

Comune di PERUGIA

Studio di fattibilità tecnica ed economica per il miglioramento-adequamento sismico ed efficientamento energetico dell'edificio sede regionale di Perugia Piazza Partigiani.

POR FESR 2014-2020 UMBRIA. Asse 8 "Prevenzione sismica e sostegno alla ripresa dei territori colpiti dal terremoto" del POR FESR UMBRIA 2014 - 2020. Azioni 8.3.1 e 8.4.1.
[CIG Z5C250ED98]

Committente

REGIONE UMBRIA

**Servizio Opere Pubbliche:
Programmazione, progettazione e attuazione.
Monitoraggio e sicurezza
P.zza Partigiani, 1 - 06121 PERUGIA**

Tecnico Incaricato

Riccardo VETTURINI - ingegnere

R.U.P. Regione Umbria

Paolo FELICI - ingegnere

Titolo

PROGETTO STRUTTURALE

Elaborato

RELAZIONE TECNICA PRELIMINARE

Elaborato

RT

File:

Rif. 1831 Data 21.DIC.2018

Scala

Rev.

01	_____	03	_____	05	_____
02	_____	04	_____	06	_____

RELAZIONE TECNICA

1. Premessa

La presente relazione si riferisce al studio di fattibilità tecnica ed economica per il miglioramento sismico-**adeguamento sismico ed efficientemente energetico** dell'edificio sede regionale di Perugia Piazza Partigiani. CIG Z5C250ED98 inquadrato "Prevenzione sismica e sostegno alla ripresa dei territori colpiti dal terremoto" POR FESR 2014-2020 UMBRIA Azioni 8.3.1 e 8.4.1.

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, intendo in termini costi globali anche i costi indiretti (trasferimento attività ed interruzione delle stesse) e costi di manutenzione. Come illustrato nel prosieguo la soluzione individuata rappresenta la coniugazione di diversi obiettivi 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.

3. Descrizione generale

Il cosiddetto "**Palazzo della Regione**" di Piazza Partigiani in Perugia è una costruzione risalente all'immediato dopoguerra.



Palazzo della Regione di Piazza Partigiani

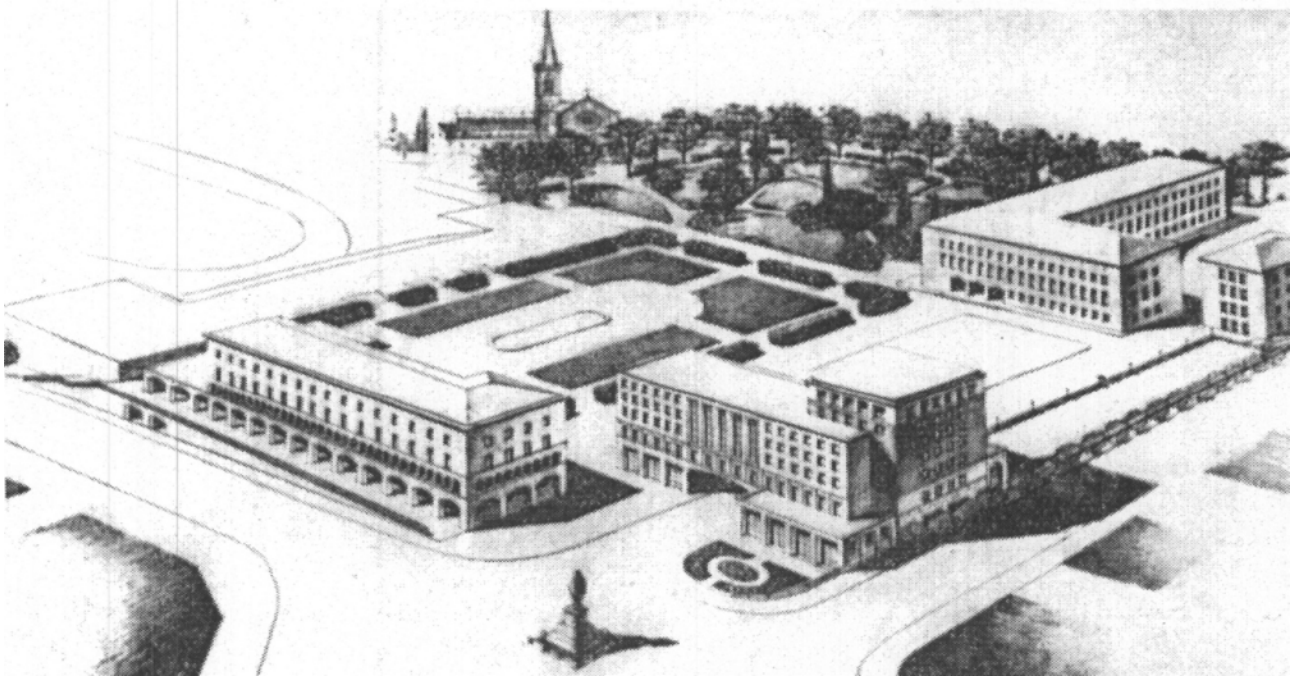
ing. Riccardo Vetturini

studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

Realizzato tra il 1949 e il 1951 dalla ditta "S.I.C.E.A." di Roma, l'edificio è concepito originariamente come sede del Provveditorato Regionale alle Opere Pubbliche per l'Umbria e dell'Ufficio del Genio Civile di Perugia. Il progetto è firmato da Annibale Vitellozzi, un professionista romano di chiara fama che, pur ricoprendo dal 1946 al 1951 il ruolo di funzionario tecnico del Ministero dei Lavori Pubblici, è uno dei principali artefici della ricostruzione postbellica della capitale, dove realizza opere di primo piano quali il fabbricato viaggiatori della stazione di Roma Termini, con Eugenio Montuori, e il completamento dello stadio Olimpico di Roma.



[Dino Lilli], Progetto di sistemazione della parte nord della ex piazza d'Armi di Perugia, ca.1957, prospettiva, Coppa 1960, p. 67



Perugia, palazzo della Regione Umbria in piazza Partigiani, ca. 1955, Archivio privato

ing. Riccardo Vetturini

studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543



Perugia, palazzo della Regione Umbria in piazza Partigiani, ca. 1955, Archivio privato

Il Palazzo è un complesso architettonico con pianta ad “L” con dimensioni iscritte in un rettangolo lato circa 46x76m. L’edificio è stato edificato con un livello seminterrato, tre livelli fuori terra, compreso il piano terra e poi successivamente sopraelevato nel 1984 di un piano sottotetto, per aumentare la capienza di uffici. Attualmente l’edificio è in parte sede della Regione dell’Umbria e degli uffici del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti sede di Perugia.

L’edificio è prevalentemente in struttura muraria con spessori delle pareti prevalentemente di circa 55cm caratterizzati per i prospetti esterni da una cortina lapidea che è solo un rivestimento ornamentale. Il livello seminterrato occupa una superficie ridotta rispetto l’elevato ed una parte, per consentire l’uso ad autorimessa è stata realizzata con telai in cemento armato.

Le pareti murarie sono realizzate con una doppia cortina in mattoni pieni ed un nucleo in pietrame allettato con malta cementizia. All’esterno la cortina in pietra è murata al paramento in laterizio. Gli impalcati di piano sono tutti in latero cemento (serie SAP) impostati sulle murature con un cordolo in cemento armato di perimetro di ciascun campo di solaio.

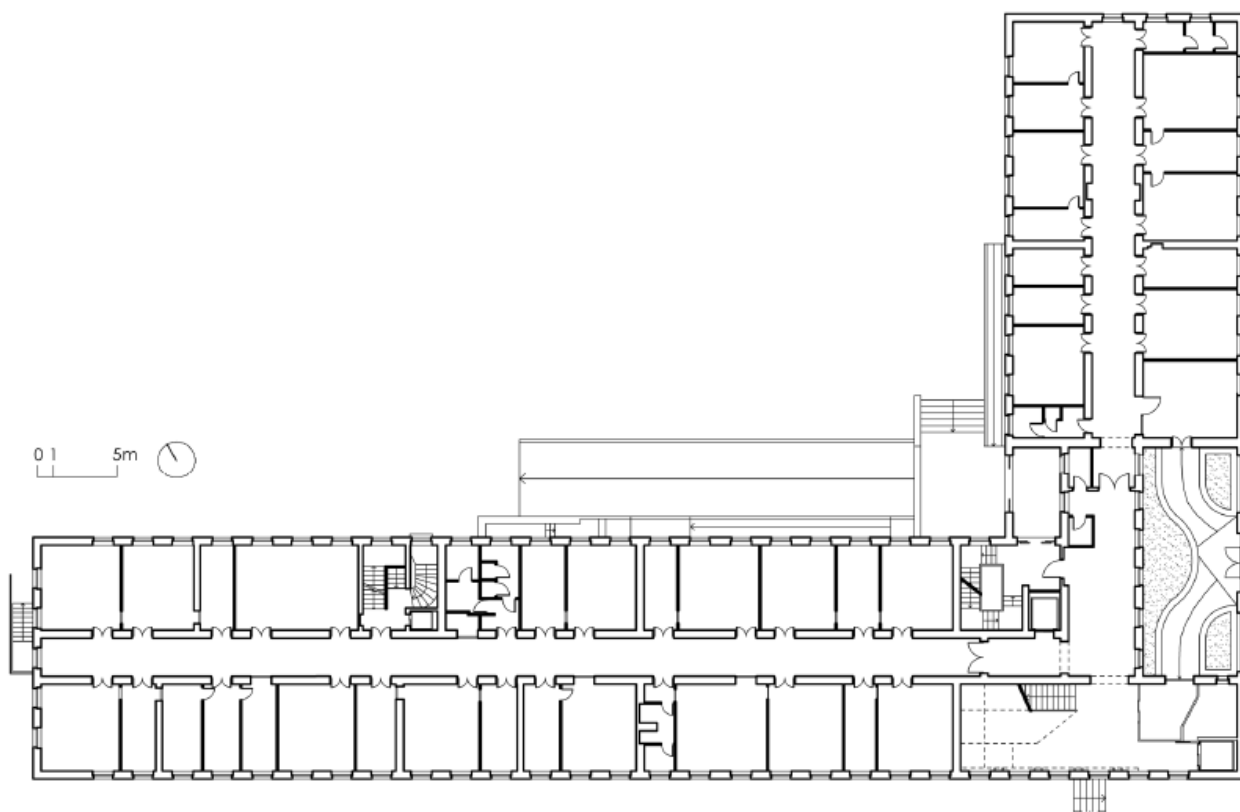
L’edificio è stato sopraelevato con una struttura a telai piani fra loro paralleli in cemento armato e attualmente il sottotetto ed ultimo livello ospita anch’esso uffici.

ing. Riccardo Vetturini

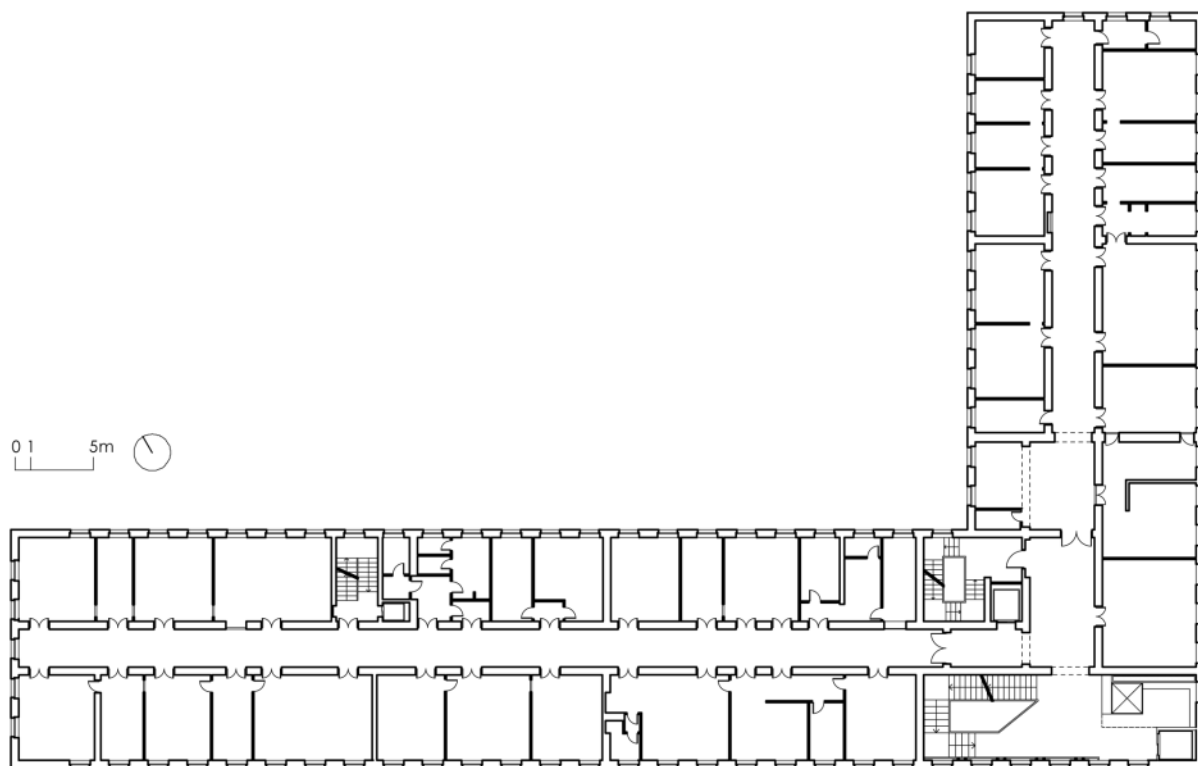
studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543



Piano terra del Palazzo della Regione



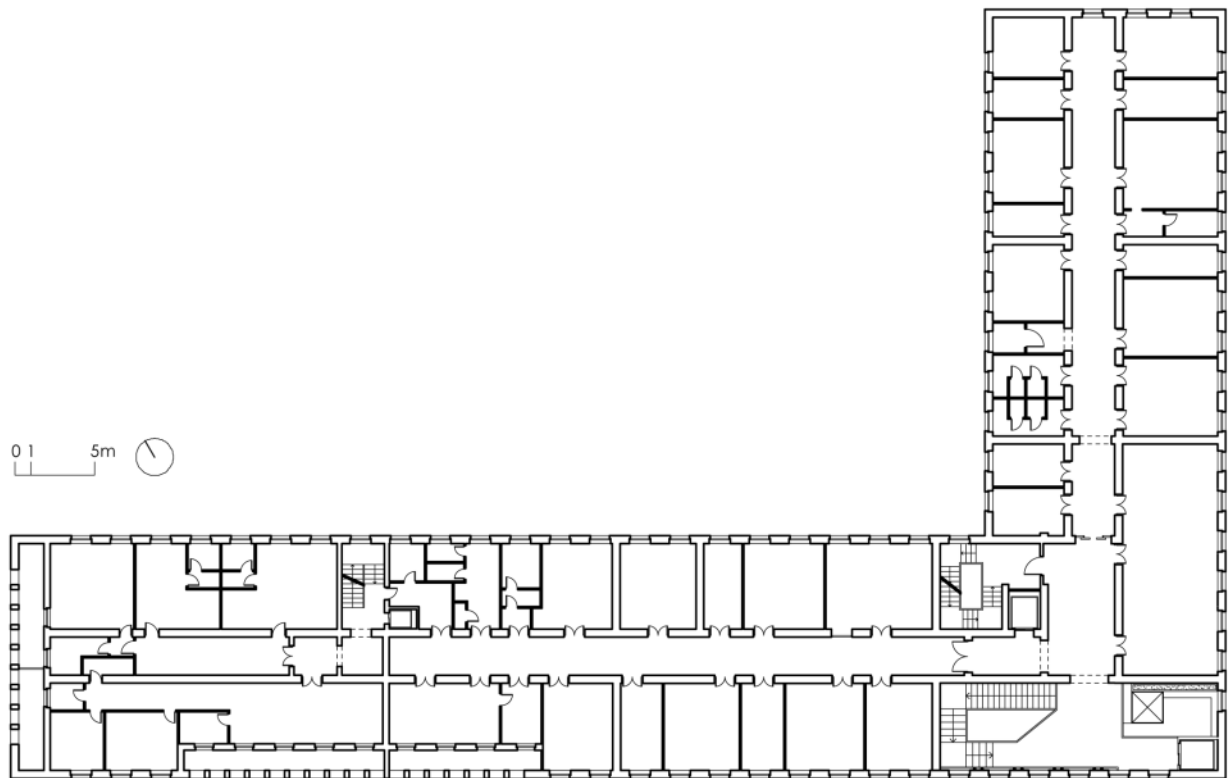
Piano primo del Palazzo della Regione

ing. Riccardo Vetturini

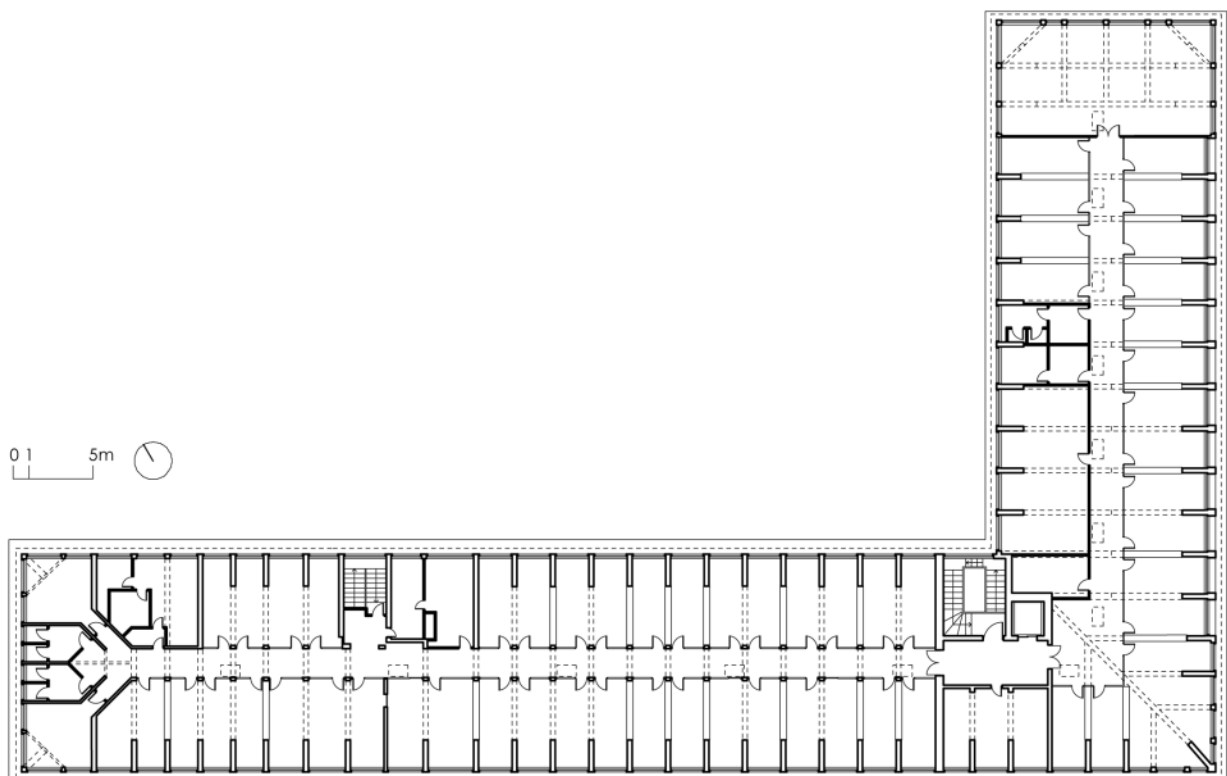
studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543



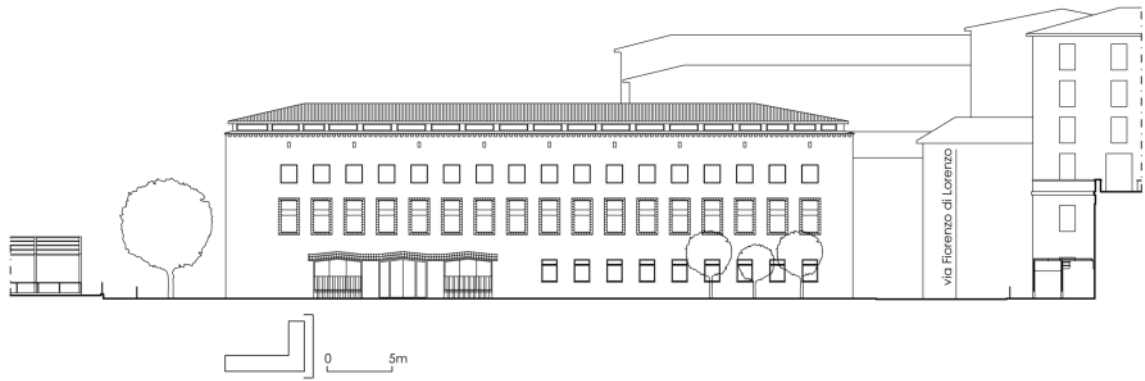
Piano secondo del Palazzo della Regione



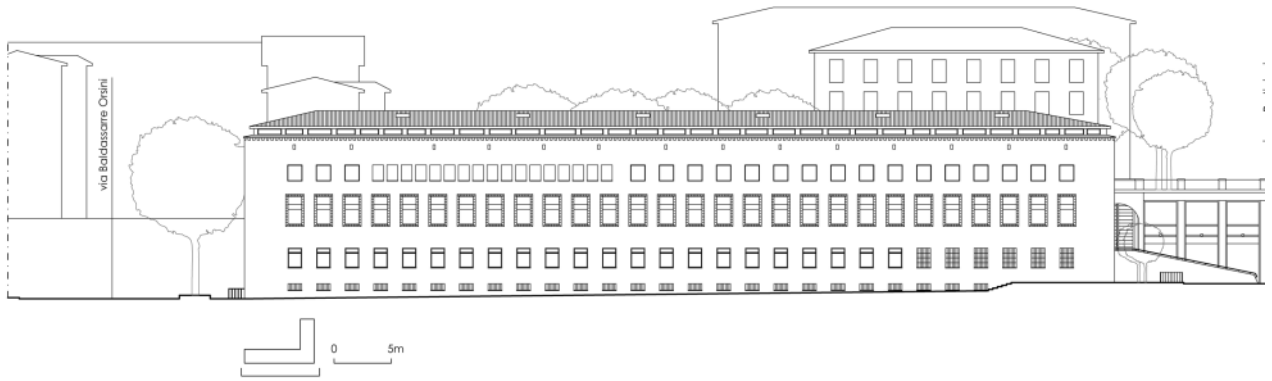
Piano terzo di sottotetto del Palazzo della Regione

ing. Riccardo Vetturini
studio di ingegneria delle strutture

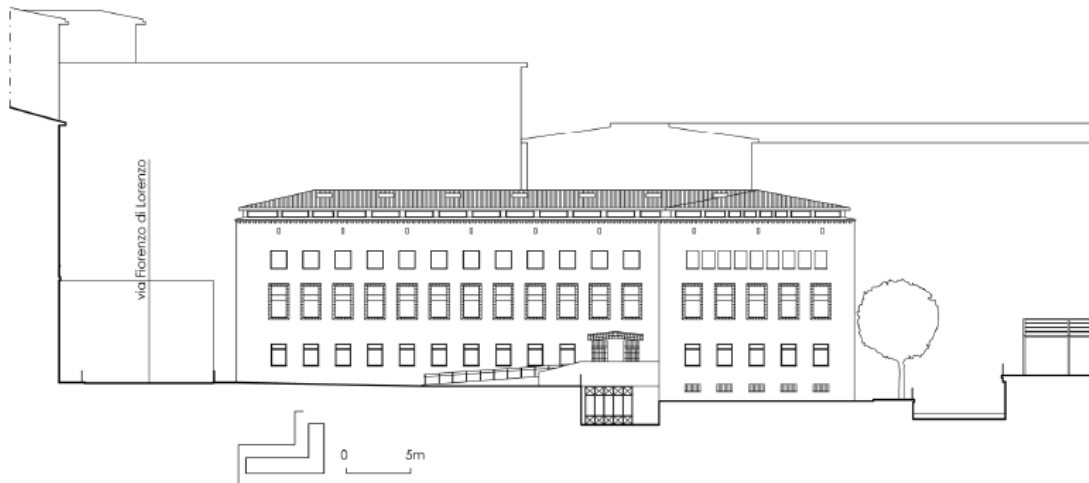
corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)
tel. +39 0742.350701 - cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543



Prospetto di Ingresso su Piazza Partigiani del Palazzo della Regione



Prospetto di Valle del Palazzo della Regione



Prospetto di monte del Palazzo della Regione

ing. Riccardo Vetturini
studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

tel. +39 0742.350701 - cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543



Sezione del Palazzo della Regione

Sulla base dei sopralluoghi effettuati il complesso appare privo di lesioni e/o segnali di dissesti, assenti dunque palesi patologie strutturali in atto. Lo stato di manutenzione e la sua funzionalità sono di buon livello ed attualmente risulta totalmente impiegato alla sua destinazione di uffici della Regione e del Ministero.

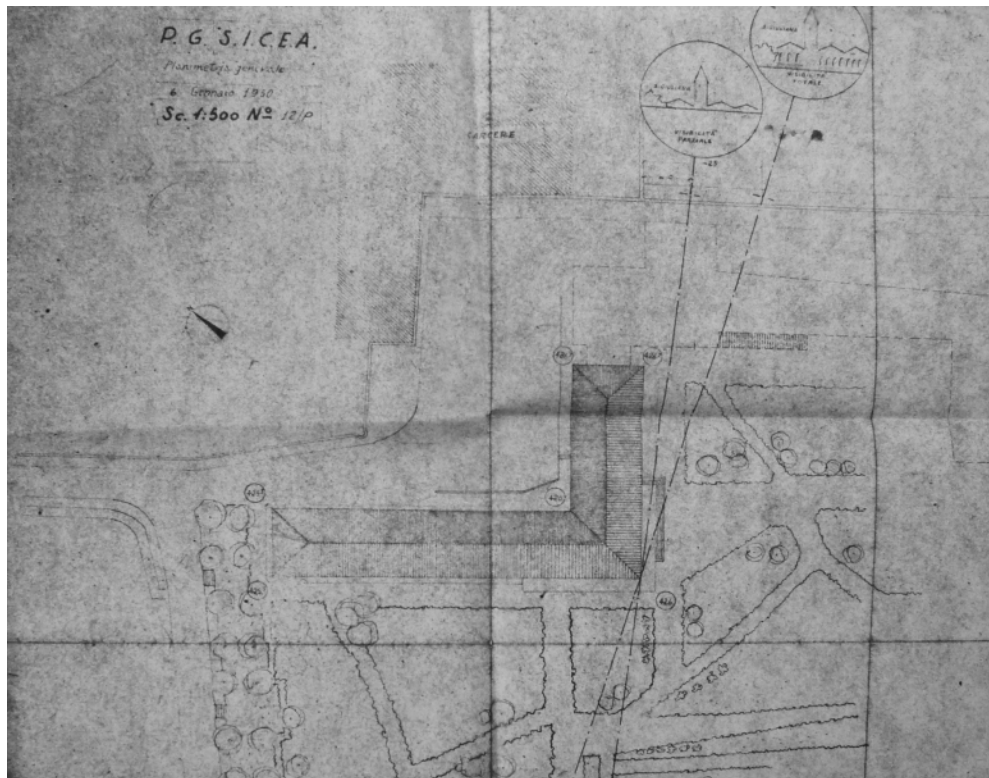
Per la sua destinazione d'uso il complesso è da considerare "edificio strategico" ai sensi del punto 2.4.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 17.01.2018 in quanto "Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità".

L'edificio sebbene sia ben concepito dal punto di vista *statico* non è ovviamente stato costruito con gli attuali criteri antisismici. In primo luogo la sagoma ad "L" per altro di così grande dimensione espone il complesso ad effetti torsionali importanti. L'asimmetria costruttiva del livello seminterrato, in parte caratterizzato da un terrapieno e dalla presenza di telai in c.a. gettato in opera, è un altro elemento di vulnerabilità sismica.



ing. Riccardo Vetturini
studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)
tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543



P.G. S.I.C.E.A. Elaborati di progetto del palazzo del Provveditorato alle OO.PP. di Perugia, planimetria, 1950, ASPg, Archivio BAAAS
Perugia, b. 128, f. 7

La concezione strutturale del fabbricato è ben evidente sia di semplice ed efficace concezione statica: due pareti longitudinali di perimetro esterno ed all'interno due pareti longitudinali che fungono da "rompitratte" dei solai di piano ed al contempo rappresentano il corridoio centrale di distribuzione funzionale ai vari uffici disposti sulle pareti ed affacci esterni. Tale concezione si ripete per entrambe le braccia della "L" e per tutti i piani, salvo alcune singolarità in corrispondenza del piano seminterrato dove è presente l'autorimessa e una porzione cieca completamente interrata. Tale concezione è carente per quanto riguarda la presenza di pareti trasversali alla facciata (pareti "longitudinali") che raggiungono delle luci libere (prive di setti trasversali) fino a circa 26m. Le pareti di facciata sono inoltre caratterizzate da una scansione di aperture piuttosto fitta con rapporto tra pieni e vuoti prossima all'eguaglianza. In altri termini le pareti di facciata sono molto più prossime a "colonne" murarie piuttosto che "setti" in muratura.

Pur non essendo argomento della presente la valutazione della vulnerabilità sismica, tuttavia, attraverso un'analisi speditiva è possibile stimare il valore dell'indice di Rischio certamente **non superiore al 40%**.

L'edificio essendo un'opera di proprietà pubblica con un'epoca di costruzione superiore ai 50 anni è da considerarsi vincolato ai sensi del D.Lgs 42/2004.

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

L’obiettivo che ci si propone è il conseguimento di **un 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. 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**. Occorre inoltre tenere conto che si tratta di edificio che **ospita attività amministrative ed istituzionali la cui interruzione comporta dei costi indiretti di notevole impatto funzionale ed economico per l’attività della Regione dell’Umbria e del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti di Perugia**.

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

Un intervento “convenzionale” necessita di un incremento della CAPACITA’ dell’edificio attraverso il rafforzamento e delle murature esistenti, ad esempio, prevedendo opere di iniezioni di calce idraulica combinata all’applicazioni di intonaci armati con fibre di vetro. L’applicazione del rafforzamento con intonaci armati sarebbe tuttavia possibile solo per i maschi murari “interni” all’edificio lasciando tuttavia irrisolta la necessità del rafforzamento delle “colonne” murarie di facciata essendo queste caratterizzate dal paramento lapideo di ornamento. L’intervento di rafforzamento delle pareti esistenti dovrebbe dunque essere accompagnato con l’inserimento di maschi murari ad incrementare la presenza di setti di controvento sismo resistenti in direzione trasversale a ciascun braccio della “L” del complesso architettonico. Ciò comporta ovviamente la necessità di inserimento di cordolature di piano in corrispondenza dei nuovi setti murari e delle nuove fondazioni in asse a detti “nuovi setti”.

In tale ipotesi di rafforzamento, di incremento della CAPACITA’, è evidente l’impatto sulle finiture ed impianti presenti e si renderebbe inoltre necessario, non solo l’opera strutturale di rafforzamento e miglioramento sismico, ma anche il ripristino di opere di finitura ed impianti che verrebbero rimossi in conseguenza all’intervento strutturale stesso.

E’ immediato evidenziare l’impatto sulla continuità della funzionalità dell’edificio che dovrebbe essere ovviamente sospesa durante l’intera durata del corso dei lavori. Le attività ivi presenti dovrebbero essere quindi sospese e trasferite, salvo poi, a lavori ultimati, ricollocate nuovamente nel complesso ristrutturato.

Tenuto conto delle caratteristiche di pregio dell’edificio tutelato, delle funzioni ivi presenti, questo approccio “convenzionale” si dimostra poco convincente in quanto **comporterebbe una forte manomissione generale**

ing. Riccardo Vetturini

studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

dell'edificio con l'inserimento di nuovi elementi strutturali. Si propone di modificare radicalmente l'approccio, invertendo i termini del problema, non più ricercare 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 miglioramento sismico *convenzionale* tende ad operare nella direzione di incremento della capacità operando con interventi di rinforzo tendenzialmente 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

ing. Riccardo Vetturini

studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

mediante l'isolamento alla base del fabbricato. Con tale strategia dell'isolamento sismico alla base **le opere di adeguamento sismico, non più di miglioramento, intervengono in maniera incisiva solo al di sotto del piano di calpestio del piano terra/rialzato, concentrando quasi esclusivamente alle fondazioni l'invasività dell'opera, salvo poi ricondurre l'intervento di recupero nella parte in elevazione ad una "semplice" opera di eventuale efficientamento energetico ed adeguamento impiantistico.**

L'abbattimento drastico dell'accelerazione alla base dell'edificio attraverso l'isolamento consente pertanto di ridurre al minimo gli interventi di rafforzamento nella parte di elevazione e conseguentemente limitare l'invasività dell'intervento stesso alla parte di minor utilizzo del fabbricato in oggetto, ovvero il piano seminterrato e le fondazioni.

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 verifici 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 la sua funzionalità ed efficienza e dovrebbe essere sottoposto 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 l'isolamento, 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 **rimane in piena efficienza e totalmente funzionale con un drastico abbattimento dei costi.**

5. Strategia dell'isolamento

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.

ing. Riccardo Vetturini

studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

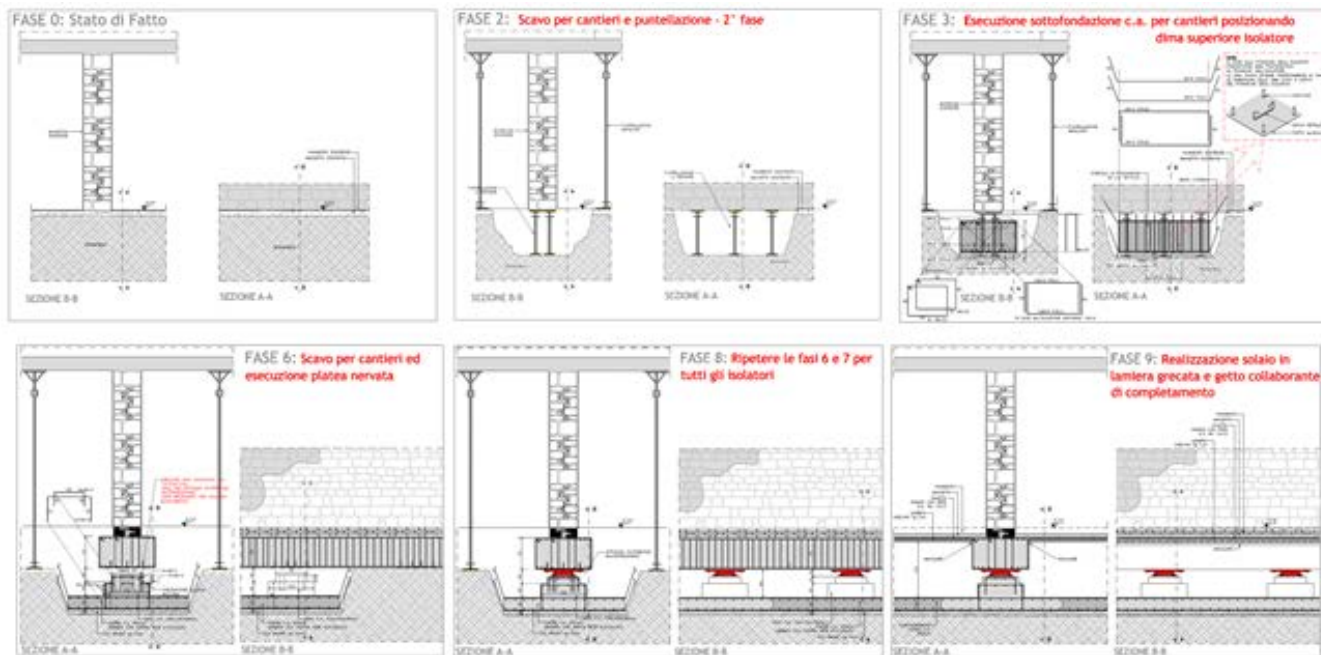
6. Il cantiere e le modalità esecutive

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.

Le fasi esecutive prevedono in prima istanza la separazione del corpo di fabbrica dal terreno circostante. Si rende necessario predisporre una paratia di pali di perimetro che consenta lo scavo e la realizzazione di un 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. Si evidenzia che l'edificio attualmente già dispone per gran parte del perimetro una intercapedine che dovrà essere ovviamente approfondita ed adeguata alle nuove esigenze.

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 edificato, 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.

Riguardo la porzione di edificio priva dei locali interrati il grado di invasività è maggiore dovendo procedere alla sottomurazione delle pareti esistenti fino alla medesima quota del resto del Palazzo. Ciò significa che per questa ala del Palazzo al piano terra le attività dovranno essere sospese per la realizzazione delle opere di sottomurazione, di isolamento e di ripristino del solaio di calpestio.



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

ing. Riccardo Vetturini

studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

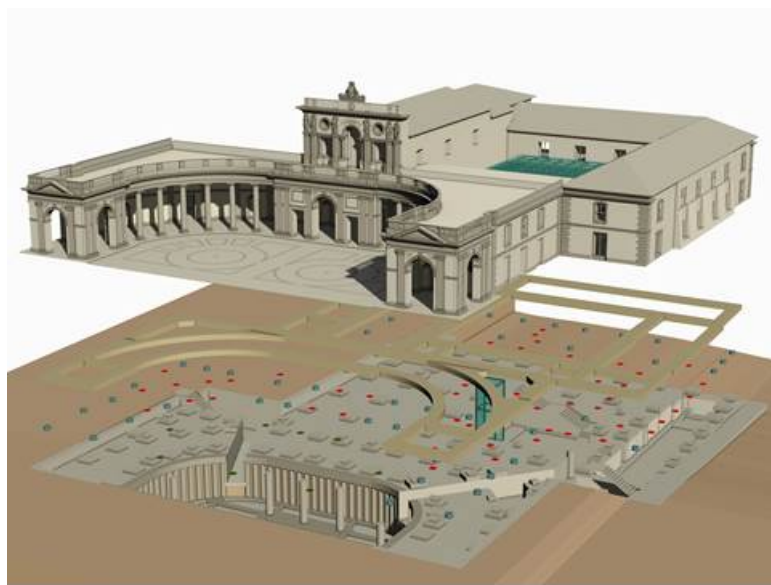
tel. +39 0742.350701 - cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

Il sistema di isolamento adottato prevede per l'edificio Palazzo della Regione n. 93 dispositivi di tipo elastomerico, cui si affiancano 82 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.

E' importante sottolineare come sia possibile coniugare le lavorazioni di cantiere con la presenza delle attività presenti, in altri termini è possibile eseguire l'intervento consentendo l'operatività del complesso, ad eccezione ovviamente del piano seminterrato, e di parte del piano terra durante i lavori di adeguamento sismico.

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 sedi 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



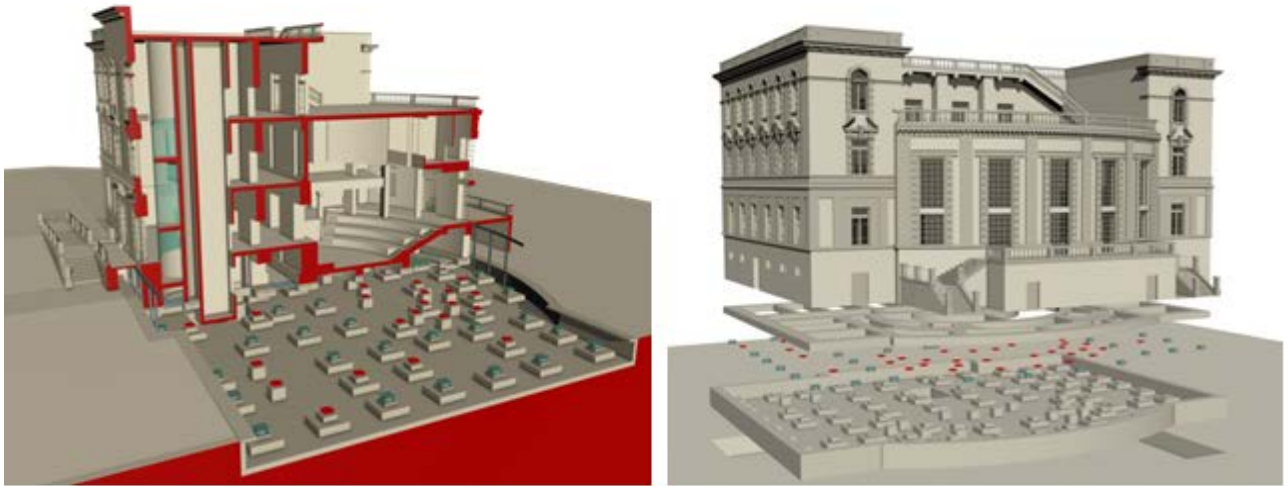
Palazzo dell'Emiciclo a L'Aquila sede del Consiglio Regionale dell'Abruzzo – adeguato sismicamente mediante l'isolamento alla base



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

ing. Riccardo Vetturini
studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)
tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543



[Ex-GIL] Spaccato ed esploso assonometrico

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

ing. Riccardo Vetturini

studio di ingegneria delle strutture

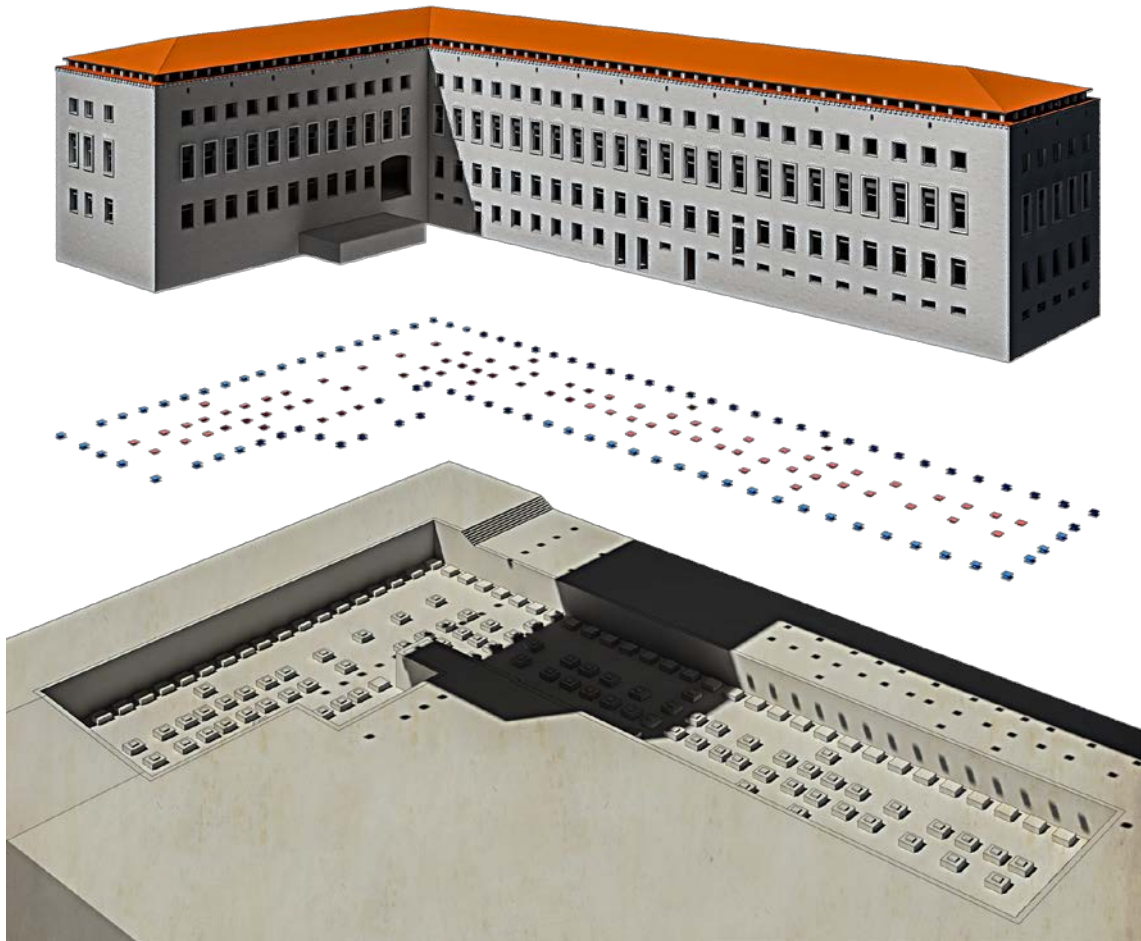
corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

7. Pre-dimensionamento dell'intervento di isolamento

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 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 Regionali e del Ministero.

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 sovrastuttura 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).



ing. Riccardo Vetturini

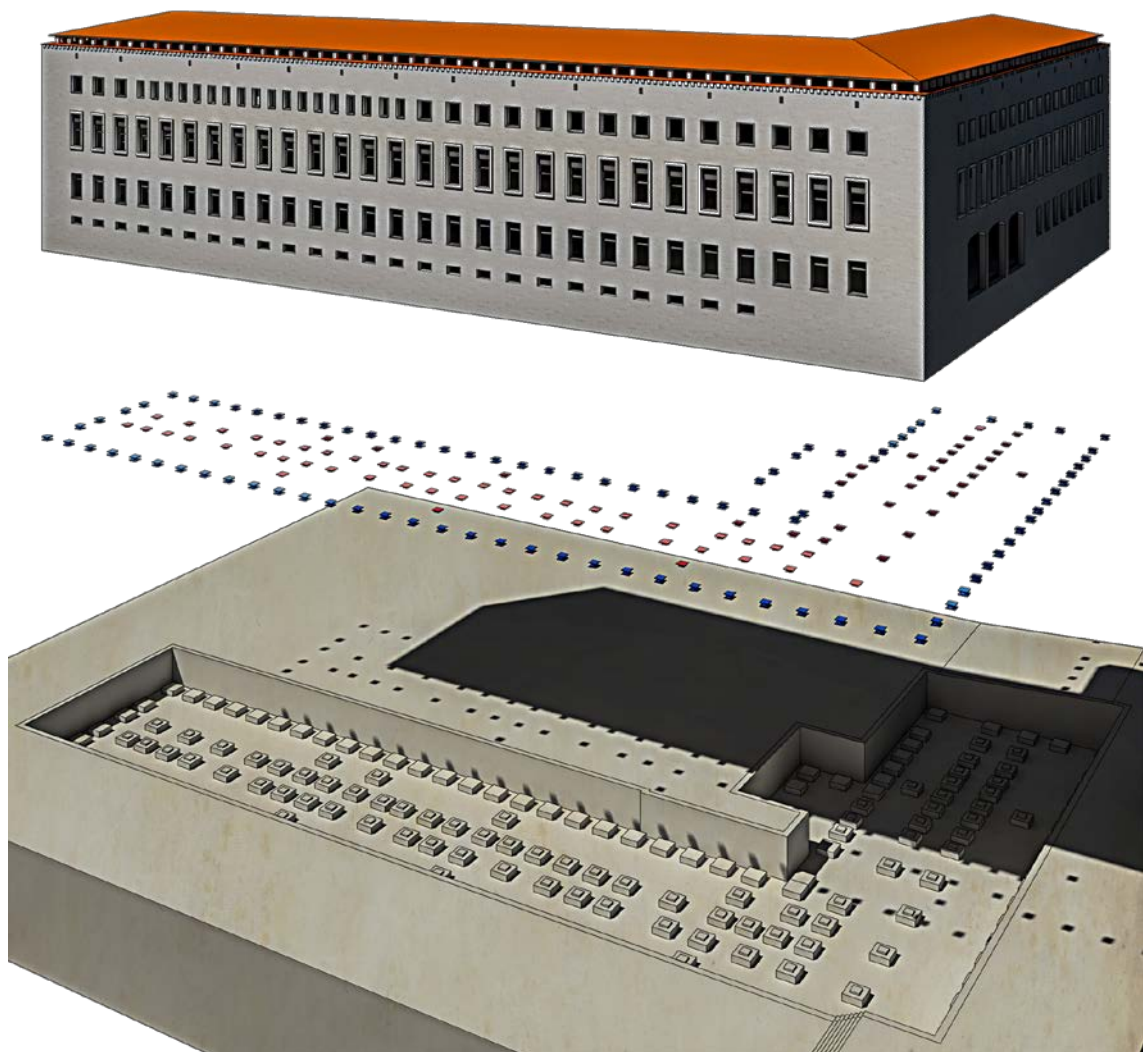
studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

I benefici derivanti dall'isolamento sismico sono molteplici. La riduzione delle accelerazioni sulla struttura comporta 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 (travi e pilastri) 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.



L'adozione di un sistema di isolamento sismico, ovviamente, comporta un incremento dei costi in fondazione che, con un'oculata progettazione, può essere bilanciato da una riduzione dei costi delle strutture in elevazione. Ovviamente la convenienza dipende da diversi parametri, quali:

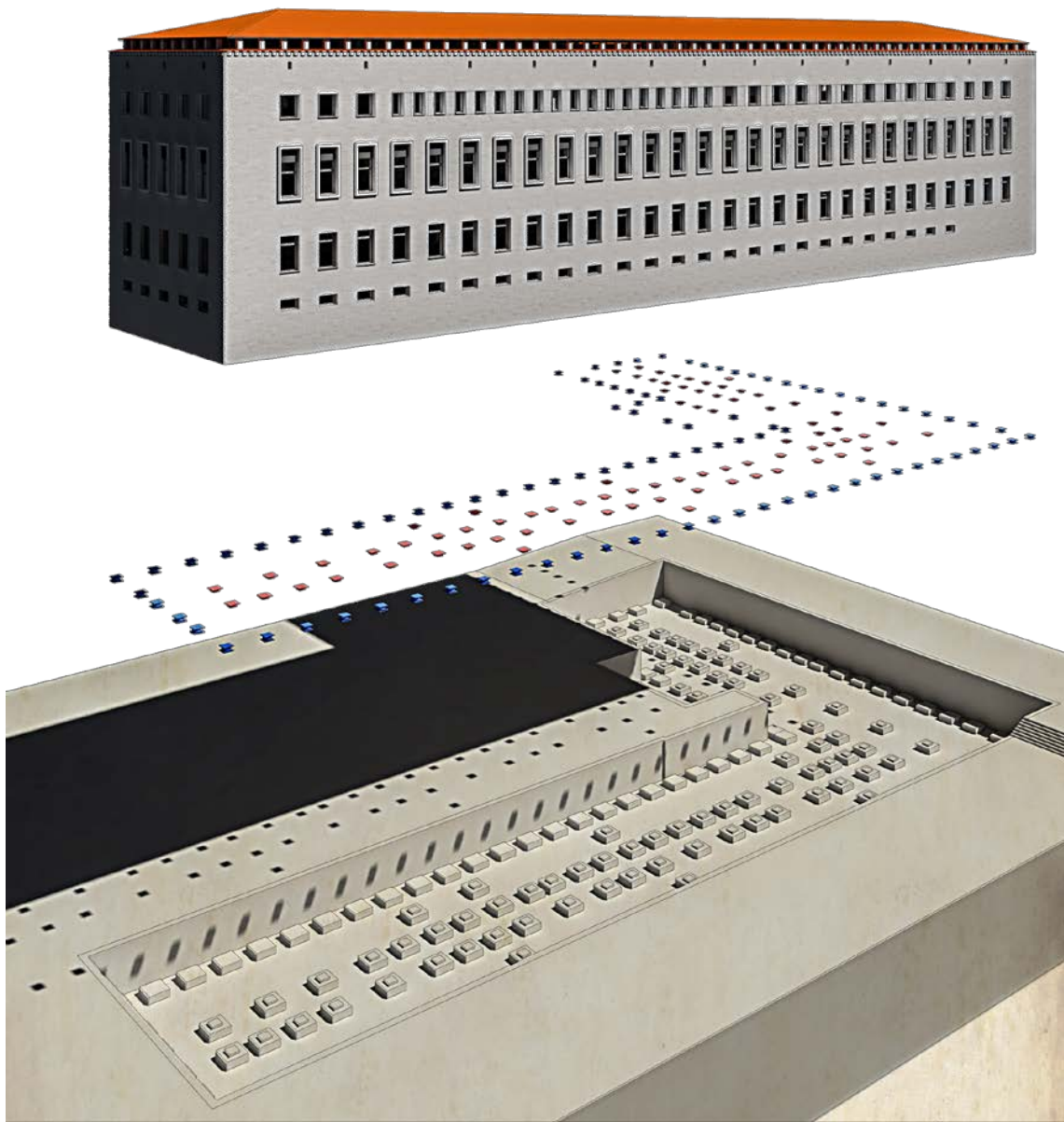
ing. Riccardo Vetturini
studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)
tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

- la pericolosità sismica del sito: il vantaggio è maggiore per le zone ad elevata sismicità;
- le caratteristiche dell'azione sismica al sito: la possibilità di abbattimento delle accelerazioni
- dipende dal contenuto in frequenza;
- le caratteristiche geometriche dell'edificio, ossia dimensione in pianta, numero di piani e regolarità in pianta e in altezza.

Ad esempio, il numero di piani può risultare sfavorevole se troppo piccolo o troppo grande: nel primo caso il costo dei dispositivi ha un'incidenza notevole sul costo totale della struttura; nel secondo, la struttura a base fissa potrebbe avere un periodo di vibrazione elevato, tale da non consentire agevolmente il disaccoppiamento tra moto del terreno e della struttura. Il Palazzo della Regione si colloca nella situazione ottimale con un numero di piani sopra il piano di isolamento pari a 4 livelli.

La fattibilità tecnica, ma anche economica, è legata alla configurazione dell'edificio e del piano di isolamento nonché alla presenza di edifici in adiacenza, in relazione alla realizzazione di giunti di separazione. In questo caso particolare sussistono tutte le condizioni per poter adottare tale strategia.



ing. Riccardo Vetturini

studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

Il vantaggio dell'isolamento è maggiore:

- 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 regione rientra ovviamente in questa prima casistica;
- negli edifici irregolari in pianta e/o in elevazione; l'irregolarità planimetrica della forma ad "L" con la strategia dell'isolamento viene risolta.

Infine, la convenienza dell'isolamento sismico appare ovvia 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 della Regione dell'Umbria e del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti, edificio strategico, l'adozione dell'isolamento sismico appare la soluzione più opportuna se non l'unica, sia dal punto di vista della sicurezza sia dal punto di vista economico in considerazione della necessità di ridurre le azioni orizzontali ed ottenere un adeguamento sismico

8. Le soluzioni alternative

Le scelte progettuali preliminari espone discendono da una serie di valutazioni che hanno analizzato soluzioni alternative evidenziando i vantaggi ed eventuali controindicazioni. Come già precisato nella descrizione degli interventi ed in premessa gli obiettivi da cogliere la strategia dell'isolamento sismico è la scelta strutturale più efficace per incrementare la sicurezza dell'immobile confrontandosi in primis con la natura architettonica di pregio del bene ed in seconda battuta con la funzionalità delle attività pubbliche in esercizio nell'immobile stesso.

Fatte salve dunque le ragioni della sicurezza le soluzioni proposte si pongono come obiettivo la salvaguardia del monumento e il mantenimento delle attività ovvero una limitata interferenza con quest'ultime durante il corso dei lavori in ragione di un contenimento di costi e rischi.

Si è analizzato che una proposta di intervento *convenzionale*, stante le criticità e le vulnerabilità costruttive e geometriche dell'edificio, dovrebbe prevedere opere fortemente invasive sulla operatività del fabbricato, una cospicua opera di demolizione e ripristino di opere di finiture ed impianti ora efficienti ma dovrebbero essere rimossi e/o sostituiti conseguentemente alle opere di rafforzamento strutturale.

Viceversa un intervento di isolamento sismico alla base consente:

- di coniugare le ragioni della sicurezza con la conservazione funzionale ed architettonica del bene, nessuna manomissione sull'elevato;

ing. Riccardo Vetturini

studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

- il raggiungimento di un livello di sicurezza pari al cosiddetto 100% della sicurezza prevista per una nuova costruzione, adeguamento sismico;
- in caso di evento sismico di forte intensità (SLV) l'edificio rimanendo in campo elastico non si danneggia nelle sue parti strutturali e consente la piena operatività, aspetto fondamentale quest'ultimo per una sede strategica che, a seguito di un evento sismico ospitare e coordinare le attività di gestione di una crisi che ha colpito il territorio;
- drastico abbattimento dei costi di intervento, a differenza dell'intervento convenzionale si mantengono finiture ed impianti presenti ai piani soprastanti il piano di isolamento;
- drastico abbattimento dei costi indiretti: essendo possibile coniugare l'intervento di isolamento alla base consentendo l'operatività del complesso, ad eccezione ovviamente del piano seminterrato, durante i lavori di adeguamento sismico non sono necessari costi di trasferimento/interruzione dell'attività istituzionale;
- drastico abbattimento dei costi di manutenzione dovuto alla NON necessità di eseguire lavori di riparazione a seguito di eventi sismici anche di severa entità (è "durabilità" anche questa...).

Due soluzioni di strategia di isolamento alla base

Evidenziate le ragioni secondo cui è tecnicamente ed economicamente più vantaggiosa la strategia dell'isolamento il secondo step di analisi è dove individuare il piano di disaccoppiamento tra il terreno e la struttura di elevazione.

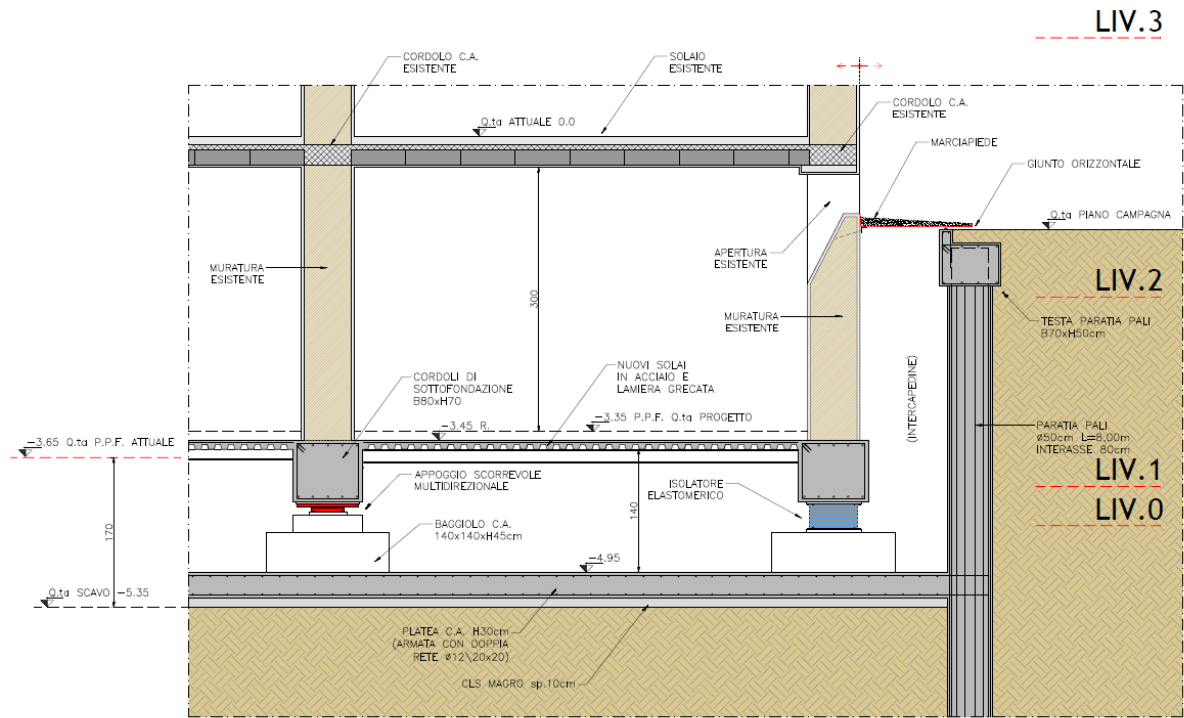
- *Soluzione 1: isolamento alla base al di sotto l'attuale piano di calpestio del piano seminterrato*
- *Soluzione 2: isolamento alla base al di sotto il soffitto del vano interrato*

Oltre alla soluzione prospettata è stata infatti in termini sommari analizzata e formulata la collocazione del piano di isolamento appena al di sotto del solaio esistente di calpestio del piano terra/sopraelevato. Il primo impalcato per gran parte del fabbricato risulta infatti leggermente sopraelevato rispetto il piano stradale e consentirebbe il libero movimento relativo della sovrastruttura rispetto il terreno sottostante e circostante l'edificio stesso.

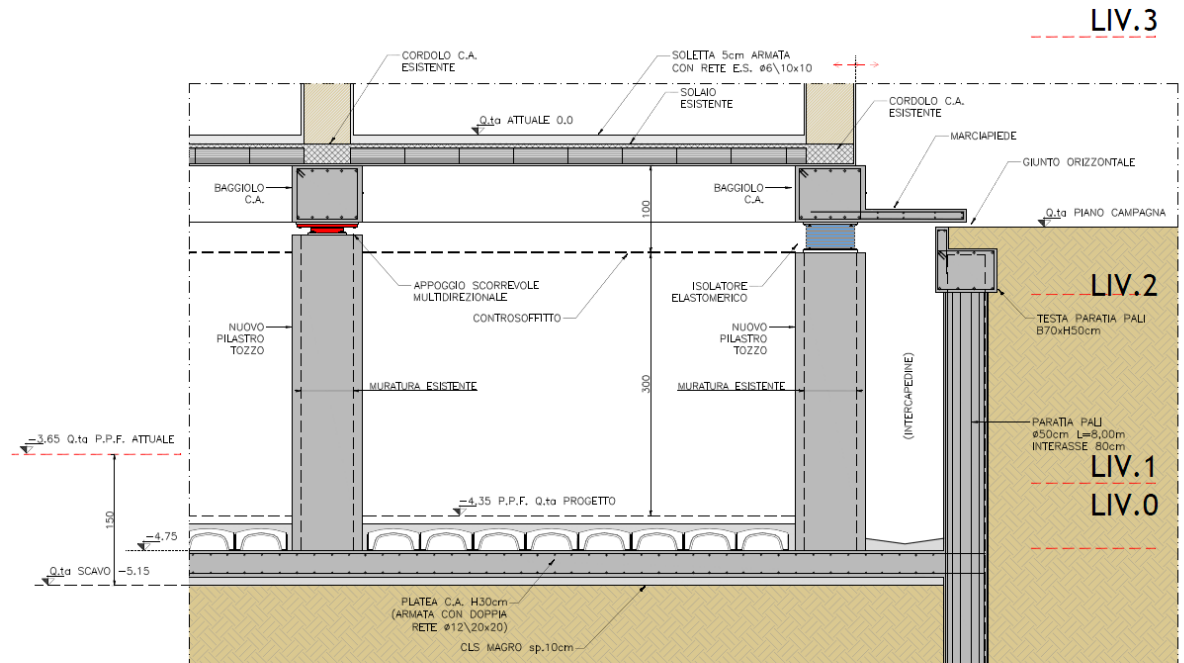
Approfondendo tale "soluzione 2" tuttavia emergono alcune importanti controindicazioni. Al di sotto il piano di impalcato è necessario prevedere un cordolo/trave di sostegno in cemento armato gettato in opera che sia in grado di costituire un appoggio estremamente rigido per i carichi verticali in grado di trasferire il flusso dei carichi verticali della sovrastruttura muraria ai sottostanti appoggi puntuali (isolatori-slitte). Ciò significa che tale cordolo di un'altezza di circa 60-70cm per lo spessore della parete si sovrappone con le porte finestrate presenti lungo i prospetti che produrrebbe un impatto architettonico significativo sia sul piano estetico formale del Palazzo, ma anche e soprattutto funzionale dei vani dell'interrato. Le aperture potrebbero essere aperte solo al di sotto della quota del piano di campagna ma avrebbero l'affaccio solo sull'intercapedine di perimetro e non sull'esterno.

ing. Riccardo Vetturini
studio di ingegneria delle strutture

SOLUZIONE 1



SOLUZIONE 2



ing. Riccardo Vetturini
studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

tel. +39 0742.350701 - cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

Il piano di scorrimento e disaccoppiamento con questa soluzione si troverebbe quindi a circa 1,00m dal soffitto attuale del piano interrato, ciò significa che andrebbe ad interferire con le aperture interne oggi presenti. Dovendo rimanere completamente libero il piano di scorrimento si porrebbe il problema di separazione tra i vari vani presenti al piano interrato che, per altro appartengono a soggetti diversi, Regione e Ministero. Le pareti infatti dovrebbero essere separate (tagliate) in testa per l'inserimento del cordolo, degli isolatori e del giunto orizzontale. Non solo, sarebbe piuttosto articolato e complesso realizzare compartimentazioni adeguate in termini di prevenzione incendi di questi locali. Una soluzione a tale controindicazione che si renderebbe dunque necessaria sarebbe la realizzazione di un controsoffitto di separazione posto a circa 1,0 dal soffitto attuale e contestualmente abbassare l'attuale piano di calpestio dei locali interrati fino a garantire l'altezza minima utile. Si avrebbe in questo modo il locale interrato, non isolato ma solidale al terreno di base e al di sopra di questo un vano tecnico ed ancora più in alto la sovrastruttura isolata alla base.

In questa ipotesi 2 la sottostruttura, che come noto deve essere un piano rigido solidale al terreno, sarebbe realizzata con una soletta/platea di base al di sopra sarebbe presente un solaio aerato tipo sistema iglù/granchio. La base di appoggio degli isolatori sarebbe costituita da pilastri tozzi in cemento armato che rappresenterebbero dei baggioli fondali che, per la loro rigidità potrebbero essere considerati come un "estensione" della fondazione stessa. La realizzazione di tali baggioli comporterebbe ovviamente tagli ed interventi su tutte le murature presenti al piano interrato.

Viceversa la soluzione 1 proposta di inserimento del piano di isolamento al di sotto dell'attuale calpestio del vano interrato, consente di evitare le interferenze estetiche e funzionali evidenziate con la precedente ipotesi 2 di isolamento "in testa" al piano interrato. L'aspetto estetico e formale dell'edificio con la soluzione 1 rimane pressoché inalterato (edificio vincolato ai sensi D.Lgs 42/04) ed i locali interrati manterrebbero l'affaccio attuale all'esterno, le partizioni interne sarebbero garantite e la gestione delle attuali e future partizioni di proprietà sarebbe mantenuta. Inoltre certamente più agevole la gestione delle compartimentazioni anti incendio che si renderebbero necessarie in relazione alla destinazione d'uso dei vani interrati.

In termini economici le due soluzioni sono fra loro paragonabili: infatti sebbene la soluzione 1 proposta, isolamento al di sotto la fondazione attuale, comporta rispetto l'altra soluzione 2, isolamento in testa al locale interrato, la realizzazione di un solaio in acciaio in lamiera grecata in più e una maggiore profondità di scavo, avremmo tuttavia con la soluzione 2 maggiori oneri e lavorazioni per le murature del seminterrato, per la realizzazione dei baggioli (pilastri tozzi) di appoggio degli isolatori e per la separazione dal soffitto. A queste opere si aggiungerebbero le nuove aperture e ed il costo aggiuntivo del solaio aerato di base e la lavorazione per il sostegno del controsoffitto. Essendo infatti il soffitto con questa soluzione parte integrante della "sovrastruttura" mentre il controsoffitto solidale con la sottostruttura non potrebbe essere appeso al soffitto stesso dovendo garantire il reciproco movimento, ne consegue che

ing. Riccardo Vetturini

studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

tel. +39 0742.350701 - cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

dovrebbe essere previsto una struttura ad hoc per il sostegno del controsoffitto stesso, travi in acciaio ad esempio appoggiate alle murature al di sotto la quota di imposta degli isolatori. Infine dovendo il solaio al di sopra il piano di isolamento fornire la garanzia di piano rigido, qualora non ci fosse, sarebbe necessario introdurre una soletta di 5cm per l'intera superficie del piano terra. Ciò comporterebbe maggiore invasività, costi e ripristini.

Riguardo la paratia di pali perimetro per la realizzazione dell'intercapedine di perimetro, anche per la soluzione 2 si rende necessaria, dovendo approfondire lo scavo per la sottofondazione ed eseguire i "pilastri tozzi" di appoggio agli isolatori anche in questa ipotesi sarebbero necessario eseguire uno scavo in sicurezza protetto appunto dalla paratia di pali.

Riassumendo dunque in estrema sintesi il raffronto di lavorazioni tra le due soluzioni:

Soluzione 1 rispetto la Soluzione 2 necessità lavorazioni:

- *in più* il solaio in acciaio e lamiera grecata;
- *in più* solo circa 20cm di scavo;
- *in meno* taglio delle murature per la realizzazione dei pilastri tozzi;
- *in meno* pilastri tozzi di appoggio per gli isolatori;
- *in meno* nuove aperture di perimetro;
- *in meno* ri profilature aperture interne;
- *in meno* solaio aerato sistema iglù/granchio;
- *in meno* struttura di sostegno controsoffitto;
- *in meno* soletta demolizione di tramezzi, pavimenti ed impianti al piano terra per eseguire 5cm in calcestruzzo armata con rete e.s.;
- *in meno* ripristino divisori, finiture ed impianti del piano terra.

In conclusione per le ragioni di cui sopra, la strategia di isolamento alla base rappresenta una soluzione tecnicamente ed economicamente più vantaggiosa rispetto l'approccio *convenzionale* di rafforzamento dell'esistente e nell'ambito delle soluzioni con l'isolamento alla base, la posizione del piano di isolamento al di sotto il piano di calpestio del vano interrato rappresenta l'ipotesi, a parità di costi, con minori controindicazioni estetiche e funzionali.

9. Riferimenti Normativi

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

- “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica”, Legge 05.11.1971, n. 1086 (G.U. 21.12.1971, n. 321);
- “Provvedimenti per le costruzioni, con particolari prescrizioni per le zone sismiche”, Legge 02.02.1974, n. 64;
- “Norme tecniche per le costruzioni”, DM Infrastrutture 17.01.2018;
- “Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008”, Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27;
- 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. Metodologie di verifica della struttura e del sistema di 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.

ing. Riccardo Vetturini

studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

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 inter piano 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.

Azione sismica di progetto

Sito di riferimento

Comune di Perugia – Piazza Partigiani

Latitudine: 43.105793° N

Longitudine: 12.387009° E

ing. Riccardo Vetturini

studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543



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	0.084	2.457	0.280
SLD	101	0.105	2.419	0.290
SLV	949	0.233	2.449	0.320
SLC	1950	0.286	2.478	0.327

Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

La categoria di sottosuolo è stata determinata a partire dagli studi e dalle indagini geologiche svolte in siti prossimi a quello di intervento; tali deduzioni dovranno essere approfondite in sede di relazione geologica specialistica nella fase di progettazione definitiva dell'opera.

Categoria di sottosuolo: **C**

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

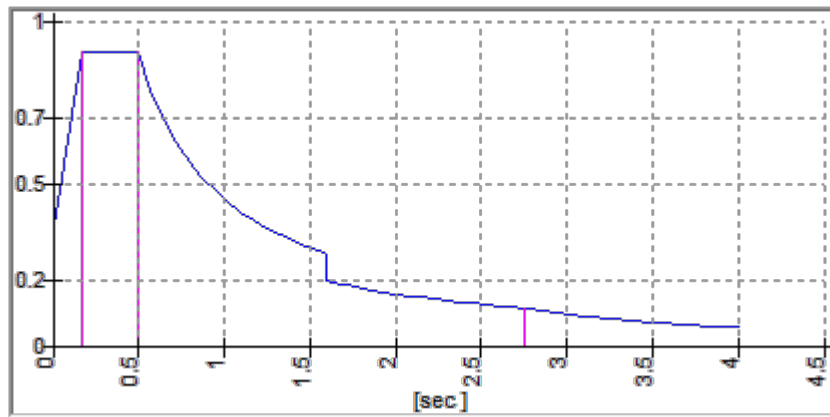
ing. Riccardo Vetturini

studio di ingegneria delle strutture

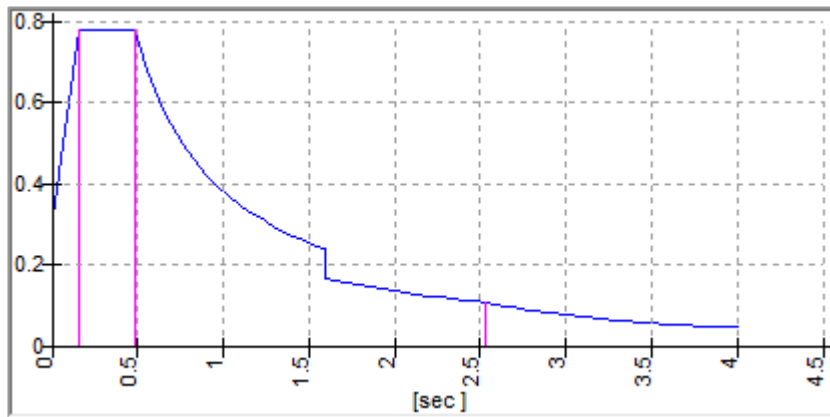
corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

Spettri elastici adottati per l'edificio – SLC



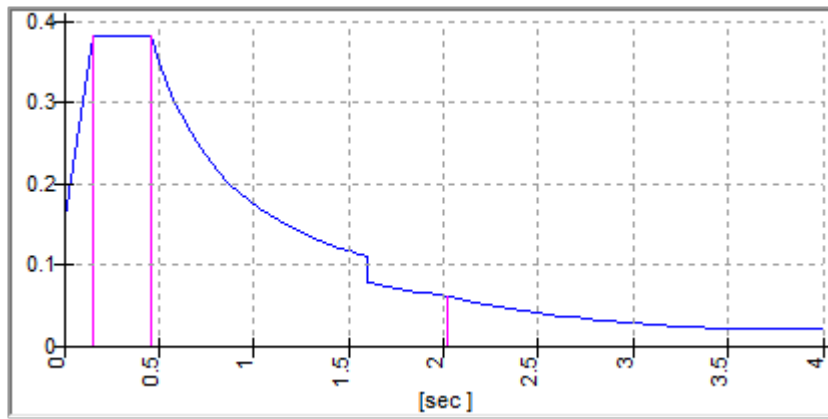
Spettri elastici adottati per l'edificio – SLV



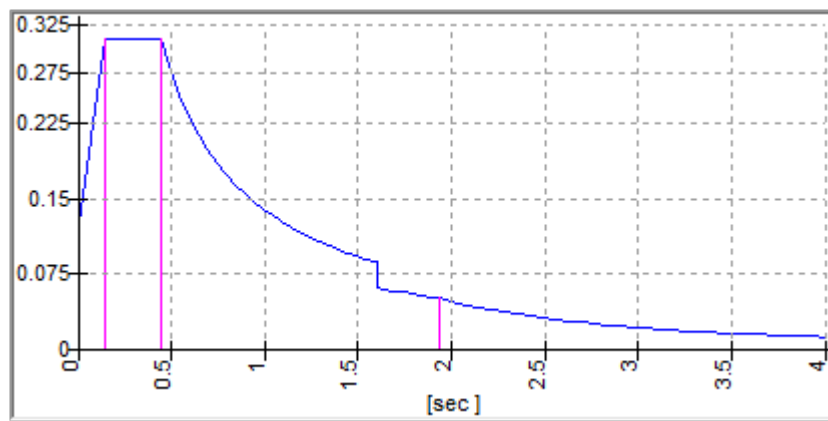
ing. Riccardo Vetturini
studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)
tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

Spettri elastici adottati per l'edificio – SLD



Spettri elastici adottati per l'edificio – SLO



ing. Riccardo Vetturini
studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)
tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

Risposta alle diverse componenti dell'azione sismica

Per le analisi di tipo lineare, la risposta della struttura è stata valutata per ciascuna componente sismica separatamente, combinando successivamente gli effetti secondo la seguente combinazione:

$$1.00 E_x + 0.30 E_y + 0.30 E_z \quad (\text{con rotazione dei coefficienti moltiplicativi})$$

Per le analisi di tipo statico non lineare, la risposta della struttura è stata valutata per ciascuna componente sismica separatamente.

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.

ing. Riccardo Vetturini

studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

Combinazioni statiche

Relativamente alle condizioni statiche si sono utilizzate le seguenti combinazioni:

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

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

ing. Riccardo Vetturini

studio di ingegneria delle strutture

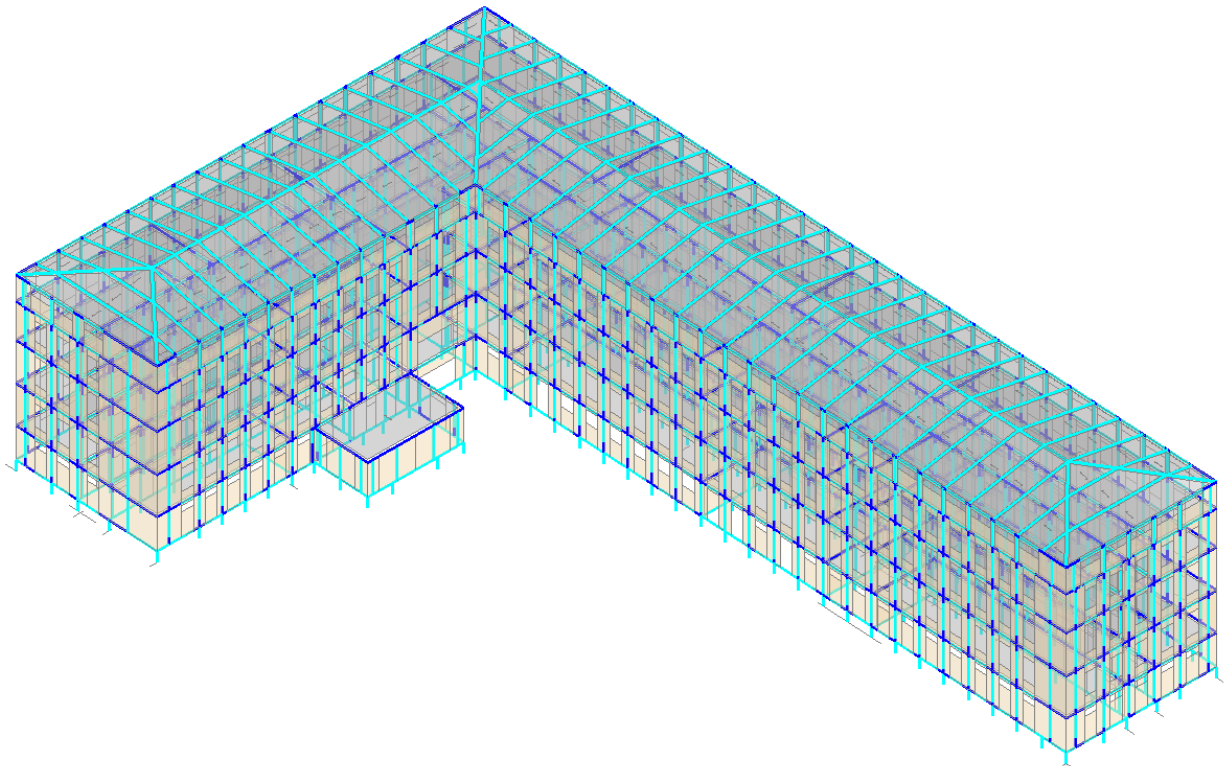
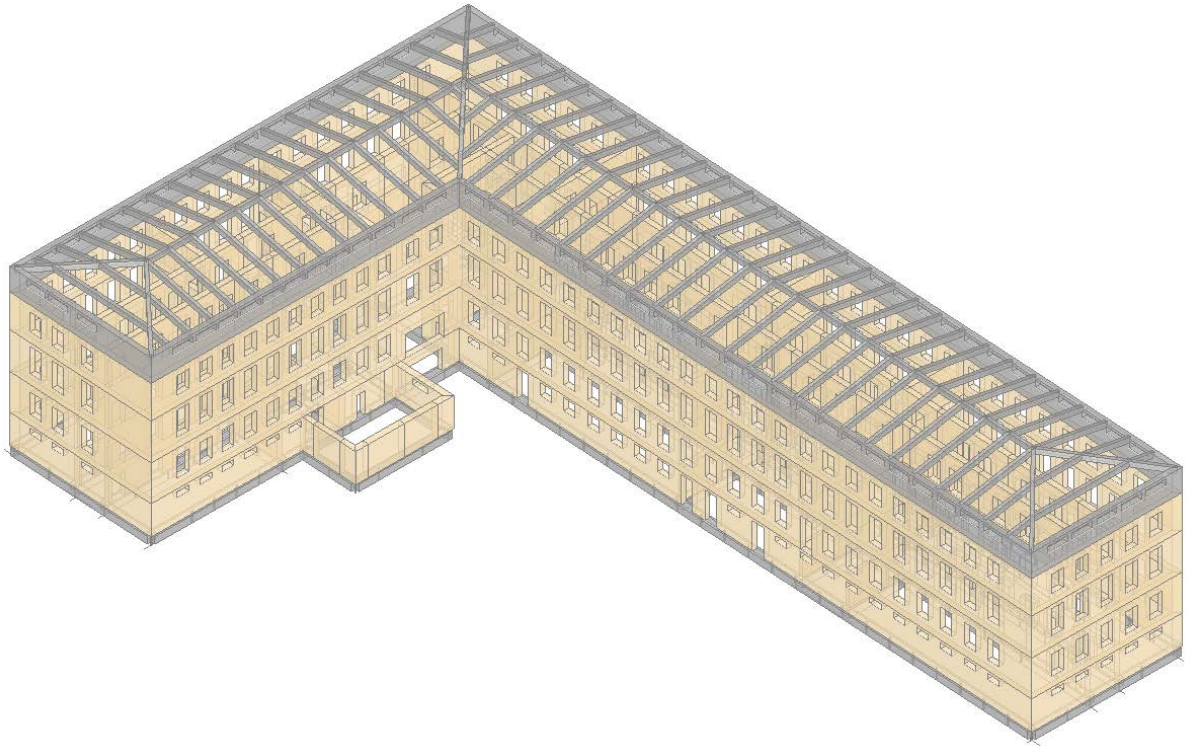
corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

11. Dimensionamento preliminare del sistema di isolamento

La definizione del sistema è stata perseguita attraverso:

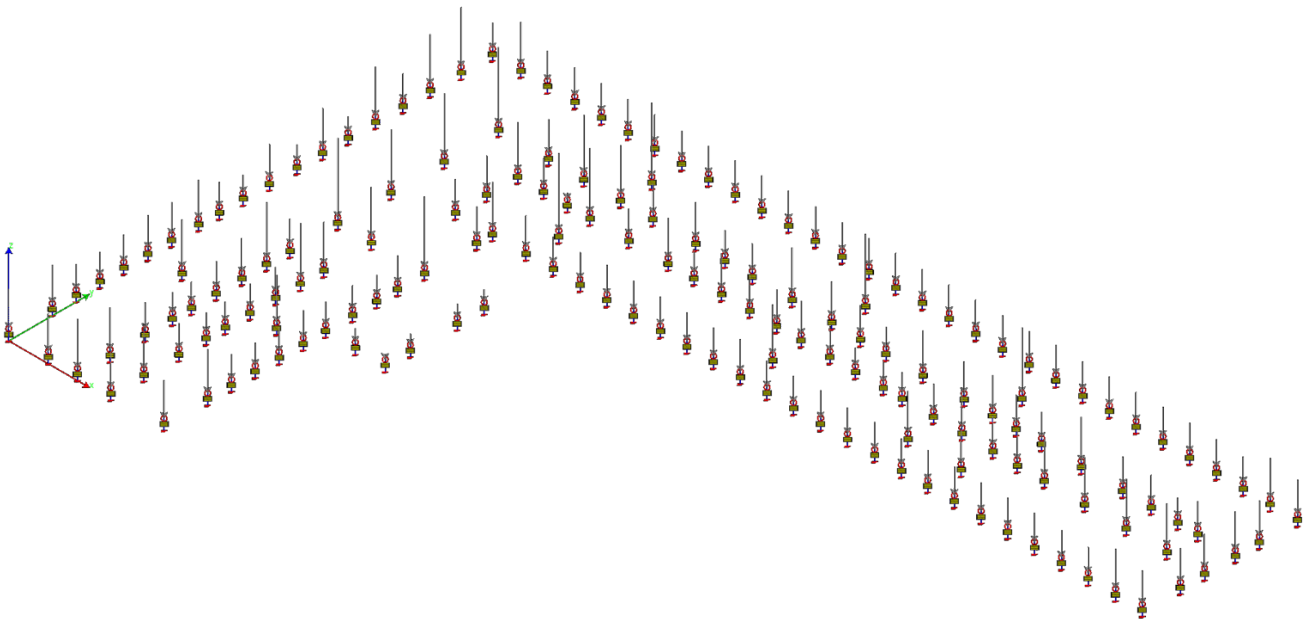
- la modellazione della struttura per la determinazione dei carichi e delle masse gravanti su ciascun dispositivo in combinazione statica quasi permanente;



ing. Riccardo Vetturini
studio di ingegneria delle strutture

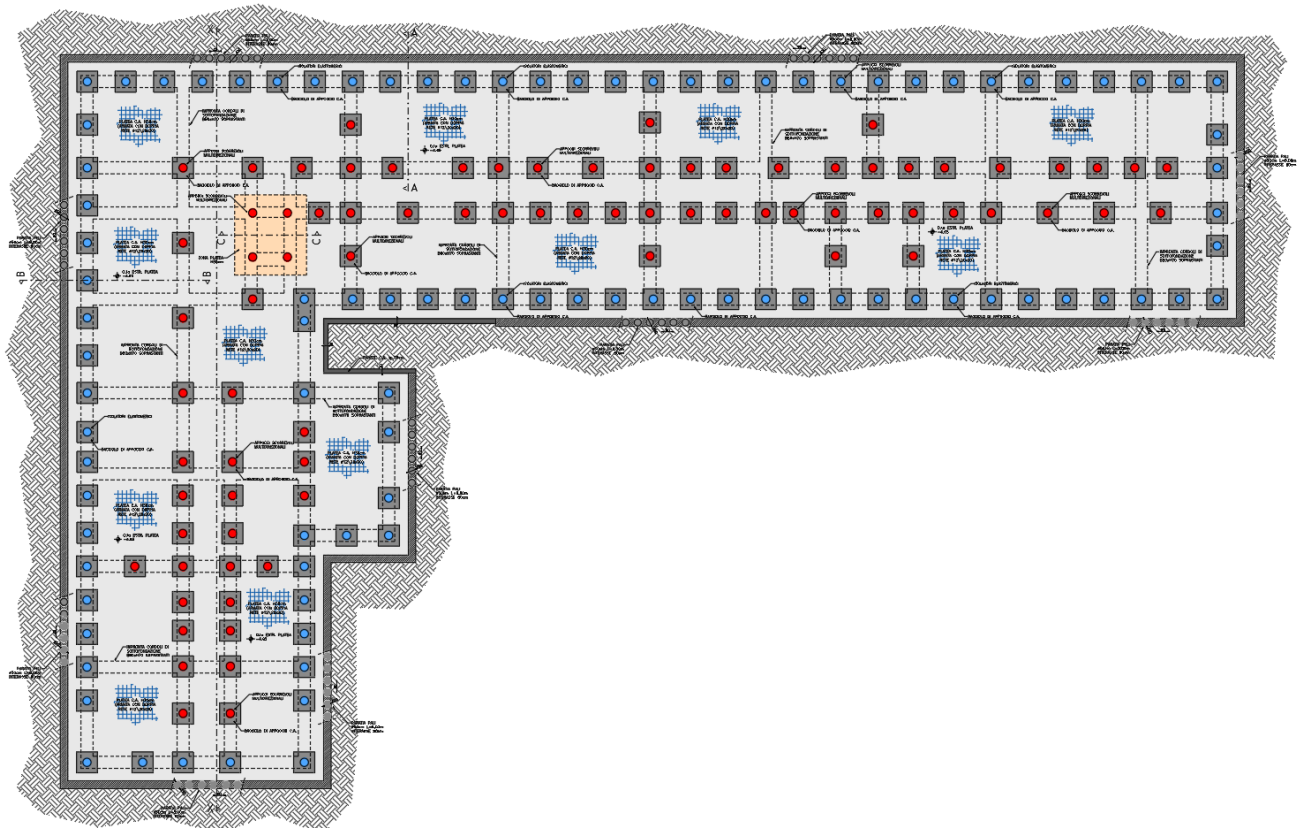
corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)
tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

- 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 rigidità 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 scritte), 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 opportuna modellazione della disposizione planimetrica sia dei dispositivi che delle masse agenti e con le 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

ing. Riccardo Vetturini
studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)
tel. +39 0742.350701 – cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

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	isolatori elastomerici	1500	5000	1010	15.0	300	93
2	appoggi scorrevoli	2000	2000	0	15.0	300	82
							0
							0

Caratteristiche del sistema di isolamento

	SLC	
$X_{rif} =$	18.93	cm
$K_{esi} =$	9393000	kg/m
$M_{TOT} =$	9350266	kg
$T_{is,rif} =$	2.001	s
$\xi_{esi} =$	15.0	%
$\eta =$	0.707	
$q = 1/\eta =$	1.414	

Parametri di progetto dell'azione sismica

	SLC	
$a_g =$	0.286	g
$F_0 =$	2.478	
$T_c^* =$	0.327	s
Terreno	C	
$S_S =$	1.275	
$S_T =$	1.200	
$S_e(T_{is,rif}) =$	0.190	g

Baricentro delle masse

$X_M (m) =$	28.82	m
$Y_M (m) =$	31.07	m

Baricentro delle rigidità

$X_K (m) =$	28.94	m
$Y_K (m) =$	30.96	m

Eccentricità dei baricentri G_M e G_K

$X_K (m) =$	0.12	m	< 0.03 B
$Y_K (m) =$	-0.11	m	< 0.03 B

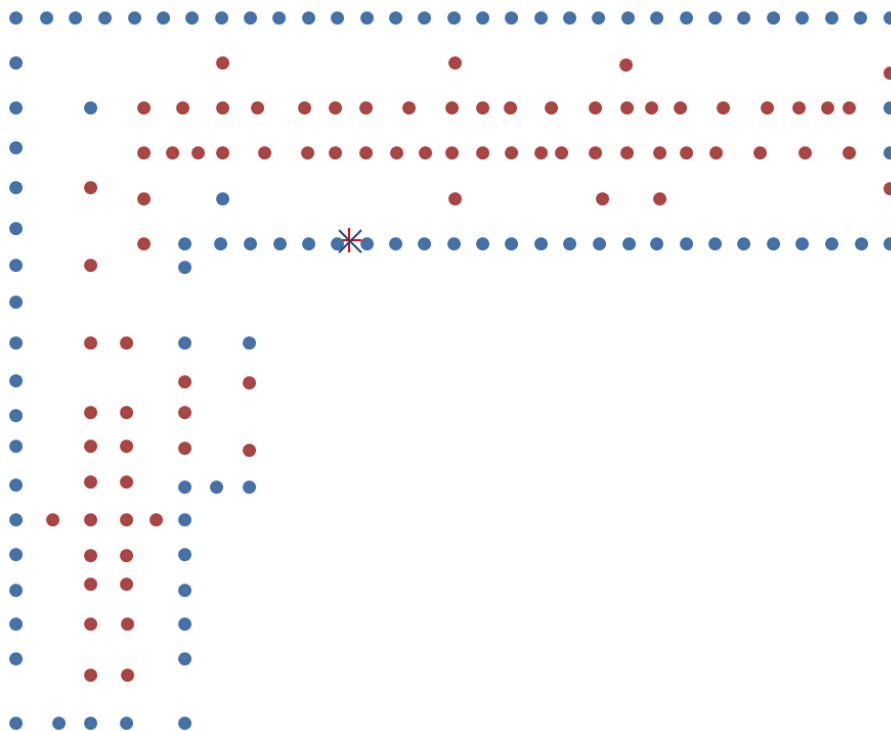
ing. Riccardo Vetturini

studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

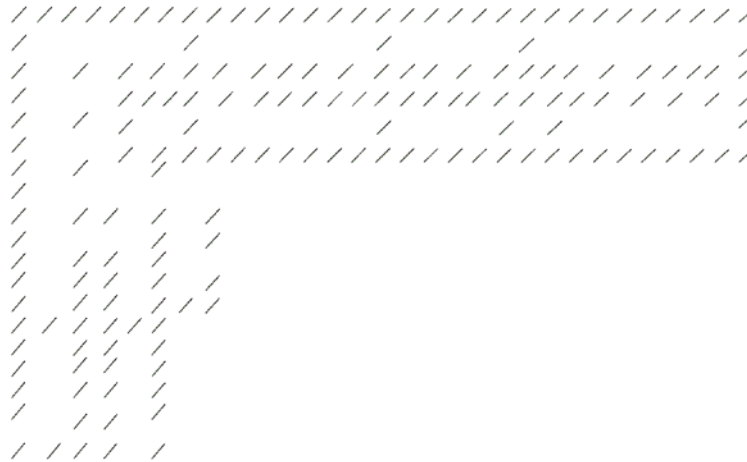
tel. +39 0742.350701 - cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

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

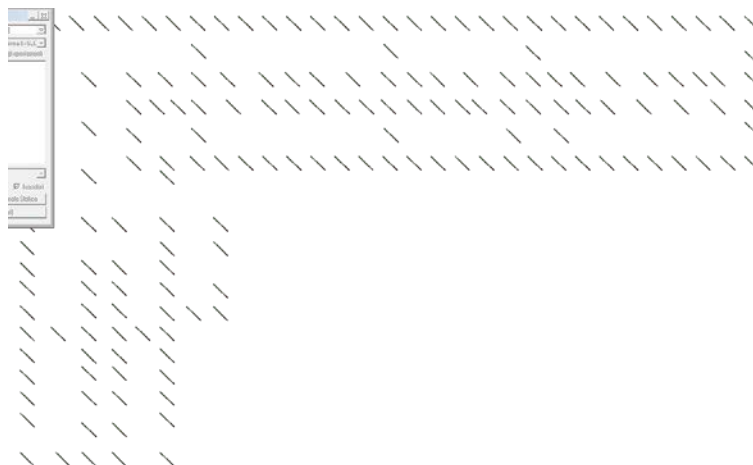


Distribuzione planimetrica degli isolatori, con indicazione della proiezione del centro di massa globale del fabbricato (+) e del centro di rigidezza del sistema di isolamento (x)

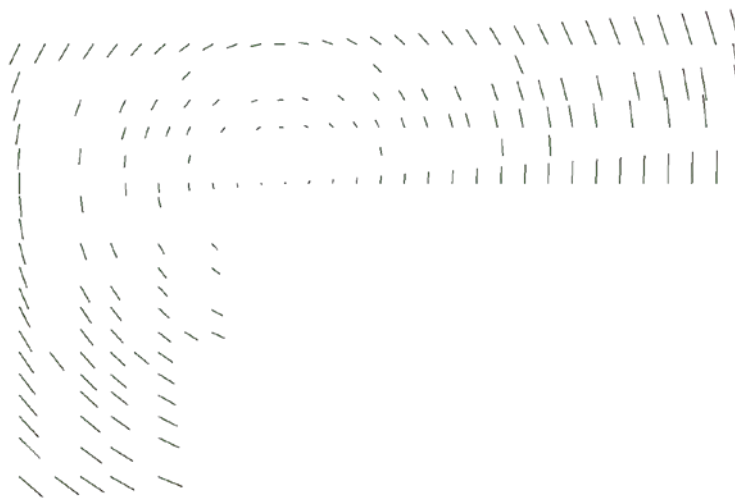
Dall'analisi del sistema di isolamento con la reale distribuzione di masse e rigidezze è stato quindi possibile eseguire le analisi modali e spettrali, di cui si riportano di seguito i principali risultati.



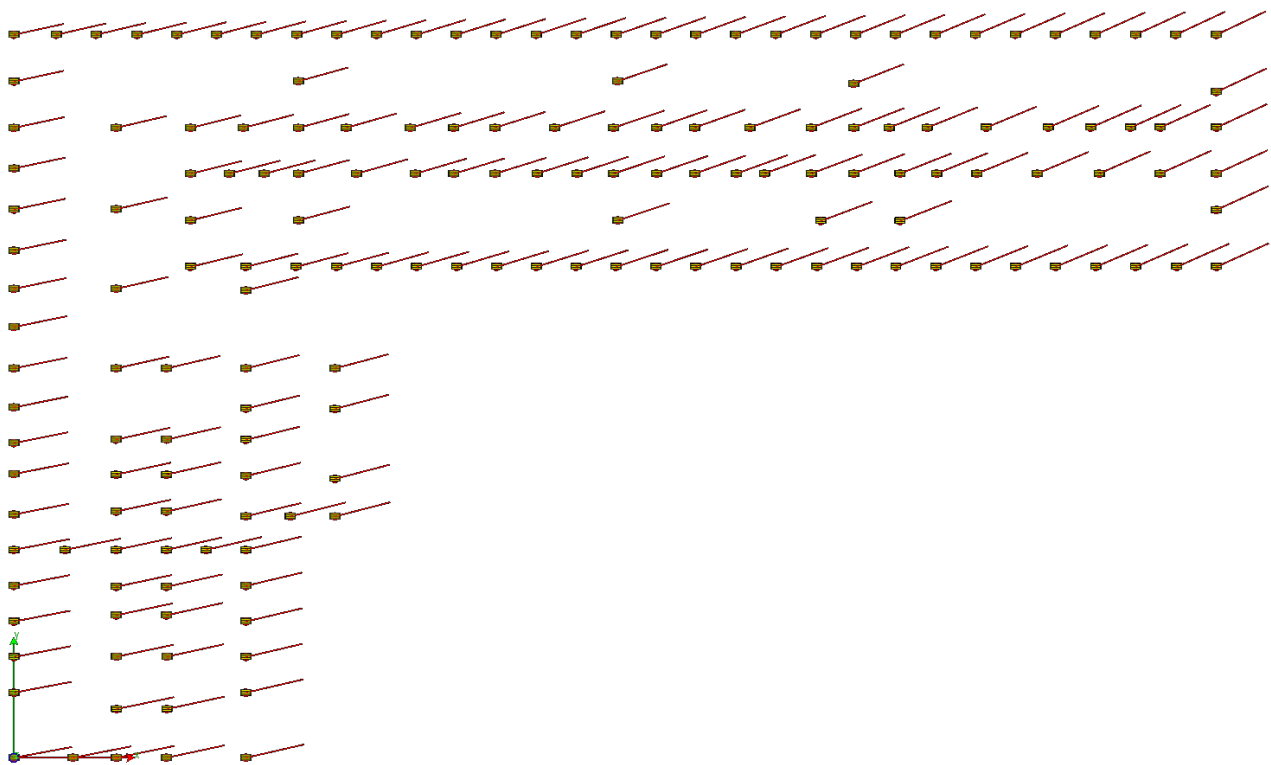
Modo 1 (T=2.06s – traslazionale puro)



Modo 2 (T=2.06s – traslazionale puro)



Modo 1 (T=1.95s – 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 [m]	y [m]	PROPRIETA' ISOLATORE			Statiche					SLC							
			tipo isolatore	V [kg]	Fzd [kg]	N _{Q2} [kg]	N _{Q2} /V [-]	N _{max,SLU} [kg]	verifica N _{SLU}	N _{max,SLC} [kg]	N _{SLC} /V [-]	Verifica N _{max,SLC}	ε [%]	U _{max,SLC} [cm]	K _e [kg/m]	Xmax [cm]	Verifica x_max	
3244	0.00	45.42	1	150000	500000	41899	0.28	95016	0.19	OK	86100	0.57	OK	15.0	26.00	101000	30.00	OK
3245	2.66	45.42	1	150000	500000	69523	0.46	115744	0.23	OK	94253	0.63	OK	15.0	25.80	101000	30.00	OK
3247	5.16	45.42	1	150000	500000	47897	0.32	102621	0.21	OK	75927	0.51	OK	15.0	25.61	101000	30.00	OK
3248	7.73	45.42	1	150000	500000	46293	0.31	92738	0.19	OK	66733	0.44	OK	15.0	25.43	101000	30.00	OK
3249	10.23	45.42	1	150000	500000	45527	0.30	89031	0.18	OK	63988	0.43	OK	15.0	25.24	101000	30.00	OK
3250	12.73	45.42	1	150000	500000	45078	0.30	89936	0.18	OK	66997	0.45	OK	15.0	25.06	101000	30.00	OK
3251	15.24	45.42	1	150000	500000	45080	0.30	94627	0.19	OK	76218	0.51	OK	15.0	24.88	101000	30.00	OK
3252	17.77	45.42	1	150000	500000	44454	0.30	98008	0.20	OK	84893	0.57	OK	15.0	24.70	101000	30.00	OK
3253	20.28	45.42	1	150000	500000	44605	0.30	93565	0.19	OK	74684	0.50	OK	15.0	24.52	101000	30.00	OK
3254	22.79	45.42	1	150000	500000	46094	0.31	88488	0.18	OK	65870	0.44	OK	15.0	24.35	101000	30.00	OK
3255	25.30	45.42	1	150000	500000	46964	0.31	88213	0.18	OK	62644	0.42	OK	15.0	24.17	101000	30.00	OK
3256	27.80	45.42	1	150000	500000	47191	0.31	87909	0.18	OK	62112	0.41	OK	15.0	24.00	101000	30.00	OK
3257	30.31	45.42	1	150000	500000	46921	0.31	87709	0.18	OK	62847	0.42	OK	15.0	24.00	101000	30.00	OK
3258	32.82	45.42	1	150000	500000	46152	0.31	88276	0.18	OK	66625	0.44	OK	15.0	24.15	101000	30.00	OK
3259	35.34	45.42	1	150000	500000	45562	0.30	91153	0.18	OK	76986	0.51	OK	15.0	24.31	101000	30.00	OK
3260	37.87	45.42	1	150000	500000	46734	0.31	94880	0.19	OK	89031	0.59	OK	15.0	24.47	101000	30.00	OK
3261	40.36	45.42	1	150000	500000	45227	0.30	90303	0.18	OK	78270	0.52	OK	15.0	24.62	101000	30.00	OK
3262	42.87	45.42	1	150000	500000	45364	0.30	86874	0.17	OK	68209	0.45	OK	15.0	24.78	101000	30.00	OK
3263	45.37	45.42	1	150000	500000	45855	0.30	85956	0.17	OK	65596	0.44	OK	15.0	24.93	101000	30.00	OK
3264	47.88	45.42	1	150000	500000	45232	0.30	86857	0.17	OK	70403	0.47	OK	15.0	25.09	101000	30.00	OK
3265	50.39	45.42	1	150000	500000	45252	0.30	90411	0.18	OK	84601	0.56	OK	15.0	25.25	101000	30.00	OK
3266	52.90	45.42	1	150000	500000	48039	0.32	95074	0.19	OK	99588	0.66	OK	15.0	25.42	101000	30.00	OK
3267	55.41	45.42	1	150000	500000	45642	0.30	90751	0.18	OK	84122	0.56	OK	15.0	25.58	101000	30.00	OK
3268	57.92	45.42	1	150000	500000	46097	0.31	87797	0.18	OK	70267	0.47	OK	15.0	25.74	101000	30.00	OK
3269	60.43	45.42	1	150000	500000	46953	0.31	87161	0.17	OK	64894	0.43	OK	15.0	25.90	101000	30.00	OK
3270	62.94	45.42	1	150000	500000	47230	0.31	86887	0.17	OK	63518	0.42	OK	15.0	26.07	101000	30.00	OK
3271	65.45	45.42	1	150000	500000	46904	0.31	85897	0.17	OK	62997	0.42	OK	15.0	26.23	101000	30.00	OK
3272	67.97	45.42	1	150000	500000	45050	0.30	84836	0.17	OK	64037	0.43	OK	15.0	26.40	101000	30.00	OK
3273	70.49	45.42	1	150000	500000	42207	0.28	87432	0.17	OK	72828	0.49	OK	15.0	26.57	101000	30.00	OK
3274	73.02	45.42	1	150000	500000	64913	0.43	99258	0.20	OK	99190	0.66	OK	15.0	26.74	101000	30.00	OK
3276	75.58	45.42	1	150000	500000	55742	0.37	96671	0.19	OK	102495	0.68	OK	15.0	26.91	101000	30.00	OK
3277	75.58	41.83	2	200000	200000	57592	0.29	101302	0.51	OK	86131	0.43	OK	15.0	26.72	0	30.00	OK
3278	75.58	39.59	1	150000	500000	62925	0.42	106214	0.21	OK	89499	0.60	OK	15.0	26.61	101000	30.00	OK
3279	75.58	36.69	1	150000	500000	54894	0.37	103915	0.21	OK	85533	0.57	OK	15.0	26.46	101000	30.00	OK
3280	75.58	34.42	2	200000	200000	54791	0.27	99078	0.50	OK	81415	0.41	OK	15.0	26.35	0	30.00	OK
3281	75.58	30.84	1	150000	500000	53724	0.36	93679	0.19	OK	109228	0.73	OK	15.0	26.18	101000	30.00	OK
3282	73.08	30.84	1	150000	500000	63918	0.43	97831	0.20	OK	99022	0.66	OK	15.0	26.01	101000	30.00	OK
3284	70.49	30.84	1	150000	500000	41800	0.28	86239	0.17	OK	71487	0.48	OK	15.0	25.83	101000	30.00	OK
3285	67.99	30.84	1	150000	500000	44350	0.30	83864	0.17	OK	63543	0.42	OK	15.0	25.66	101000	30.00	OK
3286	65.46	30.84	1	150000	500000	46798	0.31	85108	0.17	OK	63087	0.42	OK	15.0	25.49	101000	30.00	OK
3287	62.95	30.84	1	150000	500000	45936	0.31	85339	0.17	OK	63748	0.42	OK	15.0	25.32	101000	30.00	OK
3288	60.45	30.84	1	150000	500000	45807	0.31	86664	0.17	OK	67614	0.45	OK	15.0	25.15	101000	30.00	OK
3289	57.94	30.84	1	150000	500000	46398	0.31	86405	0.17	OK	77355	0.52	OK	15.0	24.98	101000	30.00	OK
3290	55.43	30.84	1	150000	500000	48386	0.32	88844	0.17	OK	88173	0.59	OK	15.0	24.81	101000	30.00	OK
3291	52.97	30.84	1	150000	500000	41745	0.28	82972	0.17	OK	84621	0.56	OK	15.0	24.65	101000	30.00	OK
3292	50.46	30.84	1	150000	500000	44586	0.30	83923	0.17	OK	87476	0.58	OK	15.0	24.48	101000	30.00	OK
3293	47.91	30.84	1	150000	500000	42369	0.28	81671	0.16	OK	73754	0.49	OK	15.0	24.32	101000	30.00	OK
3294	45.38	30.84	1	150000	500000	45033	0.30	82324	0.16	OK	65961	0.44	OK	15.0	24.15	101000	30.00	OK
3295	42.84	30.84	1	150000	500000	42725	0.28	81347	0.16	OK	64475	0.43	OK	15.0	23.99	101000	30.00	OK
3296	40.35	30.84	1	150000	500000	42561	0.28	84365	0.17	OK	74241	0.49	OK	15.0	23.83	101000	30.00	OK
3297	37.84	30.84	1	150000	500000	51863	0.35	92859	0.19	OK	90548	0.60	OK	15.0	23.67	101000	30.00	OK
3298	35.32	30.84	1	150000	500000	46326	0.31	86674	0.18	OK	75763	0.51	OK	15.0	23.50	101000	30.00	OK
3299	32.83	30.84	1	150000	500000	45231	0.30	86238	0.17	OK	64679	0.43	OK	15.0	23.34	101000	30.00	OK
3300	30.34	30.84	1	150000	500000	46710	0.31	87138	0.17	OK	61914	0.41	OK	15.0	23.19	101000	30.00	OK
3301	27.82	30.84	1	150000	500000	47386	0.32	88325	0.18	OK	61526	0.41	OK	15.0	23.18	101000	30.00	OK
3302	25.31	30.84	1	150000	500000	47287	0.32	88391	0.18	OK	60929	0.41	OK	15.0	23.36	101000	30.00	OK
3303	22.80	30.84	1	150000	500000	43405	0.29	87331	0.17	OK	61439	0.41	OK	15.0	23.54	101000	30.00	OK
3304	20.28	30.84	1	150000	500000	43134	0.29	94688	0.19	OK	72694	0.48	OK	15.0	23.72	101000	30.00	OK
3305	17.73	30.84	1	150000	500000	52208	0.35	111903	0.22	OK	89644	0.60	OK	15.0	23.91	101000	30.00	OK
3306	11.10	30.84	2	200000	200000	44529	0.22	105582	0.53	OK	77427	0.39	OK	15.0	24.41	0	30.00	OK
3307	14.58	29.84	1	150000	500000	75213	0.50	124947	0.25	OK	87633	0.58	OK	15.0	24.14	101000	30.00	OK
3308	14.58	26.36	1	150000	500000	50170	0.33	110959	0.22	OK	78762	0.53	OK	15.0	24.21	101000	30.00	OK
3310	14.58	24.46	1	150000	500000	115044	0.77	142780	0.29	OK	114641	0.76	OK	15.0	24.43	101000	30.00	OK
3312	9.59	24.46	2	200000	200000	80537	0.40	142436	0.71	OK	107228	0.54	OK	15.0	24.61	0	30.00	OK
3313	20.18	24.46	1	150000	500000	20607	0.14	44516	0.09	OK	47251	0.32	OK	15.0	24.03	101000	30.00	OK
3314	20.18	21.92	2	200000	200000	22355	0.11	38996	0.19	OK	35477	0.18	OK	15.0	24.15	0	30.00	OK
3316	20.18	17.52	2	200000	200000	17975	0.09	28863	0.14	OK	27895	0.14	OK	15.0	24.35	0	30.00	OK

NODO	x	y	PROPRIETA' ISOLATORE		Statiche					SLC								
			tipo	V	Fzd	N _{QP}	N _{QP} / V	N _{max,SU}	verifica	N _{max,SLC}	N _{SLC} / V	Verifica	ξ	U _{lim,SLC}	K _e	Xmax	Verifica	
				isolatore	[kg]	[kg]	[kg]	[-]	[kg]	N _{SU}	[kg]	[-]	N _{max,SLC}	[%]	[cm]	[kg/m]	[cm]	x_max
3342	0.00	13.06	1	150000	500000	52649	0.35	96070	0.19	OK	88417	0.59	OK	15.0	26.04	101000	30.00	OK
3343	0.00	15.28	1	150000	500000	52297	0.35	99453	0.20	OK	87646	0.58	OK	15.0	25.94	101000	30.00	OK
3344	0.00	17.82	1	150000	500000	62876	0.42	105423	0.21	OK	86819	0.58	OK	15.0	25.82	101000	30.00	OK
3345	0.00	19.77	1	150000	500000	39162	0.26	95954	0.19	OK	72253	0.48	OK	15.0	25.73	101000	30.00	OK
3346	0.00	22.01	1	150000	500000	29578	0.20	90522	0.18	OK	62943	0.42	OK	15.0	25.64	101000	30.00	OK
3348	0.00	24.46	1	150000	500000	54446	0.36	104056	0.21	OK	75533	0.50	OK	15.0	25.53	101000	30.00	OK
3349	0.00	27.06	1	150000	500000	27857	0.19	86282	0.17	OK	62617	0.42	OK	15.0	25.41	101000	30.00	OK
3351	0.00	29.46	1	150000	500000	63154	0.42	110084	0.22	OK	80007	0.53	OK	15.0	25.31	101000	30.00	OK
3352	0.00	31.86	1	150000	500000	25496	0.17	85805	0.17	OK	63941	0.43	OK	15.0	25.29	101000	30.00	OK
3354	0.00	34.44	1	150000	500000	80619	0.54	123294	0.25	OK	94082	0.63	OK	15.0	25.42	101000	30.00	OK
3355	0.00	37.02	1	150000	500000	43379	0.29	103621	0.21	OK	81322	0.54	OK	15.0	25.56	101000	30.00	OK
3357	0.00	39.57	1	150000	500000	82073	0.55	129746	0.26	OK	106953	0.71	OK	15.0	25.69	101000	30.00	OK
3358	0.00	42.48	1	150000	500000	96346	0.64	139474	0.28	OK	118104	0.79	OK	15.0	25.84	101000	30.00	OK
3360	6.45	3.06	2	200000	200000	68042	0.34	116777	0.58	OK	96519	0.48	OK	15.0	26.02	0	30.00	OK
3362	6.45	6.35	2	200000	200000	42576	0.21	94408	0.47	OK	63125	0.32	OK	15.0	25.87	0	30.00	OK
3364	6.42	8.95	2	200000	200000	33100	0.17	81550	0.41	OK	56230	0.28	OK	15.0	25.75	0	30.00	OK
3366	6.42	10.74	2	200000	200000	32239	0.16	80718	0.40	OK	60324	0.30	OK	15.0	25.67	0	30.00	OK
3368	6.42	13.06	2	200000	200000	42239	0.21	99893	0.45	OK	72452	0.36	OK	15.0	25.57	0	30.00	OK
3369	6.42	15.47	2	200000	200000	55636	0.28	102152	0.51	OK	77371	0.39	OK	15.0	25.45	0	30.00	OK
3371	6.42	17.79	2	200000	200000	90619	0.45	117619	0.59	OK	86405	0.43	OK	15.0	25.35	0	30.00	OK
3373	6.42	19.99	2	200000	200000	42181	0.21	100514	0.50	OK	71934	0.36	OK	15.0	25.25	0	30.00	OK
3375	6.42	24.46	2	200000	200000	128882	0.64	182876	0.91	OK	133480	0.67	OK	15.0	25.40	0	30.00	OK
3376	6.42	29.46	2	200000	200000	92991	0.46	183932	0.92	OK	124199	0.62	OK	15.0	24.82	0	30.00	OK
3377	6.42	34.46	2	200000	200000	101095	0.51	194450	0.97	OK	140349	0.70	OK	15.0	24.94	0	30.00	OK
3378	6.42	39.57	1	150000	500000	125224	0.83	193853	0.39	OK	147699	0.98	OK	15.0	25.21	101000	30.00	OK
3379	11.10	39.57	2	200000	200000	54964	0.27	133978	0.67	OK	107376	0.54	OK	15.0	24.86	0	30.00	OK
3380	14.41	39.57	2	200000	200000	94620	0.47	157712	0.79	OK	117820	0.59	OK	15.0	24.61	0	30.00	OK
3382	17.88	39.57	2	200000	200000	80269	0.40	143149	0.72	OK	102458	0.51	OK	15.0	24.36	0	30.00	OK
3384	20.89	39.58	2	200000	200000	48177	0.24	110808	0.55	OK	76298	0.38	OK	15.0	24.15	0	30.00	OK
3386	24.92	39.57	2	200000	200000	58229	0.29	109778	0.55	OK	79127	0.40	OK	15.0	23.86	0	30.00	OK
3388	27.65	39.58	2	200000	200000	39642	0.20	95227	0.48	OK	63221	0.32	OK	15.0	23.67	0	30.00	OK
3390	30.23	39.58	2	200000	200000	43890	0.22	99577	0.50	OK	70123	0.35	OK	15.0	23.66	0	30.00	OK
3392	33.98	39.58	2	200000	200000	75122	0.38	131193	0.66	OK	104236	0.52	OK	15.0	23.89	0	30.00	OK
3393	37.69	39.58	2	200000	200000	56758	0.28	113041	0.57	OK	97127	0.49	OK	15.0	24.12	0	30.00	OK
3395	40.39	39.58	2	200000	200000	45457	0.23	96781	0.48	OK	86517	0.43	OK	15.0	24.29	0	30.00	OK
3397	42.77	39.58	2	200000	200000	34622	0.17	87191	0.44	OK	72003	0.36	OK	15.0	24.44	0	30.00	OK
3398	50.11	39.58	2	200000	200000	50984	0.25	108332	0.54	OK	95614	0.48	OK	15.0	24.91	0	30.00	OK
3400	52.79	39.58	2	200000	200000	56443	0.28	111622	0.56	OK	99708	0.50	OK	15.0	25.09	0	30.00	OK
3401	55.00	39.58	2	200000	200000	46002	0.23	103385	0.52	OK	87585	0.44	OK	15.0	25.23	0	30.00	OK
3403	57.39	39.58	2	200000	200000	42637	0.21	100632	0.50	OK	82818	0.41	OK	15.0	25.38	0	30.00	OK
3405	61.11	39.59	2	200000	200000	71652	0.36	122519	0.61	OK	102426	0.51	OK	15.0	25.63	0	30.00	OK
3407	65.00	39.59	2	200000	200000	45300	0.23	97455	0.49	OK	68351	0.34	OK	15.0	25.89	0	30.00	OK
3408	70.17	39.59	2	200000	200000	30499	0.15	78549	0.38	OK	52992	0.26	OK	15.0	26.24	0	30.00	OK
3410	72.04	39.59	2	200000	200000	43494	0.22	83781	0.42	OK	61080	0.31	OK	15.0	26.36	0	30.00	OK
3412	72.04	36.70	2	200000	200000	68985	0.34	126811	0.63	OK	96976	0.48	OK	15.0	26.21	0	30.00	OK
3414	68.21	36.70	2	200000	200000	71038	0.36	126395	0.63	OK	95629	0.48	OK	15.0	25.95	0	30.00	OK
3416	64.32	36.70	2	200000	200000	67082	0.34	119267	0.60	OK	91850	0.46	OK	15.0	25.70	0	30.00	OK
3418	60.53	36.70	2	200000	200000	58761	0.29	110510	0.55	OK	86909	0.43	OK	15.0	25.44	0	30.00	OK
3420	57.99	36.70	2	200000	200000	48809	0.24	102667	0.51	OK	82704	0.41	OK	15.0	25.27	0	30.00	OK
3422	55.70	36.70	2	200000	200000	48837	0.24	100361	0.50	OK	86855	0.43	OK	15.0	25.12	0	30.00	OK
3424	52.79	36.70	2	200000	200000	61252	0.31	104715	0.52	OK	94878	0.47	OK	15.0	24.93	0	30.00	OK
3426	50.11	36.70	2	200000	200000	43659	0.22	90503	0.45	OK	85965	0.43	OK	15.0	24.75	0	30.00	OK
3428	45.41	36.70	2	200000	200000	34329	0.17	74807	0.37	OK	68324	0.34	OK	15.0	24.45	0	30.00	OK
3430	42.79	36.70	2	200000	200000	29182	0.15	70825	0.35	OK	56237	0.28	OK	15.0	24.28	0	30.00	OK
3432	40.39	36.70	2	200000	200000	39939	0.20	84392	0.42	OK	64654	0.32	OK	15.0	24.13	0	30.00	OK
3434	37.69	36.70	2	200000	200000	54512	0.27	102352	0.51	OK	77395	0.39	OK	15.0	23.86	0	30.00	OK
3436	32.88	36.70	2	200000	200000	48107	0.24	103385	0.52	OK	79032	0.40	OK	15.0	23.66	0	30.00	OK
3438	30.23	36.69	2	200000	200000	56805	0.28	107104	0.54	OK	83391	0.42	OK	15.0	23.49	0	30.00	OK
3440	27.65	36.69	2	200000	200000	37829	0.19	96177	0.48	OK	75804	0.38	OK	15.0	23.51	0	30.00	OK
3442	25.22	36.69	2	200000	200000	63984	0.32	113620	0.57	OK	89453	0.45	OK	15.0	23.87	0	30.00	OK
3444	21.52	36.69	2	200000	200000	42447	0.21	100555	0.50	OK	81323	0.41	OK	15.0	23.94	0	30.00	OK
3446	17.88	36.69	2	200000	200000	104562	0.52	145836	0.73	OK	113886	0.57	OK	15.0	24.20	0	30.00	OK
3448	13.53	36.69	2	200000	200000	44115	0.22	95488	0.48	OK	69423	0.35	OK	15.0	24.52	0	30.00	OK
3450	11.10	36.69	2	200000	200000	78823	0.39	135663	0.68	OK	111950	0.56	OK	15.0	24.70	0	30.00	OK
3452	15.74	36.69	2	200000	200000	10002	0.05	73410	0.37	OK	55255	0.28	OK	15.0	24.36	0	30.00	OK
3454	35.39	36.70	2	200000	200000	50525	0.25	103141	0.52	OK	79128	0.40	OK	15.0	23.82	0	30.00	OK
3456	46.25	39.58	2	200000	200000	63653	0.32	114348	0.57	OK	103024	0.52	OK	15.0	24.66	0	30.00	OK
3457	55.70	33.72	2	200000	200000	57219	0.29	99096	0.50	OK	69557	0.35	OK	15.0	24.96	0	30.00	OK
3458	50.71	33.72	2	200000	200000	68439	0.34	104834	0.52	OK	83321	0.42	OK	15.0	24.64	0	30.00	OK

12. Efficientamento energetico

Il presente studio di fattibilità riguardo l'efficientamento energetico prevede interventi puntuali per risolvere le principali criticità ed al contempo contenere costi ed invasività di intervento. In particolare ci riferisce alla valutazione già relazionata con la pubblicazione "Sostenibilità e/è Bellezza" Università degli Studi di Perugia, fornita dall'ente.

In estrema sintesi nelle previsioni ipotizzano le seguenti lavorazioni

"Piano interrato

Relativamente al solaio del piano terra (che separa il primo livello destinato a funzioni direzionali da quello interrato, destinato a funzioni accessorie quali archivio, magazzino e deposito), il progetto di riqualificazione energetica prevede la realizzazione di un cappotto termico (costituito da pannelli isolanti rasati e tinteggiati, caratterizzati da una conduttività termica non superiore a $0.040 \text{ W/m}^2\text{K}$ e da uno spessore pari ad almeno 5 cm), applicato all'intradosso del solaio e risvoltato, in corrispondenza delle partizioni interne, per almeno 150 cm al fine di eventuali ponti termici lineari.

Gli infissi

Relativamente agli infissi, il progetto di riqualificazione energetica prevede la sostituzione integrale, previa introduzione di controtelai a bassa conduttività e di telai a elevate prestazioni termiche (in PVC da 90 mm con triplo vetro low-E da 40 mm e camere con gas argon/krypton) che ripropongono il disegno geometrico e il colore bianco degli infissi originari (testimoniati dai rari infissi superstiti).

I sottofinestra

Relativamente ai sottofinestra, il progetto di riqualificazione energetica prevede un intervento diffuso sulle rientranze delle pareti d'ambito, integrando la muratura esistente (realizzata in muratura di blocchi laterizi a doppia testa di spessore pari a 250 mm, rivestita con lastre lapidee di travertino filo-sega all'esterno e finita con intonaco civile all'interno) con l'introduzione di un isolante termico contenuto da una controparete interna realizzata con una muratura di blocchi forati a elevate prestazioni termiche di spessore pari a 100 mm e finita all'interno con intonaco civile tinteggiato. La nuova configurazione prevede uno spessore complessivo della muratura pari a 550 mm.

Il sottotetto e la copertura

Nel 1984 l'edificio è stato oggetto di una sopraelevazione, che ha consentito di adibire a uffici anche il livello sottotetto, ma che non ha garantito un adeguato comfort ambientale. Attualmente, infatti, la tamponatura esterna è realizzata con una muratura di blocchi forati di spessore pari a 80 mm e finita all'interno con intonaco civile di spessore pari a 20 mm. Mentre la copertura è costituita dal solo solaio strutturale ($H=120+40 \text{ mm}$), rivestito all'esterno con guaina impermeabilizzante e manto in laterizio e finito all'interno con intonaco civile di spessore pari a 10 mm. L'intervento di riqualificazione energetica del sottotetto e della copertura prevede il rivestimento delle pareti esterne con un cappotto isolante di

ing. Riccardo Vetturini

studio di ingegneria delle strutture

corso Cavour n.84, 06034 FOLIGNO (PG)

tel. +39 0742.350701 - cell. 348.8716714 e-mail: ing.vetturini@gmail.com C.F. VTT RCR 66A29 Z114G - P.I. 02047620543

spessore non inferiore a 120 mm, rasato e tinteggiato, e la sovrapposizione al solaio strutturale esistente di un doppio strato isolante interposto tra listelli in legno incrociati di spessore complessivo non inferiore a 160 mm, di una guaina traspirante e impermeabile all'acqua, di una camera di micro ventilazione di spessore pari a 20 mm, di un tavolato in compensato marino con una seconda guaina impermeabilizzante e, infine, di un manto di copertura in lamiera metallica integrata con un impianto solare fotovoltaico in silicio amorfo.

13. Appendice

Nella stima delle lavorazioni previste si riportano all'attenzione dell'Amministrazione due ipotesi di intervento aggiuntive rispetto all'adeguamento sismico e all'efficientamento energetico:

- A. Interventi sugli impianti*
- B. adeguamento prevenzione incendi*

Si precisa che tali lavorazioni, vista la particolarità dell'intervento strutturale che interviene prevalentemente al piano fondale non sono strettamente correlate all'intervento di adeguamento sismico e pertanto possono essere ricondotte a stralci funzionali autonomi.

Esulano dal presente incarico eventuali lavorazioni di adeguamento impiantistico ed adeguamento a norme vigenti in materia.

Interventi sugli impianti: climatizzazione invernale ed estiva

Si ipotizza come ulteriore miglioria per le attuali condizioni un rifacimento dell'impianto attuale di climatizzazione.

L'impianto di climatizzazione ha come moduli di emissione ventilconvettori ad acqua a due tubi, serviti da generatore di calore centralizzato a metano e gruppo frigorifero alimentato elettricamente. Il fluido termovettore viene distribuito mediante tubi in rame sottotraccia.

Una soluzione volta al risparmio energetico, degli impianti di climatizzazione presenti nella struttura, consiste nella rimozione del sistema di generazione attuale e nell'installazione di atri ventilconvettori che sfruttano la tecnologia VRV (sistemi di climatizzazione a Volume di Refrigerante Variabile). Il VRV è un sistema ad espansione diretta di gas refrigerante costituito da più unità terminali, a servizio dei locali da climatizzare, alimentate da una o più motocondensanti.

Ad ogni unità motocondensante è possibile collegare un numero considerevole di unità interne (fino a 50 in alcuni casi); nel caso di installazioni che richiedano una potenza superiore a quella fornibile da una singola unità esterna, diventa agevole suddividere la potenzialità richiesta su più unità esterne, ciascuna delle quali dedicata ad una specifica zona dell'edificio. Il controllo dell'intero sistema è affidato alla logica di gestione che risiede nelle varie componenti dell'impianto ed è parte integrante dello stesso e ciascuna unità terminale, sebbene collegata allo stesso circuito frigorifero, è indipendente dalle altre sia per funzionamento che per regolazione. Uno degli elementi importanti di un sistema VRV è il sistema di regolazione che gestisce l'impianto in modo da ottenere le prestazioni desiderate con alte efficienze anche a carichi parziali. Il processo di regolazione prende avvio dalle unità interne. I termistori posti all'ingresso e all'uscita dell'evaporatore comunicano le temperature ad un microprocessore. Allo stesso microprocessore perviene la temperatura negli ambienti e quindi esso procede ad elaborare i dati in modo da calcolare il grado di apertura della valvola elettronica di espansione-regolazione posta sull'unità interna. Ad ogni variazione di carico di raffrescamento o di riscaldamento corrisponde una variazione di posizione della valvola di regolazione, la somma delle variazioni di posizione delle valvole induce una variazione di pressione nel circuito frigorifero derivante dalla variazione della frequenza di alimentazione del compressore tramite un inverter e dei motori ventilatori, anch'essi ad inverter. In questo modo è possibile parzializzare il sistema in range che vanno dal 10% al 100% della potenza. L'applicazione



degli inverter ai compressori consente altri vantaggi quali l'avviamento a frequenza minima, contenendo le correnti di spunto. In generale un sistema VRV è conveniente anche per le seguenti motivazioni:

La presenza della tecnologia ad inverter garantisce alte efficienze durante i funzionamenti a carico parziale, circostanza quasi sempre presente negli impianti;

Rispetto ai sistemi ON/OFF la temperatura negli ambienti si mantiene a livelli pressoché costanti.

La scelta dei ventilconvettori per la struttura in esame è stata ritenuta ottimale poiché:

Il riscaldamento ed il raffrescamento non sono continuativi e quindi l'utilizzo di tecnologie a bassa inerzia termica rappresenta un vantaggio da un punto di vista energetico;

L'installazione di un impianto con ventilconvettori è di più veloce esecuzione e rispetto ad altre tecnologie è possibile contenere la produzione di rifiuti in fase di realizzazione dell'opera (ad esempio, rispetto ad un impianto a pavimento radiante).

Si provvederà quindi alla rimozione dei terminali esistenti, del gruppo termico e del refrigeratore d'acqua e di tutti gli accessori dell'impianto.

La successiva fase sarà l'installazione dell'impianto di climatizzazione

VRV costituito unità motocondensanti e unità interne e di tutti gli accessori necessari al funzionamento dell'impianto. L'impianto sarà splittato per ogni singolo piano o più zone in modo da garantire massima flessibilità e maggiore efficienza riducendo le distanze tra unità esterne ed interne.



MVA_FS

(Cold Plasma Generator)