



ADEGUAMENTO ANTISISMICO

*SICUREZZA STRUTTURALE PER GLI EDIFICI
RESIDENZIALI IN CEMENTO ARMATO
COSTRUITI PRIMA DELL'ENTRATA IN VIGORE
DELLA NORMATIVA SISMICA*



**Sicurezza strutturale per gli edifici residenziali
in cemento armato costruiti prima dell'entrata
in vigore della normativa sismica**

OTTOBRE 2012

Studio elaborato con il coordinamento dell'ing. Luigi Bosco ed il contributo scientifico del prof. Ivo Calì, degli ingegneri Salvatore Miano, Marco Muratore, Fabio Neri, Antonino Russo e Marco Zanfini. Presentato il 13 ottobre 2012 al convegno organizzato da ANCE Catania con tema 'Adeguamento antisismico ed energetico di tipologie edilizie ricorrenti a Catania, costi e benefici'.

Le aree urbane rappresentano un fattore strategico su cui puntare con decisione per la nostra crescita.

La riqualificazione del patrimonio edilizio esistente oltre a dare a noi costruttori interessanti potenzialità di lavoro, rappresenta un civile cammino in direzione della riduzione dei consumi di energia, di maggiore sicurezza statica degli edifici, di migliore qualità della vita.

Circa l'ottanta per cento delle abitazioni in Italia è di proprietà di chi le abita ed in molte città oltre il 50 per cento delle abitazioni sono state realizzate tra il 1950 ed il 1980.

In questa ottica di riutilizzo del patrimonio edilizio esistente e di minore consumo del suolo, ANCE Catania ha commissionato due studi.

Il primo porta alla determinazione di un costo medio a metro cubo per l'adeguamento o il miglioramento antisismico di edifici multipiano ricorrenti nel nostro territorio.

L'altro studio determina semplicemente il risparmio ed il tempo necessario per recuperare l'investimento effettuato per aumentare la classe energetica di un edificio tipo.

Nella considerazione che gli immobili rappresentano la principale componente della ricchezza delle famiglie e che spesso i proprietari hanno ulteriori risorse da investire per adeguare le proprie case, si intende dare agli utenti uno strumento semplice per constatare rapidamente i costi ed i benefici conseguenti agli interventi di adeguamento.

E' necessario divulgare il concetto che il valore che noi tutti assegniamo agli immobili è viziato da un mercato che non tiene conto dell'effettiva qualità edilizia.

Con un costo pari al 10% del valore si può in molti casi adeguare a criteri antisismici l'immobile; inoltre in pochi anni si rientra dell'investimento fatto per migliorare la classe energetica dell'edificio.

Queste azioni sono rese oggi assai più convenienti dal rimborso fiscale, pari al 50% dei costi sostenuti, che lo Stato consente e che ci auguriamo venga prorogato oltre la prossima scadenza.

Un'altra concreta azione dello Stato dovrebbe essere quella di graduare la tassazione IMU al variare della classificazione energetica e antisismica degli edifici.

Infine si dovrebbe consentire alle assemblee dei condomini di procedere a semplice maggioranza per le determinazioni relative ai lavori di adeguamento.

Ing. Nicola Colombrita
Presidente ANCE Catania

Note tecniche e dati economici

A cura degli ingegneri Luigi Bosco, Ivo Calì, Salvatore Miano, Marco Muratore, Fabio Neri, Antonino Russo, Marco Zanfini

Le nuove norme tecniche per le costruzioni, emanate nel gennaio 2008 e pienamente operative a partire dal 1° luglio 2010, hanno stabilito criteri di progettazione strutturale molto rigorosi per le nuove costruzioni. Le norme, attraverso la circolare esplicativa n. 617 del 2 febbraio 2009, hanno disciplinato anche gli interventi sugli edifici esistenti, i quali rappresentano un patrimonio estremamente vasto in Italia ove la propensione alla conservazione è assai più marcata di quella alla demolizione e ricostruzione.

Le recenti norme hanno introdotto criteri e modalità per conoscere e valutare i livelli di sicurezza strutturale degli edifici esistenti, prevedendo l'obbligo di verifica per le strutture strategiche (ospedali, caserme, centri operativi di protezione civile, etc.) e per quelle soggette a grande affollamento (scuole, asili, musei, teatri, etc.). Per gli edifici residenziali l'obbligo di valutare la sicurezza strutturale non sussiste, nonostante il nostro patrimonio immobiliare (in particolare quello realizzato in cemento armato a partire dal secondo dopoguerra) ha già superato la sua "vita nominale", intesa come il numero di anni nel quale la struttura deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. La verifica di sicurezza nei confronti dei carichi gravitazionali e delle possibili azioni derivanti dal verificarsi di un evento sismico è subordinata alla sensibilità degli Amministratori, dei singoli privati, e dei proprietari in genere. Sensibilità molto forte immediatamente dopo gli eventi luttuosi che hanno colpito il nostro territorio (l'Aquila nel 2009, l'Emilia Romagna nel 2012) ma che nel tempo tende gradatamente a scemare.

La collettiva consapevolezza del rischio sismico delle costruzioni esistenti, oggi poco diffusa, potrebbe avere un impatto notevole sul settore immobiliare, sia in termini di sperequazione dei valori correnti di mercato sia in termini di rilancio delle attività di impresa per il conseguimento di adeguati livelli di sicurezza strutturale.

E' in questo quadro che si inserisce l'attività dell'ANCE le cui finalità sono:

- promuovere la conoscenza dello stato dell'ampio patrimonio edilizio realizzato nel periodo del boom economico,
- chiarire che alcune tipologie edilizie ampiamente diffuse nel territorio richiedono interventi urgenti di rinforzo e che detti interventi sono economicamente sostenibili attraverso l'impiego di tecnologie "innovative" antisismiche;
- diffondere la cultura del rinnovamento del patrimonio edilizio laddove non sussistano condizioni economicamente sostenibili per il miglioramento delle prestazioni strutturali degli edifici o per ottenere più elevate performance, in linea con quelle delle nuove costruzioni.

Le possibilità di intervento su strutture in cemento armato sono molteplici e possono perseguire livelli di sicurezza via via crescenti. In particolare è possibile fare ricorso alle cosiddette metodologie "innovative", senza dovere incorrere in lungaggini burocratiche che fino a qualche anno addietro risultavano inevitabili. Come riportato nel Rapporto conclusivo redatto dal D.I.C.A.¹ di Catania, e confermato da molte altre fonti, negli ultimi anni si stanno diffondendo in modo esponenziale gli interventi sul patrimonio edilizio esistente che prevedono l'impiego di tecniche quali l'isolamento sismico e la dissipazione energetica. Sono tecniche definite innovative, anche se note già da qualche decennio, ed in altri paesi ad elevato rischio sismico come il territorio etneo e della Sicilia orientale, ampiamente impiegate sia per le nuove costruzioni sia per il "retrofit" di quelle esistenti. Il rapporto redatto dal D.I.C.A. ha censito 42 interventi, in fase di progetto o realizzati, localizzati quasi esclusivamente nell'area orientale dell'isola. Tale distribuzione è riconducibile non solo alla maggiore pericolosità sismica di tale area, ma anche al verificarsi di terremoti superiori alla soglia del danno nell'ultimo ventennio (1990 sisma di Santa Lucia, 2002 sisma di Santa Venerina) che hanno stimolato l'utilizzo di tali tecniche in fase di ricostruzione. I 42 interventi individuati interessano sia nuove costruzioni (22) che il retrofit di strutture esistenti (20). Per le prime, è privilegiato il sistema di isolamento alla base, per le seconde, sistemi di dissipazione dell'energia; tuttavia non mancano interventi in controtendenza. Le tecniche di dissipazione sono utilizzate su edifici esistenti, in

¹ Studio dello stato dell'arte e di diffusione di tecniche di intervento innovative nel territorio siciliano ad elevato rischio sismico e possibilità di applicazione al costruito storico, TASK1, Rapporto Finale.

particolar modo per tipologie strutturali a telaio in c.a., per le quali l'applicazione dei dispositivi è semplice ed economica. Con tali interventi, però, non sempre si riesce a raggiungere l'adeguamento sismico della struttura. Pertanto, quando la geometria della struttura lo consente, i progettisti hanno utilizzato tecniche di isolamento alla base. Tutti gli interventi catalogati consentono di ottenere un livello minimo di sicurezza pari al 65% dell'azione sismica prevista dalle vigenti norme.

Per metà degli interventi censiti è stato possibile reperire anche informazioni sugli aspetti economici; sono riportati separatamente i costi dell'intervento complessivo, dello strutturale e del sistema di protezione sismica. Con riferimento al retrofit di costruzioni esistenti sono stati calcolati i costi medi per metro cubo di costruito e l'incidenza media del sistema di protezione sismica sul costo complessivo e sul costo totale, nonché il costo a metro cubo del sistema di protezione (Tabelle 1 e 2) per le due tipologie di intervento con isolamento sismico e con dispositivi di dissipazione energetica.

Tabella 1. Analisi dei costi per il retrofit di costruzioni esistenti con sistemi di isolamento

TITOLO INTERVENTO	Volume totale (mc)	Costi (€)			Costi unitari (€/mc)		
		Complessivo	Strutturale	Sistema di protezione sismica	Complessivo	Strutturale	Sistema di protezione sismica
Riparazione dei danni e miglioramento sismico della scuola elementare S. Quasimodo, Riposto	7.851	445.285	120.611	116.352	56,72	15,36	14,82
Sede del Dipartimento Regionale di Protezione Civile, Messina	14.400	1.500.000	1.200.000	400.000	104,17	83,33	27,78
Progetto di recupero, adeguamento antisismico e completamento di 16 alloggi, Solarino	3.524	965.771	361.109		274,02	102,46	
Interventi di riparazione e miglioramento sismico dell'edificio per civile abitazione, via Ardichetto, Santa Venerina	2.554	636.019	--	--	248,99	--	--
Lavori di adeguamento sismico di un edificio sito a Lentini	2.475	350.281	--	--	141,53	--	--

Tabella 2. Analisi dei costi per il retrofit di costruzioni esistenti con sistemi di dissipazione

TITOLO INTERVENTO	Volume totale (mc)	Costi (€)			Costi unitari (€/mc)		
		Completivo	Strutturale	Sistema di protezione sismica	Completivo	Strutturale	Sistema di protezione sismica
Lavori per il consolidamento e la riparazione dei danni del plesso scolastico via Cappuccini, Ramacca	6.750	584.783	366.014	153.823	86,63	54,22	22,79
Intervento di manutenzione straordinaria per il miglioramento sismico del plesso scolastico G. Verga, Vizzini	10.989	590.363	535.433	341.119	53,72	48,72	31,04
Lavori per il miglioramento sismico e ristrutturazione della scuola elementare Principessa di Piemonte, Linguaglossa	1.047	142.748	76.491	19.612	136,31	73,04	18,73
Lavori per il miglioramento sismico e ristrutturazione della scuola G. Consolino - Vittoria	5.070	317.305	149.785	107.319	62,58	29,54	21,17
Lavori per il miglioramento sismico e ristrutturazione della scuola elementare Marano, Riposto	3.255	315.398	199.446	130.899	96,90	61,27	40,21
Lavori per il miglioramento sismico e ristrutturazione della scuola elementare Settebello Nord, Tremestieri Etneo	3.494	220.917	75.740	38.605	63,23	21,68	11,05
Progetto di prevenzione sismica ai sensi dell'art. 6 dell' 0. Min. n. 3050 del 31/03/2000, Palazzolo Acreide	4.275	330.000	200.000	160.000	77,19	46,78	37,43
Adeguamento sismico della scuola materna Roger Cousinet, Giarre	1.995	312.129	-	-	156,46	-	-

Da tali risultati emerge che gli interventi di retrofit di strutture esistenti tramite isolamento alla base sono estremamente variabili in relazione alle caratteristiche del manufatto: diverse tipologie, geometrie e sistemi strutturali, determinano un'elevata dispersione dei costi unitari. Per tali interventi è stato valutato un costo medio complessivo 165 €/mc dei quali il 13% è legato ai dispositivi antisismici, il 28% all'adeguamento delle parti strutturali, mentre il maggiore costo 59% è costituito dalle opere di completamento (figure 1 e 2).

Tabella 3. Costi medi unitari per il retrofit di costruzioni esistenti (€/mc)

TIPOLOGIA DI INTERVENTO	complessivo	strutturale	sistema di protezione sismica
Isolamento	165,09	67,05	21,30
Sistemi di dissipazione	91,63	47,90	26,06

Gli interventi di retrofit con dispositivi di dissipazione dell'energia hanno un costo complessivo di 92 €/mc nei quali il costo dei dispositivi incide per il 28%, mentre i costi degli interventi strutturali contribuiscono per il 24%.

Da tali analisi economiche si rileva che, con tecniche di protezione sismica basate sul controllo delle vibrazioni, è possibile raggiungere i livelli di sicurezza sismica prescritti dalla normativa con costi unitari inferiori a quelli di riferimento riportati nelle P.C.M. 3362 di 150 €/mc e P.C.M. 3728 di 250 €/mc.

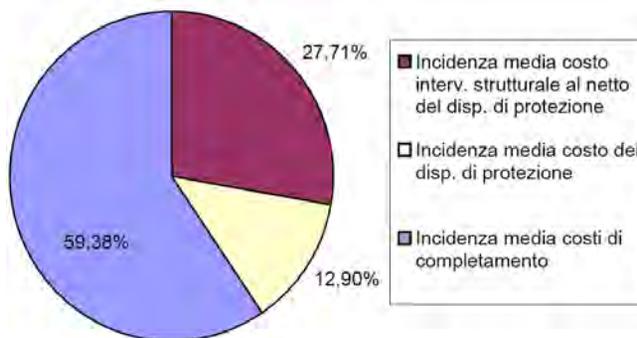


Fig.1. Ripartizione dei costi medi unitari per il retrofit di costruzioni esistenti con sistemi di isolamento

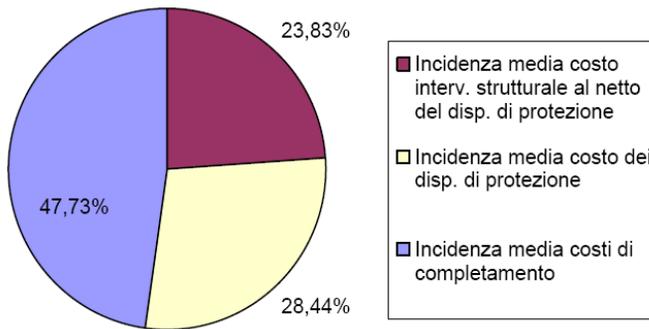


Fig. 2. Ripartizione dei costi medi unitari per il retrofit di costruzioni esistenti con sistemi di dissipazione

I risultati del rapporto del D.I.C.A. sono stati confrontati ed arricchiti da altre recenti esperienze professionali di interventi progettati e/o realizzati sul territorio siciliano; l'ANACE Catania e l'ing. Luigi Bosco hanno coordinato le attività di acquisizione e censimento di schede sintetiche di cinque interventi significativi di diverse tipologie strutturali ricorrenti al fine di fornire ulteriori dati economici sui costi di intervento. I dati confermano i valori del censimento promosso dal D.I.C.A., e mostrano come la fattibilità dell'intervento di rinforzo sia fortemente condizionata dalla tipologia strutturale trattata e dai livelli di sicurezza attuale e di progetto. In taluni casi il conseguimento di un livello di sicurezza adeguato alla costruzione può essere conseguito mediante interventi di rinforzo strutturale estremamente economici, in altri l'intervento è poco conveniente e richiede una riflessione sull'opportunità stessa del mantenimento dell'organismo strutturale. Per i cinque interventi esaminati sono state compilate le schede allegate dalle quali emerge che l'intervento sugli edifici esistenti ha un costo strutturale minimo per immobili con un numero medio di piani (5-7 elevazioni), tende a crescere con il numero di piani perché si incrementano le opere di adeguamento sulla sovrastruttura, tende a crescere con un numero di piani basso perché incidono percentualmente in maniera maggiore su volumi inferiori. L'incidenza del costo del sistema di protezione sismica (fornitura e prove sui dispositivi) ha un andamento più marcato, con una significativa riduzione al crescere del numero di piani e, quindi, in genere del volume dell'edificio (figura 3).

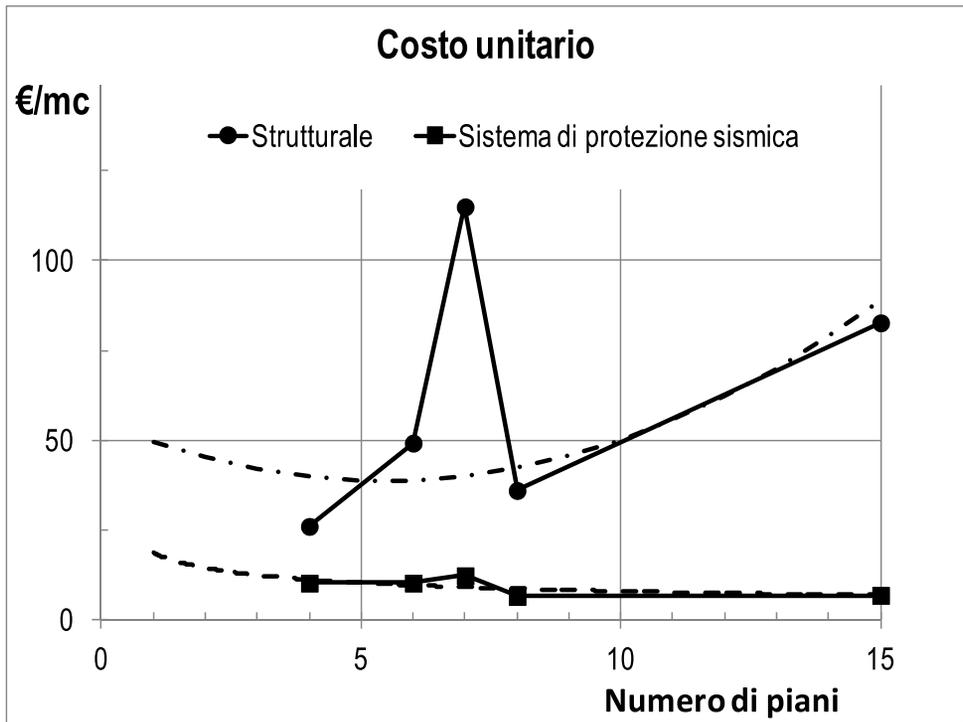


Fig. 3. Costi unitari per il retrofit di costruzioni esistenti al variare del numero di piani

Dall'esame economico dei risultati degli studi svolti emergono linee di tendenza e dati economici significativi. In particolare gli interventi di rinforzo strutturale hanno un costo variabile tra 40 e 100 €/mq, in relazione al livello di sicurezza strutturale originario e a quello target di progetto. I costi sono ovviamente maggiori quando si interviene su una struttura inagibile a seguito di un evento sismico, sono minori quando si esegue un intervento preventivo. Assumendo un dato medio del costo di intervento pari a 70 €/mq si perviene al risultato che per una unità immobiliare di 100 mq l'incidenza è di circa € 21.000,00, costo confrontabile con quello che è necessario sostenere per il rifacimento dei prospetti e dei frontalini dell'edificio. In secondo luogo il costo unitario dell'intervento tende ad essere più basso per edifici di media altezza, per i quali l'intervento di inserimento di dispositivi di protezione sismica può essere esaustivo per la risoluzione delle maggiori criticità strutturali. Per edifici più modesti l'incidenza del costo di intervento tende a crescere, così come per edifici più alti per i quali sono

necessari ulteriori e diffusi rinforzi per conseguire livelli di sicurezza adeguati. L'incidenza di costo dei sistemi di protezione sismica è decrescente al crescere del volume dell'edificio, fino a valori estremamente modesti di pochi euro per metro cubo di costruzione.

In generale gli interventi strutturali per buona parte delle tipologie edilizie più diffuse nella città di Catania, nel territorio etneo e, in generale, della Sicilia orientale sono economicamente sostenibili.

In presenza di deficienze strutturali gravi, per effetto di materiali scadenti, di limiti costruttivi o di degradi intervenuti nel tempo, l'intervento di rinforzo strutturale può non essere perseguibile ed è opportuna una scelta più radicale di demolizione e ricostruzione, sfruttando quegli incentivi normativi che possono costituire un volano per avviare processi di riduzione della vulnerabilità e del rischio sismico di edifici residenziali.

In conclusione, dall'analisi del campione ancorché limitato di interventi su strutture esistenti in cui è stato utilizzato l'isolamento sismico come tecnica di protezione si possono trarre alcune utili indicazioni. Il costo complessivo dell'intervento dipende sostanzialmente da tre componenti:

- costo dei dispositivi sismici;
- opere strutturali necessarie per l'introduzione del sistema di isolamento ed eventuale rinforzo della sottostruttura e della sovrastruttura;
- ripristini e lavori edili di completamento.

La prima componente (costo dei dispositivi sismici) è quella di più certa preventivazione e sostanzialmente poco variabile con le dimensioni della struttura per cui la sua incidenza a metro cubo di costruzione tende a ridursi con il volume complessivo ed in particolare con il numero di piani.

La seconda componente (opere strutturali) è la più complessa da preventivare in quanto dipende dalla forma e dimensione dell'edificio, dalla presenza o meno di cantinati, dal numero massimo di piani, dalla qualità dei materiali in opera. La presenza di calcestruzzi scadenti, con elevate profondità di carbonatazione e degrado della armature metalliche, può pregiudicare la sicurezza anche per i soli

carichi verticali; in questi casi la necessità di importanti e costosi interventi atti ad aumentare la resistenza degli elementi strutturali può pregiudicare la fattibilità stessa di un adeguamento sismico. Le strutture molto alte (numero piani >8) presentano elevata deformabilità per cui mal si prestano all'isolamento sismico a meno di intervenire sulla sovrastruttura aumentando le dimensioni dei pilastri o introducendo nuovi elementi, con una lievitazione del costo strutturale. La presenza di un locale garage interrato permette la realizzazione del piano di isolamento immediatamente al di sopra dei pilastri dei garage con i dispositivi sismici a vista con limitati interventi strutturali in genere concentrati al rinforzo della sottostruttura.

La terza componente (ripristini e lavori edili di completamento) è legata alla necessità o meno di intervenire con i rinforzi strutturali in maniera importante sulla sovrastruttura che ovviamente comportano fasi di demolizione e rifacimenti delle opere. Anche questa componente di costo viene minimizzata nel caso l'intervento di isolamento venga fatto al di sotto del solaio di copertura dei garage in quanto gli interventi sono localizzati in un solo piano e che non necessita di particolari opere di finitura.

Schede degli interventi di adeguamento antisismico

Scheda n.1: adeguamento sismico di civile abitazione mediante isolamento alla base con HRDB. Comune di Santa Venerina.

Scheda n.2: intervento di miglioramento sismico di edificio privato condominiale. Comune di Catania.

Scheda n.3: consolidamento e adeguamento sismico degli edifici E.R.P mediante isolamento alla base con FPS. Comune di Pozzallo.

Scheda n.4: adeguamento sismico dell'edificio denominato "Palazzo Boscarino". Ipotesi di isolamento alla base mediante *friction pendulum*. Comune di Catania.

Scheda n.5: sopraelevazione con adeguamento antisismico mediante isolatori di un fabbricato a destinazione ricettiva. Comune di Messina.

SCHEDA N°

1

Identificazione dell'edificio

Titolo Progetto	Adeguamento sismico		
Città	Santa Venerina	Provincia:	CT
Indirizzo	Via Ardichetto 36		
Localizzazione	Interno al centro abitato		
Proprietario	Privato (Condominio Ardichetto palazzine B e D)		
Tipologia intervento	Retrofit mediante isolamento sismico alla base con HRDB		
Destinazione d'uso	Civile abitazione		
Progettista/i	Ing. Giovanni Brischetto, Ing. Mario Granata		
Direttore dei lavori	Ing. Giovanni Brischetto		
Impresa costruttrice	Di Maria Costruzioni		
Stato dei lavori	Ultimati		

Dati dimensionali - età costruzione/ristrutturazione

Numero di piani totali	4 impalcati fuori terra
Altezza media di piano	3.00 m
Superficie media di piano	330 mq
Volume complessivo	5.000 mc
Anno di progettazione	Progetto originario primi anni '80, progetto di retrofit 2009
Anno ultimazione costruzione	2012
Eventi sismici significativi	Edificio inagibile per il sisma del 2002

Dati sulla tipologia strutturale

Materiale strutturale principale	Struttura in cemento armato
Tipologia strutturale del sistema resistente	Struttura prevalentemente a telai
Diaframmi orizzontali	Diaframmi rigidi in latero-cemento con soletta armata
Copertura	Copertura strutturalmente piana, non spingente, con manto riportato da muretti e tavelloni
Fondazioni	Travi rovesce

Dati sulla tecnica di protezione sismica e di incidenza del costo di intervento

Sistema di prot. sismica adottato	Isolamento sismico alla base con HDRB e FSL		
	intervento complessivo	intervento strutturale	sistema di prot. sismica (fornitura e prove)
Costo [€]	530.000	130.000	51.000
Incidenza costo unitario [€/mc]	106	26	10,20

Adeguamento sismico mediante isolamento alla base di due edifici danneggiati dal sisma

A cura di Marco Zanfini

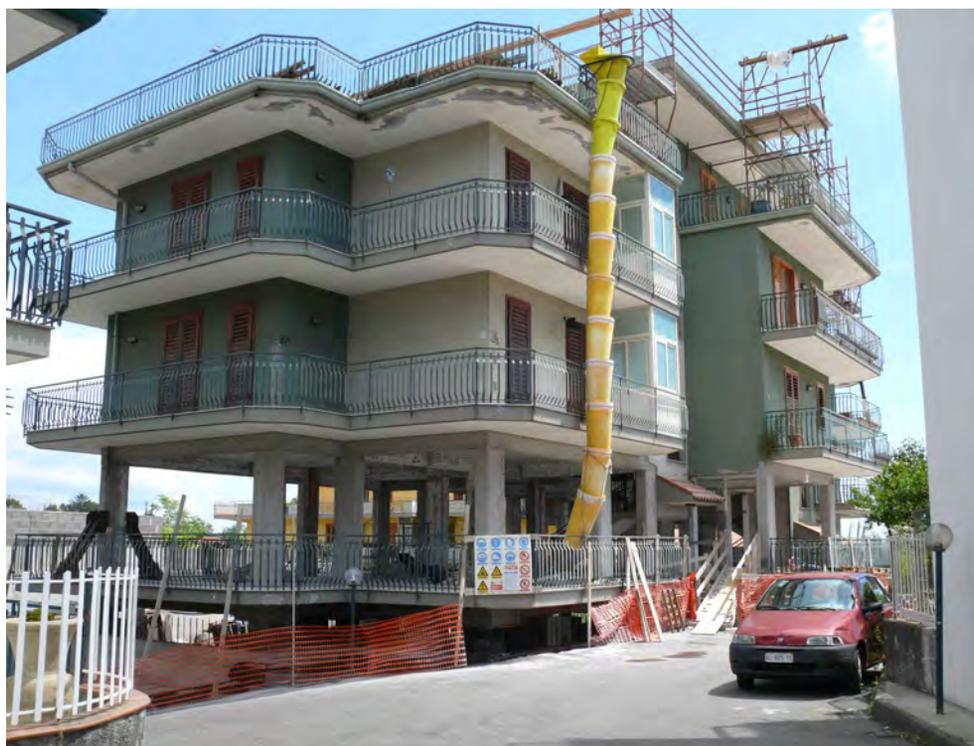
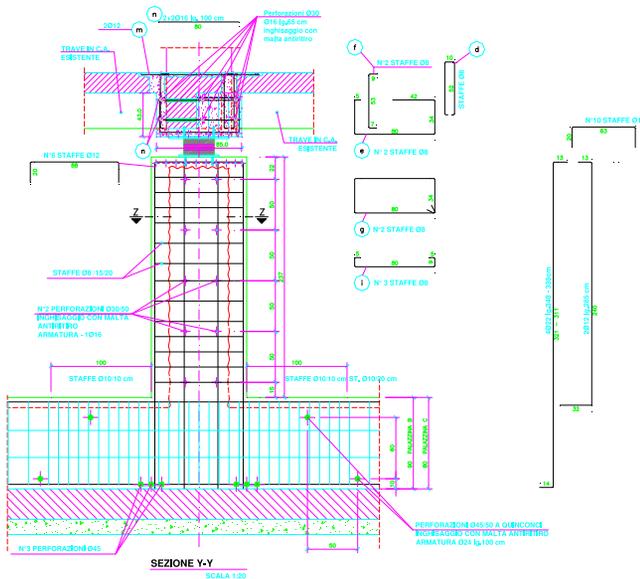


Figura 1. vista generale della palazzina

I due edifici per civile abitazione in trattativa, dei primissimi anni ottanta, costruiti in adiacenza e separati solo da un giunto strutturale, furono danneggiati dal sisma che ha interessato l'area delle pendici dell'Etna nel 2002. A seguito di tale stress meccanico le strutture in cemento armato, non progettate per dissipare notevoli quantità di energia, riportarono lesioni da taglio, riscontrate in particolare nei pilastri alla quota del primo spiccato. La riqualificazione strutturale, è stata mirabilmente interpretata dai progettisti Ing. Mario Granata e Ing. Giovanni Brischetto, attraverso l'impiego dell'isolamento sismico alla base, oggi consolidata tecnologia grazie alla quale è consentito al progettista modificare in un ambito piuttosto ampio i parametri di richiesta prestazionale anziché rivolgersi all'offerta

prestazionale del fabbricato. Tale inversione concettuale all'approccio progettuale, comporta indubbi e notevolissimi vantaggi nella riqualificazione del patrimonio esistente dove l'offerta prestazionale del fabbricato è un dato, spesso difficilmente modificabile.

Il progetto ha previsto l'eliminazione del giunto sismico al fine di introdurre il nuovo grado di libertà per un unico corpo al di sopra del piano di isolamento. Questo piano che è stato collocato sopra la zona garage, posta al piano seminterrato, consentendo modesti interventi sulla sovra struttura in elevazione.



L'intervento di consolidamento dell'esistente è stato prevalentemente concentrato sulla porzione al di sotto del piano di isolamento (sotto struttura), ed è consistito nella incamiciatura dei pilastro lesionati, tra l'altro necessaria ad accogliere i dispositivi antisismici, e nella revisione delle travi di fondazione.

Per quanto ai dispositivi impiegati per la realizzazione del sistema di isolamento sono stati scelti del tipo più tradizionale, ossia HDRB e appoggi scorrevoli a basso attrito FSS.

Uno degli aspetti più interessanti ed ancora relativamente nuovi che hanno caratterizzato le fasi esecutive del cantiere è certamente quella relativa all'inserimento dei dispositivi, previo sollevamento del fabbricato e taglio dei pilastri. L'impresa Di Maria Costruzioni di Santa Venerina (CT), incaricata dei lavori, è stata supportata dalla Genco s.r.l., Società di ingegneria e costruzioni per

quanto alle delicate fasi sopra citate, mediante accurata progettazione di dime, di predisposizioni per l'inghisaggio, delle fasi di getto e taglio.



La Società Genco S.r.l. Società di Ingegneria e Costruzioni, da anni impegnata nella divulgazione ed applicazione dei “moderni sistemi antisismici”, attraverso i propri tecnici, l'Ing. Marco Zanfini, amministratore della stessa nonché responsabile GLIS sezione della Provincia di Firenze ed il geom. Filippo Zanfini, ha messo a punto un sistema mai impiegato prima che permette la predisposizione degli alloggiamenti per i dispositivi ancor prima del taglio del pilastro rendendo semplice e veloce l'inserimento dei medesimi dispositivi e molto più sicura l'operazione sotto l'aspetto della prevenzione degli infortuni.

Oggi il recupero funzionale è terminato e, nel rinviare alle schede di sintesi per i riferimenti economici dell'intervento, si desidera sottolineare ancora una volta la flessibilità ed economicità della soluzione tecnica impiegata, che ha consentito il recupero dei fabbricati a costi strutturali paragonabili al solo cambio di un pavimento, a fronte di una potenziale demolizione.



Questo esempio vuole essere un contributo perché siano superate le resistenze e i preconcetti posti in particolare dalle imprese in relazione ai presunti costi e alle difficoltà operative nell'applicazione dell'isolamento sismico alla base.

Se ben progettato e ben messo in opera, l'isolamento rappresenta certamente la migliore soluzione tecnica ed economica per la riabilitazione dei fabbricati esistenti, anche quando danneggiati, e deve rappresentare per le imprese una nuova e stimolante occasione di qualificazione professionale.

SCHEDA N°**2****Identificazione dell'edificio**

Titolo Progetto	Intervento di miglioramento sismico di edificio privato condominiale (con riferimento all'Ordinanza P.C. M. – Dip. della Protezione Civile – n° 3140 del 7 giugno 2001)		
Città	S. Gregorio	Provincia:	CT
Indirizzo	Via XX settembre n°27, palazzina A		
Localizzazione	Interno al centro abitato		
Proprietario	Privato (Condominio I Prati)		
Tipologia intervento	Intervento di miglioramento sismico – NTC2008 - 8.7.4		
Destinazione d'uso	Civile abitazione		
Progettista/i	dott. ing. Daniela Longo (progettista), dott. Ing. Fabio Neri e dott. Ing. Salvatore Miano (consulenti strutturali)		
Direttore dei lavori	dott. ing. Daniela Longo		
Impresa costruttrice	Da nominare		
Stato dei lavori	Da appaltare		

Dati dimensionali - età costruzione/ristrutturazione

Numero di piani totali	6 piani di cui 1 interrato
Altezza media di piano	3.30 m
Superficie media di piano	474 mq
Volume complessivo	10202 mc (compresi fondazioni e sottotetto)
Anno di progettazione	Decennio 1970
Anno ultimazione costruzione	Decennio 1970
Eventi sismici significativi	Dicembre 1990

Dati sulla tipologia strutturale

Materiale strutturale principale	Calcestruzzo armato
Tipologia strutturale del sistema resistente	A telai nella sola direzione ortogonale all'orditura dei solai.
Diaframmi orizzontali	Diaframmi rigidi
Copertura	Copertura non spingente
Fondazioni	Plinti isolati

Dati sulla tecnica di protezione sismica e di incidenza del costo di intervento

Sistema di prot. sismica adottato	Isolatori a scorrimento a doppia superficie curva Raggio di 3725 mm – Spostamento massimo SLC 300mm-Periodo 3.60 s		
	intervento complessivo	intervento strutturale	sistema di prot. sismica (fornitura e prove)
Costo [€]	586.134	501.892	104.116
Incidenza costo unitario [€/mc]	57,45	49,20	10,20

Intervento di miglioramento sismico di edificio privato condominiale

A cura di Salvatore Miano e Fabio Neri

L'organizzazione strutturale risulta quella tipica delle costruzioni multipiano realizzate tenendo conto dei soli carichi verticali e che ad una analisi preliminare di vulnerabilità ha mostrato di non garantire adeguata capacità nei confronti delle azioni sismiche.

Dalle indagini strutturali effettuate è risultato che sia la resistenza in opera del calcestruzzo che dell'acciaio sono confrontabili con quelli previsti nel progetto originario e che la struttura risulta garantire le prestazioni previste dalla normativa per i carichi verticali.

I principali fattori di vulnerabilità sismica sono:

- parziale carenza di telai efficaci o di altre strutture di controvento in due direzioni ortogonali.
- Irregolarità in elevazione dovuta a forti variazioni di rigidità in elevazione;
- Irregolarità in pianta con elevate eccentricità tra baricentro delle masse e centro delle rigidità;
- stato di costruzione, di conservazione e di manutenzione.

Partendo da tali considerazioni e potendo sfruttare il piano cantinato presente nella struttura si è scelto di intervenire attraverso l'isolamento sismico alla base dell'edificio, con isolatori a scorrimento a superficie curva, in modo tale da ottenere un miglioramento della risposta sismica della struttura attraverso una riduzione dell'input sismico ed evitando di dovere intervenire nella sovrastruttura.

La scelta dell'isolamento rispetto ad un intervento di rinforzo tradizionale ha permesso infatti di localizzare al piano cantinato ed al piano terra tutti gli interventi in modo da non dovere operare all'interno degli appartamenti e quindi permettendone la fruizione durante i lavori.

L'inserimento degli isolatori sotto l'impalcato di copertura dei garages rende necessario il taglio dei pilastri e la realizzazione di opportuni capitelli per

l'alloggiamento dei dispositivi e permettere l'inserimento dei martinetti per l'eventuale sostituzione.



Figura 1. Vista 3D organismo strutturale



Figura 2 – Telaio tipo dell'edificio dopo l'intervento

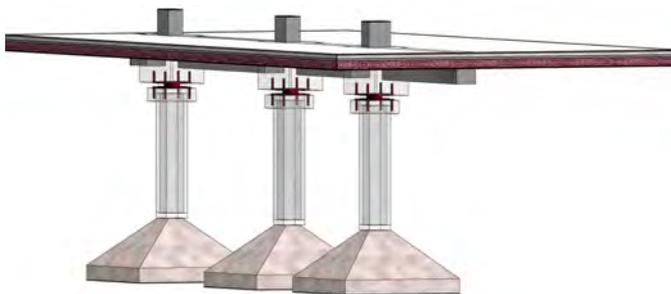


Figura 3 – Particolare dell'inserimento dei dispositivi di isolamento e dei capitelli

I pilastri su cui vengono installati gli isolatori sono stati rinforzati con camice in calcestruzzo colabile ad alta resistenza e con una idonea armatura.

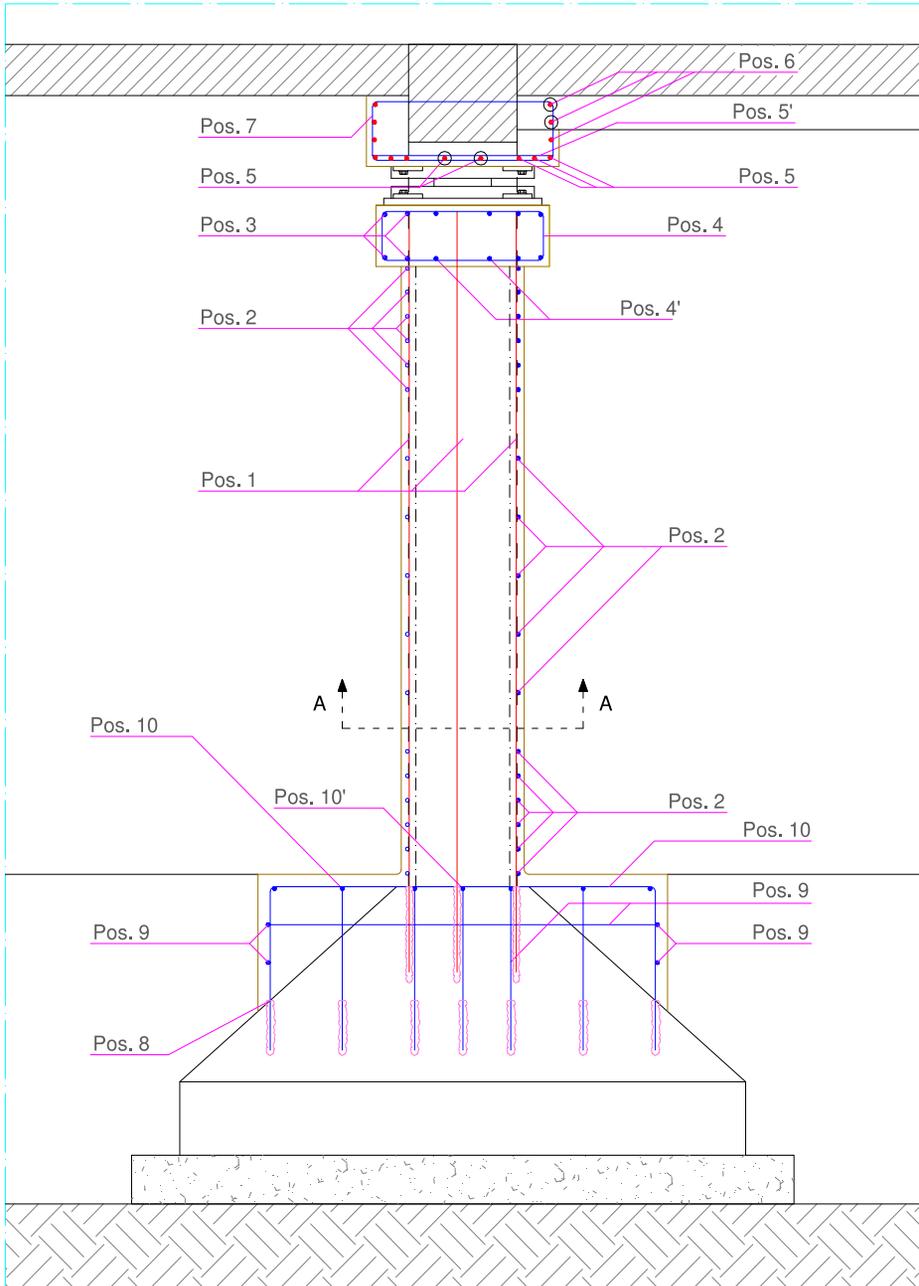


Figura 4 Armature rinforzo

Nel progetto si sono curate in particolare le fasi di taglio e montaggio.

**Posizionamento dispositivi di contrasto (inserimento e sostituzione)
(scala 1:50)**

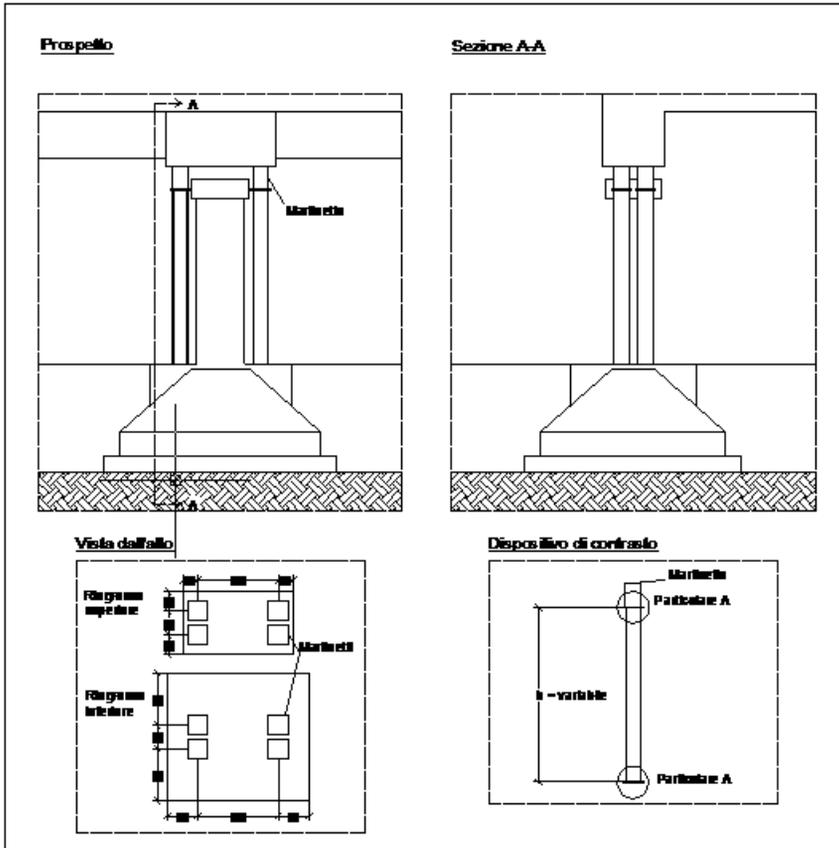


Figura 5 – Fasi di taglio e sostegno con i martinetti

L'utilizzo del sistema di isolamento rende necessario realizzare opportuni giunti di elevate dimensioni per cui è necessario curare gli attacchi a terra degli impianti che dovranno prevedere dispositivi flessibili che permettono elevati spostamenti.

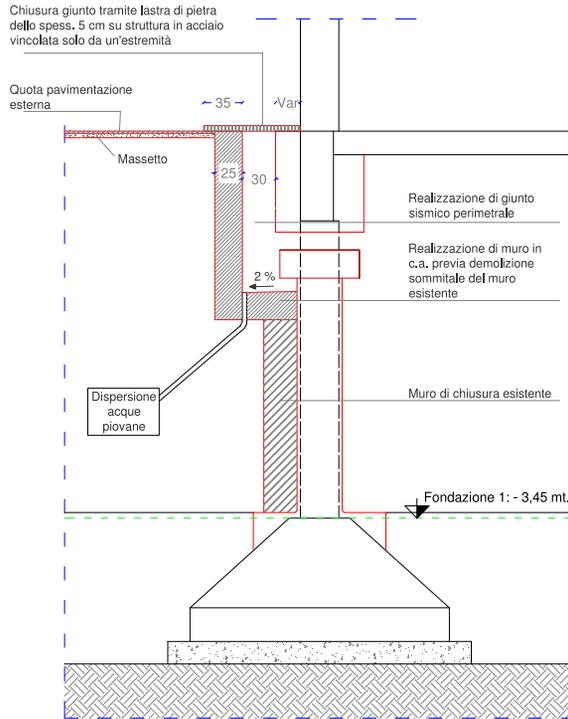


Figura 6 Giunto rispetto al terreno circostante

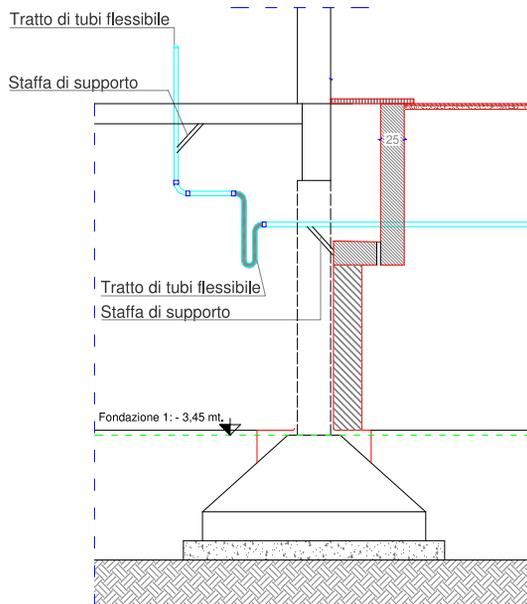


Figura 7 Giunti flessibili degli impianti

SCHEDA N°**3****Identificazione dell'edificio**

Titolo Progetto	Consolidamento e adeguamento sismico degli edifici E.R.P		
Città	Pozzallo	Provincia:	RG
Indirizzo	Piazzale Italia		
Localizzazione	Centro abitato		
Proprietario	Istituto Autonomo Case Popolari della provincia di Ragusa		
Tipologia intervento	Retrofit mediante isolamento sismico alla base con FPS		
Destinazione d'uso	Civile abitazione		
Progettista/i	PRO.GE.CO. Srl, Ing. Giovanni Anfuso		
Progettisti strutture	RCC Ingegneria, Ing. Antonino Russo, Ing. Matteo Russo		
Impresa costruttrice	-		
Stato dei lavori	Non iniziati		

Dati dimensionali - età costruzione/ristrutturazione

Numero di piani totali	7 impalcati fuori terra
Altezza media di piano	3.00 metri
Superficie media di piano	230 metri quadrati (x 4 edifici 920 mq)
Volume complessivo	5.200 mc (x 4 edifici 20.800 mc)
Anno di progettazione	Progetto originario primi anni 80, progetto di retrofit 2010
Anno ultimazione costruzione	Non ultimato
Eventi sismici significativi	

Dati sulla tipologia strutturale

Materiale strutturale principale	Struttura in cemento armato
Tipologia strutturale del sistema resistente	Struttura prevalentemente a telai
Diaframmi orizzontali	Diaframmi rigidi (Solai in latero cemento)
Copertura	Copertura non spingente (Copertura piana)
Fondazioni	Plinti e pali di fondazione

Dati sulla tecnica di protezione sismica e di incidenza del costo di intervento

Sistema di prot. sismica adottato	Isolamento sismico alla base con FPS		
	intervento complessivo	intervento strutturale	sistema di prot. sismica (fornitura e prove)
Costo [€]	4.600.000	2.400.000	270.000
Incidenza costo unitario [€/mc]	221,15	115,38	12,25

Consolidamento e adeguamento sismico degli edifici E.R.P di Pozzallo

A cura di Antonino Russo e Matteo Russo

Il progetto attiene un intervento di adeguamento sismico di tre edifici per civile abitazione, a Pozzallo, piazzale Italia, dell'Istituto Autonomo Case Popolari di Ragusa.

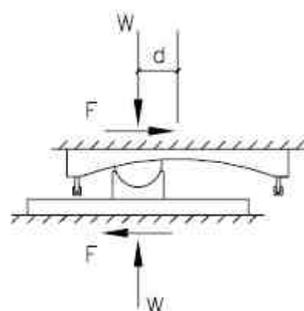
Dei tre edifici, due sono composti di un singolo corpo di fabbrica (denominati rispettivamente Lotto 12 e 13) ed uno di due corpi di fabbrica separati da un giunto tecnico (denominato Lotto 14).

Il progetto dei calcoli strutturali degli edifici in oggetto è stato depositato presso l'Ufficio del Genio Civile di Ragusa in data 01/08/1980, la relazione struttura ultimata è stata depositata in data 01/12/81, infine il collaudo depositato in data 16/12/1981. Il progetto complessivo delle opere è stato approvato dal Comune di Pozzallo il 31/01/1979.

L'intervento rientra nel quadro della protezione sismica di tipo passivo, giacché è basato sulla tecnica dell'isolamento sismico, che riduce la risposta sismica della struttura alle azioni orizzontali. L'isolamento sismico è posto immediatamente al di sopra dell'estradosso della fondazione, costituita da plinti su pali.

Il dispositivo utilizzato, denominato FPS o friction pendulum - nella figura se ne riporta una sezione schematica - possiede i suddetti requisiti ed inoltre possiede le seguenti funzioni:

- capacità di ricentraggio del sistema;
- sostegno dei carichi verticali con elevata rigidezza in direzione verticale e bassa rigidezza in direzione orizzontale, permettendo notevoli spostamenti orizzontali;
- vincolo laterale, con adeguata rigidezza, sotto carichi orizzontali di servizio (non sismici).



VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA.

Principi generali.

La struttura dell'edificio in atto non è dotata di sismo-resistenza e l'intervento è classificabile come **intervento di adeguamento**, atto a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalle *NTC 2008*.

Procedure per la valutazione della sicurezza.

Analisi storico-critica.

Gli edifici non hanno subito modificazioni nel tempo e si è potuta conseguire una corretta individuazione del sistema strutturale esistente, soprattutto attraverso la disponibilità degli elaborati progettuali strutturali.

Rilievo.

Il rilievo è stato limitato ad un controllo a campione, essendo disponibili sia il progetto architettonico sia il progetto strutturale. La qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi è in linea con l'età della costruzione. Non sono stati rilevati dissesti né manifestazioni minori.

Caratterizzazione meccanica dei materiali.

Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si è basati sulla documentazione già disponibile, su verifiche visive in situ e su indagini sperimentali.

I valori delle resistenze meccaniche dei materiali sono stati valutati sulla base delle prove effettuate sulla struttura.

Livelli di conoscenza e fattori di confidenza.

Sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive sopra riportate, sono stati individuati i "livelli di conoscenza" dei diversi parametri coinvolti nel modello (geometria, dettagli costruttivi e materiali), e definiti i correlati

fattori di confidenza, da utilizzare come ulteriori coefficienti parziali di sicurezza che tengono conto delle carenze nella conoscenza dei parametri del modello.

È stato conseguito un livello di conoscenza **LC2**, poiché:

- La geometria è stata desunta dai disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campioni.
- I dettagli strutturali sono stati desunti dai disegni costruttivi completi e con limitate verifiche in situ.
- Le proprietà dei materiali sono state desunte dalle specifiche originali di progetto e dai certificati di prova originali e con limitate prove in situ.

Conformemente alla tabella C8A.1.2 delle *NTC 2008* il fattore di confidenza è **FC = 1.20** e sono ammessi tutti i tipi di analisi.

Criteri e tipi d'intervento.

I criteri d'intervento vertono sulla combinazione di provvedimenti per:

- Ridurre l'impegno degli elementi strutturali originari mediante l'introduzione di sistemi d'isolamento e di dissipazione di energia. Interventi sugli impianti sono necessari ai fini di non alterare la risposta sismica attesa per effetto dell'isolamento e per garantire la loro funzionalità in occorrenza di elevati spostamenti della sovrastruttura rispetto alla sottostruttura.
- Incrementare la resistenza degli elementi verticali resistenti, tenendo eventualmente conto di una possibile riduzione della duttilità globale per effetto di rinforzi locali.
- Attenuare gli urti nel giunto tecnico, nell'edificio a due corpi, inadeguato ed inadeguabile sotto il profilo sismico, tramite l'interposizione di idonei dispositivi (shock absorber).
- Per irrigidire trasversalmente la struttura e per eliminare il comportamento a piano "debole" del piano terra (portico), con l'inserimento di pareti di c.a. In elevazione si tratta di una trasformazione di elementi non strutturali in elementi strutturali.

Progetto dell'intervento.

Il tipo di intervento, incentrato sull'isolamento, è stato scelto per conseguire l'adeguamento sismico e contestualmente rendere l'intervento nella minor misura possibile invasivo, ai fini del contenimento di tutte le opere non strutturali conseguenti ad un intervento di adeguamento od anche di miglioramento di tipo attivo.

La struttura ha un'alta vulnerabilità, identificabile essenzialmente in una notevole carenza di controventamento nella direzione trasversale e, in secondo luogo, nella direzione longitudinale.

Inoltre, per effetto dei soli carichi gravitazionali, si raggiungono considerevoli tensioni nei materiali, talché è stata condotta un'analisi elastica seguita da una ridistribuzione dei momenti flettenti.

Per tali ragioni il livello di azione sismica per la quale viene raggiunto lo SLU è già intuitivamente talmente basso da far ritenere superflua la verifica sismica della struttura prima dell'intervento.

Il progetto prevede che l'intervento si sviluppi secondo le seguenti fasi:

Su tutta l'area:

- demolizioni dei muri di tamponamento e del massetto a p.t.
- scavo fino alla quota d'imposta dei plinti, allargato rispetto all'orma dell'edificio per ottenere un'intercapedine perimetrale.
- esecuzione di un muro di sostegno lungo tutto il perimetro esterno dell'intercapedine e di una platea, che finge da suola del muro.
- esecuzione di un grigliato completo di travi, con l'estradosso in quota col calpestio p.t. attuale o poco più sopra (~10cm). Le travi sono solidarizzate ai pilastri.

Per ogni pilastro:

- inserimento di due martinetti fra l'estradosso del plinto e l'intradosso delle nuove travi, messa in forza calibrata col carico assiale presente nel pilastro,

controllo contestuale degli spostamenti per minimizzare le distorsioni impresse per effetto della maggiore o minore messa in forza rispetto al carico presente.

- taglio con sega a filo diamantato del tratto di pilastro intercluso fra l'estradosso del plinto e l'intradosso delle nuove travi.
- inserimento dell'isolatore di tipo friction pendulum, fissato al plinto ed alle travi tramite boccole filettate precedentemente collocate ed allettamento della piastra inferiore dell'isolatore.

Su tutta l'area:

- montaggio di un impalcato metallico al calpestio p. t. composto di travi di acciaio e pannelli di grigliato anti-tacco, rimovibili per consentire l'accesso per l'ispezione, la manutenzione e l'eventuale sostituzione degli isolatori.

Impianti

Le connessioni degli impianti, fra la struttura isolata e il terreno, devono assorbire gli spostamenti relativi senza subire alcun danno o limitazione d'uso. Per il collegamento delle tubazioni dell'impianto idrico-sanitario di carico e scarico alla rete di adduzione ed alla rete fognaria, si utilizzano comuni tubi flessibili di lunghezza opportunamente maggiorata, che permettono, per estensione del tratto curvo, uno spostamento orizzontale tra la sovrastruttura e il terreno pari a 10 cm. La soluzione può essere adottata anche per l'impianto elettrico, predisponendo un cavo di collegamento tra struttura e rete esterna anch'esso di lunghezza maggiorata.

Le connessioni del gas che attraversano i giunti di separazione devono consentire spostamenti relativi della sovrastruttura isolata di 20 cm (stesso livello di sicurezza adottato per il progetto del sistema d'isolamento).

CRITERI GENERALI DI ANALISI E VERIFICA.

Tipo di analisi svolta.

È stata condotta un'analisi dinamica non-lineare o ***time-history analysis***, più precisamente la cosiddetta *FNA*, acronimo di *Fast Nonlinear Analysis*, proposta da E. L. Wilson (A. Ibrahimbegovic e E. L. Wilson 1989, E. L. Wilson 1993).

La scelta del tipo di analisi è scaturita dalla considerazione che il tipo di isolatore prescelto è a comportamento marcatamente non-lineare, anche se i Produttori ordinariamente dichiarano che le caratteristiche di dispositivi siffatti sono tali da rispettare le prescrizioni delle *NTC 2008* per la linearizzazione delle analisi. La semplificazione è solamente nell'algoritmo, giacché l'analisi diventerebbe di tipo lineare e quindi sarebbe affrontabile con una gamma più vasta di codici di calcolo, ma è illusoria perché occorrerebbe effettuare tante analisi quante le combinazioni di carico da prevedere, per approssimazioni successive.

Il codice di calcolo utilizzato è il *Midas/Gen*, prodotto da MIDAS Information Technology Co. Ltd. È un codice di calcolo automatico che esegue tutti i tipi di analisi, statiche e dinamiche, con qualsivoglia legame costitutivo dei materiali costituenti gli elementi strutturali (lineare o non lineare).

Le *NTC 2008* prescrivono (§ 7.3.5) di considerare i valori massimi delle caratteristiche di sollecitazione e di deformazione, usando tre gruppi di accelerogrammi, i valori medi, usando sette gruppi di accelerogrammi; ciascun gruppo prevede l'applicazione contemporanea di due componenti accelerometriche orizzontali e quella verticale, ove necessario.

Nel calcolo è prevista la seconda opzione, ovvero l'applicazione di sette accelerogrammi a due componenti. Inoltre, poiché l'edificio presenta i primi tre modi sensibilmente disaccoppiati, si può affermare che le configurazioni studiate sono esaustive.

Metodologie seguite per la verifica degli elementi strutturali.

Le prestazioni attese nei confronti delle azioni sismiche sono verificate agli stati limite, sia di esercizio che ultimi, individuati riferendosi alle prestazioni della

costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Le verifiche della sicurezza in funzione della classe d'uso e per il caso in oggetto sono:

Gli stati limite di esercizio (**SLE**) sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO)

Prestazione non richiesta.

- Stato Limite di Danno (SLD)

Contenimento del danno degli elementi non strutturali (controllo della deriva di piano).

Contenimento delle deformazioni del sistema fondazione terreno.

Gli stati limite ultimi (**SLU**) sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)

Assenza di martellamento tra strutture contigue (inserimento di shock absoeber).

Resistenza delle strutture.

Assenza di collasso fragile ed espulsione di elementi non strutturali.

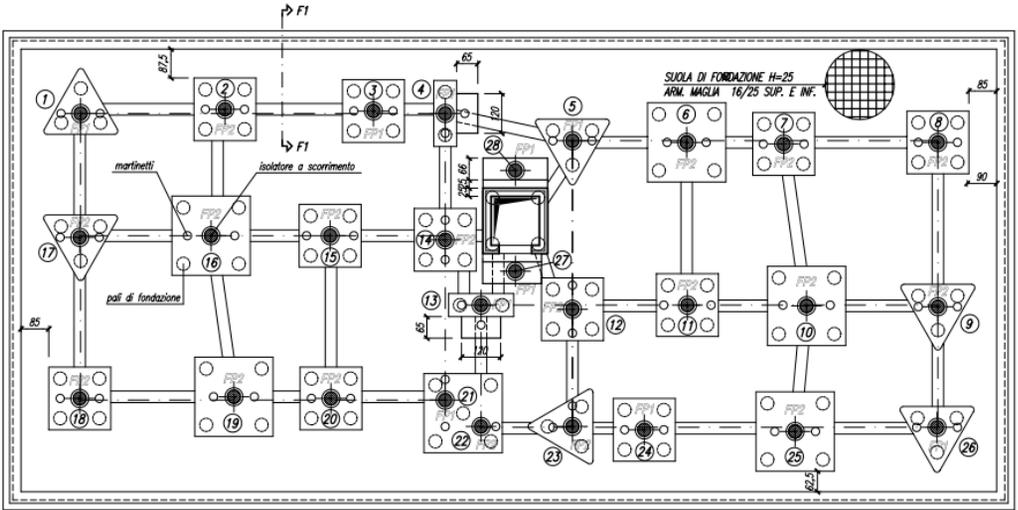
Resistenza del sistema fondazione-terreno.

- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)

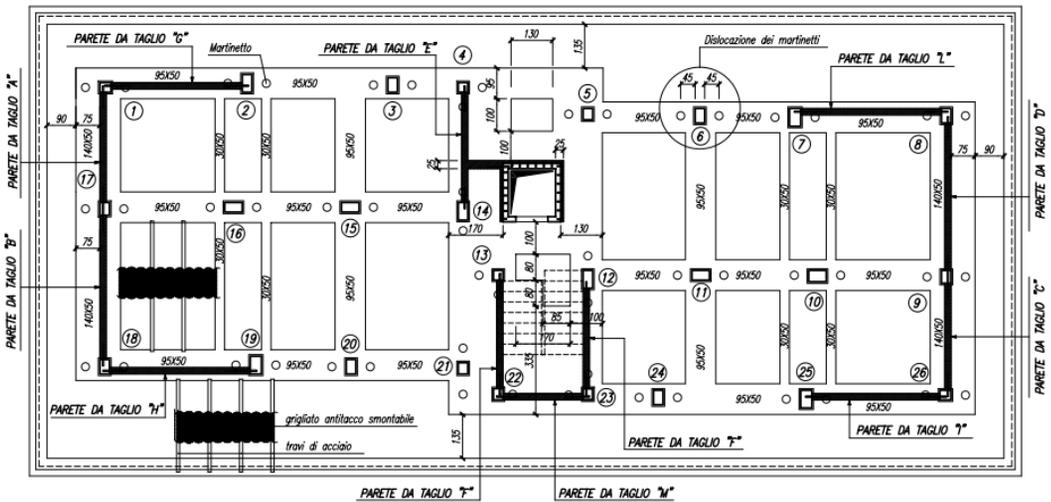
Capacità di spostamento degli isolatori.

Verifica della resistenza dei dispositivi di vincolo (shock absorber)

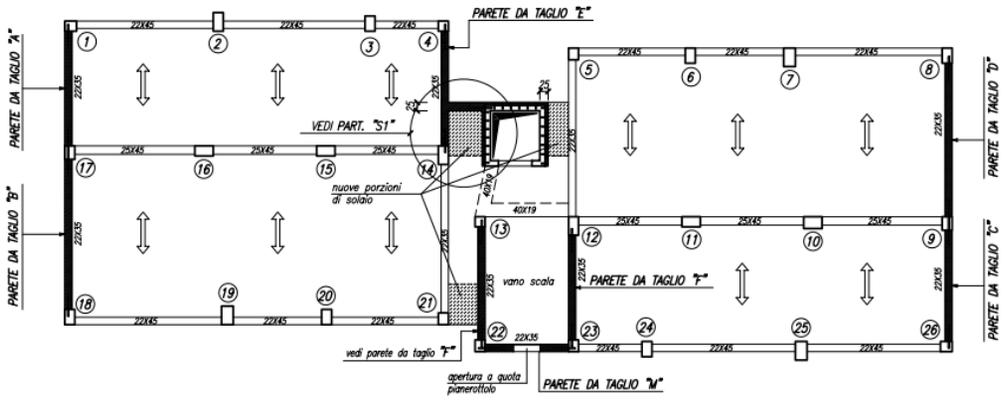
PIANTA DELLE FONDAZIONI
POSIZIONAMENTO ISOLATORI E MARTINETTI



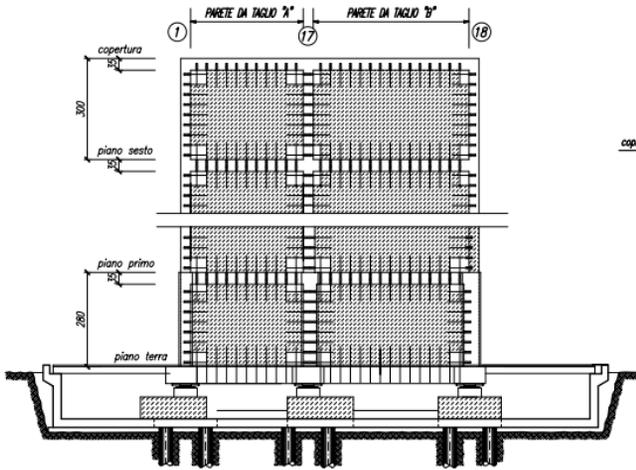
PIANTA DISPOSIZIONE NUOVE TRAVI
AL DI SOPRA DEL PIANO DI ISOLAMENTO



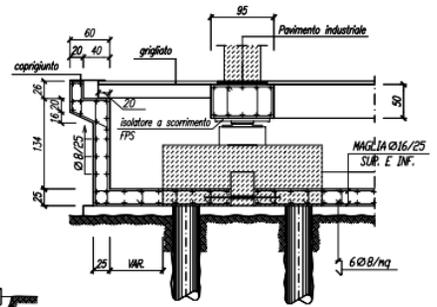
PIANTA DISPOSIZIONE PARETI DA TAGLIO
 DAL SECONDO IMPALCATO A COPERTURA
 SCALA 1/100



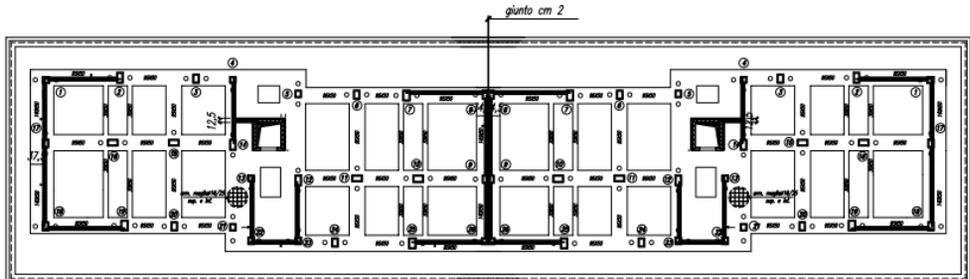
PROSPETTO PARETE DA TAGLIO A-B



SEZIONE F1-F1
 TIPICA



EDIFICIO CON DUE CORPI DI FABBRICA
 PIANTE DISPOSIZIONE NUOVE TRAVI
 AL DI SOPRA DEL PIANO DI ISOLAMENTO



SCHEDA N°

4

Identificazione dell'edificio

Titolo Progetto	Adeguamento sismico dell'edificio denominato "Palazzo Boscarino" di Catania. Ipotesi di isolamento alla base mediante <i>friction pendulum</i>		
Città	Catania	Provincia:	CT
Indirizzo	Via Gallo		
Localizzazione	Interno al centro abitato		
Proprietario	Pubblico		
Tipologia intervento	Su edificio esistente		
Destinazione d'uso	Edificio pubblico suscettibile a grande affollamento: aule universitarie e biblioteca		
Progettista/i	Prof. Ing. Ivo Calì, Prof.ssa Annalisa Greco. Collaboratori alla progettazione definitiva: Ing. Francesco Cannizzaro, Ing. Marco Intelisano, Ing. Bartolomeo Pantò. Con la collaborazione (durante la tesi di laurea) dell'ing. Giorgio Sammito e dell'ing. Marco Zanfini (correlatore di tesi)		
Direttore dei lavori	-		
Impresa costruttrice	-		
Stato dei lavori	Progettazione definitiva svolta nell'ambito dell'ufficio speciale del rischio sismico Rispe (Rischio Sismico Patrimonio Edilizio dell'Università di Catania) Dirigente: Ing. Piergiorgio Ricci, Resp. Tec.: Ing. Antonio Nigro		

Dati dimensionali - età costruzione/ristrutturazione

Numero di piani totali	8 piani in totale di cui 1 seminterrato 6 in elevazione e 1 sottotetto
Altezza media di piano	3,11 m
Superficie media di piano	518,00 mq
Volume complessivo	14.000,00 mc
Anno di progettazione	1964
Anno ultimazione costruzione	1965
Eventi sismici significativi	Nessuno

Dati sulla tipologia strutturale

Materiale strutturale principale	Cemento armato
Tipologia strutturale del sistema resistente	Struttura intelaiata in cemento armato
Diaframmi orizzontali	Diaframmi rigidi
Copertura	Copertura non spingente Copertura con travi in c.a. e solaio in latero-cemento
Fondazioni	Travi rovesce in c.a.

Dati sulla tecnica di protezione sismica e di incidenza del costo di intervento

Sistema di prot. sismica adottato	Isolamento sismico alla base con FPS		
	intervento complessivo	intervento strutturale	sistema di prot. sismica (fornitura e prove)
Costo [€]	700.000	500.000	90.000
Incidenza costo unitario [€/mc]	50,00	36,00	6,50

Adeguamento sismico dell'edificio denominato “Palazzo Boscarino” di Catania. Ipotesi di isolamento alla base mediante friction pendulum

A cura di Ivo Calì e Bartolomeo Pantò

L'edificio è stato progettato per resistere unicamente a carichi gravitazionali, coerentemente con normativa vigente all'epoca della costruzione (R.D 2229/1939), in assenza quindi di una specifica normativa sismica.

È stata effettuata una valutazione della vulnerabilità sismica dell'edificio, sulla base degli elaborati progettuali originali e di un'approfondita campagna di indagini strutturali. Il rilievo e le indagini in sito hanno dimostrato una piena conformità con il progetto originale sia nei dettagli costruttivi che nelle caratteristiche dei materiali effettivamente utilizzati. L'edificio è risultato inadeguato rispetto alle prestazioni minime richieste dalle attuali normative introdotte nel 2008 avendo una capacità di resistere alle azioni sismiche ben inferiore alla richiesta prevista dalla normativa attuale.

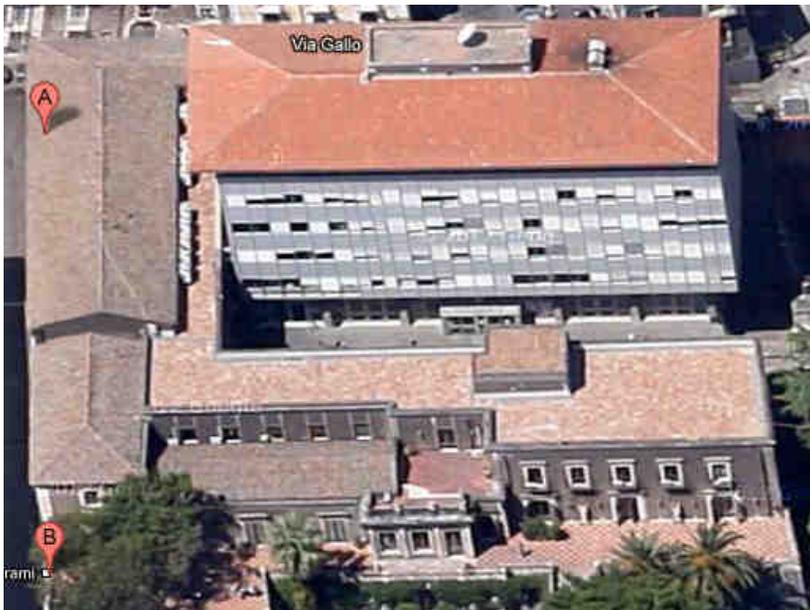


Figura 1. Foto aerea dell'edificio

In particolare è emerso che l'edificio ha un comportamento a collasso caratterizzato da una scarsa duttilità con formazione di meccanismi di collasso di tipo fragile (rotture a taglio di travi e pilastri). Tale caratteristica è tipica degli edifici progettati per resistere ai soli carichi verticali.

Tra le ipotesi di adeguamento sismico, quella con isolamento alla base è parsa la meno invasiva e nello stesso tempo la più economica ed efficace. Sono state vagliate diverse soluzioni, nel seguito ci si limita a riportare una descrizione sintetica della soluzione che prevede l'uso di dispositivi a pendolo inverso anche noti con il termine anglosassone Friction Pendulum. Tali dispositivi sono essenzialmente degli apparecchi d'appoggio a superficie concava che dissipano energia per attrito e posseggono capacità ricentranti associate alla concavità della superficie d'appoggio.

Descrizione dell'intervento

Il progetto di adeguamento sismico ha previsto da un lato l'isolamento alla base, posto in corrispondenza della sommità dei pilastri del piano semi-interrato, dall'altro il rinforzo delle strutture portanti, sia della sovrastruttura (parte della struttura posta al di sopra del piano di isolamento) che della sottostruttura (parte della struttura solidale con la fondazione).

Il progetto può essere concettualmente suddiviso secondo le seguenti linee di intervento:

- Realizzazione di un piano di isolamento posto al di sotto del piano di calpestio del piano terra mediante il taglio dei pilastri del piano seminterrato;
- Demolizione totale del vano scala-ascensore e di un impalcato adiacente, e ricostruzione del corpo scala ascensore mediante una struttura a nucleo irrigidente solidale al telaio spaziale della sovrastruttura;
- Ulteriore irrigidimento della sovrastruttura mediante la realizzazione di alcuni setti in c.a. posti in corrispondenza dei lati corti dell'edificio;
- Rinforzo della sottostruttura mediante la realizzazione di una platea nervata di fondazione e il ringrosso dei pilastri del piano seminterrato.

Nel seguito si procede ad una sommaria descrizione delle linee di intervento necessarie per il conseguimento del completo adeguamento sismico dell'edificio.

Realizzazione del piano di isolamento

Valutata la contiguità dell'edificio in esame con altri fabbricati (villa Cerami), si è scelto di collocare il piano di isolamento sotto il primo impalcato posizionando i dispositivi in testa ai pilastri del piano seminterrato.

L'installazione dei dispositivi prevede la rimozione del carico verticale dai pilastri mediante l'azione di martinetti idraulici reagenti su una coppia di morse che trasferiscono il carico per attrito. Il procedimento prevede che, una volta rimosso il carico del pilastro nella zona di installazione dell'isolatore, si proceda all'asportazione di un concio di calcestruzzo ed all'inserimento dell'isolatore.

Inoltre, si è avuto cura di prevedere che il nucleo scala-ascensore fosse solidale con la sovrastruttura, pertanto il piano di scorrimento in corrispondenza del vano scala è praticato alla quota di fondazione come schematicamente indicato nella figura 2 in cui è riportata la sezione di taglio corrispondente al posizionamento degli isolatori.

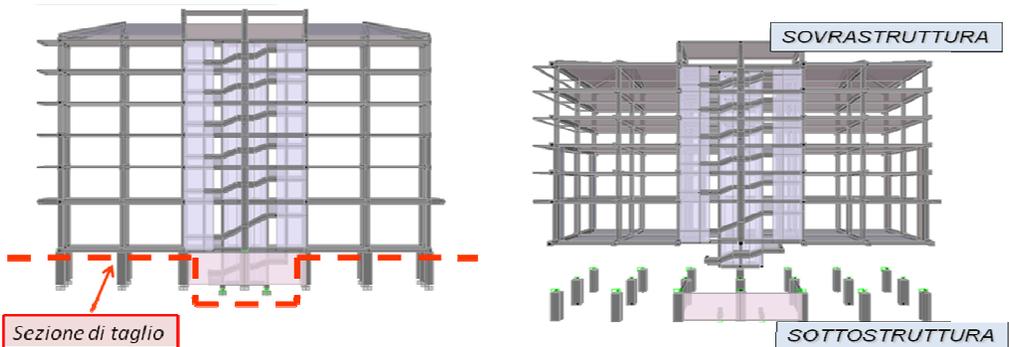


Figura 2. Immagini da cui si evince la separazione tra sovrastruttura e sottostruttura.

La soluzione con i Friction pendulum ha previsto l'utilizzo di 25 isolatori a pendolo inverso a semplice curvatura con la superficie di scorrimento posta in corrispondenza dell'intradosso dell'impalcato della prima elevazione fuori terra. Le

caratteristiche di ciascun isolatore sono schematicamente riportate in figura 4. In particolare ciascun dispositivo è caratterizzato da una concavità con raggio di curvatura di 300 cm un coefficiente d'attrito pari al 5% ed uno spostamento massimo consentito di 35 cm. La soluzione adottata ha consentito di ottenere un periodo della struttura isolata di circa 3 sec. In figura 3 è riportata un'immagine descrittiva del primo modo di vibrazione dell'edificio da cui si evince lo spostamento che subisce la sovra-struttura in corrispondenza del piano di isolamento.

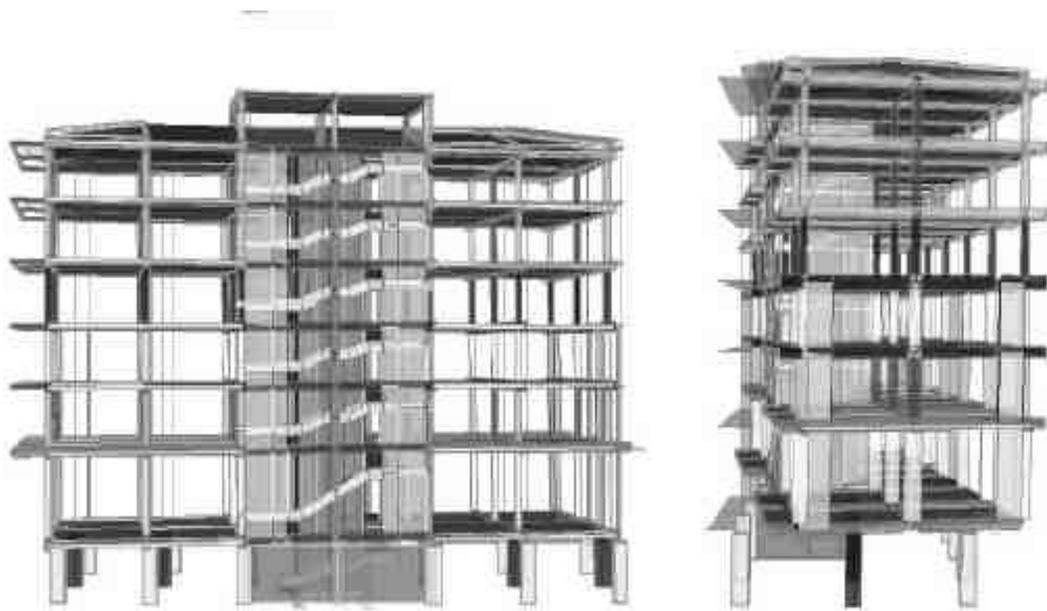
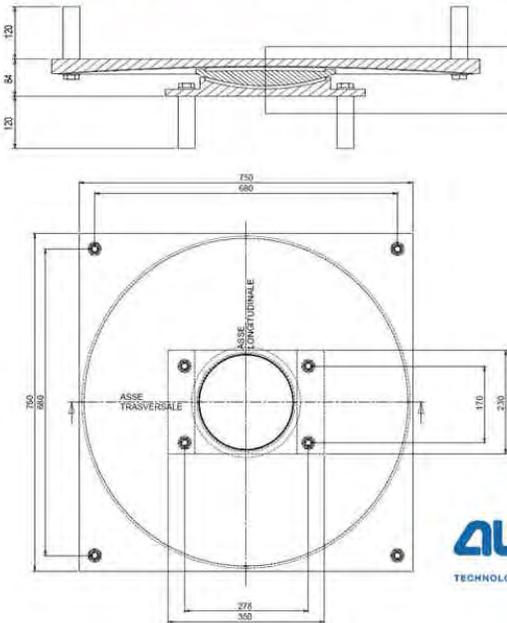
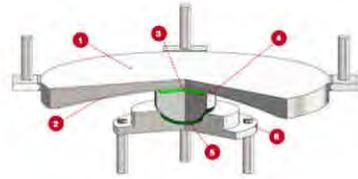


Figura 3. Primo modo di vibrazione associato ad un periodo di circa 3 sec..

DISPOSITIVO FP – APS-3000/700



ISOLATORI ALGASISM - APS



Caratteristiche del FP scelto:

- ⊙ Raggio della calotta superiore, $R=3\text{ m}$
- ⊙ Coefficiente di attrito = 5 %
- ⊙ Escursione massima dell'isolatore, $d_2 = \pm 350\text{ mm}$
- ⊙ Carico massimo verticale alla SLU, $V=4000\text{ kN}$
- ⊙ Dimensione calotta superiore $D=1050\text{ mm}$
- ⊙ Dimensione base inferiore $D= 350\text{ mm}$
- ⊙ Altezza dispositivo $H = 120\text{ mm}$

SCHEMA DI MASSIMA ESCURSIONE

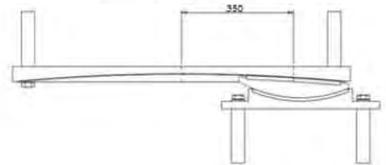


Figura 4. Caratteristiche degli isolatori utilizzati.

Demolizione e ricostruzione del vano scala-ascensore

L'attuale vano scala-ascensore è posto in posizione eccentrica, rispetto a un possibile asse di simmetria strutturale dell'edificio, e inoltre risulta essere non solidale alle membrature della telaio spaziale dalla seconda elevazione fuori terra. Il nuovo vano scala-ascensore, che impegnerà due campate adiacenti, sarà collocato in posizione simmetrica ed efficacemente ammortato al resto dell'edificio consentendo quindi di aumentare la regolarità della struttura e di ottenere un significativo incremento di rigidezza della sovrastruttura (Figure 5 e 6).

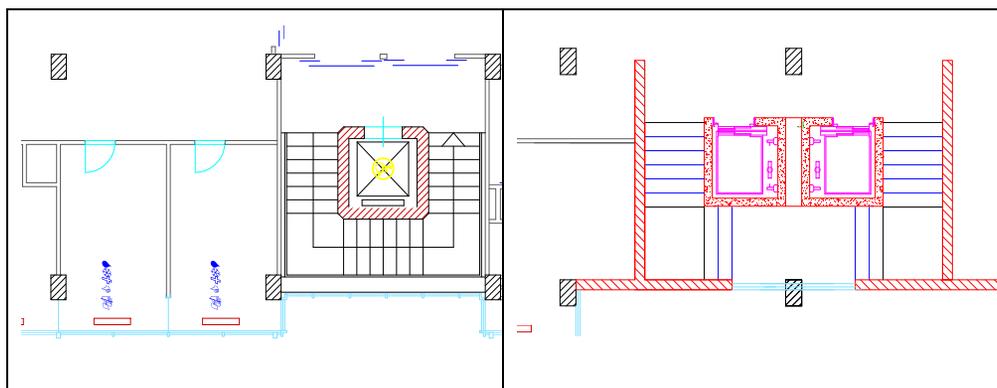


Figura 5 Pianta Vano Ascensore, prima e dopo l'intervento

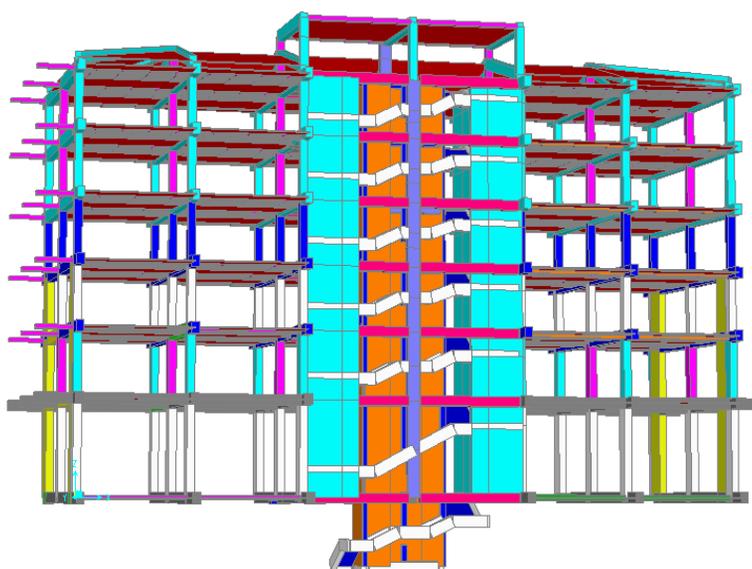


Figura 6 Schema della modellazione del nuovo vano ascensore.

Interventi sovrastruttura

Per ottimizzare la risposta dell'edificio isolato è stato necessario irrigidire ulteriormente la sovrastruttura mediante l'inserimento di setti in c.a. posti ai quattro angoli dell'edificio, in corrispondenza dei lati corti del perimetro (figura 7).

L'intervento è stato limitato alle prime tre elevazioni fuori terra.

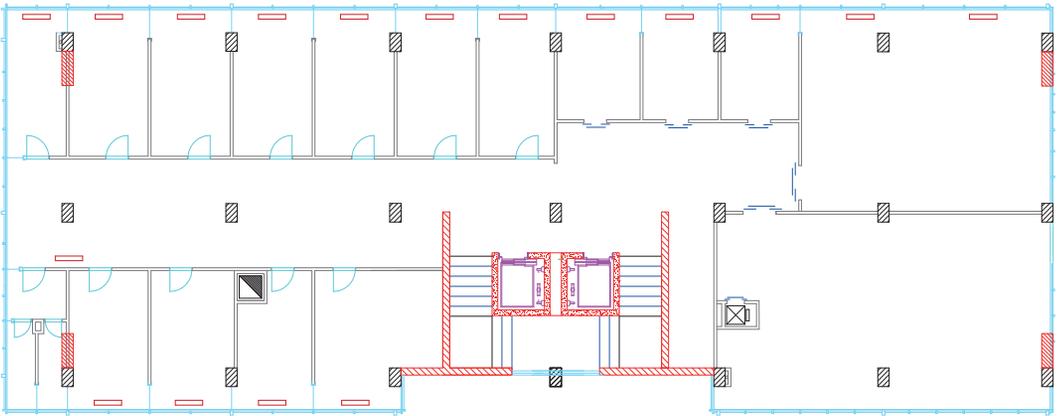


Figura 7 Localizzazione dei setti in c.a.

Interventi sottostruttura

I baggioli su cui poggiano gli isolatori sono stati dimensionati in modo da costituire una base pressoché rigida per i dispositivi di isolamento e limitare gli effetti di spostamenti sismici differenziali. In genere tale condizione si considera soddisfatta se viene realizzato un diaframma rigido o un grigliato di travi, sia al di sopra che al di sotto del sistema di isolamento e se i dispositivi del sistema di isolamento sono direttamente fissati ad entrambi i diaframmi. Tali elementi dovranno dunque essere progettati per mantenersi in campo rigorosamente elastico. (§ 7.10.4.3 NTC).

Nel caso in esame la sottostruttura comprende elementi verticali (pilastri), uno sotto ciascun isolatore, la cui rigidezza allo spostamento deve essere almeno 20 volte più grande della rigidezza orizzontale del sistema d'isolamento. Inoltre le loro dimensioni possono prevedere l'alloggiamento di martinetti da utilizzare in caso di sostituzione dei dispositivi. Le dimensioni ed il numero di martinetti utili a tale operazione sono funzione dei carichi verticali agenti sui dispositivi e quindi della portata dei martinetti stessi.

Risultati delle analisi numeriche

Le analisi numeriche sono state condotte in ambito dinamico non-lineare utilizzando il software SAP2000. Al fine di simulare lo scenario più realistico e gravoso possibile è stato necessario considerare il comportamento non lineare dei dispositivi di appoggio. Inoltre, dato che il funzionamento dei dispositivi di isolamento a pendolo inverso è basato su un meccanismo attritivo, nelle simulazioni numeriche è stata considerata anche la componente verticale del sisma. In figura 8 è riportato un esempio del tipico ciclo di isteresi che caratterizza la risposta dell'isolatore.

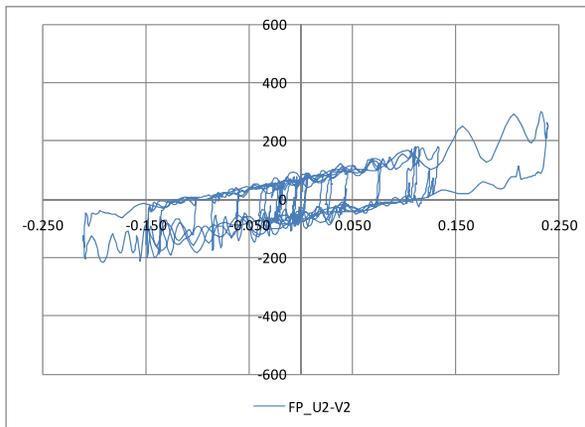


Figura 8. Ciclo d'isteresi tipico dell'isolatore.

La soluzione progettuale adottata ha consentito di conseguire il completo adeguamento sismico dell'edificio esistente. Inoltre la scelta di adeguare l'edificio mediante isolamento sismico garantisce la piena operativa dell'edificio anche con riferimento al sisma più severo atteso nel sito. E' importante rilevare che la progettazione tradizionale, basata sul concetto di duttilità, affida la resistenza sismica dell'edificio alla capacità di subire danno senza pervenire al collasso. Questo comporta che gli edifici antisismici progettati con tecniche tradizionali potranno subire danni anche severi in occasione di forti eventi sismici. La progettazione strutturale con isolamento non è basata sul concetto di duttilità e, se ben condotta, garantisce l'assenza di danno sia nell'edificio che nel contenuto anche in occasione di sismi di forte intensità.

SCHEDA N°**5****Identificazione dell'edificio**

Titolo Progetto	Progetto per la demolizione e ricostruzione con ampliamento, ai sensi dell'art. 3 comma 1 L.R. 6/2010, di un fabbricato sito in via T. Cannizzaro		
Città	Messina	Provincia:	ME
Indirizzo	Via Tommaso Cannizzaro		
Localizzazione	Interno al centro abitato		
Proprietario	Privato FHM S.R.L.		
Tipologia intervento	Soprelevazione con adeguamento antisismico mediante isolatori		
Destinazione d'uso	Albergo - Residenza		
Progettista/i	Ingg. Luigi Bosco – Marco Muratore – Fabio Neri		
Direttore dei lavori	Ingg. Luigi Bosco – Marco Muratore – Fabio Neri		
Impresa costruttrice	FHM S.R.L.		
Stato dei lavori	In fase di progettazione		

Dati dimensionali - età costruzione/ristrutturazione

Numero di piani totali	15 (compresi interrati)
Altezza media di piano	3.35 m
Superficie media di piano	975 mq (superficie totale 14600 mq)
Volume complessivo	55.000 mc (compresi fondazioni e sottotetto)
Anno di progettazione	1972
Anno ultimazione costruzione	1974
Eventi sismici significativi	Nessuno

Dati sulla tipologia strutturale

Materiale strutturale principale	Acciaio-calcestruzzo
Tipologia strutturale del S.R.	Struttura intelaiata in c.a.
Diaframmi orizzontali	Diaframmi rigidi
Copertura	Copertura non spingente
Fondazioni	Platea, fondazioni profonde

Dati sulla tecnica di protezione sismica e di incidenza del costo di intervento

Sistema di prot. sismica adottato	Isolamento sismico alla seconda elevazioni fuori terra mediante dispositivi di tipo <i>Friction Pendulum</i>		
	intervento complessivo	intervento strutturale	sistema di prot. sismica (fornitura e prove)
Costo [€]	12.000.000	4.550.000	375.000
Incidenza costo unitario [€/mc] (sul volume del solo ampliamento)	218,00 (490,00)	82,70 (186,90)	6,80 (15,40)

Progetto per la demolizione e ricostruzione con ampliamento, ai sensi dell'art. 3 comma 1 L.R. 6/2010, di un fabbricato sito in via Tommaso Cannizzaro, Messina

A cura di Luigi Bosco, Marco Muratore e Fabio Neri

L'edificio in questione è un immobile progettato e realizzato all'inizio degli anni '70, destinato a struttura alberghiera, ubicato nel centro urbano di Messina. La struttura portante è costituita da fondazioni profonde (pali e micropali battuti), pilastri in c.a. e impalcato misto, parte in cemento armato e parte a sezione composta acciaio-calcestruzzo. L'immobile ha sette elevazioni, sei fuori terra ed una interrata, oltre ad una sopraelevazione realizzata in epoca successiva.



Figura 1. Edificio oggetto dell'intervento

L'intervento previsto sull'immobile è reso articolato e complesso sia dall'ambizione progettuale di realizzare una sopraelevazione di 8 livelli su una costruzione originaria di 6 piani fuori terra, sia per la sismicità dell'area messinese, sia per le condizioni al contorno (trattandosi di una struttura in aderenza ad un edificio pressoché gemello).

La scelta progettuale per ottenere il soddisfacimento dei requisiti normativi è quella di inserire dispositivi di isolamento sismico alla seconda elevazione fuori terra. Tale posizione, compatibile sotto l'aspetto funzionale con la destinazione a parcheggio di quel piano, consente di ridurre il numero di giunti sismici e di dare la massima continuità agli elementi di collegamento verticale. La presenza di giunti è infatti assai poco gradita in un edificio a destinazione civile, sia per la parte destinata ad albergo sia per la parte residenziale. I dispositivi scelti in sede di progetto sono del tipo "friction pendulum" della FIP Industriale (figura 2).

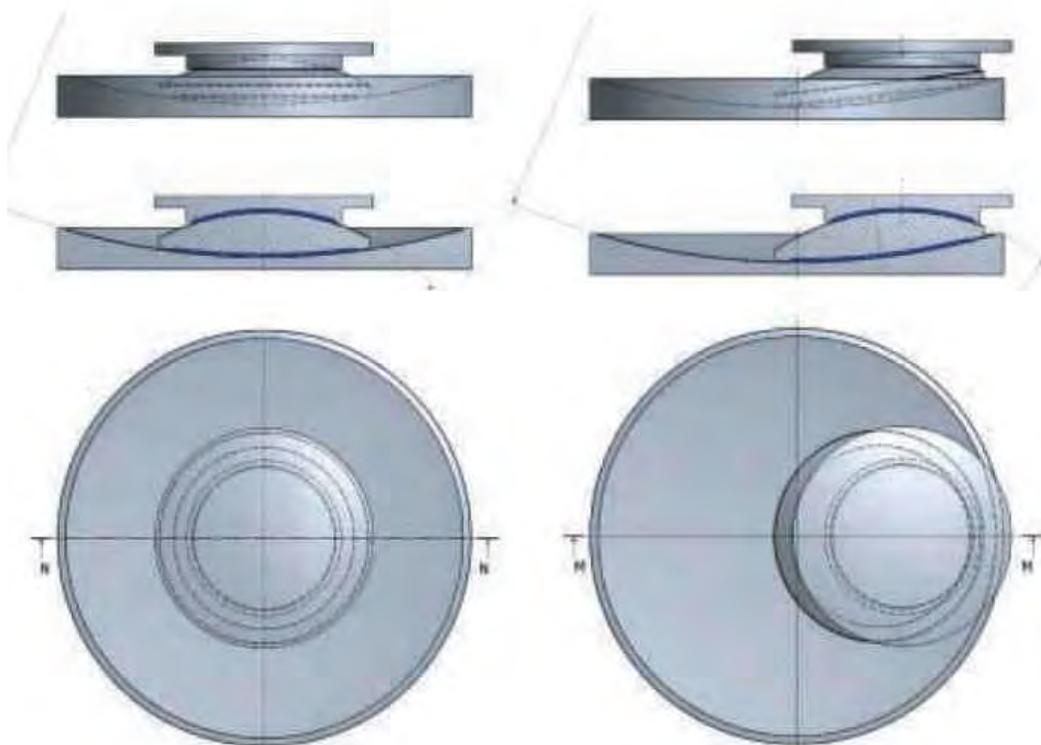


Figura 2. Schema dei dispositivi di isolamento sismico del tipo fiction pendulum

Sono previsti 31 dispositivi, 24 disposti al di sotto di ciascun pilastro della struttura esistente, ulteriori 7 ubicati nella zona destinata ai collegamenti verticali di nuova realizzazione. I dispositivi, opportunamente tarati in termini di attrito, hanno un costo complessivo di circa € 170.000,00 compreso di onere per le prove di qualificazione. Il costo dell'istallazione all'interno degli appositi alloggiamenti realizzati sulle colonne è di circa € 130.000,00 ed ulteriori € 75.000,00 sono i costi per la realizzazione dei dispositivi metallici per il sollevamento della struttura in corso di prima istallazione e per i successivi interventi manutentivi.

Per rispondere ai requisiti di sicurezza strutturale imposti dalle vigenti norme tecniche sono affiancati all'intervento di isolamento sismico ulteriori interventi come di seguito elencati:

- l'inserimento di dispositivi di isolamento sismico per la riduzione degli effetti sismici sulle strutture esistenti ed in sopraelevazione.
- il rinforzo del sistema fondazionale attraverso la formazione di una platea vincolata sia alle strutture esistenti sia alle nuove strutture;
- il rinforzo degli elementi strutturali principali nella sottostruttura esistente compatibilmente con la destinazione d'uso dei locali;
- la riduzione delle masse strutturali e non strutturali attraverso una scelta adeguata dei materiali e delle soluzioni costruttive per la sopraelevazione;
- rifunionalizzazione e di restyling complessivo della parte alberghiera, attraverso l'impiego di materiali da costruzione più leggeri di quelli in essere.

Il rinforzo del sistema di fondazione esistente è realizzato creando un'unica grande platea in c.a., collegata ai plinti mediante barre di acciaio armonico. La nuova struttura è messa in esercizio attraverso iniezioni di resine poliuretatiche espandenti attraverso cannule predisposte nel getto della platea.

Il costo degli interventi di rinforzo ed adeguamento del sistema di fondazione, comprensivo di scavi di sbancamento e a sezione obbligata all'interno dell'edificio, è di circa € 710.000,00 di cui € 350.000, per la platea (conglomerato, armature e casseformi), e 360.000 per le opere a corredo (perforazioni, barre Dywydag, iniezioni di miscele e di resine).

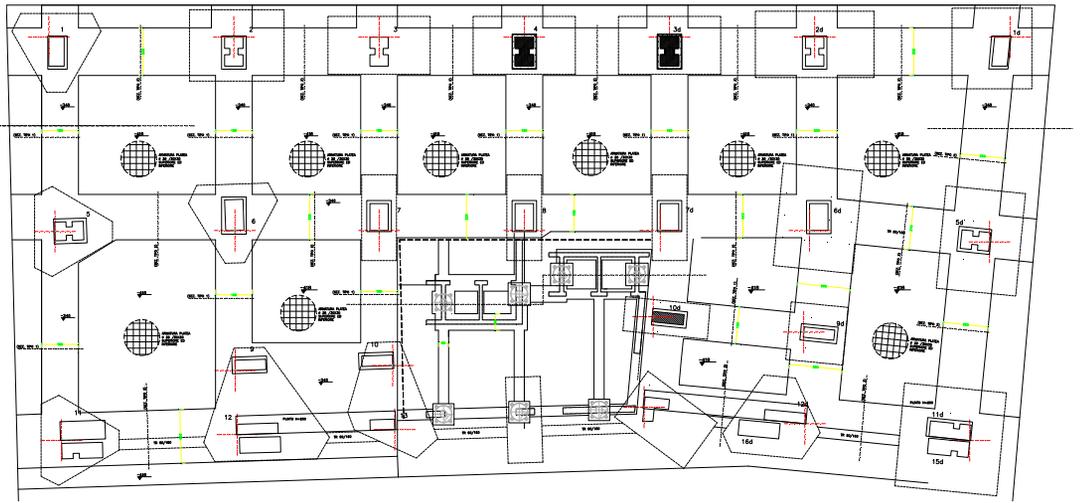


Figura 3. Schema intervento geotecnico di messa in esercizio della nuova fondazione

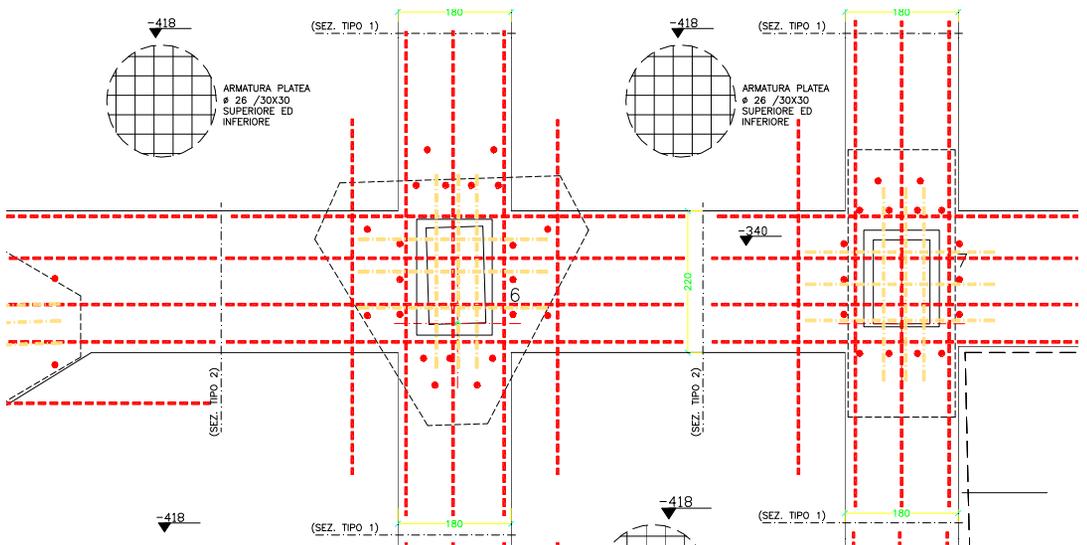


Figura 4. Schema intervento strutturale di messa in esercizio della nuova fondazione

Il rinforzo degli elementi strutturali principali della struttura esistente è eseguito in modo tradizionale mediante ringrossi delle sezioni con l'impiego di betoncino opportunamente confezionato. L'intervento è esteso a tutta la pilastratura, compresa quella della parte esistente ubicata sopra al sistema di isolamento, per

superare le incertezze sulla conoscenza delle caratteristiche costruttive dell'edificio. Il costo del rinforzo dei pilastri è di € 875.000,00. Per le travi l'intervento di rinforzo è il medesimo di quello dei pilastri al terzo impalcato; per le altre travi soggette ad intervento di rinforzo è previsto l'impiego di tessuti in fibra di carbonio. Il costo degli interventi sulle travi in c.a. è di circa € 505.000,00.

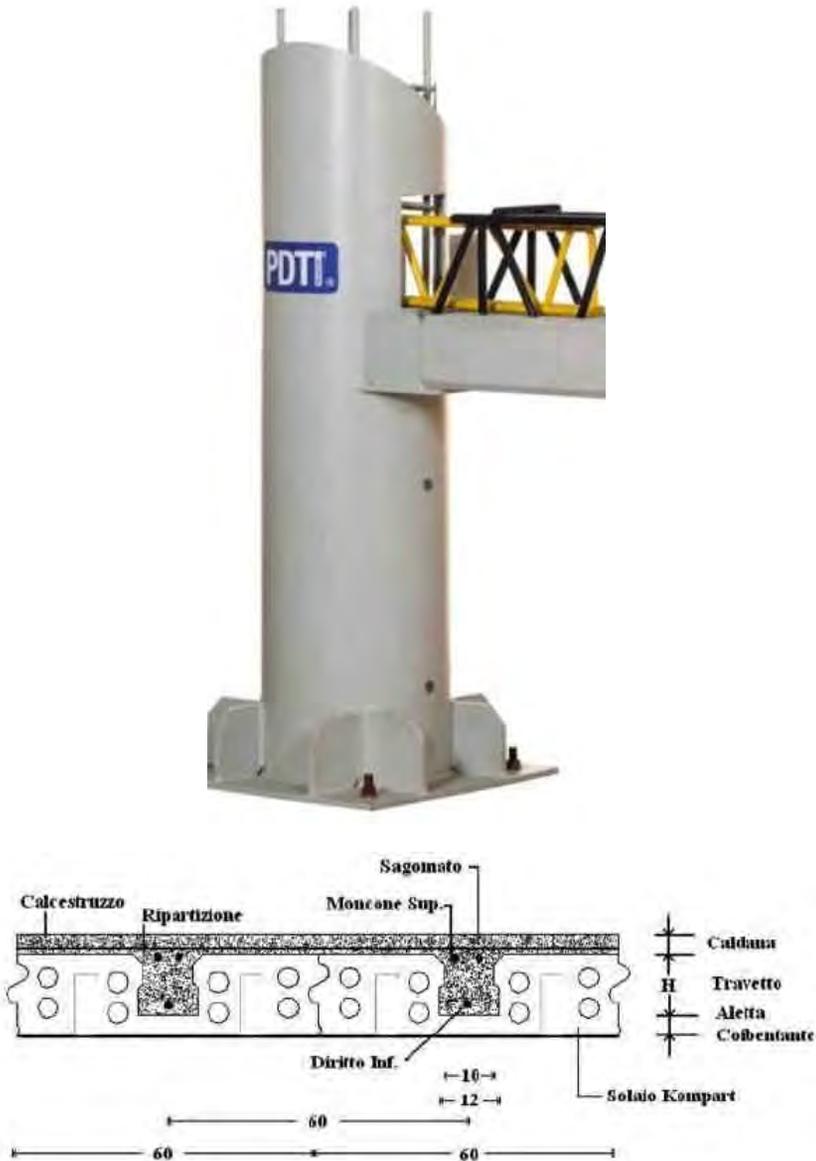


Figura 5. Tipologia di colonna, trave e solaio impiegati per la sopraelevazione

Le strutture della sopraelevazione sono realizzate con un sistema di colonne circolari in acciaio e getto di riempimento in conglomerato cementizio e di travi reticolari anch'esse metalliche; I solai sono del tipo alleggerito in polistirene. Le strutture metalliche della sopraelevazione, aventi una superficie complessiva superiore a 7.200 mq, hanno un costo di circa € 1.050.000,00 (comprensivo del montaggio) al quale si somma il costo dei solai pari a circa € 500.000,00.

I corpi scala e gli ascensori hanno struttura tradizionale in c.a. Si sviluppano per una estensione verticale di circa 55 ml, per complessive 15 elevazioni, con una superficie di poco superiore a 100 mq per piano. Il costo di queste opere è di € 285.000,00 con esclusione di impianti e cabine.

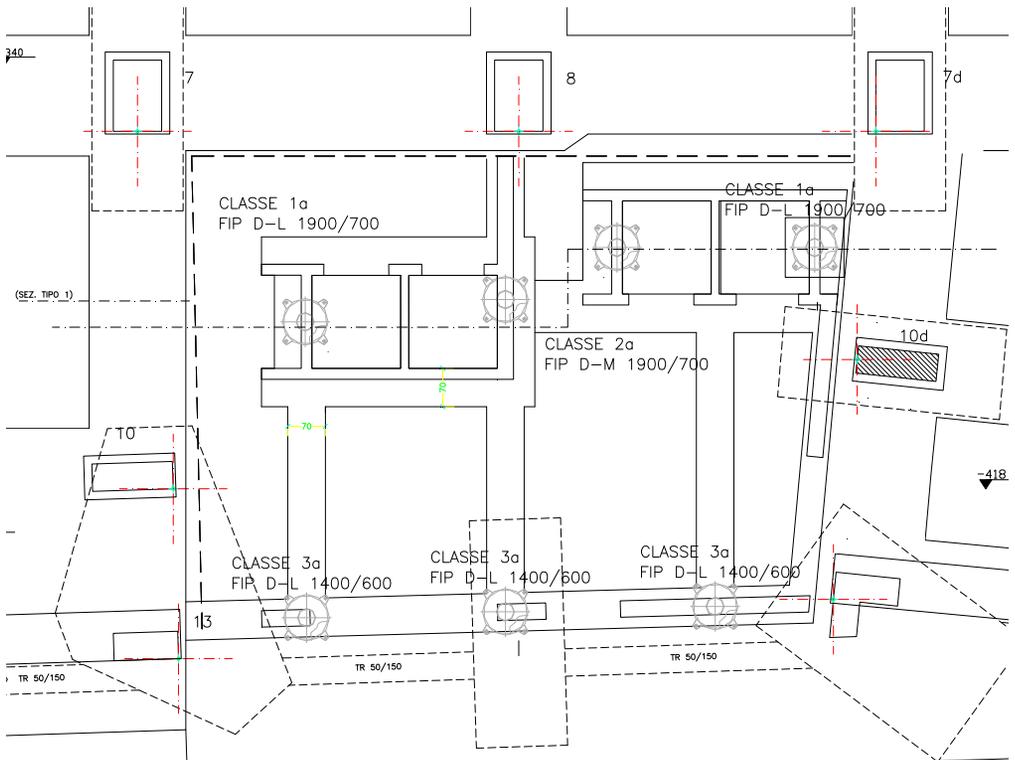


Figura 6. Stralcio della zona di ubicazione dei corpi scala e degli ascensori

Sull'intera costruzione è previsto l'impiego di materiali leggeri sia per i pacchetti di finitura dei solai (massetti alleggeriti, pavimentazioni in legno, etc.) sia

per gli elementi di chiusura verticale (tamponamenti, tramezzi, divisori, etc.). Per i massetti si è optato per materiali alleggeriti con argilla espansa, per le chiusure verticali si è utilizzato il sistema K-Wall costituito da elementi in polistirene montati su telai in alluminio.

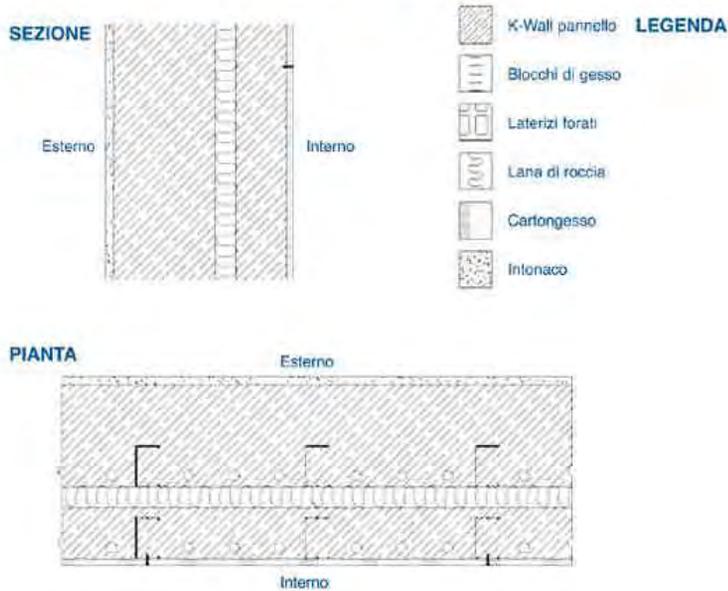


Figura 7. Sezione del tamponamento

Il costo complessivo del restyling dell'edificio, il rifacimento a norma degli impianti e di tutte le altre opere a corredo è valutato in € 7.500.000.

In sintesi i corsi degli interventi possono essere riepilogati come segue:

- opere edili (non strutturali) e impiantistiche: € 7.500.000
- opere edili strutturali: € 4.550.000,00 di cui:
 - demolizioni €250.000,00
 - rinforzo delle fondazioni € 710.000,00
 - rinforzo delle strutture in elevazione € 1.380.000,00
 - sistema di isolamento sismico € 375.000,00
 - strutture sopraelevazione € 1.550.000,00
 - corpi scala e ascensore € 285.000,00



Figura 8. Rendering dell'edificio in progetto