

# **VULNERABILITA' SISMICA PER GLI EDIFICI STRATEGICI**

*La sicurezza in caso di terremoto*



Il rischio sismico in Italia è un problema di dimensioni molto rilevanti, basti pensare alle oltre 120.000 vittime causate nell'ultimo secolo per danni economici elevatissimi. L'Italia è un paese caratterizzato da una pericolosità sismica medio-alta ma da una vulnerabilità molto elevata. Il nostro patrimonio edilizio è, infatti, caratterizzato da una notevole fragilità dovuta soprattutto all'età e alle caratteristiche tipologiche e strutturali delle costruzioni.

Res.In.Tec. Italia Restauri Innovativi Tecnologici S.r.l. è un'azienda altamente specializzata nel restauro e consolidamento di edifici strategici e di pubblico interesse e risulta essere ad oggi una delle più qualificate aziende italiane per il consolidamento e l'adeguamento sismico e normativo di edifici mediante l'utilizzo di molteplici tecnologie (cfrp, srcm, iniezioni di solforesistenti, sistemi a tenditura, opere di restauro tradizionali) ed ogni opera generale o altamente specifica di restauro conservativo.

Res.In.Tec. Italia® opera in perfetto accordo con quanto previsto dagli studi di vulnerabilità sismica degli edifici pubblici, strategici e di culto e dalle linee guida per gli interventi di riparazione del danno e miglioramento sismico per gli edifici di culto e monumentali coordinato e redatto dal C.N.R. Lo scopo della vulnerabilità sismica eseguita negli edifici in generale è quello di definire coefficienti di sicurezza per i diversi elementi strutturali, quindi valutare la sicurezza dell'edificio.

In particolare per raggiungere tale scopo Res.In.Tec. Italia® opera in maniera scrupolosa ed attenta mediante:

**RILIEVO**, ossia un'approfondita indagine conoscitiva in modo da risalire alle conoscenze ed alle tecniche relative al tempo della sua realizzazione, e le successive modificazioni subite nel tempo dal manufatto, nonché gli eventi che lo hanno interessato.

Laddove è possibile si provvede ad effettuare saggi in corrispondenza dei solai, per la determinazione dei materiali usati e della geometria degli stessi. Per la determinazione delle armature di travi e pilastri in cemento armato si provvede, dove possibile, ad effettuare saggi; mediante il "back design" si risale alle caratteristiche strutturali degli altri elementi in cui il saggio non verrà eseguito.

Strumento importante è la relazione fotografica in cui si riportano i prospetti dell'edificio, i dettagli costruttivi e le principali viste in corrispondenza di tutti i piani. Vengono realizzati degli elaborati grafici in cui si riportano le informazioni ottenute dai rilievi geometrici e strutturali che costituiscono il rilievo vero e proprio.

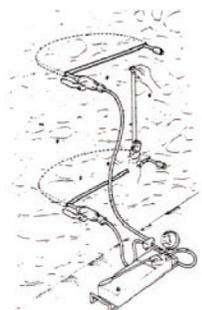


Stazione di Milano Centrale: veduta aerea

Ex convento San Domenico a Cesena: veduta dal chiostro interno

## INDAGINI DIAGNOSTICHE

In seguito alle prove sperimentali eseguite in laboratorio e in sito, viene redatta una relazione di caratterizzazione meccanica dei materiali che verranno poi assunti nella valutazione di sicurezza.



Prova dei martinetti piatti doppi

In base all'estensione del rilievo e delle indagini verrà definito il "Livello di conoscenza" raggiunto quindi il "Fattore di Confidenza" da adottare nell'assegnazione delle proprietà meccaniche ai materiali.



Esecuzione di carotaggio

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà strutturali	Metodi di analisi	FC
LC1	Dai disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex novo completo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e limitate prove in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e limitate prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2		Disegni costruttivi incompleti con limitate verifiche in-situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con limitate prove in-situ oppure estese prove in situ	Tutti	1.20
LC2		Disegni costruttivi completi con limitate verifiche in-situ oppure estese verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali di progetto o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in-situ oppure esauritive prove in situ	Tutti	1.00



Prova "Brasiliana"

Esecuzione di carota con giunto di malta e di solo mattone

Le prove si distinguono in distruttive e non distruttive.

Res.In.Tec. Italia® esegue, sulla base di concrete esperienze di cantiere, in maniera puntuale e per ogni categoria di intervento, varie tipologie di prove al fine di individuare tutte le fasi operative che contribuiscono alla corretta esecuzione dell'intervento di adeguamento sismico.

La conoscenza di tecniche tradizionali, unitamente alla costante ricerca e sperimentazione di più aggiornate modalità di intervento, ci consente di lavorare nel pieno rispetto della natura e della conservazione del bene, consci delle responsabilità e dell'impegno del nostro lavoro.

Gli strumenti di prova utilizzati più diffusi sono: carotaggio, sonde Windsor, ultrasuoni, georadar, sclerometro, martinetti piatti, termografia, pull-out, pacometro, penetrometro, carbonatazione...

Dall'interpretazione delle prove eseguite è possibile individuare le caratteristiche meccaniche dei materiali strutturali impiegati.

## MODELLAZIONE NUMERICA E ANALISI STRUTTURALE

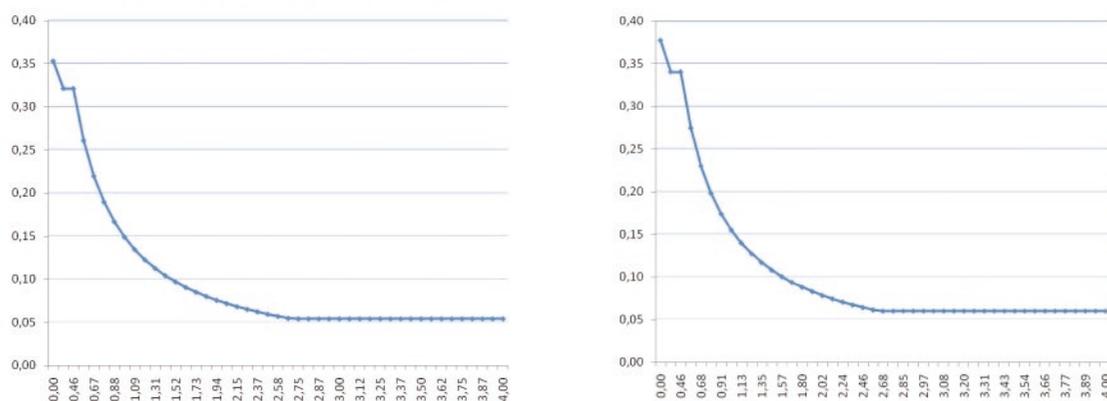
Terminate le fasi di rilievo e diagnostiche è possibile costruire un modello tridimensionale della struttura con un programma di calcolo agli elementi finiti (FEM), nel quale viene simulata l'azione sismica in funzione del profilo stratigrafico del suolo di fondazione e della Zona sismica di riferimento dell'edificio in questione (Zona I, II, III o IV) secondo la più recente Classificazione sismica del territorio nazionale, dell'importanza dell'edificio e della sua vita utile, quindi valutarne la risposta sismica. Per determinare le sollecitazioni, è frequente l'impiego di analisi dinamica modale di tipo lineare con spettro di risposta, in particolare si considerano un numero di modi di vibrare opportuno in modo tale da eccitare una percentuale di massa sufficiente nelle due direzioni (>85%).

In particolare per lo stato limite ultimo le probabilità di superamento nel periodo di riferimento sono del 10% per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV), ed del 5% per lo Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC).

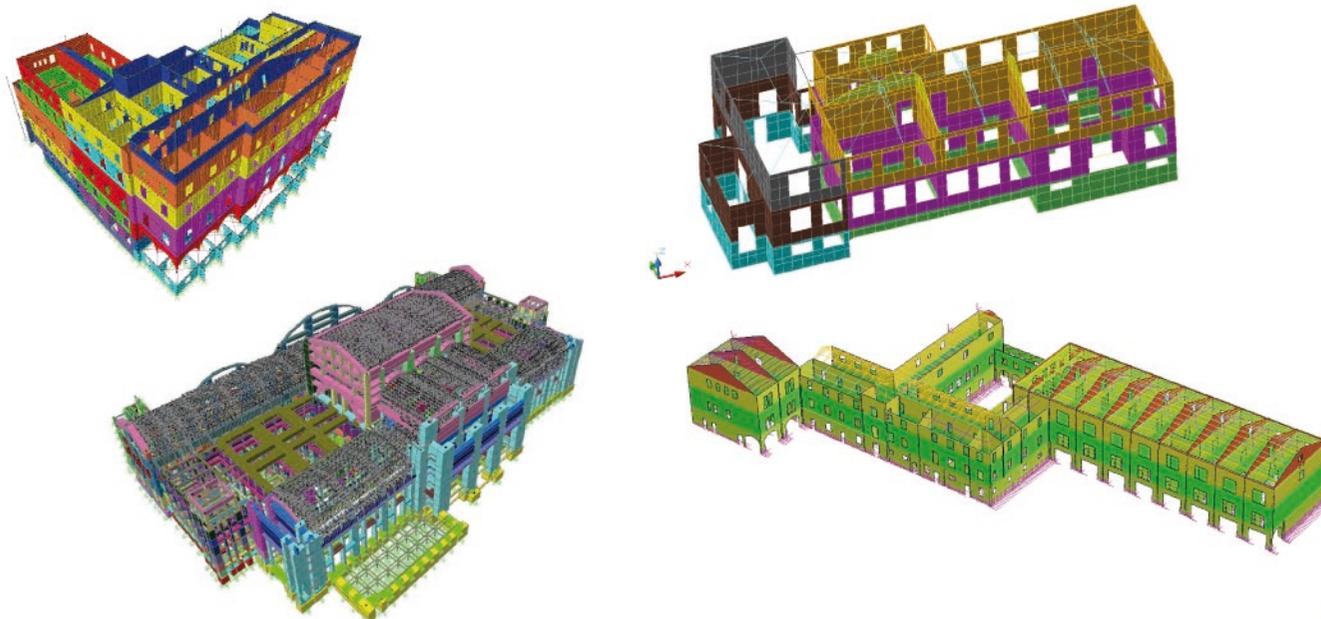
In particolare le azioni sismiche sono determinate considerando i parametri seguenti per la valutazione degli spettri di risposta:

- Categoria sottosuolo
- Categoria topografica
- Fattore di smorzamento
- Fattore di struttura

Si riportano spettri di risposta ottenuti per SLV e SLC:



## Modelli di calcolo



## DETERMINAZIONE DEI COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Secondo il D.M. 14/01/2008, la valutazione della sicurezza degli edifici esistenti può essere eseguita con riferimento ai soli stati limite ultimi. Le verifiche agli stati limite ultimi possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC).

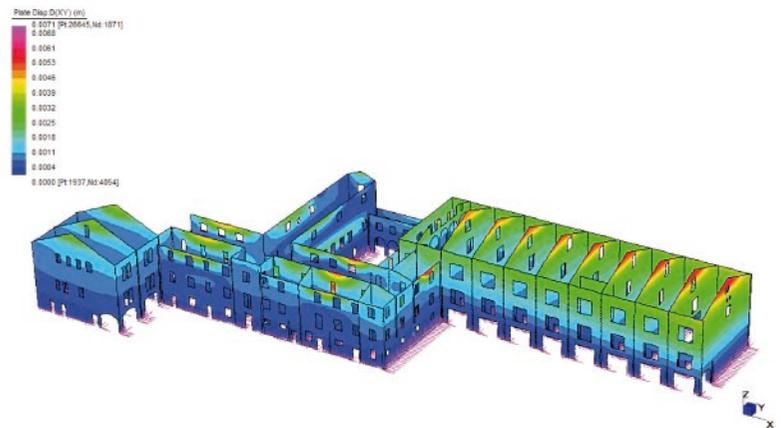
Per quanto riguarda gli edifici in muratura, gli elementi murari verticali vengono verificati considerando le relazioni a seguire:

**Verifica a taglio nel piano:** 
$$V_t = l \cdot t \cdot \frac{1.5\tau_{0d}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5\tau_{0d}}}$$

**Verifica a presso flessione nel piano:** 
$$M_u = (l^2 t \sigma_0 / 2) (1 - \frac{\sigma_0}{0.85 f_d})$$

**Verifica a presso flessione fuori del piano:** 
$$M_u = 0.85 f_d \cdot l(t - 2e)e$$

Per le verifiche sopra indicate si sfruttano le integrazioni delle tensioni in corrispondenza dei piani di verifica, in modo da ottenere il valore dello sforzo assiale, del taglio, del momento flettente nel piano e di quello fuori dal piano, agente sulla sezione muraria considerata. Si individua il valore della resistenza tagliante offerta dal maschio e viene determinato in questo modo il valore del coefficiente di sicurezza come rapporto delle resistenze sulle sollecitazioni; il minimo coefficiente di sicurezza tra tutti gli altri ottenuti per uno stesso maschio murario per le diverse combinazioni di carico analizzate, rappresenta il coefficiente di sicurezza per il maschio considerato.



Iterando il procedimento a tutti i maschi della parete, per tutti i piani, è possibile creare una verifica d'insieme della parete; confrontando il  $\gamma_{m,min}$  di tutti i maschi si considera il minore e coincide con il fattore di sicurezza della parete intera, ammettendo che la crisi della parete sia legata alla crisi del suo elemento più debole. Dalle tre verifiche viene, infine, scelto il coefficiente di sicurezza più basso come coefficiente di sicurezza della parete intera.

Nel caso in cui le accelerazioni che portano al collasso l'edificio o parte di esso risultino inferiori all'accelerazione di progetto, viene evidenziata la successione degli elementi che possono entrare in crisi al crescere delle accelerazioni sismiche. Così facendo saranno individuabili i punti deboli della struttura e di conseguenza si possono formulare ipotesi di interventi atti ad aumentare il livello di sicurezza dell'edificio (sostituzione delle catene metalliche con altre più adeguate e opportunamente ancorate, riparazione di lesioni nella muratura con interventi di "cuci scuci", ristilatura dei giunti di malta nelle zone degradate, iniezioni con miscele consolidanti, esecuzione di intonaci armati, repointing nei giunti di malta con barre in materiale composito per incrementarne la resistenza, rinforzi di volte con materiali compositi...).

Per la valutazione dei rinforzi in materiale composito si fa riferimento alla CNR-DT 200/2004 "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati" i cui passaggi sono brevemente sintetizzati nella valutazione della lunghezza ottimale di ancoraggio " $l_e$ ":

$$l_e = \sqrt{\frac{E_f \cdot t_f}{2 \cdot f_{ctm}}} \quad \text{dove} \quad \begin{array}{l} E_f \text{ è il modulo di elasticità normale della fibra in direzione della forza;} \\ f_{ctm} \text{ è la resistenza media a trazione del supporto.} \end{array}$$

L'energia specifica di frattura  $\Gamma_{Fk}$  del legame di aderenza rinforzo-supporto è definita come

$$\Gamma_{Fk} = 0,03 \cdot k_b \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot f_{ctm}} \quad \text{nella quale } f_{ck} \text{ è la resistenza caratteristica del supporto}$$

$K_b$  è un fattore geometrico

$$K_b = \sqrt{\frac{2 - \frac{b_f}{b}}{1 + \frac{b_f}{400}}} \geq 1$$

dove

$b$  e  $b_f$  sono la larghezza della trave e del rinforzo rispettivamente.

Con riferimento ad una de laminazione che coinvolga i primi strati di supporto e per lunghezze di ancoraggio maggiori o uguali a quella ottimale, la tensione di progetto del rinforzo,  $f_{dd}$ , ovvero il valore della massima tensione alla quale il rinforzo può lavorare nella sezione terminale di ancoraggio vale:

$$f_{dd} = \frac{1}{\gamma_{R,d} \cdot \sqrt{\gamma_c}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_f \cdot \Gamma_{fk}}{t_f}}$$

essendo:

$\gamma_{R,d}$  il coefficiente parziale di sicurezza del modello di resistenza (aderenza);

$\gamma_c$  è un coefficiente parziale del supporto.



Repointing orizzontale e verticale di pareti in muratura con tessuti in C-FRP



Rinforzo di voltini in muratura con tessuti in fibra d'acciaio

In alternativa è possibile ricorrere ad una procedura semplificata consistente nel verificare che allo SLU la tensione nel composito fibrorinforzato non ecceda un valore massimo,  $f_{dd,2}$  fornito dalla seguente relazione:

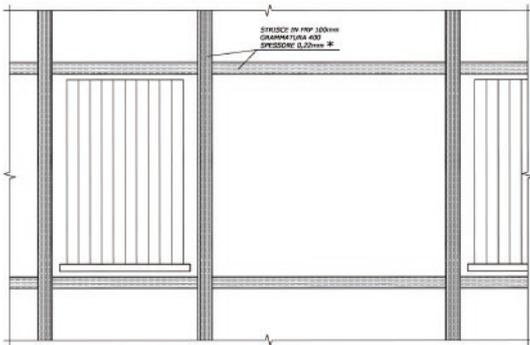
$$f_{dd,2} = k_{cr} \cdot f_{idd}$$

Essendo  $k_{cr}$  un fattore sperimentale.

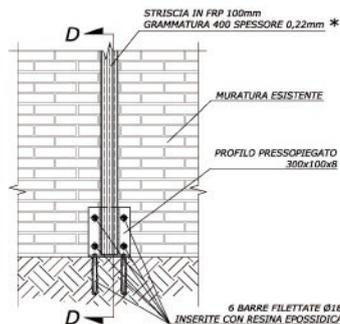


Applicazione di barre al carbonio nei giunti di malta

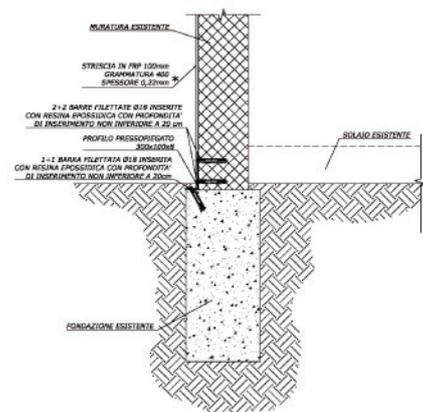
-Repointing delle murature con strisce di tenuta in FRP (o lamine pultrese in FRP) (muratura intonacata)



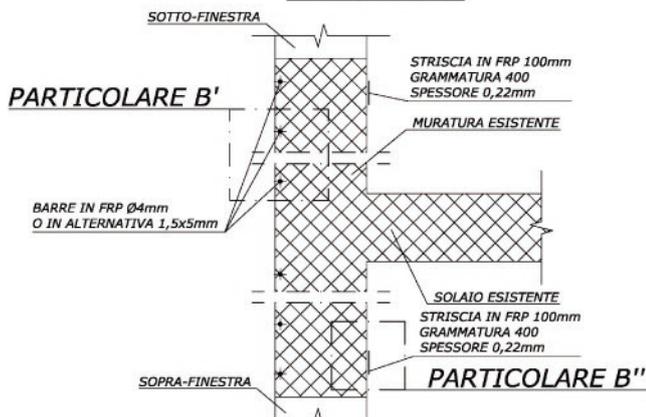
### ANCORAGGIO DELLE STRISCE IN FONDAZIONE



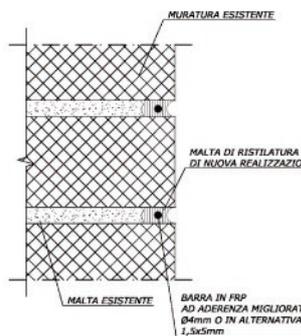
### SEZIONE D-D



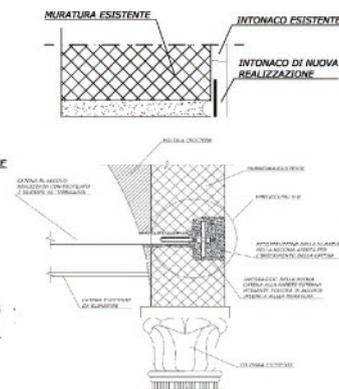
### SEZIONE B-B



### PARTICOLARE B\'



### PARTICOLARE B\'\'



L'attenzione costante, l'impegno sempre maggiore e l'esperienza acquisita ci pongono come punto di riferimento per il restauro conservativo degli immobili.

I tecnici, i progettisti e le maestranze di cui è composta Res.In.Tec. Italia® possiedono qualifiche professionali adeguate ed un bagaglio culturale costantemente aggiornato attraverso formazione sia teorica che pratica.

I numerosi cantieri portati a termine, ci hanno permesso di raggiungere una perfetta autonomia in tutte le operazioni fondamentali per l'esecuzione del restauro a regola d'arte.

Adeguamento sismico come estrema sensibilità nel recepire la fondamentale importanza che ogni particolare può avere a fronte di evento eccezionale che porti l'edificio a dover contrastare forze di enorme entità che improvvisamente agiscono in direzione diversa da quella che era stata calcolata per i carichi verticali.

L'esperienza diretta acquisita nell'ambito dell'adeguamento sismico, ci ha permesso di sviluppare un quadro preciso e dettagliato dei diversi tipi di collasso ai quali le strutture sono soggette in caso di sisma.

*Il nostro scopo... la conservazione del patrimonio storico artistico monumentale.*



**Res.In.Tec. Italia Restauri Innovativi Tecnologici S.r.l.**

Via Serra, 22 - 40012 Calderara di Reno (BO)

Tel: 051.725763 - Fax: 051.726772

www.resintec.it - info@resintec.it

