

# Capitolo VI

## Prospettive di sviluppo

## 6 Prospettive di sviluppo

Quanto di seguito esposto deriva dalle considerazioni sui modelli analitici realizzati e dal lavoro svolto sui testi raccolti in bibliografia.

### 6.1 Possibili applicazioni progettuali del controvento energetico

Abbiamo visto come il controvento energetico, progettato e descritto nei paragrafi precedenti, si presti al miglioramento sismico di strutture esistenti.

Si sono analizzate due soluzioni strutturali. La soluzione A vede il controvento energetico disposto lungo i lati corti del fabbricato. In questa configurazione i vetri, in condizioni non sismiche, sono gravati dal solo peso proprio con un cimento modesto sui contrasti. Le pressioni medie sui contrasti, indotti dal peso proprio delle lastre in vetro e della pertinente struttura di acciaio, sono dell'ordine di 1MPa.

La soluzione B prevede di disporre detti organismi resistenti anche sul lato lungo dell'edificio e di integrarli con "elementi veranda". In questa configurazione gli elementi in vetro sono gravati anche da una aliquota, modesta, dei carichi verticali dovuti al peso degli impalcati delle verandine ed ai carichi verticali di pertinenza. Così le sollecitazioni degli elementi in vetro, in caso di sisma, sono sempre di semplice compressione (grazie ai vincoli monolateri), ma compaiono componenti parassite che di fatto riducono il carico di instabilità del pannello.

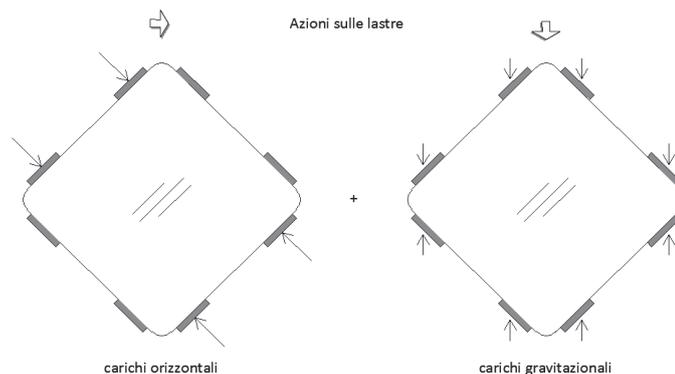


Figura 1 - Schemi di carico delle lastre

Tuttavia si vede che, per modeste aree di influenza dei carichi, le sollecitazioni sui contrasti dovute ai carichi verticali sono poco impegnative rispetto al carico limite che comporta l'instabilità del pannello.

Ci sono quindi discreti margini affinché detti elementi, oltre a sopportare carichi eccezionali dovuti all'azione sismica, possano resistere anche ad azioni di tipo gravitazionale dovute ad esempio al peso di un impalcato.

Ciò fa della descritta tipologia di controventi vetro acciaio un vero e proprio **sistema costruttivo**.

*Ipotesi progettuale:*

Prendiamo ad esame un edificio tipo quello di **FIGURA 3**.

Consideriamo i soli carichi verticali. Il carico indotto dal peso proprio della superficie di vetro di spessore 10.10.1,52, per l'area di influenza di **FIGURA 2**, risulta:

$$Q_v = 12,0m \cdot 1,6m \cdot 0,02m \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 9,6kN$$

Ricordiamo che i vincoli in alluminio hanno lunghezza  $a = 200mm$  e spessore pari a quello delle lastre. Si ha una tensione media di compressione, sulla proiezione orizzontale dei 4 vincoli in alluminio:

$$\overline{\sigma_{v,v}} = \frac{9.600N}{\left(\frac{16.000mm^2}{\sqrt[2]{2}}\right)} = 0,85 \text{ N/mm}^2$$



Figura 2 - Esempio, azioni indotte da carichi gravitazionali

Calcoliamo ora il carico indotto da 4 livelli di solai ( $5 \text{ kN/m}^2$ ), con un interasse di calcolo di 3m (travi ordite perpendicolarmente alla facciata con luce 6m):

$$Q_s = 4 \cdot (1,6 \cdot 3,0)m^2 \cdot 5 \text{ kN/m}^2 = 96,0kN$$

e determiniamo la tensione media indotta dai solai, ricordando qui di distribuirla su un doppio strato di vetro:

$$\overline{\sigma_{v,s}} = \frac{96.000N}{\left(\frac{2 \cdot 16.000mm^2}{\sqrt[2]{2}}\right)} = 2,1 \text{ N/mm}^2$$

La tensione media che si ha in caso di incipiente instabilità della lastra per il carico critico previsto (anche se valutata in condizioni di

carico diverse, **CAPITOLO 3**) risulta:

$$\overline{\sigma_{v,v}} = \frac{262.000N}{(4.000mm^2)} = 65,5 \text{ N/mm}^2$$

E' evidente che il carico indotto dai carichi gravitazionali, anche in uno schema a 4 livelli, è circa un ordine di grandezza più piccolo del carico sopportabile dalla lastra. Ci sono quindi margini per un processo di ottimizzazione strutturale.

Ovvero risulta possibile, con una geometria progettuale simile a quella descritta nel presente lavoro, realizzare involucri portanti (rispetto ai carichi verticali) ed antisismici, oltre che trasparenti.

Questa caratteristica risponde alla pressante richiesta di smaterializzazione delle strutture derivante dal mondo dell'architettura e consente di realizzare facciate autoportanti non soltanto per gallerie e padiglioni di esposizione, ma anche per edifici di minore altezza. Si intende che l'impalcato dovrebbe essere sorretto altresì da una serie di telai "interni", questi potrebbero essere anche pendolari essendo l'azione controventante esplicita completamente dall'esoscheletro ibrido.

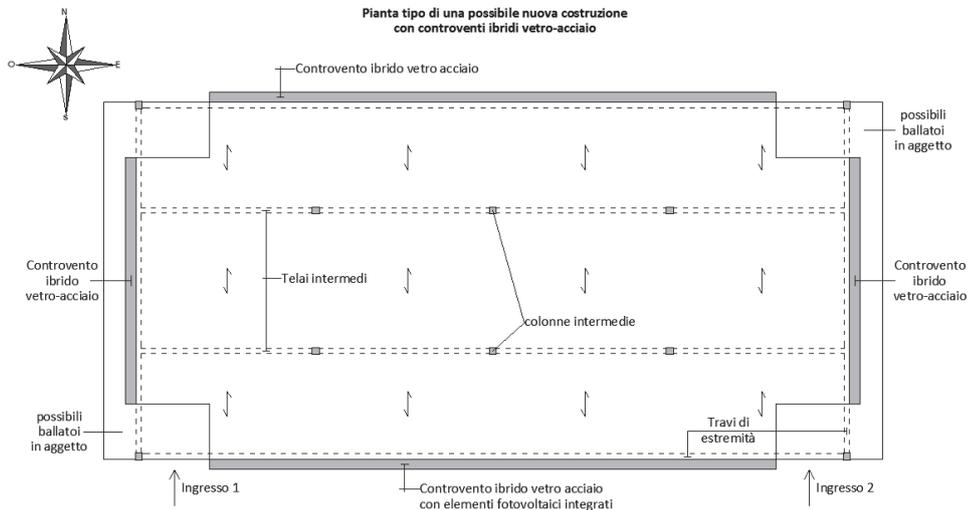


Figura 3 - Pianta tipo di una possibile nuova costruzione con esoscheletro rigido costituito da telai ibridi vetro acciaio e telai interni rompitratta resistenti ai soli carichi gravitazionali

Un limite appare appunto nell'altezza, ovvero nel numero di piani dell'edificio, con il quale crescono decisamente le sollecitazioni sia statiche che sismiche fino al punto da rendere poco interessante il sistema, tenuto altresì conto di altri aspetti (economico, antincendio, manutentivo, etc.)

Questo è un punto importante nella concezione strutturale delle facciate in vetro. Infatti se fino ad oggi la generalità delle applicazioni prevede facciate trasparenti che sono costituite, di fatto, da elementi secondari, in questo caso la facciata assume un ruolo da protagonista da un punto di vista strutturale.

Questi elementi, di concezione bidirezionale, funzionano efficacemente se sollecitati da azioni agenti nel loro piano. Una costruzione che fosse quindi interamente controventata mediante detto sistema dovrebbe avere, similmente all'illustrata soluzione B, organismi resistenti disposti in almeno due direzioni planimetriche indipendenti. In quest'ottica risulta decisivo il ruolo del **soffitto rigido** quale elemento in grado di ripartire le azioni tra i rispettivi organismi controventanti.

Il cemento a cui questi elementi sono sottoposti ci induce a considerare che siano comunque da prediligersi, per eventuali applicazioni, edifici caratterizzati da piante di forme semplici e compatte, caratterizzate da lati prevalentemente rettilinei e di lunghezza sufficiente a garantire uno sviluppo in verticale del meccanismo del "puntone equivalente" descritto.

Sono invece sconsigliabili applicazioni su piante di forma irregolare o frastagliata e su edifici con irregolarità in altezza i quali, oltre ad avere una risposta dinamica tale da indurre sollecitazioni

più gravose sul sistema, lo renderebbero poco interessante da un punto di vista tecnico ed economico.

Analogamente a quanto avviene per le costruzioni in acciaio questo sistema ibrido è caratterizzato da un elevato grado di prefabbricazione. Nell'intervento descritto (casi A e B) si è cercato in particolare di minimizzare le saldature da realizzare in opera in modo da consentire un montaggio più spedito. Nel caso di nuove realizzazioni si segue un procedimento analogo, che prevede il ricorso a getti di cls soltanto per quanto concerne le fondazioni ed i solai che possono ad esempio essere realizzati in struttura mista acciaio-cls.

Il sistema costruttivo descritto non risulta idoneo, tal quale, a prestarsi a queste applicazioni in quanto le facciate continue richiedono precisi requisiti in termini di:

- eventuale presenza di aperture di aerazione;
- coibentazione;
- assenza di fenomeni di condensa;
- assenza di ponti termici.

La geometria studiata può quindi prestarsi a miglioramenti e sviluppi futuri nel senso descritto.

## 6.2 Miglioramento delle caratteristiche

### 6.2.1 Aperture

La necessità di avere un ricambio d'aria, in assenza di un apposito impianto di ventilazione, e di consentire un affaccio di tipo tradizionale agli utenti richiede di introdurre nella facciata energetica dei campi mobili. Ciò contrasta con le caratteristiche portanti degli elementi progettati.

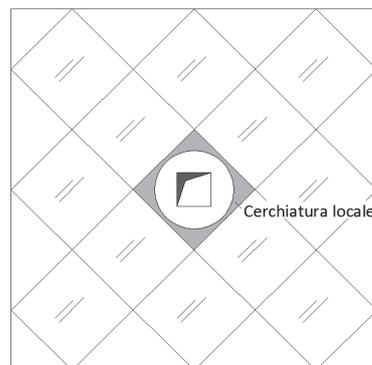


Figura 4 - Realizzazione di aperture mediante cerchiatura locale

Risulta possibile introdurre aperture mediante una cerchiatura locale della maglia di controvento tale da ripristinare la rigidità e la resistenza della finestra realizzata. Detta

cerchiatura realizzata in acciaio ed integrata nelle maglie di controvento dà vita ad aperture che possono anche avere forma architettonicamente suggestiva.

## 6.2.2 Isolamento del pacchetto

Il vetro viene tradizionalmente considerato come un materiale isolante avendo una conducibilità termica paragonabile a quella del mattone di circa  $1 W/m^2$ . La disponibilità tecnologica degli elementi di vetro in lastre di spessore ridotto comporta una bassa capacità isolante della lastra singola.

*"La norma di riferimento per il calcolo della trasmittanza termica, il cosiddetto valore  $U_g$ , per il vetro in edilizia è la UNI-EN 673: 2005 "Vetro per edilizia - Determinazione della trasmittanza termica (U-value) – Metodo di calcolo". Per consentire il confronto tra vetrate composte con prodotti diversi, questa norma stabilisce i seguenti valori per le condizioni al contorno:*

- *temperatura media dell'intercapedine:  $10^\circ C$  ( $283 K$ );*
- *differenza di temperatura fra le superfici di vetro, esterno ed interno, che si affacciano all'intercapedine:  $15^\circ C$ ;*
- *coefficiente di adduzione esterna:  $23 W/m^2 K$ ;*
- *coefficiente di adduzione interna:  $8 W/m^2 K$ .*

*Questa norma si riferisce ai soli prodotti di vetro e quindi non considera l'influenza di elementi "estranei" quali il canalino distanziatore o il telaio che pure hanno un peso nel computo del coefficiente di scambio termico di una finestra." [4]*

Una vetrata monolitica di limitato spessore ha una trasmittanza termica di circa  $6 w/m^2$ . Per migliorare questa caratteristica non risulta conveniente intervenire sullo spessore ma piuttosto impiegare gas trasparenti con migliori caratteristiche isolanti. A tale scopo si impiegano gas sigillati entro due o più strati di vetro ottenendo la così detta vetrocamera o vetrata isolante.

Con aria disidratata si riescono così a dimezzare i valori di trasmittanza sopra citati per il vetro monolitico, ma prestazioni migliori si ottengono sostituendo l'aria con altri gas, o miscele di gas, con minore conducibilità termica; a tale scopo vengono utilizzati gas nobili e chimicamente inerti come l'argon, il kripton e lo xenon.

Gas (o miscela)	Densità	Conducibilità termica	Calore specifico
Aria	1,232	$2,496 \cdot 10^{-2}$	$1,008 \cdot 10^3$
Argon	1,699	$1,684 \cdot 10^{-2}$	$0,519 \cdot 10^3$
Kripton	3,560	$0,900 \cdot 10^{-2}$	$0,245 \cdot 10^3$
Xenon	5,689	$0,529 \cdot 10^{-2}$	$0,161 \cdot 10^3$
	$kg/m^3$	$W/(m \cdot K)$	$J/(kg \cdot K)$

Tabella 1 - Proprietà dei principali gas usati in vetrate isolanti

Da un punto di vista meccanico inserire un'intercapedine gassosa in luogo dell'interlayer in pvb risulta svantaggioso in quanto inficia le caratteristiche di sicurezza e resistenza meccanica richieste in questa applicazione. Tuttavia risulta possibile rivedere il sistema pensando all'inserimento di questo cuscino tra le due lastre di vetro (interna ed esterna) previste nel presente progetto.

In questo caso il vantaggio di potere inserire uno strato di gas statico di congruo spessore migliorerebbe decisamente le caratteristiche isolanti del pacchetto. Per ottenere questo risultato, nell'ottica di una industrializzazione ed efficace cantierizzazione, appare opportuno l'inserimento di questo "pacchetto isolante trasparente" in un telaio di alluminio che ne faciliti l'assemblaggio e la movimentazione.

A tal riguardo appare opportuno rivedere la geometria del reticolo di acciaio in maniera tale da agevolare il montaggio. In particolare potrebbe essere opportuno sostituire il profili IPE140 con opportuni profili (senza ali) che permettano di inserire il doppio strato di vetro da un solo lato. Ciò risulta conveniente in quanto agevola inoltre il montaggio, la manutenzione e la eventuale sostituzione di elementi danneggiati.

La ricerca sui TIGs (*Transparent Insulation Material's*) ha portato significativi miglioramenti sia riguardo l'economia del sistema che le sue caratteristiche in termini di trasparenza che di isolamento ed inerzia termica, caratteristiche molto importanti per l'involucro di un edificio. Attuali ricerche stanno indagando su gas e materiali gelatinosi in grado di variare le caratteristiche isolanti e trasparenti del pacchetto in ragione della radiazione solare per ottenere un involucro con caratteristiche "dinamiche" in grado di adattarsi autonomamente alle mutate condizioni ambientali.

### 6.2.3 Riduzione di ponti termici

Il ponte termico è quella zona locale limitata dell'involucro edilizio che rappresenta una densità di flusso termico maggiore rispetto agli elementi costruttivi adiacenti [8].

Si distinguono solitamente in relazione alla causa che li produce, che può essere dovuta fondamentalmente a disomogeneità geometriche (ISO 7345 e ISO 10211-1), disomogeneità materiche ed alla tipologia, per cui possiamo avere ponti termici di tipo lineare ovvero puntuale.

Nel sistema esaminato i ponti termici sono sia di tipo lineare (profili) che di tipo puntuale (connessioni) agli impalcati e sono fondamentalmente determinati dalla discontinuità materica acciaio vetro.

D'altra parte però si osserva che i profili di acciaio (sia lato esterno che lato interno) sono accoppiati mediante bullonatura a piastre di contenimento. Nell'ottica di un miglioramento delle caratteristiche isolanti della parete è dunque possibile attenuare i ponti termici attraverso l'inserimento di un opportuno strato di isolante in questa posizione.

Detto materiale va scelto opportunamente, infatti deve avere:

- adeguate qualità isolanti;
- adeguate caratteristiche meccaniche in quanto (come il PVC scelto in questo progetto) deve fare da interfaccia tra vetro ed acciaio;
- ridotto spessore per non incidere significativamente sul grado di vincolo del sistema.

Questo particolare va quindi studiato con occhio attento all'economia del sistema ed alla semplicità di montaggio.

### 6.3 Le capacità dissipative del controvento energetico

Il controvento progettato viene considerato non dissipativo e verificato allo SLV con un prudenziale fattore di struttura  $q=1$ . Tuttavia, benché non esplicitamente messa in conto in questo lavoro, la tipologia strutturale progettata può prestarsi a successivi sviluppi in campo dissipativo come di seguito illustrato.

#### 6.3.1 Plasticizzazione acciaio

Dalle analisi fatte nella configurazione di progetto individuata risulta evidente che i pannelli di vetro, sollecitati solo a compressione, sono in grado di sopportare una aliquota importante delle azioni di progetto. Questo grazie anche alle vantaggiose configurazioni di vincolo (pannello incernierato lungo i lati).

L'importante requisito della risposta simmetrica rispetto al verso dell'azione sismica, richiamato nei paragrafi precedenti, viene rispettato grazie alla simmetria strutturale per cui, all'invertirsi dell'azione sismica, si ha un sistema strutturale con altrettanti vetri compressi ed elementi di acciaio tesi.

Grazie a questo sistema lo stato di sollecitazione degli elementi vitrei, e quindi il rapporto tra le azioni incassate dal puntone compresso (vetro ed acciaio) e dal profilo teso, dipende fondamentalmente dal rapporto tra le aree della sezione reggente.

Governare questo fenomeno ci permette di soddisfare un importante requisito, ovvero quello di snervare i profili di acciaio tesi prima del danneggiamento del puntone composito.

Ovviamente ciò appare in contrasto con l'impiego di acciai ad alta resistenza.

Peraltro lo snervamento del diagonale teso non è uno stato limite per il controvento se questo viene progettato in maniera tale da potere sopportare modesti incrementi di carico senza andare in crisi. Ciò è possibile se il puntone compresso risulta sovra resistente e grazie al comportamento incrudente dell'elemento teso in acciaio.

Nei paragrafi precedenti vengono individuati i parametri di progetto che, nella geometria scelta, permettono di governare il fenomeno e di individuare la configurazione più adatta al caso specifico.

Un altro punto vantaggioso è il diverso impegno dei diagonali di acciaio rispetto alle adiacenti fasce in vetro compresse. Ciò dipende dal fatto che, mentre i diagonali di acciaio sono vincolati al livello degli interpiani, le "fasce" in vetro compresso sono da essi svincolate e contrastano direttamente contro la cornice rigida di contorno. Ciò permette di avere uno snervamento progressivo e differenziato delle diagonali di piano e risulta un elemento favorevole.

Si incontrano invece difficoltà, volendo mantenere la facciata su un unico piano, ad ottenere un eguale comportamento dissipativo ai vari piani. Per fare ciò bisognerebbe modulare l'area della sezione resistente in acciaio senza diminuire lo spessore complessivo del pacchetto e ciò risulta non agevole, nel rispetto degli spessori minimi impiegabili per i profili. Volendo perseguire un obiettivo del genere si potrebbe lavorare sui collegamenti, concentrando lì la dissipazione. Questo approccio è consentito dall'EC8.

Infine per quanto attiene i problemi di instabilità locali e globali si è affidata la stabilità del sistema ai soli profili in acciaio trascurando il contributo irrigidente delle lastre in vetro. Queste però possono dare un significativo ruolo stabilizzatore, in particolare per fenomeni locali e di ciò si può proficuamente trarre vantaggio per futuri sviluppi.

### **6.3.2 Plasticizzazione dei contrasti**

I contrasti in alluminio nello schema adottato sono elementi soggetti a semplice compressione. Questi possono avere un ruolo dissipativo se si sceglie una geometria tale che possano dissipare energia per semplice plasticizzazione per compressione.

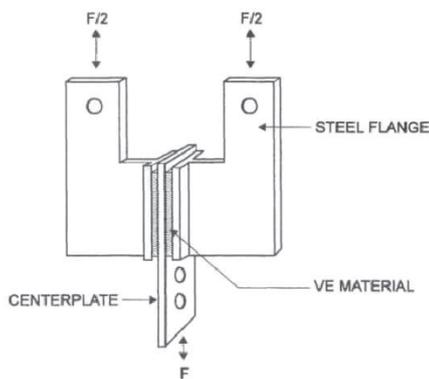
Questa forma dissipativa è semplicemente modulabile in relazione all'entità dell'evento sismico e del risultato desiderato e consentirebbe di "proteggere" le lastre in vetro e ritardarne la

rottura, avendo in questo caso i contrasti un ruolo sacrificale e non solo funzionale al trasferimento degli sforzi.

Il degrado ciclico di questi elementi comporterebbe una minore aliquota di azioni sui vetri e quindi un trasferimento di sollecitazioni sui profili in acciaio. Ciò potrebbe essere tecnicamente legittimato dalla dissipazione energetica e dalla protezione degli elementi in vetro che non perdono comunque il loro ruolo funzionale in quanto parte indispensabile di questo meccanismo.

Questa forma di dissipazione non è vantaggiosa perché la dissipazione cessa nel momento in cui i contrasti risultano plasticizzati.

Un'altra possibilità consiste nella variazione dello schema statico che vede i contrasti vincolati ai profili in acciaio e quindi sollecitati non solo a compressione ma anche a taglio. Questo suggerisce l'impiego di materiali più costosi quali i polimeri a comportamento isteretico impiegati nei dissipatori.



Gli smorzatori visco-elastici si basano sulle proprietà di materiali polimerici o vetrosi che sono in grado di dissipare energia se sottoposti ad azioni tangenziali.

Uno smorzatore viscoelastico è realizzato in strati di materiale viscoelastico legati a piattini in acciaio. Il moto relativo dei piattini d'acciaio produce una deformazione a taglio del materiale viscoelastico e pertanto dissipazione di energia.

Smorzatori di questa tipologia potrebbero essere collocati non in tutte le posizioni in cui si trovano i contrasti (troppo costoso) ma, ad esempio, solo in loco di quelli di estremo. Questa soluzione, oltre che dissipare energia, consentirebbe anche di proteggere gli elementi in vetro.

### 6.3.3 Attrito

Benché non esplicitamente messo in conto in questo lavoro, il sistema progettato offre la possibilità di dissipare per attrito fornendo un contributo favorevole che avviene con un ridotto danneggiamento dei materiali.

Sono gli attriti che si hanno tra il vetro e le piastre di contenimento, benché minimizzati dagli elementi in PVC di interfaccia, quelli dovuti allo scorrimento degli elementi di alluminio e quelli dovuti al contatto tra i contrasti in alluminio e gli elementi in vetro.

In questa fase si è ritenuto di potere trascurare questi contributi considerandoli di importanza secondaria e riservando la loro valutazione ad eventuali sviluppi anche sperimentali del presente lavoro.

Quella per attrito è una forma di dissipazione dell'energia ben vista dai progettisti perché "gratuita" (avviene cioè con limitato danneggiamento dei materiali) e gestibile a seconda delle esigenze.

Detta caratteristica ci ha spinto a valutare la possibilità di realizzare i collegamenti dei profili in acciaio con coprigiunti asolati atti a sfruttare il fenomeno fisico in oggetto.

Questo non si combina bene però con le tolleranze dimensionali da rispettare per gli elementi in vetro, ovvero gli scorrimenti dei giunti comporterebbero un distanziamento eccessivo nelle zone tese dei contrasti in alluminio ed il ritorno, dovuto al cambio di verso dell'azione sismica, potrebbe comportare problemi ai vetri.

Questo potrebbe essere risolto realizzando collegamenti ad attrito solo nei campi terminali (dove si realizza la cornice rigida) e proteggendo i vetri di estremo dalla battuta attraverso contrasti in polimeri a comportamento incrudente, ma, visti i costi, la soluzione non si è studiata a questa fase di approfondimento del lavoro.

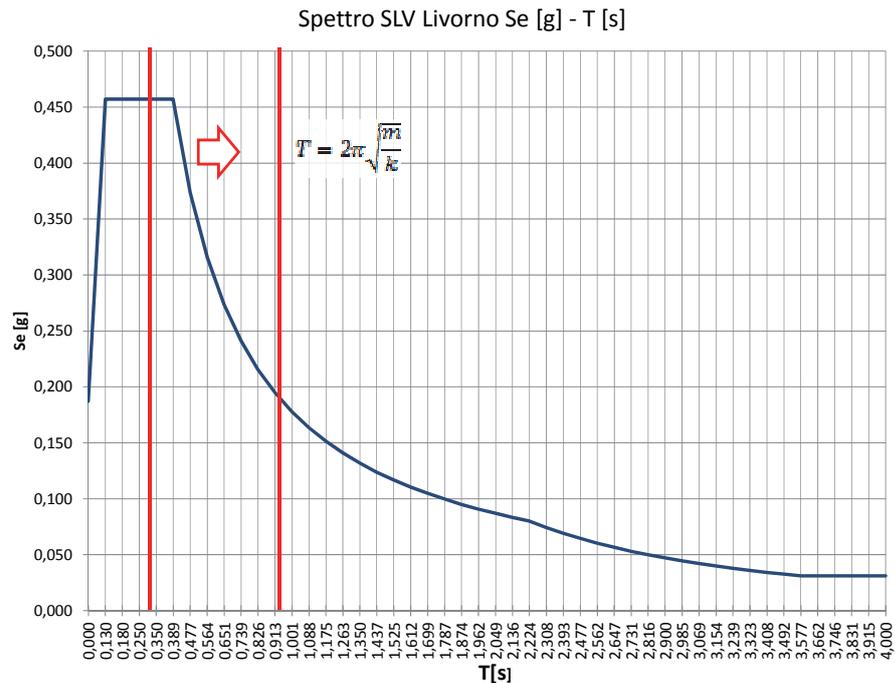
### 6.3.4 Frattura del vetro

Un'altra potenziale fonte di dissipazione è data dalla frattura degli elementi in vetro.

Come già sottolineato, il presente controvento viene progettato in campo elastico e gli elementi in vetro dimensionati per resistere allo SLV.

Non si escludono tuttavia gli sviluppi di diverse geometrie o soluzioni di progetto in cui il vetro sia un possibile elemento sacrificale la cui rottura rappresenti una fonte di dissipazione energetica. In tal caso il progettista potrebbe prevedere che la rottura degli elementi in vetro cominci ad una soglia più bassa rispetto a quella prevista nel presente caso per potere contare sull'effetto dissipativo anche per azioni con un minore tempo di ritorno.

Ovviamente bisogna prevedere, come è già stato fatto nel presente progetto, che la struttura in acciaio sia in grado da sola (vetri completamente fratturati o al limite assenti) di garantire i requisiti richiesti allo SLV, o allo SLC, a seconda del caso oggetto di studio. In tale contesto risulta lampante il ruolo irrigidente del vetro agli SLE e la diminuzione di rigidità dovuta alla frattura di questi elementi è un elemento non negativo in quanto a questa corrisponde un aumento del periodo proprio del sistema ed una conseguente diminuzione delle ordinate dello spettro di risposta, quindi un calo delle azioni sollecitanti.



Si otterrebbe così un controvento a rigidità variabile in grado di soddisfare ai requisiti previsti allo SLE a vetro integro e assicurare lo stato limite di salvaguardia delle vite o lo stato limite di collasso con la sola carpenteria in acciaio. La dissipazione dovuta alla rottura degli elementi in vetro avverrebbe così solo per terremoti di elevata intensità ed il danno economico dovuto alla rottura dei vetri ed alla conseguente sostituzione degli elementi fotovoltaici sarebbe giustificato dall'elevato tempo di ritorno dell'evento tellurico preso in considerazione.

L'energia dissipata in questo caso deve essere valutata con appositi codici di calcolo di meccanica della frattura attraverso l'impiego di accelerogrammi.

Appare opportuno ribadire che, volendo intraprendere questa strada è comunque d'obbligo, dovendo rispettare il requisito della rottura sicura, l'impiego di vetri di sicurezza, ovvero analisi della situazione danneggiata le quali dimostrino che la rottura degli elementi vitrei non comporti rischi che siano considerati inaccettabili per lo stato limite considerato.

### 6.3.5 Realizzazione di link dissipativi (tra edificio e struttura di controvento "a nodi fissi")

Come si è già avuto modo di sottolineare, la tipologia strutturale progettata si presta alla realizzazione di un **esoscheletro rigido** intorno all'edificio, che per ragioni tecnologiche, viene montato ad una certa distanza da questo. Questo suggerisce l'applicazione, nel caso di interventi di *retrofit* sismico, di smorzatori tra la struttura esistente e l'esoscheletro rigido.

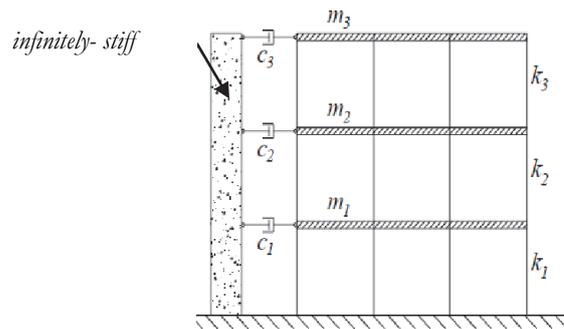


Figura 5 - Sistema fixed point con interposti smorzatori

Questo tipo di applicazione si colloca in una tipologia consolidata di interventi sull'esistente in cui smorzatori del tipo **MPD** (*mass proportional damping*), ovvero con costante di smorzamento proporzionale alla massa, vengono impiegati in configurazione **FP** (*fixed point*), ovvero a punti fissi.

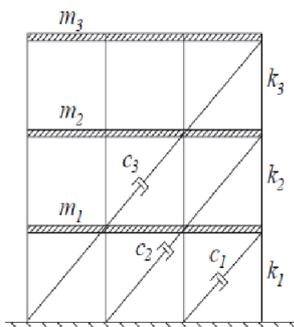


Figura 7 - Configurazione FP

La configurazione tipo *fixed point* vede i solai di piano idealmente collegati, mediante gli appositi smorzatori, ad un punto fisso, quale ad esempio il terreno.

Non mancano applicazioni in cui ciò viene effettivamente realizzato, ad esempio con un sistema di cavi pretesi che connette i solai al terreno (sempre con interposizione di elemento smorzante come proposto ad esempio dal progetto di ricerca europea SPIDER).

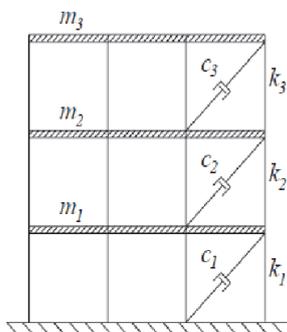


Figura 6 - Configurazione IS

Questo viene per lo più realizzato per bassi edifici, per alti edifici (ovvero edifici caratterizzati da una maggiore flessibilità come nei casi di strutture a telaio non concepite per azioni orizzontali) risulta sufficiente, piuttosto che collegarsi direttamente al terreno, collegare gli interpiani ad elementi controventanti decisamente più rigidi.

La configurazione **FP** si contrappone alla configurazione **IS** (*Interstorey placement*), ovvero con elementi posizionati in maniera tale da collegare gli interpiani tra loro.

In questa configurazione i dissipatori sviluppano forze proporzionali alla velocità relativa tra due interpiani adiacenti.

Non è questa la sede per entrare nello specifico dei dispositivi di smorzamento che potrebbero essere combinati con il controvento ibrido in una configurazione **FP** o **IS**, ma sembra invece opportuno sottolineare come, in questo caso, una soluzione tradizionale come un razionale sdoppiamento delle compagini strutturali resistenti rispettivamente ai carichi verticali (esistente telaio in c.a.) ed alle azioni orizzontali (esoscheletro vetro acciaio) possa venire completata con degli efficaci e moderni dispositivi di smorzamento (mono o bidirezionali), capaci, oltre che di governare la risposta dinamica della struttura, di diminuire sensibilmente gli effetti del terremoto sia in termini di danneggiamento che di impatto psicologico sugli abitanti.

E' appena il caso di sottolineare come un intervento di retrofit di questo tipo si presenti come un intervento fondamentalmente esterno con un impatto ridotto in termini di modifiche sull'esistente. Si propongono di seguito due esempi costruttivi in cui il sistema **FP** è stato attuato.



Figura 8 - Union House, ad Auckland - Nuova Zelanda

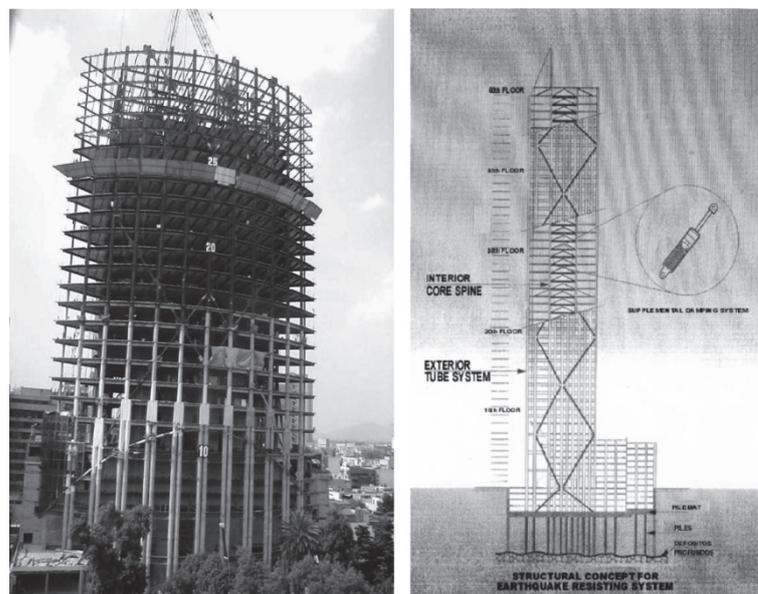


Figura 9 - Chatapultec Tower a Mexico City

## 6.4 Conclusioni

L'inserimento di elementi in vetro in una maglia realizzata con diagonali di acciaio non è un semplice motivo estetico o funzionale. Abbiamo visto come queste lastre possano avere un impegno significativo da un punto di vista statico (negli edifici nuovi) ed un ruolo non secondario anche negli interventi di retrofit. Infatti i controventi ibridi risultano notevolmente più rigidi rispetto a controventi realizzati con sole diagonali in acciaio. Questo permette, in particolare con riferimento ad edifici flessibili (come nel caso di strutture intelaiate con pilotis, tipiche degli anni 60 e 70), di disporre di organismi strutturali che siano in grado di ridurre in maniera significativa gli spostamenti dovuti alle azioni orizzontali e quindi di proteggere l'edificio oggetto di intervento incassando una aliquota significativa del taglio di piano.

I modelli di calcolo sono stati realizzati con l'obiettivo di trovare un compromesso tra accuratezza dei risultati e tempi di elaborazione. Sebbene questi abbiano tentato di cogliere il fenomeno nella sua essenza fisica e siano stati controllati e validati attraverso metodi semplificati, risultano comunque affetti da semplificazioni che è possibile rimuovere nell'ambito di futuri sviluppi. In particolare può risultare interessante una modifica della geometria così come proposta nel paragrafo 6.2.2 sull'isolamento termico del pacchetto e quindi sull'impiego del controvento ibrido come sistema costruttivo. A tal riguardo risulteranno opportune modellazioni più accurate che tengano conto anche degli attriti e di effetti che in questa fase sono stati ritenuti secondari da un punto di vista meccanico.

Vale la pena, dato il contenuto non standard del presente lavoro, impegnarsi in una campagna sperimentale, non solo sull'instabilità dei singoli pannelli (per cui ci sono già lavori molto accurati) ma in particolare sul comportamento di insieme dei telai ibridi. Considerate le dimensioni si potrebbe partire con esperienze su campi singoli che permettano di mettere in luce punti deboli del sistema e validare sperimentalmente i modelli analitici. Non è stato possibile in questa fase eseguire una campagna di questo tipo a causa di tempi e costi.

Un altro importante campo di indagine da analizzare accuratamente riguarda gli aspetti energetici che sono stati contemperati solo per sommi capi ed in estrema sintesi fino a questo punto. Quanto sopra esposto, insieme a studi più accurati di carattere energetico ed acustico, può indirizzare gli sviluppi futuri del sistema costruttivo studiato.

## 6.5 Bibliografia

### 6.5.1 Articoli e pubblicazioni

1. Luible, A., Crisinel, M., (2004) "*Buckling strength of glass elements in compressions*", Structural engineering international .
2. Schober, H., Schlaicc Bergerman § Partner, (2010), "*Facade Engineering and the Structural Use of glass study group - Annual evening lecture*".
3. Daneo, A., D'Este, A., "*L'isolamento termico dei vetrocamera con gas - Considerazioni contro intuitive sull'isolamento termico dei vetrocamera con gas*", Stazione Sperimentale del Vetro, Murano, Venezia.
4. Buratti, C., "*Transparent insulating materials: experimental data and buildings energy saving evaluation*", Department of industrial energy, Perugia University, Italy.

### 6.5.2 Tesi

5. Luible, A., (2004), "*Stability of Load Carrying Elements of Glass*"
6. Bacci, L., (Trombetti, T., Silvestri, S.), A.A. 2009/2010, "*Link dissipativi isteretici per la mitigazione degli effetti del sisma*".

### 6.5.3 Testi

7. Haldimann, M., Luible, A., Overend, M., 2010, "*Structural Use of Glass*", (SED 10).

### 6.5.4 Siti internet consultati

8. [www.wilkipedia.it](http://www.wilkipedia.it)
9. [www.archdaily.com](http://www.archdaily.com)
10. [www.smartmaterials2009.blogspot.com](http://www.smartmaterials2009.blogspot.com)