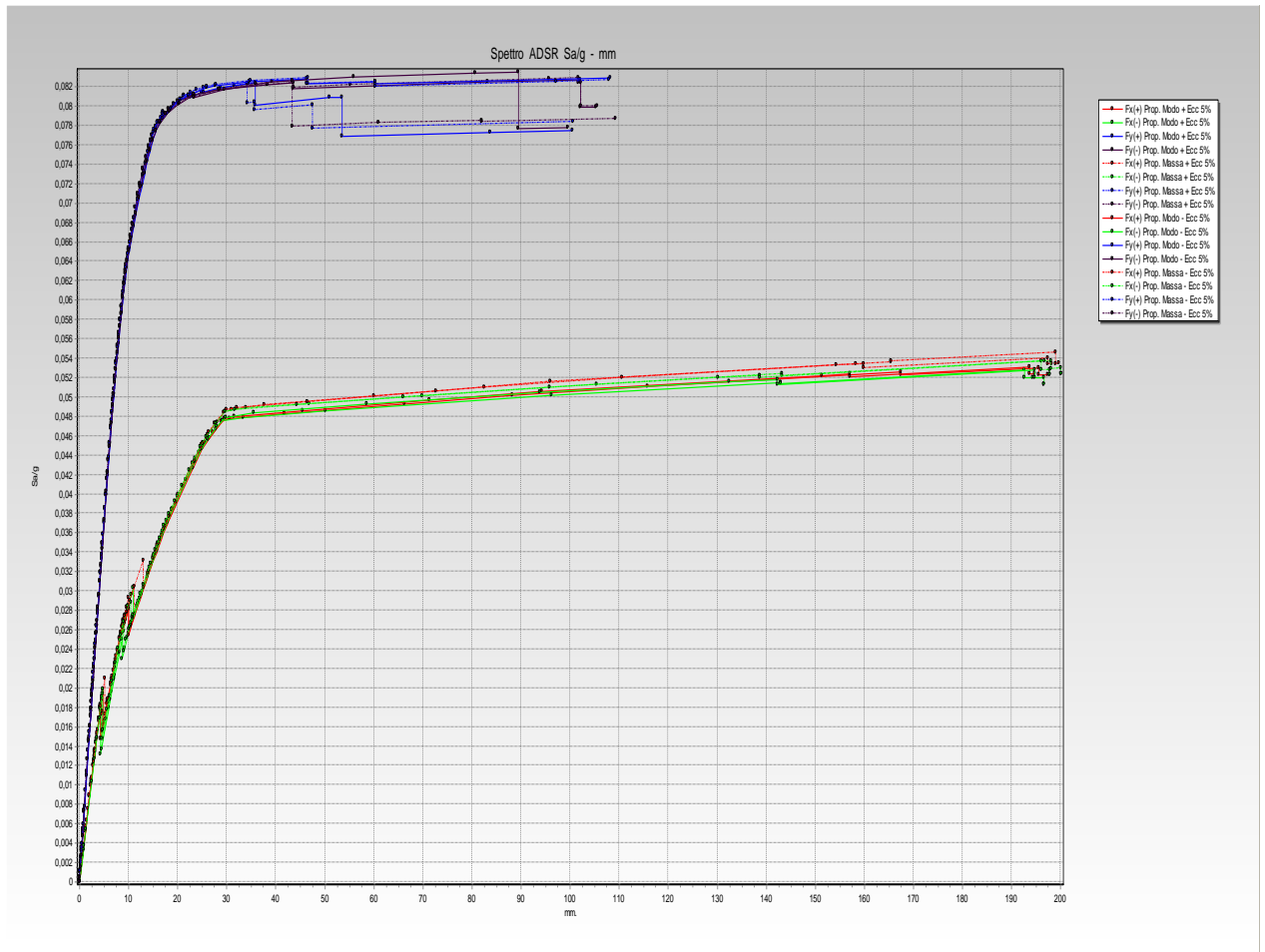


Figura 8 Curve ADSR n° 16 pushover

Più specificatamente, la struttura raggiunge il collasso per **rottture fragili** (crisi dei nodi e crisi a taglio dei pilastri tozzi di collegamento tra i blocchi 1-4, 4-3, 4-2 posti tra i due impalcati di copertura) seguite poi da crisi di tipo duttile dei nodi di estremità dei pilastri.

13. INTERVENTI PREVISTI

Lo scopo dell'intervento previsto è di aumentare la sicurezza strutturale esistente in termini sismici di almeno il 60% rispetto a quanto richiesto dalla norma, risolvere le criticità per azioni sismiche individuate al paragrafo precedente e risanare staticamente gli elementi strutturali che versano nelle condizioni peggiori. Tale obiettivo va perseguito sia in termini globali, miglioramento il comportamento sismico evitando collassi di tipo fragili, che locali, incrementando resistenza e duttilità dei singoli elementi strutturali.

Si è optato di procedere con **interventi di adeguamento sismico per i Blocchi 1-2-4** e di **miglioramento sismico per la parte di blocco 3** ricadente nell'appalto (vedi elaborati allegati).

In sintesi gli interventi previsti sono i seguenti:

1. Al fine di rendere regolari e sismicamente indipendenti i diversi blocchi, si prevede la realizzazione di giunti strutturali tra i vari blocchi in modo da sconnetterli reciprocamente. I giunti verranno realizzati mediante tagli degli elementi strutturali (travi) che verranno opportunamente collegati a nuovi pilastri che verranno realizzati opportunamente distanziati dalle struttura adiacenti per evitare il martellamento in caso di sisma, secondo quanto previsto dal § 7.2.2 delle NTC 2008;
2. sono stati introdotti idonei sistemi sismoresistenti anche nella direzione in cui i vari corpi di fabbrica ne risultavano carenti. Tali sistemi sono stati realizzati mediante travi in c.a. collegate nel nodo della testa dei pilastri esistenti e con pareti disposte con l'asse forte ortogonale alla direzione di minor resistenza sismica e distribuiti in maniera simmetrica in pianta in modo da non generare momenti torcenti aggiuntivi;
3. fasciatura a tutt'altezza con nastri di tessuto in fibra di carbonio dei pilastri e dei nodi trave-pilastro (vedi scheda tecnica allegata);
4. Collegamento dei plinti di fondazione mediante travi in c.a. gettate in opera a formare un reticolo, impedendo in tal modo spostamenti relativi in fondazione con conseguenti incrementi di sollecitazione in elevazione;
5. rigenerazione delle parti di calcestruzzo ammalorato mediate spicconatura delle parti friabili, trattamento dei ferri di armatura con idonee boiacche e ripristino del copriferro con malte a ritiro compensato a base di cementi fibrorinforzati;
6. rinforzo e incremento della rigidità del piano sismico di copertura mediante realizzazione di una soletta armata con rete elettrosaldata fissata al supporto sottostante con idonei connettori in acciaio.

Con gli interventi suddetti, sull'intero complesso si attua una soluzione basata sia su interventi di rinforzo globale che interventi di rinforzo locale, allo scopo di sanare rispettivamente le criticità globali e locali indicate nei precedenti paragrafi.

Inoltre, gli interventi previsti, permettono la realizzazione di una sopraelevazione futura su ogni corpo di fabbrica adeguato .

Relativamente al Blocco 1, si riportano di seguito le curve di pushover in fase post-operam (fig. 12) da cui si evince una completa simmetria geometrica e strutturale dell'edificio, e nelle fig. 10 e 11 si riportano due curve rappresentative delle pushover nelle due direzioni. Da tali diagrammi si può rilevare l'incremento degli indicatori sismici allo SLV, risultando

$$C(SLV) \gg D(SLV)$$

con C(SLV) capacità sismica e D(SLV) domanda sismica allo SLV e **il soddisfacimento delle verifiche in termini di spostamento anche agli SLE (SLO e SLD).**

Negli allegati tabulati sono riportati i valori degli indicatori secondo le espressioni analitiche previste dalle norme vigenti.

Analoghi risultati si ottengono per i blocchi 2 e 4 di cui per brevità non si riportano le curve di pushover ma solo i risultati analitici.

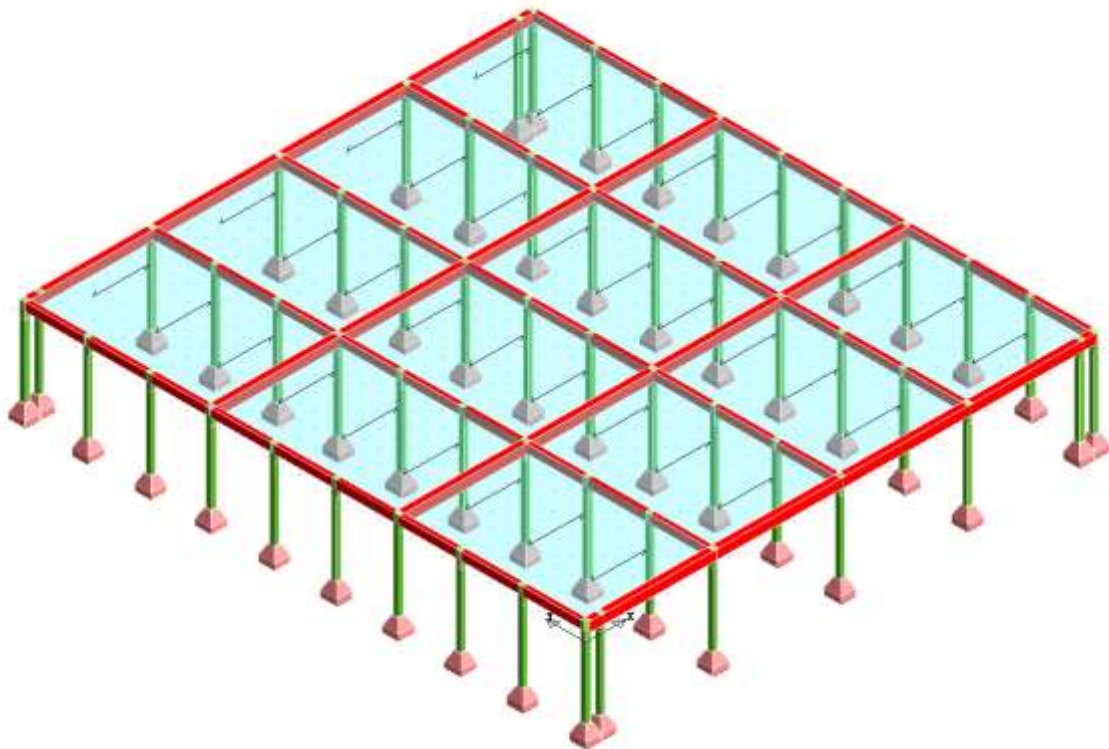


Figura 9 modello strutturale blocco 1

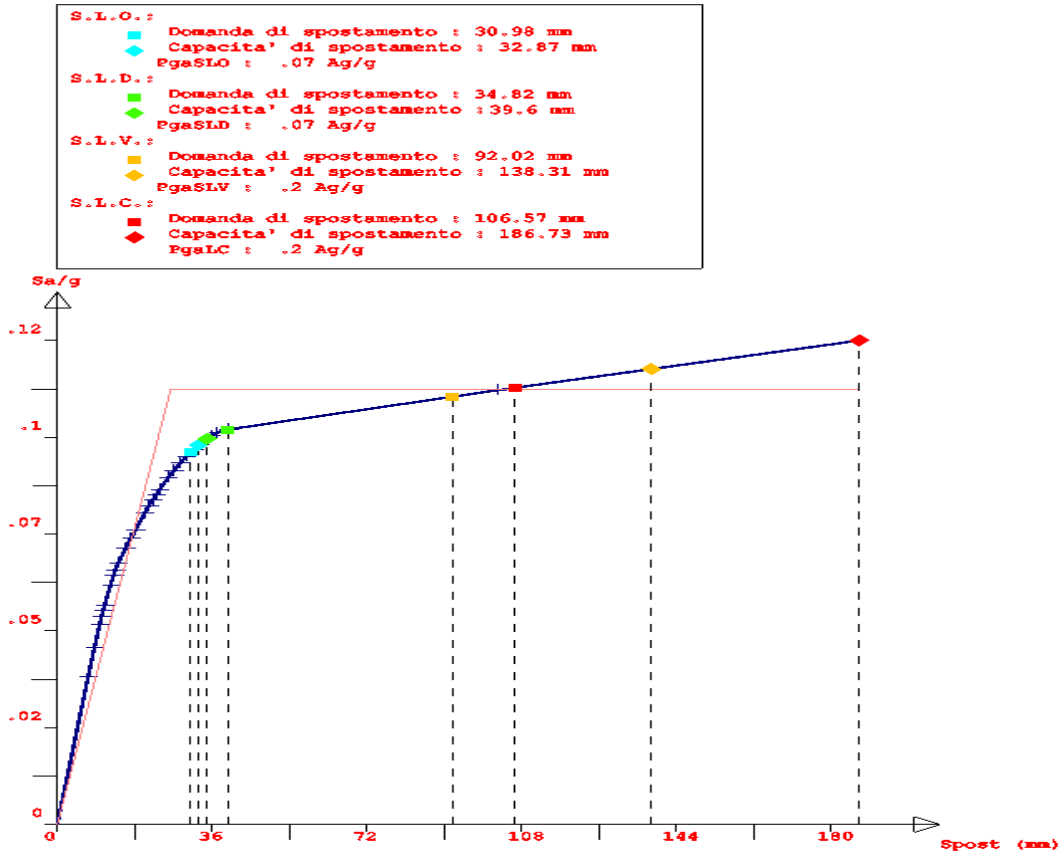


Figura 10 - blocco 1 - Curva ADSR - push n° 1

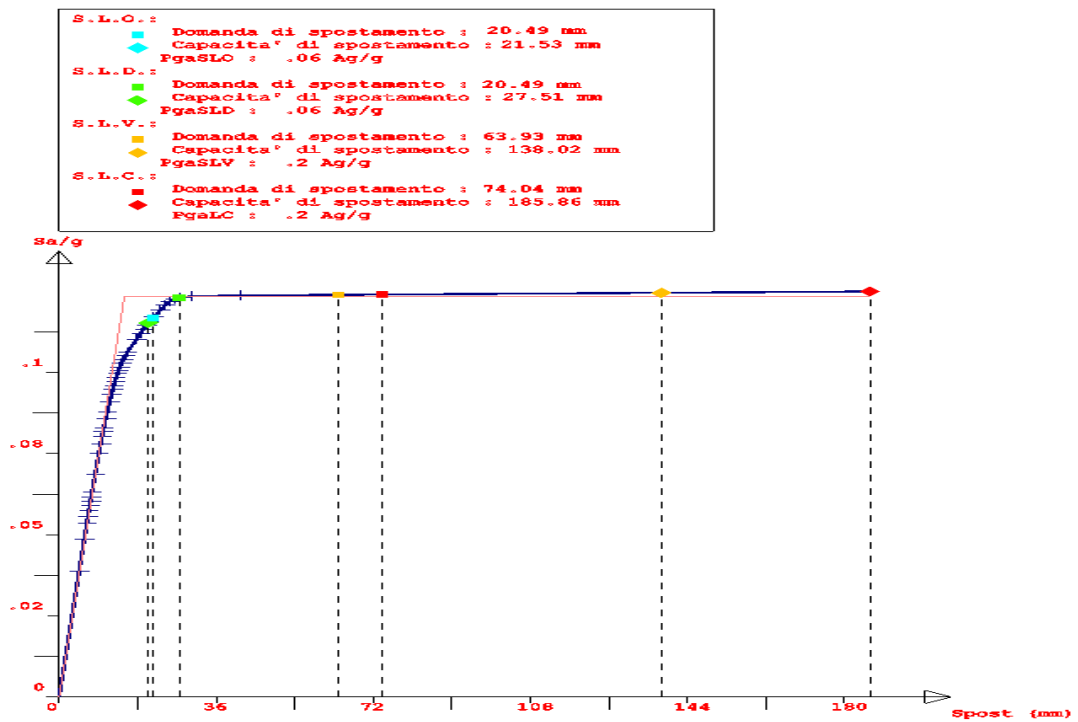


Figura 11 - blocco 1 - Curva ADSR - push n° 3

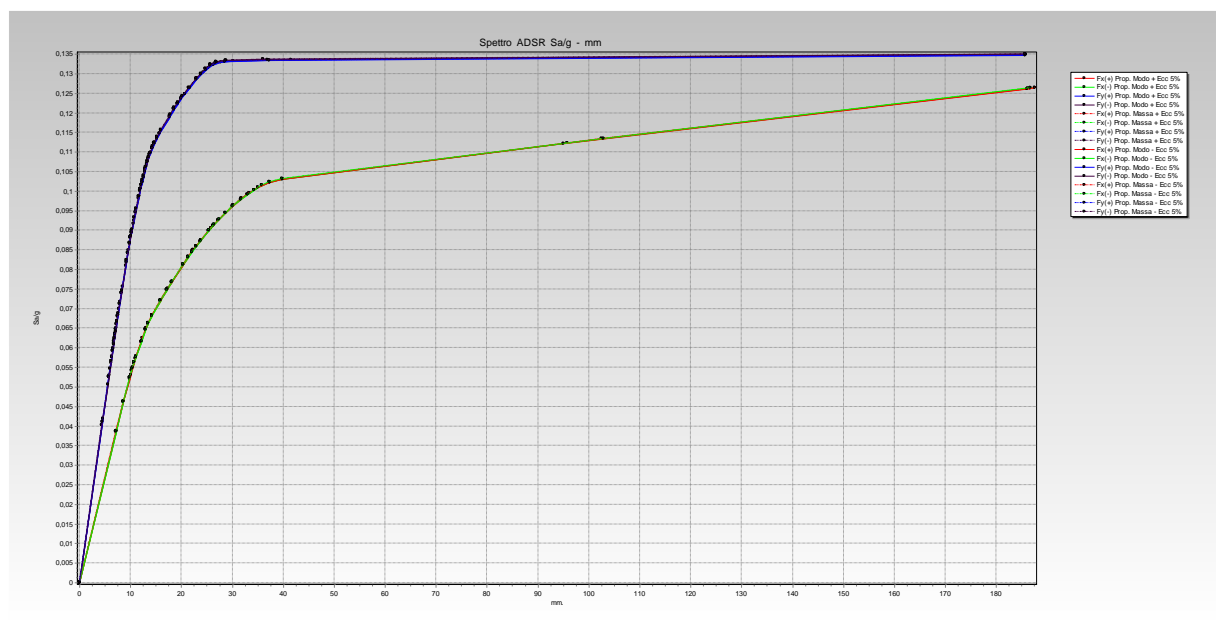


Figura 12 - Blocco 1 - Curve ADSR n° 16 pushover

Allegati:

- Tabulato di calcolo in fase ante operam e post operam;
- scheda tecnica tipologia di tessuto in fibra di carbonio per il rinforzo strutturale