

Comune di Norcia

INTERVENTI DI RIPARAZIONE E RIPRISTINO DELLE OPERE PUBBLICHE INTERESSATE DAGLI EVENTI SISMICI VERIFICATISI A FAR DATA DAL 24 AGOSTO 2016: "CASERMA DEI CARABINIERI - COMUNE DI NORCIA (PG)"

R.U.P.

Geom. Livio Angeletti

Progettista

Claudio Ricottini - Architetto

Progettista strutturale

Riccardo Vetturini - Ingegnere

Relazione geologica e geotecnica

Flavio Buratti - Geologo

Elaborazioni:

Titolo

PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

Elaborato

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Elaborato

1

Commessa

Fase

File

Rif.

Data GIU.2020

Rev.



SEDI OPERATIVE:

06034 FOLIGNO, L.GO MARCHISIELLI 3/b
06034 FOLIGNO, CORSO CAVOUR 84

TEL. 0742 358288
TEL. 0742 350701

FAX 0742 359259
FAX 0742 340587

E-MAIL: posta@araut.it
E-MAIL: ingeniumsrl@gmail.com

www.araut.it
www.ingeniumsrl.it

RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA

1. Premessa

La presente relazione si riferisce al **progetto di fattibilità tecnica ed economica** per l'**adeguamento sismico** dell'edificio sede della Caserma dei Carabinieri di Norcia inquadrato come finanziamento "INTERVENTI DI RIPARAZIONE E RIPRISTINO DELLE OPERE PUBBLICHE INTERESSATE DAGLI EVENTI SISMICI VERIFICATE SI A FAR DATA DAL 24 AGOSTO 2016: "CASERMA DEI CARABINIERI – COMUNE DI NORCIA (PG)"

2. Finalità

La finalità della presente proposta è la realizzazione di un intervento di qualità e tecnicamente valido nel rispetto del miglior rapporto tra i benefici e costi globali, non solo di costo di intervento, intendendo in termini costi globali anche i costi indiretti (trasferimento attività ed interruzione delle stesse a causa del danno per eventi sismici futuri) e costi di manutenzione durante la vita utile dell'edificio.



Individuazione Caserma dei Carabinieri di Norcia

In particolare la presente si spinge oltre i limiti dello studio di fattibilità proponendo un'analisi strutturale di massima per la determinazione della Valutazione della Sicurezza ante e post Operam, per due soluzioni, al fine di comprendere e dimostrare la fattibilità tecnica ed economica per il raggiungimento della soglia dell'Adeguamento Sismico (80% ovvero 100% della Sicurezza di un nuovo edificio ai sensi dell'NTC'18) e nello specifico per un edificio Classe d'uso IV con vincolo monumentale ai sensi del D.Lgs 42/04.

Come illustrato nel prosieguo la soluzione individuata rappresenta la coniugazione di diversi obiettivi solo apparentemente contrastanti:

- esigenze funzionali;
- esigenze di sicurezza (in particolare quella sismica);
- esigenze di tutela e valorizzazione del valore architettonico dell'edificio;
- esigenze ambientali (riduzione consumo dei suoli ed efficientamento energetico);
- esigenze economiche.

A seguito del danno occorso in conseguenza dell'evento sismico che ha colpito il Centro Italia nel 2016 l'edificio è stato dichiarato inagibile con scheda Aedes con esito E. Risulta viceversa agibile e non oggetto della presente la porzione "garage" /autorimessa in struttura in cemento armato giuntata rispetto il corpo in muratura.



Prospetto su Corso Sertorio

3. Cenni Storici

NORCIA

Corso Sertorio e la Porta Romana

La Porta Romana è l'ingresso principale della città ricostruito nel 1869 da Domenico Mollaioli nell'ambito degli interventi urbanistici per l'apertura del Corso, che qui ha inizio e che è stato tracciato con una "rettifica" dei fronti degli edifici preesistenti per realizzare un nuovo asse stradale fino alla Piazza San Benedetto.



Planimetrie storiche precedenti alla ricostruzione del 1869

La realizzazione della nuova strada affidata agli ingegneri Filippo Bandini e Sabatino Stocchi intendeva razionalizzare le comunicazioni interne alle mura (cosiddetta traversa interna) e comportò lo sventramento del

tessuto edilizio, sostituito dalle cortine dei palazzetti ottocenteschi che si riscontrano fino alla piazza Vittorio Veneto (sede del Teatro progettato dallo stesso Mollaioli) e oltre.

In prossimità della Porta i due edifici che si fronteggiano per dare inizio al nuovo Corso hanno medesime caratteristiche costruttive e costituiscono un “nodo” con speculare soluzione architettonica delle facciate che aumenta il grado di monumentalità del sito.

Hanno entrambi funzione “pubblica”, per essere l’uno sede della Caserma dei Carabinieri l’altro sede dell’Ufficio Postale, e testimoniano la volontà di un disegno ordinato ed unitario dell’intervento, concentrato sulla simmetria delle nuove facciate progettate indipendentemente dalla natura edificatoria dei manufatti preesistenti cui si sono sovrapposte.

L’edificio della Caserma è direttamente addossato alle mura il cui aspetto odierno è frutto di diversi restauri e trasformazioni anche recenti: dopo il disastroso sisma del 1859 i documenti testimoniano, tra le opere di pubblica utilità, un consolidamento delle mura ottenuto tramite **uno sperone di rinforzo**, proprio nel tratto della porta Spoletana, oggi Porta Romana.

I più recenti interventi, pur lasciando visibile il raddoppio murario con vistose strombature in corrispondenza delle finestre, hanno finito per “inglobare” le mura urbane al palazzo retrostante estraniandole dall’immagine della cinta muraria difensiva anche per effetto accentuato dalla presenza di un importante sporto di gronda che sovrasta le mura.

4. Descrizione generale

Le strutture murarie portanti presentano una configurazione regolare con la presenza speroni costituenti le murature che caratterizzano lo sviluppo longitudinale del fabbricato.

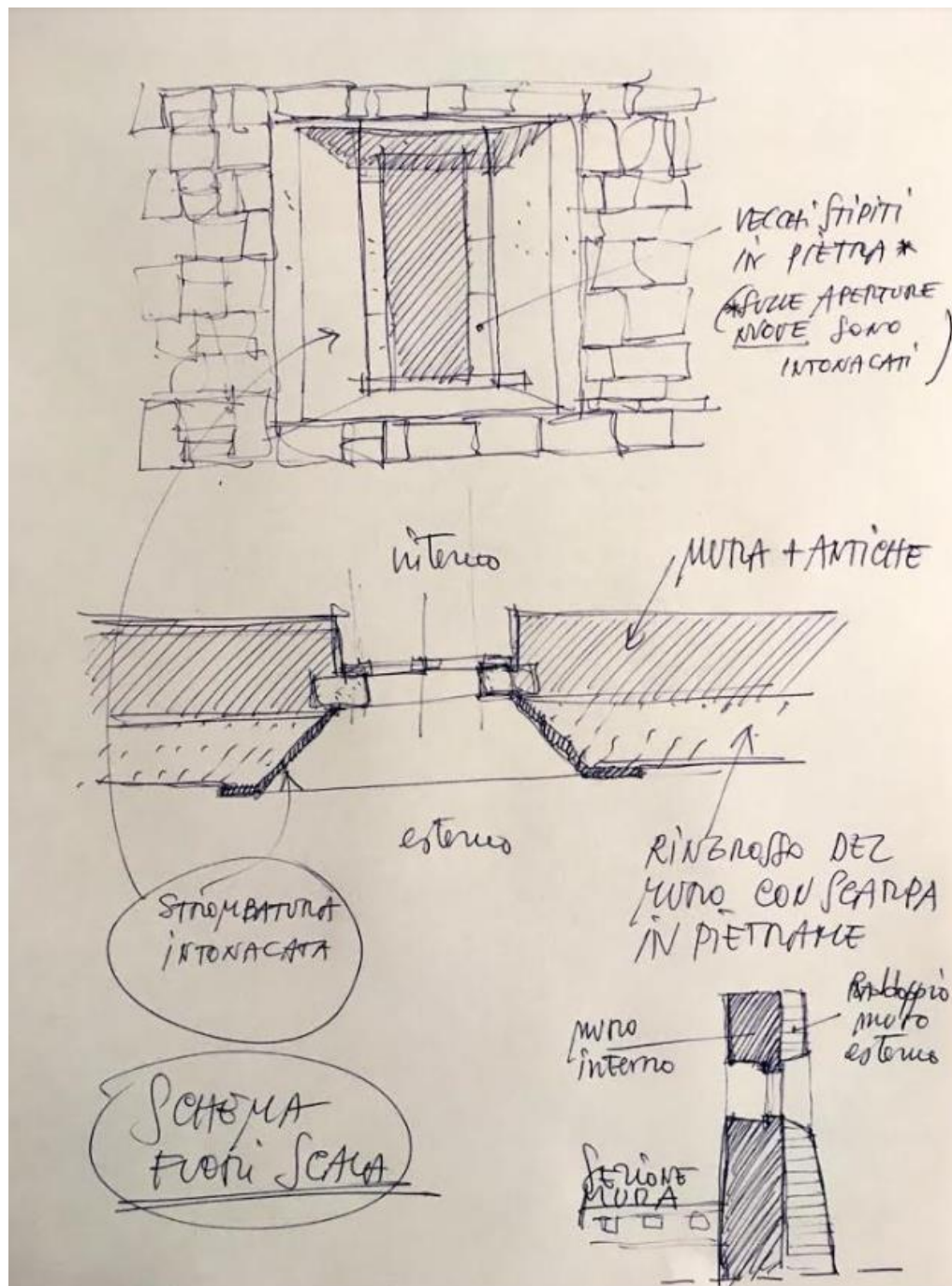
Sul lato dell’edificio lungo Corso Sertorio il manufatto risulta in parziale continuità con Porta Romana, porta di accesso alla città. Osservando gli elaborati prodotti nell’ultimo intervento che ha interessato il fabbricato si nota che lungo il perimetro delle mura urbane che delimitano il centro storico, è stato realizzato un giunto sismico di 10 cm.

Le pareti portanti presentano una muratura a tessitura irregolare e di cattiva qualità, relativamente agli impalcati si riscontra la presenza di volte in pietra al piano terra e solai in laterocemento per le restanti porzioni.

Anche le falde di copertura presentano una struttura in laterocemento non spingente con falde inclinate su muricci su cui giace il manto di copertura in coppi.

Il manufatto è stato oggetto di importanti interventi di recupero a seguito dell’evento sismico che ha interessato la città di Norcia nel settembre del 1979. Tali interventi, di tipo “tradizionale” e spesso particolarmente invasivi, hanno modificato, in alcune zone anche in maniera rilevante, le strutture originarie. Un importante approfondimento conoscitivo della struttura è stato raggiunto mediante l’esecuzione di una serie di saggi sulle strutture verticali ed orizzontali del manufatto per verificare sul posto lo stato di conservazione e di esecuzione dei precedenti interventi.

Le indagini effettuate, i cui risultati sono riportati in fascicolo allegato (Report Unilab), mostrano la presenza di una eterogeneità di interventi attuati ai diversi piani, in particolar modo in porzioni limitate di alcuni incroci murari del piano terra e del piano primo si ha la presenza di intonaco armato, seppur solo nel lato interno del paramento murario, l’utilizzo di perforazioni armate nelle zone d’angolo e ai piani superiori si sono rinforzati parte dei maschi murari tramite l’utilizzo di iniezioni.



Schema "doppia" parete cinta muraria

Tali situazioni ci inducono pertanto a valutare con molta attenzione la presenza degli interventi precedentemente realizzati, nelle analisi progettuali e di verifica, al fine non sopravvalutare le effettive caratteristiche di elasticità e di resistenza presenti. Per quanto sopra descritto, dovendo operare necessariamente a favore di sicurezza, si è scelto di tenere solo parzialmente in considerazione la presenza dei precedenti interventi. Nella fase di esecuzione dei lavori, utili informazioni si trarranno a seguito delle preliminari operazioni di demolizione di intonaci e rivestimenti presenti.

Riguardo le mura urbane che delimitano il centro storico ed al contempo rappresentano una delle pareti esterne del complesso in oggetto, queste sono in pietrame, allettato in maniera caotica, privo di ricorsi orizzontali evidenti e costanti, con malta di calce. Lo stato di danno evidenzia diverse fasi costruttive delle stesse mura. Sostanzialmente si tratta di due paramenti, il primo "interno", originario, il secondo esterno, successivo

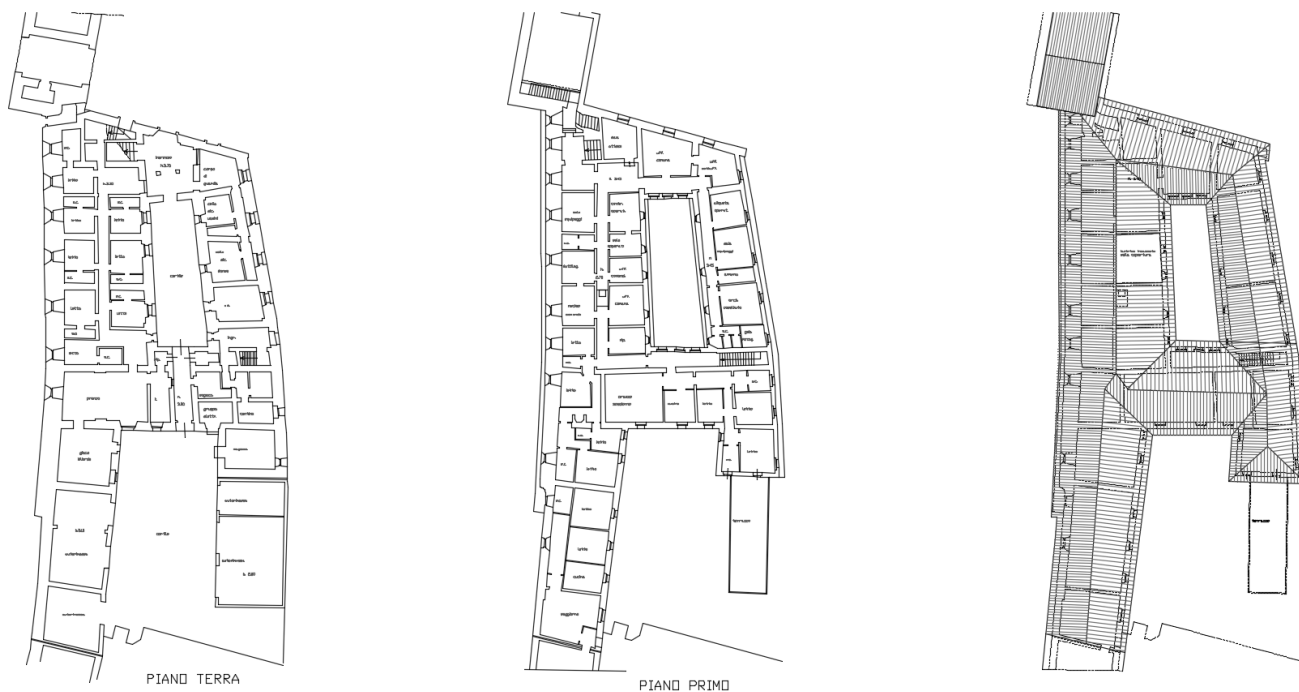
al primo, che ispessisce lo spessore murario. Si evidenzia come la le due pareti non costituiscono un unicum murario, ma due paramenti semplicemente accostati e non efficacemente ammorsati come l'evento sismico del 2016 ha purtroppo palesato.



Immagine del crollo puntuale del "doppio" paramento"



Progetto degli interventi dopo la crisi sismica del 1979



Planimetrie dei vari livelli

5. Analisi del danno a seguito dell'evento sismico

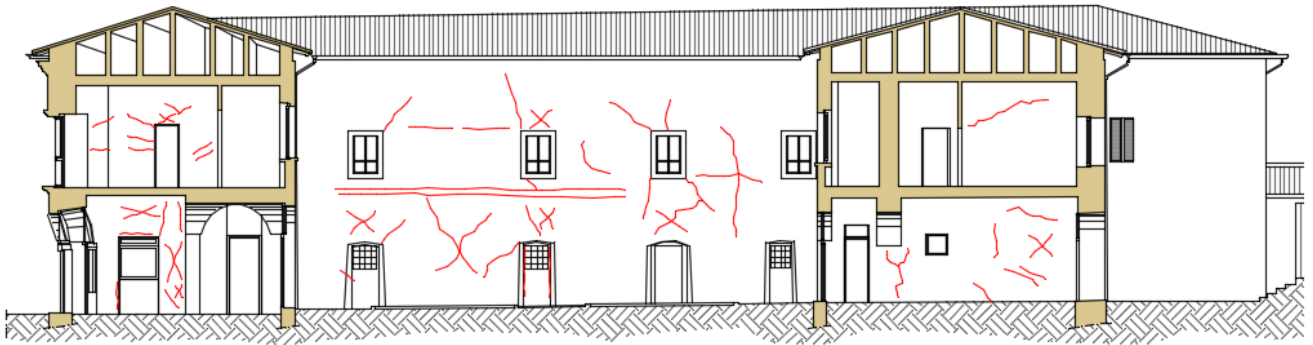
A seguito degli eventi sismici del 24 agosto 2016 e successivi, l'edificio è stato dichiarato inagibile con esiti E ed F, a seguito di sopralluogo e compilazione della scheda AeDES n. 002 del 30/11/2016 della squadra 1531. Da perizia asseverata redatta dall' Ing. Luciano Cera, le rilevazioni puntuali delle lesioni, della loro tipologia ed estensione hanno determinato delle condizioni di dissesto che corrispondono ad un livello operativo L4.

L'edificio è stato infatti gravemente danneggiato dalla crisi sismica che ha colpito il centro Italia con gli eventi sismici del 24 agosto, 26 e 30 ottobre 2016.

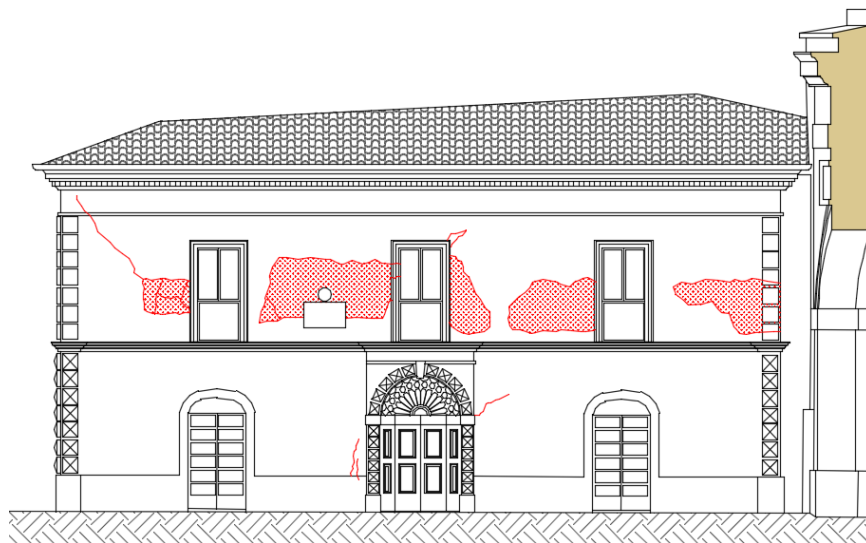
Lo stato di danno è diffuso e coinvolge le pareti murarie con lesioni passanti di ampiezza inferiore a 5 mm e in alcune zone lesioni passanti di ampiezza compresa fra $5 < sp < 20\text{mm}$ (ai sensi dell'Ord. 19/2017).

Per l'edificio in oggetto è stato individuato nella perizia un grado di vulnerabilità significativo, per la presenza di carenze di tipo α ed una di tipo β (ai sensi dell'Ord. 19/2017).

Il "Livello Operativo" che scaturisce dalla combinazione dello Stato di Danno e del Grado di Vulnerabilità risulta pari ad L2, tuttavia in base all'articolo 2, comma 5 dell'ordinanza n.61 del 1 Agosto 2018 "qualora gli edifici adibiti ad uso pubblico in ragione della loro destinazione necessitino di interventi di adeguamento sismico a norma dell'art. 7 comma 1, lettera b) del decreto legge, ai fini della determinazione del contributo è in ogni caso assunto come livello operativo di partenza il livello L4."



Stralcio rilievo delle lesioni sezione



Stralcio rilievo delle lesioni prospetto principale su Corso Sertorio

L'edificio è in struttura portante in **muratura**, prevalentemente di pietrame, murata a calce con spessori considerevoli al piano terra. L'intervento eseguito negli anni '80 per il recupero dello stesso immobile dal danneggiamento occorso a causa dell'evento sismico che colpì Norcia nel 1979, ha fortemente inciso nella struttura del complesso edilizio introducendo/sostituendo numerosi maschi murari nella logica di una rifunzionalizzazione e adeguamento sismico secondo i dettami delle allora norme vigenti. Sono presenti pertanto numerose pareti in mattoni pieni, in blocchi in laterizio semipieno ed alcuni corpi di fabbrica in c.a. armato gettato in opera; quest'ultimi, pur facendo parte del complesso funzionale della caserma sono esclusi dal presente progetto di fattibilità tecnica.

Gli impalcati sono per la quasi totalità stati sostituiti negli anni '80 e sono attualmente **solai in latero cemento armato**, gettato in opera, con **cordolature di perimetro realizzate in breccia** nelle murature di pietrame od in testa nel caso delle murature ricostruite. Sono "sopravvissute" a questo opera di sostituzione edilizia degli orizzontamenti solo alcune volte che coprono i vani del piano terra prospicienti via Foscato. Anche le volte sono state consolidate con "cappa in calcestruzzo armata".

Le **coperture** sono anche loro nella loro totalità realizzate in **solai latero cemento armato**, con solai piani di soffitto del piano primo e falde costruite su frenelli in laterizio forato (cosiddetto "**tetto a muricci**").

Riguardo le fondazioni, sulla base dei progetti forniti, non è chiaro se siano stati operati interventi di rafforzamento specifico, ma certamente è stato realizzato un solaio aerato all'interno dei vani con cordolo forse di perimetro al vano stesso (?), solaio anche questo su muricci. In questa fase di studio preliminare è stato possibile eseguire solo due saggi conoscitivi dello stato fondale, non esaurienti. Si evidenzia che **non sono presenti lesioni o meccanismi di collasso riconducibili a cedimenti differenziali del piano fondale**.

Lo stato di danneggiamento riscontrato riguarda prioritariamente la **rottura a taglio per azioni nel piano delle pareti murarie**. Ampie e profonde lesioni di tipo passante interessano i maschi murari in pietrame. Particolarmente grave lo stato di danno delle pareti della cinta muraria che evidenzia il ribaltamento della "rifodera" esterna della stessa cinta muraria. Sono viceversa pressoché assenti lesioni riconducibili ad azioni fuori del piano. Non si registrano inoltre dissesti riconducibili a cedimenti fondali.

Lo stato di danno evidenzia la connotazione strutturale del manufatto a seguito degli interventi di adeguamento sismico che hanno costituito di fatto una "scatola muraria" con i suoi elementi verticali ed orizzontali efficacemente connessi tra loro, ma con capacità di resistenza a taglio ovviamente insufficienti per rimanere in campo elastico. Lo stato di danno evidenziato dalla prevalenza di diffuse fessurazioni diagonali passanti, è dunque conseguenza della dissipazione di energia di ingresso prodotta dall'evento sismico, attraverso la plasticizzazione (fessurazione) prevalentemente a taglio dei pannelli murari. A tale comportamento generale si associano ovviamente elementi locali e puntuali come il ribaltamento delle "cortecce" murarie esterne della cinta muraria che per superamento dell'equilibrio per azioni fuori del piano ha prodotto dei crolli per ribaltamento della stessa.

6. Proposta di Intervento “convenzionale” e di isolamento alla base

L'obiettivo posto dall'amministrazione è il conseguimento di **un ADEGUAMENTO SISMICO con livello di sicurezza congruente con la destinazione d'uso “edificio Strategico”** ed il ruolo che deve assolvere un complesso di questa natura.

Essendo l'edificio di particolare interesse Storico, Architettonico ed Ambientale (vincolo ai sensi del D.Lgs 42/04), è necessario in ogni caso configurare una proposta d'intervento equilibrata che eviti lo stravolgimento della situazione di fatto, sebbene fortemente compromessa nella sua originalità con gli interventi degli anni '80. In altre parole **le ragioni della sicurezza devono trovare un giusto compromesso con la tutela ed il rispetto della valenza storico ed architettonica dell'edificio.**

Al fine di valutare la fattibilità economica dell'intervento di **ADEGUAMENTO SISMICO** ai sensi dell'NTC'18 sono state analizzate due proposte radicalmente opposte:

- Intervento “convenzionale” di rafforzamento ed incremento della CAPACITA' dell'edificio;
- Intervento “innovativo” di riduzione della DOMANDA mediante la tecnica dell'isolamento sismico alla base.

Nel prosieguo si analizzano le caratteristiche in termini tecnici ed economici delle due soluzioni.

Si precisa che per le due casistiche al medesimo obiettivo di ADEGUAMENTO SISMICO corrisponde per il caso *convenzionale* $\zeta=0,80$ (dunque 80% della sicurezza di un nuovo edificio ai sensi del NTC'18), viceversa per il caso “isolamento sismico” la norma impone $\zeta=1,0$ (dunque 100% della sicurezza di un nuovo edificio ai sensi del NTC'18),

Intervento “convenzionale”- $\zeta=0,80$

Il tema strutturale di incrementare in termini sostanziali il livello di sicurezza sismica di un edificio storico in muratura, concepito con criteri prevalentemente statici comporta, in generale, con interventi di tipo “convenzionale”, un complesso di opere che determinano un impatto importante ed invasivo nell'edificio.

Nel caso in esame tuttavia si tratta di operare su di un complesso, che sebbene, di connotazione storica e monumentale, **è stato pesantemente aggredito e trasformato con interventi di rafforzamento diffusi nella logica dell'adeguamento sismico delle allora norme vigenti.**

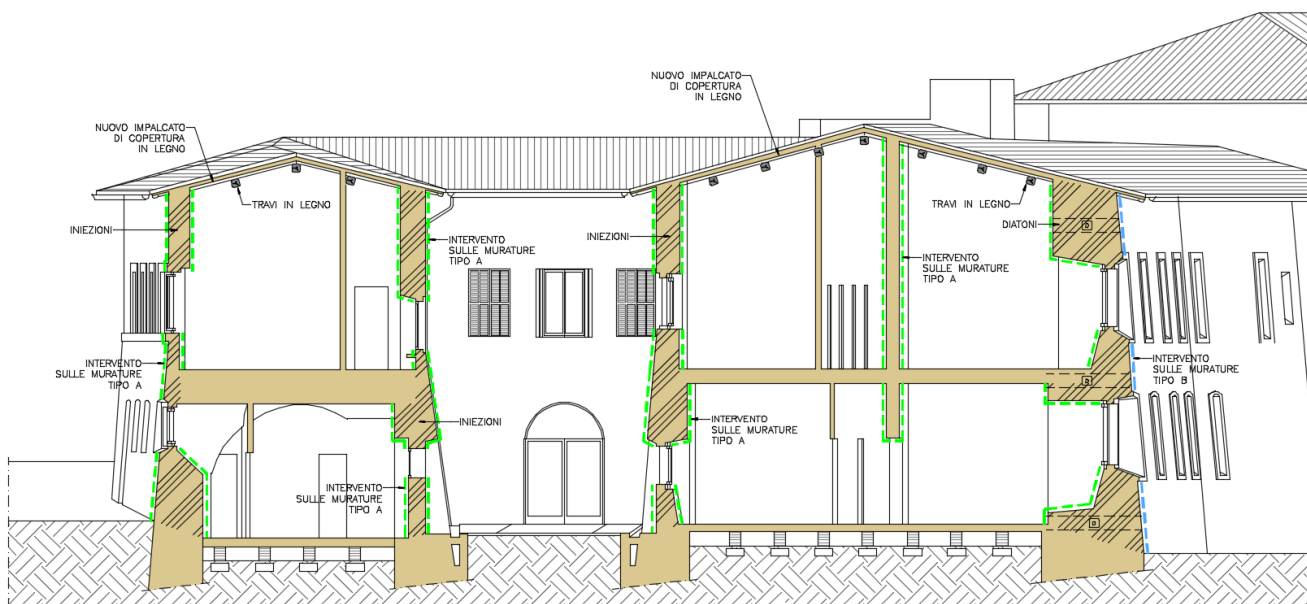
Il complesso è stato “adeguato sismicamente”, anche con sostituzioni, in quasi la totalità dei suoi elementi strutturali (sia a livello di elementi verticali – nuovi setti in muratura; sia a livello di orizzontamenti – nuovi solai e nuove coperture entrambi in latero cemento). Gli interventi progettati e realizzati appartengono a un retaggio culturale proprio del tempo in cui sono stati eseguiti, oggi certamente non condivisibili sul piano conservativo e di compatibilità, ma senza dubbio occorre anche riconoscere che, con questo intervento di consolidamento, il comportamento del manufatto sia stato tale da scongiurare crolli e perdite o ferimento di vite umane (logica Salvaguardia delle Vite Umane - SLV).

Dall'analisi del danno, ogni nuovo intervento di adeguamento sismico, deve rapportarsi inevitabilmente con l'intervento eseguito. È quindi necessario entrare in un'ottica "*di consolidare il consolidato*", dal momento che le scelte adottate in passato risultano **irreversibili**.

"Consolidare il consolidato" è per certi versi una scelta obbligata, che permette quindi, di migliorare un comportamento già in parte positivo del manufatto (SLV). Il progetto di adeguamento sismico "convenzionale" proposto con la presente è assimilabile, quindi, ad un intervento di potenziamento "strutturale" di quanto già realizzato negli anni '80.

Potenziare ciò che oggi è presente (migliorandone le prestazioni in relazione ad una riconosciuta efficacia) rappresenta l'unico modo di tutelare un manufatto che dal punto di vista conservativo è stato pesantemente condizionato dall'ultimo intervento. Potenziare ciò che esiste ancora è l'unico modo per evitare nuove manomissioni, nuove demolizioni (con alcune eccezioni riguardanti le coperture), nuovi elementi strutturali. Questa analisi di dettaglio accurato, che è stata effettuata attraverso lo studio del manufatto e delle sue trasformazioni, rappresenta di fatto il modo migliore per salvaguardare il manufatto così come è oggi, permettendo di tutelare quanto resta.

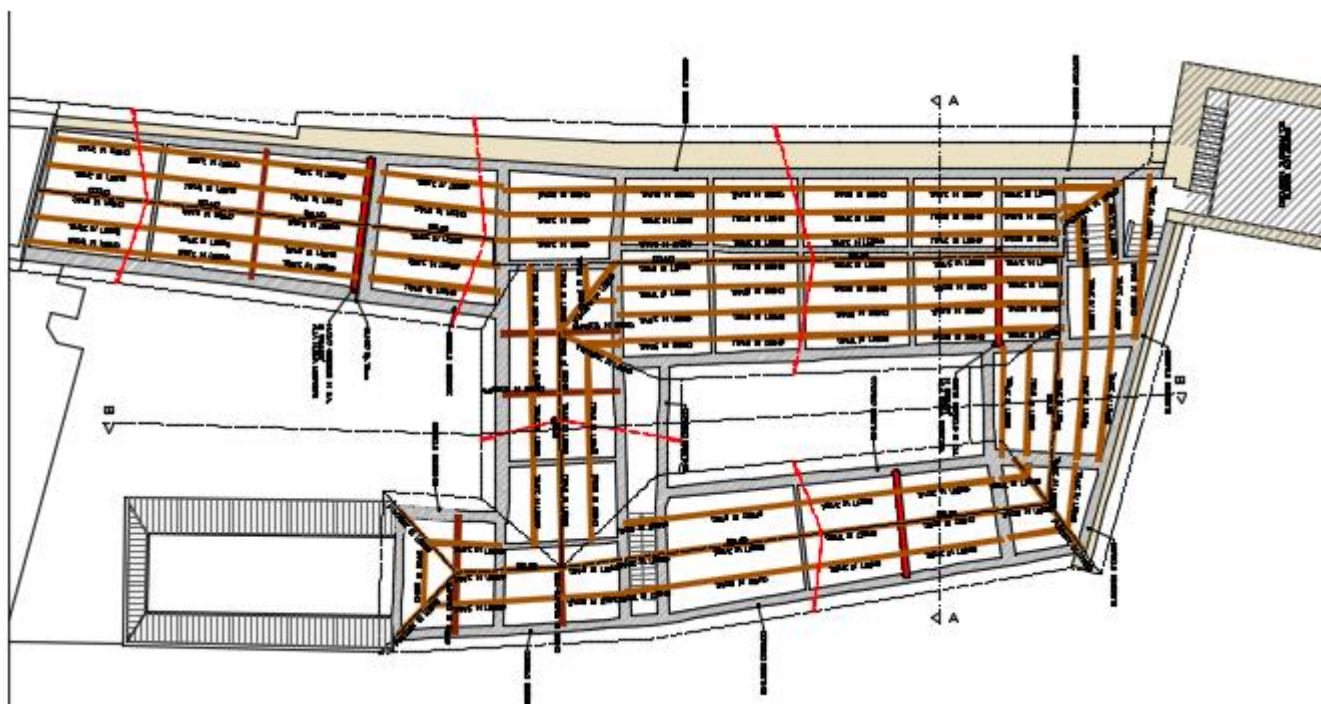
Un intervento "convenzionale" necessita nel caso specifico di un incremento della CAPACITA' dell'edificio attraverso principalmente **il rafforzamento e delle murature esistenti prevedendo opere di iniezioni di calce idraulica combinata all'applicazioni di intonaci armati con fibre di vetro**. Tale intervento deve essere ovviamente preceduto da un'opera diffusa di riparazione dei danni mediante tecniche di sarcitura delle lesioni con cucì scuci profondi e diffusi



Sezione intervento convenzionale

Al fine di ridurre le azioni sulla struttura si prevede la riduzione delle masse inerziali in copertura riducendo drasticamente quest'ultime mediante la sostituzione delle attuali coperture in latero cemento e falde su "muricci" con una più congruente sul piano architettonico e strutturale, una nuova copertura a falde inclinate

in legno e tavolato, secondo dunque le tipologie costruttive locali. Il pacchetto di copertura tipologico corrisponde ad un'orditura principale con terzere lignee, su cui poggiano travicelli e al di sopra questi tavolato ed infine il manto. Le grandi luci sono regolate da capriate "rompitratte" ed in corrispondenza dei diagonali del tetto da puntoni lignei opportunamente equilibrati in termini di spinta all'appoggio.



Pianta rifacimento coperture in legno

In tale ipotesi di rafforzamento, di incremento della CAPACITA' delle murature e di "alleggerimento" delle coperture, è evidente l'impatto sulle finiture ed impianti presenti. Si renderebbe dunque necessario, non solo l'opera strutturale di rafforzamento e adeguamento sismico, ma anche il totale ripristino di opere di finitura ed impianti esistenti che verrebbero rimossi in conseguenza all'intervento strutturale stesso.

Intervento con iniezione di miscele leganti, intonaco armato con rete in fibra di vetro ed inserimento diatoni con ulteriore funzione di collegamento trasversale delle opposte reti di armatura.

Si tratta di un intervento completo di rinforzo, particolarmente indicato per murature che presentano carenze, sia realizzative con vuoti interni e prive di collegamenti trasversali, sia di materiali base impiegati, come ad esempio conci irregolari, nonché fenomeni di disgregazione a causa di un significativo degrado delle malte e dello stato fessurativo.



Il consolidamento delle murature viene realizzato attraverso l'applicazione di sistemi di rinforzo strutturale costituito da reti ed accessori in materiale composito G FRP. La tecnica utilizzata è quella del convenzionale "betoncino armato", utilizzando tuttavia reti in FRP a sostituzione di reti in acciaio; tale tecnica è come noto riconosciuta dalla normativa come tra le più efficaci in quanto garantisce elevati gradi di miglioramento. La rete di rinforzo viene resa solidale alle murature con elementi di connessione, i diatoni in G FRP ovvero acciaio inox capaci di

svolgere la funzione di collegamento dei due "paramenti".

Operativamente, dopo la rimozione degli intonaci, si esegue la scarnitura delle connessioni tra le pietre per una profondità media di circa 2 cm ed un'accurata pulizia.



La messa in opera della rete G FRP avviene fissandola provvisoriamente alla muratura con chiodi da carpenteria in modo da consentirne il taglio della rete in corrispondenza delle aperture; al fine di garantire una continuità meccanica si sovrappongono le fasce di rete per circa 20 cm. Si esegue quindi l'esecuzione di fori, diametro 24 mm, secondo una griglia ortogonale 50x50cm con un incidenza media di circa 4/mq avendo cura di posizionare il

foro in corrispondenza del giunto e non nel concio lapideo; segue l'inserimento del connettore ed iniezione di ancorante chimico o malte strutturali a ritiro compensato.

Risoltato il diatono al di sopra della rete si può procedere con l'applicazione della malta sulla parete, per uno spessore di circa 2,5-3cm di intonaco base calce con caratteristiche di progetto tipo M15.

L'efficacia del sistema di consolidamento viene garantita, nel tempo, dalla **totale assenza di corrosione** agli agenti atmosferici e dalla compatibilità della rete e degli accessori in G FRP con malte a base calce, gesso,

pozzolana, ecc. quindi congrue con la tradizione, ecco quindi perché “intonaco armato” e non “betoncino armato”.

Il limitato spessore di intonaco ottenibile con tale intervento e il ridotto modulo elastico del composito permettono di contenere la rigidità del rinforzo non alterando perciò significativamente i mutui rapporti di rigidità tra le pareti.

Sarcitura mediante cucì scuci

La riparazione dei paramenti murari, secondo quanto considerato al punto C8.7.4.1 della Circ.7/2019 è prevista mediante la sarcitura o scuci – cucì. Detto intervento è finalizzato al ripristino della continuità muraria lungo le linee di fessurazione ed al risanamento delle porzioni di muratura gravemente deteriorate. E’ previsto di utilizzare materiali simili a quelli originari per forma, dimensioni, rigidità e resistenza, collegando i nuovi elementi alla muratura esistente con adeguate ammorsature nel piano del paramento murario e ove possibile anche trasversalmente, in profondità al paramento stesso, in modo da conseguire la massima omogeneità e monoliticità della parete riparata. Tale intervento sarà utilizzato anche per la chiusura di nicchie, canne fumarie e per la riduzione dei vuoti, in particolare nel caso in cui la nicchia/apertura/cavità è posizionata a ridosso di angolate o martelli murari.

Iniezioni di miscele leganti

L’interventi di consolidamento mediante iniezioni di miscele leganti è mirato al miglioramento delle caratteristiche meccaniche della muratura da consolidare.

L’intervento risulta efficace se impiegato su tipologie murarie (generalmente pietrame) che per loro natura siano caratterizzate da presenza di vuoti, collegati tra loro.

Particolare attenzione va posta nella scelta della pressione di immissione della miscela, per evitare l’insorgere di dilatazioni trasversali prodotte dalla miscela in pressione.

Nel caso si reputi opportuno intervenire con iniezioni su murature incoerenti e caotiche, è necessario prendere provvedimenti atti a ridurre il rischio di sconnessione della compagine muraria e di dispersione della miscela.

Particolare cura dovrà essere rivolta alla scelta della miscela da iniettare, curandone la compatibilità chimico-fisico-meccanica con la tipologia muraria oggetto dell’intervento

Intervento “innovativo” $\zeta=1,0$

Si descrive una seconda proposta che modifica radicalmente l’approccio, invertendo i termini del problema, non più ricercare la sicurezza con un incremento della “RESISTENZA” dell’edificio ad equilibrare le spinte sismiche, ma viceversa riducendo la “SOLLECITAZIONE” isolando alla base l’edificio dal terreno.



Schema tipo di isolatore elastomerico



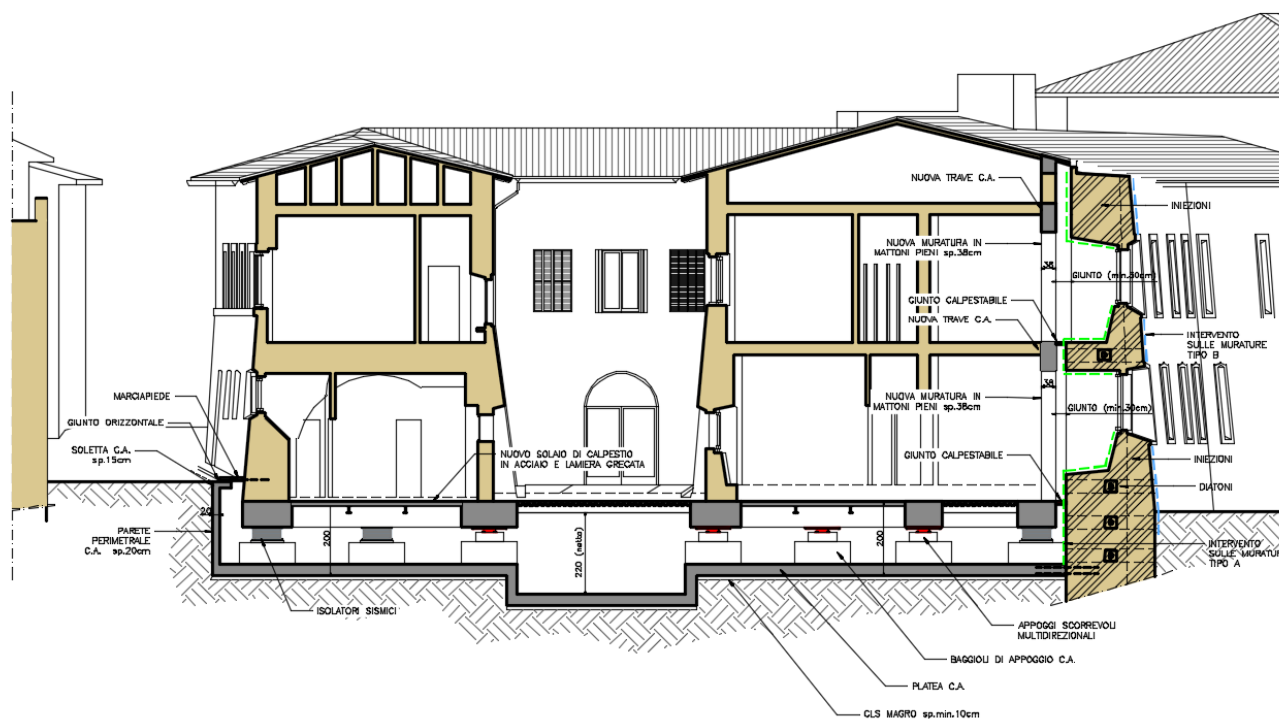
Schema tipo di slitta, appoggio multidirezionale

In altre parole il problema strutturale, che in estrema sintesi è riassunto nella disequaglianza $CAPACITA' \geq DOMANDA$ condizionata dal rispetto della valenza storica monumentale dell’oggetto di intervento e delle opere di finitura ed impianti presenti, può essere risolto riducendo il termine DOMANDA piuttosto che incrementare il termine di “resistenza passiva”. L’intervento di adeguamento sismico *convenzionale* tende ad operare nella direzione di incremento della capacità operando con interventi di rinforzo tendenzialmente NON compatibili con il pregio storico artistico del manufatto, ma **in grave affanno per divari così ampi tra capacità e domanda e con limitazioni così forti per la valenza dell’edificio**. Per alcune situazioni particolari come quella in oggetto del presente lavoro, è possibile conseguire una significativa riduzione della domanda solo mediante l’isolamento

alla base del fabbricato. Con tale strategia dell'isolamento sismico alla base le **opere di adeguamento sismico, non dunque di miglioramento, intervengono in maniera incisiva:**

- al di sotto del piano di calpestio del piano terra, concentrando quasi esclusivamente alle fondazioni l'invasività dell'opera;
- nella separazione dalla cinta muraria e dal corpo edilizio di Porta Romana;

salvo poi ricondurre l'intervento di recupero nella parte in elevazione ad una "semplice" opera di eventuale efficientamento energetico ed adeguamento impiantistico.

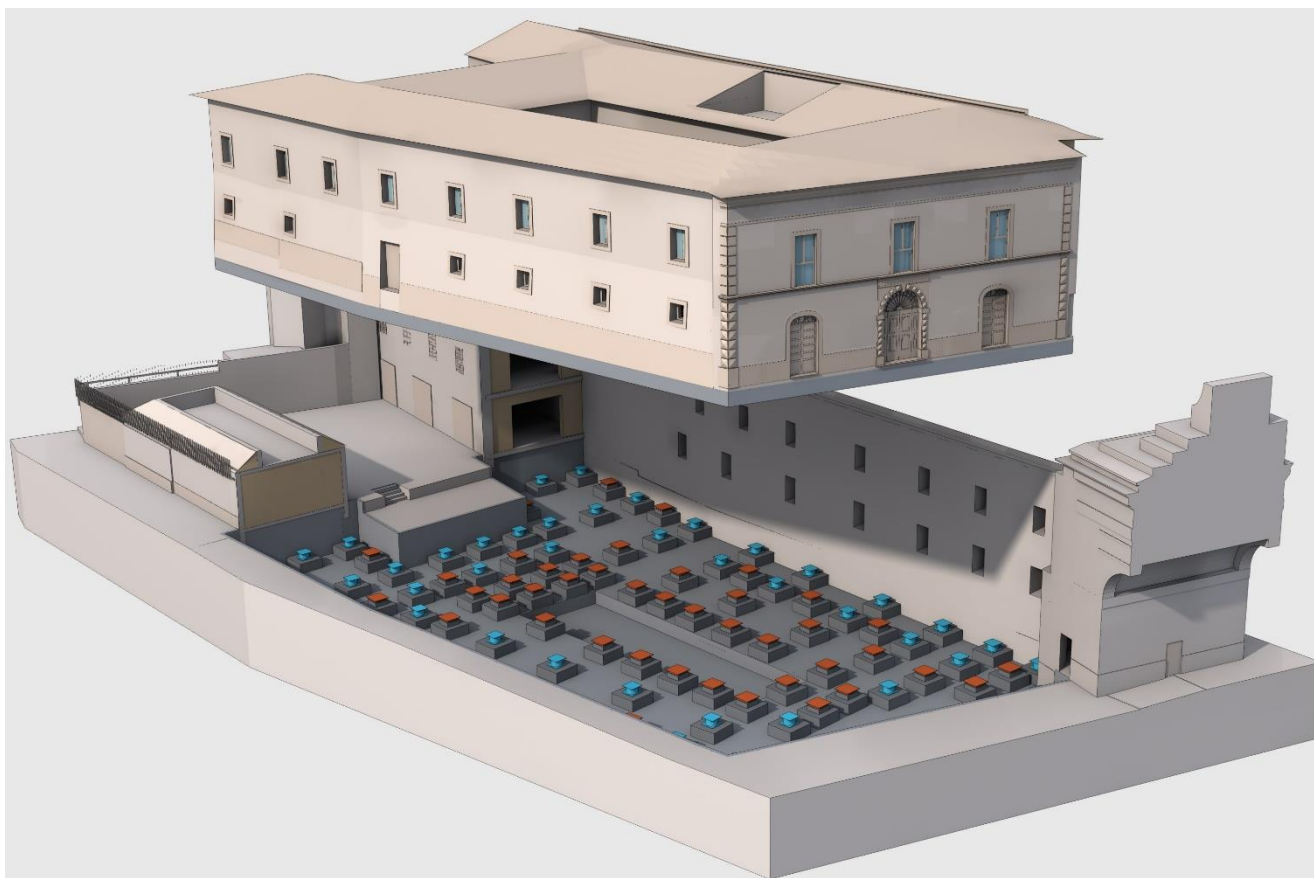


Sezione intervento di isolamento alla base

Anche per questa ipotesi, in elevazione è necessario una riparazione delle murature danneggiate mediante sarciature diffuse.

L'abbattimento drastico dell'accelerazione alla base dell'edificio attraverso l'isolamento consente pertanto di ridurre al minimo ovvero annullare gli interventi di rafforzamento nella parte di elevazione e conseguentemente limitare l'invasività dell'intervento nelle finiture ed impianti esistenti.

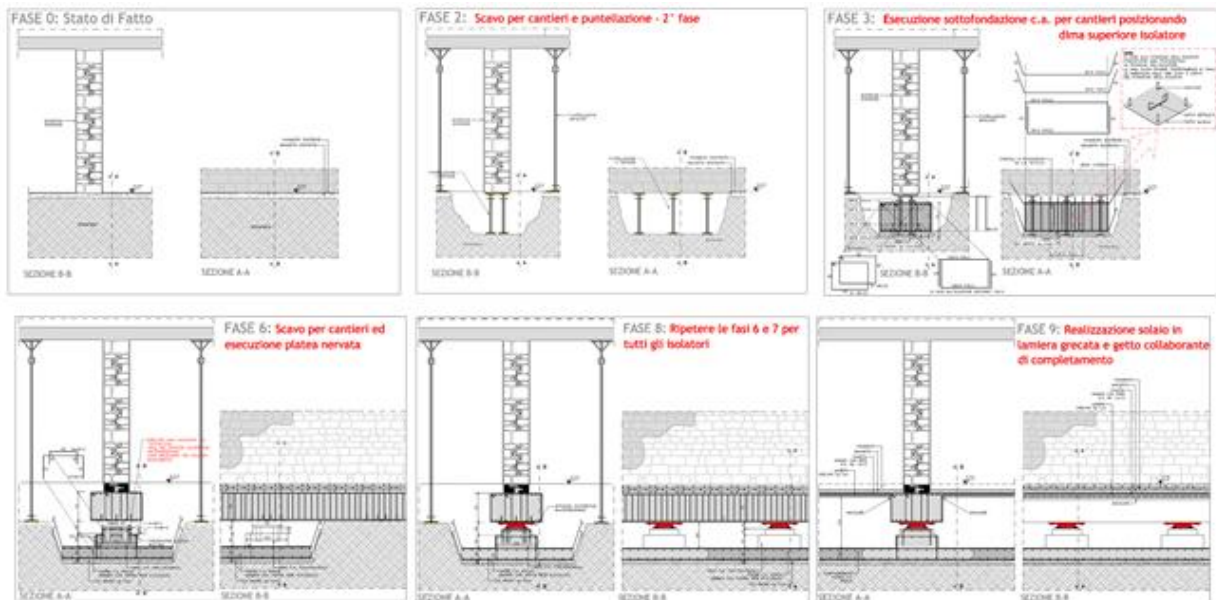
Definita pertanto la strategia si pone il problema nell'esecuzione dell'intervento di isolamento alla base per un edificio esistente in muratura, che quindi deve essere separato dal terreno. Le modalità operative per la realizzazione di questa strategia "innovativa" si basano su metodologie di intervento "tradizionali" ampiamente sperimentate nell'ambito di opere di sottofondazione di un edificio fondato direttamente sul terreno sottostante.



Rendering esploso assonometrico soluzione di isolamento sismico alla base

Le fasi esecutive per tale strategia prevedono in prima istanza la separazione del corpo di fabbrica dal terreno circostante. Si rende necessario predisporre la realizzazione di una intercapedine di perimetro che consenta lo spostamento relativo del fabbricato rispetto al terreno e la possibilità di controllo e manutenzione del sistema di isolamento anche sul perimetro del fabbricato.

Dopo aver provveduto alla realizzazione dell'intercapedine di perimetro, si procede alla rimozione del terreno all'interno dei vani portando alla luce le attuali fondazioni. Successivamente si procede alla suddivisione in sottocantieri dell'intero edificio avviando lo scavo e la successiva esecuzione un cordolo in calcestruzzo armato di sottofondazione secondo le consuete metodiche di tali interventi. Dopo avere sottofondato l'intero edificio, avendo quindi garanzie di una distribuzione sufficientemente uniforme delle sollecitazioni al piede delle pareti, si procede ad una seconda opera di sottofondazione più profonda. Si costruiscono dei "plinti", o baggioli di appoggio, e delle porzioni della futura platea, operando sempre per sottocantieri; in tali elementi si dovranno predisporre dei fori di alloggio per ospitare successivamente l'isolatore e le relative boccole di fissaggio. La posa in opera degli isolatori avviene avvitandoli alla contropiastra superiore ed inserendo quindi dei martinetti piatti "a perdere" al di sotto dei dispositivi. Iniettando all'interno del martinetto piatto resina epossidica/ boiaccia cementizia ad alta resistenza e si trasferisce parte del carico della struttura superiore all'isolatore e ponendo inoltre in pressione anche la nuova fondazione; in tal modo si eliminano le probabilità di cedimenti differenziali in fondazione dovute alla realizzazione per cantieri dell'intervento.



Fasi dell'intervento per l'applicazione dell'isolamento sismico



Vista della sottofondazione dell'edificio in muratura e della seconda fase di scavo e realizzazione dei baggioli di appoggio.

Sempre operando per sottocantieri non adiacenti tra loro, si ripetono le fasi precedenti disponendo tutti gli isolatori elastomerici e a scorrimento che sosterranno ormai definitivamente le strutture murarie soprastanti il piano di scorrimento. Costruiti tutti i plinti e messo in carico gli isolatori si procede al getto di completamento delle parti residue di platea armata che costituisce l'elemento di collegamento rigido tra tutti i plinti e la base dei dispositivi di isolamento.

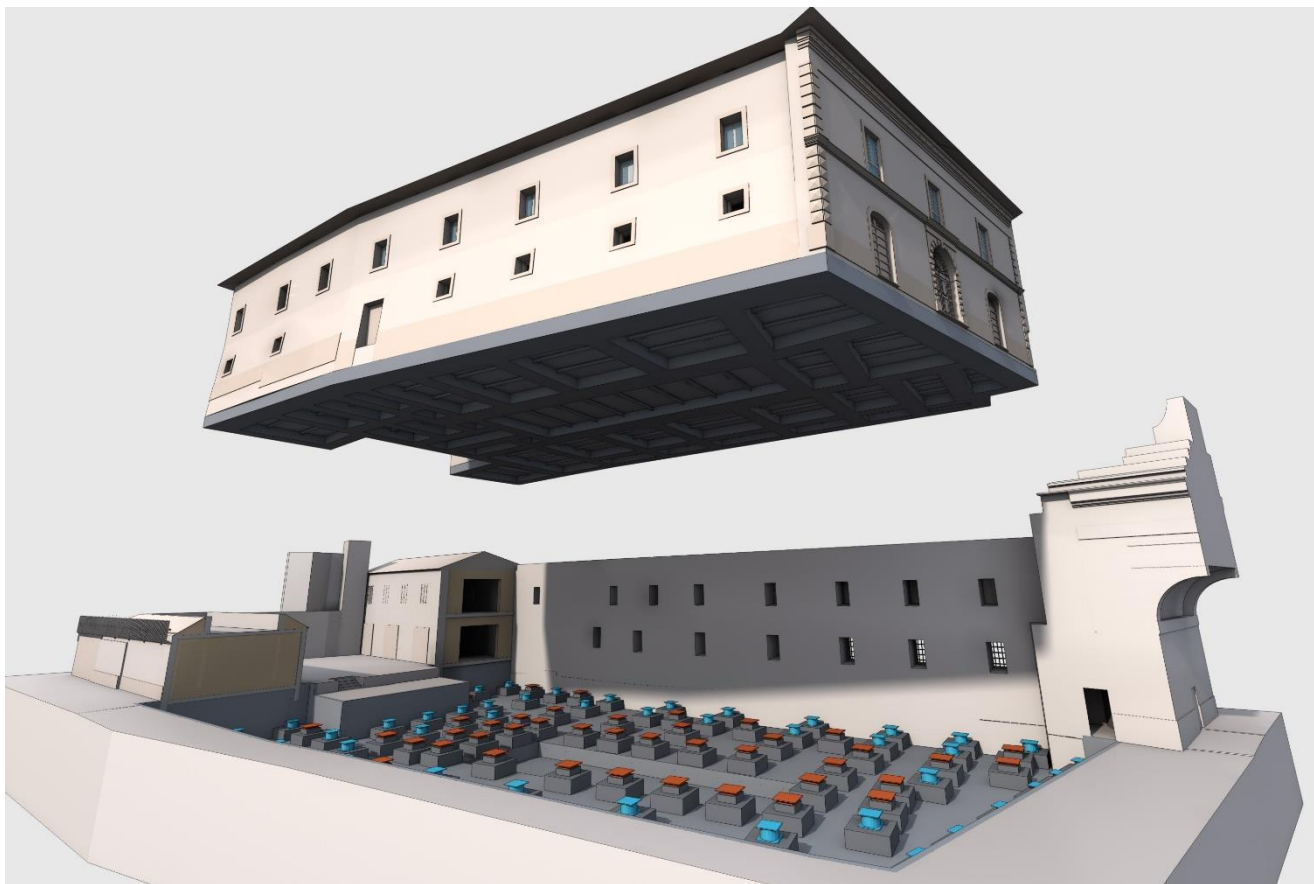


Fase di inserimento e fissaggio dell'isolatore, posa in opera del martinetto piatto a perdere al di sotto l'isolatore

Il sistema di isolamento adottato prevede per l'edificio "Caserma dei Carabinieri" n. 53 dispositivi di tipo elastomerico, cui si affiancano 45 appoggi scorrevoli multidirezionali, ovvero delle slitte. La disposizione dei dispositivi elastomerici è in modo da garantire il **centraggio del baricentro delle masse con il baricentro delle**

rigidezze; si è inoltre provveduto a disporre gli isolatori il più possibile in posizione periferica, in modo tale da massimizzare la rigidezza torsionale del sistema.

Le masse in gioco non sono tali da richiedere un gran numero di elementi elastomerici e pertanto ne consegue che circa il 46% dei dispositivi sono delle slitte, che di fatto rappresentano solo un appoggio scorrevole.

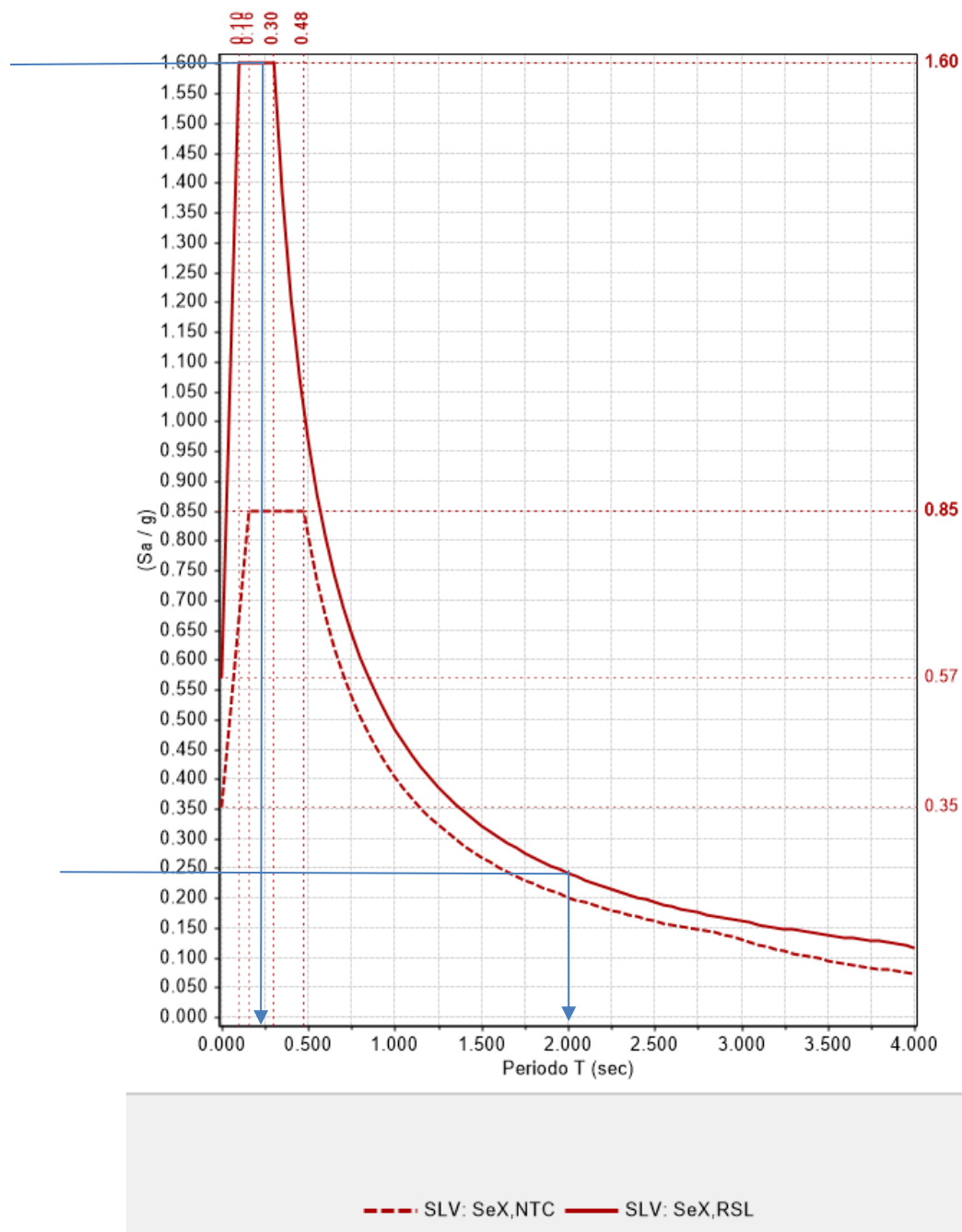


Rendering esploso assometrico soluzione di isolamento sismico alla base

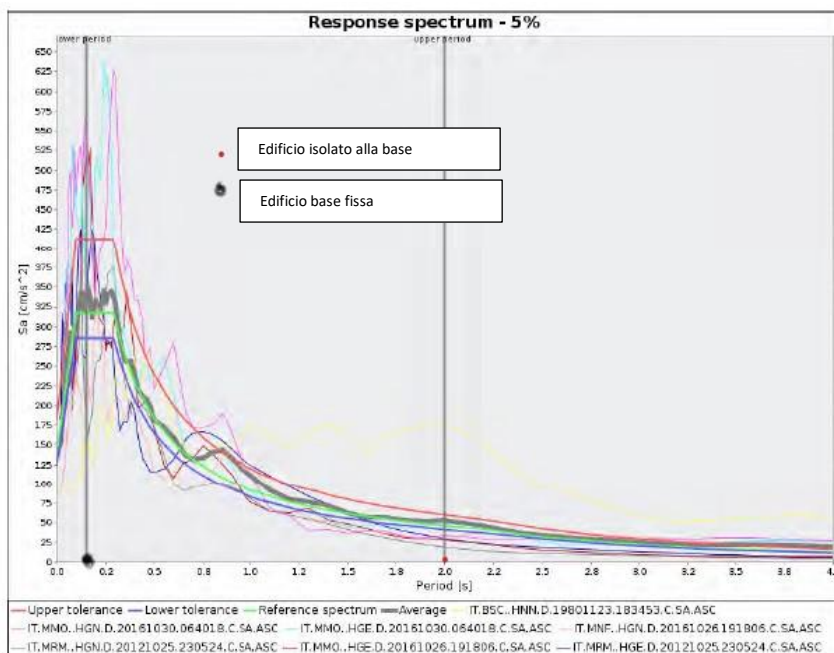
Tale approccio “innovativo”, per il caso in esame è suggerito dalla stessa criticità del sito.

Come si evince dal confronto tra gli spettri di risposta riportati in figura, la risposta sismica locale desunta dalla Relazione Geologica allegata evidenzia amplificazioni molto significative per i periodi inferiori ad 1sec come per l’edificio in oggetto.

Se si raffronta lo spettro per una categoria di terreno “B” (prevista dall’approccio semplificato delle NTC 2018) con lo spettro dedotto dallo studio sulla Risposta Sismica Locale, le accelerazioni sismiche orizzontali per periodi di oscillazione inferiori a 1sec, risultano raddoppiate! **I periodi per cui si verifica questo elevato innalzamento delle azioni di progetto sono più precisamente quelli compresi nell’intervallo 0.16÷0.3 secondi che sono proprio i periodi di oscillazione della struttura oggetto di studio e tipici per edifici in muratura di caratteristiche costruttive analoghe.**



Si osservi che per un periodo di circa 2sec corrisponde una riduzione delle accelerazioni di circa 6-7volte.



Target spectrum

=====
 Site classification: A
 Topography: 1
 Nominal life [years]: 50
 Building functional type (Cu): 2.0
 Limit state probability : 0.63

Preliminary record search

=====
 Station site classification: A,A*
 Magnitude min: 5.5
 Magnitude max: 6.5
 Types of magnitude considered: WL
 Epicentral distance min [km]: 0.0
 Epicentral distance max [km]: 30.0
 Include late trigger events: no
 Include analog recordings: yes

Spectrum matching parameters and analysis options

=====
 ==
 Period range min [s]: 0.15
 Period range max [s]: 2.0
 Tolerance below average [%]: 10.0
 Tolerance above average [%]: 30.0
 Scaled records: no

Spettro di risposta (vedi relazione geologica) da cui si evince che rispetto lo spettro normalizzato per periodi intorno a 0,3 sec la risposta sismica locale evidenzia amplificazioni consistenti.

Si sottolinea che tale metodica è stata adottata in ben 6 complessi monumentali in L'Aquila, in muratura come a quello in oggetto tra cui la sede del Consiglio Regionale dell'Abruzzo, due edifici strategici.



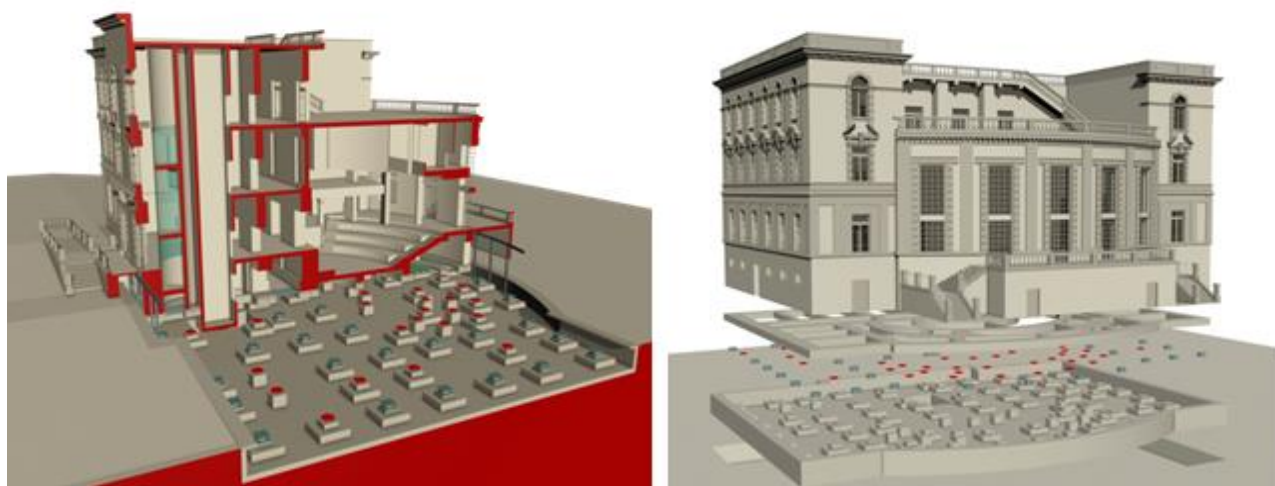
Palazzo dell'Emiciclo a L'Aquila sede del Consiglio Regionale dell'Abruzzo – adeguato sismicamente mediante l'isolamento alla base



Palazzo dell'Emiciclo a L'Aquila sede del Consiglio Regionale dell'Abruzzo – adeguato sismicamente mediante l'isolamento alla base



Palazzo Ex-Giovane Italia a L'Aquila sede del Consiglio Regionale dell'Abruzzo – ora sede della Gran Sasso Science Institute – edificio adeguato sismicamente mediante l'isolamento alla base



[Ex-GIL] Spaccato ed esploso assometrico

Palazzo Ex-Giovane Italia a L'Aquila sede del Consiglio Regionale dell'Abruzzo – ora sede della Gran Sasso Science Institute – edificio adeguato sismicamente mediante l'isolamento alla base

7. Le soluzioni a confronto

Le due soluzioni sono fra loro **diverse in termini di valore di sicurezza**, si raggiunge per entrambe l'“ADEGUAMENTO SISMICO” tuttavia con $I_R > 80\%$ per il caso convenzionale, viceversa con $I_R > 100\%$ con **un costo di intervento “paragonabile”** fra le due soluzioni (qualche punto percentuale superiore il caso convenzionale).

Si ritiene inoltre **paragonabile il tempo di intervento** per entrambe le soluzioni.

Si **differentiano ovviamente sulla tipologia di interventi** sull'esistente:

- la soluzione *convenzionale* mantiene uno status quo delle architetture e opere introdotte negli anni '80;
- la soluzione di *isolamento sismico* trasforma viceversa il comportamento sismico dell'edificio **disaccoppiandolo dal terreno e dalla cinta muraria / “Porta Romana”**.

L'intervento “tradizionale / convenzionale” è importante sottolineare che, ai sensi della NTC '18 è sostanzialmente “**verificato a rottura**” ossia si accetta, per la salvaguardia della struttura e della vita umana che questo si danneggi, anche in maniera severa, purché non crolli. In altri termini qualora si verifichi un evento sismico paragonabile a quanto previsto dalla Norma vigente all'SLV l'edificio con un intervento *convenzionale* probabilmente, pur salvando le vite umane, perderebbe nuovamente la sua funzionalità ed efficienza e dovrebbe essere sottoposto nuovamente ad un intervento di riparazione e imporre all'amministrazione di dover sostenere i costi di ripristino e di ricollocazione temporanea in nuovi spazi delle attività presenti.

Viceversa la strategia di isolamento alla base, dovendo progettare e **verificare la sovrastruttura in campo elastico**, disaccoppiando il comportamento di questa dal terreno tramite appunto gli isolatori, dopo un evento sismico severo tende al cosiddetto DANNO ZERO e **rimane in piena efficienza e totalmente funzionale con un drastico abbattimento dei costi.**

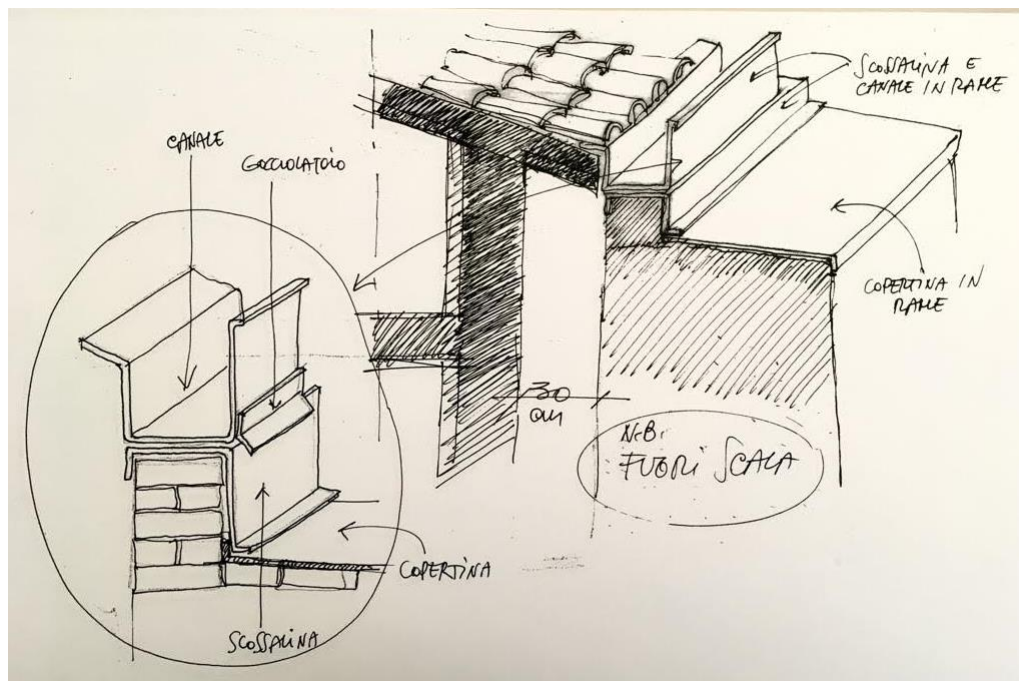
L'isolamento sismico consiste essenzialmente nel disaccoppiare il moto della struttura da quello del terreno interponendo tra le fondazioni (sottostruttura) e la struttura in elevazione (sovrastuttura) degli apparecchi di appoggio, detti isolatori, caratterizzati da un'elevata deformabilità orizzontale ed una adeguata rigidità in direzione verticale. La sottostruttura, generalmente molto rigida, subisce all'incirca la stessa accelerazione del terreno, mentre la sovrastruttura fruisce dei benefici derivanti dall'aumento di deformabilità conseguente all'introduzione degli isolatori. L'introduzione degli isolatori porta il periodo proprio del sistema strutturale in una zona dello spettro caratterizzata da valori bassi dell'accelerazione, al contrario di quello che accade per gli edifici a base fissa (che presentano, in genere, un periodo proprio di vibrazione inferiore a 1.0 sec).

La progettazione di un adeguamento sismico di un edificio esistente si differenzia ovviamente in maniera sostanziale rispetto all'approccio progettuale della costruzione di un edificio ex-novo. Per una struttura **nuova** si stabiliscono le prestazioni del sistema, ad esempio periodo e smorzamento, e poi si progetta la nuova struttura di elevazione in modo che i suoi elementi strutturali siano in grado di resistere alle sollecitazioni.

Nel caso di una struttura **esistente**, invece, volendo evitare interventi di rafforzamento (ovvero limitare) si determina innanzitutto la capacità resistente della struttura rispetto alle azioni orizzontali, per poi calibrare le caratteristiche del sistema d'isolamento, con l'obiettivo di limitare la domanda al di sotto la capacità, ossia limitare le forze sismiche agenti sulla struttura a valori inferiori a quelle resistenti. In altre parole **si progetta la DOMANDA** (sistema di isolamento) affinché sia tale da essere minore della CAPACITA' (caratteristica dell'edificio). E' evidente il totale ribaltamento di approccio rispetto ad un intervento "tradizionale", la cui progettazione parte dalla definizione della domanda, per poi dimensionare gli interventi in modo da fornire agli elementi strutturali esistenti quella capacità, di resistenza duttilità, in grado di soddisfare la domanda stessa.

L'intervento di isolamento sismico alla base dovrà essere attuato contestualmente ad un'opera di rinforzo da realizzare in corrispondenza della cinta muraria. Quest'ultima infatti a causa della separazione strutturale, dovuta al giunto di libera oscillazione con il fabbricato, si troverà a dover sostenere autonomamente le azioni sismiche sollecitanti. L'intervento previsto ipotizza il rafforzamento mediante:

- sarcitura mediante la tecnica del cuci-scuci delle parti danneggiate;
- il sistema tipo reticolus (stilatura armata dei giunti) per il paramento faccia vista esterno;
- applicazione di rete in materiale composito sul lato interno della stessa parete, con connettori collegati ad i connettori esterni della stilatura armata;
- bonifica del paramento mediante iniezioni di calce idraulica;
- diatoni per la mutua connessione dei paramenti esistenti.



Schema giunto ripristino cimasa della cinta muraria



Prospetto "Cinta Muraria"

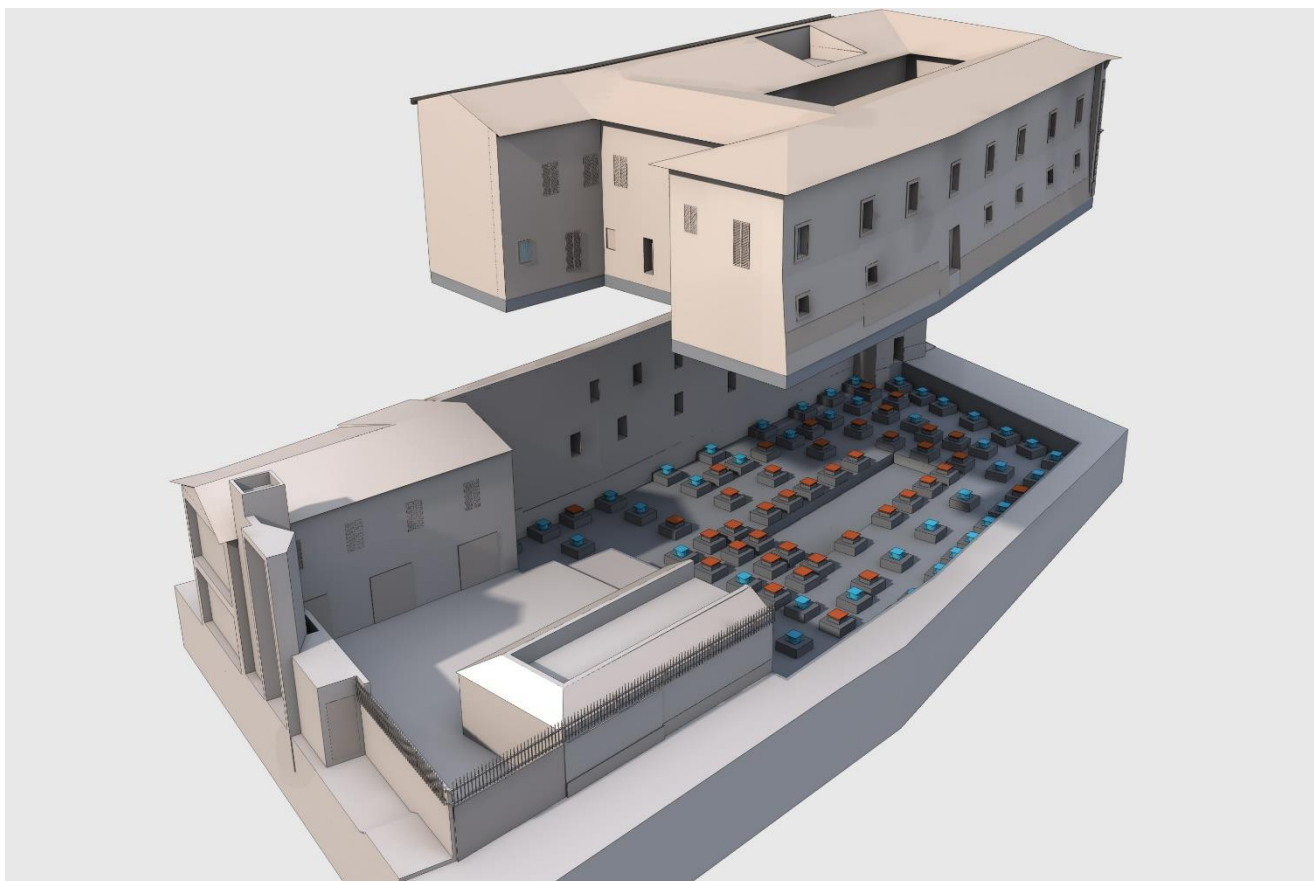
8. Conclusioni

Le due soluzioni proposte **sono fra loro paragonabili in termini di costi e tempi di esecuzione**. Sebbene diverse fra loro **sono moderatamente invasive rispetto ad un contesto storico comunque già fortemente compromesso** con gli interventi eseguiti negli anni '80.

Entrambe le soluzioni **sono inquadrabili come opere di "ADEGUAMENTO SISMICO"** anche se con Indice di rischio diverso rispettivamente convenzionale $I_R > 80\%$ e isolamento alla base $I_R > 100\%$.

Il distinguo pertanto si riconduce a cosa accade DOPO un futuro probabile evento sismico.

L'isolamento sismico alla base consente di ridurre in maniera drastica l'energia trasmessa alla struttura durante un terremoto. Di conseguenza il danneggiamento dovuto al sisma risulta molto limitato o teoricamente addirittura assente, e la struttura **può rimanere operativa anche durante e immediatamente dopo un evento sismico**. Tale vantaggio è particolarmente importante nelle strutture di particolare rilevanza e strategiche, quali possono essere le sedi Caserme dei Carabinieri.



Rendering esploso assonometrico soluzione di isolamento sismico alla base

I benefici derivanti dall'isolamento sismico sono molteplici; la riduzione delle accelerazioni sulla struttura comporta infatti una serie di vantaggi:

- abbattimento delle forze di inerzia e quindi delle sollecitazioni prodotte dal sisma sulla struttura, tale da evitare il danneggiamento delle parti strutturali anche in presenza di terremoti violenti;
- riduzione degli spostamenti di interpiano, tale da limitare notevolmente o addirittura eliminare il danno agli elementi non strutturali (tamponature, tramezzi, impianti, infissi, ...);
- riduzione del cosiddetto effetto panico, ossia minore percezione delle scosse sismiche da parte degli occupanti;
- notevole riduzione o totale azzeramento dei costi di riparazione dell'edificio a seguito di eventi sismici.

Il vantaggio dell'isolamento è maggiore rispetto quella convenzionale:

- negli edifici che, per la loro destinazione d'uso, devono rimanere operativi dopo un terremoto violento (centri di gestione delle emergenze, ospedali, ...), oppure strutture il cui contenuto ha un valore di gran lunga superiore al valore della struttura stessa (musei, scuole, banche); l'edificio della Caserma dei Carabinieri rientra ovviamente in questa prima casistica;
- negli edifici irregolari in pianta e/o in elevazione; l'irregolarità planimetrica della forma della Caserma con la strategia dell'isolamento viene risolta.

Infine, la convenienza economica dell'isolamento sismico appare straordinariamente superiore in un'ottica di lungo periodo: un edificio isolato non subirà danni in occasione di eventi sismici e non avrà bisogno di interventi di riparazione. Tale considerazione appare particolarmente importante per gli edifici pubblici, visti i costi di ricostruzione e/o riparazione necessari dopo un evento sismico.

Per la struttura in esame, avente funzioni di sede Caserma dei Carabinieri, edificio strategico, l'adozione dell'isolamento sismico appare la soluzione più opportuna, sia dal punto di vista della sicurezza sia dal punto di vista economico a medio lungo termine in considerazione della necessità di ridurre le azioni orizzontali ed ottenere un adeguamento sismico.

9. Riferimenti Normativi

Nella progettazione si è fatto riferimento all'assetto normativo per le costruzioni, formato dalle seguenti norme:

- DPR n.380 del 6.6.01: Testo unico delle disposizioni legislative e regolamenti in materia di edilizia;
- “Norme tecniche per le costruzioni”, DM Infrastrutture 17.01.2018;
- Circolare 21.01.19, n.7: Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17.01.18.
- UNI EN 1337: Appoggi strutturali
- EN 15129: Anti-seismic devices

Riferimenti validi sono anche le seguenti norme:

- “Criteri per l’individuazione delle zone sismiche – Individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi delle medesime zone” e allegati, Ordinanza del Presidente del Consiglio n. 3274 del 20/03/2003 (G.U. 08/05/2003, Serie Generale 105, Supplemento Ordinario 72);
- “Ulteriori modifiche ed integrazioni all’ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003” e allegati, Ordinanza del Presidente del Consiglio n. 3431 del 03/05/2005 (G.U. 10/05/2005, Serie Generale 107, Supplemento Ordinario 85).
-

10. Analisi dei carichi

a. Analisi dei carichi allo stato attuale

SOLAIO IN LATEROCEMENTO

Pignatte e travetti	180		kg/mq
Soletta	125		kg/mq
Massetto		150	kg/mq
Pavimento		40	kg/mq
Intonaco		20	kg/mq
Tramezzi		200	kg/mq
Permanenti strutturali (G1)	305		kg/mq
Permanenti portati (G2)		410	kg/mq
Accidentali (Q)		300	kg/mq

SOLAIO IN LATEROCEMENTO PIANO SECONDO

Pignatte e travetti	180		kg/mq
Soletta	125		kg/mq
Muricci		450	kg/mq
Laterizi		50	kg/mq
Massetto		100	kg/mq
Isolante		10	kg/mq
Intonaco		20	kg/mq
Coppi		80	kg/mq
Permanenti strutturali (G1)	305		kg/mq
Permanenti portati (G2)		710	kg/mq
Accidentali (Q)		180	kg/mq

CORPO SCALA PRINCIPALE

Soletta in c.a. e gradini	475		kg/mq
Intonaco		20	kg/mq
Rivestimento		60	kg/mq
Permanenti strutturali (G1)	475		kg/mq
Permanenti portati (G2)		80	kg/mq
Accidentali (Q)		400	kg/mq

VOLTA

Struttura volta	650		kg/mq
Riempimento incoerente		560	kg/mq
Massetto		150	kg/mq
Tramezzi		200	kg/mq
Pavimento		40	kg/mq
Intonaco		20	kg/mq
Permanenti strutturali (G1)	650		kg/mq
Permanenti portati (G2)		970	kg/mq
Accidentali (Q)		300	kg/mq

b. Analisi dei carichi allo stato di progetto

NUOVO SOLAIO DI COPERTURA LIGNEO

Orditura principale	40	kg/mq
Orditura secondaria	20	kg/mq
Tavolato	30	kg/mq
coibent. Imp		15 kg/mq
Coppi		80 kg/mq
Permanenti strutturali (G1)	90	kg/mq
Permanenti portati (G2)		95 kg/mq
Accidentali		180 kg/mq

NUOVO SOLAIO IN ACCIAIO LAMIERA GRECATI E SOLETTA ARMATA

Nota: solo per intervento mediante isolamento alla base

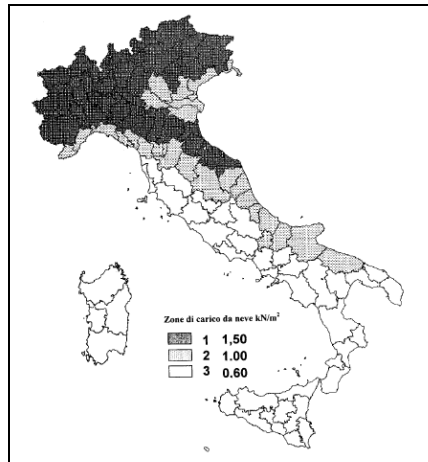
Travi HE	40	kg/mq
Lamiera grecata	15	kg/mq
Soletta	175	kg/mq
Massetto	80	kg/mq
Pavimento	40	kg/mq
Tramezzi	120	kg/mq
Permanenti strutturali (G1)	230	kg/mq
Permanenti portati (G2)	240	kg/mq
Q. Accidentali	300	kg/mq

c. Carichi dovuti alla neve

CALCOLO DEL CARICO ACCIDENTATE DOVUTO ALLA NEVE

ZONA II

Arezzo, Ascoli Piceno, Avellino, Bari, Barletta-Andria-Trani, Benevento, Campobasso, Chieti, Ferrara, Firenze, Foggia, Frosinone, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, L'Aquila, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rieti, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona.



Altitudine del sito

$a_s = 610$ m

Valore caratt. di rif. del carico neve al suolo

$q_{sk} = 222$ kg/mq

Coefficiente di esposizione

Topografia: Normale*
 $C_E = 1$

*Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.

Coefficiente termico

In assenza di studi specifici, si pone:

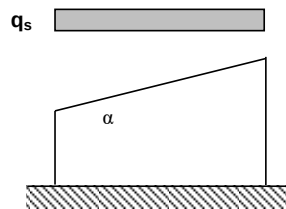
$C_t = 1$

Copertura ad una falda

$\alpha = 14^\circ$

$\mu_1 = 0.80$

$q_s = 177$ kg/mq



Copertura a due falde

$\alpha_1 = 14^\circ$

$\alpha_2 = 14^\circ$

$\mu_1 (\alpha_1) = 0.80$

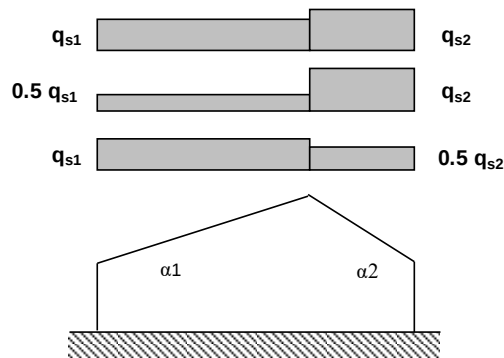
$\mu_1 (\alpha_2) = 0.80$

$q_{s1} = 177$ kg/mq

$0.5 q_{s1} = 89$ kg/mq

$q_{s2} = 177$ kg/mq

$0.5 q_{s2} = 89$ kg/mq



In favore di sicurezza si è adottato: $q_s = 180$ kg/mq

d. Carichi dovuti al vento

CALCOLO DELL'AZIONE DEL VENTO

3) Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s [1/s]
3	27	500	0.02

a_s (altitudine sul livello del mare [m])	610
---	-----

$v_b = v_{b,0}$ per $a_s \leq a_0$
$v_b = v_{b,0} + k_s (a_s - a_0)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m

v_b (velocità di riferimento [m/s])	29.2
---------------------------------------	------

p (pressione del vento [N/mq]) = $q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$
q_b (pressione cinetica di riferimento [N/mq])
c_e (coefficiente di esposizione)
c_p (coefficiente di forma)
c_d (coefficiente dinamico)



Pressione cinetica di riferimento

$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/mc})$$

q_b [N/mq]	532.90
--------------	--------

Coefficiente di forma

E' il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

Coefficiente dinamico

Esso può essere assunto autelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

Coefficiente di esposizione

Classe di rugosità del terreno

B) Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive

Categoria di esposizione

ZONE 1,2,3,4,5						
	costa	mare	500m	750m		
	2 km	10 km	30 km			
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

ZONA 6					
	costa	mare	500m		
	2 km	10 km	30 km		
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

ZONE 7,8			
	mare	costa	
	1.5 km	0.5 km	
A	--	--	IV
B	--	--	IV
C	--	--	III
D	I	II	*
* Categoria II in zona 8 Categoria III in zona 7			

ZONA 9		
	costa	
	mare	
A	--	I
B	--	I
C	--	I
D	I	I

z altezza edif. [m]	Zona	Classe di rugosità	a_s [m]
10.6	3	B	610

$c_e(z) = k_z^2 \cdot c_{e1} \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_{e1} \cdot \ln(z/z_0)]$ per $z \geq z_{min}$
$c_e(z) = c_e(z_{min})$ per $z < z_{min}$

Cat. Espoziz.	k_z	z_0 [m]	z_{min} [m]	c_e
IV	0.22	0.3	8	1

c_e	1.82
-------	------

La pressione del vento a meno del coefficiente di forma vale: 971.39 N/mq (0.9713 kN/mq)

La pressione del vento, a meno del coefficiente di forma, vale: 971.39 N/mq (0,971 KN/mq)

In favore di sicurezza si adotta una pressione del vento di 1000 N/mq (1 KN/mq)

I coefficienti di forma per l'edificio principale e per gli annessi, tenendo conto di quanto previsto dal punto C3.3.8 della Circolare 7/2019, valgono:

$C_{pe,1} = 0.74$ per le pareti sopravvento

$C_{pe,2} = -0.37$ per le pareti sottovento

In base a quanto affermato dal CNR-DT 207/2008 "Istruzioni per la valutazione delle azioni del vento per le costruzioni" al punto 4.4.4:

"Nel caso di edifici di civile abitazione, la presenza degli orizzontamenti e delle pareti divisorie partiziona il volume interno in numerosi volumi di piccole dimensioni. In tale situazione il ruolo delle pressioni interne è normalmente poco importante e può essere trascurato".

si adotta un coefficiente di pressione interna:

$$C_{pi} = 0$$

Si ottengono perciò le seguenti pressioni del vento di progetto:

$$p_1 = p C_{pe,1} = + 74 \text{ kg/mq}$$

$$p_2 = p C_{pe,2} = - 37 \text{ kg/mq}$$

11. Livello di conoscenza, fattore di confidenza e parametri meccanici dei materiali esistenti

Per la struttura si adotta un **livello di conoscenza adeguato (LC2)** e il relativo **fattore di confidenza FC pari ad 1.20**. E' stato infatti svolto un rilievo completo, indagini estese sui dettagli costruttivi e prove estese sulle caratteristiche meccaniche dei materiali.

In particolare sono stati svolti saggi estesi sia in superficie che nello spessore murario tramite prove videoendoscopiche insieme a tecniche moderatamente distruttive (prove penetrometriche) e moderatamente distruttive (martinetti piatti in configurazione doppia). Tali indagini sono state redatte dalla UNILAB Sperimentazione S.r.l. con rapporto di prova n°46/20 allegato alla presente relazione.

In seguito alle indagini condotte sono state identificate due tipologie murarie che caratterizzano la quasi totalità delle murature. Per le murature costituenti lo sviluppo perimetrale del fabbricato sono stati scelti i parametri meccanici relativi alla tipologia "Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)", che per un livello di conoscenza LC2 sono pari a:

$$f_m = 15 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_0 = 0.25 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 8700 \text{ kg/cm}^2$$

$$G = 2900 \text{ kg/cm}^2$$

$$w = 1900 \text{ kg/cm}^2$$

Per le murature che delimitano i vani interni del piano terra e del piano primo sono stati scelti i parametri relativi alla tipologia "Muratura in mattoni pieni e malta di calce", che per un livello di conoscenza LC2 sono pari a:

$$f_m = 34.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_0 = 0.9 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 15000 \text{ kg/cm}^2$$

$$G = 5000 \text{ kg/cm}^2$$

$$w = 1800 \text{ kg/cm}^2$$

I parametri relativi allo stato di progetto con la metodologia dell'intervento convenzionale sono stati ottenuti applicando i coefficienti migliorativi della resistenza e della deformabilità degli elementi, a seguito degli interventi previsti.

Ai valori precedenti è stato applicato un fattore amplificativo sia ai moduli elastici che alle resistenze, come previsto dalla tabella C8.5.I, per tenere in conto il rinforzo di intonaco armato mediante rete in fibra di vetro e iniezioni di miscele leganti e, laddove previsto, anche diatoni.

I parametri di progetto laddove è previsto l'intervento combinato di iniezioni ed intonaco armato per la "Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)" sono:

$$f_m = 15 \times 3.5 = 52.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_0 = 0.25 \times 3.5 = 0.87 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 8700 \times 3.5 = 30450 \text{ kg/cm}^2$$

$$G = 2900 \times 3.5 = 10150 \text{ kg/cm}^2$$

$$w = 1900 \text{ kg/cm}^2$$

I parametri di progetto laddove è previsto l'intervento combinato di iniezioni ed intonaco armato per la "Muratura in mattoni pieni e malta di calce" sono:

$$f_m = 34.5 \times 1.8 = 62.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_0 = 0.9 \times 1.8 = 1.62 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 15000 \times 1.8 = 27000 \text{ kg/cm}^2$$

$$G = 5000 \times 1.8 = 9000 \text{ kg/cm}^2$$

$$w = 1800 \text{ kg/cm}^2$$

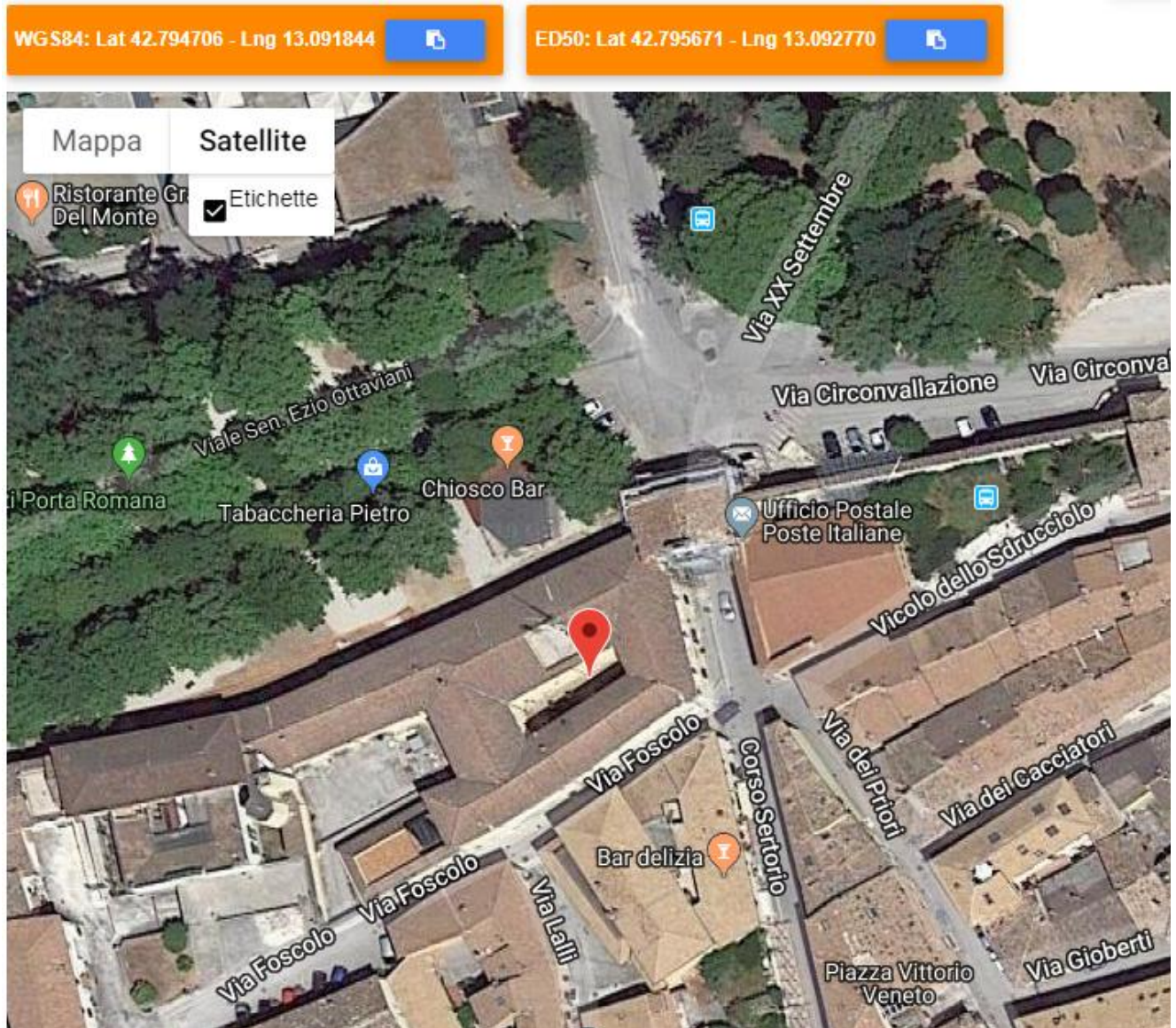
12. Azione sismica di progetto

Sito di riferimento

Città di Norcia – Corso Sertorio/Via Foscolo

Latitudine: 42.79567° N

Longitudine: 13.09277° E



Vita nominale, classi d'uso e periodi di riferimento relativi all'azione sismica

Vita nominale (V_N): **50 anni**; (opere ordinarie)

Classe d'uso (classe): **IV**; (**costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti**)

Coeff. D'uso (C_u): **2.0**;

Periodo di riferimento per l'azione sismica ($V_R = V_N \times C_u$): **100 anni**.

Parametri caratteristici dell'azione sismica

S.L.	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T_c^*
SLO	60	0.112	2.309	0.283
SLD	101	0.141	2.282	0.292
SLV	949	0.324	2.407	0.352
SLC	1950	0.412	2.445	0.368

Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

La categoria di sottosuolo determinata a partire dalla velocità delle onde di taglio V_s conduce ad una categoria B; in accordo con l'ordinanza commissariale n.55 del 2018 è stata inoltre eseguita una specifica analisi di Risposta Sismica Locale i cui risultati salienti vengono più avanti riportati. Per una descrizione dettagliata si rimanda alla Relazione Sismica Allegata.

Categoria di sottosuolo (approccio semplificato): **B**

Categoria topografica: **T1** $S_T=1.00$ (rilievo con inclinazione inferiore al 15%)

Parametri degli spettri normalizzati derivati da analisi di Risposta Sismica totale:

SLO

Punto di controllo	A_g [g]	F_0	S	A_{max} [g]	T_b [sec]	T_c [sec]	T_d [sec]
P (1)	0.112	3.227	1.466	0.164	0.086	0.259	2.048

SLD

Punto di controllo	A_g [g]	F_0	S	A_{max} [g]	T_b [sec]	T_c [sec]	T_d [sec]
P (1)	0.142	2.787	1.615	0.229	0.092	0.275	2.168

SLV

Punto di controllo	A_g [g]	F_0	S	A_{max} [g]	T_b [sec]	T_c [sec]	T_d [sec]
P (1)	0.325	2.808	2.047	0.570	0.153	0.302	2.900

SLC

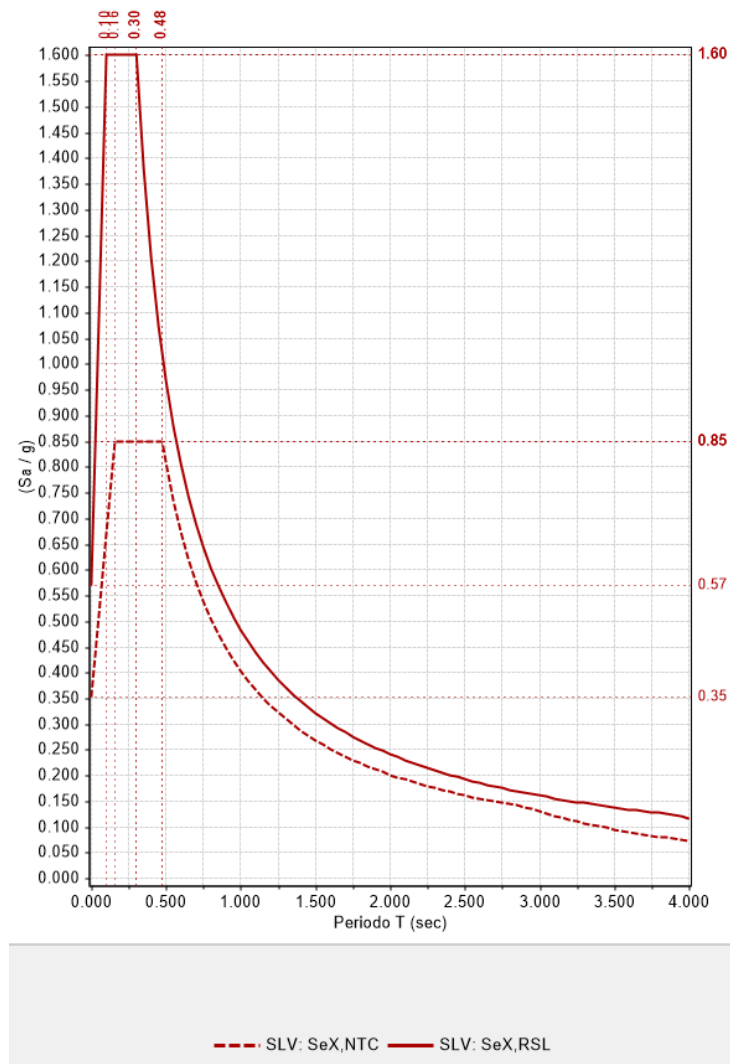
Punto di controllo	A_g [g]	F_0	S	A_{max} [g]	T_b [sec]	T_c [sec]	T_d [sec]
P (1)	0.413	3.056	1.519	0.627	0.108	0.323	3.252

Dove:

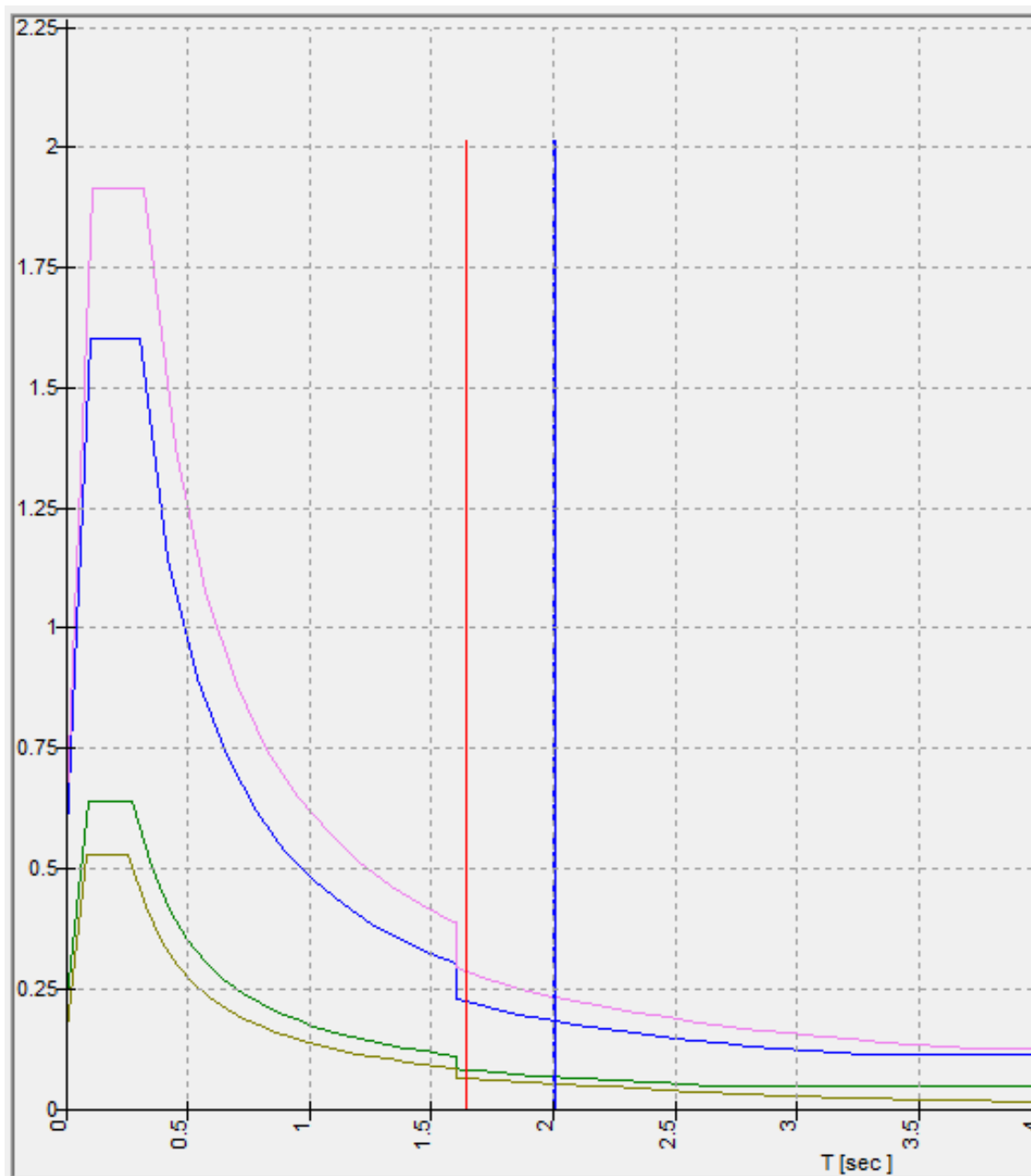
- A_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 : valore massimo dello spettro in accelerazione orizzontale;
- S : coefficiente che tiene conto degli effetti di amplificazione (stratigrafici e/o topografici);
- A_{max} : punto di ancoraggio a $T=0$ dello spettro di output;
- T_b : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;
- T_c : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante;
- T_d : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante.

Criticità del sito

Come si evince dal confronto tra gli spettri riportati in figura, passando da una categoria di terreno "B" (prevista dall'approccio semplificato delle NTC 2018) ad uno spettro dedotto da uno studio sulla Risposta Simica Locale, le azioni sismiche orizzontali per alcuni periodi di oscillazione, risultano raddoppiate. I periodi per cui si verifica questo elevato innalzamento delle azioni di progetto sono quelli compresi nell'intervallo $0.16 \div 0.3$ secondi che sono proprio i periodi di oscillazione della struttura oggetto di studio e tipici per edifici in muratura di caratteristiche costruttive analoghe.



Spettri elastici adottati per l'intervento di isolamento sismico – SLC



Risposta alle diverse componenti dell'azione sismica

La combinazione della risposta per le diverse componenti dell'azione sismica, è stata effettuata nel rispetto della relazione:

$$1,00 E_x + 0,30 E_y + 0,30 E_z$$

Il §7.3.5. prevede l'applicazione di detta espressione, per tener conto della simultaneità dell'evento sismico nelle direzioni di riferimento, assumendo come effetti massimi i valori più sfavorevoli ottenuti dalla analisi.

Si precisa che **la componente verticale del sisma non è stata considerata**, poiché non sussistono i requisiti di cui al 7.2.2 e al 7.10.5.3.2, in quanto:

- non sussistono elementi orizzontali di luce superiore ai 20 metri;
- non sussistono elementi a mensola di luce superiore ai 4 metri;

- tutte le spinte orizzontali della sovrastruttura risultano equilibrate
- il rapporto tra la rigidezza verticale ed orizzontale equivalente del sistema di isolamento risulta superiore a 800, come requisito di progetto.

Combinazione delle azioni sismiche con le altre azioni

Le verifiche allo stato limite ultimo e di esercizio verranno effettuate per la seguente combinazione dell'azione sismica con le altre azioni:

$$G_1 + G_2 + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

Gli effetti dell'azione sismica (E) verranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

Il set di combinazioni dinamiche impiegato per la verifica degli edifici nello stato di fatto, vista la forma approssimativamente rettangolare dei singoli fabbricati, ha individuato le azioni più gravose utilizzando una combinazione delle due componenti di spinta orizzontale che risultano concordi secondo il verso dei momenti torcenti di eccentricità (per 4 direzioni di ingresso del sisma si hanno 16 combinazioni).

Effetti della variabilità spaziale del moto sismico

Non si è tenuta in conto esplicitamente la variabilità spaziale del moto sismico, come ammesso al punto 3.2.4.1, in quanto il sistema fondazione-terreno risulta sufficientemente rigido, grazie alla presenza di una platea in calcestruzzo al di sotto del fabbricato, tale da rendere di fatto minimi gli spostamenti relativi.

Combinazioni statiche

Relativamente alle condizioni statiche si sono utilizzate le seguenti combinazioni:

$$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \sum_{j=2\dots n}(\gamma_{Qj}\psi_{0j}Q_{kj})$$

con i seguenti coefficienti parziali sulle azioni:

$$\gamma_{G1} = 1.3$$

$$\gamma_{G2} = 1.5$$

$$\gamma_Q = 1.5$$

e i seguenti coefficienti di combinazione:

Sovraccarico	$\psi_{0,i}$	$\psi_{1,i}$	$\psi_{2,i}$
Solai di piano	0.7	0.7	0.6
Scale	0.7	0.7	0.6
Neve (<1000 m)	0.5	0.2	0

13. Modellazione della struttura

Lo studio del fabbricato oggetto della presente relazione viene condotto attraverso la risoluzione di un modello agli elementi finiti composto da aste rettilinee comunque vincolate, inclinate e caricate nello spazio (modello 3D). Il modello di riferimento è quello a “telai equivalenti” in cui le pareti sono interconnesse da diaframmi orizzontali di piano (solai). Nello specifico degli edifici in muratura la parete viene schematizzata come telaio in cui vengono assemblati gli elementi resistenti (maschi e fasce) ed i nodi rigidi; considerando nel modello gli elementi di accoppiamento in muratura (fasce). Tale tipologia di modellazione è realizzata in accordo con la Normativa Sismica vigente (D.M.17.1.2018).

Le rigidezze degli elementi murari sono state calcolate considerando sia il contributo flessionale sia quello tagliante; nel calcolo sono state assunte rigidezze fessurate con valore pari alla metà di quelle non fessurate. In particolare nel caso di simulazione pushover, l'analisi si avvia con la rigidezza iniziale elastica per gli elementi murari; appena si manifesta la parzializzazione, viene applicata la rigidezza fessurata (pari al 50%). Quindi successivamente alla prima fessurazione ovvero la parzializzazione di una sezione del pannello, si ha un secondo tratto elastico con rigidezza pari a quella fessurata. Dopo la successiva plasticizzazione per superamento della resistenza a taglio o a pressoflessione, l'introduzione delle carriere plastiche annulla la rigidezza tangente del pannello e segue un tratto plastico fino al raggiungimento dello spostamento ultimo.

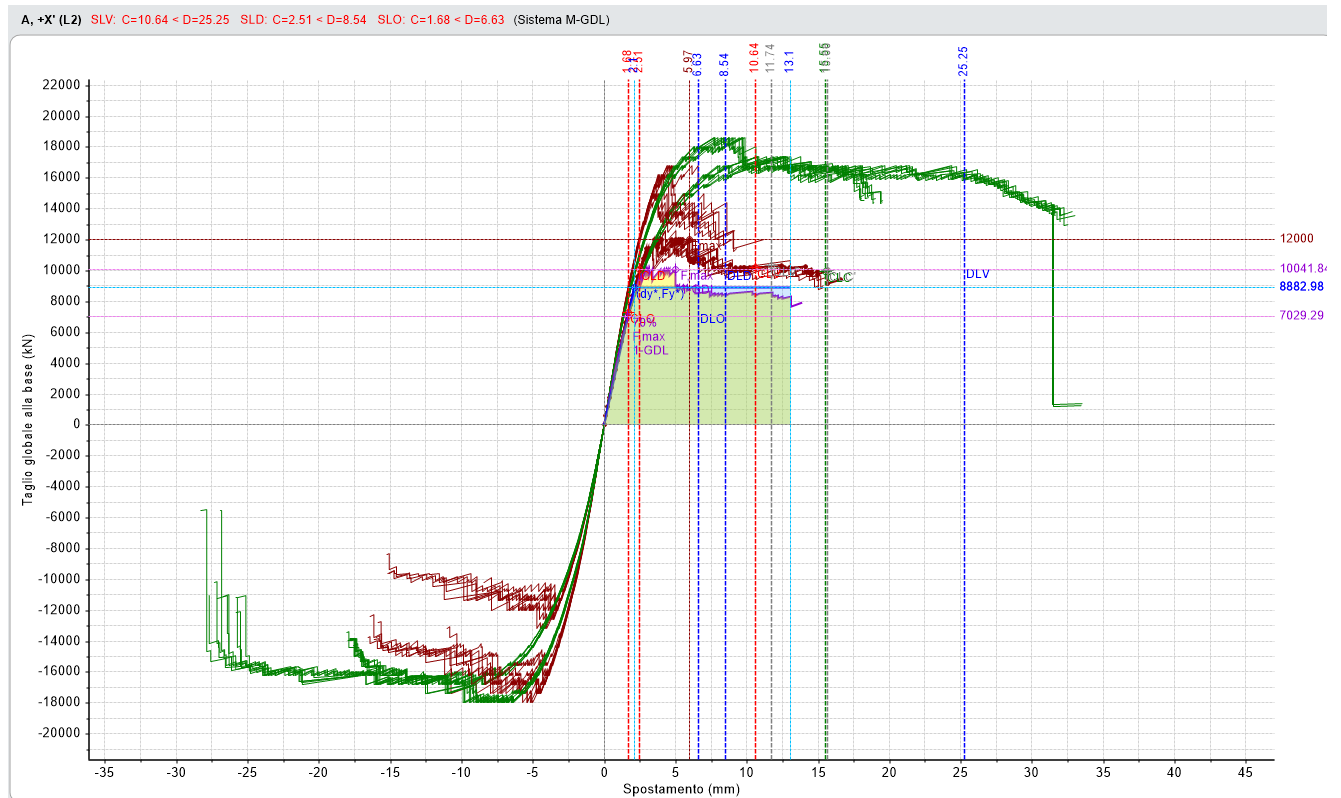
Per analisi sismiche di tipo lineare, dove non è possibile descrivere la fessurazione progressiva, vengono adottate direttamente le rigidezze fessurate specificate in input.

14. Analisi dello stato di fatto(ANTE OPERAM)

Si sintetizzano i risultati relativi a tutte le curve di spinta calcolate nell'analisi statica non lineare relativamente allo stato attuale.

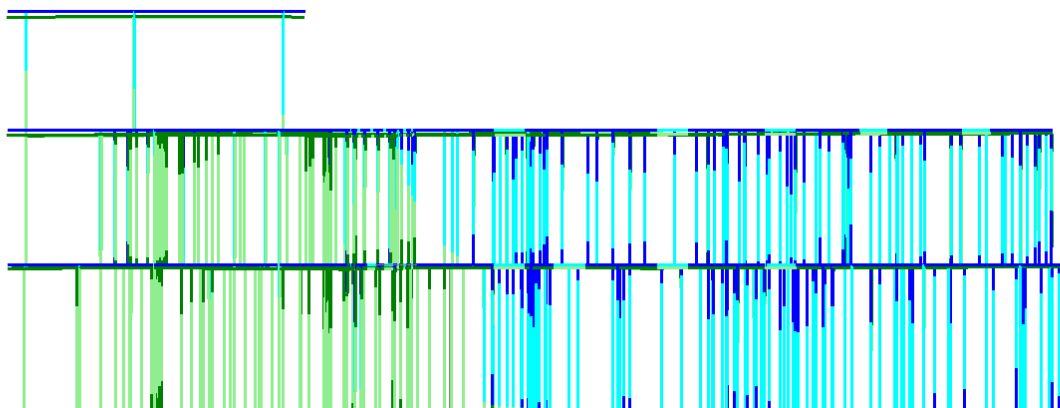
N°curva	Corrente	Vista	Distr.	Direz.	Direz. 2	Mt	Ez	Control	ζ PGA(SLV)	ζ TRI(SLV)	VN.CLV	ζ PGA(SLD)	ζ TRI(SLD)	ζ PGA(SLO)	ζ TRI(SLO)
1	●	☑	A	+X'				L2	0.456	0.146	7	0.314	0.119	0.293	0.083
2	●	☑	A	+X'		+		L2	0.440	0.133	7	0.301	0.109	0.280	0.083
3	●	☑	A	+X'		-		L2	0.261	0.053	3	0.345	0.139	0.317	0.100
4	●	☑	A	+X'	+0.3Y'			L2	0.460	0.148	7	0.314	0.119	0.293	0.083
5	●	☑	A	+X'	+0.3Y'	+		L2	0.449	0.139	7	0.310	0.109	0.287	0.083
6	●	☑	A	+X'	+0.3Y'	-		L2	0.270	0.056	3	0.341	0.139	0.317	0.100
7	●	☑	A	+X'	-0.3Y'			L2	0.244	0.045	2	0.345	0.139	0.317	0.100
8	●	☑	A	+X'	-0.3Y'	+		L2	0.451	0.140	7	0.310	0.109	0.293	0.083
9	●	☑	A	+X'	-0.3Y'	-		L2	0.463	0.151	8	0.323	0.119	0.299	0.083
10	●	☑	A	+Y'				L2	0.656	0.354	18	0.454	0.238	0.421	0.183
11	●	☑	A	+Y'		+		L2	0.658	0.356	18	0.459	0.248	0.427	0.183
12	●	☑	A	+Y'		-		L2	0.658	0.358	18	0.459	0.248	0.427	0.183
13	●	☑	A	+Y'	+0.3X'			L2	0.642	0.338	17	0.445	0.228	0.415	0.167
14	●	☑	A	+Y'	+0.3X'	+		L2	0.646	0.340	17	0.450	0.238	0.415	0.183
15	●	☑	A	+Y'	+0.3X'	-		L2	0.646	0.340	17	0.450	0.238	0.415	0.183
16	●	☑	A	+Y'	-0.3X'			L2	0.658	0.358	18	0.459	0.248	0.427	0.183
17	●	☑	A	+Y'	-0.3X'	+		L2	0.658	0.356	18	0.454	0.238	0.421	0.183
18	●	☑	A	+Y'	-0.3X'	-		L2	0.663	0.364	18	0.459	0.248	0.427	0.183
19	●	☑	A	-X'				L2	0.293	0.064	3	0.341	0.139	0.317	0.100
20	●	☑	A	-X'		+		L2	0.382	0.099	5	0.345	0.139	0.317	0.100
21	●	☑	A	-X'		-		L2	0.463	0.151	8	0.319	0.119	0.299	0.083
22	●	☑	A	-X'	+0.3Y'			L2	0.386	0.100	5	0.332	0.129	0.311	0.100
23	●	☑	A	-X'	+0.3Y'	+		L2	0.242	0.045	2	0.354	0.149	0.329	0.117
24	●	☑	A	-X'	+0.3Y'	-		L2	0.456	0.146	7	0.314	0.119	0.293	0.083
25	●	☑	A	-X'	-0.3Y'			L2	0.321	0.075	4	0.336	0.129	0.311	0.100
26	●	☑	A	-X'	-0.3Y'	+		L2	0.256	0.050	3	0.362	0.158	0.335	0.117
27	●	☑	A	-X'	-0.3Y'	-		L2	0.442	0.135	7	0.306	0.109	0.287	0.083
28	●	☑	A	-Y'				L2	0.660	0.361	18	0.459	0.248	0.427	0.183
29	●	☑	A	-Y'		+		L2	0.660	0.361	18	0.459	0.248	0.427	0.183
30	●	☑	A	-Y'		-		L2	0.656	0.354	18	0.454	0.238	0.421	0.183
31	●	☑	A	-Y'	+0.3X'			L2	0.656	0.354	18	0.454	0.238	0.421	0.183
32	●	☑	A	-Y'	+0.3X'	+		L2	0.658	0.356	18	0.454	0.238	0.421	0.183
33	●	☑	A	-Y'	+0.3X'	-		L2	0.653	0.350	18	0.450	0.238	0.421	0.183
34	●	☑	A	-Y'	-0.3X'			L2	0.660	0.361	18	0.459	0.248	0.427	0.183
35	●	☑	A	-Y'	-0.3X'	+		L2	0.656	0.354	18	0.454	0.238	0.421	0.183
36	●	☑	A	-Y'	-0.3X'	-		L2	0.660	0.361	18	0.459	0.248	0.427	0.183
37	●	☑	E	+X'				L2	0.316	0.074	4	0.424	0.208	0.390	0.150
38	●	☑	E	+X'		+		L2	0.363	0.092	5	0.397	0.188	0.372	0.133
39	●	☑	E	+X'		-		L2	0.261	0.053	3	0.454	0.238	0.421	0.183
40	●	☑	E	+X'	+0.3Y'			L2	0.293	0.064	3	0.419	0.208	0.390	0.150
41	●	☑	E	+X'	+0.3Y'	+		L2	0.323	0.076	4	0.389	0.178	0.360	0.133
42	●	☑	E	+X'	+0.3Y'	-		L2	0.270	0.055	3	0.450	0.238	0.421	0.183
43	●	☑	E	+X'	-0.3Y'			L2	0.261	0.052	3	0.441	0.228	0.415	0.167
44	●	☑	E	+X'	-0.3Y'	+		L2	0.368	0.094	5	0.397	0.188	0.366	0.133
45	●	☑	E	+X'	-0.3Y'	-		L2	0.358	0.090	5	0.463	0.248	0.427	0.183
46	●	☑	E	+Y'				L2	0.593	0.276	14	0.485	0.277	0.451	0.200
47	●	☑	E	+Y'		+		L2	0.588	0.270	14	0.489	0.277	0.451	0.200
48	●	☑	E	+Y'		-		L2	0.604	0.289	14	0.485	0.277	0.451	0.200
49	●	☑	E	+Y'	+0.3X'			L2	0.609	0.294	15	0.480	0.267	0.445	0.200
50	●	☑	E	+Y'	+0.3X'	+		L2	0.593	0.276	14	0.480	0.267	0.445	0.200
51	●	☑	E	+Y'	+0.3X'	-		L2	0.611	0.296	15	0.476	0.267	0.445	0.200
52	●	☑	E	+Y'	-0.3X'			L2	0.582	0.266	13	0.485	0.277	0.451	0.200
53	●	☑	E	+Y'	-0.3X'	+		L2	0.581	0.264	13	0.485	0.277	0.451	0.200
54	●	☑	E	+Y'	-0.3X'	-		L2	0.584	0.268	13	0.489	0.277	0.457	0.217
55	●	☑	E	-X'				L2	0.600	0.285	14	0.463	0.248	0.433	0.183
56	●	☑	E	-X'		+		L2	0.421	0.120	6	0.489	0.277	0.457	0.217
57	●	☑	E	-X'		-		L2	0.596	0.282	14	0.450	0.238	0.415	0.183
58	●	☑	E	-X'	+0.3Y'			L2	0.581	0.264	13	0.463	0.248	0.427	0.183
59	●	☑	E	-X'	+0.3Y'	+		L2	0.567	0.247	12	0.467	0.257	0.433	0.200
60	●	☑	E	-X'	+0.3Y'	-		L2	0.440	0.133	7	0.476	0.267	0.445	0.200
61	●	☑	E	-X'	-0.3Y'			L2	0.579	0.262	13	0.476	0.267	0.439	0.200
62	●	☑	E	-X'	-0.3Y'	+		L2	0.484	0.168	8	0.480	0.267	0.451	0.200
63	●	☑	E	-X'	-0.3Y'	-		L2	0.575	0.258	13	0.459	0.248	0.427	0.183
64	●	☑	E	-Y'				L2	0.567	0.249	12	0.472	0.257	0.439	0.200
65	●	☑	E	-Y'		+		L2	0.570	0.251	13	0.476	0.267	0.445	0.200
66	●	☑	E	-Y'		-		L2	0.570	0.253	13	0.472	0.257	0.439	0.200
67	●	☑	E	-Y'	+0.3X'			L2	0.575	0.258	13	0.472	0.257	0.439	0.200
68	●	☑	E	-Y'	+0.3X'	+		L2	0.575	0.256	13	0.476	0.267	0.445	0.200
69	●	☑	E	-Y'	+0.3X'	-		L2	0.570	0.251	13	0.472	0.257	0.439	0.200
70	●	☑	E	-Y'	-0.3X'			L2	0.563	0.244	12	0.472	0.257	0.439	0.200
71	●	☑	E	-Y'	-0.3X'	+		L2	0.577	0.260	13	0.472	0.257	0.439	0.200
72	●	☑	E	-Y'	-0.3X'	-		L2	0.567	0.247	12	0.472	0.257	0.439	0.200

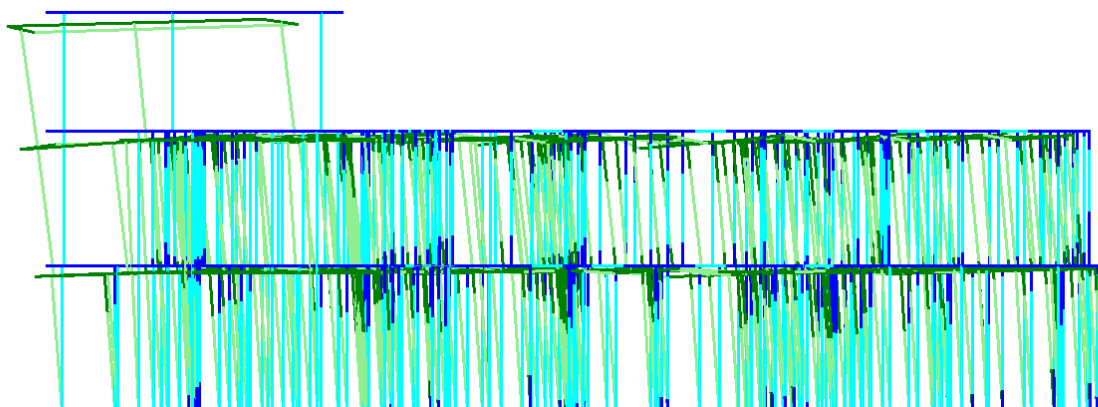
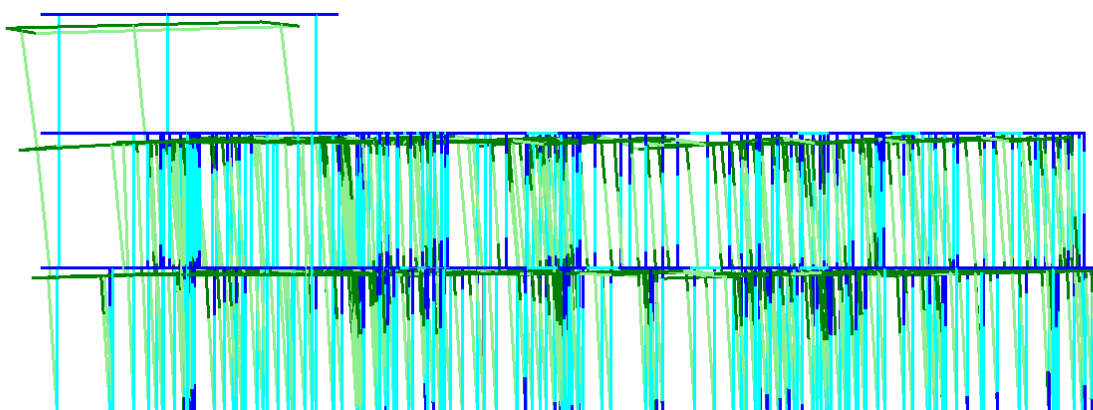
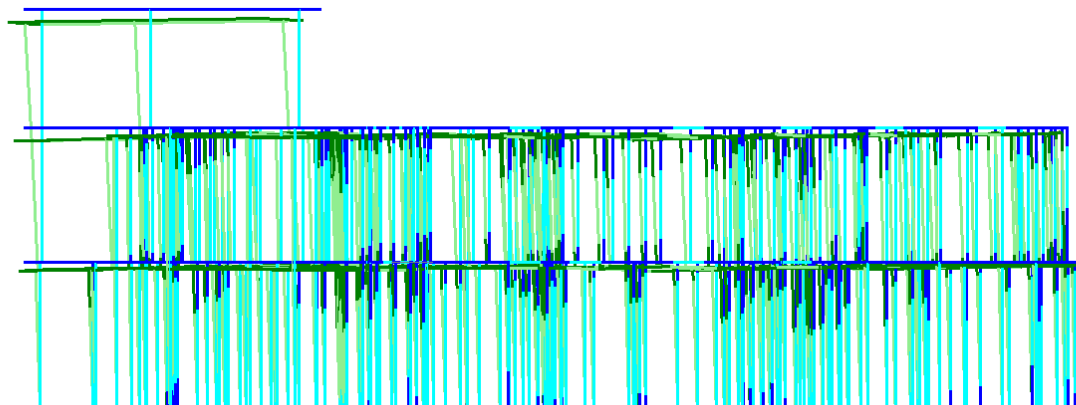
Si riportano quindi le curve di spinta relative alla struttura allo stato attuale:

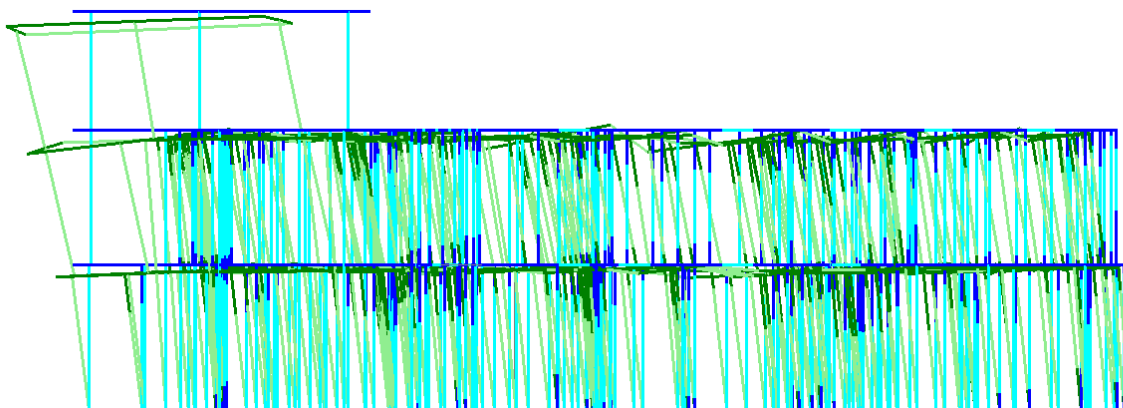


a. Validazione ed interpretazione dei risultati delle analisi globali allo stato di fatto

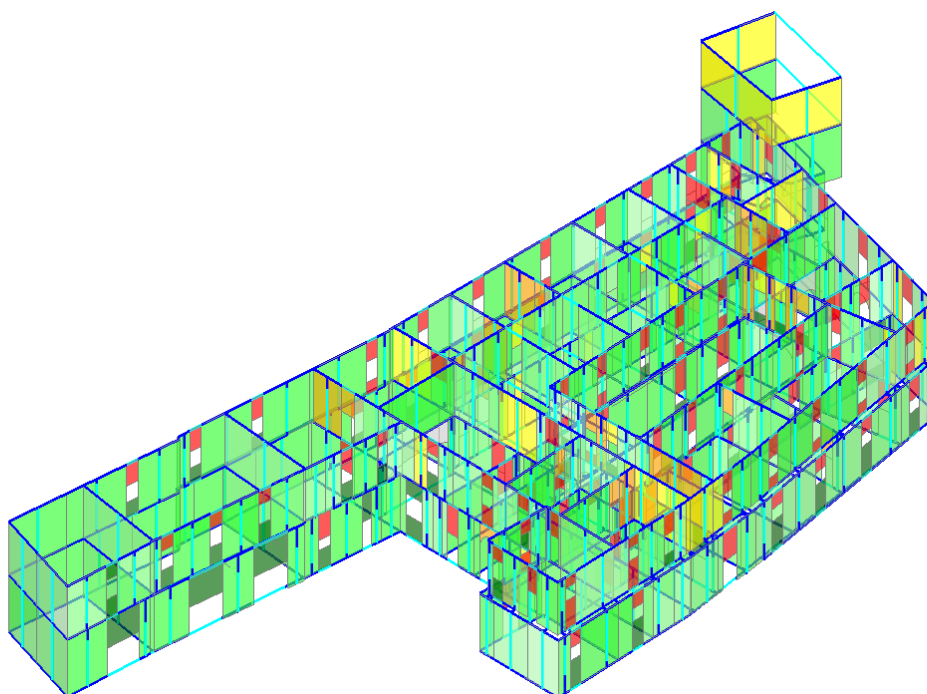
Dall'analisi dello stato attuale si è in primo luogo osservata una capacità disponibile dell'edificio limitata, caratterizzata da un indice di rischio sismico pari a 0.242, determinata dalla curva 23 (distribuzione A; direzione X-; direzione 0.3Y+; +Mt). Le curve di spinta ottenute dall'analisi pushover dimostrano una capacità limitata dell'edificio allo stato attuale, a causa di collassi e plasticizzazioni premature di maschi che rendono la struttura labile. L'elevata vulnerabilità dell'edificio è quindi dovuta ad una scarsa resistenza dei maschi murari. Si riporta di seguito la curve di spinta più gravosa ottenuta dall'analisi, evidenziando il meccanismo con cui procede il collasso dell'edificio relativamente allo stato limite di salvaguardia della vita.

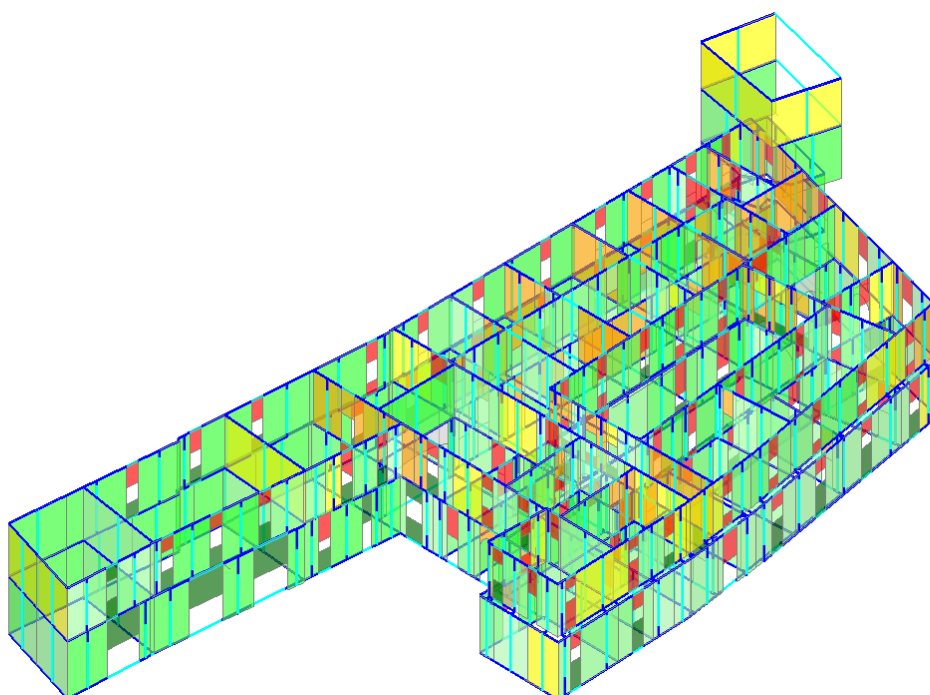
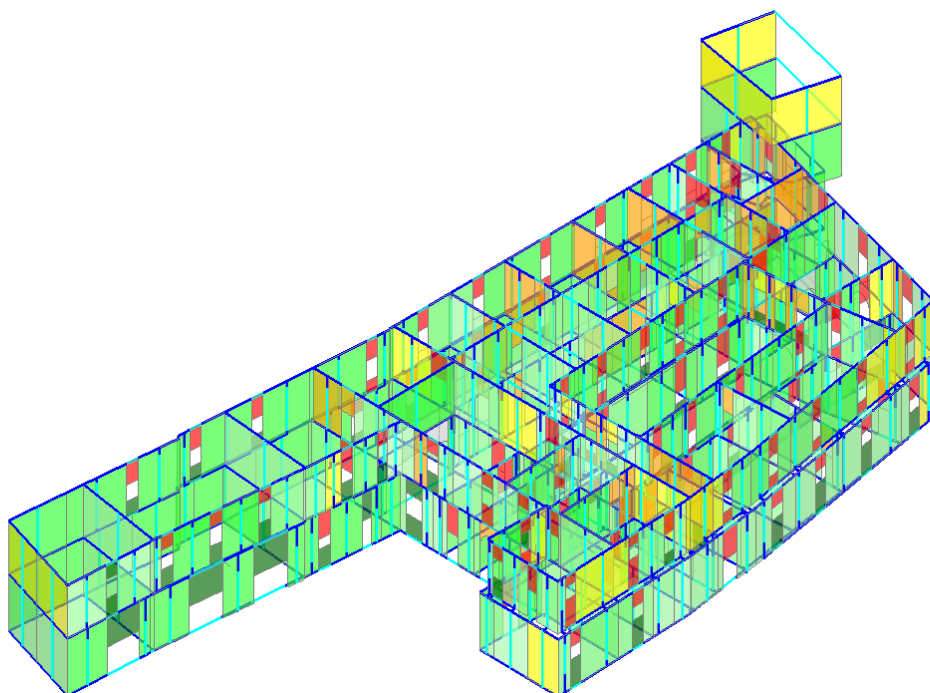


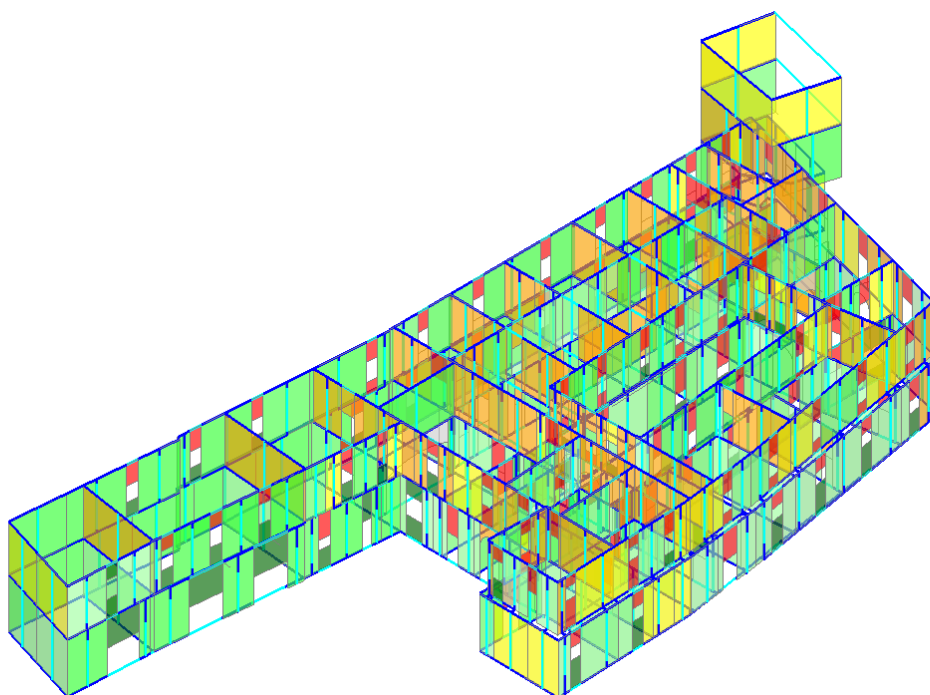
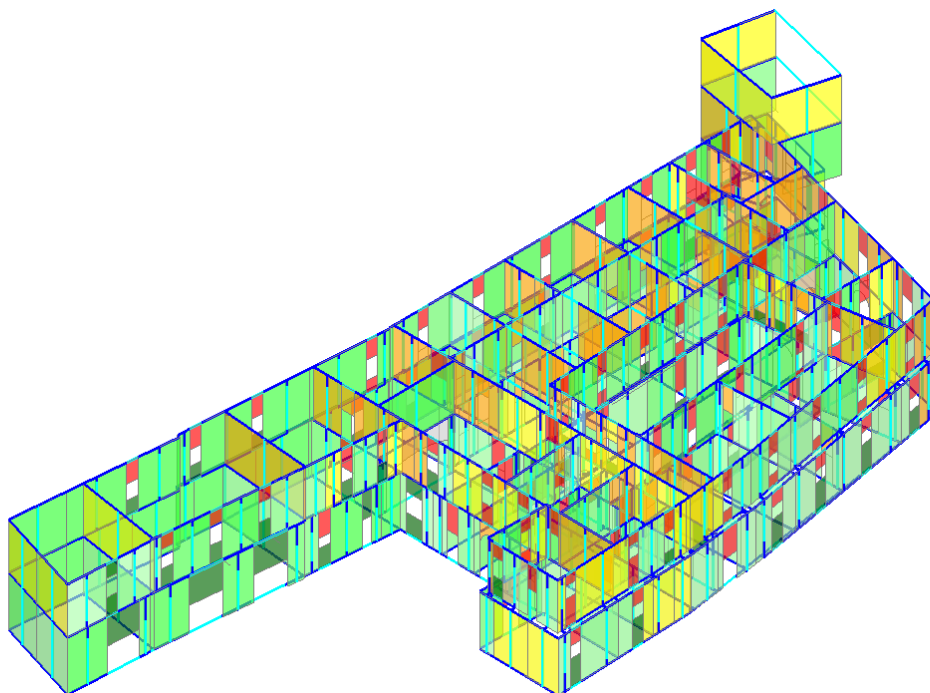


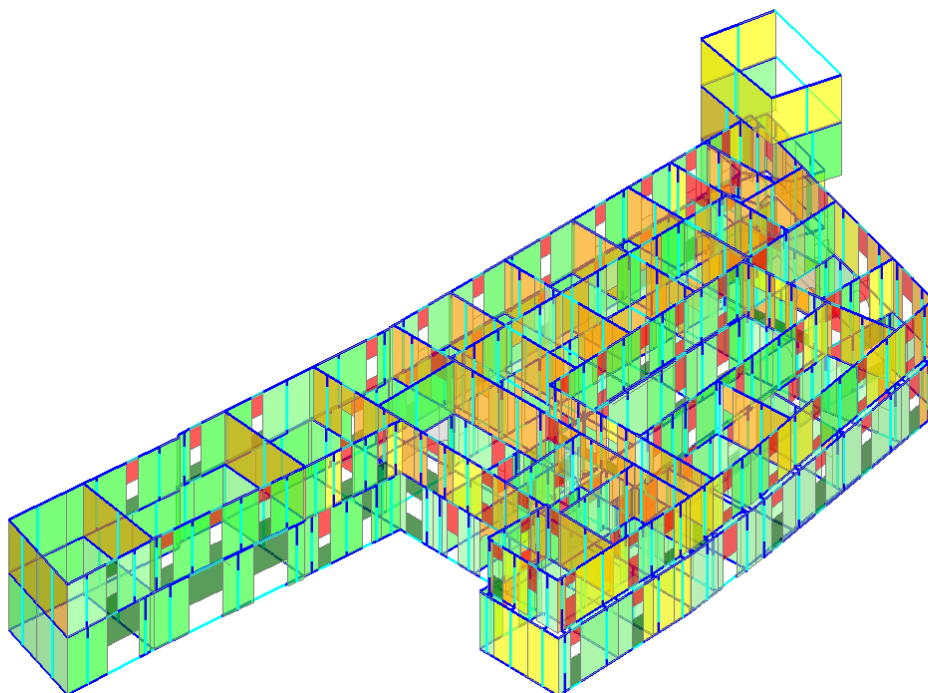


Graficazione del procedere del meccanismo di collasso dell'edificio allo stato attuale all'aumentare delle forze sismiche agenti, relativamente allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV - curva 23)





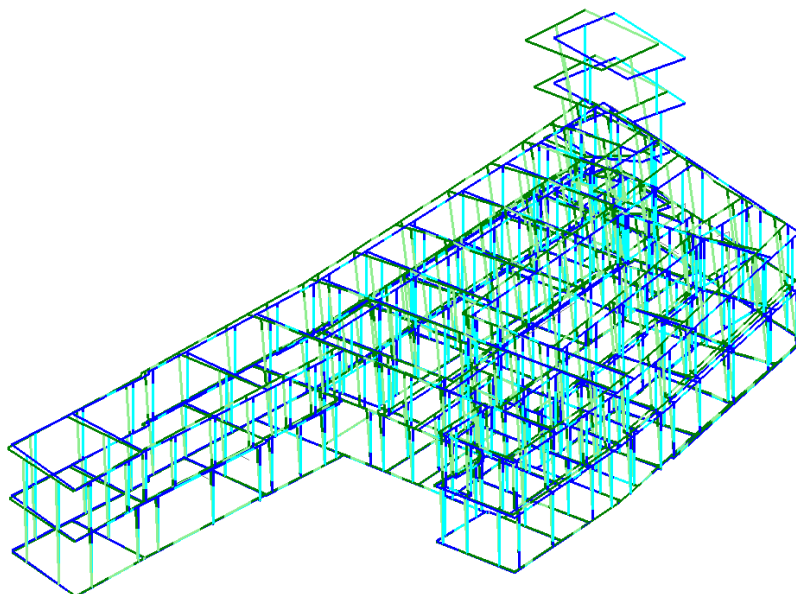
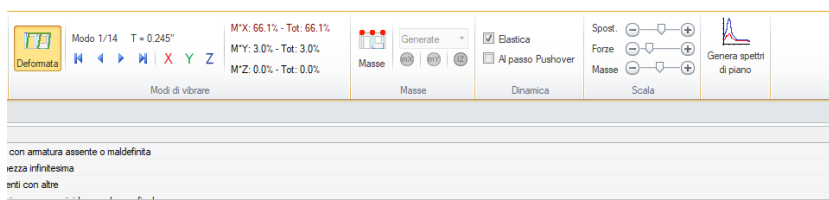




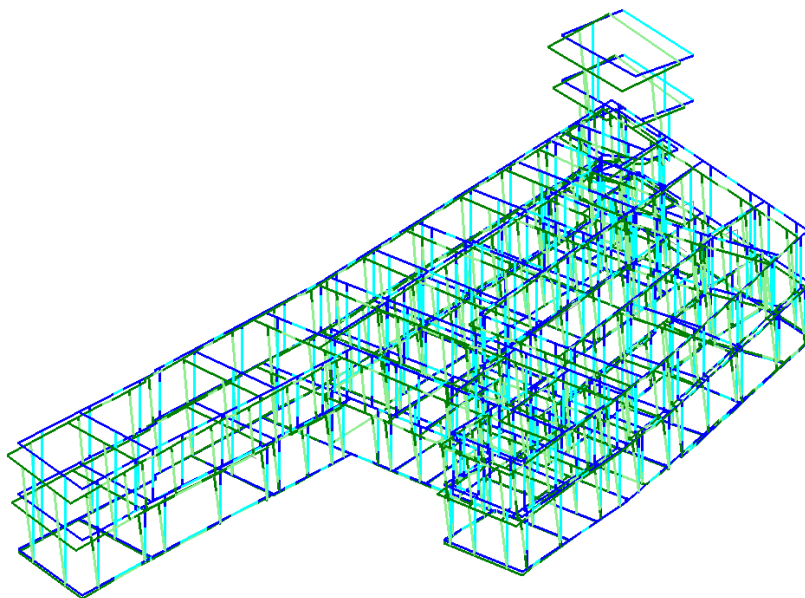
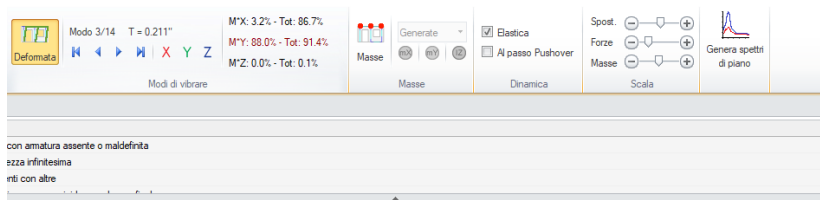
*Graficazione del procedere del meccanismo di collasso dell'edificio allo stato attuale all'aumentare delle forze sismiche agenti, relativamente allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV - curva 23)
(in arancio sono evidenziati gli elementi in cui è avvenuta la formazione di cerniere plastiche ai due estremi, in giallo quelle con cerniere ad un solo estremo, in rosso quelle collassate)*

Deformate modali:

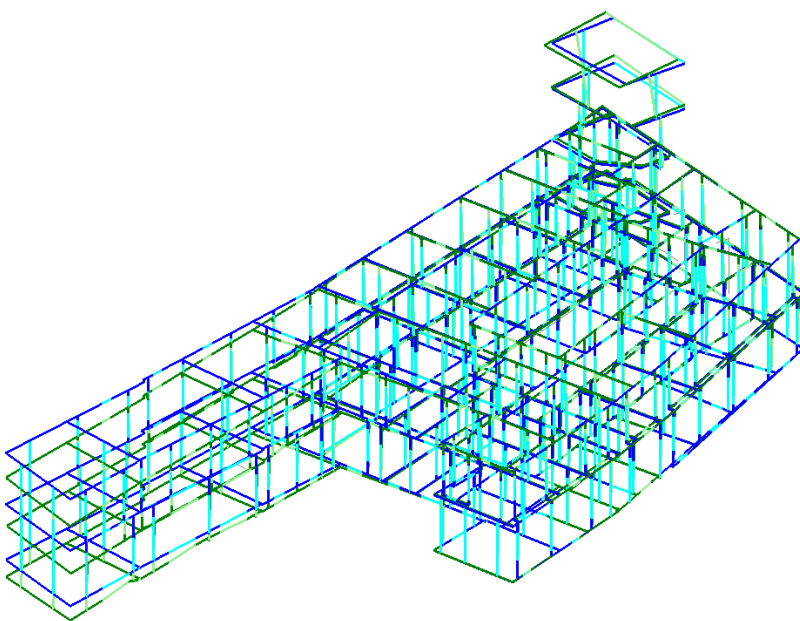
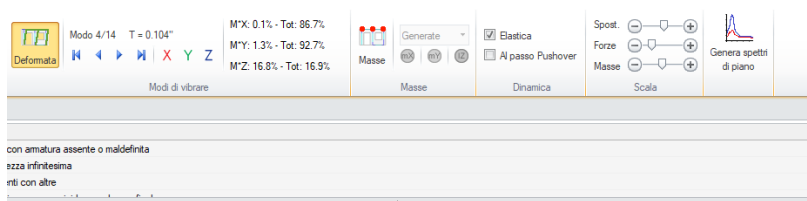
Primo modo di vibrare allo stato attuale



Secondo modo di vibrare allo stato attuale



Terzo modo di vibrare allo stato attuale



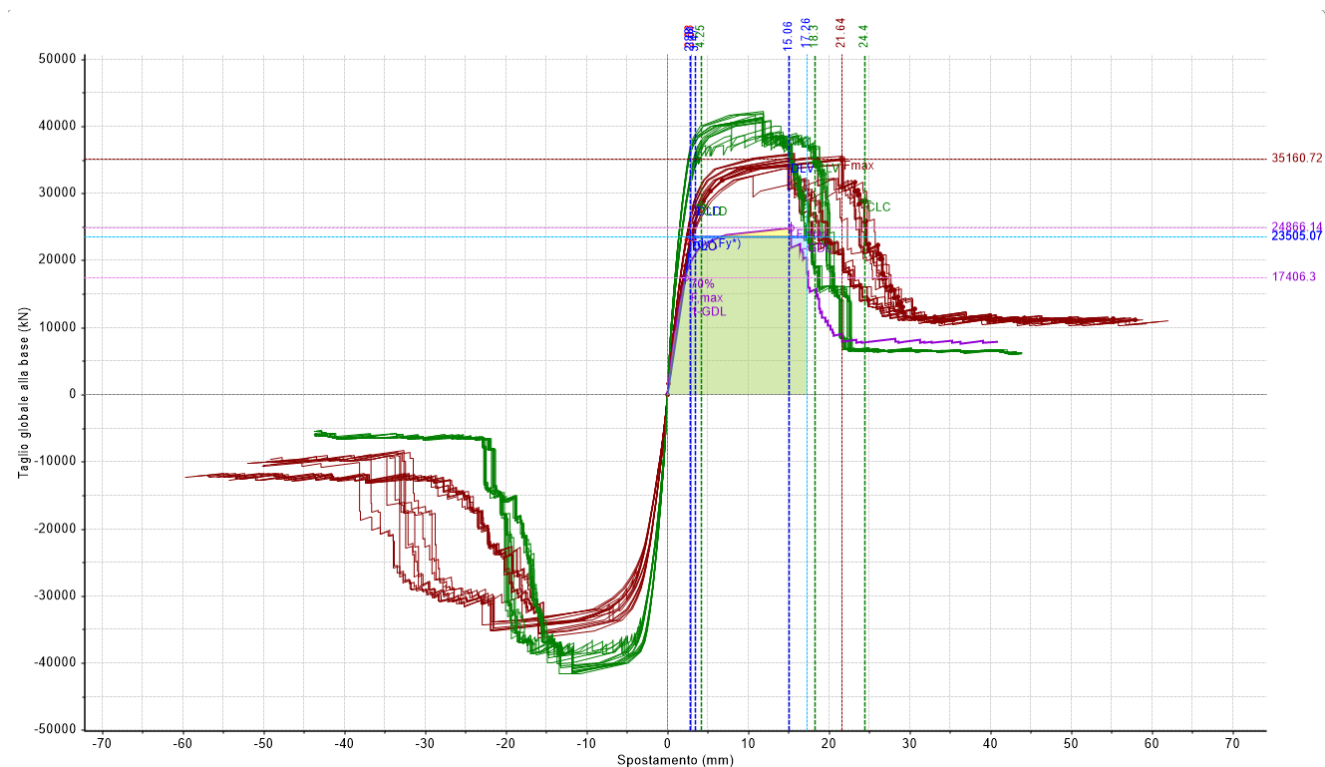
15. Metodologie di verifica della struttura POST OPERAM

a. Convenzionale

Si sintetizzano i risultati relativi a tutte le curve di spinta calcolate nell'analisi statica non lineare relativamente allo stato attuale.

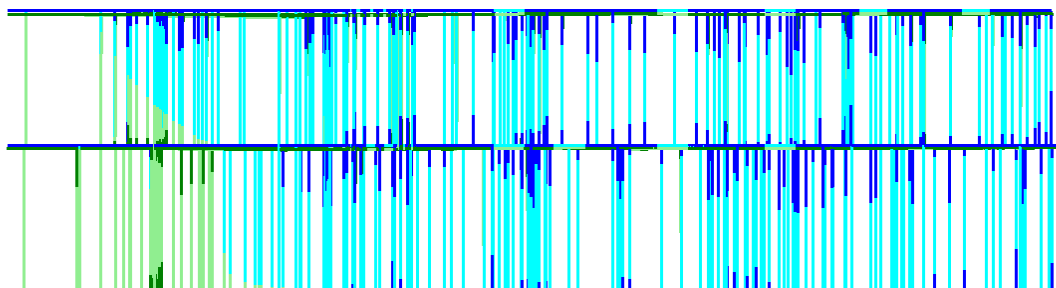
N°curva	Corrente	Vista	Distr.	Direz.	Direz.2	Mt	Ez	Control	ζ.PGA(SLV)	ζ.TR(SLV)	VN.CLV	ζ.PGA(SLD)	ζ.TR(SLD)	ζ.PGA(SLO)	ζ.TR(SLO)
1		☒	A	+X'				L2	1.065	1.599	80	1.223	1.634	0.994	0.967
2		☐	A	+X'		+		L2	1.040	1.340	67	1.197	1.545	0.957	0.917
3		☐	A	+X'		-		L2	1.061	1.564	78	1.223	1.634	0.994	0.967
4		☐	A	+X'	+0.3Y'			L2	1.046	1.397	70	1.183	1.505	0.945	0.883
5		☐	A	+X'	+0.3Y'	+		L2	1.019	1.163	58	1.118	1.317	0.890	0.783
6		☐	A	+X'	+0.3Y'	-		L2	1.054	1.483	74	1.223	1.634	0.976	0.950
7		☐	A	+X'	-0.3Y'			L2	1.063	1.597	80	1.218	1.614	0.976	0.950
8		☐	A	+X'	-0.3Y'	+		L2	1.040	1.357	68	1.197	1.564	0.957	0.917
9		☐	A	+X'	-0.3Y'	-		L2	1.074	1.704	85	1.236	1.693	1.000	0.983
10		☐	A	+Y'				L2	1.093	1.957	98	1.314	1.960	1.110	1.183
11		☐	A	+Y'		+		L2	1.081	1.787	89	1.314	1.960	1.110	1.183
12		☐	A	+Y'		-		L2	1.072	1.701	85	1.328	2.010	1.134	1.217
13		☐	A	+Y'	+0.3X'			L2	1.081	1.788	89	1.284	1.842	1.061	1.100
14		☐	A	+Y'	+0.3X'	+		L2	1.091	1.946	97	1.271	1.792	1.043	1.067
15		☐	A	+Y'	+0.3X'	-		L2	1.093	1.946	97	1.262	1.782	1.037	1.050
16		☐	A	+Y'	-0.3X'			L2	1.088	1.890	95	1.314	1.960	1.110	1.183
17		☐	A	+Y'	-0.3X'	+		L2	1.079	1.768	88	1.314	1.960	1.110	1.183
18		☐	A	+Y'	-0.3X'	-		L2	1.100	2.052	103	1.314	1.960	1.104	1.167
19		☐	A	-X'				L2	1.177	2.513	126	1.197	1.545	0.957	0.917
20		☐	A	-X'		+		L2	1.191	2.608	130	1.188	1.535	0.957	0.900
21		☐	A	-X'		-		L2	1.125	2.201	110	1.162	1.455	0.939	0.867
22		☐	A	-X'	+0.3Y'			L2	1.191	2.608	130	1.162	1.455	0.939	0.867
23		☐	A	-X'	+0.3Y'	+		L2	1.191	2.608	130	1.175	1.495	0.945	0.883
24		☐	A	-X'	+0.3Y'	-		L2	1.116	2.155	108	1.157	1.426	0.927	0.850
25		☐	A	-X'	-0.3Y'			L2	1.177	2.530	127	1.183	1.515	0.957	0.900
26		☐	A	-X'	-0.3Y'	+		L2	1.191	2.608	130	1.197	1.564	0.957	0.917
27		☐	A	-X'	-0.3Y'	-		L2	1.098	2.021	101	1.140	1.386	0.909	0.833
28		☐	A	-Y'				L2	1.093	1.962	98	1.323	1.980	1.110	1.183
29		☐	A	-Y'		+		L2	1.079	1.768	88	1.349	2.079	1.152	1.250
30		☐	A	-Y'		-		L2	1.116	2.145	107	1.288	1.851	1.067	1.100
31		☐	A	-Y'	+0.3X'			L2	1.116	2.139	107	1.301	1.921	1.091	1.150
32		☐	A	-Y'	+0.3X'	+		L2	1.125	2.201	110	1.301	1.921	1.091	1.150
33		☐	A	-Y'	+0.3X'	-		L2	1.081	1.788	89	1.310	1.950	1.104	1.167
34		☐	A	-Y'	-0.3X'			L2	1.116	2.145	107	1.284	1.842	1.061	1.100
35		☐	A	-Y'	-0.3X'	+		L2	1.111	2.123	106	1.275	1.822	1.055	1.083
36		☐	A	-Y'	-0.3X'	-		L2	1.105	2.093	105	1.271	1.812	1.049	1.067
37		☐	E	+X'				L2	1.002	1.018	51	1.223	1.634	0.994	0.967
38		☐	E	+X'		+		L2	0.956	0.898	45	1.201	1.574	0.976	0.933
39		☐	E	+X'		-		L2	1.026	1.224	61	1.236	1.673	1.000	0.983
40		☐	E	+X'	+0.3Y'			L2	1.000	0.998	50	1.218	1.614	0.976	0.950
41		☐	E	+X'	+0.3Y'	+		L2	0.933	0.846	42	1.197	1.564	0.957	0.917
42		☐	E	+X'	+0.3Y'	-		L2	1.021	1.172	59	1.240	1.703	1.000	1.000
43		☐	E	+X'	-0.3Y'			L2	1.004	1.030	51	1.227	1.644	0.994	0.967
44		☐	E	+X'	-0.3Y'	+		L2	0.953	0.887	44	1.197	1.564	0.957	0.917
45		☐	E	+X'	-0.3Y'	-		L2	1.028	1.228	61	1.249	1.723	1.006	1.017
46		☐	E	+Y'				L2	1.116	2.139	107	1.341	2.059	1.146	1.250
47		☐	E	+Y'		+		L2	1.116	2.155	108	1.341	2.050	1.140	1.233
48		☐	E	+Y'		-		L2	1.119	2.170	108	1.341	2.059	1.146	1.250
49		☐	E	+Y'	+0.3X'			L2	1.096	1.994	100	1.328	2.010	1.134	1.217
50		☐	E	+Y'	+0.3X'	+		L2	1.086	1.876	94	1.341	2.050	1.140	1.233
51		☐	E	+Y'	+0.3X'	-		L2	1.093	1.946	97	1.328	2.010	1.134	1.217
52		☐	E	+Y'	-0.3X'			L2	1.125	2.201	110	1.354	2.109	1.171	1.283
53		☐	E	+Y'	-0.3X'	+		L2	1.119	2.170	108	1.349	2.099	1.165	1.267
54		☐	E	+Y'	-0.3X'	-		L2	1.132	2.249	112	1.367	2.149	1.189	1.300
55		☐	E	-X'				L2	1.014	1.118	56	1.201	1.574	0.976	0.933
56		☐	E	-X'		+		L2	1.035	1.300	65	1.236	1.693	1.000	0.983
57		☐	E	-X'		-		L2	1.000	1.006	50	1.183	1.515	0.957	0.900
58		☐	E	-X'	+0.3Y'			L2	1.012	1.093	55	1.231	1.663	0.994	0.967
59		☐	E	-X'	+0.3Y'	+		L2	1.033	1.283	64	1.262	1.762	1.024	1.050
60		☐	E	-X'	+0.3Y'	-		L2	0.993	0.981	49	1.197	1.545	0.957	0.917
61		☐	E	-X'	-0.3Y'			L2	1.012	1.103	55	1.197	1.564	0.957	0.917
62		☐	E	-X'	-0.3Y'	+		L2	1.032	1.269	63	1.236	1.693	1.000	0.983
63		☐	E	-X'	-0.3Y'	-		L2	0.946	0.869	43	1.227	1.644	0.994	0.967
64		☐	E	-Y'				L2	1.116	2.155	108	1.349	2.079	1.146	1.250
65		☐	E	-Y'		+		L2	1.126	2.217	111	1.349	2.099	1.146	1.250
66		☐	E	-Y'		-		L2	1.126	2.217	111	1.341	2.050	1.140	1.233
67		☐	E	-Y'	+0.3X'			L2	1.121	2.185	109	1.362	2.129	1.152	1.250
68		☐	E	-Y'	+0.3X'	+		L2	1.137	2.280	114	1.362	2.129	1.152	1.250
69		☐	E	-Y'	+0.3X'	-		L2	1.125	2.201	110	1.336	2.030	1.128	1.200
70		☐	E	-Y'	-0.3X'			L2	1.104	2.063	103	1.328	2.010	1.134	1.217
71		☐	E	-Y'	-0.3X'	+		L2	1.111	2.123	106	1.328	2.010	1.134	1.217
72		☐	E	-Y'	-0.3X'	-		L2	1.116	2.155	108	1.310	1.950	1.104	1.167

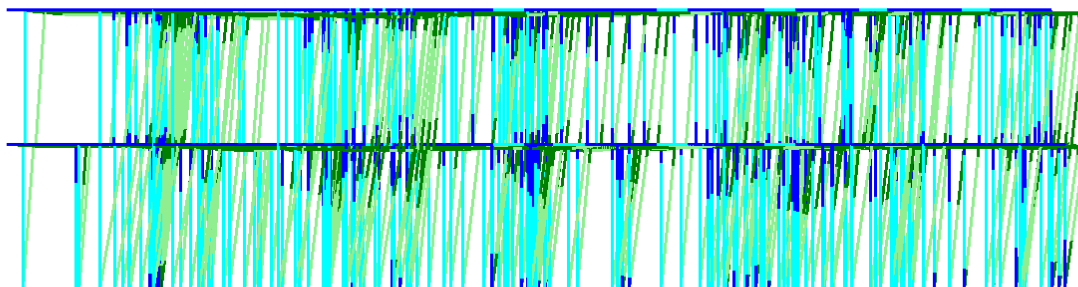
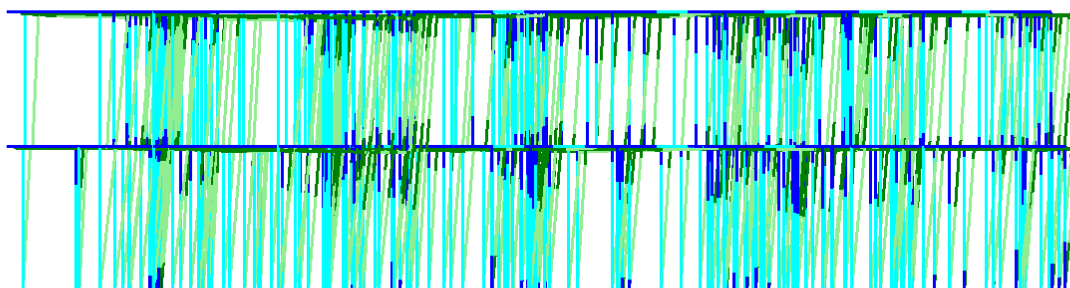
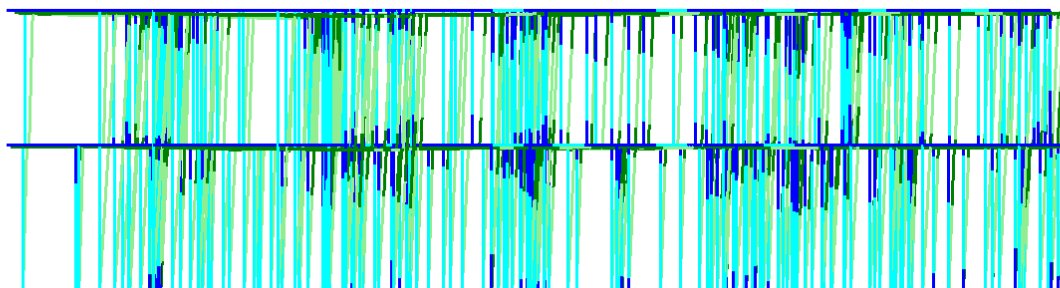
Si riportano quindi le curve di spinta relative alla struttura allo stato di progetto:

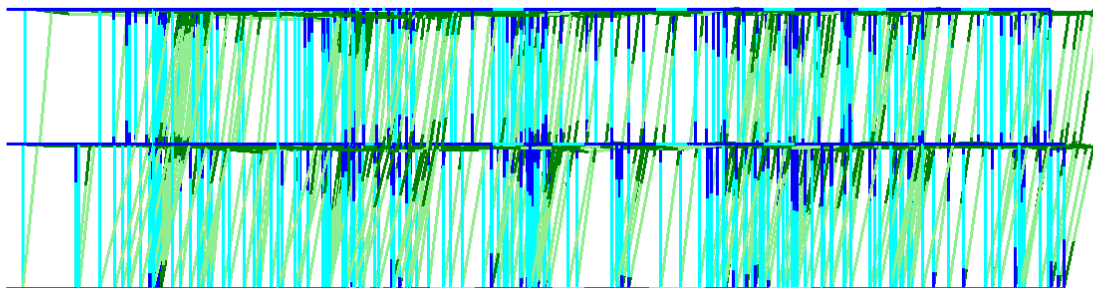


a. Validazione ed interpretazione dei risultati delle analisi globali allo stato di progetto

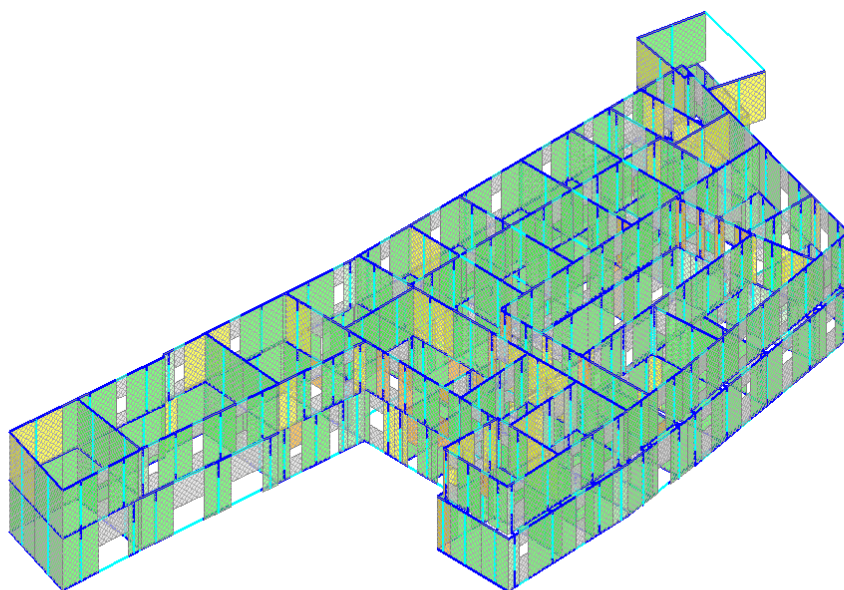
Mediante gli interventi adottati allo **stato di progetto** si è potuto in primo luogo migliorare la risposta globale del fabbricato ottenendo un significativo incremento della resistenza del fabbricato mediante il rinforzo delle pareti esistenti tramite interventi di intonaco armato con rete in G-FRP abbinato alla iniezioni. Il meccanismo di collasso a maggiore vulnerabilità (curva 41 - distribuzione E; direzione X+; direzione 0.3Y+; +Mt) prevede la plasticizzazione di un elevato numero di maschi murari. Si riportano di seguito alcune immagini relative alla modalità di collasso più gravosa

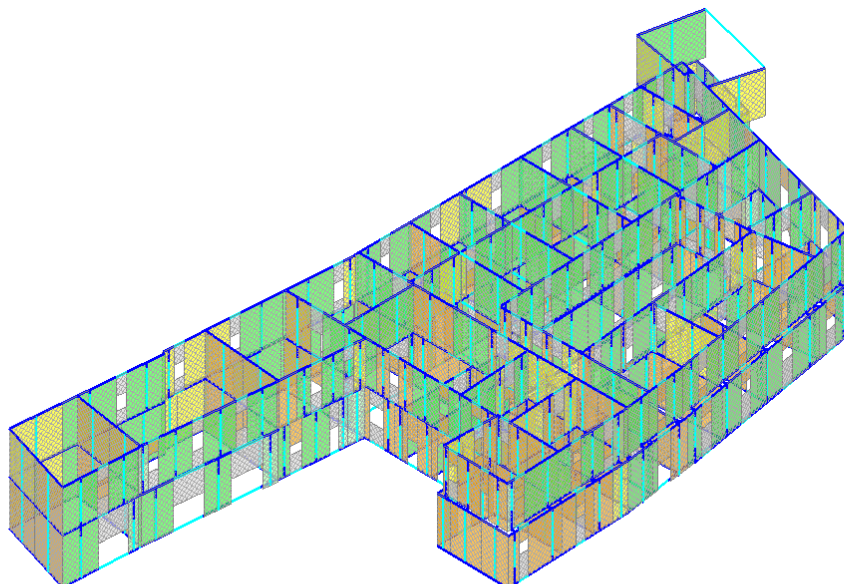
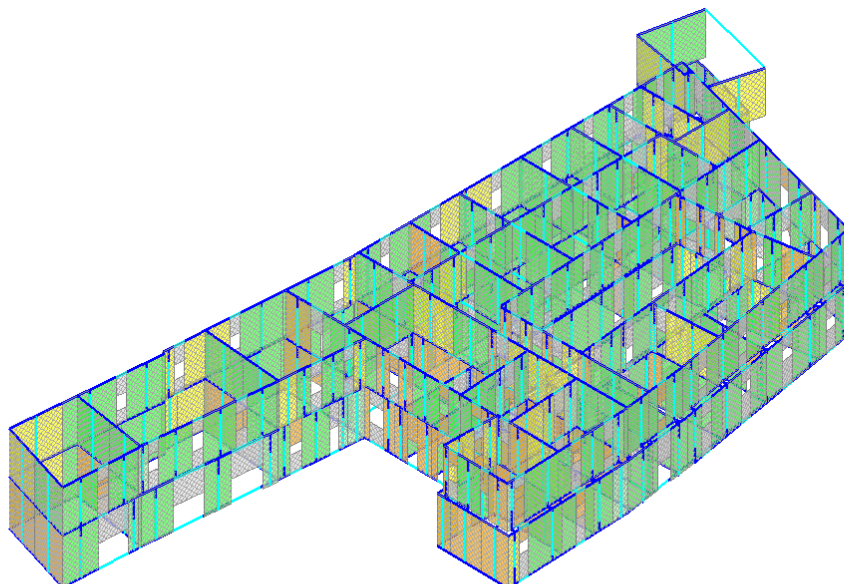


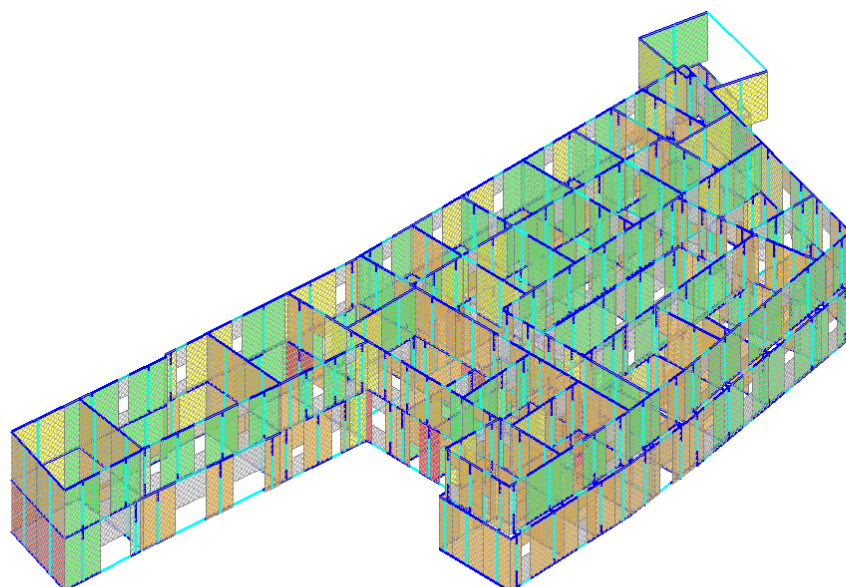
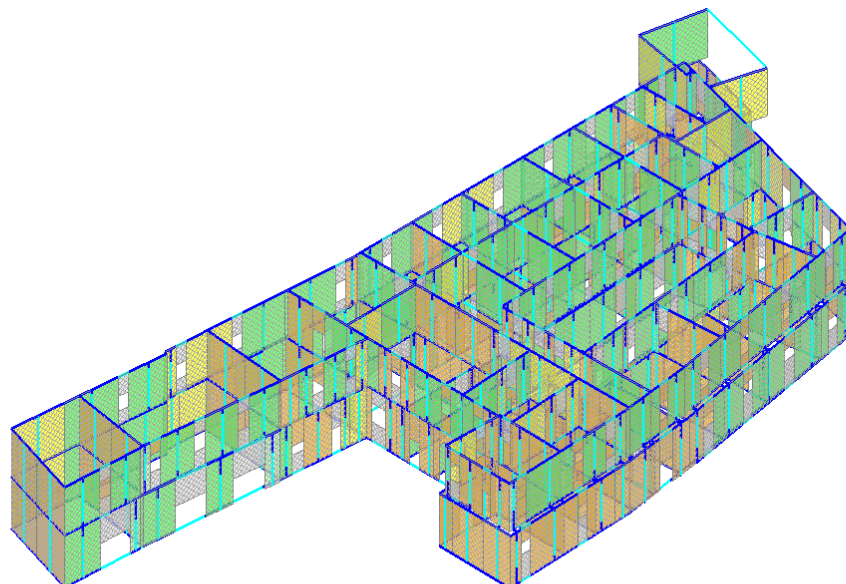




Graficazione del procedere del meccanismo di collasso dell'edificio allo stato di progetto all'aumentare delle forze sismiche agenti, relativamente allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV - curva 41)



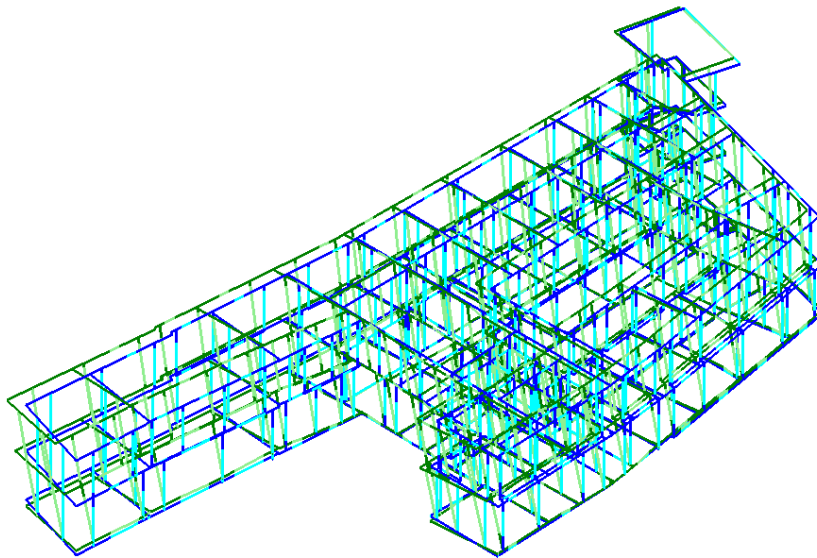
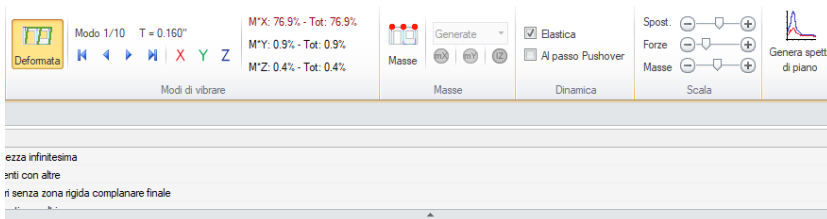




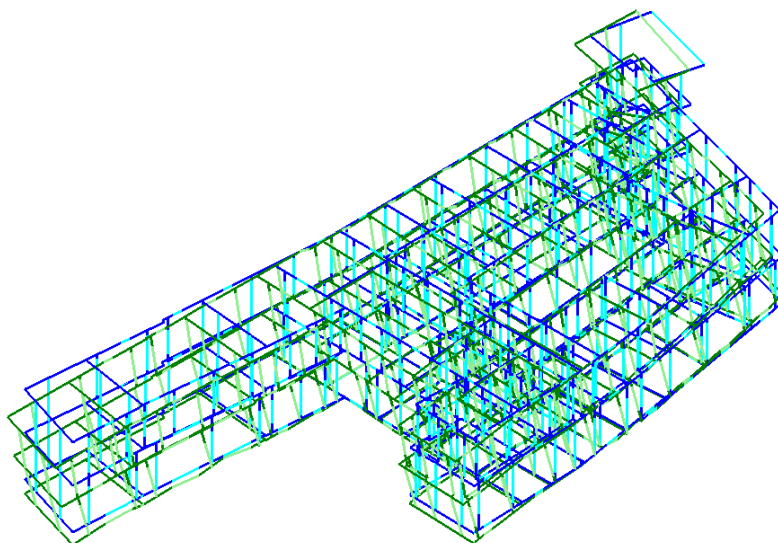
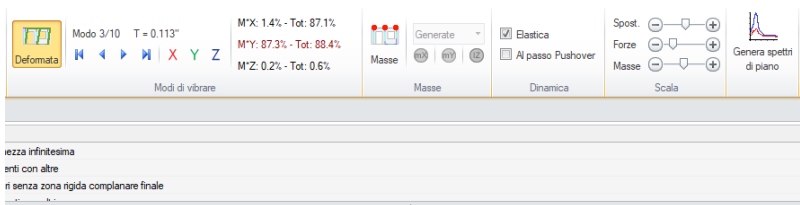
*Graficazione del procedere del meccanismo di collasso dell'edificio allo stato di progetto all'aumentare delle forze sismiche agenti, relativamente allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV - curva 41)
(in arancio sono evidenziati gli elementi in cui è avvenuta la formazione di cerniere plastiche ai due estremi, in giallo quelle con cerniere ad un solo estremo, in rosso quelle collassate)*

Deformate modali:

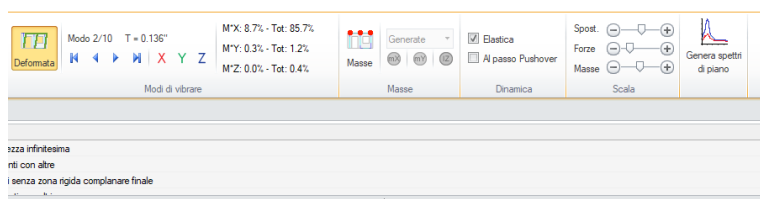
Primo modo di vibrare allo stato di progetto



Secondo modo di vibrare allo stato di progetto



Terzo modo di vibrare allo stato di progetto



Verifiche globali dell'adeguamento sismico conseguito

Si riportano di seguito i dati di sintesi sull'adeguamento sismico conseguito e sui coefficienti di sicurezza, in termini di indicatori di rischio, relativi allo stato di progetto, ottenuti dal software di calcolo automatico Aedes PCM.

Verifiche di rigidità (RIG)

Stato Limite	PGA_C (g)	ζ_E (PGA_C/PGA_D)	TR_C (anni)	ζ_E (TR_C/TR_D)
SLO	0.146	0.890	47	0.783
SLD	0.256	1.118	133	1.317

Verifiche di resistenza (RES)

SLD	PGA_C (g)	ζ_E (PGA_C/PGA_D)	TR_C (anni)	ζ_E (TR_C/TR_D)
Resistenza nel piano del pannello	0.256	1.118	133	1.317
Resistenza fuori piano del pannello	0.256	1.118	133	1.317

SLV	PGA_C (g)	ζ_E (PGA_C/PGA_D)	TR_C (anni)	ζ_E (TR_C/TR_D)
Resistenza nel piano del pannello	0.532	0.933	803	0.846
Resistenza fuori piano del pannello	0.532	0.933	803	0.846

b. isolamento

Si riportano le principali prescrizioni normative relative alle verifiche dei dispositivi, della sovrastruttura e della sottostruttura.

Stati Limite Ultimi

Nei confronti delle azioni sismiche le NTC prevedono due differenti stati limite ultimi:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV), cui corrisponde un evento sismico con una probabilità di superamento nel periodo di riferimento $P_{VR} = 10\%$, o di periodo di ritorno T_{RSLV} ;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC), cui corrisponde un evento sismico con una probabilità di superamento nel periodo di riferimento $P_{VR} = 5\%$, o di periodo di ritorno T_{RSLC} .

Per le strutture isolate lo SLV è relativo alle verifiche di sovrastruttura e sottostruttura, mentre lo SLC interessa i dispositivi di isolamento, per i quali si richiede un maggior grado di sicurezza.

Più in dettaglio, i dispositivi del sistema d'isolamento debbono essere in grado di sostenere, senza rotture, gli spostamenti d_{SLC} , valutati per un terremoto avente probabilità di superamento pari a quella prevista per lo SLC.

Si ricorda anche che:

- le connessioni del gas e di altri impianti pericolosi che attraversano i giunti di separazione debbono essere progettate per consentire gli spostamenti relativi della sovrastruttura isolata, con lo stesso livello di sicurezza adottato per il progetto del sistema d'isolamento (SLC);
- le condizioni di resistenza degli elementi strutturali della sovrastruttura e della sottostruttura possono essere soddisfatte considerando gli effetti dell'azione sismica (SLV) divisi del fattore $q=1.5$ combinati con le altre azioni;
- nelle condizioni di massima sollecitazione (SLV) le parti dei dispositivi non impegnate nella funzione dissipativa devono rimanere in campo elastico, nel rispetto delle norme relative ai materiali di cui sono costituite, e comunque con un coefficiente di sicurezza almeno pari a 1.5.

Stati Limite di Esercizio

Non sono previste verifiche specifiche per i dispositivi del sistema d'isolamento, ritenendo che il soddisfacimento delle verifiche allo SLV garantisca che questi non subiscano danni che possano comprometterne il funzionamento nelle condizioni di servizio per lo SLD.

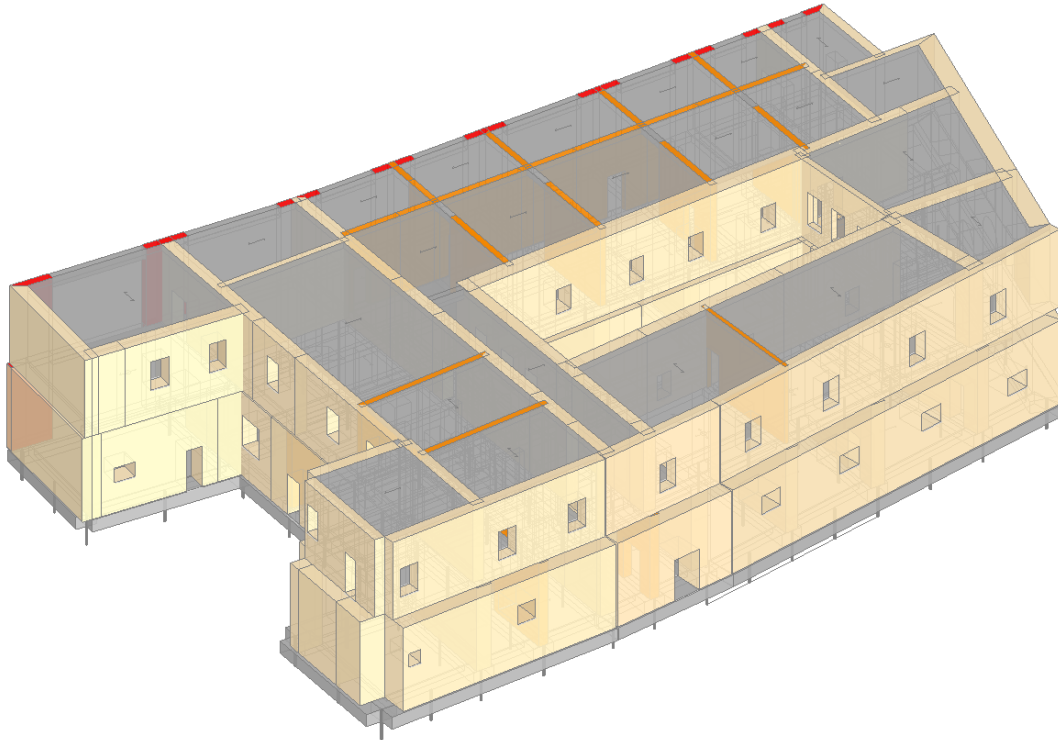
Lo stesso vale per la sottostruttura e le fondazioni, mentre per la sovrastruttura deve essere controllato che gli spostamenti interpolati ottenuti dall'analisi siano inferiori ai 2/3 dei limiti indicati per lo SLD delle strutture a base fissa.

Infine, le eventuali connessioni, strutturali e non, particolarmente quelle degli impianti, fra la struttura isolata e il terreno o le parti di strutture non isolate, devono assorbire gli spostamenti relativi corrispondenti allo SLD senza subire alcun danno o limitazione d'uso.

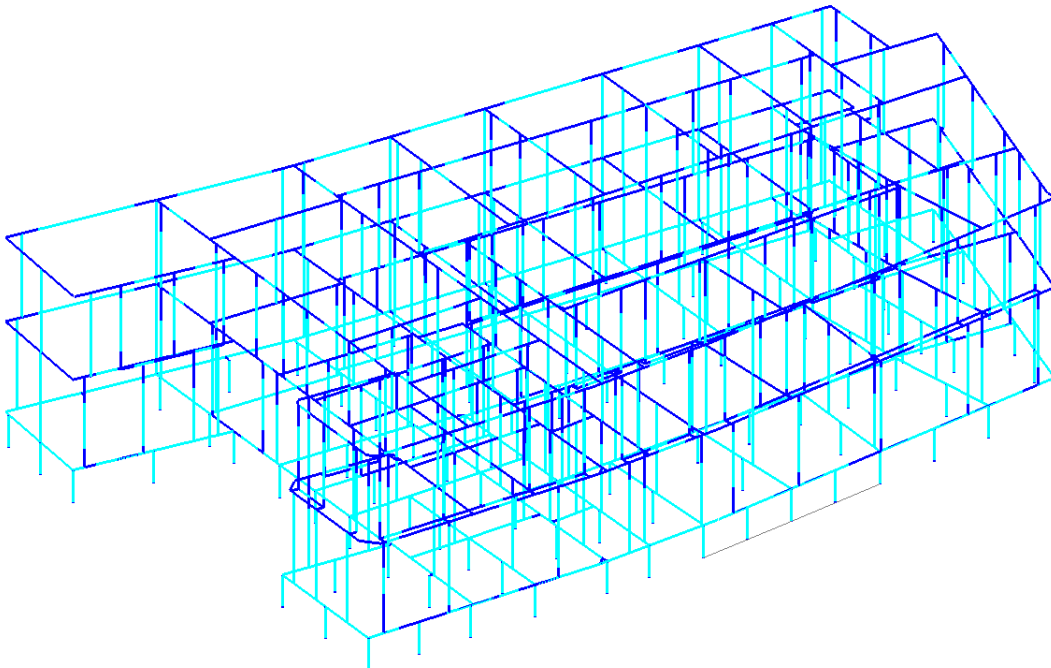
16. Dimensionamento preliminare del sistema di isolamento

La definizione del sistema è stata perseguita attraverso:

- la modellazione della struttura per la determinazione dei carichi e delle masse gravanti su ciascun dispositivo in combinazione statica quasi permanente;



Modello Globale



- un predimensionamento, condotto assimilando la sovrastruttura ad un corpo rigido connesso al terreno attraverso due molle nelle due direzioni principali, di costante elastica pari alla somma delle rigidezze secanti allo spostamento di progetto degli isolatori elastomerici, e una molla relativa alla rotazione intorno ad un asse verticale, che ha portato alla definizione del valore di progetto del periodo della struttura isolata, tenendo conto sia delle caratteristiche dinamiche della struttura a base fissa determinate sperimentalmente (ved. analisi dinamica sperimentale) sia delle caratteristiche dello spettro di risposta al sito;
- uno studio di dettaglio sulla disposizione in pianta della tipologia di dispositivi di isolamento selezionati (isolatori elastomerici e slitte), che ha consentito di ottimizzare il comportamento dinamico della struttura, attraverso il disaccoppiamento dei modi di vibrare traslazionali nelle due direzioni principali, con conseguente limitazione degli effetti torsionali sul sistema di isolamento e sulla struttura;
- la valutazione dello spostamento massimo di progetto dei dispositivi elastomerici utilizzando una modellazione globale della struttura e la effettiva disposizione planimetrica dei dispositivi; azioni sismiche di normativa (azione sismica in due direzioni ortogonali e eccentricità accidentale)

Distribuzione delle masse e dispositivi di isolamento

La distribuzione planimetrica dei dispositivi di isolamento è rappresentata nella figura sotto riportata.



Vista in pianta del sistema di isolamento

Si riporta di seguito una sintesi delle proprietà globali del sistema di isolamento progettato:

Tipologie isolatori utilizzati

ID	tipologia	V [KN]	F [KN]	Ke [kg/cm]	ξ [%]	X_{max} [mm]	n°isolat [-]
1	Isolatore Elastom.	1200	5290	990	12.5	300	53
2	Appoggio Scorr.	1500	1500	0	12.5	300	45
							0
							0

Caratteristiche del sistema di isolamento

	SLC	
$X_{rif} =$	23.25	cm
$K_{esi} =$	5247000	kg/m
$M_{TOT} =$	5214402	kg
$T_{is,rif} =$	2.000	s
$\xi_{esi} =$	12.5	%
$\eta =$	0.756	
$q = 1/\eta =$	1.323	

Parametri di progetto dell'azione sismica

	SLC	
$a_g =$	0.627	g
$F_0 =$	3.056	
$T_c^* =$	0.323	s
Terreno	A	
$S_s =$	1.000	
$S_T =$	1.000	
$S_e(T_{is,rif}) =$	0.234	g

parametri da RSL

Baricentro delle masse

$X_M (m) =$	12.81	m
$Y_M (m) =$	21.01	m

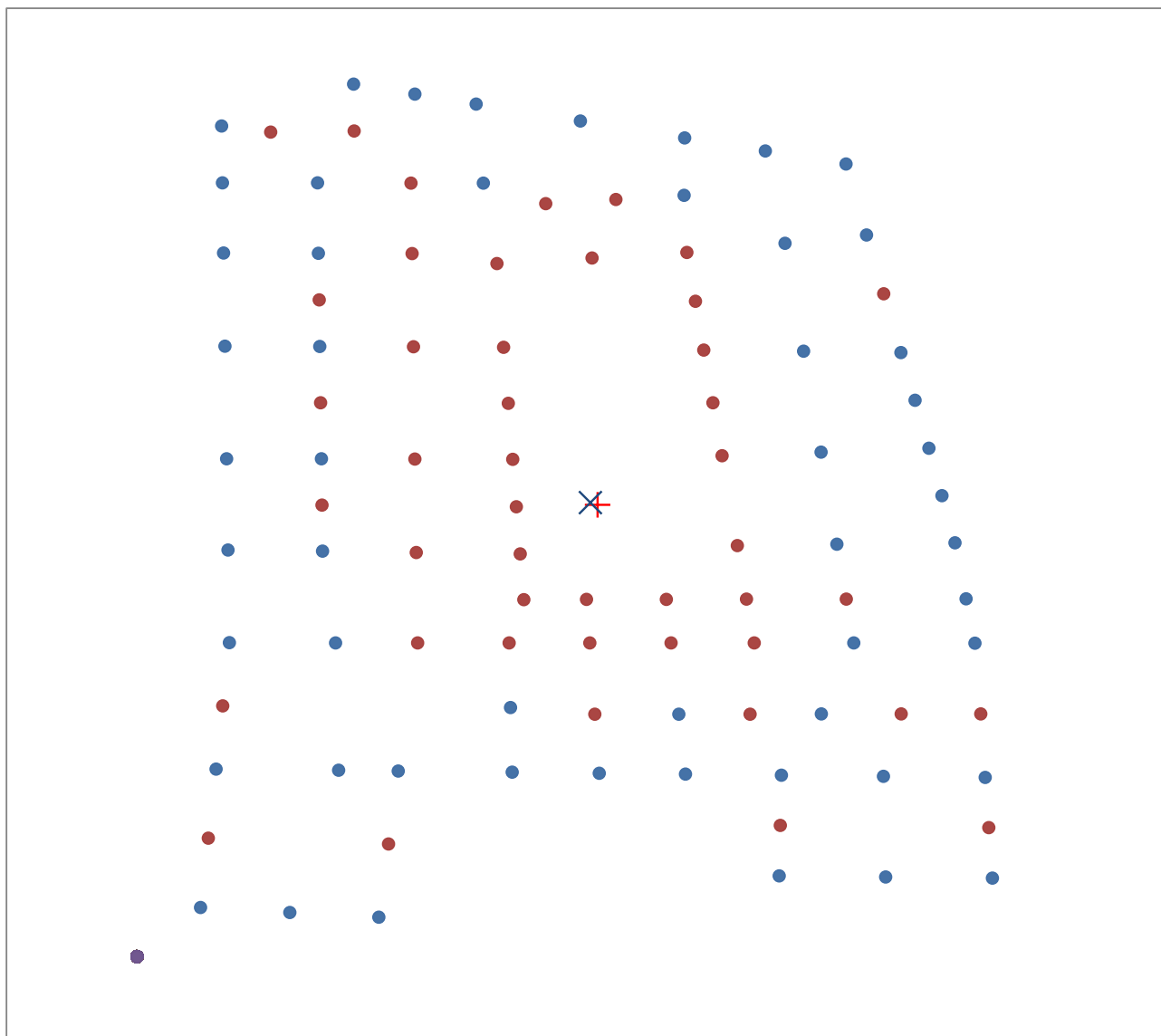
Baricentro delle rigidezze

$X_K (m) =$	12.58	m
$Y_K (m) =$	21.11	m

Eccentricità dei baricentri G_M e G_K

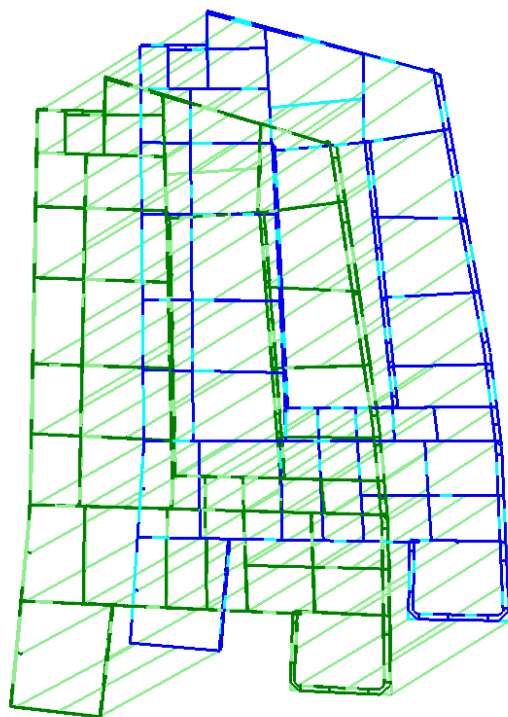
$X_K (m) =$	-0.23	m	< 0.03 B
$Y_K (m) =$	0.10	m	< 0.03 B

Si riporta di seguito la distribuzione planimetrica dei dispositivi di isolamento, con indicazione della posizione del centro di massa (+) e di rigidità (x); si noti come il centraggio risulti ottimale.

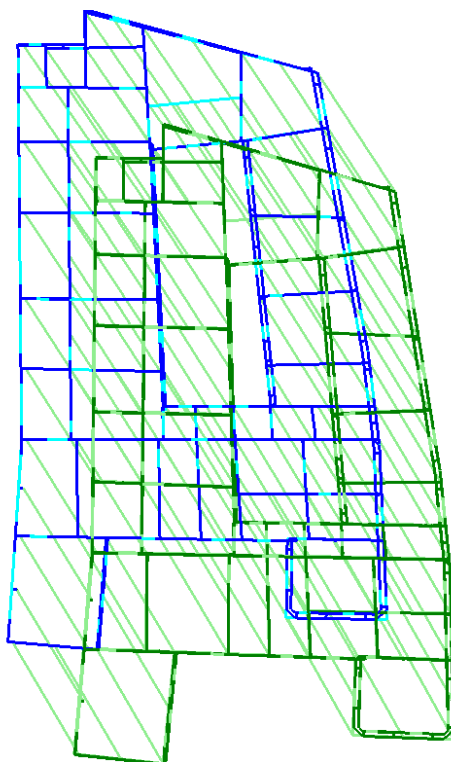


Distribuzione planimetrica degli isolatori, con indicazione della proiezione del centro di massa globale del fabbricato (+) e del centro di rigidità del sistema di isolamento (x)

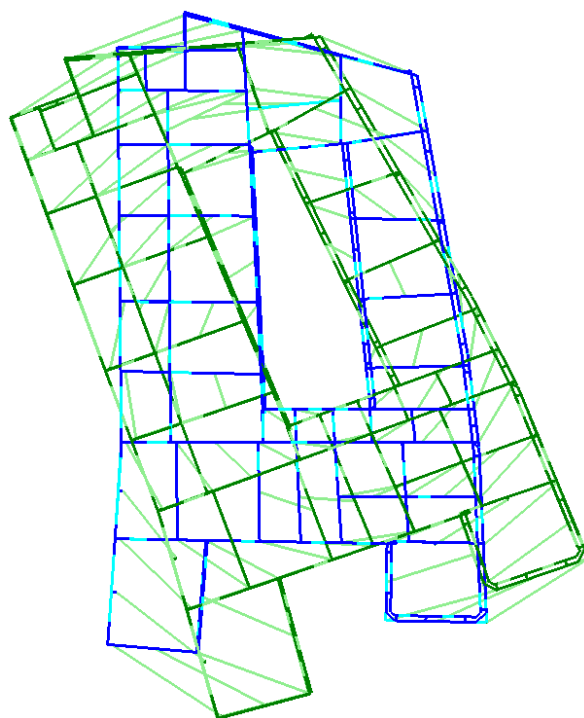
Dall'analisi del sistema di isolamento con la reale distribuzione di masse e rigidezze è stato quindi possibile eseguire le analisi modali e spettrali, di cui si riportano di seguito i principali risultati.



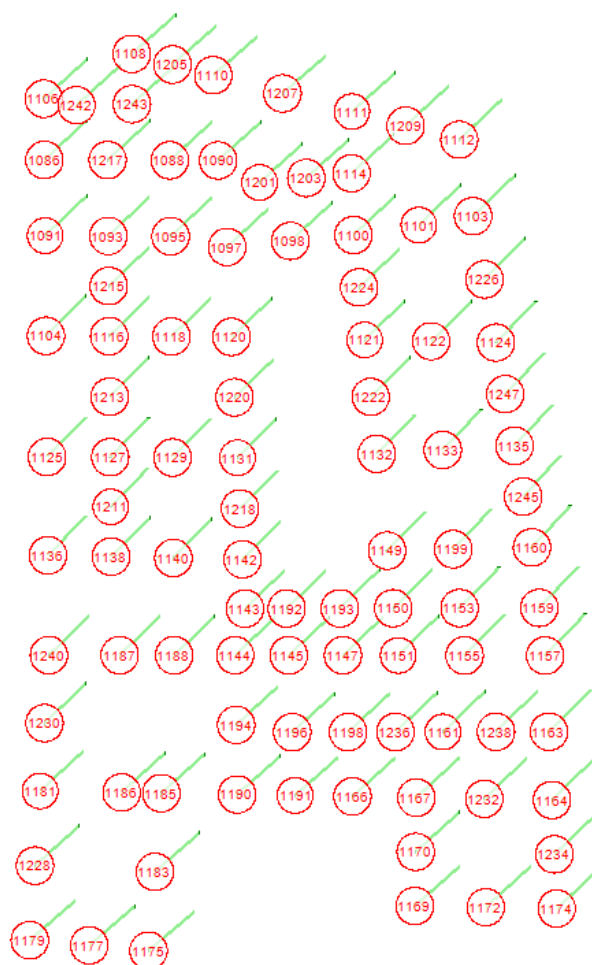
Modo 1 ($T=2.009s$ – traslazionale puro)



Modo 2 ($T=2.007s$ – traslazionale puro)



Modo 3 ($T=1.745s$ – rotazionale puro)



*Spostamenti degli isolatori in una delle condizioni di carico relative allo SLC
ottenuti dall'analisi dinamica lineare spettrale*

Si riportano di seguito i principali risultati dell'analisi sugli isolatori relativamente allo Stato Limite di Collasso SLC.

NODO	x	y	PROPRIETA' ISOLATORE			Statiche					SLC							
			tipo	V	Fzd	N _{QP}	N _{QP} / V	N _{max,SLU}	verifica	N _{max,SLC}	N _{SLC} / V	Verifica	ξ	U _{max,SLC}	K _c	Xmax	Verifica	
				[m]	[m]	[kg]	[kg]	[kg]		[-]	[kg]	N _{SLU}	[kg]	[-]	N _{max,SLC}	[%]	[cm]	[kg/m]
	[m]	[m]	isolatore															
1086	1.00	37.40	1	120000	529000	43564	0.36	60483	0.11	OK	70454	0.59	OK	12.5	27.24	99000	30.00	OK
1088	6.94	37.38	2	150000	150000	59269	0.40	84165	0.56	OK	65836	0.44	OK	12.5	27.20	0	30.00	OK
1090	9.22	37.38	1	120000	529000	59159	0.49	83594	0.16	OK	75553	0.63	OK	12.5	27.17	99000	30.00	OK
1091	1.03	33.82	1	120000	529000	49728	0.41	70123	0.13	OK	73816	0.62	OK	12.5	26.60	99000	30.00	OK
1093	4.02	33.80	1	120000	529000	46669	0.39	66998	0.13	OK	50927	0.42	OK	12.5	26.57	99000	30.00	OK
1095	6.97	33.79	2	150000	150000	48393	0.32	69706	0.46	OK	54237	0.36	OK	12.5	26.54	0	30.00	OK
1097	9.65	33.29	2	150000	150000	77128	0.51	108558	0.72	OK	85284	0.57	OK	12.5	26.43	0	30.00	OK
1098	12.64	33.57	2	150000	150000	40306	0.27	56368	0.38	OK	43558	0.29	OK	12.5	26.46	0	30.00	OK
1100	15.63	33.85	2	150000	150000	70856	0.47	98447	0.66	OK	78209	0.52	OK	12.5	26.56	0	30.00	OK
1101	18.71	34.32	1	120000	529000	55353	0.46	77153	0.15	OK	61952	0.52	OK	12.5	26.70	99000	30.00	OK
1103	21.28	34.74	1	120000	529000	71450	0.60	98424	0.19	OK	90099	0.75	OK	12.5	26.82	99000	30.00	OK
1104	1.08	29.08	1	120000	529000	58836	0.49	83318	0.16	OK	83550	0.70	OK	12.5	25.74	99000	30.00	OK
1106	9.97	40.29	1	120000	529000	26619	0.22	36048	0.07	OK	53195	0.44	OK	12.5	27.76	99000	30.00	OK
1108	5.13	42.42	1	120000	529000	32215	0.27	43777	0.08	OK	51213	0.43	OK	12.5	28.12	99000	30.00	OK
1110	8.99	41.41	1	120000	529000	64337	0.54	88852	0.17	OK	82379	0.69	OK	12.5	27.91	99000	30.00	OK
1111	15.55	39.68	1	120000	529000	59905	0.50	82598	0.16	OK	71974	0.60	OK	12.5	27.62	99000	30.00	OK
1112	20.63	38.35	1	120000	529000	51273	0.43	70477	0.13	OK	76192	0.63	OK	12.5	27.46	99000	30.00	OK
1114	15.53	36.76	1	120000	529000	49011	0.41	69030	0.13	OK	51461	0.43	OK	12.5	27.09	99000	30.00	OK
1116	4.06	29.07	1	120000	529000	48816	0.41	70509	0.13	OK	52872	0.44	OK	12.5	25.71	99000	30.00	OK
1118	7.01	29.05	2	150000	150000	56307	0.38	81829	0.55	OK	64553	0.43	OK	12.5	25.68	0	30.00	OK
1120	9.86	29.03	2	150000	150000	78287	0.52	109111	0.73	OK	88939	0.59	OK	12.5	25.66	0	30.00	OK
1121	16.15	28.88	2	150000	150000	69525	0.46	95749	0.64	OK	82636	0.55	OK	12.5	25.67	0	30.00	OK
1122	19.30	28.82	1	120000	529000	56461	0.47	80032	0.15	OK	64938	0.54	OK	12.5	25.72	99000	30.00	OK
1124	22.36	28.76	1	120000	529000	76324	0.64	105724	0.20	OK	92483	0.77	OK	12.5	26.31	99000	30.00	OK
1125	1.13	23.35	1	120000	529000	57373	0.48	81439	0.15	OK	75120	0.63	OK	12.5	25.30	99000	30.00	OK
1127	4.12	23.34	1	120000	529000	45803	0.38	66305	0.13	OK	48101	0.40	OK	12.5	25.02	99000	30.00	OK
1129	7.06	23.33	2	150000	150000	60586	0.40	87508	0.58	OK	74047	0.49	OK	12.5	24.75	0	30.00	OK
1131	10.14	23.31	2	150000	150000	68263	0.46	94888	0.63	OK	82357	0.55	OK	12.5	24.63	0	30.00	OK
1132	16.73	23.50	2	150000	150000	79086	0.53	109119	0.73	OK	99073	0.66	OK	12.5	25.06	0	30.00	OK
1133	19.85	23.68	1	120000	529000	62452	0.52	87850	0.17	OK	66603	0.56	OK	12.5	25.71	99000	30.00	OK
1135	23.24	23.88	1	120000	529000	65262	0.54	90679	0.17	OK	82499	0.69	OK	12.5	26.42	99000	30.00	OK
1136	1.17	18.70	1	120000	529000	57215	0.48	81761	0.15	OK	75747	0.63	OK	12.5	25.31	99000	30.00	OK
1138	4.16	18.64	1	120000	529000	47721	0.40	69465	0.13	OK	52064	0.43	OK	12.5	25.03	99000	30.00	OK
1140	7.10	18.58	2	150000	150000	53575	0.36	78257	0.52	OK	67721	0.45	OK	12.5	24.83	0	30.00	OK
1142	10.38	18.51	2	150000	150000	55293	0.37	77415	0.52	OK	66265	0.44	OK	12.5	24.82	0	30.00	OK
1143	10.49	16.18	2	150000	150000	53576	0.36	74754	0.50	OK	54572	0.36	OK	12.5	25.36	0	30.00	OK
1144	10.03	13.97	2	150000	150000	53364	0.36	75975	0.51	OK	57138	0.38	OK	12.5	25.87	0	30.00	OK
1145	12.56	13.97	2	150000	150000	44697	0.30	62833	0.42	OK	51399	0.34	OK	12.5	25.85	0	30.00	OK
1147	15.13	13.97	2	150000	150000	51394	0.34	71552	0.48	OK	64922	0.43	OK	12.5	25.90	0	30.00	OK
1149	17.21	18.92	2	150000	150000	67774	0.45	93414	0.62	OK	83740	0.56	OK	12.5	25.18	0	30.00	OK
1150	17.50	16.20	2	150000	150000	60204	0.40	83190	0.55	OK	64725	0.43	OK	12.5	25.42	0	30.00	OK
1151	17.74	13.97	2	150000	150000	57329	0.38	80175	0.53	OK	58228	0.39	OK	12.5	25.94	0	30.00	OK
1153	20.64	16.21	2	150000	150000	59155	0.39	82289	0.55	OK	66118	0.44	OK	12.5	25.93	0	30.00	OK
1155	20.88	13.97	1	120000	529000	62990	0.52	87716	0.17	OK	64996	0.54	OK	12.5	26.03	99000	30.00	OK
1157	24.69	13.96	1	120000	529000	68710	0.57	94591	0.18	OK	97854	0.82	OK	12.5	26.81	99000	30.00	OK
1159	24.42	16.22	1	120000	529000	56985	0.47	78468	0.15	OK	81688	0.68	OK	12.5	26.71	99000	30.00	OK
1160	24.07	19.07	1	120000	529000	56836	0.47	78749	0.15	OK	76242	0.64	OK	12.5	26.58	99000	30.00	OK

1161	19.86	10.35	1	120000	529000	59008	0.49	82933	0.16	OK	65908	0.55	OK	12.5	26.82	99000	30.00	OK
1163	24.88	10.36	2	150000	150000	65327	0.44	90101	0.60	OK	91860	0.61	OK	12.5	26.92	0	30.00	OK
1164	25.02	7.13	1	120000	529000	59106	0.49	81482	0.15	OK	81883	0.68	OK	12.5	27.66	99000	30.00	OK
1166	15.58	7.30	1	120000	529000	39463	0.33	54782	0.10	OK	52327	0.44	OK	12.5	27.45	99000	30.00	OK
1167	18.60	7.24	1	120000	529000	56078	0.47	78214	0.15	OK	62393	0.52	OK	12.5	27.51	99000	30.00	OK
1169	18.53	2.12	1	120000	529000	32286	0.27	44187	0.08	OK	51627	0.43	OK	12.5	28.71	99000	30.00	OK
1170	18.56	4.68	2	150000	150000	43714	0.29	59934	0.40	OK	54366	0.36	OK	12.5	28.11	0	30.00	OK
1172	21.88	2.06	1	120000	529000	66495	0.55	91830	0.17	OK	81662	0.68	OK	12.5	28.79	99000	30.00	OK
1174	25.24	2.00	1	120000	529000	34136	0.28	47092	0.09	OK	52900	0.44	OK	12.5	28.85	99000	30.00	OK
1175	5.93	0.01	1	120000	529000	39261	0.33	55244	0.10	OK	57742	0.48	OK	12.5	29.16	99000	30.00	OK
1177	3.12	0.26	1	120000	529000	77035	0.64	106788	0.20	OK	88491	0.74	OK	12.5	29.12	99000	30.00	OK
1179	0.31	0.50	1	120000	529000	48038	0.40	67598	0.13	OK	79506	0.66	OK	12.5	29.08	99000	30.00	OK
1181	0.80	7.56	1	120000	529000	64053	0.53	92113	0.17	OK	77113	0.64	OK	12.5	27.44	99000	30.00	OK
1183	6.23	3.73	2	150000	150000	71138	0.47	100795	0.67	OK	77652	0.52	OK	12.5	28.29	0	30.00	OK
1185	6.54	7.46	1	120000	529000	58718	0.49	83308	0.16	OK	65997	0.55	OK	12.5	27.41	99000	30.00	OK
1186	4.66	7.49	1	120000	529000	76501	0.64	108291	0.20	OK	85603	0.71	OK	12.5	27.42	99000	30.00	OK
1187	4.56	13.98	1	120000	529000	78714	0.66	113594	0.21	OK	88551	0.74	OK	12.5	25.92	99000	30.00	OK
1188	7.14	13.98	2	150000	150000	39854	0.27	57695	0.38	OK	42071	0.28	OK	12.5	25.90	0	30.00	OK
1190	10.12	7.39	1	120000	529000	53211	0.44	75342	0.14	OK	63339	0.53	OK	12.5	27.41	99000	30.00	OK
1191	12.86	7.34	1	120000	529000	38283	0.32	53601	0.10	OK	47063	0.39	OK	12.5	27.40	99000	30.00	OK
1192	12.46	16.19	2	150000	150000	28306	0.19	39097	0.26	OK	35118	0.23	OK	12.5	25.35	0	30.00	OK
1193	14.98	16.19	2	150000	150000	32289	0.22	44173	0.29	OK	39557	0.26	OK	12.5	25.38	0	30.00	OK
1194	10.07	10.68	1	120000	529000	53078	0.44	76957	0.15	OK	60324	0.50	OK	12.5	26.63	99000	30.00	OK
1196	12.73	10.34	2	150000	150000	51013	0.34	72246	0.48	OK	54491	0.36	OK	12.5	26.70	0	30.00	OK
1198	15.37	10.34	1	120000	529000	54409	0.45	76262	0.14	OK	71322	0.59	OK	12.5	26.75	99000	30.00	OK
1199	20.34	18.99	1	120000	529000	73038	0.61	101468	0.19	OK	75923	0.63	OK	12.5	25.82	99000	30.00	OK
1201	11.18	36.33	2	150000	150000	16220	0.11	23791	0.16	OK	20448	0.14	OK	12.5	26.97	0	30.00	OK
1203	13.39	36.54	2	150000	150000	10349	0.07	15437	0.10	OK	12902	0.09	OK	12.5	27.01	0	30.00	OK
1205	7.06	41.91	1	120000	529000	33998	0.28	46460	0.09	OK	43867	0.37	OK	12.5	28.02	99000	30.00	OK
1207	12.27	40.54	1	120000	529000	47716	0.40	66205	0.13	OK	55555	0.46	OK	12.5	27.73	99000	30.00	OK
1209	18.09	39.02	1	120000	529000	72449	0.60	98885	0.19	OK	87613	0.73	OK	12.5	27.54	99000	30.00	OK
1211	4.14	20.99	2	150000	150000	33001	0.22	47785	0.32	OK	39786	0.27	OK	12.5	24.98	0	30.00	OK
1213	4.09	26.20	2	150000	150000	34579	0.23	49938	0.33	OK	36824	0.25	OK	12.5	25.20	0	30.00	OK
1215	4.04	31.43	2	150000	150000	26945	0.18	38885	0.26	OK	30177	0.20	OK	12.5	26.14	0	30.00	OK
1217	3.99	37.39	1	120000	529000	45532	0.38	64313	0.12	OK	46938	0.39	OK	12.5	27.22	99000	30.00	OK
1218	10.26	20.91	2	150000	150000	44070	0.29	61156	0.41	OK	52966	0.35	OK	12.5	24.42	0	30.00	OK
1220	10.00	26.17	2	150000	150000	63105	0.42	87097	0.58	OK	73737	0.49	OK	12.5	25.14	0	30.00	OK
1222	16.44	26.19	2	150000	150000	56309	0.38	77366	0.52	OK	67669	0.45	OK	12.5	25.20	0	30.00	OK
1224	15.89	31.37	2	150000	150000	55684	0.37	76628	0.51	OK	59602	0.40	OK	12.5	26.12	0	30.00	OK
1226	21.82	31.75	2	150000	150000	51507	0.34	70828	0.47	OK	61532	0.41	OK	12.5	26.29	0	30.00	OK
1228	0.55	4.03	2	150000	150000	22367	0.15	33006	0.22	OK	29348	0.20	OK	12.5	28.26	0	30.00	OK
1230	1.01	10.77	2	150000	150000	21790	0.15	31613	0.21	OK	26363	0.18	OK	12.5	26.69	0	30.00	OK
1232	21.81	7.19	1	120000	529000	70268	0.59	97947	0.19	OK	78655	0.66	OK	12.5	27.59	99000	30.00	OK
1234	25.13	4.56	2	150000	150000	49955	0.33	68469	0.46	OK	68192	0.45	OK	12.5	28.25	0	30.00	OK
1236	17.61	10.35	2	150000	150000	62386	0.42	87641	0.58	OK	73322	0.49	OK	12.5	26.78	0	30.00	OK
1238	22.37	10.36	2	150000	150000	49192	0.33	68714	0.46	OK	50500	0.34	OK	12.5	26.86	0	30.00	OK
1240	1.22	13.98	1	120000	529000	81121	0.68	116207	0.22	OK	105854	0.88	OK	12.5	25.94	99000	30.00	OK
1242	2.52	39.98	2	150000	150000	32340	0.22	44605	0.30	OK	42911	0.29	OK	12.5	27.70	0	30.00	OK
1243	5.15	40.04	2	150000	150000	50091	0.33	69274	0.46	OK	56434	0.38	OK	12.5	27.68	0	30.00	OK
1245	23.66	21.48	1	120000	529000	52547	0.44	72608	0.14	OK	66525	0.55	OK	12.5	26.46	99000	30.00	OK
1247	22.80	26.32	1	120000	529000	42895	0.36	59420	0.11	OK	52311	0.44	OK	12.5	26.36	99000	30.00	OK

17. Intervento in corrispondenza della cinta muraria

Gli interventi previsti in corrispondenza di tale porzione di manufatto sono sinteticamente riassumibili nelle seguenti tre tipologie:

- Iniezione di miscele leganti;
- Inserimento di diatoni artificiali;
- Intonaco armato da attuare con rete in FRP al lato interno del paramento e con ristilatura armata dei giunti di malta, tra le pietre della porzione esterna a facciavista.

A seguito di tale tipologia di intervento si ottiene un notevole incremento di capacità resistente per azioni sismiche, con indicatori di rischio per cinematismi di ribaltamento fuori piano superiori ad uno (c.f.r. Report). Va tuttavia precisato che le opere di consolidamento previste in corrispondenza della cinta muraria, sono le medesime per entrambe le ipotesi di intervento (tradizionale o di isolamento alla base) e necessarie in primo luogo per sanare i difetti di aggregazione (doppio paramento) evidenziati dal danno sismico.

Report Cinematismo

Ribaltamento semplice

Il cinematismo presenta un asse di rotazione

Dati generali

V	H	Z	T1	γ	FC	SLD
(m ³)	(m)	(m)	(sec)			
226.400	10.500	0.000	0.292	1.200	1.200	

V = volume dei corpi partecipanti al meccanismo
H = altezza della struttura rispetto alla fondazione
Z = altezza rispetto alla fondazione del baricentro delle linee di vincolo tra i corpi del meccanismo ed il resto della struttura
T1 = primo periodo di vibrazione
 γ = Coefficiente di partecipazione modale
FC = fattore di confidenza
SLD = X indica che è richiesta la verifica di sicurezza per SLD

Asse di rotazione

Coord. punto iniziale (m)	Coord. punto finale (m)	Arretr.	K	N	fd	a
X	Y	Z	X	Y	Z	(m)
8.253	4.667	0.000	8.253	14.667	0.000	0.000
						0.000
						4647.60
						2.188
						10.000

n. = numero consecutivo dell'asse di rotazione

X,Y,Z = coordinate dei punti iniziale e finale dell'asse di rotazione (considerando l'eventuale arretramento)

Carichi

n.	tipologia	Punto di applicazione (m)			Carico permanente G (kN)			Carico variabile Q (kN)			ψ2
		X	Y	Z	GX	GY	GZ	QX	QY	QZ	
1	peso proprio	7.288	9.667	8.150	0.00	0.00	-1667.25	0.00	0.00	0.00	0.30
2	peso proprio	7.090	9.667	2.950	0.00	0.00	-2634.35	0.00	0.00	0.00	0.30
3	generico	5.903	9.667	0.000	0.00	0.00	-346.00	0.00	0.00	0.00	0.30

n. = numero consecutivo del carico

tipologia: peso proprio, da solaio, catena o generico

X,Y,Z = coordinate del punto di applicazione del carico nel sistema di riferimento globale XYZ

GX,GY,GZ, QX,QY,QZ = componenti del carico nel sistema XYZ

ψ_2 = coefficiente di combinazione per il carico variabile (Tab.2.5.i), il valore di ψ_2

(per carichi da solaio con più variabili aventi diversi coefficienti di combinazione,

mostrato in tabella è pari alla media pesata: $P=G+\psi_2Q$, con G e Q carichi totali del solaio)

Descrizione parametri di intervento

GZ = -346 (kN): azione stabilizzante di trazione dovuta ai trefoli del sistema RETICOLA PLUS che si oppongono al ribaltamento. Nel calcolo si è ipotizzata la presenza di un "TREFOLO INOX 5mm" ogni 30cm.

Forze, spostamenti, lavoro

n.	Carico totale G+ψ*2Q (kN)			Forza inerziale(kN)			Spostam.virtuali (mm)			Lavoro virtuale (kN*mm)		
	PX	PY	PZ	EX	EY	EZ	δX	δY	δZ	L1	L2	L3
1	0.00	0.00	-1667.25	1667.25	0.00	0.00	8.150	0.000	0.961	-1602.519	13588.890	0.000
2	0.00	0.00	-2634.35	2634.35	0.00	0.00	2.951	0.000	1.162	-3060.521	7772.863	0.000
3	0.00	0.00	-346.00	346.00	0.00	0.00	0.001	0.000	2.350	-813.100	0.407	0.000

n. = numero consecutivo del carico

PX,PY,PZ = componenti del carico totale $G+\psi_2Q$ nel sistema XYZ

EX,EY = componenti orizzontali della forza inerziale corrispondente al carico

EZ = componente verticale della forza inerziale corrispondente al carico

$\delta X,\delta Y,\delta Z$ = spostamenti virtuali del punto di applicazione del carico nel sistema XYZ

(angolo di rotazione virtuale intorno all'asse di rotazione pari a 1 mrad)

L1 = lavoro virtuale delle forze statiche:

$$L1=\sum(n)[Pi*\delta i]$$

L2 = lavoro virtuale delle forze inerziali (sismiche) orizzontali: $L2=\sum(n)[EXi*\delta Xi + EYi*\delta Yi]$

L3 = lavoro virtuale delle forze inerziali (sismiche) verticali: $L3=\sum(n)[EZi*\delta Zi]$

Moltiplicatore di collasso, Massa partecipante, Accelerazione di attivazione del meccanismo

α_0	M*	e*	a0*
	(kgm)		(g)
0.256	348072	0.734	0.291

α_0 = moltiplicatore di collasso

M* = massa partecipante

e* = frazione di massa partecipante

a0* = accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo

Verifiche di sicurezza: valore obiettivo di $\zeta,E = 0.600$

SLV: Verifiche di sicurezza

a1*	a2*	a*	PGA	TR	VN	PGA,CLV	TR,CLV
(g)	(g)	(g)	CLV	CLV	CLV	/PGA,DLV	/TR,DLV
0.285	0.000	0.285	0.582	990	52	1.021	1.043

a1* = accelerazione spettrale richiesta su sistema rigido

a2* = accelerazione spettrale richiesta su sistema deformabile

PGA,CLV = capacità in termini di PGA per SLV

TR,CLV = capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV

VN,CLV = capacità in termini di Vita Nominale per SLV

PGA,CLV / PGA,DLV = ζ,E,SLV,PGA = indicatore di Rischio Sismico in termini di PGA per SLV

TR,CLV / TR,DLV = ζ,E,SLV,TR = indicatore di Rischio Sismico in termini di periodo di ritorno TR per SLV