



Isolamento sismico alla base del Condominio Habitat in L'Aquila

Ing. Riccardo Vetturini

INGENIUM srl – Società di Ingegneria. Corso Cavour 84, 06034 Foligno (PG)

Ing. Walter Cecchini

INGENIUM srl – Società di Ingegneria. Corso Cavour 84, 06034 Foligno (PG)

Ing. Placido Lucà Trombetta

FIP Industriale SpA. via Scapacchiò 41, 35030 Selvazzano (PD)

Geom. Davide Cocchio

FIP Industriale SpA. via Scapacchiò 41, 35030 Selvazzano (PD)

Keywords: seismic-isolation, retrofit, existent, concrete, L'Aquila

ABSTRACT

The present paper illustrates structural design for repairing and strengthening through base isolation of a housing complex in L'Aquila, made up of 71 residential units, severely damaged by the seismic crisis occurred on 6th of April 2009.

The complex, called "Habitat" and built around early 90s, consists of 19 buildings structurally distinct but adjacent to each other, of which ten host housing units and nine stairwells, arranged in a horseshoe around a central green space. Among buildings and stairwells there are clearly under-dimensioned seismic joints, that caused evident pounding between structures.

The complex will be isolated at the base by placing 277 double curvature sliding pendulum isolators, leaving the nineteen structures independent of each other except at the first deck above the devices.

The choice of base isolation has permitted to restrict works almost exclusively on the ground floor (the area with higher level of damage) and on foundations, without having to proceed with traditional approach, with high invasive interventions, resulting in considerable repair costs.

The dimensions of the deck, the number of isolators and the particular shape of the building are unusual and significant; some general considerations on this approach could be extended to other similar cases.

1 DESCRIZIONE GENERALE

Il presente lavoro illustra il progetto strutturale per la messa in sicurezza di un complesso edilizio di 71 unità immobiliari a L'Aquila, gravemente danneggiato dalla crisi sismica del 06 aprile 2009, mediante l'isolamento alla base. Il complesso, denominato "condominio Habitat" è un aggregato edilizio costruito agli inizi degli anni '90, costituito da diciannove edifici strutturalmente tra loro distinti ma contigui, di cui dieci ospitano le unità abitative e nove i corpi scale, disposti a ferro di cavallo attorno ad uno spazio verde centrale.

L'aggregato è costituito da una sequenza di edifici ciascuno con struttura portante costituita da telai tridimensionali le cui aste sono pilastri e travi in cemento armato. Tutti gli edifici sono privi di setti di controvento. Gli orizzontamenti sono solai in latero-cemento con soletta armata di ripartizione.

La particolarità è senza dubbio la forma complessiva dell'edificato, costruita con un gioco ad incastro, dove le strutture autonome dei corpi scala formano una specie di cuneo che chiude negli angoli la poligonale dei fabbricati a destinazione abitativa.



Figura 1. Vista aerea del "Condominio Habitat".

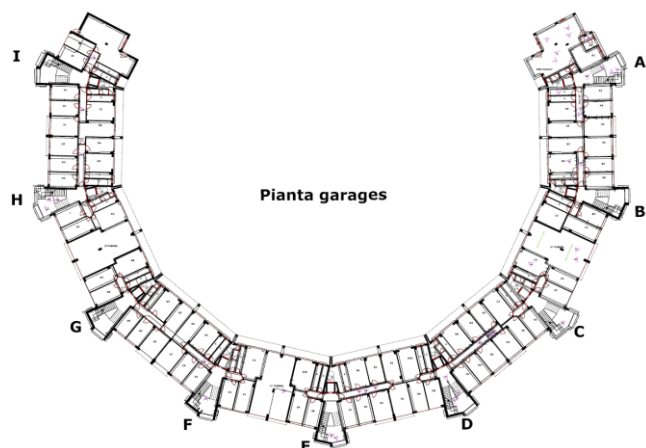


Figura 2. Pianta del piano terra.

Le strutture solo apparentemente sono tra loro uguali, in realtà ciascuna differisce dall'altra per numero di piani e la presenza di salti quota necessari per il raccordo al piano di campagna, leggermente in pendenza. Alle estremità del fabbricato gli edifici sono di quattro livelli mentre al centro i piani divengono sei livelli completamente fuori terra.

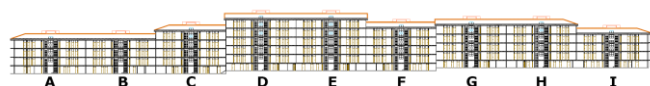


Figura 3. Prospetto del lato esterno

Non sono presenti locali interrati, i garage, cantine ed autorimesse sono collocati al piano terra mentre dal piano primo a salire la destinazione d'uso è esclusivamente abitativa.

2 STATO DI DANNO E CARENZE STRUTTURALI

A seguito della crisi sismica del 06 aprile 2009 si è manifestato uno stato di danneggiamento che prevalentemente ha interessato il piano terra e primo mentre dal secondo livello a salire il danneggiamento è pressoché trascurabile ad eccezione delle zone prossime ai giunti. Si rilevano danni strutturali nei nodi dei pilastri del piano terra mentre evidenti segnali di martellamento sono rilevabili tra i giunti, con maggior intensità nelle porzioni di edificato più alte. Lesioni diagonali di rottura a taglio fino ad espulsione dei rivestimenti in laterizio sono estremamente diffusi nella totalità dell'edificato al piano terra e primo.

Dall'analisi del quadro fessurativo e delle tipologie di dissesto è emerso fin da subito come principale carenza strutturale dei singoli edifici, e dell'aggregato nel suo insieme, una eccessiva deformabilità orizzontale dei telai in cemento armato.

Il collasso delle tamponature ed i molteplici segni di martellamento denunciano uno stato di spostamento di interpiano e complessivo non compatibile con le tamponature e tramezzature di piano, né tantomeno con l'ampiezza dei giunti di separazione tra gli edifici.



Figura 4. Vista del cortile interno del complesso residenziale.

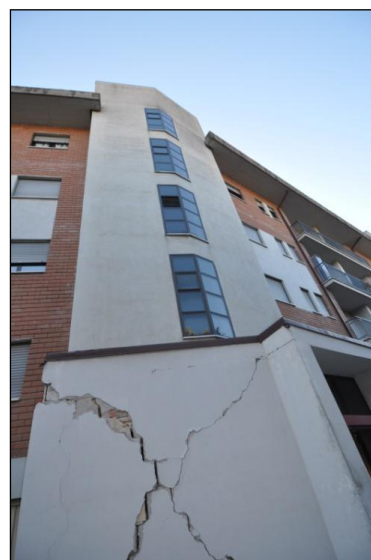


Figura 5. Danneggiamenti alle tamponature esterne del piano terra, in corrispondenza di uno dei vani scala.

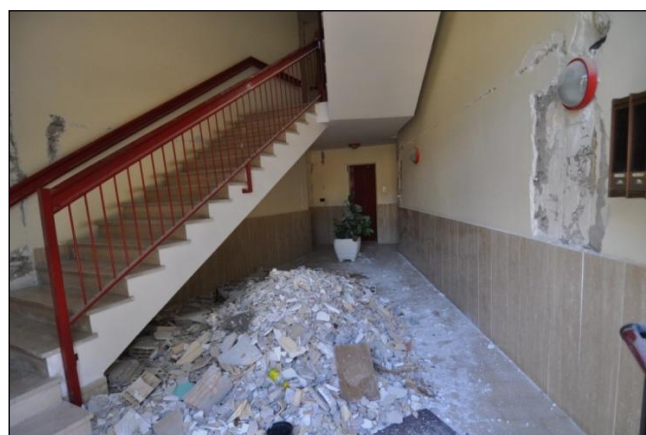


Figura 6. Danneggiamenti in corrispondenza di uno dei vani scala, per effetto del martellamento tra strutture adiacenti.

Come già evidenziato i telai non hanno elementi strutturali di irrigidimento, quali pareti o nuclei; gli edifici risultano inoltre piuttosto snelli, soprattutto nella sezione trasversale dell'edificio. I corpi scala sono ad esempio strutture che hanno solo quattro pilastri su cui si innestano le rampe scala in c.a. che rendono i telai molto rigidi in direzione lungo l'asse radiale dell'edificio ma estremamente deformabili in direzione tangenziale, direzione appunto dove hanno avuto una "collisione" con il telaio dell'unità abitativa che ha oscillato in opposizione di fase.



Figura 7. Danneggiamenti in corrispondenza di uno dei giunti, per effetto del martellamento tra un vano scala e l'edificio attiguo. Si noti il giunto saturato da materiale murario.

La diagnosi di tale comportamento ipotizzato dall'analisi del quadro fessurativo ha trovato conferma nella modellazione numerica del complesso. La deformazione e lo stato di spostamento alla luce delle azioni sismiche di progetto previste dalle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui ad D.M. 14.01.2008 ha infatti evidenziato l'inadeguatezza dei giunti strutturali previsti all'epoca di costruzione, seguendo con probabilità la regola geometrica di un centesimo dell'altezza.

L'analisi strutturale agli elementi finiti della struttura allo "stato attuale" ha evidenziato inoltre una significativa vulnerabilità sismica in termini di resistenza degli elementi strutturali; i moltiplicatori sismici ottenuti si attestano a valori prossimi al 10-15% dell'adeguamento. Il limite viene raggiunto per rotture a taglio e a flessione sulle travi della direzione debole, soprattutto negli edifici più alti. Poco significative sono invece le vulnerabilità dei pilastri, che presentano buoni rapporti di armatura, sia a flessione che a taglio.

3 STRATEGIA DI INTERVENTO

Sulla base del quadro fessurativo, individuate le tipologie di dissesto ad esso congruente e la conferma dall'analisi numerica di tali ipotesi si è identificata la causa del danno in un difetto di eccessiva deformabilità della struttura sia di interpiano sia per l'incompatibilità di tale stato di spostamento con i giunti sismici esistenti. Definita la causa si è intrapresa la definizione di quali potessero essere i rimedi, analizzando in prima istanza approcci di tipo "tradizionali". L'inserimento di setti irrigidenti o elementi di controvento per limitare lo spostamento si è manifestata da subito una strada di scarsi vantaggi e da evidenti controindicazioni di carattere funzionale e di forte invasività. L'inserimento di elementi di controventamento avrebbe infatti avuto la controindicazione di inserire elementi strutturali in un tessuto architettonico e funzionale non pensato per opere di tal genere, in particolare nei corpi scala laddove il problema deformativo era maggiore. Per altro l'analisi strutturale con elementi di controvento evidenziava la necessità di un rinforzo diffuso dei pilastri e delle travi sia per proprie carenze sia per una diversa distribuzione delle sollecitazioni introdotte dal controventamento. Occorre inoltre rammentare che nei piani dal secondo livello in poi, il livello di danneggiamento è estremamente limitato e l'eventuale "rinforzo" avrebbe causato paradossalmente maggior danno a finiture ed impianti dello stesso evento sismico dovendo intervenire all'estradosso delle travi in prossimità dei nodi e all'estremità dei pilastri.

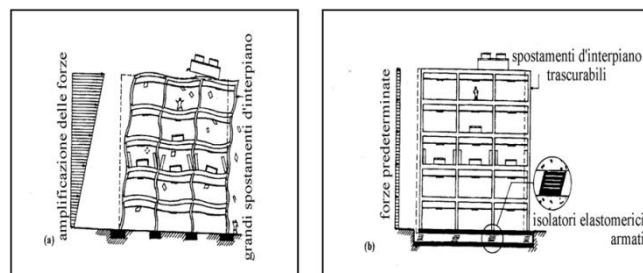


Figura 8. Schema di raffronto tra il comportamento tipo di un edificio a base fissa e di uno isolato, soggetti ad azioni sismiche.

Abbandonata l'idea di un "rinforzo tradizionale" si è approcciato il problema strutturale "CAPACITA' > DOMANDA" non agendo sulla "capacità" dell'edificio, ma piuttosto sulla "domanda" riducendo questa mediante l'isolamento alla base. Tale strategia ha immediatamente manifestato i vantaggi pressoché senza controindicazioni. Il disaccoppiamento delle strutture di elevazione ha quale vantaggio infatti di abbattere drasticamente le accelerazioni e conseguentemente lo stato deformativo e di spostamento. Come noto il comportamento a telaio di tipo "shear-type" a base fissa tende, se

isolato alla base, ad un movimento di corpo rigido in cui lo spostamento relativo si concentra tra la sottostruttura fissa al terreno e la parte di sovrastruttura al di sopra il piano di isolamento. Abbattendo quindi le accelerazioni di base si riduce e risolve il problema deformativo di interpiano che ha innescato la rottura delle tamponature e delle opere di finitura in genere. Lo stato di sollecitazione si abbatte a tal punto che le membrature, travi e pilastri, tornano ad essere idonee e compatibili allo stato di sollecitazione atteso senza una modifica del rapporto tra rigidità e masse secondo cui è stato concepito l'edificio in origine.

Nel caso specifico la particolarità è legata al fatto che si deve realizzare un isolamento complessivo dell'aggregato, non solo dei singoli edifici, poiché la contiguità delle strutture era tale da essere incompatibile con gli spostamenti necessari di un isolamento alla base. Pertanto l'isolamento alla base doveva essere dell'intero aggregato, un unico piano rigido di base al di sopra il piano di scorrimento, che collega alla base gli edifici ma che li lascia indipendenti in elevato. In tal modo i fabbricati non modificano il loro comportamento strutturale se non per la drastica riduzione della "domanda". La diretta conseguenza di tale strategia è la soluzione alla problematica di maggior impatto, la dimensione inadeguata dei giunti. Infatti lo stato di deformazione della sovrastruttura isolata è oltre 3 volte inferiore della condizione a base fissa, pertanto i giunti sismici diventano idonei e congruenti con lo spostamento atteso anche in opposizione di fase.

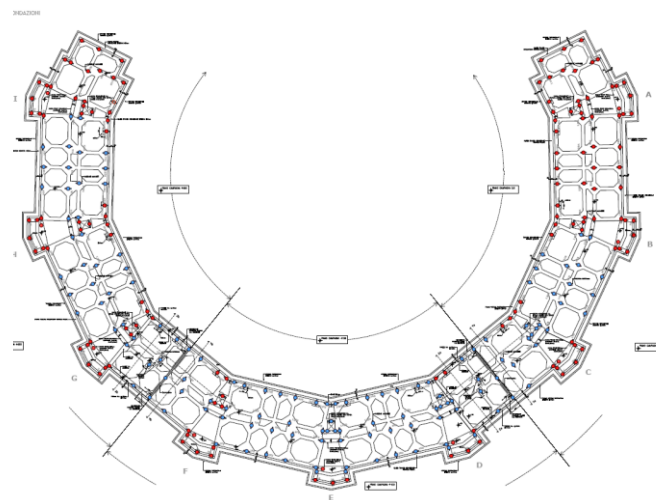


Figura 9. Disposizione in pianta delle varie tipologie di isolatori a scorrimento a doppia superficie curva.

L'intervento d'isolamento alla base consente soprattutto di limitare gli interventi quasi esclusivamente al piano terra (zona questa con maggior livello di danno e quindi comunque oggetto di una diffusa riparazione) e fondale senza dover procedere rispetto ad un intervento

tradizionale ad opere invasive nell'elevato con conseguenti ragguardevoli costi di ripristino. In particolare gli alloggi ai piani superiori sono stati debolmente segnati dall'evento sismico e un intervento tradizionale di rinforzo dei telai esistenti avrebbe comportato opere connesse al rinforzo stesso davvero consistenti, lasciando per altro irrisolto il problema dei giunti inadeguati.

Il complesso verrà isolato alla base disponendo 277 isolatori a scorrimento a doppia superficie curva della serie FIP-D, lasciando le diciannove strutture tra loro indipendenti tranne che a livello del primo impalcato al di sopra degli isolatori. Le dimensioni dell'impalcato, il numero d'isolatori e la particolare conformazione del fabbricato fanno dell'intervento un'opera inusuale e significativa.

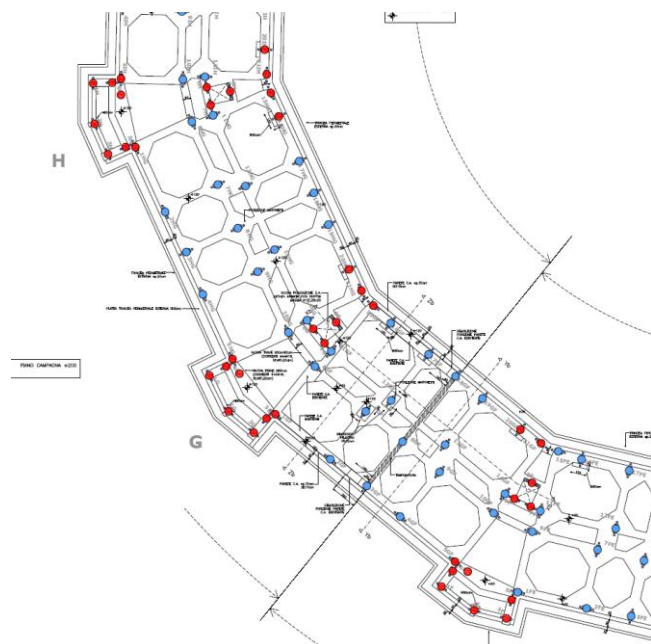


Figura 10. Disposizione in pianta delle varie tipologie di isolatori a scorrimento a doppia superficie curva. Particolare.

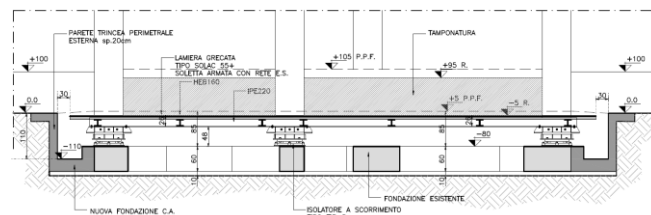


Figura 11. Particolare della sezione trasversale dell'edificio in corrispondenza del piano di isolamento.

L'edificio inoltre ha un sistema fondale che ben si presta all'inserimento con relativa semplicità del sistema d'isolamento. Il piano fondale è infatti costituito da un grigliato di travi rovesce con vertice sui pilastri. Detto sistema di travi ha il proprio estradosso collocato a circa 80-90cm dal piano di campagna. Detta differenza di quota consente l'inserimento degli isolatori al di sotto del piano di campagna alla base dei pilastri

esistenti, adeguando a tale sistema le strutture solo al di sotto della quota zero.

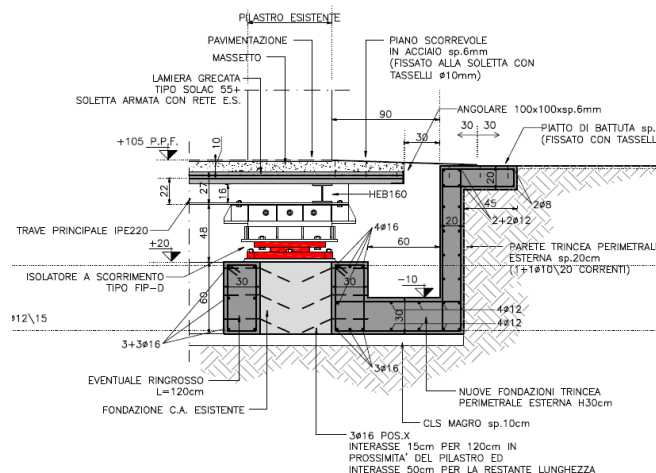


Figura 12. Particolare dell'intervento in fondazione per la realizzazione dello scannafosso perimetrale e del giunto sismico tra struttura isolata e a base fissa.

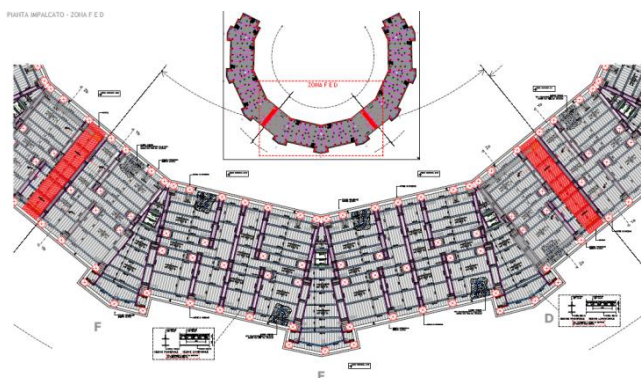


Figura 13. Stralcio della pianta del primo solaio a struttura mista in acciaio-calcestruzzo di nuova realizzazione, con evidenziate le botole di ispezione in corrispondenza di ogni pilastro.

Gli isolatori utilizzati nel presente intervento sono dispositivi a scorrimento a superficie curva, noti in letteratura con il nome di Friction Pendulum, costituiti essenzialmente da tre elementi in acciaio sovrapposti: due basi concave superiormente ed inferiormente, opportunamente sagomate in modo da ottenere il periodo di isolamento desiderato, ed una rotula centrale, convessa sia superiormente che inferiormente e sagomata in modo tale da accoppiarsi perfettamente con gli altri elementi permettendo le rotazioni. Per controllare l'attrito opposto al movimento delle superfici di scorrimento e rotazione, vengono utilizzati opportuni materiali termoplastici.

Il comportamento attritivo degli isolatori comporta una dipendenza lineare, a parità di altri fattori, della rigidità orizzontale equivalente del dispositivo dal carico verticale su di esso gravante in fase sismica; questa relazione vincola perciò la posizione del baricentro delle masse del

fabbricato alla posizione del baricentro delle rigidità, garantendo perciò un effetto "auto centrante" del sistema di isolamento; inoltre il periodo proprio del fabbricato isolato risulta sostanzialmente indipendente dalla massa della sovrastruttura.

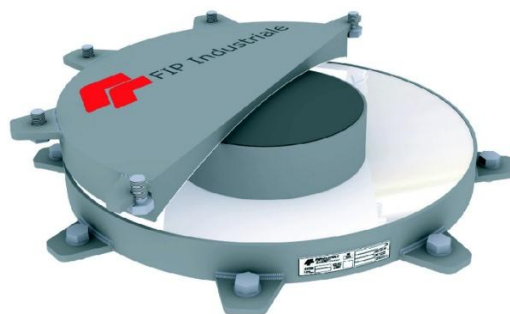


Figura 14. Spaccato di un isolatore a scorrimento a doppia superficie curva (Friction Isolation Pendulum).

4 DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA D'ISOLAMENTO

Il dimensionamento del sistema di isolamento è stato eseguito, in conformità a quanto richiesto dalle norme Tecniche per le Costruzioni 14.01.2008, relativamente allo stato limite di Collasso; l'utilizzo di sollecitazioni sismiche tanto gravose ($T_R = 975$ anni) è giustificato dalla criticità del ruolo degli isolatori e dall'elevata affidabilità che si vuole che essi garantiscano.

Gli isolatori a scorrimento a superficie curva utilizzati presentano un comportamento marcatamente non lineare, come evidenziato da un tipico ciclo isteretico ottenuto da prove sperimentali e di seguito riportato.

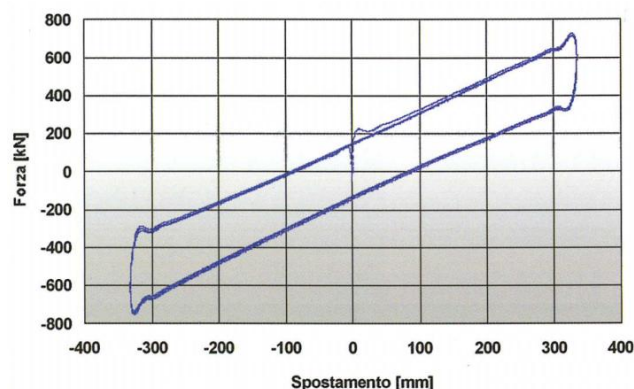


Figura 15. Curva sperimentale nel piano forza-spostamento, ottenuta mediante una prova a velocità costante.

La modellazione di tali dispositivi, tuttavia, può essere modellata come lineare equivalente, a patto di rispettare le condizioni imposte dalla normativa. La rigidità e lo smorzamento

equivalente possono quindi essere descritti mediante le relazioni (1) e (2) riportate di seguito.

$$K_e = V \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{X} \right) \quad (1)$$

$$\xi_e = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\frac{X}{\mu R} + 1} \quad (2)$$

La rigidezza di tali dispositivi risulta proporzionale, a parità di altri fattori, al carico medio presente in fase sismica, valutabile mediante la combinazione quasi permanente; tale caratteristica evidenzia l'origine attritiva della rigidezza laterale di tali dispositivi.

Dalle formulazioni precedentemente riportate risulta inoltre evidente come sia la rigidezza che lo smorzamento equivalente dipendano significativamente dallo spostamento del sistema relativo allo stato limite in esame, in quanto le proprietà equivalenti del sistema vengono individuate dal valore secante al diagramma forza-spostamento teorico del dispositivo. Il valore dello spostamento è stato inizialmente stimato mediante l'analisi dello spettro elastico di spostamento relativo al sito in esame. A partire da tale valore di primo tentativo è stata quindi svolta una analisi iterativa calcolando per passi lo smorzamento e la rigidezza equivalente di ogni isolatore, quindi le proprietà equivalenti dell'intero sistema di isolamento, infine valutando lo spostamento spettrale corrispondente ai nuovi parametri meccanici del sistema. Alla precisione della soluzione iterativa è imposta dalla normativa uno scarto del 5% tra i valori di due passi successivi; si è riusciti tuttavia con poche iterazioni a raggiungere valori prossimi all'1.5%.

Risultando ammissibile la modellazione lineare dei dispositivi di isolamento, si è eseguita un'analisi di tipo dinamica lineare (analisi modale con spettro di risposta elastico), adottando un comportamento elastico lineare per tutti gli elementi modellati. Lo spettro adottato è quello elastico, adeguatamente ridotto mediante il coefficiente η corrispondente al coefficiente di smorzamento proprio del sistema di isolamento, per il solo campo dei periodi superiori a 0.8 Tis.

La modellazione è stata eseguita adottando elementi finiti monodimensionali per gli elementi trave, pilastro e per gli isolatori; si sono adottati invece elementi bidimensionali per le solette delle scale. Nel modello si sono condensate le masse dei solai in laterocemento ai vari piani, in corrispondenza del centro di massa di ciascun orizzontamento; per quanto riguarda il livello al di sopra del piano degli isolatori, vista la notevole estensione di tale elemento, si è ritenuto adeguato

effettuare due differenti modellazioni, la prima adottando l'ipotesi di piano rigido, la seconda modellando l'effettiva rigidezza della membratura mediante elementi finiti bidimensionali.

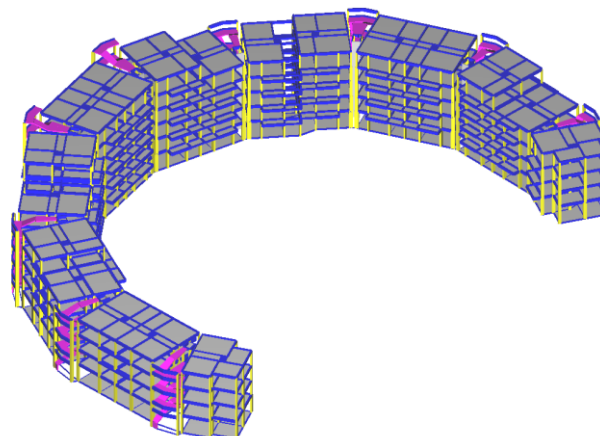


Figura 16. Vista di uno dei modelli di calcolo utilizzati per l'analisi globale del fabbricato isolato.

Nell'analisi sono state tenute in conto le eccentricità accidentali imposte dalla normativa per le costruzioni a base fissa, sebbene tali valori risultino notevolmente cautelativi per edifici isolati mediante isolatori a scorrimento; tali dispositivi esercitano infatti un benefico effetto di "auto centraggio" del centro di massa e di rigidezza del sistema, grazie alla proporzionalità tra rigidezza laterale dell'isolatore e carico ad esso applicato in fase sismica; effetti torcenti non previsti potrebbero tuttavia essere legati a possibili difformità nelle proprietà di scorrimento dei dispositivi, dovute ad esempio ad un differente invecchiamento dei materiali o a sporcizia presente sulle superfici.

L'analisi modale eseguita ha mostrato come oltre il 99% della massa modale partecipante sia associata ai primi tre modi di vibrare, che risultano essenzialmente a carico del solo sistema di isolamento. I dispositivi utilizzati infatti hanno permesso di ottenere un periodo proprio del sistema isolato pari a 2.75 secondi, con un rapporto di isolamento prossimo a 3; il disaccoppiamento del comportamento della sovrastruttura da quello del sistema di isolamento e dal terreno risulta perciò molto efficiente, come anche dimostrato dai livelli di sicurezza raggiunti.

Dall'analisi dello spettro di risposta in termini di spostamento si è ottenuto un valore massimo di 17.3 cm; tale valore deve essere tuttavia inteso come uno spostamento medio del centro di massa dell'edificio; dall'analisi eseguita agli elementi finiti, comprensiva di tali eccentricità accidentali, si è ottenuto ovviamente uno spostamento massimo più elevato, pari a 25.7cm.

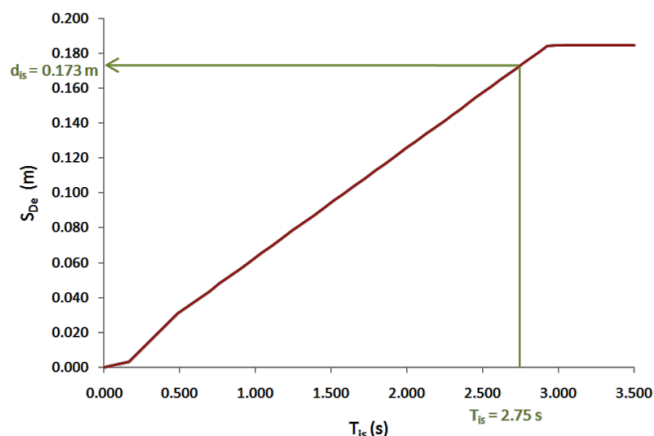


Figura 17. Spettro di risposta elastico in termini di spostamento relativo all'edificio isolato.

Esaminando gli spettri di risposta elastici in termini di accelerazioni ed in forma capacitiva (ADRS – acceleration displacement response spectrum) di seguito riportati è possibile ottenere quindi un quadro complessivo dei benefici ottenuti con l'isolamento sismico della struttura.

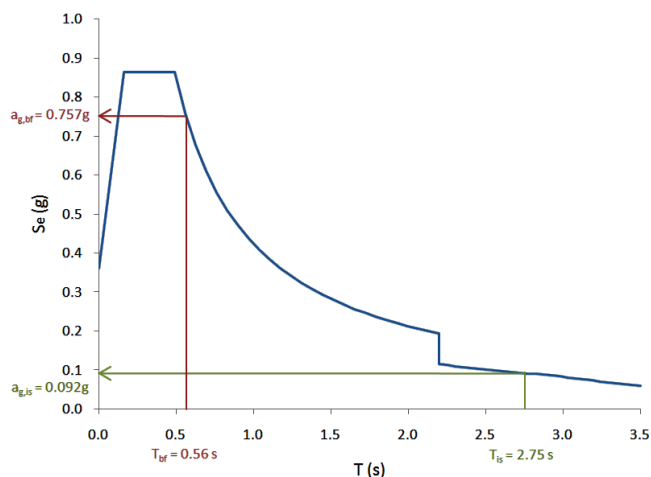


Figura 18. Spettro di risposta elastico in termini di accelerazione, con il confronto tra le accelerazioni massime attese nella struttura a base fissa (in rosso) e in quella isolata (in verde).

Si evidenzia in particolare:

- un abbattimento significativo delle accelerazioni trasmesse alla sovrastruttura, circa otto volte inferiori, ottenuto mediante spostamento dei periodi principali del sistema verso zone spettrali caratterizzate da una minore densità di potenza;
- un aumento degli spostamenti richiesti alla struttura a causa dell'incremento del periodo proprio del sistema; si fa tuttavia notare come tali spostamenti rimangano a carico del solo piano di isolamento e quindi dei dispositivi;
- un aumento dello smorzamento proprio del sistema, dai valori tipici delle strutture a base fissa (5 %) a valori ben più elevati (circa 20%), che ha sia una riduzione degli spostamenti richiesti al sistema di

isolamento, sia un'ulteriore abbattimento delle accelerazioni trasmesse alla sovrastruttura;

- un forte disaccoppiamento del comportamento della sovrastruttura da quello del terreno, grazie ad un rapporto di isolamento T_{is}/T_{bf} superiore a 3.

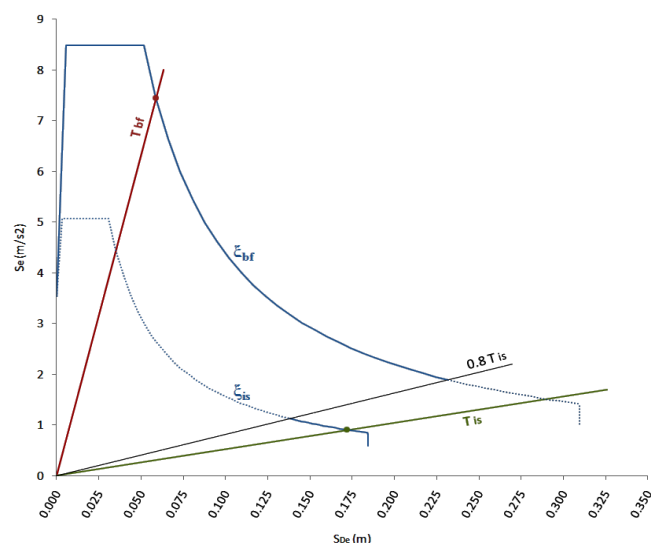


Figura 19. Spettro di risposta elastico in forma capacitiva (ADRS), con il confronto tra accelerazioni e spostamenti massimi attese nella struttura a base fissa (in rosso) e in quella isolata (in verde).

L'intervento eseguito ha permesso di ottenere un miglioramento sostanziale della sicurezza nei confronti delle azioni sismiche, ottenendo un indicatore di rischio allo stato di progetto pari al 75.9%. In particolare si è riusciti ad eliminare il pericolo di martellamento tra strutture adiacenti, rendendo i giunti adeguati, ed a mettere in sicurezza gli elementi non strutturali, mediante una drastica riduzione delle accelerazioni trasmesse alla sovrastruttura; si sono inoltre migliorati incredibilmente i livelli di sicurezza di gran parte delle membrature della struttura, rendendole nella maggior parte dei casi adeguate ai requisiti imposti per le nuove costruzioni; un numero assai limitato di membrature è risultato ancora carente, nei soli edifici più alti.

Con interventi assai limitati su tali membrature sarebbe quindi possibile ottenere un adeguamento del fabbricato; si è comunque ritenuto più che sufficiente il livello di sicurezza raggiunto, tenuto anche conto delle riserve dell'edificio in campo plastico, completamente trascurate nella valutazione della sicurezza dell'edificio isolato, e della vita utile residua del fabbricato.

5 MODALITÀ ESECUTIVE

Per poter realizzare il sistema di isolamento è necessario realizzare un vano tecnico al di sotto il piano di scorrimento (piano di campagna) ovvero piano dei garage e cantine, tale da consentire l'accessibilità la manutenzione e l'eventuale sostituzione degli isolatori. Detto vano tecnico è realizzato procedendo al getto di una platea armata rigidamente connessa all'intradosso delle fondazioni esistenti. Detta platea di spessore 20cm costituirà il piano di calpestio del locale interrato. Il soffitto del locale tecnico, piano di calpestio dei garage e cantine, è previsto un solaio in acciaio, costituito da travi delle serie IPE e lamiera grecata, entrambi rigidamente connessi alla base dei pilastri al di sopra il piano di scorrimento.

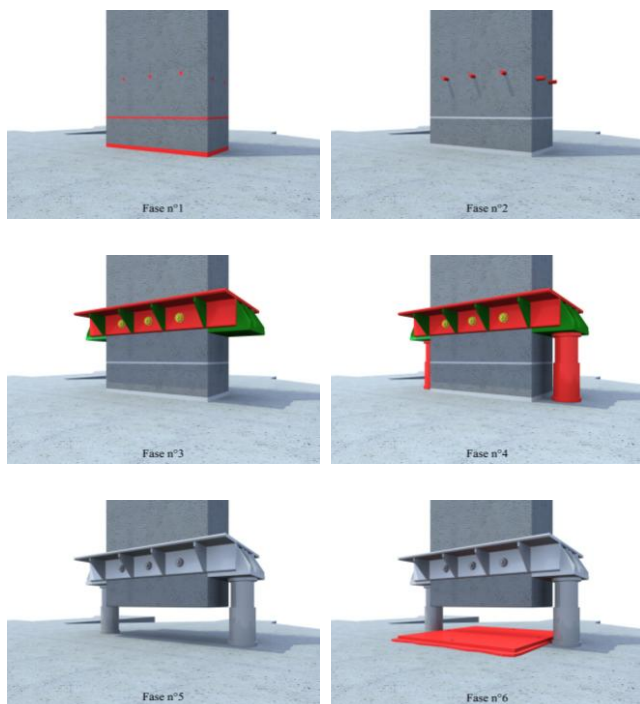


Figura 20. Fasi preliminari all'inserimento di un isolatore al di sotto di un pilastro esistente.

Gli isolatori verranno disposti tagliando i pilastri all'attacco con la fondazione, fissando gli isolatori alla base con l'estradosso delle fondazioni ed in testa con la base del pilastro opportunamente predisposta al collegamento dell'isolatore stesso e all'alloggio delle travi del solaio.

Per l'esecuzione dell'intervento in primo luogo dovranno essere demolite tutte le opere di tamponamento, tramezzatura e di finitura del piano terra liberando la struttura. Successivamente si procederà alla rimozione del terreno presente al di sotto la quota zero, piano di campagna, fino alla quota di intradosso delle fondazioni esistenti, portando così alla luce le strutture di fondazione. Liberate le strutture di fondazione si procederà a quell'insieme

sistematico di opere di adeguamento di questo piano fondale alla futura configurazione di locale interrato allargandole ove non idonee ed eseguendo la platea di base avendo cura di collegarla con le travi rovesce esistenti con perfori armati. In questa fase verrà inoltre realizzato il cavedio perimetrale necessario anche in questo caso all'accessibilità, alla manutenzione e all'eventuale sostituzione degli isolatori posti al di sotto i pilastri di perimetro. La funzione inoltre di tale cavedio perimetrale è quella di consentire lo spostamento massimo stimato di circa 30cm del complesso in fase sismica (SLC)

Adeguate le strutture di fondazione si procede alla preparazione dei pilastri. Vengono eseguito dei pre-tagli e i fori per l'alloggio dei tirafondi che in seguito saranno necessari per il fissaggio di apposite piastre metalliche.

Vengono fissate e solidarizzate al pilastro delle mensole rovesce in acciaio che solidarizzate al pilastro stesso hanno lo scopo di trasferire il carico di competenza del pilastro a una coppia di martinetti. Regolando la pressione oleodinamica dei martinetti si "solleva" il pilastro fino alla formazione di una prima fessurazione che testimonia il distacco del pilastro dalla base e il trasferimento della totalità del carico ai martinetti. A questo punto è possibile rimuovere la sezione di pilastro di base ove verrà collocato l'isolatore. Prima di inserire l'isolatore verrà disposta una piastra di base e una cuffia metallica di adeguamento della base del pilastro all'attacco con l'isolatore stesso.

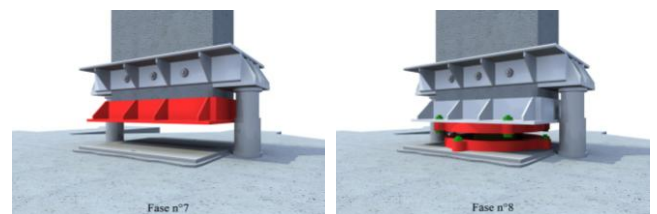


Figura 21. Fasi di inserimento di un isolatore al di sotto di un pilastro esistente.

Le piastre hanno il duplice compito di adeguare la base rettangolare del pilastro all'isolatore di forma circolare e di alloggiare le travi in acciaio del solaio di calpestio dei garage e cantine. La solidarizzazione della cuffia con la base del pilastro avviene mediante un getto di betoncino epossidico.

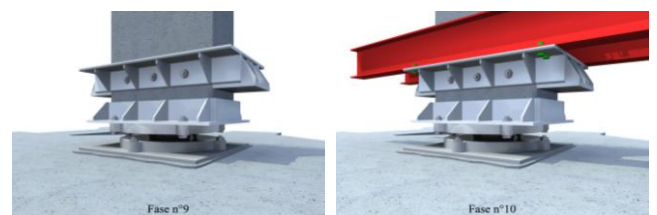


Figura 22. Fasi di realizzazione del primo solaio al di sopra del piano di isolamento.

Completato l'inserimento dell'isolatore ed il suo fissaggio al pilastro e alla fondazione vengono rimossi i martinetti e si può procedere alla ripetizione dell'intervento su altri pilastri. A completamento dell'intervento si procederà all'esecuzione del solaio in acciaio.

Ripetendo detta procedura in sequenza contraria si potrà in futuro provvedere ad un'eventuale sostituzione dell'isolatore.

6 CONCLUSIONI

Il problema strutturale della messa in sicurezza di un complesso edilizio di forma e dimensione inconsuete è stato risolto procedendo mediante l'isolamento sismico alla base. La strategia di intervento piuttosto che agire procedendo nella direzione di interventi "tradizionali" tesi ad incrementare le "capacità" dell'esistente si è mossa nella direzione di ridurre drasticamente la "domanda". Il complesso edilizio di ben 71 unità immobiliari a L'Aquila, gravemente danneggiato dalla crisi sismica del 06 aprile 2009, è un aggregato edilizio costruito agli inizi degli anni '90, costituito da diciannove edifici strutturalmente tra loro distinti ma contigui. Il problema principale dell'inadeguatezza dei giunti strutturali esistenti è stato risolto mediante l'isolamento alla base.

Il fabbricato per altro sia per la tipologia dello stato di danno, che ha colpito prevalentemente i piani terra e primo, sia per la presenza di uno spazio dove disporre gli isolatori, ai piedi dei pilastri, ben si presta a questa metodologia di approccio. Il complesso viene isolato alla base disponendo 277 isolatori a scorrimento a doppia curvatura della serie FIP-D, lasciando le diciannove strutture tra loro indipendenti tranne che a livello del primo impalcato al di sopra degli isolatori. L'intervento di isolamento alla base consente di limitare gli interventi quasi esclusivamente al piano terra, e fondale senza dover procedere rispetto ad un intervento tradizionale ad opere invasive nell'elevato con conseguenti ragguardevoli costi di ripristino. In particolare gli alloggi ai piani superiori sono stati debolmente segnati dall'evento sismico ed un intervento tradizionale di rinforzo dei telai esistenti avrebbe comportato opere connesse al rinforzo stesso davvero consistenti, lasciando per altro irrisolto il problema dei giunti inadeguati. L'isolamento alla base nel caso particolare ha viceversa il grande vantaggio di abbattere drasticamente l'accelerazione alla base, abbattendo conseguentemente lo stato di spostamento, resolvendo contemporaneamente il problema della sicurezza/resistenza di ogni singolo telaio e rendendo idonei i giunti esistenti

senza interventi significativi sulla struttura in elevato.

7 RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia la FIP INDUSTRIALE SpA ed in particolare la Dott.ssa Ing. Maria Gabriella Castellano per la consulenza e la collaborazione tecnico-scientifica fornita per la progettazione del presente intervento.

8 BIBLIOGRAFIA

DOLCE M., PONZO F.C., DI CESARE A., ARLEO G., *"Progetto di Edifici con Isolamento Sismico"*, Iuss Press – Seconda edizione.

CASTELLANO, M.G., INFANTI S., *"Sistemi di protezione per la sicurezza delle costruzioni"*, Atti del Convegno internazionale *"Bioarchitettura e ingegneria ambientale – Progetti di sviluppo e mobilità sostenibile sul territorio"*, Pistoia 3-5 ottobre 2007

DOLCE M., MARTELLI A., PANZA G., *"Moderni metodi di protezione dagli effetti del terremoto. 21° secolo"* - Milano, 2006.

KELLY J.M., *"Base isolation: Linear Theory and Design"*, Earthquake Spectra, Vol.6

"Norme Tecniche per le Costruzioni" - D.M. 14 gennaio 2008

Consiglio superiore dei Lavori Pubblici, *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"* di cui al D.M. 14 gennaio 2008

CEN, European Committee for Standardization (2009) *"EN-15129 – Antiseismic devices"*