



TEMA

Technologies
Engineering
Materials
Architecture

Journal Director R. Gulli

e-ISSN 2421-4574
Vol. 4, No. 1 (2018)

Issue edited by Editor in Chief M. D'Orazio

Cover illustration Archivio Gigi Gho

Editorial staff

Cover design: C. Mazzoli
Journal Manager: D. Prati

Demolition and reconstruction?

After the long seismic sequence named “Amatrice-Norcia-Visso”, a large part of the Italian population realized the difficulty to obtain adequate safety levels for the diffuse building heritage. During the earthquake, characterized by a limited magnitude level (about 6.3), a large part of the building heritage, even if restored following the most recent technical codes, collapsed suddenly. The consequences for the population concerned were devastating. Several hundred people died and about 30,000 people moved to other locations by the sea without knowing if they could have returned to their native places, considering that some historical towns were completely destroyed. The particular extension of the damages with the collapse of entire urban centers has shown that the damage recorded can only be partially attributed to specific defects of some buildings or non-compliance with existing technical rules. More generally, the particular seismic sequence gave evidence of the difficulty to grant, at the same time, the preservation of the historical identity of these towns and the use of historical buildings with modern standards and adequate safety levels. As a consequence, the basic concept of the seismic codes relating to seismic with respect to intervention on the historical building heritage (improvement instead of adaptation) has been questioned and at the political as well as technical level a debate has emerged regarding the forms with which to face the emergency, envisaging the possibility of an extensive process of demolition and reconstruction.

The shock of the damage extension and the possible abandonment of entire areas of the nation, with important social and economic consequences, has once highlighted the centrality of said issues and the need to further deepen research areas such as those related to the issues of the seismic safety of the diffused building heritage to avoid the supremacy of simplified and purely

Dopo la lunga sequenza sismica denominata Amatrice-Norcia-Visso una parte significativa dell'opinione pubblica ha realizzato l'enorme difficoltà di ottenere adeguati livelli di sicurezza rispetto ad azioni sismiche per il patrimonio edilizio storico diffuso. Durante l'evento sismico, caratterizzato, nelle scosse più intense, da una magnitudo non elevatissima (ca. 6.3) una grandissima parte di tale patrimonio è collassata rapidamente. La conseguenza è stata devastante per le popolazioni interessate. Oltre alle centinaia di morti si è innescato di fatto l'abbandono di interi territori. Ca. 30.000 persone si sono spostate verso le aree costiere senza sapere se sarebbero mai più rientrate nei luoghi di nascita, considerando la distruzione pressoché totale di interi centri urbani. La particolare estensione dei danni con il collasso di interi centri urbani, ha dimostrato come i danni registrati possano essere solo parzialmente attribuiti a difetti specifici di alcuni fabbricati o a non conformità di questi rispetto alle normative. Più in generale la sequenza sismica ha messo in evidenza la grande difficoltà che abbiamo ancora oggi nel coniugare la tutela dei caratteri culturali che caratterizzano l'edilizia diffusa ed i centri minori, le necessità derivanti dall'uso secondo moderni standard e adeguati livelli di sicurezza. Come conseguenza il concetto base che caratterizza i codici normativi relativi alla sismica rispetto all'intervento sul patrimonio edilizio storico (miglioramento rispetto ad adeguamento), è stato messo in discussione ed a livello politico oltre che tecnico è emerso un dibattito relativo alle forme con cui affrontare l'emergenza paventando la possibilità di un esteso processo di demolizione e ricostruzione.

Lo shock relativo all'estensione dei danni ed al possibile abbandono di intere aree della nazione, con importanti conseguenze sociali ed economiche ha messo in evidenza ancora una volta la centralità di tali temi e la necessità di approfondire ulteriormente ambiti di ricerca quali quelli relativi alle tematiche della sicurezza sismica del patrimonio edilizio diffuso per evitare l'insorgere ed il possibile dominio di approcci semplificati e puramente tecnologici e per questo del tutto parziali e per

technological (and therefore completely partial) approaches to adequately preserve the identity and the image (which is also part of the constructive culture) of these places, not only for cultural reasons but also for economic reasons, considering the touristic appeal of these places.

After this earthquake the need to give a further and significant impulse to research in this area emerged strongly, to the analysis of specific cases with the aim of finding solutions, which hardly will be general or generalizable, but which will be useful to highlight useful orientations to guarantee security, adequate levels of life in the buildings that characterize the smaller centers, without losing the cultural identity that characterizes these places.

Marco D'Orazio

Editor

preservare adeguatamente l'identità e l'immagine (dei quali è parte anche la cultura costruttiva) di tali luoghi, tanto per motivazioni culturali che per motivazioni economiche, data l'attrattività di questi luoghi sotto il profilo turistico.

A seguito del terremoto è emersa con forza la necessità di dare un ulteriore e significativo impulso alla ricerca in tale ambito, all'analisi di casi specifici con lo scopo di trovare soluzioni, che difficilmente saranno generali o generalizzabili, ma che comunque saranno utili ad evidenziare indirizzi utili a garantire sicurezza, adeguati livelli di vita negli edifici che caratterizzano i centri minori, senza perdere l'identità culturale che caratterizza questi luoghi.

Towards a safe school.

Case studies on seismic improvement in existing school buildings

Cesira Paolini, Marina Pugnaletto*

Highlights

From a construction point of view, school buildings present a wide array of case studies regarding their building techniques and the materials used, being closely linked to their construction era. The case studies presented concern buildings from the 1970s, constructed with reinforced concrete frames and which, over time, have undergone different upgradings to render them fire safe and make them disabled-friendly, that have changed the compositional and structural layout. As well, a comprehensive, seismic, energy and functional upgrading was planned.

Abstract

The problem regarding seismic risk for school buildings has become increasingly important over the last years and national projects have been set underway to improve and adapt existing buildings to seismic risk. Many schools were built during historical periods when, even though foreseeing anti-seismic measures, were based on prerequisites different to those of today. It has become an urgent need to examine projects for a vast number of existing school buildings in relation to the important social role that they have always played.

Keywords

Seismic adaptation, Construction techniques, School buildings

1. INTRODUCTION

The 2003 Presidency of the Council of Ministers Ordinance extended the seismic zoning to all Italian regions, thus, involving the elimination of previously non-classified zones and individuating four different levels of danger. This amendment immediately highlighted the need to intervene on buildings previously constructed to make them safe, in accordance with the law, in the event of an earthquake. The historical buildings constructed according to the different regulations in force at their time of construction include a large number of buildings designed and built without taking into account the pressures exerted by horizontal forces, or in areas previously considered safe from a seismic risk perspective.

Cesira Paolini

DICEA - Dipartimento di
Ingegneria Civile, Edile e
Ambientale, "Sapienza"
Università di Roma, via
Eudossiana 18, Roma, 00184,
Italia

Marina Pugnaletto

DICEA - Dipartimento di
Ingegneria Civile, Edile e
Ambientale, "Sapienza"
Università di Roma, via
Eudossiana 18, Roma, 00184,
Italia

* Corresponding author

Tel.: +39-0644585188;

Fax: +39-0644585186;

e-mail:

marina.pugnaletto@uniroma1.it

If the problem exists and appears to affect the whole of the existing building patrimony in Italy that, having been constructed over many different centuries, displays specific and different morphological, material and construction features depending on their construction period, it has now become urgent, if considered in the light of the existing school buildings nationwide. There are many schools, of every type and level, that have been located in edifices dating from historical eras when design was based on prerequisites quite different to those of today, or situated in areas previously considered non-seismic zones. To tackle this situation, the Italian government has taken steps to provide a new impetus for projects aimed at upgrading and rendering this patrimony safe. In 2014, within the Presidency of the Council of Ministers, a specific *Unità di Missione* was set up to guarantee the coordination among the different relevant ministries in managing the works to be carried out on the schools, as well as individuating and recognizing the different financing involved and support from local entities which directly manage the school buildings. The setting up of a register of school buildings, as foreseen in Law 23/1996, promoted in the taskforce's founding document, resulted in highlighting, among others, that 55% of buildings had been built before 1975, in the period prior to the school regulation coming into effect, which, in that year, had introduced substantial changes in didactics and in construction. The need to adopt new criteria and new didactic methods often required quite important changes aimed at adapting existing buildings to the previous directive, with the introduction of spaces and variations in layout in order to become more functional and fitting to the changes required in teaching. However, very often, these works were carried out without taking into account the inevitable alterations which would have affected the entire building in the event of an earthquake. Moreover, also from a construction point of view, the school buildings present very diverse examples regarding techniques and materials used in their construction, related to their period of construction reflecting the different attitudes to building.

2. CASE STUDIES

In the disastrous earthquake that hit Aquila in 2009, the Catholic School, *Istituto Santa Maria degli Angeli*, was seriously damaged, to the extent of being declared unsafe. This historical complex, occupying an entire block built next to the city walls, was mainly built during the Renaissance and the fifteenth century, with the church façade located in the southern corner. In 1968, an extension was added to accommodate a school and a university student hostel, positioned next to the convent to complete the complex on the

1. INTRODUZIONE

L'ordinanza del PCM del 2003 ha esteso a tutto il territorio italiano la zonizzazione sismica, prevedendo così l'eliminazione delle zone in precedenza non classificate e individuando quattro classi a diversa pericolosità.

Questa modifica normativa ha evidenziato immediatamente la necessità di intervenire sul patrimonio edilizio costruito in precedenza in modo da renderlo sicuro, secondo legge, nei confronti degli eventi sismici; l'edificato storico, infatti, realizzato secondo le diverse norme vigenti all'epoca della costruzione comprende una grande quantità di manufatti progettati e realizzati senza considerare le sollecitazioni impresse da forze orizzontali o in zone del territorio nazionale ritenute sicure dal punto di vista del rischio sismico.

Se la problematica esiste e appare complessa per tutto il vasto patrimonio edilizio esistente nel nostro Paese che, essendo stato realizzato nel corso di svariati secoli presenta caratteristiche morfologiche, materiche, costruttive specifiche e differenti a seconda dell'epoca di costruzione, diviene urgente se considerata in relazione agli edifici scolastici presenti sul territorio nazionale. Sono infatti molte le scuole, di ogni tipo e grado, che risultano collocate in manufatti risalenti a epoche storiche nelle quali la progettazione si basava su presupposti differenti da quelli odierni, o localizzate in zone non ricadenti nella zonizzazione sismica precedente a quella attuale. Per far fronte a questa situazione il Governo italiano è intervenuto nell'intento di dare un nuovo impulso agli interventi finalizzati alla riqualificazione e alla messa in sicurezza di tale patrimonio, tanto che dal 2014 è stata istituita, presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri, una specifica Unità di Missione per garantire il coordinamento tra i diversi Ministeri coinvolti nella gestione degli interventi di ristrutturazione delle scuole, nonché l'individuazione e la ricognizione delle varie linee di finanziamento e il sostegno agli Enti locali, che operano nella gestione diretta degli edifici scolastici. L'implementazione dell'anagrafe dell'edilizia scolastica, prevista dalla legge 23/1996, promossa nel documento istitutivo della Unità di Missione, ha consentito di evidenziare, tra l'altro, che il 55% degli edifici è stato realizzato prima del 1975, in epoca precedente all'entrata in vigore della normativa scolastica che, proprio in quell'anno, ha introdotto cambiamenti sostanziali sia nella didattica che nell'edilizia. Spesso la necessità di accogliere i nuovi criteri e le nuove modalità di insegnamento ha richiesto trasformazioni, anche rilevanti, finalizzate ad adeguare gli edifici esistenti alle sopravvenute direttive, con l'introduzione di spazi e la variazione nelle distribuzioni per raggiungere un assetto funzionale consono alle mutate necessità della didattica. Molto spesso, però, tali interventi sono stati condotti senza tenere nella dovuta considerazione le inevitabili alterazioni che avrebbero portato nella risposta globale dell'edificio all'evento sismico. Inoltre, anche dal punto di vista strettamente costruttivo, gli edifici scolastici presentano una variegata casistica di tecniche e materiali utilizzati nella loro

eastern side. The new building, in the vacant space adjacent to the wall, was made up of two parts, one of six above-ground storeys and the other of two, and both with a hipped roofing. This situation led to adopting, to adapt to the plan for seismic improvement and restoration work, different approaches for the work to be done on the monumental part, where the actual consolidation and restoration was to be carried out, and also for the work to be done on the building from the 1970s.

The latter was carried out using a six-level R.C. framework, with the first being partially at basement level and positioned, without using structural joints, between the groundfloor, the central heating plant, the entry area and the old historical complex. A study was conducted with the engineers, S. Perno and S. Rossicone, to improve the building's safety in the event of an earthquake. The findings highlighted that the two parts of the new construction were separated by a 3 cm joint on the first floor and a 5 cm joint on the second, and where the groundfloor, structurally continuous with the building and the entry area, on via Micarelli, had a masonry structure built before 1968, in line with the historical complex, and joined to the new rear structure in R.C. All sections were found to be lacking in bracing walls, except for the upper section where the lift shaft is a part of the floor's bracing, and the floors are constructed in cement and brick with dividing reinforced cement slabs.

The study on the post-earthquake situation revealed important damages on the ground, first and second floors and signs of hammering in the joints between the adjacent parts as well as partial collapses in the walls and openings and the flooring. Moreover, in all the building, both on the groundfloor and first floor, diagonal lesions typical of shearing were found, which resulted in the brick cladding being extruded. Successively, checking the layout regularity and establishing the position of the centres of mass and flexural rigidity, there emerged that the lift shaft created a marked eccentricity and the danger of the beginning of a phenomenon of hammering in the construction joint between the two sections of the structure. Instead, for the height, it could be noted that there were no false supports, that the columns were continuous for the whole structure and that the masses showed marked variations, while the flexural rigidity, being tapered columns, varied along the upper height of the building. Moreover, the latter, on the vertical plane, was not regular due to the presence of longitudinal sections of marked variations in height, from six to two floors, between one part and the other of the construction. At first, in the design proposal for the seismic improvements, three possible solutions were studied: inserting R.C. shear walls, introducing seismic isolators at the base of the structure and positioning the concentric bracing with dissipative

realizzazione, legati all'epoca della costruzione, che connotano il diverso comportamento dei manufatti.

2. CASI DI STUDIO

Nel disastro terremoto che ha colpito L'Aquila nel 2009 la Scuola parificata Istituto Santa Maria degli Angeli è stata notevolmente danneggiata, tanto da essere dichiarata inagibile. Il complesso storico, che occupa un intero isolato a ridosso delle mura di città, consta di più parti realizzate in epoca rinascimentale e cinquecentesca e si conclude nell'angolo meridionale con la facciata della chiesa. Nel 1968, è stato realizzato un ampliamento per ospitare un complesso scolastico e spazi destinati a un pensionato per studentesse universitarie, posizionato a ridosso del chiostro a concludere l'isolato sul fronte est. Il nuovo edificio, nello spazio del lotto a ridosso delle mura, si compone di due parti, una di sei piani e l'altra di due piani fuori terra, entrambe coperte con tetto a padiglione. Tale situazione ha determinato, nell'ambito del progetto di miglioramento sismico e di ristrutturazione, approcci differenti per gli interventi relativi alla parte monumentale, in cui è stato previsto il consolidamento e il restauro, e per quelli sull'edificio degli anni '70.

Quest'ultimo è realizzato con una struttura intelaiata in c.a. a sei livelli di cui il primo parzialmente interrato e posto, senza l'inserimento di giunti strutturali, tra un terrapieno, la centrale termica, la zona d'ingresso e il vecchio complesso monumentale. Su di esso è stato condotto uno studio, con gli Ingg. S. Perno e S. Rossicone, teso a ottenere un miglioramento nella risposta all'evento sismico. I rilievi costruttivi hanno evidenziato che le due parti del nuovo volume sono separate da un giunto di 3cm al primo livello e di 5cm al secondo, che il terrapieno, in continuità strutturale con l'edificio e la parte di ingresso, su via Micarelli, ha una struttura in muratura costruita precedentemente al 1968, realizzata in conformità a quella del complesso monumentale, e collegata alla nuova struttura retrostante in c.a. Tutti i corpi risultano privi di setti di controventamento, a eccezione del corpo più alto in cui il nucleo ascensore costituisce in parte elemento di controventamento di piano, e gli orizzontamenti sono realizzati con solai latero-cementizi con soletta armata di ripartizione.

Lo studio della situazione post-terremoto, ha evidenziato danni rilevanti localizzati al piano terra, al primo e al secondo piano e segnali di martellamento nei giunti tra parti contigue oltre che crolli parziali di tamponamenti e di solai. Inoltre nell'edificio nel suo complesso, sia al piano terra e che al primo piano, sono state rilevate lesioni diagonali tipiche di una rottura a taglio, che hanno condotto all'espulsione puntuale dei rivestimenti in laterizio. Successivamente, verificando la regolarità in pianta del complesso e stabilendo la posizione dei centri delle masse e delle rigidità, è emerso che il corpo ascensore crea una forte eccentricità e si è evidenziato il pericolo dell'insorgenza di un fenomeno di martellamento nel giunto di costruzione tra le due parti della struttura. In alzato si è, invece, potuto notare che non sussistono

links. The three solutions were then compared regarding their advantages and disadvantages in order to identify the best.

The first hypothesis involved inserting, within the existing structure, a system of seismic-resistant walls, designed in accordance with the OPCM 3274 regulations and SLV checked according to the NTC 2008. The walls were to be positioned so as to balance the torsional effects that would occur during an earthquake. This would result in modifying the building's flexural rigidity and would have an effect during seismic shaking and floor drift. The repetition of the modal analysis, once the earthquake-resistant walls were installed, would result in being able to check that the drift is different for the two volumes of different heights, and in the third eigenmode, a drift contrast, typical of raised irregular structures, could be detected.

The second proposal foresaw inserting seismic isolators below each R.C. column. This system of isolation is designed so as to contain the buildings' structural response, becoming more elastic and dissipating the energy transmitted by the earthquake through cycles of high-level strain to a horizontal drift. The elastomeric isolators result in having a higher horizontal deformability level, due to the low shear modulus of the elastomer, an increased vertical rigidity, thanks to the confinement effect of the metal plates on the elastomer and a very high dissipative factor, due to the high level of compound damping used. Confined elastomer multi-directional sliding supports are used to increase the system period and adequately align the centres of mass and flexural rigidity. A SLC study was carried out on the design of the elements, taking into consideration severe seismic stresses ($TR=1462$ years), justified by the importance of the role of the isolators and by the high reliability that would be guaranteed.

appoggi in falso, che i pilastri sono continui per l'intera struttura e che le masse presentano brusche variazioni, mentre le rigidità, essendo i pilastri rastremati, variano lungo l'altezza dell'edificio; inoltre quest'ultimo, nello sviluppo verticale, non risulta regolare per la presenza nella sezione longitudinale di una brusca variazione di altezza, da sei a due piani, tra una parte e l'altra della costruzione.

Nella proposta progettuale per il miglioramento sismico dapprima sono stati studiati tre possibili interventi: l'inserimento di pareti di taglio in c.a., l'introduzione di isolatori sismici alla base della struttura e il posizionamento di controventi concentrici con link dissipativi e, in un secondo momento, sono state raffrontate le tre soluzioni in termini di vantaggi e svantaggi per individuare quella migliore. La prima ipotesi consiste nell'inserimento, all'interno della struttura esistente, di un sistema di setti sismo-resistenti, progettati secondo le prescrizioni dell'OPCM 3274 e verificati allo SLV secondo la NTC 2008, posizionati in modo tale da bilanciare gli effetti torsionali che si manifesterebbero in caso di sisma; tale intervento porterebbe a modificare la rigidità dell'edificio e agirebbe sui periodi di vibrazione e sugli spostamenti di piano. Ripetuta l'analisi modale sull'edificio, una volta introdotti i setti sismo-resistenti, si è potuto verificare che gli spostamenti risulterebbero diversi per i due corpi di altezze diverse e, nel terzo modo di vibrare, si è rilevata una opposizione di spostamento, tipica delle strutture irregolari in alzata. La seconda proposta di intervento prevede l'inserimento di isolatori sismici al disotto di ogni pilastro in c.a.; tale sistema di isolamento è progettato in modo da contenere la risposta strutturale degli edifici in campo elastico e dissipare l'energia trasmessa dal terremoto attraverso cicli di elevate deformazioni per traslazione orizzontale. Gli isolatori elastomerici permettono di avere una grande deformabilità orizzontale, data dal basso modulo di taglio dell'elastomero, un'elevata rigidità verticale, grazie all'effetto di confinamento dei

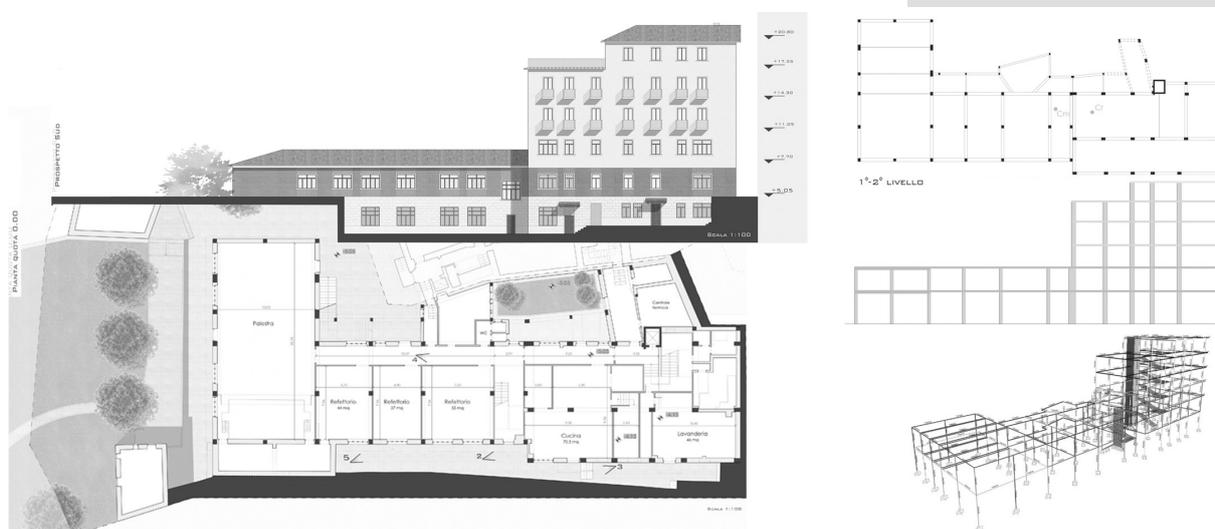


Figure 1. Catholic School Istituto Santa Maria degli Angeli in L'Aquila: the survey and analysis phase.

The modal analysis, conducted taking into account the isolators, highlight how overall modal mass involved is, in this case, linked to the first three eigenmodes, that are borne only by the isolation system. Furthermore, it was found that the accelerations affecting the superstructure would be significantly reduced thanks to the shift in the main system periods towards spectral zones characterized by a lower power density, and that the shifts needed by the structure would increase due to the increase in the actual period, but would be absorbed by the system parts.

Installing the steel bracing linked to the R.C. frame by the metal elastoplastic dissipators is the third proposal. In this case, it is mainly required to establish the most ideal positioning in terms of layout and bracing elevation in order to guarantee an increased regularity and an adequate torsion rigidity, the bracing form, their rigidity and the dissipator features. Consequently, work on the R.C. structure was hypothesized to allow for stressed plastic strain before reaching breaking point, by fixing strips of preimpregnated carbon fibre onto the columns with epoxy resins. As well, it was thought to be opportune to tear down the stairwells and rebuild the structural juncture, between the two floor block and that of six floors, to ensure a better regularity in layout and elevation and to be able to have an overall picture of the structure and how it is made up of different volumes, separate but regular. Finally, the dissipators and K-bracing were designed to be inserted into the load-bearing skeletal frame; the redimensioning of the system to determine, at the beginning, the main eigenmodes in two directions for the two volumes with non-braced structures; and the rigidity and resistance values obtained from the analysis to be the basis to establish the size of the diagonal bracing profiles and the dissipators. A K-type bracing was chosen that, designed to remain elastic, uses coupled diagonal UPN profiles.

lamierini metallici sull'elastomero e una notevole capacità dissipativa, dovuta alla grande capacità di smorzamento delle mescole usate. Sono stati poi previsti appoggi scorrevoli multidirezionali a elastomero confinato, per aumentare il periodo proprio del sistema e allineare adeguatamente il centro delle masse e quello delle rigidità. Il dimensionamento degli elementi è stato eseguito allo SLC considerando sollecitazioni sismiche gravose (TR=1462 anni), giustificate dalla criticità del ruolo degli isolatori e dall'elevata affidabilità che si vuole garantiscano. L'analisi modale, effettuata considerando gli isolatori, ha evidenziato come la totalità della massa modale partecipante sia, in questo caso, associata ai primi tre modi di vibrare, che risultano a carico del solo sistema di isolamento. Inoltre si è potuto rilevare che le accelerazioni trasmesse alla sovrastruttura subirebbero un abbattimento significativo, grazie allo spostamento dei periodi principali del sistema verso zone spettrali caratterizzate da un minore densità di potenza, e che gli spostamenti richiesti alla struttura aumenterebbero a causa dell'incremento del periodo proprio, ma sarebbero assorbiti dai dispositivi. L'inserimento di controventi in acciaio collegati ai telai in c.a. tramite dissipatori elastoplastici metallici costituisce la terza proposta di intervento. In questo caso occorre innanzi tutto stabilire la disposizione più idonea in pianta e in elevazione dei controventi, per garantire la regolarità in alzata e un'adeguata rigidità a torsione, la forma dei controventi, la loro rigidità e le caratteristiche dei dissipatori. E' stato quindi ipotizzato un intervento sulla struttura in c.a. per consentire la deformazione plastica sotto carico prima di giungere a rottura, mediante incollaggio sui pilastri di nastri di fibre di carbonio pre-impregnate con resine epossidiche. Si è ritenuto opportuno, inoltre, smantellare i corpi scala e adeguare il giunto strutturale, tra il corpo a due piani e quello a sei, per garantire una maggiore regolarità in pianta e in elevazione e poter schematizzare l'intera struttura come composta da più corpi di fabbrica, separati tra loro,

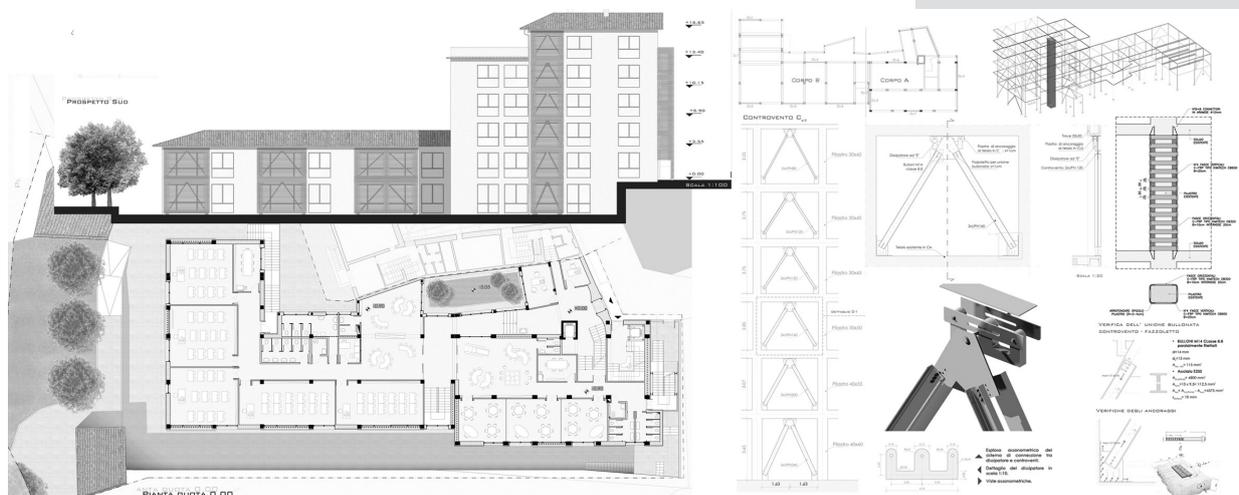


Figure 2. Catholic School Istituto Santa Maria degli Angeli in L'Aquila: the intervention with insertion of seismic isolators.

The diagonals are linked by steel connecting-plate bolting, the central one being connected to the dissipator, while the lower ones are anchored to the existing structure. A Type-E dissipator was proposed, made up of a profile, of only one steel sheet, which has a uniform plastic resistance, shaped so that its active part can be warped antisymmetrically and the three arms remain elastic during dissipation. By using the bracing-dissipator system, the existing frames result in being less exposed to damage and the whole structure increases its performance where expected accelerations are involved.

To individuate the most effective solutions during the designing stage, the three different solutions were compared to be able to evaluate their pros and cons. The first hypothesis undoubtedly has advantages, such as the possibility to control the overall lateral drift, inserting cross-sections, which realign the centres of mass and flexural rigidity, and the lack of any preliminary reinforcing work on the existing structures. However, a work of this type has problems regarding the layout of space, causing an increased stiffening in the structure and an increase in the vertical loads and shear stress on the foundations that would require an invasive and destructive intervention. As far as inserting the seismic isolators is concerned, the advantages highlighted involve the high energy dissipation level, the elevated durability and the low costs to maintain them, as well as the lowering of the spectral accelerations, with the consequent marked reduction in the design forces. In this case, the work could be limited to only the ground and first floors and making the cladding safe from the risk of being forced out and folding. However, on the relevant floors it would be necessary to intervene on the existing structure to make it suitable for a fixed base. Moreover, high structures, that are very old, do not gain any advantages from reducing the spectral acceleration and benefits from a measure of this type, as inserting isolators causes a marked shift with the consequent instability in the upper floors. In the hypothesis of inserting dissipative bracing, it appears to be advantageous to dissipate the energy by means of damaging the links where the excess seismic energy is directed. Moreover, in this case, there is a considerable increase in the resistance of the structure with a less intrusive and destructive intervention compared to introducing R.C. walls and with more flexibility in using the spaces available. On the contrary, however, problems could arise in the connection points of the existing bracing structure due to an increase in the axial forces on the structural frame. Therefore, possible works of a local type should be evaluated, so as to provide the structure with a higher flexibility and allow the foundations to counter the increase in vertical loads. The rigidity resulting from the bracing leads to a reduction in drift and, therefore, an

di tipo regolare. Si è proceduto infine alla progettazione dei dissipatori e dei controventi a K inseriti nelle maglie dello scheletro portante; il dimensionamento del sistema prevede di determinare, preliminarmente, i periodi dei principali modi di vibrare nelle due direzioni per i due corpi con struttura non controventata; i valori di rigidezza e resistenza ottenuti nell'analisi sono la base per il dimensionamento dei profili diagonali di controvento e dei dissipatori. Per i controventi si è stabilito di utilizzare quelli di tipo a K che, progettati per rimanere in campo elastico, utilizzano per i diagonali profilati UPN accoppiati; i diagonali sono collegati per bullonatura a fazzoletti in acciaio; quello centrale è collegato al dissipatore, mentre quelli al piede sono ancorati alla struttura esistente. Il tipo di dissipatore ipotizzato è quello di tipo a E costituito da un profilo, ricavato da una sola lastra di acciaio, che presenta una uniforme resistenza plastica, con una forma tale che la sua parte attiva sia portata a deformarsi antisimmetricamente in campo plastico e che i tre bracci rimangano in campo elastico durante la dissipazione. Utilizzando il sistema controvento-dissipatore, i telai esistenti risultano meno esposti al danneggiamento e l'intera struttura ha un incremento di prestazioni in termini di accelerazioni attese. Per individuare in fase progettuale la soluzione più efficace, si è voluto infine effettuare un confronto comparativo tra i tre diversi interventi per poterne valutare pregi e difetti. La prima ipotesi presenta indubbi vantaggi, come la possibilità di controllo degli spostamenti globali laterali, l'inserimento di sezioni trasversali, che ricentrano i baricentri delle masse e delle rigidezze, e la mancanza di interventi preliminari di rinforzo sulle strutture esistenti. Un intervento di questo tipo, però, presenta problematiche relative alla distribuzione degli spazi, provoca un importante irrigidimento della struttura e un incremento dei carichi verticali e degli sforzi di taglio sulle fondazioni, che richiederebbe, necessariamente, un intervento invasivo e distruttivo. Per quanto riguarda l'inserimento degli isolatori sismici, i vantaggi che si sono potuti evidenziare sono la forte capacità di dissipazione dell'energia, l'elevata durabilità e i bassi costi di manutenzione dei dispositivi, oltre all'abbattimento delle accelerazioni spettrali, con conseguente sensibile riduzione delle forze di progetto. In questo caso si potrebbe limitare l'intervento ai soli piani terra e primo e alla messa in sicurezza delle tamponature dal rischio di espulsione e di ribaltamento. Nei piani interessati, però, sarebbe necessario intervenire sulla struttura esistente per renderla idonea a costituire base fissa; inoltre strutture alte, che hanno periodo elevato, non traggono vantaggi dalla riduzione dell'accelerazione spettrale e giovamenti da un provvedimento di questo tipo, poiché l'inserimento degli isolatori causa spostamenti elevati con conseguente inagibilità dei piani alti. Nell'ipotesi di inserimento di controventi dissipativi appare vantaggioso dissipare energia attraverso il danneggiamento di elementi (i link) su cui indirizzare l'energia sismica in eccesso; inoltre, in questo caso, si ottiene un considerevole

increase in the anticipated accelerations, shifting the basic time span of the structure into the highest pseudo-acceleration spectrum. However, inserting the links results in an increase in the structure's dissipating levels when there is an unaltered demand and it is actually this that makes this solution very interesting and innovative.

During the same years, we also have the construction of the *I.T.C.G. Brunelleschi School in Frosinone*, built in the early 1970s and inspected and approved in '76, the building is a structure that is laid out around an entry atrium leading to two three-storey blocks, used for classrooms, two gyms and a main hall on only one level.

In its present state, the school has many different problems from a functional and energy and seismic point of view and, therefore, in the design study for its improvement, an overall upgrading was foreseen. The works carried out over the years have involved building external fire-safety stairs and external lifts, not consistent with the distribution of space and the internal layout and allowing disabled access only to the classrooms.

In the design proposal, drawn up with the engineers S. Perno and M. Genovesi, it was planned to install short ramps providing access, from the atrium, to the new internal lifts in the classroom-volume and also to the gym and main hall areas, so that the atrium would become the real *heart* of the institute, also for the disabled, no longer being forced to enter from secondary entrances. On the upper floors, short staircases, adapted for the disabled, allow for accessing the secretary's office on the first floor and other classrooms on the second, while the fire safety stairs were designed placing them in the most appropriate positions.

As far as the energy aspect is concerned, the school has external enclosure walls that are highly environment efficient and, therefore, a thermal insulation, with external plastering, was planned which would result in reaching the transmittance parameters as foreseen in the current regulation and, at the same time, contribute to transforming the existing prospectus, where external courtyard consoles, left in view, were points of possible water infiltration. However, the most important work was that forecasted for the structure's seismic upgrading in R.C. For this, project designs were drawn up regarding the reinforcement positioning and, then, the findings were consulted from the trials carried out in 2006 by the provincial government on concrete and steel, that were compared with the materials used in the 1961/70 period. Finally, based on onsite trials carried out in 2007, the features of the foundation terrain were identified. The study on the conformation and configuration of the complex were conducted, then, on the subdivision of the building in different

incremento di resistenza della struttura con un intervento meno invasivo e distruttivo rispetto all'introduzione di setti in c.a. e con una maggiore flessibilità di configurazione nell'uso degli spazi. Di contro, però, potrebbero manifestarsi problemi nei punti di collegamento controventi-struttura esistente, dovuti a un incremento degli sforzi assiali sulla maglia strutturale. E' opportuno pertanto valutare la necessità di eventuali interventi di tipo locale, per conferire alla struttura un aumento di duttilità e consentire alle fondazioni di contrastare l'incremento dei carichi verticali. L'irrigidimento indotto dalla controventatura comporta una diminuzione degli spostamenti e quindi un aumento delle accelerazioni attese, spostando il periodo fondamentale della struttura nella zona di massimo delle pseudo-accelerazioni; l'inserimento dei link, però, comporta un incremento della capacità dissipativa della struttura a fronte di una domanda invariata ed è proprio questo che rende questa soluzione molto interessante e innovativa.

Sempre degli stessi anni è la costruzione dell'Istituto T.C.G. Brunelleschi a Frosinone, realizzato nei primi anni '70 e collaudato nel 1976; l'edificio presenta una struttura che si articola attorno a un atrio di accesso dal quale si disimpegnano due blocchi, con tre livelli fuori terra, destinati alle aule, due palestre e un'aula magna a un solo livello. La scuola presenta, allo stato attuale, diverse problematiche sia dal punto di vista funzionale, che da quello energetico e sismico e pertanto, nello studio progettuale di miglioramento, è stato previsto un intervento globale. Gli interventi di adeguamento realizzati negli anni, hanno portato alla introduzione di corpi scala di sicurezza antincendio esterni e all'inserimento di ascensori esterni, non congruenti con le disposizioni degli spazi e con le quote interne, per consentire ai disabili di accedere esclusivamente alle aule. Nella proposta progettuale, redatta con gli Ingg. S. Perno e M. Genovesi, si è previsto di inserire delle brevi rampe che consentano di raggiungere, dall'atrio, sia i nuovi ascensori di comunicazione interna dei corpi-aule che gli spazi delle palestre e dell'aula magna, in modo tale che l'atrio possa assumere il ruolo di reale cuore dell'istituto anche per i disabili, non più costretti a entrare da ingressi secondari. Ai piani superiori brevi rampe di scale, dotate di presidi per i disabili, permettono di raggiungere al primo livello gli uffici di segreteria e al secondo ulteriori aule, mentre le scale antincendio sono state riprogettate disponendole in posizioni più idonee.

Per quanto riguarda l'aspetto energetico, la scuola presenta pareti di tamponamento che non garantiscono buone prestazioni e pertanto è stata prevista la realizzazione di un isolamento a cappotto, con intonaco esterno, che permette di raggiungere i parametri di trasmittanza previsti dalla normativa vigente e al contempo contribuisce a trasformare i prospetti esistenti, in cui corte mensole esterne, lasciate a vista, costituivano punti di possibili infiltrazioni d'acqua. L'intervento più importante, però, è certamente stato quello previsto per l'adeguamento sismico della struttura in c.a.. A tal fine sono stati dapprima reperiti i disegni di progetto relativi alla disposizione delle armature e

sections and, then, a linear dynamic analysis of one of the volumes housing the classrooms, which had irregular characteristics on both the upper and lower levels. Beginning from a SAP modelling for the framework in reinforced concrete and oak foundation beams, a modal analysis was carried out with an elastic response spectrum, concerning the overall structural response under seismic conditions.

From this, it was found that, due to the eccentricity, the structure has 18 eigenmodes, that influence at least 85% of the mass. Following, the floor drifts were checked that resulted in being stronger in direction Y than in direction X, as also shown in the modal analysis, and it could be noted that the biggest interstorey drifts occurred on the first floor. The structure's fundamental SLU was then checked under the action of vertical loads and it was observed that the building, designed with the admissible tension method, has an oversizing in some of the structural elements.

As well, there also emerged some anomalies in the response linked to the asymmetry of the structural system, that has a positioned corbel system, on every floor, on only one side of the multiple frame, so as to introduce an anomaly in the column shear and flexing responses on the first floor. The SLV was then checked by creating a Response Spectrum where the site coordinates were inserted, as well as the use of the class and nominal life of the building, the soil type, the topography coefficient and the structural factor, obtaining a response spectrum function for the horizontal design. Finally, beams and columns were checked with the heaviest loading combinations, obtaining demand/capacity diagrams that highlighted the lack of response in the columns and the basement level and also in some beams.

successivamente si sono consultati i risultati delle prove effettuate nel 2006 dalla Provincia sui calcestruzzi e sugli acciai, che sono state confrontate con le caratteristiche dei materiali usati nel periodo 1961/70, e infine, sulla base di prove effettuate in situ nel 2007, sono state individuate le caratteristiche del terreno di fondazione. Lo studio della conformazione e configurazione del complesso ha condotto, poi, alla suddivisione dell'edificio in diversi blocchi e si è effettuata una analisi dinamica lineare di uno dei volumi contenenti le aule, che presentava caratteristiche non regolari sia in pianta che in alzata. Partendo dalla modellazione in SAP per i sistemi dei telai in cls armato e delle travi rovesce di fondazione, si è passati all'analisi modale con spettro di risposta elastico, relativa al comportamento globale della struttura sotto azioni sismiche, dalla quale si è riscontrato che, a causa dell'irregolarità, la struttura ha 18 modi di vibrare, che portano all'attivazione di almeno l'85% della massa. Si sono, poi, verificati gli spostamenti di piano che risultano maggiori in direzione Y che in direzione X, come rilevato anche dall'analisi modale, e si è potuto notare che i drifts di interpiano maggiori sono localizzati al primo piano. Si è poi effettuata la verifica allo SLU fondamentale della struttura sotto l'azione dei carichi verticali e si è osservato che l'edificio, progettato con il metodo delle tensioni ammissibili, presenta un sovradimensionamento di alcuni elementi strutturali; sono emerse anche alcune anomalie di comportamento legate alla asimmetria del sistema strutturale, che presenta un sistema di mensole posizionate, a ogni piano, su un solo lato del telaio multiplo, tale da introdurre una anomalia nel comportamento al taglio e alla flessione dei pilastri del primo livello. Si è poi proseguito con la verifica allo SLV creando una funzione Response Spectrum nella quale sono state inserite le coordinate del sito, la classe d'uso e la vita nominale dell'edificio, il tipo di suolo, il coefficiente di topografia

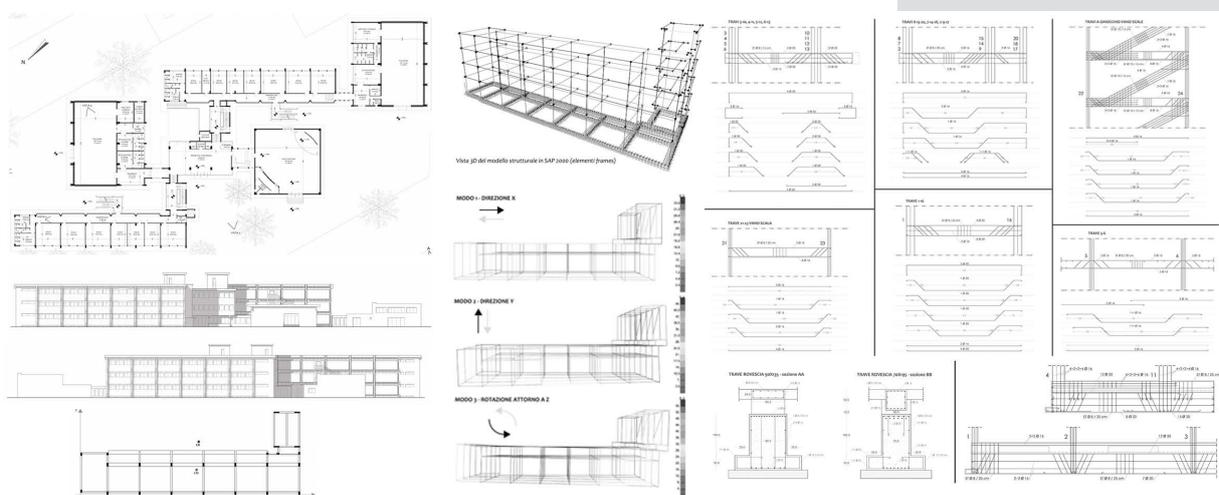


Figure 3. I.T.C.G. Brunelleschi School in Frosinone: the survey and analysis phase.

The solution chosen in the project was to install shear R.C. walls so as to reduce the eccentricity of the centre of mass and centre of rigidity, increasing the resistance of the structural elements, particularly in direction X, diminishing the interstorey drift and seismic stress on the elements, that were not originally calculated, in order to counter the horizontal forces. It was decided to install shear walls where possible on the perimeters, so as to be able to work on the foundations without damaging the structure. It was also thought to place them along the frames damaging the existing elements as little as possible during the installing of the walls themselves foreseeing, moreover, that the connections between the different floors corresponded so as to be able to more easily drill into the R.C. sections.

Once the positioning of the walls was decided, they were placed in the model to check again the beams that had previously shown to be problematic. It could be noted that by installing the shear walls, the beams on the second floor, both shear and flexion, were all verified. Further modifications were planned to allow for checking specific situations and the executive project was drawn up for the shear walls – 3 and 4 walls – that were perpendicularly connected (increasing the reinforcement in the bordering zones both to strengthen the connection points and to allow the bordering zones to counter the traction generated on the dividing walls when the earthquake shifted in direction Y).

The third and last case study concerns a *Lower secondary School B. Sisti in Rieti* that, designed in the mid-1960s and completed only in 1976 following a modification in the executive project, is a multi-storey complex. Two blocks can be identified, one for the classrooms that are on four levels and one, separated from the classroom block by means of a technical joint, which houses the gym and, on the third floor, the main hall, adjacent to which is the

e il fattore di struttura, ottenendo una funzione spettro di risposta di design orizzontale. Infine si è proceduto alla verifica di travi e pilastri con le combinazioni di carico più onerose ottenendo diagrammi domanda/capacità che hanno evidenziato carenze di comportamento sia nei pilastri del piano interrato che in alcune travi.

La soluzione scelta nel progetto è stata quella di inserire pareti di taglio in c.a. in modo da ridurre l'eccentricità tra centro di massa e centro di rigidità, aumentare la resistenza degli elementi strutturali, in particolare nella direzione X, diminuire gli spostamenti di interpiano e la sollecitazione sismica sugli elementi, che non erano stati calcolati, in origine, per resistere a forze orizzontali. Si è stabilito di inserire le pareti di taglio in posizioni il più possibile perimetrali, in modo da poter intervenire in fondazione senza danneggiare la struttura; in particolare si è pensato di affiancarle ai telai per danneggiare il meno possibile gli elementi esistenti durante la realizzazione delle pareti stesse prevedendo, inoltre, che i collegamenti tra i diversi piani fossero in corrispondenza dei solai in modo da forare più facilmente la sezione in cls armato.

Una volta determinata la posizione dei setti, questi sono stati inseriti nel modello per verificare nuovamente le travi che precedentemente avevano evidenziato problemi; si è potuto notare che con l'introduzione delle pareti a taglio le travi del secondo piano risultano tutte verificate sia al taglio che alla flessione. Ulteriori modifiche sono state, infine, previste per consentire la verifica di situazioni puntualissime ed è stato redatto il progetto esecutivo delle pareti di taglio - setti 3 e 4 - che si collegano perpendicolarmente tra loro (l'infilamento delle armature nelle zone confinate si giustifica sia per il rinforzo nel punto di connessione, sia per consentire alla zona confinata di resistere alla trazione che si genera sul setto quando il sisma agisce in direzione Y).

Il terzo e ultimo caso-studio è relativo alla Scuola media statale B. Sisti a

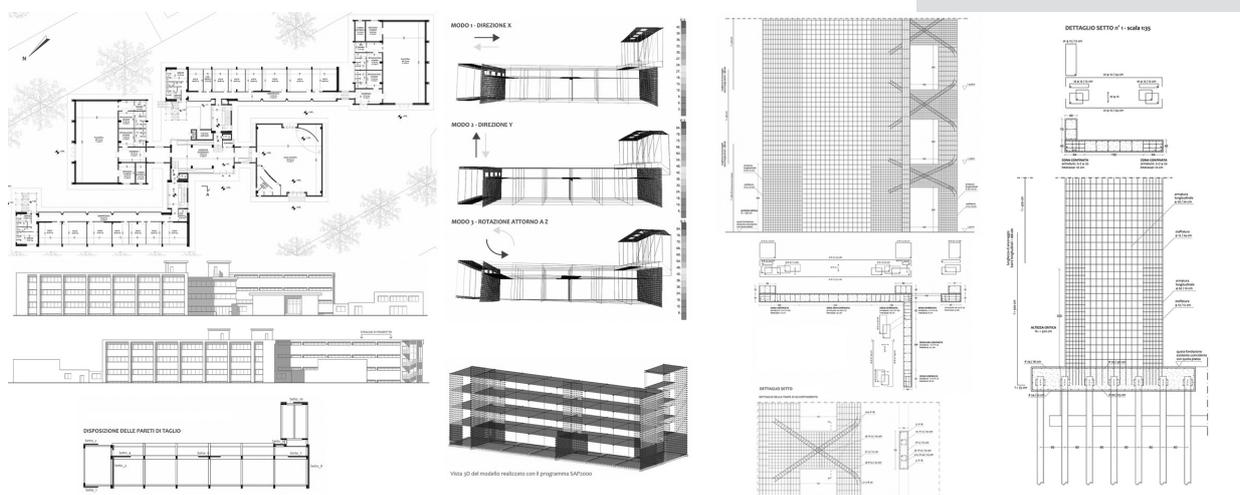


Figure 4. I.T.C.G. Brunelleschi School in Frosinone: the intervention with insertion of shear R.C. walls.

caretaker's lodgings. The building has a floor conformation that is not very resistant to seismic activity and also displays serious problems from a layout-functional point of view, where the relevant legislation is concerned. From the study, a fragmentation in the spaces and a difficult relationship between the classroom volume and that of the gym can be noted, as the different floors are positioned on offset levels of 112cm. Moreover, the external safety stairs are not integrated into the building, appearing as superfluous. Many facilities required for carrying out school activities, such as the library and art and music rooms, are missing, while the administrative offices are located in small areas and the external area has few trees and facilities for outdoor activities. One of the project objectives to adapt it functionally is, therefore, to create a flexibility in the school environments and introduce spaces for special activities.

It is important in a study for building restoration to have a detailed knowledge of the structure, of its design and how it was constructed to the extent that also the regulation has adopted the level of knowledge (LK) and the consequent factor of confidence (FC), using them as partial safety coefficients in individuating the modelling most relevant to the context. The data required for the two parameters are thoroughly described and listed in the appendix in article C8 of Circular n.617/2009 *Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni*. In this case study, carried out with the engineers S. Perno and G. Lupascu, project designs of the school and the relevant geological report were found, with the terrain's seismic features, and a geometric-dimensional and constructive relief was carried out. Based on the data obtained a check on the structural regularity was done, a factor that strongly influences how the structure responds to earthquake activity and the

Rieti che, progettata a metà degli anni '60 e realizzata solo nel 1972 a seguito di una variante del progetto esecutivo, presenta una complessa articolazione in pianta. Possono essere, infatti, individuati 2 blocchi, quello destinato alle aule, che si sviluppa su quattro piani e quello, distaccato dal corpo aule attraverso un giunto tecnico, che ospita la palestra e, al terzo livello, l'aula magna, al quale si affianca la casa del custode. Nel complesso l'edificio assume in pianta una conformazione che mal si presta a resistere ad azioni sismiche e presenta anche forti problematiche dal punto di vista distributivo-funzionale, se confrontata con la normativa di riferimento. Dallo studio dell'impianto si rileva, infatti, una frammentazione degli spazi e un difficile rapporto tra il volume delle aule e quello della palestra, poiché i diversi piani sono posti su quote sfalsate di 112cm; inoltre le scale di sicurezza esterne non si integrano con l'edificio, apparendo come delle superfetazioni. Molti servizi richiesti per lo svolgimento delle attività scolastiche, come la biblioteca e i laboratori per l'educazione artistica e musicale, mancano, mentre i locali destinati all'amministrazione sono ubicati in spazi esigui e l'area esterna risulta non adeguatamente alberata e attrezzata per le attività all'aperto. Uno degli obiettivi del progetto di adeguamento funzionale, quindi, è quello di creare una flessibilità degli ambienti scolastici e introdurre spazi per le attività speciali. Importante nell'ambito di uno studio finalizzato alla ristrutturazione dell'edificio è acquisire una dettagliata conoscenza del manufatto, del suo progetto e della sua realizzazione, tanto che anche la normativa introduce il livello di conoscenza (LC) e il conseguente fattore di confidenza (FC), utilizzandoli come coefficienti parziali di sicurezza nella individuazione della modellazione più attinente possibile alla realtà. I dati necessari per la valutazione dei due parametri sono dettagliatamente descritti ed elencati all'appendice al capitolo C8 della circolare n.617/2009 Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al

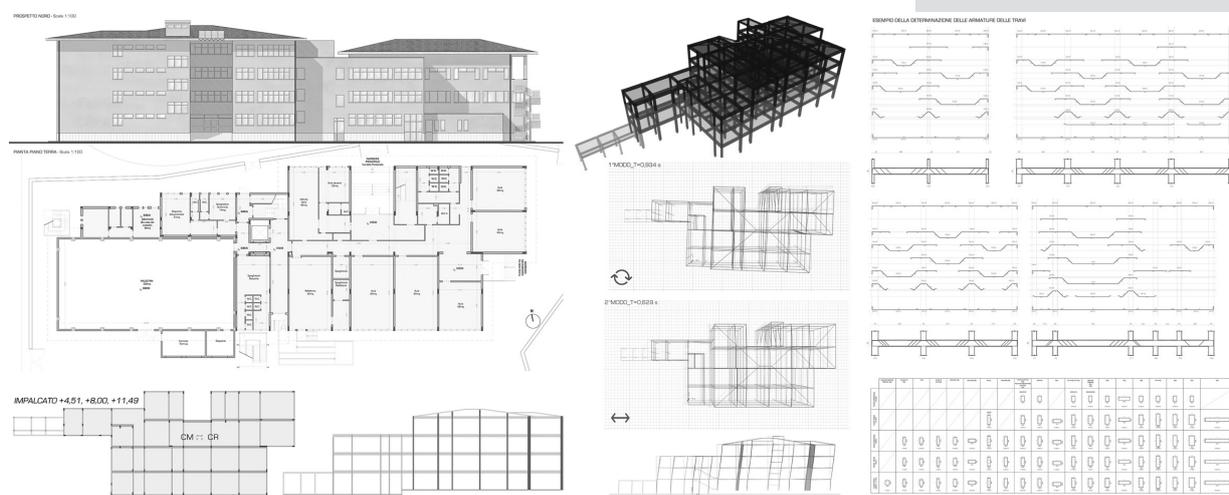


Figure 5. Lower secondary School B. Sisti in Rieti: the survey and analysis phase.

choice of the type of analyses to carry out.

The horizontal and vertical regularity is governed by NCT2008 in point 7.2.2. For the former, both the density and approximate symmetry for the two orthogonal directions must be verified and the distribution of the mass and rigidity must be evaluated. Moreover, the ratio between the sides of a rectangle in which the construction can be placed must be less than 4, the size of possible recesses or projections no more than 25% of the total construction size in the corresponding direction and the floors and roof must result so they can be considered infinitely rigid compared to the vertical elements, and sufficiently resistant. For the school under study, the evaluation of the mass and rigidity distribution was positive for the layout at heights of 4.51, 8.00 and 11.49 and negative at a height of 15.5, while all the other requirements established by the regulation appear to be satisfied. For the evaluation of the vertical regularity it is necessary to verify that all the vertical resistant systems extend along all the height of the building, that the mass and rigidity remain constant or vary gradually, without any abrupt changes from the base to the top of the building and that any possible reductions in the construction section occur gradually from one floor to the other. In the case of the school in Rieti, the continuity on the vertical plane of the resistant systems is missing and the rigidity does not remain constant in passing from the first to the last level. Furthermore, the building shows a reduction in the section in the passage from the first to the second floor. The irregularities revealed infer the non-coincidence between the centre of mass and the centre of rigidity, that results in an instance between the agent force and resistant force and, therefore, an increase in the shear forces on some resistant elements. As well, interstorey drift was found that could be excessive.

DM 14/1/2008. Nel caso studio in oggetto, svolto con gli Ingg. S. Perno e G. Lupascu, è stato possibile reperire i disegni di progetto della scuola e la relativa relazione geologica, con la caratterizzazione sismica del suolo, ed è stato effettuato un rilievo geometrico-dimensionale e costruttivo. Sulla base dei dati ottenuti è stata effettuata la verifica sulla regolarità strutturale, elemento che condiziona fortemente le modalità di comportamento delle strutture e la scelta del tipo di analisi da effettuare. La regolarità in pianta e in alzato è normata nelle NCT2008 al punto 7.2.2; per quanto concerne la prima è necessario verificare che la configurazione sia compatta e approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali e valutare la distribuzione delle masse e delle rigidità; inoltre il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui la costruzione può essere inscritta deve essere inferiore a 4, nessuna dimensione di eventuali rientri o sporgenze può superare il 25% della dimensione totale della costruzione nella corrispondente direzione e gli orizzontamenti devono essere tali da potersi considerare infinitamente rigidi nel loro piano rispetto agli elementi verticali e sufficientemente resistenti. Per la scuola oggetto di studio la valutazione della distribuzione delle masse e delle rigidità è risultata positiva per gli impalcati a quota 4,51, 8,00 e 11,49 e negativa per quello a quota 15,05; mentre tutti gli altri requisiti richiesti dalla norma appaiono soddisfatti. Per quanto concerne la valutazione della regolarità in alzato è necessario verificare che tutti i sistemi resistenti verticali si estendano per tutta l'altezza della costruzione, che massa e rigidità rimangano costanti o varino gradualmente, senza bruschi cambiamenti dalla base alla sommità della costruzione e che eventuali restringimenti della sezione della costruzione avvengano in modo graduale da un orizzontamento al successivo. Nel caso della scuola di Rieti manca la continuità sulla verticale dei sistemi resistenti e la rigidità non resta costante al passare dal primo all'ultimo livello; inoltre l'edificio presenta un restringimento di

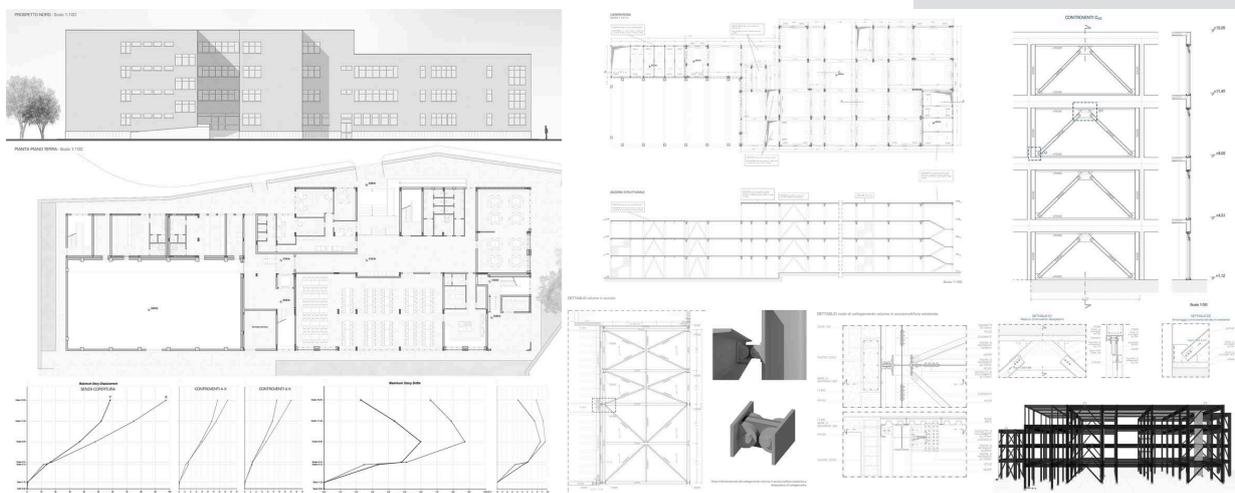


Figure 6. Lower secondary School B. Sisti in Rieti: the intervention with insertion of K-type braces.

Once the model was completed, a linear dynamic analysis was carried out and the effects of seismic activity and their combination were calculated, shown by the project's response spectrum, for each of the eigenmodes individuated. Then, the drifts were analyzed and it was possible to highlight that those regarding the interstorey are not verified. It is important to note that the main drifts towards the frames correspond to the floor on the first level at about half the height of the building, as also confirmed in the relative data in the modal analysis.

The verification of the vertical load structural elements revealed to be satisfactory concerning the concrete tension, while in many columns, especially those subject to a wider area of influence and with reduced resistant sections, the steel column was better. The columns and beams were then checked concerning seismic activity to evaluate the level of the building's safety, using a combination of actions and also taking into account the accidental eccentricity.

For the serviceability limit state, a SLD check was carried out, while for the last limit state a SLV check, using the factor $q=1,5$, as established in paragraph C8.7.1.2 of Circular n°617/2009 for existing constructions. Thus, some problems were highlighted in the columns and the existing roofing structure, where the ridge, roof ridge and roof valley beams do not directly rest on the columns and the network of cement brick layers is always in the same direction.

The roof is an element of irregularity as it is not positioned in a direct continuation to the underlying structural system. Some floor spans are also not of a thickness suitable to support the vertical loads and it was verified that the whole system is inadequate where seismic activity is concerned. The proposal for a seismic upgrading of the building foresees above all the removal of the pitched roof and the reinforcing of the floors by inserting steel crossbar beams or a R.C. slab, installing traditional and dissipative bracing and localized work on the structural elements. By only eliminating, in the structural model, the pitched roof, there was an improvement in the structure's response to earthquake forces with a reduction in drift. By including, in the same model, without a roof, bracing, firstly of X-type and then of K-type, the response changed considerably, further reducing drift.

Therefore, the proposed project inclined towards using elasto-plastic K dissipative bracing and, on the horizontal level, X bracing. The bracing system was designed, inserted into new metal structures placed on the building's perimeter and including the fire safety stairs and some added spaces necessary for the correct functioning of the school. In doing so, it was possible to obtain,

sezione nel passaggio tra il primo ed il secondo piano. Le irregolarità rilevate implicano la non coincidenza tra centro di massa e centro di rigidità, che comporta la nascita di un momento tra forza agente e forza resistente e quindi un aumento delle forze di taglio su alcuni elementi resistenti, inoltre si determinano spostamenti di interpiano che possono risultare eccessivi.

Realizzato il modello, è stata effettuata un'analisi dinamica lineare e sono stati calcolati gli effetti dell'azione sismica e la loro combinazione, rappresentati dallo spettro di risposta del progetto, per ciascuno dei modi di vibrare individuati. Successivamente si sono analizzati gli spostamenti e si è potuto evidenziare che quelli relativi di interpiano non risultano essere verificati, è da notare che i drift maggiori nella direzione dei telai si hanno in corrispondenza dell'impalcato del primo piano a circa metà altezza dell'edificio, cosa confermata anche nei dati relativi all'analisi modale. La verifica degli elementi strutturali ai carichi verticali è risultata soddisfatta per quanto riguarda la tensione del calcestruzzo, mentre in molti pilastri, in particolare in quelli gravati da una maggiore area di influenza e con sezione resistente ridotta, quella dell'acciaio è risultata elevata. Si è poi proseguito con la verifica di pilastri e travi all'azione sismica, per valutare il livello di sicurezza dell'edificio, utilizzando una combinazione di azioni e tenendo conto anche delle eccentricità accidentali; per lo stato limite di esercizio è stata svolta una verifica allo SLD mentre per lo stato limite ultimo una verifica allo SLV, ponendo il fattore di struttura $q=1,5$, così come indicato al paragrafo C8.7.1.2 della circolare n°617/2009 per le costruzioni esistenti. Sono state così evidenziate alcune criticità sia per i pilastri che per la struttura di copertura a tetto esistente, nella quale le travi di colmo, di compluvio e di displuvio non poggiano direttamente sui pilastri e la tessitura delle falde latero-cementizie è sempre nella stessa direzione. La copertura costituisce, infatti, un elemento di irregolarità in quanto non è posta in prosecuzione diretta al sistema strutturale sottostante. Anche alcune campate dei solai presentano uno spessore inadeguato ai carichi verticali e nell'insieme si è potuto verificare che il sistema risulta essere inadeguato alle azioni sismiche.

La proposta per un intervento di adeguamento sismico dell'edificio prevede innanzi tutto la rimozione delle coperture a falde e il rinforzo dei solai mediante inserimento di travi rompitratta in acciaio o di una soletta in c.a., l'introduzione di controventi tradizionali e dissipativi e interventi locali sugli elementi strutturali. Già la sola eliminazione, nel modello strutturale, della copertura a falde, ha prodotto un miglioramento del comportamento della struttura alle azioni sismiche con una diminuzione degli spostamenti; l'inserimento poi, nello stesso modello senza copertura, di controventi prima del tipo a X e poi del tipo a K modifica sostanzialmente la risposta, riducendo ulteriormente gli spostamenti. L'ipotesi di intervento, pertanto, si è indirizzata verso l'inserimento, in posizione opportuna in pianta, di controventi dissipativi elasto-plastici a K e sul piano orizzontale di controventi ad X. Il

other than an undoubted functional improvement, also a transformation in the building's image. The positioning of the new metal structures allowed for redesigning the two opposite rectangles, eliminating the projections and recesses linked to the presence of the caretaker's lodgings and the fire safety stairs and resulting in a regular composition of the pure volumes.

3. CONCLUSIONS

As can be seen from the above it appears evident how today it is possible to carry out a complete and delicate upgrading to seismically improve existing constructions using different methods, materials and construction techniques. However, the planning must begin from a thorough knowledge and analysis of the structure to be able to work using the most suitable techniques and considering the project from a global viewpoint. The work should not be too invasive regarding the distribution and functional layout of the building and the architectural image and, instead, should be able to provide a response in the event of an earthquake guaranteeing the required safety in all existing school buildings, built in different eras, and in relation to the important social role that this typology has always played. Moreover, working on schools constructed before the 1975 reform could provide an opportunity to individuate new functional layouts and new energy solutions adapting to what is currently required of them.

4. REFERENCES

- [1] Nuti C., *Recupero delle strutture esistenti. Azioni e sicurezza - Materiali e adeguamento sismico*. In: Giornate AICAP 2011. 6° Convegno Nazionale Padova, 2011.
- [2] Gigliotti R., *Vulnerabilità sismica ed adeguamento di costruzioni esistenti*. Corso di aggiornamento professionale Ordine Ingegneri Pistoia, 2013.
- [3] Renzi E., Perno S., Pantanella S., Ciampi V., *Design, test and analysis of a light weight dissipative bracing system for seismic protection of structures*. Earthquake Engineering and structural dynamics 2007.

sistema controventante è stato pensato inserito in nuove strutture metalliche disposte sul perimetro dell'edificio e contenenti le scale antincendio e alcuni spazi aggiuntivi necessari al corretto funzionamento della scuola; così facendo è stato possibile ottenere, oltre a un indubbio miglioramento funzionale, anche una trasformazione dell'immagine dell'edificio nel suo complesso. La disposizione delle nuove strutture metalliche ha consentito, infatti, di ridisegnare in pianta due rettangoli contrapposti, eliminando le sporgenze e le rientranze legate, nello stato di fatto, alla presenza dell'alloggio per il custode e delle scale antincendio e determinando una composizione regolare di volumi puri.

3. CONCLUSIONI

Da quanto esposto appare evidente come oggi sia possibile intervenire nel complesso e delicato ambito del miglioramento sismico delle costruzioni esistenti con diversi metodi, materiali e tecniche costruttive. La progettazione sul costruito deve però partire da un'attenta conoscenza e analisi del manufatto per poter intervenire utilizzando le tecniche più adatte ad esso e considerando il progetto da un punto di vista globale con operazioni che non siano fortemente invasive nei confronti dell'assetto distributivo-funzionale dell'edificio e della sua immagine architettonica, e che siano, invece, capaci di fornire una risposta all'evento sismico tale da garantire la necessaria sicurezza in tutti gli edifici scolastici esistenti, realizzati in epoche differenti, anche in relazione al delicato ruolo sociale che da sempre tale tipologia ricopre. Intervenire sulle scuole realizzate prima della riforma del 1975 inoltre può costituire occasione per individuare nuovi assetti funzionali e nuove soluzioni energetiche adeguando le loro prestazioni a quelle attualmente richieste.