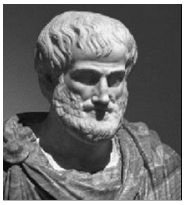
EdA – Esempi di Architettura on.line
ISSN 2035-7982

NUOVI ORIZZONTI PER UN'ARCHITETTURA ANTISISMICA

ALBERTO PARDUCCI

SECONDA PARTE

4. VERSO UN'ARCHITETTURA ANTISISMICA



Un corpo in moto si arresta allorché la forza che lo spinge non può più oltre agire in modo da spingerlo.

dalla "Meccanica" di Aristotele

In principio c'era Aristotele,
e i corpi in quiete tendevano a rimanere in quiete,
e i corpi in moto tendevano a raggiungere la quiete,
e presto tutto era in quiete,
e Dio vide che ciò era noioso.

Corpus omne perseverare in statu suo quescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare.

Isaac Newton, "De Motu Corporum", 1684)

4.1. L'aspetto energetico

Se si devono escogitare strategie di progetto idonee a controllare il comportamento di una costruzione quando i materiali superano i limiti di normale resistenza, il concetto tradizionale di "resistenza" (meglio dire di "capacità") basato sulla sola valutazione di forze o di tensioni locali non è sufficiente. Pensare in termini di forze esterne equivalenti, come se si trattasse del vento, può essere un artificio utile per risolvere alcuni momenti pratici di un progetto, ma non riproduce la realtà dei fenomeni e non consente di comprendere il problema sismico nella sua essenza. Un modo di ragionare semplice e più corretto è il seguente. Il suolo, imponendo spostamenti ad una fondazione sulla quale gravano molte masse, produce lavoro ed immette energia nella costruzione. L'energia si trasmette alle parti soprastanti, dal basso verso l'alto, attraverso gli stessi elementi che compongono la costruzione. Quest'energia deve essere gestita dal sistema resistente e deve essere consumata mobilitando tutte le capacità dissipative disponibili (Figura 5). Se le

ISSN 2035-7982

capacità dissipative non sono sufficienti la costruzione non può sopravvivere [10]..

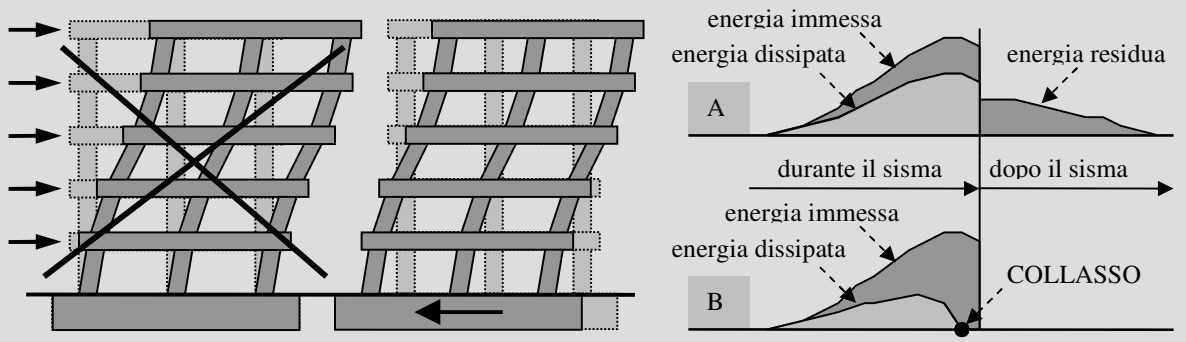


Figura 5 - Energia immessa e dissipata

Ai fini pratici è utile schematizzare il problema, sia pure in maniera semplificata, separando i seguenti modi secondo i quali può manifestarsi l'energia meccanica di una struttura durante le oscillazioni sismiche (Figura 5). Lo scopo è di mettere in evidenza il contributo isteretico associato al danneggiamento (duttile) della costruzione.

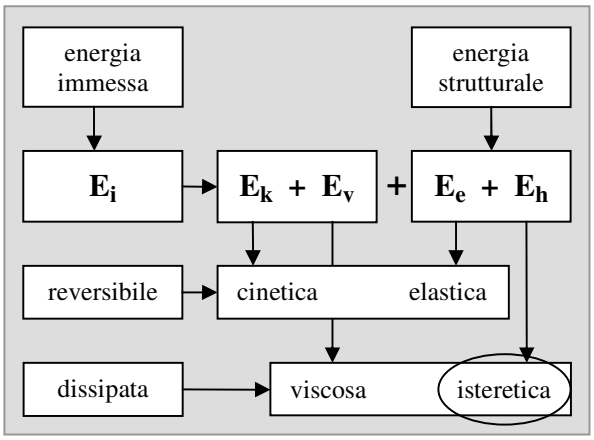
$\mathbf{E_i}$ = energia complessiva immessa nella costruzione;

$\mathbf{E_k}$ = energia cinetica delle masse in movimento;

$\mathbf{E_v}$ = energia "viscosa" associata in prevalenza alla risposta elastica;

$\mathbf{E_i}$ = energia potenziale di deformazione elastica;

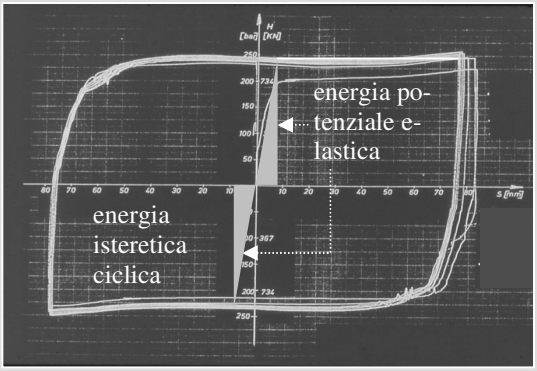
$\mathbf{E_i}$ = energia di deformazione "isteretica" associata alle deformazioni plastiche irreversibili (danneggiamenti).

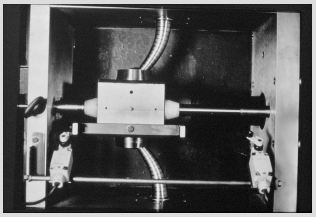


La Figura 6 riproduce il comportamento isteretico "quasi statico" (deformazioni lente) di un dispositivo di isolamento composto da elementi metallici molto duttili, di forma appropriata, sottoposti ad ampie deformazioni anelastiche, alternate e ripetute. E' evidente l'elevato rapporto che sussiste fra l'energia isteretica (non restituibile) dissipata durante ogni ciclo e l'energia di deformazione restituibile relativa alle sole deformazioni elastiche, cui è da associare, secondo lo sche-

ISSN 2035-7982

ma proposto, l'energia dissipata per deformazioni viscose.





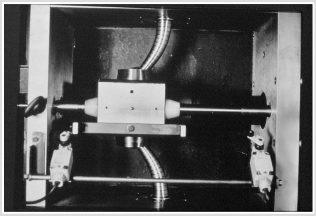


Figura 6

Cicli di isteresi di isolatori elasto-plastici composti da elementi metallici duttili per forma, sottoposti a prove di flessione alternata e ripetuta.

Per le considerazioni che seguono è da osservare che il comportamento molto duttile del dispositivo dipende dalla "forma" affusolata degli elementi metallici che lo compongono. Infatti, la sollecitazione di deformazione plastica imposta a ciascuno di essi si distribuisce uniformemente su tutta la lunghezza, senza concentrarsi in una zona ristretta, come accadrebbe, per esempio, se gli elementi avessero una sezione cilindrica costante. La forma degli elementi rende massima la disponibilità di energia potenziale globalmente disponibile, sia quella elastica, sia quella isteretica dovuta alla duttilità plastica complessiva. Nel loro piccolo, questi elementi sono da considerare già come un esempio di *"deformabilità elastica e plastica per forma"*.

Il modello energetico ora visto consente un'interpretazione semplice, ma significativa]. Perché una costruzione attaccata da un terremoto possa mantenersi in campo elastico la capacità dissipativa viscosa associata a queste deformazioni deve essere sufficiente per dissipare tutta l'energia immessa. In tal caso, la costruzione supera l'evento senza danni, seguendo lo schema A della Figura 6. Se alla deformazione elastica non corrisponde un'adeguata capacità dissipativa viscosa, la costruzione deve dissipare energia mobilitando deformazioni isteretiche di tipo plastico. Anche in questo caso la costruzione può superare l'evento secondo lo schema A, ma a prezzo dei danni associati alle deformazioni plastiche. Infine, lo schema B corrisponde al crollo dovuto ad una capacità dissipativa viscosa ed isteretica insufficiente.

4.2. Il paradosso del progetto tradizionale

I fattori che danneggiano una costruzione multipiano nel caso di un attacco sismico sono:

- le deformazioni (scorrimenti d'interpiano) associate ai danni degli elementi strutturali, che danneggiano anche gli elementi non strutturali (partizioni interne ed esterne) e gli impianti;
- le accelerazioni trasmesse ai piani, che provocano i danni alle cose contenute (arredi, attrezzature, macchinari, ecc.) e talvolta alle persone (cadute).

Il progetto tradizionale, basato sulla sola resistenza meccanica degli elementi strutturali, conduce al seguente paradosso:

- per ridurre gli scorrimenti di piano occorrono strutture resistenti, quindi rigide; ma quanto più una struttura è rigida, tanto più grandi sono le accelerazioni trasmesse ai piani soprastanti;
- per ridurre le accelerazioni occorrono strutture deformabili; ma quanto più le strutture sono deformabili, tanto più grandi sono gli scorrimenti di piano.

Ai fini della sola resistenza, un struttura resistente e rigida potrebbe sembrare ancora accettabile; ma gli spostamenti e gli scorrimenti relativi sono piccoli. Rimane quindi ancora una carenza riguardante i requisiti energetici. La dissipazione richiede spostamenti grandi, non piccoli. Pertanto l'approccio tradizionale finalizzato alla sola ricerca della sola resistenza meccanica non consente di progettare per ridurre entrambi i fattori di danno. Il problema può essere risolto, come si vedrà, mediante l'applicazione delle nuove tecniche di protezione sismica; nel modo più efficace con l'Isolamento alla Base.

4.3. Alcuni esempi di architettura antisismica tradizionale.

In passato, il progetto antisismico orientato verso il criterio delle forze ha condotto a progettare le strutture affidando la resistenza ad elementi irrigidenti di cemento armato (nuclei e pareti di taglio), a sistemi di telai interagenti (tipico il sistema "tube in tube" di molti grattacieli) tavolta dotati di piani tecnici per favorire un effetto globale "shear type", oppure ad elementi diagonali incrociati (cross-bracing systems) generalmente di acciaio, talvolta visibili anche in facciata.

ISSN 2035-7982

Un elegante impiego di strutture diagonali caratterizza l'"Alcoa Building" (Figura 7), di San Francisco, progettato da Skidmore, Owings e Merrill nel 1964. I progettisti hanno curato anche il problema di un piano terra aperto, mediante un'accorta interazione delle diagonali con i pilastri di base, opportunamente rinforzati, e mediante la realizzazione di un solaio di primo livello capace di stabilire un'efficace collaborazione con i due nuclei centrali di cemento armato.

Figura 7 - L'Alcoa Building di San Francisco (1964)

Ancora a San Francisco, la "Transamerica Pyramid", costruzione prossima alla baia che caratterizza lo skyline della città (Figura 8), è' stato progettato da William Pereira con criteri ancora tradizionali; il suo interesse risiede nella forma molto particolare, studiata in funzione di una corretta concezione antisismica.

Figura 8 - La Transamerica Pyramid di San Francisco), XX secolo e la Horyuji Pagoda di Nara (Kyoto), XIV secolo

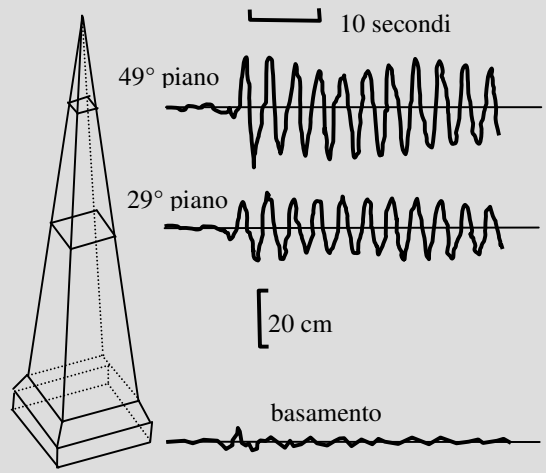
ISSN 2035-7982

L'edificio è stato ultimato nel 1972; è alto 260 metri ed è dotato di una struttura metallica formata da un telaio perimetrale ed uno interno. La sua forma, che all'inizio fu molto criticata, corrisponde agli indirizzi compositivi ora sostenuti da alcuni ricercatori dell'Università di Northridge [12], che insistono sull'importanza degli snellimenti lungo l'altezza, riguardanti principalmente la forma, ma anche le distribuzioni delle masse e delle rigidezz.

La capacità antisismica della costruzione dipende essenzialmente dal requisito di deformabilità elastica associato alla forma assottigliata che assicura una grande deformabilità laterale. Il periodo di oscillazione è di circa 3 secondi, valore che è fuori dal campo delle massime amplificazioni spettrali di risposta. La particolare configurazione consente di ottenere un'equilibrata composizione delle forme modali, tale da rendere massima l'energia potenziale elastica complessiva, mobilitando uniformemente l'energia di deformazione disponibile lungo tutta l'altezza. Ciò rendere massima l'ampiezza della risposta allo stato limite elastico. Quest'interpretazione appare confermata dai valori non molto differenti dei primi periodi di oscillazione laterale (tabella della Figura 9). Inoltre, all'occasione, la forma affusolata dovrebbe estendere i suoi benefici anche alle fasi di superamento dei limiti elastici, come si è visto con i cicli di isteresi degli elementi metallici mostrati nella precedente Figura 6. Nel caso della "Transamerica Pyramid" è da tenere presente anche la sistemazione dei primi livelli a terra, dove l'allargamento della struttura portante, assicura un effetto stabilizzante e consente di ottenere la disponibilità di spazi aperti alla base grazie ad un sistema di elementi incrociati di cemento armato, sollecitati prevalentemente da forze assiali anche nei confronti delle azioni sismiche.

Durante il terremoto di Loma Prieta del 1989 [52], che provocò danni gravissimi in varie zone della baia (si ricorda il crollo del lungo viadotto a due livelli, presso Oakland, e di una campata del "Bay Bridge"), la costruzione ha confermato la sua capacità di deformazione elastica oscillando per oltre un minuto, con spostamenti registrati all'ultimo piano di ampiezza superiore ai 20 centimetri, senza provocare danni alle persone o alle cose (Figura 9).

ISSN 2035-7982



Periodi di oscillazione della Transamerica Pyramid

MODO	EW (s)	NS (s)	Tors (s)
1	3.03	2.97	2.24
2	1.62	1.59	1.23
3	1.19	1.14	0.94
4	0.91	0.90	0.79
5	0.67	0.66	---
6	0.58	058	---

Figura 9 - Transamerica Pyramid. Accelerazioni registrate durante il terremoto di Loma Prieta (San Francisco) del 1989 [XX]

E' stato notato che le forme assottigliate caratterizzano anche le antiche pagode del Giappone e quelle delle zone più sismiche della Cina (Figura 10). La "Horyuji Pagoda (Figura 8), come le altre di Kyoto, è di legno; la struttura portante centrale, nascosta dai grandi sbalzi che con il loro peso la sollecitano notevolmente, è piuttosto snella. Le pagode cinesi sono in muratura. Per quanto concerne la "Big Goose Pagoda" di Xian, fonti storiche della dinastia Ming (1368-1644) riferiscono che la costruzione avrebbe sopportato numerosi terremoti, fra i quali uno particolarmente catastrofico, di magnitudo 8.0, che distrusse l'intera provincia di Huaxian provocando oltre 830˙000 vittime. L'evento produsse solo alcuni danni alla zona del pinnacolo. Non è noto però quale sia stato l'effettivo movimento del suolo nella zona della costruzione.

Figura 10 - Due pagode di Dali (Yunnan Province) e la Big Wild Goose Pagoda (Xian), in Cina.

4.4. La differenziazione delle funzioni.

Una proposta interessante [6] consiste nell'attribuire a due sistemi strutturali differenti le funzioni resistenti di un edificio antisismico: una per sostenere i carichi verticali gravitazionali; un'altra per opporsi agli attacchi di un terremoto. (Figura 11). L'accorgimento consente di ottimizzare le caratteristiche strutturali di ciascuno dei due sistemi in relazione alla sua specifica funzione. L'idea appare interessante anche ai fini dell'operatività dell'edificio e degli interventi di riparazione dopo un evento distruttivo.

Figura 11 - Schemi che suggeriscono la separazione delle funzioni resistenti [XX]