



Consorzio Omega
Operatori Multiservizi e Gestori Ambientali

COLLANA DOSSIER

RIDUZIONE RISCHIO SISMICO

A cura
Dott. Emilio Bonaduce

PREMESSA

Con il decreto rilancio è finanziato, in regime superbonus, anche la riduzione del rischio sismico, ovvero un intervento di mitigazione del rischio sismico di un edificio per effettuare il quale bisogna dapprima scegliere quale metodo utilizzare per valutare la vulnerabilità sismica dell'edificio, e di conseguenza capire con quali tecniche intervenire per il passaggio alle classi di rischio superiori.

La vulnerabilità sismica dell'edificio si determina mediante il metodo convenzionale (ai sensi del D.M. 09/01/2020 ed applicabile sia a strutture in muratura portante sia in c.a.) oppure il “metodo semplificato” (solo murature portanti).

Il metodo convenzionale si basa sulla onerosa valutazione computazionale dell'intera struttura mediante modello di calcolo strutturale agli elementi finiti considerato che detto metodo analizza il comportamento dinamico dell'intera struttura per cui il progettista dovrà prima di tutto aver valutato la sicurezza nei confronti di tutti quei cinatismi fuori dal piano che di fatto non permetterebbero l'attivazione del comportamento globale della struttura.

Il metodo semplificato, invece, consiste in una procedura di valutazione più speditiva e dall'onere computazionale decisamente ridotto e si limita a valutare la sicurezza sismica (ai fini del sismabonus) solamente nei riguardi dei singoli interventi (NTC18 par. 8.4.1 riparazione o intervento locale).

Gli interventi di miglioramento sismico sulle strutture in muratura sono *“interventi mirati sia al risanamento ed alla riparazione di murature deteriorate e danneggiate, sia al miglioramento delle proprietà meccaniche della muratura; la soluzione tecnica da applicare andrà valutata anche in base alla tipologia e alla qualità della muratura. Gli interventi dovranno utilizzare materiali con caratteristiche fisico-chimiche e meccaniche analoghe e, comunque, il più possibile compatibili con quelle dei materiali in opera. L'intervento deve mirare a far recuperare alla parete una resistenza sostanzialmente uniforme e una continuità nella rigidità, anche realizzando gli opportuni ammorsamenti, qualora mancanti. [...]» (D.P.C.M. 09/02/2011).*

La riduzione del rischio sismico si traduce in un rinforzo delle caratteristiche meccaniche delle pareti portanti, in particolare della resistenza a compressione e a taglio.

1.0. INTONACO ARMATO

Una delle tradizionali tecniche consiste nell'esecuzione dell'intonaco armato, soluzione ampiamente collaudata nel corso dei decenni e oggi migliorata con l'utilizzo di materiali innovativi e maggiormente compatibili.

L'intervento è applicabile su superfici già intonacate, mediante la rimozione dell'intonaco esistente e il rifacimento di uno similare con malta di calce ma armato con una rete, generalmente in fibra di vetro.

Le reti della superficie muraria interna ed esterna devono essere collegate mediante connettori trasversali consistenti in barre del medesimo materiale delle reti, altrimenti il sistema non risulta efficace.

Si crea così una sorta di "impacchettamento" della muratura, che ne migliora notevolmente le prestazioni meccaniche.

Le reti possono essere anche di altri materiali compositi, ad esempio in tessuti di carbonio che vengono incollate con resine e collegate trasversalmente mediante corde fioccate, oppure con reti in fibra d'acciaio o di basalto.

Esistono anche varianti alla tecnica tradizionale che prevedono la possibilità di lasciare a vista il paramento murario esterno ed intervenendo su di esso soltanto con giunti armati da trefoli di piccolo diametro connessi trasversalmente alla rete di rinforzo dell'intonaco interno.



Figura 1a. Applicazione della rete in fibra di vetro per armare il successivo intonaco



Figura 2. Rinforzo dell'intonaco mediante incollaggio con resina epossidica di una rete in materiale composito e connessa trasversalmente con corde fioccate e impregnate con la medesima resina di incollaggio.

2.0. INIEZIONI CON COLI DI MALTA DI CALCE

Un'alternativa all'utilizzo dell'intonaco armato risiede nella tecnica delle iniezioni con coli di malta di calce all'interno della muratura.

La finalità consiste nel riempire i vuoti presenti all'interno di tessiture murarie poco coese, quali muri a sacco.

Poiché non tutte le tessiture murarie sono ugualmente iniettabili con la stessa efficacia, è suggeribile testare la tecnica prima di estenderla all'intero edificio mediante una limitata superficie abbinando una prova sonica prima e dopo l'intervento.

Se sussiste un netto miglioramento delle velocità soniche dopo l'applicazione delle iniezioni, si avrà garanzia che i coli siano riusciti a riempire i vuoti e ridare continuità alla sezione resistente della muratura.

Pertanto il progettista dovrà prestare molta attenzione a verificare che il coefficiente moltiplicativo previsto nella tabella C8.5. II della Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 per l'utilizzo delle iniezioni sia effettivamente raggiungibile ed applicabile, in funzione della reale efficacia della tecnica nei confronti della tessitura muraria.



Figura 3 a. Intervento puntuale di rinforzo dell'ancoraggio di una catena mediante iniezioni



Figura 1b. Consolidamento delle pareti eseguito con iniezioni di malta di calce

Le due tecniche possono eventualmente essere applicate anche contemporaneamente, qualora la qualità della tessitura muraria sia scadente e gravemente compromessa.

A esse è possibile associare anche l'inserimento di diaframi artificiali, meglio se di natura metallica, per migliorare la resistenza a taglio e pressoflessione nel piano delle pareti murarie.

3.0. INTERVENTI SU STRUTTURE IN C.A.

Gli interventi locali negli edifici in c.a. consentono di migliorare le capacità dei singoli elementi (travi, pilastri e pareti) e dei nodi e di conseguire uno o più dei seguenti obiettivi:

- 1) aumento della capacità portante verticale per effetto del confinamento del calcestruzzo;
- 2) aumento della resistenza a taglio;
- 3) aumento della capacità deformativa, con incremento della duttilità;
- 4) migliorare l'efficienza delle giunzioni per sovrapposizione.

Svariati tipi di interventi sono disponibili sul mercato.

INCAMICIATURA ARMATA

L'incamiciatura in c.a. consiste nell'avvolgere la sezione originaria dell'elemento resistente (pilastri, travi, pareti) con una nuova sezione (cava) che collabora con la prima e consiste nel realizzare dei getti integrativi opportunamente armati e connessi agli elementi pre-esistenti.

Nei pilastri l'incamiciatura permette di modificare il proporzionamento degli elementi da 'pilastro debole-trave forte' in 'pilastro forte-trave debole', così come richiesto nella Gerarchia delle Resistenze.



Figura 4a. Rinforzo di pilastro mediante incamiciatura armata

INCAMICIATURA IN ACCIAIO

Le camicie in acciaio, comunemente indicate come calastrellature, possono essere applicate principalmente a pilastri o pareti e l'intervento prevede di applicare profili metallici angolari lungo gli spigoli degli elementi, adeguatamente fissati agli stessi mediante opportuna tassellatura.

Successivamente, ad un interasse fissato, vengono saldate piastre continue in acciaio o bande di dimensioni e interasse adeguati, oppure tramite nastri in acciaio opportunamente dimensionati.



Figura 4b. Rinforzo di pilastro mediante calastrellatura con angolari d'acciaio

FASCIATURE MEDIANTE MATERIALI FIBRORINFORZATI (FRP)

Con il termine FRP (materiale polimerico fibrorinforzato) si identificano tutti quei materiali compositi costituiti da fibre di rinforzo immerse in una matrice polimerica.

Le fibre possono essere di varia natura ed includono fibre di: carbonio; vetro; basalto e metalliche.

La matrice, oltre a proteggere le fibre, funge da mezzo di trasferimento degli sforzi tra fibra e fibra e tra queste e l'elemento strutturale a cui il composito è applicato.

Essa è generalmente a base di resine epossidiche che per miscelazione con un opportuno reagente, polimerizzano fino a diventare un materiale solido vetroso.

Esistono sul mercato anche matrici inorganiche che, associate a fibre di vetro, basalto o metalliche, si sono rilevate particolarmente promettenti per specifiche applicazioni.

I compositi per il rinforzo strutturale sono disponibili in diverse geometrie: dalle lamine pultruse, caratterizzate da una disposizione unidirezionale delle fibre ed utilizzate preferibilmente per placcare superfici regolari, ai tessuti bidirezionali, facilmente adattabili alla forma dell'elemento strutturale rinforzato.

I vantaggi degli FRP sono molteplici: leggerezza, elevate proprietà meccaniche, caratteristiche anticorrosive.

Inoltre essi risultano competitivi nei casi in cui sia necessario limitare l'impatto estetico sulla struttura, garantire un'adeguata reversibilità dell'intervento, oppure quando lo spazio a disposizione ridotto renderebbe difficile il ricorso a tecniche tradizionali.

Queste possono essere utilizzate per aumentare la resistenza e la duttilità dei pilastri e travi a flessione e per rinforzi a taglio e gli interventi si contraddistinguono in base alla disposizione delle fibre.

Ad esempio, il rinforzo a flessione delle travi può essere eseguito applicando una o più lamine, o strati di tessuto, al lembo teso dell'elemento da rinforzare.

Diversamente, il rinforzo a taglio è generalmente eseguito disponendo tessuti unidirezionali in direzione parallela alle staffe.

Tale intervento può anche favorire il confinamento del calcestruzzo e quindi migliorare la duttilità della sezione.



Figura 4c. Consolidamento del telaio in c.a. mediante fasce di carbonio con specifica disposizione per il rinforzo a taglio e a flessione

INTERVENTI SUI NODI

Nelle strutture in c.a. è necessario porre particolare attenzione al comportamento dei nodi trave-pilastro non confinati, la cui rottura costituisce un pericoloso meccanismo di collasso fragile.

I nodi non confinati sono tipicamente quelli lungo il perimetro della struttura: agli spigoli (nodi d'angolo) o in facciata (nodi intermedi) e tra le varie tecniche disponibili per il loro rafforzamento locale tra le più diffuse vi sono quelle basate su:

- 1) incamiciatura in acciaio;
- 2) placcatura e fasciatura con materiali compositi.

5.0. INTERVENTI CHE RIDUCONO LA DOMANDA

Gli interventi che riducono la domanda sismica possono essere classificati come:

- 1) Interventi che riducono l'energia in ingresso del sistema;
- 2) Interventi che incrementano l'energia dissipata del sistema.

La riduzione dell'energia in ingresso viene generalmente perseguita attraverso l'isolamento alla base della struttura il quale consente di disaccoppiare il moto sismico del terreno dalla struttura.

L'incremento della capacità dissipativa è invece generalmente perseguito attraverso l'introduzione di dispositivi dissipativi.

ISOLAMENTO SISMICO

L'isolamento sismico di edifici esistenti consente di:

- ridurre significativamente le accelerazioni alla base e, di conseguenza, le forze nel sistema e le sollecitazioni sugli elementi strutturali;
- ridurre drasticamente gli spostamenti di interpiano, eliminando il danneggiamento degli elementi non strutturali e garantendo la piena funzionalità e agibilità dell'edificio;
- ridurre drasticamente le accelerazioni e quindi proteggere il contenuto della struttura (impianti, finiture di pregio, ecc.) e mitigare la percezione delle scosse sismiche da parte degli occupanti.

L'isolamento sismico consiste nel disaccoppiare il moto del terreno da quello della struttura, introducendo una 'sconnessione' lungo l'altezza dell'edificio.

Il sistema è identificato da una 'sottostruttura', rigidamente collegata al terreno e da una 'sovrastuttura' mobile.

La continuità strutturale, e quindi la trasmissione dei carichi verticali, è garantita dall'inserimento, all'interfaccia, degli isolatori sismici, caratterizzati da una bassa rigidezza in direzione orizzontale e da una notevole rigidezza in direzione verticale.

La sottostruttura subisce la stessa accelerazione del terreno, mentre la sovrastuttura beneficia degli effetti conseguenti all'incremento di deformabilità, cioè della riduzione della domanda in accelerazione rispetto a quella di una struttura a base fissa.

L'inserimento del sistema di isolamento in una struttura esistente progettata per i soli carichi verticali, e quindi non rispettosa dei criteri di progettazione antisismica, permette alla medesima struttura di resistere a terremoti violenti limitando i danni agli elementi strutturali e non.

I dispositivi di isolamento sismico si distinguono in due categorie:

- 1) isolatori elastomerici;
- 2) isolatori a scorrimento.

Gli isolatori elastomerici sono dispositivi d'appoggio in elastomero armato, costituiti da strati alterni di acciaio e di elastomero collegati mediante vulcanizzazione.

Solitamente sono a pianta circolare, ma possono essere realizzati anche con sezione quadrata o rettangolare.

Sono caratterizzati da ridotta rigidezza orizzontale, elevata rigidezza verticale e capacità dissipative.

Queste caratteristiche consentono rispettivamente di aumentare il periodo proprio della struttura, di sostenere i carichi verticali senza apprezzabili cedimenti, e di contenere lo spostamento orizzontale della struttura isolata.

Il funzionamento degli isolatori a scorrimento a superficie curva o isolatori a pendolo è riconducibile a quello del pendolo semplice, in cui il periodo di oscillazione non dipende dalla massa ma solo dalla lunghezza del pendolo stesso.

Analogamente, attraverso tali dispositivi, il periodo proprio di vibrazione della struttura diventa funzione principalmente dal raggio di curvatura della superficie di scorrimento.

La dissipazione di energia è fornita dall'attrito che si sviluppa durante lo scorrimento, e la capacità di ricentraggio è fornita dalla curvatura della superficie di scorrimento.

L'inserimento del sistema di isolamento in un edificio esistente è un intervento di limitata invasività, dal momento che tutti gli interventi necessari sono concentrati ad un solo piano dell'intera struttura.

I livelli superiori a quello dell'isolamento, infatti, spesso non richiedono alcun intervento grazie alla drastica riduzione delle sollecitazioni agenti.

Le opere necessarie ad introdurre il sistema di isolamento dipendono dalla specifica configurazione architettonica e strutturale dello stesso (presenza di piani interrati, presenza di edifici adiacenti, tipologia strutturale a pareti o a telai, ecc.).

In generale, per poter isolare sismicamente un edificio concepito a base fissa è necessario che:

1. le strutture del piano di posa degli isolatori e del piano su cui appoggia la sovrastruttura assicurino un comportamento rigido nel piano;
2. il fabbricato sia libero di spostarsi nelle diverse direzioni rispetto al terreno circostante.

In base alla specifica configurazione della struttura oggetto dell'intervento, il progettista individua la migliore soluzione perseguibile in relazione a:

- 1) Posizione del piano di isolamento;
- 2) Metodo di trasferimento temporaneo del carico verticale.

Ogni scelta è influenzata principalmente dai seguenti aspetti:

- 1) Destinazione d'uso del piano in cui si inseriscono gli isolatori (tipicamente piano terra o piano interrato);
- 2) Vincoli in adiacenza al fabbricato;
- 3) Tipologia di fondazioni esistenti;
- 4) Dettaglio vano scale e ascensore.

In presenza di piani interrati è molto frequente che il piano di isolamento venga posizionato in testa ai pilastri.

Per garantire l'efficacia del sistema di isolamento è richiesto il ringrosso dei pilastri così da soddisfare le esigenze di ingombro in pianta dei dispositivi e ottenere una sottostruttura sufficientemente rigida.

La rigidità richiesta al di sopra del piano di isolamento è invece offerta dal solaio esistente o può essere garantita dalla realizzazione di un graticciato di travi.

La scelta di disporre gli isolatori in testa ai pilastri favorisce le operazioni di ispezione e manutenzione dei dispositivi, che sono imposte dalla normativa vigente.

In questi casi, particolare attenzione è però richiesta nello studio dei giunti orizzontali, soprattutto in corrispondenza del vano scale e ascensore.

Quando non si dispone di un piano interrato o quando per esigenze funzionali non è possibile ringrossare i pilastri del primo livello dalla fondazione, è possibile posizionare il piano di isolamento al piede dei pilastri.

Tale scelta rende necessaria la realizzazione di un nuovo solaio immediatamente sopra gli isolatori, in modo tale da garantire la presenza del piano rigido al di sopra dei dispositivi.

Immediatamente sotto, invece, generalmente non è necessario poiché si trovano le travi di fondazione o la platea.

Un aspetto a cui è necessario prestare particolare attenzione in questo tipo di intervento riguarda il metodo di trasferimento temporaneo dei carichi verticali usato durante le operazioni di taglio del pilastro, il successivo inserimento dell'isolatore, e per le eventuali successive operazioni di sostituzione.

DISPOSITIVI PER LA DISSIPAZIONE DI ENERGIA

L'inserimento di controventi metallici consente l'incremento di rigidità e resistenza delle strutture.

L'efficacia di tale intervento può essere migliorata tramite l'inserimento in serie con gli stessi controventi di sistemi di dissipazione di energia.

In tal modo, l'incremento di capacità è affiancato da una riduzione della domanda ottenendo un duplice effetto benefico per la struttura. I dispositivi possono essere classificati in:

- Dispositivi con comportamento dipendente dalla velocità, tra cui viscosi e viscoelastici;
- Dispositivi con comportamento dipendente dallo spostamento, tra cui attritivi ed elasto-plastici.

DISPOSITIVI DIPENDENTI DALLA VELOCITÀ

In tali dispositivi il comportamento è funzione della velocità di deformazione.

Tali dispositivi conservano le proprie caratteristiche anche dopo un elevato numero di cicli e questo permette di evitarne la sostituzione dopo un evento sismico di elevata intensità.

Nei dispositivi viscosi la dissipazione avviene per conversione in calore dell'energia meccanica fornita ad un pistone che deforma una sostanza viscosa.

Il sistema più elementare consiste in un cilindro riempito di un fluido che viene compresso da un pistone. Il fluido passando attraverso degli orifizi, fa nascere una forza viscosa reattiva proporzionale alla velocità di deformazione e tale forza è proporzionale alla forza di attrito sviluppata dal liquido durante il passaggio attraverso gli orifizi stessi.

Le caratteristiche di dissipazione di questi dissipatori dipendono dalla geometria del cilindro e degli orifizi, oltre che dal tipo di fluido viscoso utilizzato.

Mediante opportuni accoppiamenti fluido-orifizio si possono ottenere risposte non lineari in cui la forza è proporzionale ad una potenza della velocità e questo ha delle ripercussioni importanti a livello di progetto.

Il sistema accoppiato telaio-controvento dissipativo fa sì che l'azione sismica sia fronteggiata in parte dalla reazione del telaio, in modo proporzionale agli spostamenti, e in parte dalla reazione del controvento dissipativo, in modo proporzionale alla velocità.

Se si schematizza l'azione sismica come una forzante oscillatoria, si ha che i valori massimi di azione sui due sistemi avvengono in istanti diversi e la rigidità del sistema, intesa come rapporto

tra reazione e spostamenti, non è significativamente influenzata dal controvento perché la velocità è solitamente piccola quando gli spostamenti raggiungono i valori più elevati.

Semplificando, questo significa che i dissipatori fluido-viscosi permettono di ottenere dissipazione senza alterare significativamente il periodo della struttura originaria.

Grazie a questa ridotta interazione tra rigidità del sistema esistente e capacità dissipativa del controvento viscoso la progettazione ne risulta semplificata e le prestazioni del sistema maggiormente controllabili.

I costi sono solitamente proporzionali al massimo spostamento di progetto (corsa) e alla massima forza che devono sostenere.

Rispetto ad altre soluzioni, il singolo dispositivo presenta spesso costi non competitivi ma il loro utilizzo può comunque risultare efficiente in una valutazione complessiva dell'intervento grazie alla loro elevata capacità dissipativa e al fatto che non devono essere sostituiti dopo un evento sismico.

Appartengono a questa categoria anche i dispositivi viscoelastici generalmente costituiti da gomme ad alta dissipazione.

In questo caso, il materiale presenta sempre una capacità di dissipare energia dipendente dalla velocità ma, a differenza del caso precedente, il sistema offre anche delle capacità di ricentraggio.

Lo stesso risultato si può ottenere con dispositivi meccanici che accoppiano i precedenti dissipatori fluido-viscosi con un sistema di richiamo elastico in parallelo.

I dissipatori visco-elastici presentano solitamente capacità di smorzamento più contenute rispetto ai dispositivi viscosi e il loro interesse applicativo è solitamente giustificato dalla loro capacità di fornire anche un contributo alla rigidità del sistema, oltre ad un contributo dissipativo.

Come i precedenti, i dispositivi viscoelastici possono essere inseriti all'interno di controventi dissipativi realizzati con membrature metalliche che possono essere inserite nella struttura con diverse configurazioni.

La suddivisione di ruoli tra telaio originario (rigidità) e controvento (dissipazione) osservata per i sistemi puramente viscosi non è più presente in questo caso in quanto è il controvento stesso produce contemporaneamente rigidità e dissipazione; tuttavia, l'interazione tra i due sistemi strutturali, telaio e controvento, diviene più articolata e la progettazione più complessa.

DISPOSITIVI DIPENDENTI DALLO SPOSTAMENTO

Sono tutti i dispositivi il cui meccanismo dissipativo risulta scarsamente influenzato dalla velocità, dipendendo fondamentalmente dallo spostamento impresso al sistema.

Questi sono principalmente dispositivi attritivi ed elasto-plastici.

I 'dispositivi ad attrito' dissipano energia attraverso l'attrito che si sviluppa al contatto tra due superfici che scorrono l'una rispetto all'altra.

L'effettiva forza di attrito dipende dalle caratteristiche superficiali delle parti a contatto e dalla forza di coazione normale al piano di scorrimento.

Tale forza è controllabile, verificabile e ricalibrabile durante le regolari operazioni di manutenzione: fattori ambientali e condizioni di esercizio, infatti, possono spesso determinare nel tempo variazioni del coefficiente di attrito e/o della forza di coazione.

La conservazione delle caratteristiche nel tempo deve essere valutata attentamente e verificata sulla base di un piano di manutenzione adeguato e questo aspetto risulta particolarmente importante dal momento che un eventuale 'incollaggio' delle parti determinerebbe la completa inefficacia del dispositivo, così come un allentamento dei componenti che controllano la forza di coazione.

Diversamente i 'dispositivi elasto-plastici' dissipano energia attraverso le deformazioni inelastiche dei metalli che, superato un prefissato livello di carico, si plasticizzano.

I più diffusi dispositivi elasto-plastici sono i controventi ad instabilità impedita e rappresentano un'evoluzione del classico controvento concentrico con elementi diagonali.

Nei controventi ad instabilità impedita, un elemento duttile, solitamente piuttosto sottile, e confinato all'interno di una 'scatola rigida' che ne impedisce lo sbandamento laterale quando soggetto a compressione.

Questo fa sì che tali controventi abbiano un comportamento post-elastico circa simmetrico in trazione e compressione garantendo un'elevata dissipazione di energia.

Nel caso di adeguamento di edifici esistenti in c.a., generalmente caratterizzati da limitata capacità di deformazione, la rigidità del controvento è controllata mettendo il dispositivo dissipativo in serie con un elemento sovrarestistente a comportamento elastico.

Tale configurazione consente di controllare indipendentemente la rigidità del controvento, controllando la lunghezza del tratto deformabile, e la forza di snervamento, tramite l'area dell'anima che si plasticizza.

Un aspetto delicato della progettazione dei dispositivi isteretici riguarda la limitata capacità del materiale di subire deformazioni cicliche in campo plastico (fatica oligociclica).

In genere, si osserva che più l'ampiezza della deformazione plastica è grande e meno cicli possono essere sostenuti dal materiale. Ne consegue che, diversamente dai casi precedenti (viscosi, viscoelastici e attritivi), potrebbe essere necessaria la sostituzione di tali dispositivi a seguito di un evento sismico importante.

Inoltre, è necessario prestare attenzione all'incremento di rigidità indotto nel sistema dall'introduzione dei dispositivi.

Questo è di particolare interesse poiché nella maggior parte dei casi la maggiore rigidità risulta in una maggiore domanda sismica.

Le prestazioni dissipative dei dispositivi isteretici o ad attrito sono generalmente molto elevate e superiori a quelle che si ottengono con i sistemi viscoelastici.

Questo aspetto, insieme al costo limitato dei materiali e alla semplicità delle lavorazioni, hanno determinato un considerevole successo di questi dispositivi ed un'ampia diffusione nell'adeguamento di edifici esistenti.

Per quanto riguarda la progettazione, si osserva che la semplificazione nello studio della risposta dovuta alla loro indipendenza dalla velocità è controbilanciata dalla complessità prodotta dal comportamento non lineare che può determinare effetti non facilmente prevedibili.

Di fatto, una valutazione adeguata delle prestazioni sismiche richiede sempre l'utilizzo di analisi dinamiche non lineari.

Infine, per quanto riguarda le valutazioni costi-benefici, è utile ricordare che le economie immediatamente conseguibili grazie al costo ridotto e alla semplicità costruttiva potrebbero essere

compensate dalla necessità di interventi ogni volta che un evento sismico provochi il superamento della soglia elastica.

Nel caso di dispositivi ad attrito l'intervento può limitarsi al riposizionamento dei dissipatori e alla contemporanea verifica delle condizioni delle superfici di scorrimento e del sistema di coazione.

Nel caso di dispositivi isteretici, la limitata capacità di sopportare deformazioni plastiche cicliche implica in alcuni casi la loro completa sostituzione.

SISTEMI DI PROTEZIONE PASSIVA DEGLI OCCUPANTI

Tra i vari interventi possibili vi sono anche quelli che, sebbene non incrementino le capacità della struttura, consentono di ridurre il rischio degli occupanti.

Infatti, il crollo degli elementi non strutturali rappresenta un elevata componente di rischio.

Tecnologie specifiche sono finalizzate a migliorare il comportamento sismico di tali componenti e consentono ad esempio di evitare il ribaltamento delle tamponature e lo sfondellamento dei solai.