

LA PERDITA (?) DI IDENTITÀ DELL'ARCHITETTURA A SEGUITO DI INTERVENTI DI ADEGUAMENTO SISMICO.

Paola Danaro¹

SOMMARIO

Definire un edificio attraverso un processo di identificazione di esso prescinde da una necessità di conoscenza dello stesso.

Avviene ciò, o è avvenuto, negli interventi (spesso dettati da tempi mediatici) sugli edifici esistenti a seguito di eventi tellurici?

Si ha la “classica” corrispondenza tra sistema costruttivo ed elemento architettonico? O l'elemento architettonico che nasce per rispondere alle leggi della natura è diventato vittima delle leggi dell'uomo?

Questo lavoro nasce dalla consapevolezza, diventata per me un'esigenza, che il momento ingegneristico, deve andare oltre la propria logica tecnico – costruttiva, che esercita sempre grande attrazione, a volte talmente forte da costruire in sé il valore dell'edificio.

La nascita dei moderni mezzi per il calcolo strutturale, l'uso spesso incosciente del metodo degli elementi finiti, ha tendenzialmente trasformato l'azione dell'ingegnere in quella di un calcolatore inconsapevole. L'intervento strutturale su un edificio esistente, anche di carattere ingegneristico, qualora questo fosse effettivamente scisso da quello architettonico, non può prescindere dalla conoscenza della qualità architettonica dello stesso.

Quando si parla di qualità risulta difficile interpretarla con i criteri “deterministici” o “determinati” della ricerca scientifica, per venirmi in aiuto ho fatto ricorso a delle “categorie” di interpretazione del legame tra Architettura e Struttura: *Forma architettonica e struttura in elevazione; Forme a contrasto, Funzione strutturale; struttura e luce; Rappresentazione e simbolismo; Struttura nascosta;*

Tali categorie servono come sistema di interpretazione dell'influenza degli elementi strutturali di adeguamento sismico dell'esistente sulla forma e lo spazio dell'edificio, valutando l'esistenza, o la possibilità, di un dialogo tra l'elemento strutturale e l'elemento architettonico.

Ciò che è fondamentale sottolineare, a monte di ogni azione di tipo strutturale, è la necessità che vi sia una corretta valutazione delle effettive capacità prestazionali dell'edificio esistente per poter interpretare un corretto dialogo tra l'affidabilità strutturale e la qualità architettonica.

¹ Università *mediterranea* di Reggio Calabria, via dell'Università 25, 89124, Reggio Calabria, paola.danaro@unirc.it

1. Introduzione

Gli edifici esistenti presentano inevitabili carenze strutturali nei confronti delle azioni sismiche, dovute essenzialmente al progressivo miglioramento della comprensione del comportamento dinamico delle strutture, al conseguente progresso delle prescrizioni normative, sempre più precise e dettagliate, al perfezionamento dei processi costruttivi.

Alla luce delle conoscenze attuali, le norme secondo cui è stata progettata la gran parte degli edifici esistenti sono oramai obsolete. I concetti di duttilità e di *capacity design*, infatti, sono stati introdotti solo in un periodo relativamente recente. Fino ad allora non si avevano sufficienti elementi per poter evitare il collasso di un edificio nel caso in cui le forze sismiche superavano la sua resistenza di progetto. Con il passare del tempo, tuttavia, le informazioni ottenute dallo studio degli effetti dei diversi terremoti e le sperimentazioni in laboratorio hanno determinato un notevole miglioramento delle norme sismiche.

Per queste ragioni non deve sorprendere se al giorno d'oggi molti edifici esistenti presentano una notevole vulnerabilità sismica e possono subire danni, anche gravi, in occasione di terremoti di modesto contenuto energetico.

Nel nostro Paese, in particolare, i recenti eventi sismici hanno dimostrato ancora una volta l'inaccettabile vulnerabilità del patrimonio edilizio esistente e l'inderogabile urgenza di iniziative mirate alla riduzione del rischio sismico del territorio, inteso come il livello di perdite umane ed economiche che si verificano a seguito di un terremoto di determinata intensità. Tuttavia non è economicamente possibile intervenire su tutti gli edifici vulnerabili e non è nemmeno culturalmente accettabile demolirli e ricostruirli di nuovo. La riduzione del rischio sismico del nostro territorio, pertanto, può essere raggiunta investendo progressivamente nel *retrofit* sismico del patrimonio edilizio esistente.

Per retrofit sismico s'intende un intervento rivolto a migliorare il comportamento di una costruzione esistente nei confronti delle azioni dovute al terremoto. Il retrofit sismico ha lo scopo di diminuire la vulnerabilità sismica di una costruzione, dei suoi contenuti e delle persone che la utilizzano.

Di solito è il risultato di un processo che, attraverso l'analisi e la valutazione dello stato della struttura esistente, mette in evidenza le carenze che impediscono all'edificio di funzionare come richiesto dalle norme. L'eventuale intervento strutturale, quindi, deve essere progettato ed eseguito per migliorare la risposta sismica dell'edificio, portandola al livello richiesto dalle norme sismiche vigenti.

Questo scopo può essere perseguito attraverso strategie diverse. La scelta di quella ottimale non è semplice e si basa su un'approfondita comprensione del comportamento dinamico della costruzione nello stato di fatto. La precisa individuazione delle deficienze strutturali è di fondamentale importanza per la scelta del tipo di intervento più efficace.

Le Norme Tecniche delle Costruzioni di cui al DM 17/01/2018 (NTC18) e la successiva Circolare applicativa del 21/01/2019 (C7/19) dedicano un intero capitolo al problema degli edifici esistenti. Questa norma introduce alcune modifiche di rilievo rispetto alle NTC08 e ingloba molti dei contenuti delle appendici della C617/09. La definizione del modello di riferimento per le analisi di vulnerabilità sismica (analisi storico-critica, rilievo, caratterizzazione meccanica dei materiali, metodi di analisi strutturale) è molto dettagliata e costituisce un riferimento fondamentale per i progettisti. Concetti come "livello di conoscenza" e "fattore di confidenza", introdotti nel 2003 dall'OPCM 3274, sono presentati ormai con un livello di completa maturazione.

La novità forse più importante, tuttavia, è costituita dall'introduzione del coefficiente ξ_E per la valutazione del livello di sicurezza sismica di una costruzione esistente, definito come il rapporto tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione sul medesimo suolo e con le medesime caratteristiche dinamiche. Il parametro di confronto dell'azione sismica è, in generale, l'accelerazione al suolo $a_g S$, dove a_g è l'accelerazione orizzontale su suolo rigido, mentre S è un coefficiente di amplificazione che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche. L'indice di sicurezza così definito fornisce la vulnerabilità di una

costruzione in funzione della pericolosità sismica del sito. Di conseguenza un valore specifico di ξ_E indica lo stesso livello di sicurezza indipendentemente dalla sismicità dell'area in esame.

La norma contiene anche utili informazioni riguardanti i casi in cui è obbligatorio procedere alla valutazione della sicurezza sismica di una costruzione e sui criteri che devono ispirare eventuali progetti di interventi in presenza di azioni sismiche per edifici in muratura, in calcestruzzo armato e in acciaio.

A tale proposito è importante sottolineare che il grado di protezione sismica che dovrebbe avere un edificio dipende dalla classe d'uso e, quindi, dalla durata del periodo di riferimento dell'azione sismica. La necessità di un intervento di retrofit può essere stabilita sulla base del livello di rischio accettato, della gravità delle carenze strutturali, delle conseguenze che queste possono comportare anche in termini di pubblica incolumità e delle disponibilità economiche. La priorità degli interventi dovrebbe riguardare le costruzioni rilevanti per effetto di un eventuale collasso e quelle strategiche ai fini della protezione civile. Per definire le priorità nell'ambito di un territorio bisognerebbe eseguire una verifica sistematica delle costruzioni su larga scala, in modo da costituire un catalogo generale attribuendo a ogni costruzione un appropriato indice di vulnerabilità.

2. Deficienze strutturali

Per aspetti legati alle tecniche costruttive, molti edifici esistenti presentano una certa resistenza alle azioni orizzontali, anche se non sono stati progettati per sostenere azioni sismiche. Nondimeno, la quasi totalità non rispetta i requisiti di comportamento richiesti dalla norma attuale ("DM 17 gennaio 2018. Norme tecniche per le costruzioni. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, GU n. 42 del 20 febbraio 2018, Supplemento Ordinario n. 8, 2018, (NTC18), Circolare 21 gennaio 2019 n. 7. Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 17 gennaio 2018, (C7/19)") a causa di tipiche deficienze strutturali. Tra queste le più importanti sono:

- Discontinuità del percorso delle forze sismiche dai diaframmi orizzontali alle fondazioni.
- Edifici in muratura con carenze di collegamenti dei pannelli murari tra di loro e con gli impalcati.

Edifici in calcestruzzo armato con una concezione strutturale inadeguata, come per esempio dissimmetrie strutturali in pianta, o distribuzione irregolare della rigidezza lungo l'altezza.

3. Criteri d'intervento

Il miglioramento del comportamento sismico di una struttura può essere raggiunto attraverso strategie diverse. In ogni caso è importante tener sempre ben presente che gli interventi di retrofit sismico sono concettualmente diversi rispetto a quelli per il rinforzo strutturale nei confronti di carichi statici. Un progetto di retrofit sismico, infatti, deve considerare la mutua interazione tra le caratteristiche distintive di una struttura: resistenza, rigidezza e capacità di deformazione. Strategie che privilegiano una sola di queste tre caratteristiche senza considerare gli eventuali effetti negativi sulle altre possono non essere sufficientemente efficaci.

Un buon progetto, tuttavia, dovrebbe puntare a interventi minimi. Solo dopo avere mobilitato tutta la resistenza e la duttilità del sistema strutturale nello stato di fatto, il progettista dovrebbe considerare un intervento più invasivo, come per esempio l'aggiunta di un nuovo sistema resistente. Provvedimenti locali su alcuni elementi strutturali o su alcuni collegamenti possono assolvere adeguatamente questo scopo. In ogni caso un percorso delle forze chiaro e continuo deve essere garantito in due direzioni preferibilmente ortogonali.

In generale, nella fase iniziale del progetto bisogna controllare che:

- l'edificio abbia diaframmi sufficientemente resistenti e rigidi nel loro piano
- le connessioni dei diaframmi ai sistemi resistenti verticali siano efficaci
- in due direzioni, preferibilmente ortogonali, siano presenti sistemi verticali resistenti, come pareti sismiche, telai controventati o telai resistenti a momento
- i collegamenti delle strutture verticali con le fondazioni siano efficaci
- le fondazioni siano adeguate.

Bisogna poi verificare le eventuali carenze dal punto di vista della configurazione strutturale che possono compromettere la prestazione sismica dell'edificio, come per esempio: (a) presenza di irregolarità nei

diaframmi (grandi aperture); (b) dissimmetria in pianta che può innescare moti torsionali degli impalcati, con conseguenti sollecitazioni elevate in alcuni elementi strutturali in grado di portare al collasso l'intera costruzione (eccentricità significativa del centro delle rigidezze rispetto a quello della massa); (c) presenza di un piano debole, quando le tamponature o le pareti di controvento ai piani superiori sono omesse al livello del piano terra e le colonne, da sole, non sono in grado di sostenere le azioni sismiche.

L'esito di questi controlli può indirizzare verso un progetto che preveda solo interventi locali, oppure verso un progetto che preveda l'inserimento di elementi strutturali aggiuntivi. A seconda delle carenze strutturali, insomma, un intervento di retrofit sismico può essere rivolto a:

- Modificare il comportamento globale della costruzione, migliorando la regolarità strutturale e riducendo le deformazioni.
- Modificare il comportamento locale, aumentando la capacità di deformazione.
- Migliorare le connessioni tra i diversi elementi strutturali in modo che non si separino tra di loro durante il sisma, garantendo un'efficace trasmissione delle forze sismiche fino alle fondazioni.

3. 1. Modifica del comportamento globale

Di solito la modifica del comportamento globale mira a ridurre la domanda sismica in termini di deformazioni e di spostamenti. Tutto questo si può ottenere aumentando la resistenza e la rigidezza complessiva mediante l'aggiunta di pareti sismiche o di telai controventati, la cui posizione deve essere stabilita cercando di migliorare nel contempo anche la regolarità strutturale in pianta e in elevazione. A tal fine, è importante che la domanda di spostamento sia distribuita uniformemente lungo tutto l'organismo strutturale. Se uno spostamento d'interpiano è eccessivo, come può accadere per la presenza di un piano debole, si può ridistribuire la rigidezza in maniera da avere una configurazione deformata più uniforme.

L'isolamento alla base rappresenta l'esempio più estremo di ridistribuzione della rigidezza e degli spostamenti d'interpiano. Secondo questa tecnica, tutta la deformazione si concentra al livello degli isolatori, che sono progettati specificamente per questo scopo, e la struttura in elevazione esistente può essere verificata in campo elastico, dato che gli spostamenti ad essa richiesti sono in generale molto piccoli. Tutto questo riduce o elimina completamente i danni agli elementi non strutturali.

Le deformazioni complessive possono anche essere ridotte attraverso l'impiego di speciali dispositivi per la dissipazione dell'energia sismica.

4. 1. Modifica del comportamento locale

In certi casi, le carenze strutturali possono essere eliminate agendo localmente su alcuni elementi strutturali, aumentandone la resistenza a taglio o flessionale, oppure incrementando la loro capacità di deformazione, senza comprometterne la capacità di sostenere i carichi verticali. L'aumento di resistenza e rigidezza può ridurre la domanda sismica in termini di spostamento entro il limite della capacità del sistema. L'aumento della capacità di deformazione incrementa la duttilità del sistema, cioè la sua capacità di deformarsi plasticamente oltre il limite elastico. Elementi strutturali fragili, come per esempio i pannelli murari, possono essere resi maggiormente duttili mediante l'incollaggio di lamine in materiale composito. In questo modo la capacità di deformazione risulta aumentata, mentre la resistenza ultima e la rigidezza rimangono quasi inalterate.

Nel caso degli edifici in calcestruzzo armato, un intervento di questo tipo deve guidare le eventuali plasticizzazioni a manifestarsi prima nelle travi secondo un meccanismo flessionale, piuttosto che nelle colonne secondo un meccanismo di taglio, o negli elementi di controvento prima che nei collegamenti. A tale scopo le colonne e i collegamenti possono essere rinforzati in modo da avere una resistenza a taglio maggiore di quella che devono sostenere nelle condizioni più estreme. Le colonne di calcestruzzo o le pareti di taglio possono essere confinate con elementi di acciaio o di calcestruzzo in maniera da aumentare la loro resistenza a taglio. Allo stesso modo possono essere impiegati materiali compositi in fibre di carbonio o in fibre di vetro applicati con resine ("FEMA 454, Design for Earthquakes - A Manual for Architects, December 2006, Charleson A., Seismic Design for Architects – Outwitting the Quake, Architectural Press, Elsevier, 2008")

La capacità di deformazione può essere incrementata anche separando gli elementi fragili dalla struttura, come per esempio creando un piccolo spazio tra le colonne del telaio e i riempimenti murari. Particolarmente pericolosi sono i riempimenti parziali delle campate dei telai, che possono determinare un comportamento di tipo fragile della parte sommitale delle colonne.

5. 1. *Connessioni*

Le carenze di connessioni si manifestano al livello del percorso delle forze: collegamenti degli impalcati agli elementi resistenti verticali; connessioni degli elementi verticali alle fondazioni; collegamento delle fondazioni al suolo.

Questi problemi assumono una particolare rilevanza nel caso delle strutture in muratura. In questo caso è necessario che i diaframmi siano sufficientemente rigidi e che i collegamenti tra i diversi pannelli murari e tra i pannelli murari e gli impalcati siano del tutto efficaci, in maniera da garantire il funzionamento globale dell'intero sistema strutturale.

4. **Scelta del sistema da adottare**

La scelta del sistema di retrofit dipende dal costo, dalla disponibilità di manodopera qualificata e dalla sua adeguatezza per l'edificio in questione. Si possono usare elementi analoghi a quelli adoperati per gli edifici di nuova costruzione, ma a differenza di questi ultimi la scelta di dove posizionarli è più restrittiva. In ogni caso, quattro questioni di base vanno sempre considerate, cioè:

Prestazione sismica

Le differenze di prestazioni tra i diversi schemi guidano alla scelta. Gli obiettivi in termini di prestazione sismica sono stabiliti in anticipo. Se questi richiedono una quantità di danno molto limitato o che l'uso dell'edificio non debba essere interrotto, i possibili schemi di intervento si riducono. Queste esigenze possono mettere in secondo piano le questioni successive.

Costo di costruzione

Il costo di realizzazione è sempre importante e va considerato nei confronti di altre questioni ritenute significative. Talvolta anche considerazioni economiche sul costo dell'interruzione dell'uso dell'edificio e il valore del suo contenuto che deve essere protetto, che può essere molto maggiore, fanno diminuire la sua importanza.

Disturbo agli occupanti durante la costruzione, che spesso sono costretti ad andar via

Nel caso in cui l'edificio sia occupato durante l'esecuzione dei lavori, questo parametro può assumere una maggiore importanza rispetto agli altri.

Estetica

Negli edifici di valore storico questo parametro di solito condiziona il progetto. Nel caso di edifici privi di valore storico spesso viene sacrificato in favore della riduzione del costo e del disturbo agli occupanti.

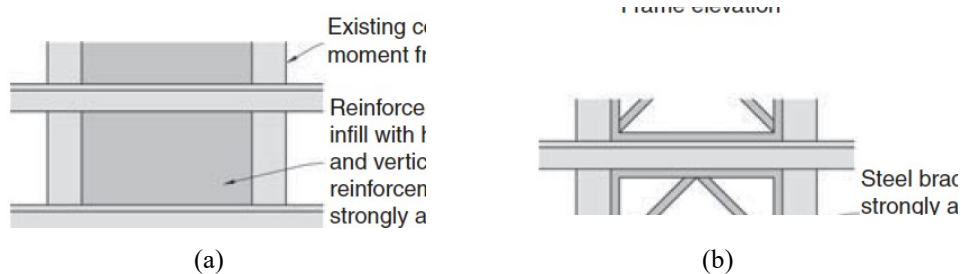
6. 1. *Sistema resistente aggiuntivo*

Quando la struttura esistente è chiaramente inadeguata nei confronti delle azioni sismiche, è necessario inserire un nuovo sistema strutturale. Tale sistema deve essere rigido abbastanza da evitare che la struttura originaria, che mantiene il compito di sostenere le forze gravitazionali, si deformi oltre il suo limite elastico durante l'evento sismico e deve essere dimensionato in modo da resistere non solo alle azioni sismiche in due direzioni ortogonali, ma anche a eventuali effetti torsionali in pianta. Per questa ragione i telai resistenti a momento, essendo relativamente flessibili, non sono particolarmente adatti allo scopo. Un nuovo sistema strutturale deve essere efficacemente collegato alla struttura esistente e anche le fondazioni devono essere adeguatamente rinforzate per prevenire il loro ribaltamento.

In certi casi, piuttosto che inserire un nuovo sistema è sufficiente trasformare alcuni elementi esistenti. Per esempio, nel caso di telai in calcestruzzo è possibile inserire controventi diagonali in acciaio all'interno di una campata allo scopo di formare un telaio controventato composito in acciaio e calcestruzzo, con aumentata resistenza e duttilità. In alternativa la campata può essere riempita con calcestruzzo in modo da costituire una parete sismica. Ovviamente gli elementi aggiunti devono riguardare l'intera altezza

dell'edificio ed essere ben collegati alla fondazione che, generalmente, richiede di essere a sua volta rinforzata.

Figura 1. Trasformazione di un telaio resistente a momento in una parete sismica (a) o in un telaio con controventi (b).



Fonte: Charleson A., Structure as Architecture, 2015.

7. 1. Pareti di taglio

Tra tutti i sistemi verticali principali, le pareti sismiche in calcestruzzo armato rappresentano una delle opzioni migliori. La loro costruzione è più semplice se sono poste all'esterno dell'edificio, così come quella delle loro fondazioni. In questo caso, tuttavia, bisogna anche considerare l'impatto architettonico sull'edificio. Le pareti sismiche possono anche essere incernierate alla base, riducendo così fortemente il costo della fondazione.

Figura 2. Edificio a Vancouver rinforzato con pareti sismiche.



Fonte: Charleson A., Structure as Architecture, 2015.

8. 1. Telai controventati

I telai controventati sono realizzati generalmente in acciaio e sono più economici e leggeri delle pareti in calcestruzzo. Per ridurre l'energia sismica, possono essere realizzati con controventi eccentrici, oppure disponendo negli elementi diagonali speciali dispositivi per la dissipazione di energia.

A tale proposito, va sottolineato che un aumento di smorzamento determina una riduzione delle azioni sismiche. L'inserimento di controventi dissipativi irrigidisce la struttura e incrementa l'energia sismica in ingresso, ma la concentra nei controventi per poi ridurla grazie alla loro capacità dissipativa.

Figura 3. Controventi dissipativi



Fonte: F. Braga et al., Protezione sismica di edifici esistenti in c.a. con controventi dissipativi in acciaio, 2015.

9. 1. Isolamento sismico

L'isolamento sismico rappresenta un altro sistema di retrofit sismico che richiede l'inserimento di elementi aggiuntivi. Tra tutti i sistemi è probabilmente quello che richiede l'intervento più invasivo, ma è anche quello che fornisce in molti casi la maggiore protezione sismica. I maggiori campi di impiego riguardano gli edifici strategici, quelli storici, i musei e le scuole.

Richiede il taglio dell'edificio al livello delle fondazioni e l'inserimento al di sotto degli elementi verticali di dispositivi molto flessibili orizzontalmente, ma in grado di sostenere i carichi verticali. Per questa ragione il lavoro di retrofit si concentra al livello delle fondazioni. La conseguente riduzione della rigidità complessiva del sistema strutturale (*softening*) conduce a una diminuzione delle forze sismiche. Inoltre, la struttura in elevazione esistente può essere verificata in campo elastico perché la domanda di spostamento si concentra al livello degli isolatori.

Figura 4. Esempi di isolamento sismico alla base



Fonte: D. Foti et al., Isolatori sismici per edifici esistenti e di nuova costruzione, 2011.

10. 1. Riduzione della massa

Se si riduce la massa di un edificio si ha una riduzione delle forze d'inerzia e delle sollecitazioni sismiche. La riduzione della massa si può ottenere rimuovendo alcuni dei piani più alti di una costruzione, anche se la diminuzione della superficie utile può non giustificare questa strategia. In linea di principio, elementi più

leggeri dovrebbero essere preferiti a elementi più pesanti. Per esempio, alcuni elementi non strutturali pesanti potrebbero essere sostituiti con altri più leggeri.

11. 1. Cambio della destinazione d'uso

Una riduzione dell'azione sismica può anche essere raggiunta attribuendo all'edificio una classe di importanza inferiore. Le azioni sismiche possono essere ridotte attraverso l'impiego di fattori d'importanza minori.

12. 1. Elementi non strutturali

Molti elementi che svolgono una funzione non propriamente strutturale possono risultare pericolosi per gli occupanti di un edificio. Tra questi, una particolare attenzione è richiesta alle pareti di tamponamento dei telai in calcestruzzo armato realizzate in muratura. Queste pareti, se non trattate in maniera adeguata, possono interagire con gli elementi verticali del telaio, favorendo il danneggiamento dei nodi e irrigidendo la struttura, modificandone il comportamento previsto in progetto. Anche le campate parzialmente tamponate possono risultare molto pericolose, per il comportamento fragile che può essere innescato nella parte sommitale delle colonne (rottura a taglio).

Sarebbe opportuno separare le pareti di tamponamento dalle colonne e dalla trave sovrastante, in modo da ripristinare il comportamento a telaio della struttura. Alle pareti di tamponamento deve anche essere conferita una sufficiente resistenza fuori piano, in modo da evitare il loro ribaltamento durante un evento sismico.

13. 1. Vani scala e ascensore

Essendo elementi caratterizzati da un'elevata rigidità, la loro posizione eccentrica potrebbe innescare pericolosi moti torsionali degli impalcati. In questo caso occorre inserire altri elementi strutturali in maniera da avvicinare il più possibile il baricentro delle rigidità al baricentro della massa.

5. Studio critico dell'influenza degli interventi di retrofit strutturale sulla composizione architettonica del costruito.

La struttura non è un elemento architettonico neutro, essa influenza lo spazio intorno e la sua stessa presenza invita ad analisi e/o letture architettoniche.

L'obiettivo è proprio di offrire una descrizione delle caratteristiche architettoniche, o meglio dell'influenza architettonica che gli interventi di adeguamento sismico hanno sul costruito esistente.

Consapevole della difficoltà di questa operazione ho cercato di individuare delle *categorie* di caratteristiche di influenza architettonica nel rapporto tra architettura e struttura.

14. 1. *Involucro dell'edificio*

Innanzitutto occorre definire *l'involucro dell'edificio*, la prima categoria, o meglio i sistemi strutturali che definiscono la forma architettonica e spesso funzionano, almeno in parte, come tali:

- *Strutture a guscio*: un guscio è una struttura di spessore sottile che costituisce una superficie curva, delimitando un volume al proprio interno. I carichi applicati alle strutture a guscio sono trasferiti a terra attraverso lo sviluppo di sollecitazioni di compressione, trazione e sforzi tangenziali agenti nel piano tangente localmente alla superficie. Lo spessore sottile del guscio impedisce la presenza di un significativo braccio della coppia interna, non permettendo lo sviluppo di un'azione flessionale apprezzabile.
- *Tensostrutture*: sono quella classe di sistemi costruttivi i cui elementi sono soggetti prevalentemente a sforzo di trazione. Sono sistemi resistenti in cui gli elementi sottili (funi o membrane) costituiscono la parte preponderante della costruzione e si combinano con i rimanenti elementi, compressi, inflessi o presso-inflessi, per realizzare un organismo con comportamento resistente e stabile. Appoggi, ancoraggi ed elementi di bordo, sono sottoposti a compressione o a pressoflessione e, in alcuni casi per determinati stati di carico, anche a torsione. Nonostante ciò, a parte elementi di contorno, è la sollecitazione di trazione che svolge il ruolo preponderante nel determinare le resistenze degli elementi costituenti le tensostrutture.
- *Catenarie*; il concetto di catenaria è basato sul fatto che gli elementi che compongono la catena si dispongono nello spazio seguendo l'andamento della curva delle pressioni lavorando con sola azione assiale, può essere sfruttato per lo sviluppo di strutture molto più articolate lavorano a sola compressione.
- *Strutture nervate*; le strutture nervate generano e definiscono la forma architettonica. Generalmente racchiudono in singoli volumi costruzioni a più piani. Limitando l'altezza di queste strutture, i progettisti evitano, in modo efficace, di compromettere il linguaggio architettonico puro delle nervature con un ulteriore rinforzo interno della struttura.
- *Archi*: gli archi offrono una potenziale sintesi di architettura e forma strutturale. Assumono varie forme, come semicircolare parabolico o appuntito. Solitamente incontrano il terreno in un punto di inclinazione verso l'orizzontale. Generalmente sono orientati nel piano verticale per resistere ai carichi gravitazionali.
- *Struttura a lastra piegata*: l'uso di questa forma strutturale e architettonica è principalmente limitato ai tetti e talvolta ai muri. Il potenziale strutturale di una piastra piegata può essere dimostrato abbastanza semplicemente prendendo un pezzo di carta che è floscio e introducendo una piega, improvvisamente la carta si irrigidisce e può estendersi come un raggio senza deflessione eccessiva.
- *Strutture intelaiate*; Un telaio (anche struttura intelaiata, ossatura portante o struttura a scheletro) è, per molte costruzioni, la struttura portante costituita da plinti, pilastri, travi e solai con il compito di sostenere il peso dell'edificio e dei carichi da esso portati e di scaricarlo a terra. È costituito da un graticcio di elementi orizzontali e verticali, le travi e i pilastri: solitamente sulle travi gravano i carichi in maniera diretta, le quali si inflettono sotto la loro azione; i carichi sono

trasferiti alle estremità e ripartiti tra i pilastri, che hanno il compito di scaricarli sulle fondazioni e di lì al terreno.

È spesso previsto un sistema di controventamento del telaio per conferirgli maggiore rigidità in particolare nei confronti delle forze orizzontali (come la spinta del vento o le azioni sismiche). In edifici con telaio in calcestruzzo armato può ad esempio essere costituito dal nucleo vano scale/ascensori, le cui pareti vengono gettate in calcestruzzo e non sono realizzate in semplice muratura, mentre in costruzioni in acciaio si trovano spesso nella forma di elementi diagonali.

Le strutture a telaio sono oggi le più diffuse, anche se non tutte le costruzioni impiegano telai: le ciminiere o le cisterne industriali, ad esempio, hanno struttura portante tubolare (assemblata in acciaio o gettata in calcestruzzo armato), oppure ancora le dighe, che si sostengono grazie al proprio peso o alla particolare forma, senza alcuna vera e propria struttura.

- *Muri*: Il muro strutturale è un altro sistema in grado di partecipare nell'integrazione di forme architettoniche e strutturali.

15. 1. Struttura Esterna E Struttura Interna

Dopo questa prima fase di individuazione della tipologia strutturale occorre osservare che l'intervento può riguardare solo la parte esterna dell'edificio o solo quella interna o entrambe, pertanto una corretta distinzione è quella tra l'analisi della **struttura esterna** e **struttura interna**.

Per la Struttura Esterna vengono studiate e descritte le seguenti categorie:

- *Livello di connessione con lo spazio – Struttura Spaziale*;

La struttura spaziale, come una colonna indipendente, ha un impatto tangibile su lo spazio intorno ad esso.

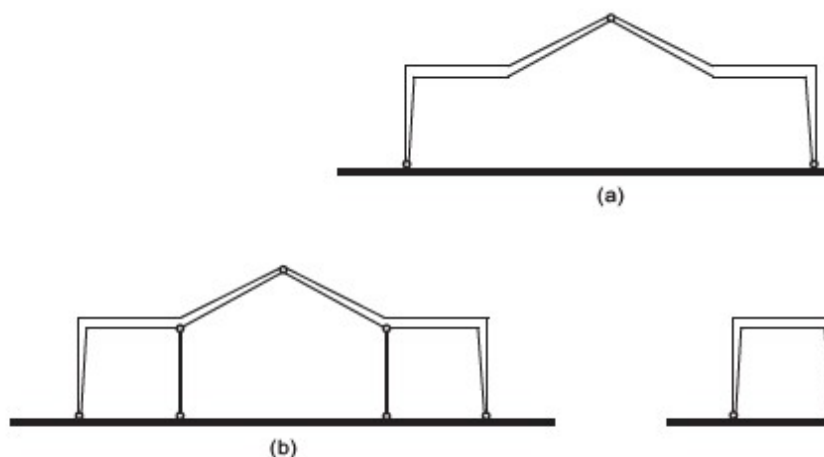
L'influenza della struttura spaziale sullo spazio interno si può apprezzare dalla figura:

Figura 5. Struttura spaziale

ackson, also critical of the tree plan, writes:
grids of Mies and Corbu, for instance, are in
architectural and structural copouts as they do

a building can be further appreciated
6.16.¹¹ Within an identical building
spatial qualities arise by varying inte

Figure 6.16
Structural layouts
read.



Fonte: Charleson A., Seismic Design for Architects.

L'opzione (e) offre l'opportunità di creare un rapporto più stretto tra l'interno e l'esterno.

La lettura dell'inserimento della struttura nello spazio circostante può essere determinata dalla disposizione degli elementi strutturali che la costituiscono. ("Charleson A., Structure as Architecture, 2015)

- *Presenza di Scale Strutturali;*

La presenza di scale strutturali influenza in maniera significativa la struttura esterna e contribuisce all'estetica della facciata. Su una stessa facciata si possono avere elementi aventi piccole dimensioni e spesso ripetibili come a formare una “maglia” e elementi di estrema monumentalità.

- *Ruolo espressivo*

La struttura esterna di un edificio “tradizionalmente” svolge un ruolo espressivo. Essa oltre ad manifestare (come nel caso delle cattedrali gotiche ad esempio) i percorsi dei carichi, porta con se idee architettoniche e non, l'abilità dell'architetto sta nella chiarezza con cui queste idee vengono comunicate.

- *Qualità estetiche della facciata*

La struttura gioca numerosi ruoli nel contribuire all'estetica della facciata, attraverso la modulazione, aggiungendo profondità e consistenza o agendo come uno schermo o un filtro visivo.

- *Forme in contrasto.*

Si intende la presenza di forme strutturali e architettoniche in contrasto con la giustapposizione di qualità architettonica, linee geometriche, materiali etc. L'uso di forme contrastanti può derivare da una scelta “architettonica” o da ragioni “strutturali”. La presenza di un contrasto tra le forme può anche svolgere il ruolo di rilievo per la componente strutturale, che può risultare in maggior risalto.

Comunemente si incontrano esempi di modifiche agli edifici esistenti che, data la differenza di “età” tra il vecchio e il nuovo lavoro possono portare ad un contrasto nelle forme per esempio.

Sulla Struttura Interna vengono studiate e descritte le seguenti categorie:

- *Suddivisione degli spazi;*

Fin dall'antichità i muri portanti hanno diviso gli spazi, l'uso dei telai a partire da XIX secolo ha consentito l'uso di pareti divisorie non strutturali fornendo una buona alternativa. La struttura può giocare un ruolo di suddivisione degli spazi molto importante, oltre a introdurre la varietà spaziale, la combinazione di pareti strutturali, il loro ritmo e la gerarchia degli elementi, può arricchire notevolmente (se non diventare) l'architettura interna.

L'architetto rinascimentale Alberti percepiva il colonnato come un muro virtuale “una fila di colonne è veramente nient'altro che un muro aperto ed interrotto in più punti”. (“Charleson A., Structure as Architecture, 2015)

- *Funzione di ‘disturbo’.*

Occasionalmente la struttura interrompe alcuni aspetti della funzione di un edificio. Può agire ad esempio impedendo la circolazione diretta, modificando il modo in cui si può usufruire di uno spazio. Le interruzioni possono anche essere non del tutto intenzionali durante la fase di costruzione, ma diventano evidenti al completamento di essa. Delle volte l'azione di disturbo degli elementi strutturali e architettonici sullo spazio è giustificata dal maggiore valore estetico, da qui la questione se l'impatto estetico può giustificare la perdita significativa di spazio utilizzabile.

16. 1. *Dettagli Strutturali*

Nel rapporto tra forme strutturali e forme architettoniche importanti risultano spesso *i dettagli strutturali* questi diventano pertanto l'altra categoria da studiare al fine preposto.

La giusta valorizzazione dei dettagli strutturali può trasformare oggetti di pura utilità in elementi che hanno valore estetico:

I dettagli strutturali possono rispondere a diverse esigenze ed esprimere diversi aspetti della progettazione. Possono esprimere un aspetto della tecnologia, un'idea architettonica, un concetto strutturale o un periodo storico. Pertanto possono possedere una loro *Espressività*. Essi possono anche manifestare le *azioni strutturali* che agiscono. Possono avere un impatto positivo sulla *funzionalità della costruzione*. Capita sovente che essi siano più vicini ad una progettazione di interni piuttosto che ad una strutturale. Ogni materiale da costruzione presenta delle peculiarità che lo caratterizzano, i dettagli strutturali non solo esprimono in maniera diretta il materiale ma lo 'celebrano'.

17. 1. *Struttura E Luce*

Una "componente architettonica" non trascurabile è certamente *la luce* l'altra categoria fondamentale nello studio effettuato.

La struttura è potenzialmente un importante elemento architettonico, sia come fonte di luce (la luce passa attraverso di essa o si riflette su di essa, sia per come la luce entra in uno spazio. Nella muratura portante ad esempio la luce può essere considerata come assenza di struttura.

Qualunque sia il materiale da costruzione, in misura diversa, la struttura inibisce o facilita l'ingresso della luce. La luce influenza inoltre la nostra percezione della struttura modificandola. Essa può essere:

- *Sorgente di luce*

Con questo concetto si intende la struttura come fonte di luce diretta, piuttosto che fonte di luce modificata o riflessa. Alcune forme strutturali sono molto più adatte di altre a permettere alla luce del giorno di penetrare all'interno degli edifici. La situazione più comune in cui la struttura funge da sorgente luminosa primaria si verifica dove la luce passa attraverso una struttura aperta o scheletrica come ad esempio una capriata. Gli architetti utilizzano la larghezza, e occasionalmente la profondità, di parti di struttura aperte come fonti primarie di luce diurna.

- *Massimizzazione della luce*

I due metodi più comuni attraverso cui la struttura diviene massimizzatrice della luce sono, o ridurre al minimo le dimensioni degli elementi strutturali o far in modo che la luce penetri negli elementi. L'uso di elementi strutturali trasparenti è poi sempre più comune.

- *Modificatore della luce*

La struttura oltre che progettata per massimizzare la quantità di luce, può essere pesata anche come elemento che la modifica in particolare nella sua intensità. Le parti strutturali possono avere una funzione di intensificazione o stratificazione della luce attraverso un'azione di *filtraggio*, possono fornire superfici su cui essa si *riflette* per poi diffondersi nello spazio circostante.

Sebbene la struttura controlli spesso la luce, in particolare come visto la sua intensità e qualità, la relazione tra struttura e luce non è interamente dominata dalla struttura, poiché non solo la luce rivela la struttura, ma ne modifica la percezione.

18. 1. *Rappresentazione E Simbolismo*

La struttura esposta arricchisce l'architettura con forme e dettagli strutturali che le danno significato in virtù della loro rappresentazione simbolica e della qualità. Ogni elemento strutturale non è una forma sterile ma potenzialmente porta con sé una dose di **rappresentazione e simbolismo** le altre due categorie.

L'architetto Sverre Fehn illustra la personale natura della risposta umana alla rappresentazione strutturale e al simbolismo:

“Nella chiesa il pescatore entra nel suo banco. Dal suo posto riconosce che la colonna ha le stesse dimensioni del suo albero, attraverso questo riconoscimento si sente sicuro, si siede accanto alla sua colonna, una forma riconosciuta anche dal tocco gentile delle sue dita. In mare aperto l'albero era un simbolo di cui si fidava, in quanto lo portava sano e salvo a casa, la stessa rappresentazione ora lo aiuta a volgere i suoi pensieri verso la preghiera. Nel suo spirito il mare è calmo. Nella sua ricerca delle stelle, la colonna gli offre un dialogo personale”. (“Charleson A., Structure as Architecture, 2015”)

Rappresentazione

Gli esempi di rappresentazione strutturale si possono dividere in due gruppi. Nel primo gruppo sono inclusi i processi di rappresentazione del *Modo Naturale*, nel secondo gruppo quelli *Artefatti*.

Di tutte le forme naturali, alberi e foreste sono di gran lunga i più probabili ad essere rappresentati come elementi strutturali.

Simbolismo

Angus Macdonald riconosce il ruolo simbolico della struttura in architettura. Nella sua categorizzazione possibili relazioni tra struttura e architettura include una categoria con il termine di "struttura simboleggiata".

“Nel museo Ebraico di Berlino vi sono parti strutturali che svolgono importanti ruoli simbolici, rafforzando il simbolismo dell'intero progetto, in particolare nei piani in elevazione dell'edificio puntano in c.a. attraversano in modo caotico la tomba e vanno dalla scala principale alle gallerie espositive. Orientati con diversi angoli e aventi diverse sezioni trasversali, questi elementi *simboleggiano* le dislocazioni storiche e gli orrori vissuti dagli ebrei tedeschi.” (“Charleson A., Structure as Architecture, 2015”)

19. 1. *Struttura Nascosta*

L'ultima categoria che ho individuato è quella della **struttura nascosta**. In molti casi la struttura è nascosta, nonostante ciò è possibile che essa pur essendo nascosta contribuisca a dare qualità all'architettura.

Nel quotidiano siamo abituati ad avere a che fare con strutture nascoste. Nel momento in cui scriviamo, studiamo o leggiamo stiamo operando su un tavolo che strutturalmente è un elemento costituito per resistere ai carichi verticali eppure noi non lo percepiamo come una struttura ma semplicemente come un tavolo. La stessa cosa si può dire per una sedia o per il corpo umano. Anche se nascosta alla vista, la struttura corporea è più facilmente riconoscibile di quella di un edificio. Soprattutto perché gli elementi strutturali difficilmente rivelano il loro stato di stress, al contrario di quanto avviene per i muscoli del nostro corpo.

La struttura può essere anche esposta ma nascondendone la sua effettiva funzione strutturale.

Ci sono diverse ragioni di carattere tecnico che possono portare alla scelta di nascondere la struttura, o ragioni pratiche e dettate dalle “regole” dell'interior design. Gli elementi strutturali possono essere nascosti per farli apparire dimensionalmente più grande evitando che diano un'apparenza di fragilità o mancanza di sicurezza. In altre occasioni, tuttavia, un architetto aumenta l'apparente dimensione della struttura per rafforzare la presenza della sua architettura.

6. Bibliografia

Libri di autore singolo

Charleson A., *Seismic Design for Architects – Outwitting the Quake*, Architectural Press, Elsevier, 2008.

Charleson A., *Structure as Architecture – A source book for Architects and Engineers* (second edition), Routledge 2015.

Libri di più autori

Braga F., Buttarazzi F., Dall'Asta A., Salvatore W., *Protezione sismica di edifici esistenti in c.a. con controventi dissipativi in acciaio*, Dario Flaccovio Editore 2015.

Foti D., Mongelli M., *Isolatori sismici per edifici esistenti e di nuova costruzione, principi fondamentali - criteri di progettazione – dettagli costruttivi*, Dario Flaccovio Editore, 2011.

Testi di normativa

DM 17 gennaio 2018. *Norme tecniche per le costruzioni*. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, GU n. 42 del 20 febbraio 2018, Supplemento Ordinario n. 8, 2018, (NTC18).

Circolare 21 gennaio 2019 n. 7. *Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 17 gennaio 2018*, (C7/19).

DM 14 gennaio 2008. *Norme tecniche per le costruzioni*. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, GU n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30, 2008, (NTC08).

Circolare 2 febbraio 2009 n. 617. *Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 14 gennaio 2008, approvata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici*, (C617/09).

FEMA 454, *Design for Earthquakes - A Manual for Architects*, December 2006.

ABSTRACT

In order to work on existing building, it must be carried out a knowledges process about the building itself. Therefore, the question is the following one: could this case be identified as the planning of seismic retrofit? Does exist a "classic" correspondence between the construction system and the architectural element? Or did the architectural element, at the begining created to respond to the nature laws, become victim of the human laws?

This work comes from the awareness, beside being actually a need for me, that the engineering moment must go beyond its own technical-constructive logic, which usually it exerts great attraction so strong as to build around itself the all value of the building.

The use of modern tools for the structural calculation and the use, often unconscious, of the finite element method it has generally transformed the engineer's practice into a kind of unaware calculator.

Any structural transformation on the existing building, even just related to an engineering action, it cannot avoid the architectural quality of the building itself.

It is difficult to define any talk about quality in terms of "deterministic" or "determined" scientific research criteria. Thus, in order to be able to figure out it, within the relation between Architecture and Structure I got it out some categories: Architectural form and structure in elevation; Contrasting shapes, Structural function; Structure and light; Representation and symbolism; Hidden structure;

These categories serves as system to interpretate the influece of structural elements related to the seismic adjustment about the shape and the space of existing buildings, in order to evaluate the possibility of a dialog between the structural element and the architectural one.

Moreover, it is important to highlight that at the begining of any structural action it is a must to evaluate properly the real performance skills of the building to be able of interpratate, in the best way, the dialoge between the structural reliability and the architectural quality.