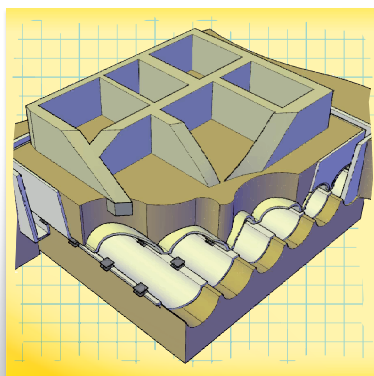


Paolo Clemente, Fernando Saitta,
Giacomo Buffarini, Giovanni Bongiovanni

ISOLAMENTO SISMICO EDIFICI ESISTENTI

CRITERI DI PROGETTO E APPLICAZIONI

- CENNI STORICI E APPLICAZIONI ▪ TEORIA E DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO
- PROGETTO E OTTIMIZZAZIONE ▪ ISOLAMENTO SISMICO NEGLI EDIFICI IN C.A. ESISTENTI
- ISOLAMENTO SISMICO NEGLI EDIFICI IN MURATURA ESISTENTI
- UNA NUOVA STRUTTURA DI ISOLAMENTO SISMICO PER EDIFICI ESISTENTI



SOFTWARE INCLUSO

WEBAPP CON AGGIORNAMENTO AUTOMATICO

DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE DI UN SISTEMA DI ISOLAMENTO SISMICO

SPECIALE PROGETTAZIONE STRUTTURALE ANTISISMICA

(Normativa nazionale, normativa regionale e giurisprudenza)



Paolo Clemente, Fernando Saitta,
Giacomo Buffarini, Giovanni Bongiovanni
ISOLAMENTO SISMICO EDIFICI ESISTENTI

Ed. I (05-2019)

ISBN 13 978-88-277-0048-8
EAN 9 788827 700488

Collana **Manuali** (241)

Isolamento sismico edifici esistenti / Paolo Clemente ...[et al.]. –
Palermo : Grafill, 2019.
(Manuali ; 241)
ISBN 978-88-277-0048-8
1. Edifici – Consolidamento – Zone sismiche.
I. Clemente, Paolo <1959->
624.1762 CDD-23 SBN Pal0314697
CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

RINGRAZIAMENTI

Per il contributo fornito nella messa a punto della descrizione delle varie applicazioni dell'isolamento sismico a edifici esistenti, gli autori sono particolarmente grati a: Maria Gabriella Castellano, Chiara Castino, Andrea Cecilia, Federica Farinelli, Mario Granata, Filippo Marchetti, Luciano Marchetti, Roberto Marnetto, Fabio Neri, Giuseppe Oliveto, Antonello Salvatori, Riccardo Vetturini.

© **GRAFILL S.r.l.** Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo
Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313 – Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

**CONTATTI
IMMEDIATI**



Pronto GRAFILL
Tel. 091 226679



Chiamami
chiamami.grafill.it



Whatsapp
grafill.it/whatsapp



Messenger
grafill.it/messenger



Telegram
grafill.it/telegram

Finito di stampare nel mese di maggio 2019

presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l.** Via del Cavaliere, 93 – 90011 Bagheria (PA)

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

SOMMARIO

RINGRAZIAMENTI	p.	2
INTRODUZIONE	"	7
1. CENNI STORICI E APPLICAZIONI IN ITALIA	"	11
1.1. Dagli strati di argilla e cenere ai moderni dispositivi di isolamento	"	12
1.2. Edifici con isolamento sismico in Italia	"	19
1.3. Le applicazioni dopo il terremoto del Molise del 2002	"	23
1.4. La nuova scuola F. Jovine di San Giuliano di Puglia	"	26
1.5. La Centrale Operativa Polifunzionale del Centro di Protezione Civile di Foligno	"	30
1.6. Le applicazioni dopo il terremoto dell'Aquila del 2009	"	32
1.7. Il progetto C.A.S.E.	"	36
1.8. Progetto ENEA-ANDIL di Nearly-Zero-Energy Building isolato sismicamente	"	37
1.9. Introduzione all'isolamento sismico negli edifici esistenti.....	"	39
2. CENNI TEORICI E DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO	"	44
2.1. Introduzione all'isolamento sismico	"	44
2.2. Il portale isolato sismicamente	"	45
2.3. Riduzione dell'azione sismica	"	50
2.4. Tipologie di isolatori	"	52
2.5. Isolatori elastomerici armati	"	52
2.5.1. Cenni sul comportamento degli isolatori elastomerici.....	"	55
2.5.2. Verifiche degli isolatori elastomerici.....	"	60
2.6. Isolatori gomma-piombo.....	"	61
2.7. Isolatori a scorrimento con superfici piane	"	62
2.8. Isolatori a scorrimento con superfici curve.....	"	63
2.8.1. Isolatori a scorrimento a singola superficie curva.....	"	64
2.8.2. Isolatori a scorrimento a doppia superficie curva	"	71
2.9. Sistemi di isolamento sismico.....	"	74
3. PROGETTO E OTTIMIZZAZIONE	"	76
3.1. Criteri per l'inserimento dell'isolamento sismico in un edificio esistente.....	"	76

3.2.	Cenni sulla pericolosità sismica.....	p.	78
3.3.	L'azione sismica di progetto	"	82
3.4.	Scelta del periodo di isolamento.....	"	84
3.5.	Progetto preliminare di un sistema di isolamento con HDRB e SD	"	86
3.6.	Progetto preliminare di un sistema di isolamento con CSS.....	"	88
3.7.	Dettagli costruttivi	"	89
3.8.	Qualificazione e accettazione dei dispositivi.....	"	91
3.9.	Collaudo e controllo nel tempo.....	"	92
4.	L'ISOLAMENTO SISMICO NEGLI EDIFICI IN C.A. ESISTENTI	"	94
4.1.	Tipologie di intervento.....	"	94
4.2.	Edificio residenziale in via Fratelli Latini, Fabriano	"	96
4.3.	Centro Polifunzionale di Rione Traiano, Napoli	"	100
4.4.	Edifici IACP, Solarino (SR).....	"	103
4.5.	Edificio scolastico S. Quasimodo, Riposto (CT).....	"	105
4.6.	Condominio Borgo dei Tigli, L'Aquila.....	"	107
4.7.	Condominio Leonardo, L'Aquila.....	"	111
4.8.	Condominio Le Torri, Mirandola: isolamento sismico mediante sollevamento.....	"	112
4.9.	Palazzo Fagnoni, Firenze: isolamento sismico e traslazione	"	119
4.10.	Istituti biologici dell'Università di Verona	"	124
5.	L'ISOLAMENTO SISMICO NEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA	"	129
5.1.	Tipologie di intervento.....	"	130
5.2.	Edificio scolastico a Vanadzor, Armenia.....	"	131
5.3.	Progetto di adeguamento sismico dell'Iran Bastan Museum, Tehran.....	"	133
5.4.	Villa La Silvestrella, L'Aquila	"	135
5.5.	Palazzo dell'Esposizione e Edificio ex G.I.L., L'Aquila	"	139
5.6.	La Torre Civica di Rieti	"	147
6.	UNA NUOVA STRUTTURA DI ISOLAMENTO SISMICO PER EDIFICI ESISTENTI	"	151
6.1.	Descrizione del sistema	"	152
6.2.	Vibrazioni e cedimenti	"	155
6.3.	Progetto di adeguamento sismico del Palazzo Margherita, L'Aquila	"	156
6.4.	Progetto di adeguamento sismico del Palazzo del Governo, L'Aquila.....	"	161
7.	SOFTWARE INCLUSO (WebApp con aggiornamento automatico)	"	164
7.1.	Contenuti del software incluso	"	164

7.2.	Requisiti hardware e software.....	p.	164
7.3.	Richiesta della password di attivazione del software	"	164
7.4.	Utilizzo della WebApp.....	"	165
7.5.	Assistenza tecnica (<i>TicketSystem</i>).....	"	165
8.	MANUALE DEL FOGLIO DI CALCOLO	"	166
8.1.	Ipotesi e criteri di calcolo.....	"	166
8.2.	Inserimento dei dati	"	166
8.2.1.	Dimensioni in pianta	"	166
8.2.2.	Masse impalcati e baricentri	"	166
8.2.3.	Parametri spettro elastico	"	167
8.2.4.	Tipi di isolatori elastomerici	"	167
8.2.5.	Isolatori: coordinate, tipo e carico verticale.....	"	167
8.3.	Lettura e gestione dei risultati.....	"	168
8.4.	Simbologia	"	169
	BIBLIOGRAFIA	"	171

INTRODUZIONE

Il rischio sismico R è il potenziale danno economico, sociale ed ambientale derivante da eventi sismici che possono accadere su un certo territorio in un dato periodo di tempo, e dipende dall'interazione tra la pericolosità sismica P del sito in esame, la vulnerabilità V dei manufatti ivi esistenti e l'esposizione E . La pericolosità sismica di un sito è la misura dell'entità del fenomeno atteso nel sito stesso in un determinato periodo: è una caratteristica del territorio, indipendente dalla presenza o meno di beni su di esso. La vulnerabilità sismica di una struttura è la sua suscettibilità a subire un danno di un certo grado, in presenza di un evento sismico di assegnata intensità: è una caratteristica del bene, indipendente dalla pericolosità del sito in cui si trova. L'esposizione è legata all'uso del territorio, ossia alla distribuzione e alla densità abitativa, alla presenza di infrastrutture, alle destinazioni d'uso dei beni. Nell'esposizione può intendersi incluso il valore della costruzione e del contenuto e il numero di vite umane. In una definizione più recente di rischio è inclusa anche la resilienza S , ossia la capacità, dopo un sisma, di recuperare almeno la situazione precedente. Simbolicamente:

$$R = \frac{P \cdot V \cdot E}{S}$$

Come si può ridurre il rischio? Ovviamente non si può agire sulla pericolosità: non è possibile modificare l'intensità e la frequenza dei terremoti. La conoscenza della distribuzione della pericolosità sismica, però, consente di evidenziare le zone dove sono da attendersi terremoti più violenti e con maggiore frequenza, e di valutare l'entità delle azioni sismiche che possono cimentare le strutture.

Invece, è possibile ridurre la vulnerabilità delle costruzioni e degli impianti, ossia il danno atteso, migliorandone le caratteristiche strutturali e non strutturali. È anche possibile ridurre l'esposizione, progettando l'uso del territorio, incidendo sulla distribuzione e densità abitativa, sulle infrastrutture, sulle destinazioni d'uso e aumentare i livelli di protezione incrementando la consapevolezza nei confronti del rischio sismico e migliorandone i comportamenti in caso di terremoto. La riduzione della vulnerabilità e dell'esposizione contribuisce in maniera rilevante anche all'incremento di resilienza.

Va evidenziato, inoltre, che un terremoto, oltre a provocare vittime e crolli di strutture, può anche mettere in crisi l'assetto socio-economico di grandi aree, soprattutto in paesi con società tecnologicamente avanzate e, quindi, complesse come quella italiana.

Il terremoto che il 17 gennaio 1995 ha colpito Kobe in Giappone, dove è situato uno dei porti più importanti del mondo, è stato il primo caso storico di evento che ha colpito una concentrazione urbana industrializzata, producendo gravissimi danni al sistema edilizio, viario e produttivo. Il sisma di Izmit in Turchia del 17 agosto 1999, ha causato l'incendio del più grande impianto petrolchimico turco, creando difficoltà nell'approvvigionamento di combustibile per il trasporto

e inquinamento ambientale. Il sisma di Tohoku, che colpì la costa orientale del Giappone l'11 marzo 2011 e che fu seguito da uno tsunami, oltre ad arrecare notevoli danni all'economia giapponese, ha creato seri problemi ambientali.

In Italia simili situazioni potrebbero verificarsi nelle aree dove sono concentrate strutture afferenti ai sistemi produttivi e commerciali, come l'Emilia, dove la sequenza sismica del 2012 ha evidenziato preoccupanti vulnerabilità, e nelle aree che ospitano impianti a rischio di incidente rilevante. Non abbiamo impianti nucleari operativi ma abbiamo tanti impianti chimici e petrolchimici di non recente costruzione, in zone ad elevatissima pericolosità sismica.

Tali considerazioni dimostrano inequivocabilmente l'aumentato grado di complessità della società moderna e, quindi, la necessità di una gestione integrata del territorio, che sappia coniugare sviluppo e sicurezza. In altre parole, non si può più procrastinare l'adozione di un modello di società sostenibile e contemporaneamente resiliente al rischio sismico e ai rischi naturali in genere. È altresì indispensabile abbandonare la logica delle emergenze successive per passare a una corretta politica di prevenzione.

Considerate l'estensione delle aree interessate dal fenomeno sismico, la complessità dell'assetto sismo-tettonico e la varietà del patrimonio edilizio esistente, la mitigazione del rischio sismico in Italia richiede sia un notevole impegno finanziario sia l'impiego di personale specialistico altamente qualificato. Negli anni successivi al sisma campano-lucano del 23 novembre 1980, il Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti (GNDT) stimò in centomila miliardi di lire l'investimento necessario per una significativa riduzione del rischio su tutto il territorio nazionale. Tenuto conto dei costi di gestione delle fasi di emergenza e di ricostruzione, tale investimento sarebbe stato molto conveniente. Infatti, uno studio del Consiglio Nazionale degli Ingegneri (CNI) ha stimato in oltre 120 miliardi di euro (cifre attualizzate ad oggi) i fondi stanziati a seguito di eventi sismici, a partire dal terremoto del Belice del 1968, e il primato spetta al sisma Campano-Lucano del 1980, con oltre 50 miliardi di euro.

Ovviamente, una tale somma non può essere disponibile né utilizzabile in tempi brevi. È necessaria, pertanto, un'oculata programmazione della spesa e degli interventi, stabilendo delle priorità, per quanto riguarda il patrimonio pubblico, e degli incentivi, per quanto riguarda il patrimonio privato.

La situazione di partenza, purtroppo non è incoraggiante. Gran parte degli edifici esistenti in Italia non è in grado di sopportare l'azione sismica che attualmente la normativa prescrive per gli edifici di nuova realizzazione e le ragioni sono evidenti. Infatti, secondo dati ISTAT, il 63,8% delle abitazioni in Italia è stato costruito prima del 1971, quando era classificata sismica soltanto una piccola percentuale del territorio, e pertanto non risponde, nominalmente, a criteri validi di sicurezza sismica. Inoltre, i periodi di maggiore attività in campo edilizio hanno seguito eventi eccezionali, come guerre e eventi catastrofici, e ciò implica che molte costruzioni sono state edificate in fretta senza adeguati controlli, facilitando l'uso di sistemi e materiali scadenti. Infine, ai disastri legati ai fenomeni naturali, si aggiungono spesso quelli dovuti a interventi architettonici e/o strutturali impropri nonché la vetustà ed il degrado, acuiti da una manutenzione carente o addirittura del tutto assente.

La sicurezza delle strutture esistenti rappresenta un problema tipico del nostro paese. Va osservato che ogni struttura ha una sua vita utile nel corso della quale deve poter svolgere le funzioni per le quali è stata progettata, con la sola manutenzione ordinaria, ossia senza interventi strutturali di rilievo. Trascorsa la vita utile, ogni struttura dovrebbe essere oggetto di una

CAPITOLO 1

CENNI STORICI E APPLICAZIONI IN ITALIA

L'azione sismica sulle costruzioni è descritta efficacemente dallo spettro di risposta elastico, che fornisce l'ampiezza massima di un parametro rappresentativo della risposta sismica di un oscillatore semplice a un assegnato terremoto, per esempio l'accelerazione S_e , al variare del suo periodo fondamentale T di oscillazione. Lo spettro relativo a un dato sito è l'involuppo degli spettri di tutti gli eventi sismici registrati (o registrabili) al sito. Gli spettri usualmente adottati nelle norme tecniche non sono relativi ai valori massimi ma a un dato frattile e a uno smorzamento convenzionale del 5%.

In genere, lo spettro elastico in accelerazione ha la forma di figura 1.1 (linea continua): rispetto all'accelerazione al suolo, ossia all'ordinata in corrispondenza di $T = 0$, lo spettro di risposta elastico presenta forti amplificazioni nel campo dei bassi periodi di oscillazione ($T < 1.0$ s), mentre decresce rapidamente all'aumentare del periodo stesso. Purtroppo la maggior parte delle costruzioni dell'edilizia corrente presenta un periodo naturale di oscillazione proprio in corrispondenza delle ordinate maggiori. Ecco perché un edificio costruito con metodi tradizionali è molto sensibile alle azioni sismiche e, in occasione di un evento sismico violento, oscillerebbe con forti accelerazioni riportando danni severi o addirittura crollando.

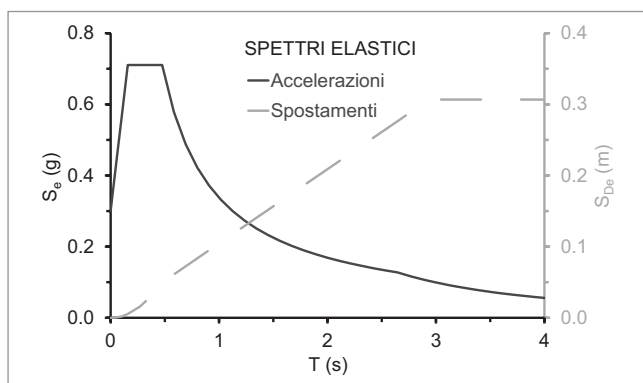


Figura 1.1. Spettro di risposta elastico in accelerazione S_e (linea continua) e in spostamento S_{De} (linea tratteggiata)

Allora perché non progettare strutture molto deformabili, con periodi di oscillazione più elevati? Va osservato che, per strutture molto deformabili, le accelerazioni, e quindi le forze sismiche, sarebbero molto ridotte ma si avrebbero spostamenti elevati (figura 1.1, *linea tratteggiata*) che, anche se fossero tollerati dalle strutture portanti, potrebbero causare gravi danni agli elementi secondari, quali tamponature, infissi e impianti.

L'isolamento sismico risolve entrambi i problemi, rendendo l'insieme molto deformabile ma concentrando gli spostamenti relativi alla base, dove sono disposti gli isolatori sismici, dispositivi molto deformabili in direzione orizzontale. Esso comporta un consistente aumento del periodo d'oscillazione e determina il «disaccoppiamento» del moto della costruzione rispetto a quello del terreno: mentre questo si muove con accelerazioni anche elevate, invertendo molte volte direzione e verso del moto durante l'evento sismico, la struttura al di sopra del sistema di isolamento tende inizialmente a restare ferma, per poi subire spostamenti relativi rispetto al suolo molto ampi, che possono raggiungere anche alcune decine di centimetri: gli isolatori devono essere in grado di sopportare questi spostamenti relativi e la costruzione deve essere libera di spostarsi lateralmente, grazie ad opportuni giunti. Gli spostamenti relativi di piano, invece, sono trascurabili, essendo gli spostamenti pressoché costanti lungo l'altezza dell'edificio. Le accelerazioni nella sovrastruttura, e quindi le sollecitazioni, sono ridotte del 70-80%, o anche più, ed è possibile progettare le strutture in campo elastico, ossia in modo che non subiscano danni nemmeno in occasione di eventi sismici violenti.

Si tratta di un'idea geniale e nuova? Geniale forse sì, ma certamente non nuova.

1.1. Dagli strati di argilla e cenere ai moderni dispositivi di isolamento

Il concetto di isolamento sismico, infatti, trova origini molto lontane e non ancora chiaramente identificate. Nella «*Naturalis Historia*» Plinio il Vecchio agli inizi del I secolo d.C. scriveva: «*Grecae magnificentiae vera admiratio extat templum Ephesiae Dianae CXX annis factum a tota Asia. In solo id palustri fecere, ne terrae motum sentiret aut hiatus timeret, rursus ne in lubrico atque instabili fundamenta tantae molis locarentur, calcatis ea substravere carbonibus, dein velleribus lanae*». L'indagine storica ha rivelato che il Tempio di Diana a Efeso, una delle sette meraviglie del mondo antico realizzato nel VI secolo a.C., era fondato su un sottile strato paludoso dal quale era separato tramite uno strato di argilla mista a carbone e cenere (figura 1.2).

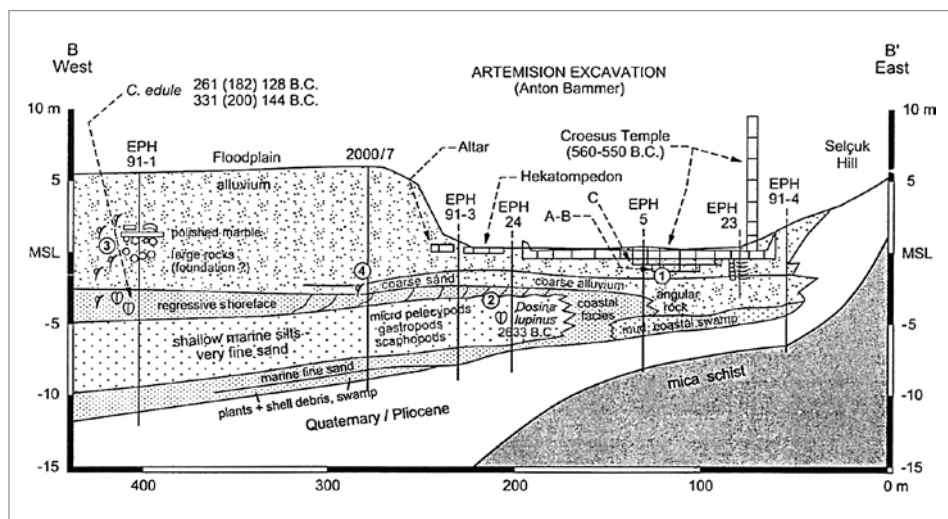


Figura 1.2. Il suolo al sito del Tempio di Diana a Efeso (Carpani, 2017)

CENNI TEORICI E DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO

2.1. Introduzione all'isolamento sismico

Si consideri il portale con traverso infinitamente rigido in figura 2.1, ossia un oscillatore semplice caratterizzato da una massa m , una rigidezza k e un coefficiente di smorzamento viscoso c , soggetto a un moto alla base. Detti a l'accelerazione totale della massa e u il suo spostamento relativo rispetto alla base, l'equazione che descrive l'equilibrio dinamico del sistema, ossia tra la forza di inerzia, la forza dissipativa e quella elastica, è la seguente:

$$ma + c\dot{u} + ku = 0$$

Esprimendo l'accelerazione totale come somma dell'accelerazione del suolo $\ddot{u}_g$ e di quella del traverso rispetto al suolo $\ddot{u}$, l'equazione diventa:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g$$

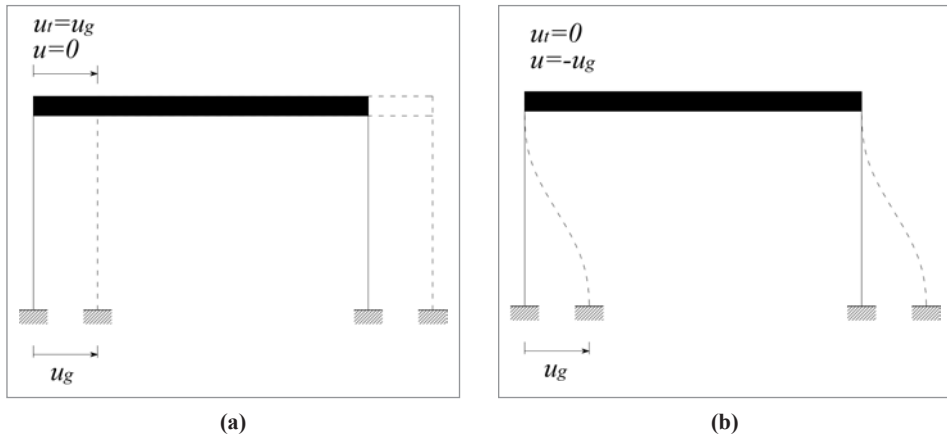


Figura 2.1. Oscillatore semplice sottoposto a moto alla base: **(a)** rigidezza infinita in relazione alla massa portata e **(b)** rigidezza nulla, ossia struttura infinitamente flessibile (u_t = spostamento assoluto del traverso, u_g = spostamento assoluto del suolo)

Fissato il valore della massa, si considerino i due casi limite di rigidezza tendente rispettivamente a infinito e a zero. Se la rigidezza k del sistema aumenta e tende a infinito, è facile intuire che la massa si muove come il suolo (figura 2.1a): non ci sono spostamenti relativi fra massa e suolo ($u = 0$), il sistema non si deforma e l'accelerazione totale della massa è uguale a quella del suolo.

Se, invece, la rigidezza diminuisce e tende a zero, la massa non risente del moto del suolo e resta ferma: l'accelerazione totale della massa è costantemente nulla e lo spostamento relativo al

suolo è pari a quello del suolo stesso cambiato di segno ($u = -u_g$, figura 2.1b). Si ottiene così il disaccoppiamento del moto della massa rispetto al suolo, ossia l'isolamento sismico del sistema.

La riduzione della risposta sismica orizzontale, pertanto, può essere ottenuta incrementando il periodo fondamentale della costruzione in modo da portarlo nel campo delle minori accelerazioni di risposta.

A tal fine si inseriscono, tra la sottostruttura, che comprende la fondazione, e la sovrastruttura in elevazione, dei dispositivi di isolamento (figura 2.2), caratterizzati da una rigidezza in direzione orizzontale molto bassa. L'insieme di tali dispositivi rappresenta l'interfaccia di isolamento tra la sottostruttura e la sovrastruttura. Usualmente, al di sopra dell'interfaccia di isolamento si inserisce un impalcato infinitamente rigido nel proprio piano, che collega i pilastri impedendo gli spostamenti relativi tra di essi.

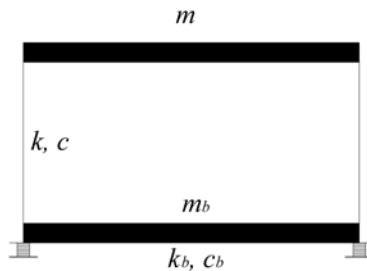


Figura 2.2. Portale con isolamento sismico alla base

2.2. Il portale isolato sismicamente

Nel presente paragrafo si seguirà la trattazione proposta da Naeim e Kelly (1999). Si consideri il portale di figura 2.3, costituito da una trave infinitamente rigida, di massa m , e due pilastri di massa trascurabile, rigidezza complessiva k e coefficiente di smorzamento c .

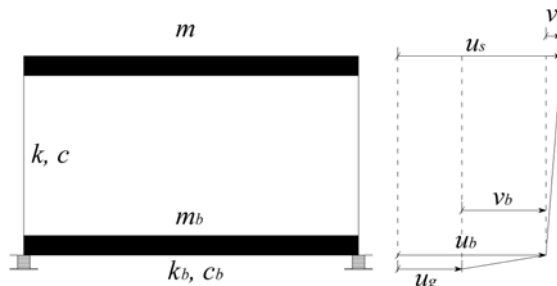


Figura 2.3. Modello di portale isolato alla base, spostamenti assoluti e relativi

Sia m_b la massa della trave al di sopra dell'interfaccia di isolamento, anch'essa infinitamente rigida, k_b la rigidezza e c_b il coefficiente di smorzamento del sistema di isolamento. Se u_s e u_b sono gli spostamenti orizzontali assoluti delle masse m e m_b , le equazioni del moto si scrivono:

PROGETTO E OTTIMIZZAZIONE

Il primo aspetto da affrontare nel progetto di un edificio con isolamento sismico è la scelta del posizionamento dei dispositivi di isolamento in pianta e in altezza. Per un edificio di nuova realizzazione la soluzione più ovvia appare quella di disporre gli isolatori alla sommità del primo livello, ossia del piano interrato, se previsto, o del piano terra. Nel caso di edifici in c.a., inoltre, appare ovvio predisporre un isolatore al di sotto di ciascun pilastro, favorendo il funzionamento in condizioni di esercizio, in presenza dei soli carichi gravitazionali. Per gli edifici in muratura, invece, dovendo trasferire le azioni distribuite dei muri portanti alle fondazioni attraverso un sistema di appoggi discreti, va creata un'ideale struttura; questa consiste, nei casi più comuni, in un impalcato sufficientemente rigido al di sopra del sistema di isolamento sismico, sul quale poggia l'intera sovrastruttura, e in una struttura in c.a., a telaio o a pareti portanti, al di sotto dei dispositivi, connessa direttamente alle fondazioni.

Va chiarito che non è necessario che i dispositivi di isolamento siano tutti su uno stesso piano orizzontale; i requisiti fondamentali sono che ciascuno di essi sia in posizione perfettamente orizzontale e che esista una superficie continua, già definita interfaccia di isolamento, che passi per tutti gli isolatori senza intersecare la sovrastruttura né la sottostruttura.

La scelta del posizionamento degli isolatori deve anche tener conto del fatto che questi devono essere ispezionabili e sostituibili, e che deve essere realizzato il *gap* necessario per consentire alla sovrastruttura gli spostamenti di progetto in presenza di azioni sismiche senza interferire col terreno o con le strutture vicine.

3.1. Criteri per l'inserimento dell'isolamento sismico in un edificio esistente

Le problematiche di cui detto sono, in genere, facilmente affrontabili e risolubili per gli edifici di nuova realizzazione. Non è così per gli edifici esistenti, concepiti a base fissa, per i quali alle questioni evidenziate se ne aggiungono altre.

In un edificio esistente, infatti, il posizionamento dell'interfaccia di isolamento deve tener conto anche dei seguenti aspetti:

- la destinazione d'uso del piano destinato a ospitare l'interfaccia, che anche per gli edifici esistenti si tende a posizionare al piano più basso possibile;
- la tipologia e il piano di posa delle fondazioni;
- il posizionamento e le caratteristiche strutturali dei corpi scale e ascensori;
- la vicinanza di altri edifici o di vincoli di altro tipo in adiacenza all'edificio.

Come negli edifici di nuova realizzazione, è bene posizionare i dispositivi di isolamento in sommità ai pilastri o alle pareti del piano scelto, in modo da non interferire con la funzionalità del piano stesso, se non per l'eventuale allargamento delle strutture verticali. Questo può essere necessario sia al fine di contenere gli isolatori stessi sia per garantire la richiesta rigidezza al

di sotto dei dispositivi. Per quanto riguarda la rigidità in direzione orizzontale al di sopra dei dispositivi, invece, tale posizionamento offre anche il vantaggio di poter sfruttare al riguardo il solaio sovrastante esistente.

Il giunto orizzontale derivante da tale disposizione non crea, in genere, problemi alle strutture verticali principali ma può interferire con le strutture delle scale e dell'ascensore, per le quali vanno adottati accorgimenti particolari. Infine, con gli isolatori in sommità alle strutture verticali, sono più semplici le operazioni di ispezione e manutenzione degli stessi.

Dal punto di vista strutturale, i dispositivi di isolamento possono anche essere posizionati alla base degli elementi strutturali verticali al piano scelto. In tal caso, il piano rigido al di sotto dei dispositivi è garantito dal solaio esistente o dalle fondazioni, mentre potrebbe essere necessario prevedere un solaio immediatamente al di sopra degli stessi o, in alternativa, un congruo irrigidimento degli elementi verticali fino al solaio sovrastante. Inoltre, per l'ispezione potrebbe essere necessario predisporre delle botole in corrispondenza degli isolatori.

Uno degli aspetti che caratterizza l'intervento sugli edifici esistenti è il trasferimento del carico dalla situazione esistente a quella finale, che deve avvenire attraverso l'utilizzo di elementi provvisori, cui trasferire il carico temporaneo. Qualunque sia il posizionamento dell'interfaccia di isolamento, infatti, l'inserimento dei dispositivi deve prevedere l'interruzione del trasferimento dei carichi verticali. Ciò può avvenire:

- all'interno di uno stesso elemento, come nel caso di taglio di un pilastro o di una parete;
- tra un elemento e un altro, come nel caso di taglio tra elementi verticali e fondazioni;
- tra le fondazioni esistenti e il terreno, creando una nuova sottofondazione, o anche tra due nuove sottofondazioni, quella superiore connessa alla sovrastruttura, quella inferiore al terreno.

In tutti i casi, il carico viene trasferito temporaneamente tra l'elemento strutturale immediatamente al di sopra e quello immediatamente al di sotto della porzione da tagliare, eventualmente rinforzati allo scopo, attraverso un congruo numero di martinetti idraulici, messi in carico in modo da scaricare totalmente l'elemento strutturale da interrompere o soltanto la sua parte da tagliare.

Nel caso usuale di taglio dei pilastri al primo livello sopra le fondazioni, i martinetti possono essere messi tra le travi del primo impalcato e le fondazioni. In alternativa, nel caso di isolatori in sommità agli elementi strutturali del piano scelto, i martinetti possono trovare contrasto superiormente sulla sovrastruttura, eventualmente rinforzata, e inferiormente su un'opportuna carpenteria metallica a cravatta o a mensola connessa all'elemento strutturale stesso, rimovibile e riutilizzabile. Nel caso di isolatori al piede dei pilastri del primo livello, i martinetti saranno a contrasto inferiormente sulla fondazione e superiormente su opportune carpenterie metalliche fissate al pilastro, che potrebbero anche fungere da supporto al solaio che potrebbe essere realizzato al di sopra dell'interfaccia di isolamento.

Al fine di mettere in carico i dispositivi di isolamento, si può ricorrere all'utilizzo di martinetti piatti a perdere. Il martinetto piatto, che ha la forma di un sottile cuscino gonfiabile, è inserito in genere al di sotto dell'isolatore e viene iniettato con resina fino alla messa in carico del dispositivo. Tale soluzione consente di evitare cedimenti verticali durante la fase di messa in carico e anche cedimenti differenziali tra i vari dispositivi.

Ulteriori informazioni e descrizioni più dettagliate delle tecniche esecutive, qui soltanto accennate, sono riportate negli esempi dei capitoli 4 e 5. In questo capitolo ci si sofferma su alcuni aspetti generali relativi alla progettazione dei sistemi di isolamento sismico.

L'ISOLAMENTO SISMICO NEGLI EDIFICI IN C.A. ESISTENTI

Negli edifici in conglomerato cementizio armato di nuova realizzazione, in genere, il sistema di isolamento viene posizionato in sommità al primo livello, che può essere un piano interrato o il piano terra. Tale scelta ottimizza l'uso dell'isolamento, che così protegge l'intera costruzione, cosa che non si otterrebbe se l'interfaccia di isolamento fosse posizionata a un piano intermedio, ma non è l'unica possibile. Ad esempio, nel caso di edificio che presenta una brusca variazione di forma e/o rigidezza a una certa quota, può aver senso posizionare l'interfaccia di isolamento proprio in corrispondenza di tale discontinuità, isolando soltanto la porzione superiore dell'edificio e lasciando vincolata al suolo quella inferiore. In presenza di più piani interrati, essendo le relative strutture in genere molto rigide può convenire posizionare il sistema di isolamento sismico a livello di campagna, isolando soltanto la porzione fuori terra.

Per gli edifici in cemento armato esistenti, la scelta può essere condizionata da altre esigenze strutturali o architettoniche. In ogni caso, l'operazione richiede il taglio della struttura in calcestruzzo. Nel paragrafo seguente si analizzano in dettaglio i vari casi, in quelli successivi si riportano alcuni esempi significativi.

4.1. Tipologie di intervento

Le tipologie di intervento sugli edifici in c.a. possono essere raggruppate in due classi:

- inserimento degli isolatori lungo gli elementi strutturali verticali con taglio degli stessi;
- inserimento degli isolatori al di sotto della fondazione con realizzazione di un'ulteriore nuova fondazione.

Con riferimento al primo caso, se la struttura è costituita da pareti o pilastri di notevoli dimensioni, si può procedere con tagli localizzati (che non interessano l'intera sezione del pilastro o della parete), inserendo gli isolatori senza puntellare la struttura. Una volta inseriti, solidarizzati alla struttura e messi in carico tutti gli isolatori, si completa il taglio degli elementi strutturali in modo da separare definitivamente la sovrastruttura dalla sottostruttura. L'operazione di messa in carico, in genere molto delicata, in questo caso non dovrebbe comportare particolari problemi, se i dispositivi hanno elevata rigidezza verticale e, quindi, cedimenti trascurabili. Ciò avviene normalmente sia per gli isolatori a scorrimento con superfici curve sia per quelli elastomerici dotati di idonea rigidezza verticale.

Se la struttura è costituita da pilastri di dimensioni usuali, durante le operazioni di inserimento degli isolatori in ciascun pilastro la sovrastruttura deve essere puntellata. Per edifici di altezza limitata e in presenza di carichi non eccessivi, si può puntellare la trave ai lati del pilastro con dei martinetti idraulici, scaricando il pilastro.

Il caso più frequente è quello di struttura a telaio con sovrastruttura di notevoli dimensioni e peso. Scelto il livello dove intervenire (in genere il primo livello) e la quota per il posizionamento

dei dispositivi lungo l'altezza dei pilastri, per ciascun pilastro si procede come segue. Si applicano due morse metalliche in acciaio, a una distanza tra loro adeguata per l'inserimento successivo del dispositivo. Le morse vengono serrate sul pilastro mediante barre di acciaio messe in tensione con una forza tale da garantire, con adeguato margine di sicurezza, il trasferimento del carico verticale agente sul pilastro. Il sistema di morse viene tarato con un opportuno valore del coefficiente di attrito tra acciaio delle morse e calcestruzzo dei pilastri; è comunque bene eseguire una prova di efficienza delle morse prima di procedere.

Tra le due morse vengono inseriti degli appositi martinetti idraulici che, messi in carico, consentono di scaricare il concio di pilastro compreso tra le due morse stesse (con uno spostamento relativo in genere non superiore ai 2 mm). Tramite apposito filo diamantato si taglia il concio di pilastro tra le due morse e, successivamente, vengono predisposte le carpenterie per l'ancoraggio del dispositivo di isolamento al pilastro. A questo punto si inserisce il dispositivo di isolamento tra gli elementi di ancoraggio al pilastro e, infine, vengono scaricati i martinetti idraulici mettendo in carico l'isolatore.

Ciascuna morsa è costituita da due traversi principali, disposti parallelamente al lato maggiore del pilastro, e da due traversi secondari, paralleli al lato minore. Si posizionano dapprima i traversi secondari, più leggeri e maneggevoli, consentendo un più agevole posizionamento dei traversi principali, tramite i quali si esercita la maggior parte della forza di serraggio e ai quali si affida anche la funzione di trasmettere lo sforzo verticale presente nel pilastro, mediante quattro martinetti idraulici posti alle due estremità. Sperimentalmente è stato verificato che il coefficiente di attrito tra la morsa e il pilastro è non inferiore a $\mu = 0.4$. Detto V_0 il carico agente al momento dell'operazione sul pilastro, la forza di serraggio da esercitare con le morse dovrà, complessivamente, essere pari a:

$$F_s = 1.3 \cdot V_0 \cdot \frac{1.5}{\mu} \approx 5 \cdot V_0$$

avendo assunto i fattori coefficiente di sicurezza pari, rispettivamente, a 1.3 per il carico verticale e 1.5 per l'attrito.

In alternativa alle morse, si possono utilizzare mensole metalliche ben incastrate al pilastro, che forniscono punti di contrasto per i martinetti. Tale tecnica non è consigliabile nel caso, purtroppo frequente, di calcestruzzo di non buona qualità.

L'intervento va completato con il rinforzo locale del pilastro, con ringrossi o semplicemente con armature esterne o fibre di carbonio, che sopprima al taglio delle armature e alla variazione dello schema statico, causata dall'inserimento dell'isolatore, che costituisce una cerniera tra le porzioni di pilastro inferiore e superiore. Il ringrosso dei pilastri può interessare tutta l'altezza degli stessi a partire dalla fondazione fino all'altezza del taglio, al fine di alloggiare in sicurezza gli isolatori e rendere più rigidi i pilastri stessi. Nei ringrossi, quindi, vanno previsti gli alloggiamenti per le zanche degli isolatori. In alternativa, potrebbe essere opportuno l'inserimento di un solaio aggiuntivo che colleghi i pilastri in prossimità di tali cerniere, soprattutto se i pilastri stessi dovessero essere molto deformabili.

L'inserimento degli isolatori nei pilastri non presenta particolari criticità. Operando su un pilastro alla volta, o al massimo due, l'edificio può restare operativo, con ovvio vantaggio sul costo dell'intervento.

Gli interventi precedenti hanno in comune l'operazione di taglio delle strutture verticali in c.a. esistenti, lasciando inalterate le fondazioni che, pertanto, dovranno essere in grado di sop-

CAPITOLO 5

L'ISOLAMENTO SISMICO NEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

Le pareti murarie trasferiscono le azioni cui sono soggette alla fondazione lungo la loro intera lunghezza mentre gli isolatori rappresentano una discretizzazione di questo appoggio continuo. Volendo assecondare questo funzionamento, va osservato che ogni maschio murario deve trasferire alla fondazione un'azione verticale, un'azione orizzontale e un momento flettente; pertanto, sarebbero necessari almeno due appoggi alla base di ciascun maschio, distanziati tra loro al fine di minimizzare l'azione del momento flettente (figura 5.1a).

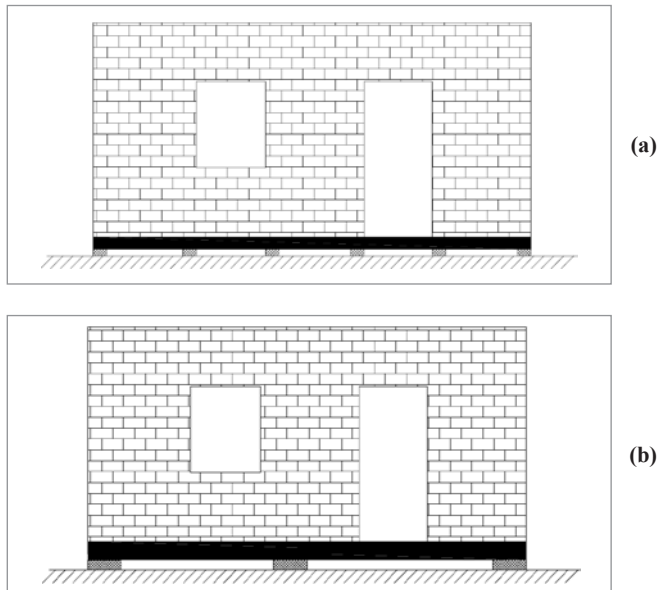


Figura 5.1. Possibili disposizioni degli isolatori: **(a)** ogni maschio murario è appoggiato su due dispositivi; **(b)** gli isolatori sono soltanto agli incroci delle pareti

Una trave orizzontale al di sopra del sistema di isolamento è comunque necessaria per trasferire le azioni di taglio dalla sovrastruttura agli isolatori dotati di rigidità in direzione orizzontale. Tale soluzione può essere molto onerosa dal punto di vista economico, richiedendo un elevato numero di dispositivi e non è applicabile nei casi di maschi murari di estensione ridotta. Inoltre, ciascun isolatore sarebbe soggetto a un carico verticale statico relativamente basso che potrebbe essere superato dallo sforzo di trazione in condizioni sismiche.

L'alternativa consiste nel realizzare una struttura molto rigida alla base delle pareti del primo livello, capace di assorbire localmente le azioni trasmesse dalla sovrastruttura e di trasferirle a

un numero limitato di dispositivi, disposti in alcuni punti particolari, ad esempio negli incroci tra le pareti (figura 5.1b). La struttura rigida al di sopra del sistema di isolamento e la fondazione vengono realizzate in conglomerato cementizio armato, garantendo una buona affidabilità e durabilità. Tale soluzione è certamente più idonea per una diffusa applicazione dell'isolamento alla base negli edifici in muratura.

Un altro aspetto riguarda la posizione degli isolatori. Va ricordato che negli edifici con isolamento sismico alla base è necessario un impalcato rigido al di sopra dell'interfaccia di isolamento e che il piano di posa delle fondazioni è più in basso rispetto a quello che si avrebbe nello stesso edificio se fosse a base fissa proprio per la presenza del sistema di isolamento, che richiede degli spazi idonei per ispezionare i dispositivi e, eventualmente, sostituirli. Perciò, è sempre auspicabile la realizzazione di un livello interrato che consenta l'ispezione in sicurezza e che può essere utilizzato. Usualmente, i dispositivi di isolamento sono collocati in sommità al piano interrato (figura 5.2a). Dal punto di vista strutturale, gli isolatori potrebbero essere posti ad una quota intermedia o alla base del piano interrato, le cui strutture portanti sarebbero, in questo caso, anch'esse in muratura. Infatti, il solo requisito fondamentale è che gli elementi strutturali tra gli isolatori e l'impalcato siano sufficientemente rigidi rispetto agli isolatori stessi. Dal punto di vista funzionale, però, va evidenziato che se si posizionano gli isolatori alla base del piano interrato (o di qualsiasi altro piano), le pareti di tale piano subirebbero spostamenti relativi rispetto al pavimento e, di conseguenza, andrebbe previsto un opportuno *gap*, rendendo non utilizzabile lo spazio adiacente alle pareti stesse (figura 5.2b). Pertanto, è preferibile disporre i dispositivi in sommità alle pareti lasciando queste solidali alla fondazione.

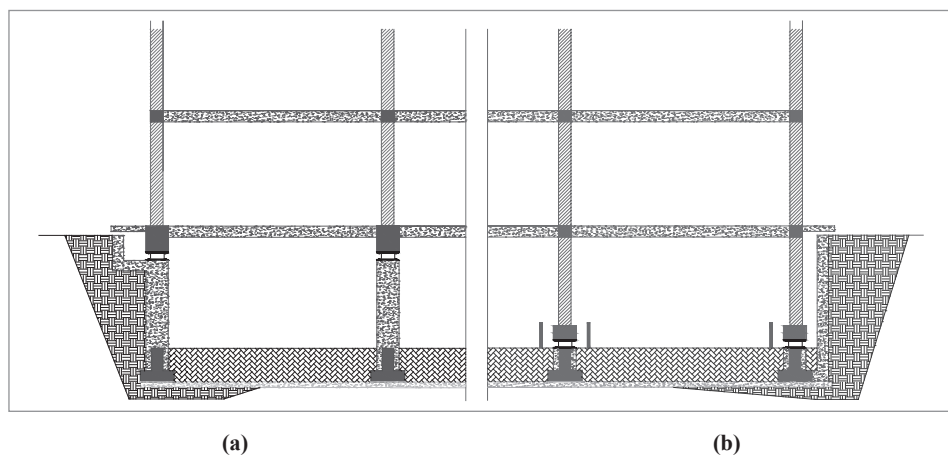


Figura 5.2. Possibili disposizioni degli isolatori: (a) in sommità e (b) al piede delle pareti

5.1. Tipologie di intervento

Le problematiche evidenziate influenzano anche le scelte negli interventi su edifici esistenti. In analogia a quanto fatto per gli edifici in cemento armato, questi possono essere classificati in:

- interventi con taglio delle pareti murarie;
- interventi in fondazione.

CAPITOLO 6

**UNA NUOVA STRUTTURA DI ISOLAMENTO SISMICO
PER EDIFICI ESISTENTI**

Le strutture di interesse storico e artistico sono state costruite, in genere, senza tener conto delle azioni sismiche e, pertanto, sono spesso caratterizzate da:

- forma irregolare sia in pianta sia in altezza;
- assenza di connessioni efficaci tra le pareti (nei cantonali, nei martelli e negli incroci), tra le pareti e i solai e tra le pareti e la copertura;
- fondazioni superficiali in muratura.

Di conseguenza, sono vulnerabili anche a terremoti di piccola e media intensità. D'altra parte, essendo quotidianamente visitati da numerosi turisti, e quindi suscettibili di affollamento, devono rispettare requisiti di sicurezza più stringenti rispetto agli edifici ordinari. È ovvio che garantire il richiesto grado di sicurezza e, al contempo, rispettarne le caratteristiche originali e il valore storico rappresenta un'impresa non facile.

S'intuisce che le tecniche tradizionali, basate sull'incremento di resistenza e duttilità, ossia sulla capacità della struttura di danneggiarsi in modo controllato senza crollare, non sono idonee per l'adeguamento sismico degli edifici storici. Inoltre, non garantiscono la reversibilità, richiedono a volte l'uso di materiali diversi e incompatibili con quelli originali e possono determinare modifiche della concezione strutturale originaria con conseguenze spesso imprevedibili. Va anche osservato che le tecniche tradizionali, basate come detto sulla capacità della struttura di dissipare l'energia trasmessa dal suolo danneggiandosi, possono soltanto fornire garanzie a fronte del collasso, ma non evitare danni, a volte anche importanti, agli elementi strutturali e non strutturali e al contenuto.

Appare chiaro che, volendo rispettare il valore storico e artistico di un edificio, non sempre, anzi quasi mai, è possibile adeguarlo sismicamente, ossia renderlo rispettoso delle prescrizioni normative per le nuove costruzioni. In tali casi sarebbe opportuno privare la struttura delle sue funzioni strategiche o di edificio di particolare rilevanza e trasferire queste in strutture idonee: si pensi, ad esempio, agli edifici scolastici, agli ospedali e alle strutture strategiche con scopi di protezione civile. L'isolamento sismico, invece, puntando alla riduzione dell'azione sismica che cimenta la struttura e, quindi, a un comportamento elastico della stessa e alla protezione del contenuto, rappresenta una valida alternativa, tenendo anche conto che interferisce poco o nulla con la struttura in elevazione (Clemente & Buffarini 2008, 2010).

Nel capitolo precedente sono stati illustrati possibili sistemi di intervento per l'applicazione dell'isolamento sismico su edifici in muratura. Tutti fanno riferimento a tecniche consolidate e pertanto affidabili e anche non eccessivamente costose, ma prevedono l'intervento sulla muratura esistente, non sempre accettato in Italia, specie per gli edifici vincolati. In questo capitolo è illustrata una recente proposta, messa a punto da ENEA e Politecnico di Torino, che supera questi limiti.

6.1. Descrizione del sistema

Il sistema che si propone consiste nella realizzazione di una piattaforma isolata sotto al piano delle fondazioni di un singolo edificio o di un aggregato strutturale di dimensioni anche grandi, come accade spesso nei nostri centri storici (Clemente et al 2011, Clemente & De Stefano 2013). La piattaforma è composta (figura 6.1):

- dai settori circolari superiori di un insieme di tubi affiancati;
- dalle pareti perimetrali connesse ai suddetti settori circolari;
- dal terreno compreso tra le suddette pareti nel quale si trovano le fondazioni dello stesso; tale porzione di terreno potrebbe essere preventivamente consolidata per consentire maggiore sicurezza durante i lavori ma anche l'adeguata rigidezza in esercizio, specialmente in occasione di un evento sismico.

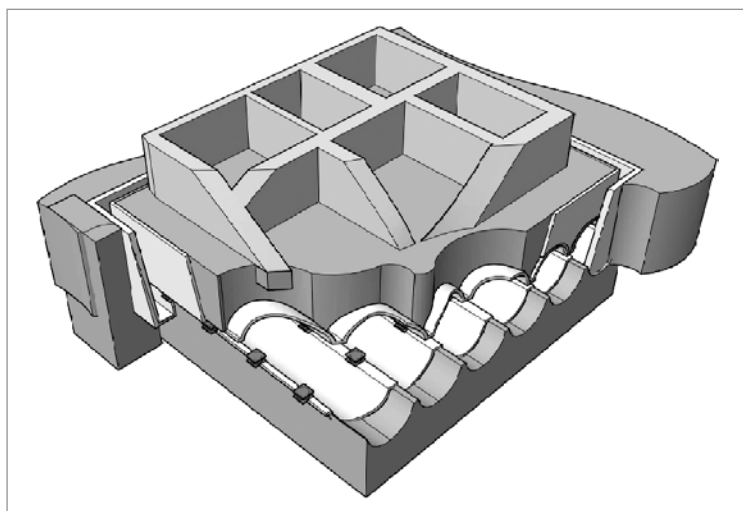


Figura 6.1. *Struttura di isolamento sismico per edifici esistenti: spaccato assonometrico*

La piattaforma descritta poggia, attraverso dei dispositivi di isolamento sismico, su una struttura solidale al terreno di fondazione, composta:

- dai settori circolari inferiori dell'insieme di tubi affiancati;
- dalle pareti perimetrali connesse ai suddetti settori circolari inferiori.

Per realizzare una siffatta struttura, da una trincea scavata al lato dell'area d'interesse, si inseriscono dei tubi affiancati per tutta la lunghezza interessata dall'intervento. Successivamente, si crea un piano di discontinuità in corrispondenza del piano diametrale orizzontale dei tubi stessi, dove vengono inseriti i dispositivi di isolamento sismico. Il doppio sistema di pareti laterali completa l'opera.

Più in dettaglio, le fasi esecutive sono le seguenti:

- Realizzazione di una trincea lungo un lato dell'edificio e dell'apposita struttura di contrasto (figura 6.2). La trincea deve avere dimensioni tali da favorire le successive operazioni di spingi-tubo; la profondità è legata alla quota di posa delle fondazioni e all'opportunità di scendere al di sotto di questa di una certa entità, come si dirà al punto seguente. Una

SOFTWARE INCLUSO (WebApp con aggiornamento automatico)

7.1. Contenuti del software incluso

- **Foglio di calcolo per il dimensionamento preliminare di un sistema di isolamento sismico** formato da isolatori elastomerici e isolatori a scorrimento con superfici piane. Il foglio di calcolo consente di eseguire la verifica di massima di un sistema di isolamento sismico composto da isolatori elastomerici e isolatori a scorrimento con superfici piane, per un edificio con un numero di impalcati non superiore a 10, oltre all'impalcato "0" che è primo al di sopra dell'interfaccia di isolamento, e un numero totale di isolatori non superiore a 100. Gli isolatori sono collocati su uno stesso piano orizzontale. La sovrastruttura è modellata come una scatola rigida su appoggi dotati di rigidità molto elevata in direzione verticale (per semplicità uguale per tutti gli isolatori) e di bassa rigidità nelle due direzioni orizzontali. La variazione del carico verticale su ciascun dispositivo è valutata staticamente applicando l'azione sismica nel baricentro delle masse della sovrastruttura.
- **Speciale progettazione strutturale antisismica** (normativa nazionale, normativa regionale e giurisprudenza).

7.2. Requisiti hardware e software

- Dispositivo con MS Windows, Mac OS X, Linux, iOS o Android;
- Adobe Reader 11.0+;
- MS Excel 2010+;
- Accesso ad internet e browser web con *Javascript* attivo.

7.3. Richiesta della password di attivazione del software

- 1) Collegarsi al seguente indirizzo internet:

https://www.grafill.it/pass/0048_8.php

- 2) Inserire i codici "A" e "B" (vedi ultima pagina del volume) e cliccare su **[Continua]**;
- 3) **Per utenti registrati su www.grafill.it**: inserire i dati di accesso e cliccare su **[Accedi]**, accettare la licenza d'uso e cliccare su **[Continua]**;
- 4) **Per utenti non registrati su www.grafill.it**: cliccare su **[Iscriviti]**, compilare il form di registrazione e cliccare su **[Iscriviti]**, accettare la licenza d'uso e cliccare su **[Continua]**;
- 5) Un **link per il download del software** e la **password di attivazione** saranno inviati all'indirizzo e-mail inserito nel form di registrazione.

7.4. Utilizzo della WebApp

- 1) Registrare il prodotto ed attivare il software come indicato nei paragrafi precedenti;
- 2) Accedere al profilo utente su **www.grafill.it**;
- 3) Cliccare sul pulsante **[G-CLOUD]**;
- 4) Cliccare sul pulsante **[Vai alla WebApp]** in corrispondenza del prodotto acquistato.

7.5. Assistenza tecnica (*TicketSystem*)

I prodotti **Grafill** sono coperti da assistenza tecnica gratuita per 365 giorni dall'acquisto. L'assistenza è prevista per l'installazione, l'avvio o la reinstallazione del prodotto (*non è prevista assistenza per il recupero dei dati*), se la configurazione hardware rispetta i requisiti richiesti.

L'assistenza **TicketSystem** è disponibile all'indirizzo **<https://www.supporto.grafill.it>**.

Effettuare il login al **TicketSystem** utilizzando i dati del profilo utente di **www.grafill.it** ed aprire un ticket seguendo le istruzioni.

La cronologia dei ticket resterà disponibile sulla schermata principale del **TicketSystem**.

MANUALE DEL FOGLIO DI CALCOLO

8.1. Ipotesi e criteri di calcolo

Il file di calcolo è composto di 3 fogli:

- 1) **INPUT**, dove vanno inseriti i dati in ingresso e che è l'unico foglio editabile;
- 2) **OUTPUT**, dove vengono riportati i risultati essenziali, ad eccezione di quanto riportato nel foglio seguente;
- 3) **OUTPUT ISO**, dove vengono riportati i risultati delle verifiche degli isolatori.

Esso consente di eseguire la verifica di massima di un sistema di isolamento sismico composto da isolatori elastomerici e isolatori a scorrimento con superfici piane, per un edificio con un numero di impalcati non superiore a 10, oltre all'impalcato "0" che è primo al di sopra dell'interfaccia di isolamento, e un numero totale di isolatori non superiore a 100.

Gli isolatori sono collocati su uno stesso piano orizzontale. La sovrastruttura è modellata come una scatola rigida su appoggi dotati di rigidezza molto elevata in direzione verticale (per semplicità uguale per tutti gli isolatori) e di bassa rigidezza nelle due direzioni orizzontali.

La variazione del carico verticale su ciascun dispositivo è valutata staticamente applicando l'azione sismica nel baricentro delle masse della sovrastruttura.

8.2. Inserimento dei dati

I dati in ingresso vanno inseriti nel foglio INPUT, composta dalle sezioni di seguito descritte.

8.2.1. Dimensioni in pianta

Vanno inserite le dimensioni massime (in metri) nelle due direzioni principali di verifica, L_x e L_y , necessarie per la valutazione dell'eccentricità accidentale:

Lunghezza massima in direzione x	L_x (m)
Lunghezza massima in direzione y	L_y (m)

8.2.2. Masse impalcati e baricentri

Per ciascun impalcato va inserita la massa totale di piano m (in $\text{kN}/(\text{m}/\text{s}^2)$), che comprende le masse degli elementi strutturali e non strutturali di metà del piano sovrastante e del piano sottostante, ove presenti) e le coordinate in pianta del relativo baricentro (x_m e y_m) nonché la quota del solaio stesso (z_m).

Le coordinate x e y possono essere assegnate rispetto a un qualsiasi sistema di riferimento nel piano orizzontale. La quota $z = 0$ corrisponde all'estradosso degli isolatori o a quella dell'impalcato "0", che è il primo al disopra del sistema di isolamento sismico.

Le caselle vanno sempre riempite tutte, inserendo eventualmente un segno meno “-” per gli impalcati non presenti.

8.2.3. Parametri spettro elastico

Vanno inseriti i soli dati essenziali ai fini della verifica di massima del sistema di isolamento sismico, in particolare, quelli nella seguente tabella (per i primi 4 parametri vanno inseriti i valori relativi sia allo spettro allo SLC sia allo SLV):

Tempo di ritorno	T_R (anni)
Accelerazione orizzontale massima su suolo rigido tipo A	a_g (g)
Coefficiente di amplificazione	F_0
Periodo massimo del tratto ad accelerazione costante	T_C^*
Categoria di sottosuolo	Tipo
Coefficiente di amplificazione topografica	S_t

Si nota che il coefficiente di amplificazione stratigrafica è calcolato automaticamente in base ai dati forniti.

8.2.4. Tipi di isolatori elastomerici

Il foglio consente l'utilizzo di 3 tipi di isolatori elastomerici (indicati come tipo 1, 2 e 3, rispettivamente), oltre a eventuali isolatori a scorrimento con superfici piane (indicati come tipo 0). Per i soli isolatori elastomerici vanno inseriti i seguenti dati, necessari per la valutazione della loro rigidezza e per le verifiche:

Diametro gomma	D_e (mm)
Diametro foro interno	d (mm)
Spessore strati di gomma	t_i (mm)
Spessore totale gomma	t_e (mm)
Spessore piatti di acciaio	t_s (mm)
Spessore piatti di acciaio superiore e inferiore	t_{ss} (mm)
Tensione snervamento caratt. acciaio	f_{yk} (MPa)
Modulo compressibilità volumetrica gomma	E_b (MPa)
Modulo tangenziale dinamico gomma	G_{din} (MPa)
Fattore di smorzamento	ξ (%)

Per gli isolatori a scorrimento sarà sufficiente verificare il carico verticale e lo spostamento massimo in condizioni sismiche.

8.2.5. Isolatori: coordinate, tipo e carico verticale

Per ciascun isolatore vanno inseriti:

- le coordinate del baricentro;
- il tipo di dispositivo secondo la definizione della sezione precedente;
- il carico verticale in condizioni sismiche.

Manuale teorico-pratico in materia di adeguamento degli edifici esistenti mediante isolamento sismico, tecnica che consente di perseguire un elevato grado di sicurezza e, negli interventi preventivi ossia su edifici non danneggiati e quindi agibili, di tenere operativa la struttura durante i lavori, garantendo anche un risparmio sui costi legati alla delocalizzazione.

I principali argomenti trattati nella pubblicazione sono:

- storia dell'isolamento sismico, dai primi tentativi di disaccoppiare la struttura dal terreno mediante strati di argilla o altro, basati sull'intuito, fino alle più recenti applicazioni;
- richiami teorici essenziali sul comportamento degli edifici isolati alla base e dei dispositivi elastomerici, a scorrimento con superfici piane e a scorrimento con superfici curve, descrivendone le caratteristiche e le verifiche da eseguire secondo le norme tecniche vigenti;
- i criteri essenziali per una progettazione ottimale, con particolare riferimento all'inserimento dell'isolamento sismico in edifici esistenti. Si affronta dapprima la scelta della disposizione in pianta e in elevazione dei dispositivi di isolamento, poi vengono presentate semplici procedure per il dimensionamento preliminare;
- tecniche di applicazione dell'isolamento sismico in edifici esistenti, rispettivamente in conglomerato cementizio armato e in muratura, con l'ausilio di esempi già realizzati;
- soluzione innovativa, pensata per gli edifici storici ma applicabile a una vasta gamma di strutture esistenti, che consente di isolare un edificio agendo al di sotto delle fondazione, senza toccare la sovrastruttura.

SOFTWARE INCLUSO (WebApp con aggiornamento automatico)

- **Foglio di calcolo per il dimensionamento preliminare di un sistema di isolamento sismico** formato da isolatori elastomerici e a scorrimento con superfici piane. Esso consente di eseguire la verifica di massima di un sistema di isolamento sismico composto da isolatori elastomerici e isolatori a scorrimento con superfici piane, per un edificio con un numero di impalcati non superiore a 10, oltre all'impalcato "0" che è primo al di sopra dell'interfaccia di isolamento, e un numero totale di isolatori non superiore a 100.
- **Speciale progettazione strutturale antisismica** (normativa nazionale, normativa regionale e giurisprudenza).

REQUISITI HARDWARE E SOFTWARE

Qualsiasi dispositivo con MS Windows, Mac OS X, Linux, iOS o Android; Adobe Reader 11+; MS Excel 2010+; Accesso ad internet e browser web con Javascript attivo.

Paolo Clemente, Ing. Civile, Ph.D. in Ing. delle Strutture, Dirigente di Ricerca in ENEA. Progettista e collaudatore di strutture con isolamento sismico. Autore di numerosi lavori scientifici sull'isolamento sismico.

Fernando Saitta, Ing. Civile, Ph.D. nel Settore Scientifico Disciplinare Scienza delle Costruzioni, Ricercatore in ENEA. Autore di numerosi lavori scientifici su dispositivi e strutture isolate alla base.

Giacomo Buffarini, Ing. Civile, Primo Ricercatore in ENEA. Progettista e collaudatore di strutture con isolamento sismico. Autore di numerosi lavori scientifici sull'isolamento sismico.

Giovanni Bongiovanni, Ing. Nucleare, Ricercatore in ENEA. Autore di numerosi lavori sulla caratterizzazione dinamica sperimentale e il comportamento sismico sperimentale di strutture con isolamento sismico.



WebApp

Assistenza
tecnica

ISBN 13 978-88-277-0048-8



9 788827 700488 >

Euro 36,00