

## DANNI STRUTTURALI DA SISMA IN EDIFICI IN CALCESTRUZZO ARMATO

Michele DE LORENZI \*

\* *Ingegnere Civile-Geotecnica*

### INTRODUZIONE

I danni strutturali provocati da un terremoto negli edifici in calcestruzzo armato, riscontrati in occasione di tutti i più importanti eventi sismici del mondo, sono dovuti essenzialmente alle seguenti cause:

- *piano soffice;*
- *rottura del confinamento nei pilastri;*
- *effetto di irrigidimento dovuto a pareti non strutturali;*
- *architravi deboli nelle strutture a pareti a taglio;*
- *rotture nei nodi trave-pilastro.*

Si esamineranno brevemente nel seguito queste cause, mostrando alcuni esempi di immagini significative di danni strutturali da esse provocati su edifici reali.

### PIANO SOFFICE

Questa è una delle cause più tipiche di danno da sisma. Quasi sempre i danni dovuti a piano soffice sono distruttivi per l'edificio. Il piano soffice si viene a creare quando un piano ha una rigidezza più debole degli altri. Questa situazione è difficile da evitare perché molto spesso nasce dalla necessità di avere delle ampie aperture (ad esempio le vetrate per negozi al piano terra, ovvero un parcheggio) che ne diminuiscono di conseguenza la rigidezza.

Nella Figura 1 si può notare la tipica rottura per piano soffice. La foto riporta il danneggiamento di un edificio commerciale a Managua (Nicaragua, terremoto del 1972) in cui il piano terra è, ad eccezione delle vetrate, completamente aperto. Il primo piano, come detto, avendo i muri laterali che incrementano notevolmente la sua rigidezza rispetto a quella del piano terra, ha causato la distorsione delle colonne, con formazione di cerniere alla base e alla testa dei pilastri del piano terra.



Figura 1



Figura 2

Nella Figura 2 si vedono due reparti dell'Olive View Hospital di San Fernando in California dopo il terremoto di San Fernando del 1971. I pilastri del reparto psichiatrico hanno ceduto per taglio. Il primo piano è caduto a terra traslando di circa 2 m.

Nelle Figure 3, 4 e 5 sono riportati altri esempi di crolli per piano soffice. Nella Figura 4 il calcestruzzo non confinato dei pilastri d'angolo si è frantumato in blocchi parzialmente trattenuti dalla gabbia di armatura. Per evitare questo tipo di danni occorre prestare attenzione ai dettagli costruttivi delle armature trasversali dei pilastri.



Figura 3



Figura 4



Figura 5

### **ROTTURA DEL CONFINAMENTO NEI PILASTRI**

Altra causa importante di danni ai pilastri è la non adeguata staffatura trasversale (confinamento). Affinché i pilastri possiedano una adeguata resistenza all'azione sismica devono essere opportunamente confinati. Infatti i pilastri sono soggetti ad elevate compressioni durante un sisma dovute all'effetto combinato di forza assiale e momento flettente. Nelle Figura 6 è riportato un esempio di cedimento del confinamento. In essa si può notare la mancanza di un adeguato confinamento del pilastro nelle potenziali zone di formazione delle cerniere plastiche.

Il cedimento dell'armatura trasversale porta alla rottura di tipo fragile del calcestruzzo e all'instabilità dell'armatura longitudinale a compressione (Figura 6). Inoltre, oltre alla necessaria quantità di staffatura, bisogna anche prestare particolare attenzione ai dettagli costruttivi e, in particolar modo, all'ancoraggio delle staffe ed alle loro piegature, portando il confinamento del pilastro fino alla trave in modo tale che non si formi un punto debole proprio alla estremità superiore.

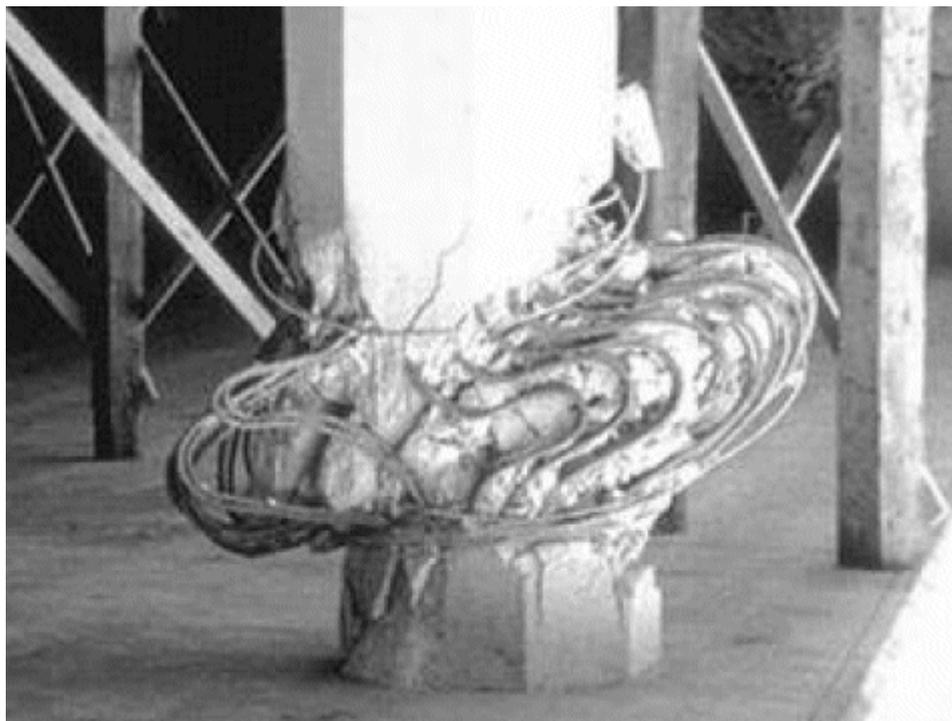


Figura 6

Infatti, com'è ben evidenziato dall'esempio della Figura 7, e dal particolare ingrandito della Figura 8, si osservi l'interruzione della staffatura a spirale all'estremità superiore, e l'assenza di un ancoraggio adeguato: questo causa perdita del confinamento del calcestruzzo nella zona più critica della colonna con conseguente distruzione del calcestruzzo e riduzione della capacità dissipativa, comportando la formazione della cerniera plastica evidenziata nelle foto.

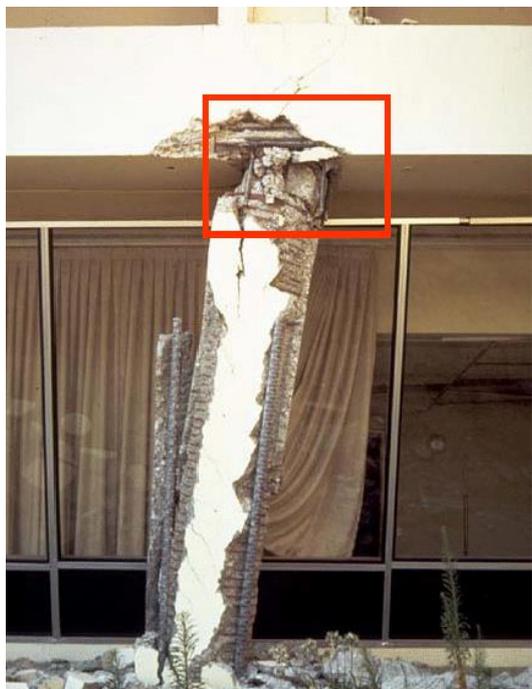


Figura 7



Figura 8

Nella Figura 9 si vede il crollo di un edificio, per effetto del sisma di Northridge (California) nel 1994, nei quali i pilastri di calcestruzzo non hanno subito la formazione di cerniere plastiche alle estremità a causa dell'elevato confinamento dell'armatura che li ha resi estremamente duttili.

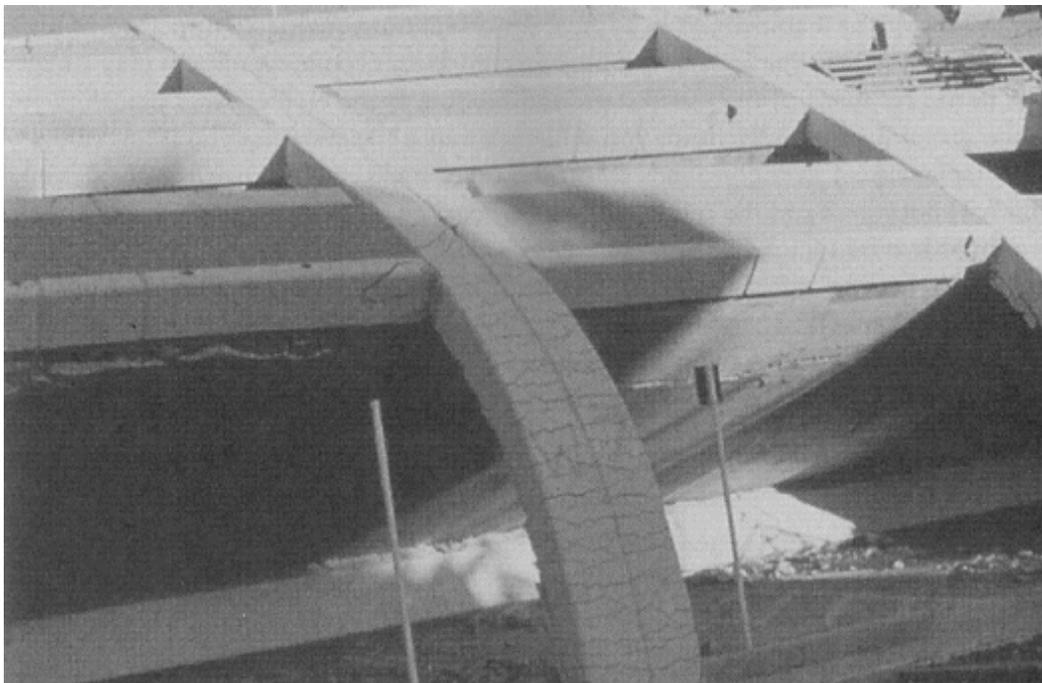


Figura 9

#### **EFFETTO DI IRRIGIDIMENTO DOVUTO A PARETI NON STRUTTURALI**

É molto importante tener conto dei possibili effetti di irrigidimento che parti non strutturali possono conferire alla struttura. La presenza di tamponature in muratura più rigide dei pilastri può causare notevoli danni alle colonne, com'è chiaramente mostrato nella Figura 10.

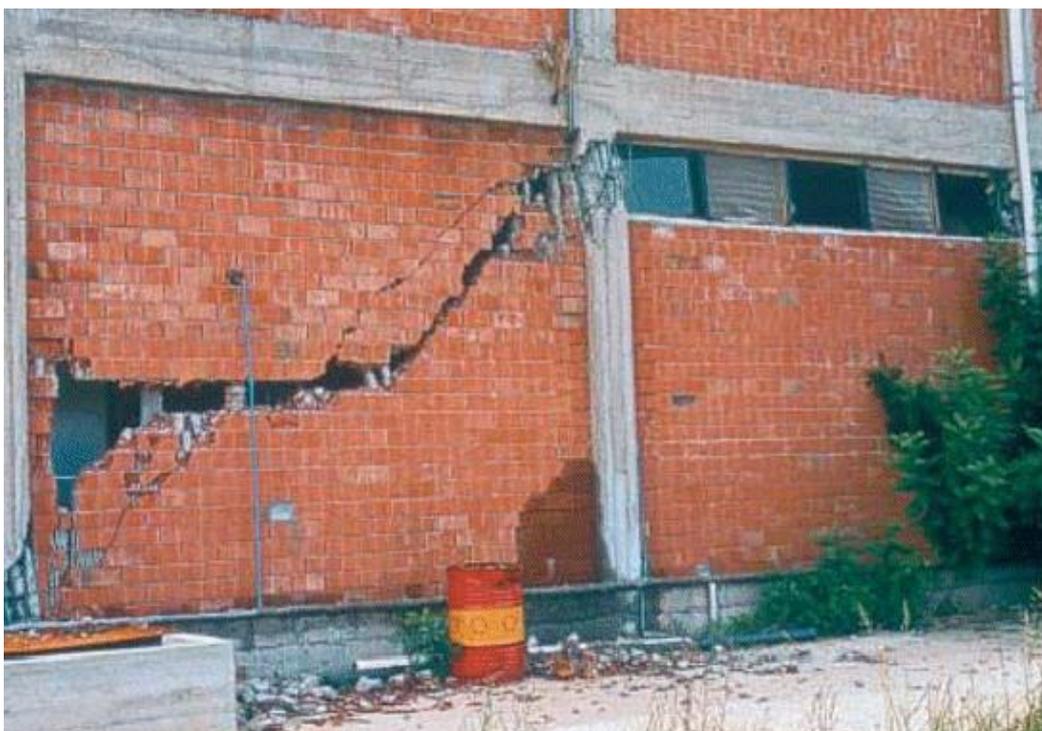


Figura 10

Notevoli danni si verificano anche quando l'altezza della tamponatura di interpiano è una frazione di quella del piano. L'esempio tipico è la chiusura della luce fra due pilastri con muratura fino a 1/2 o 2/3 circa dell'altezza del piano. I pilastri fra i quali viene posto il riempimento risultano irrigiditi rispetto agli altri (quelli interni). Nelle zone libere, dove si ha normalmente la finestratura, si formano sforzi di taglio anche quattro volte superiori a quelli che si avrebbero nel caso in cui il pilastro fosse completamente libero, provocando la tipica rottura fragile (Figure 11 e 12).



Figura 11



Figura 12

La Figura 13 riporta un esempio di riempimento a metà altezza. Si notano molto bene le zone del pilastro che hanno ceduto. Praticamente la lunghezza utile del pilastro viene ridotta col riempimento di muratura; a causa di questa riduzione aumentano gli sforzi a taglio sulla parte libera del pilastro (effetto "colonna corta", Figura 14). Nel progetto di tale edificio, probabilmente, la muratura è stata considerata come un elemento non strutturale.



Figura 13

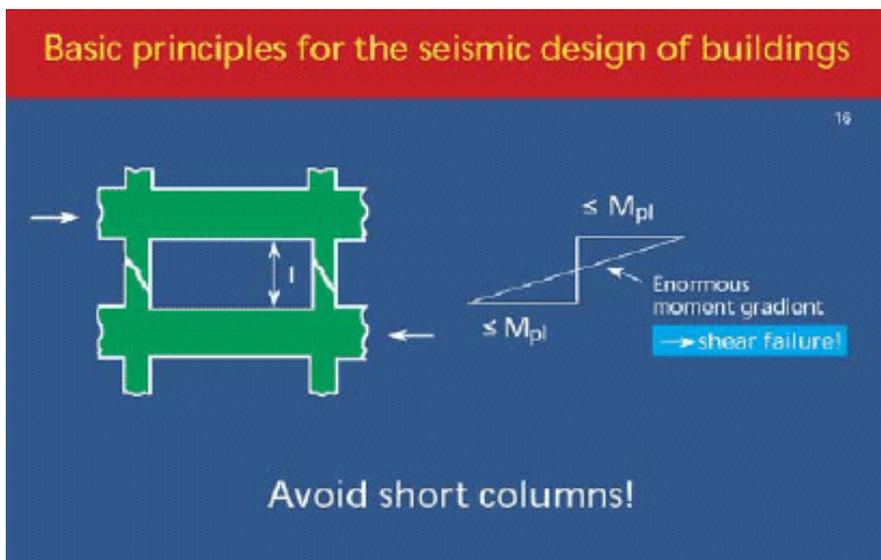


Figura 14

Se invece è la muratura ad essere meno rigida dei pilastri, in caso di evento sismico essa viene espulsa lasciando intatto il telaio strutturale dell'edificio (Figure 15 e 16).



Figura 15



Figura 16

### ARCHITRAVI DEBOLI NELLE STRUTTURE A PARETI A TAGLIO

Gli architravi nelle strutture a pareti a taglio, se corte di piccola altezza, sono sempre soggetti ad elevate richieste di duttilità ed elevate forze di taglio.



Figura 17

La Figura 17 a lato mostra il particolare di un edificio di 14 piani con le tipiche rotture ad X che si vengono a formare (terremoto del 1964 in Alaska). La precoce formazione di queste rotture ha impedito la dissipazione di energia nelle architravi ed ha fatto sì che i muri lavorassero come delle singole mensole verticali con un significativo decremento nella loro rigidità.

Per evitare questo tipo di rottura bisogna rinforzare gli architravi con armature diagonali per assorbire gli elevati sforzi di trazione che si generano.

## ROTTURE NEI NODI TRAVE-PILASTRO

Le connessioni trave-pilastro sono zone molto critiche a causa degli elevati sforzi che si generano per effetto delle azioni dinamiche provocate da un sisma. Questo è particolarmente vero per le connessioni di estremità dei telai nelle quali i nodi risultano meno “confinati” dalla struttura, e quindi più “esposti” rispetto a quelli in posizione più centrale. Per questo motivo le zone delle connessioni devono essere realizzate con armature idonee a garantire un adeguato confinamento del calcestruzzo, proprio per poter resistere alle elevate sollecitazioni sismiche di taglio/momento.

Le foto di Figura 18 e Figura 19 mostrano due esempi di rotture di questo tipo in nodi trave-pilastro di edifici danneggiati.



Figura 18



Figura 19