



Le Torri Albergo a Rho Pero di Fiera Milano, arch. D. Perrault. Il sistema di rivestimento è di tipo a facciata microventilata con sottostruttura in lega di alluminio a montanti e traversi, fissaggi lastre nascosti e lastre in materiale composito (base in ceramica e vetro nero colorato in pasta accoppiato per sinterizzazione).

Palazzo Provinciale 2 - Fronte nord, Via Crispi, Bolzano. Sistema di rivestimento a parete microventilata con sottostruttura a montanti in acciaio, lastre di marmo bianco Lasa e porfido Sarentino.

INVOLUCRO E TERREMOTI: bassa vulnerabilità e alta sicurezza statico-dinamica delle **PARETI VENTILATE** migliorabili attraverso isolatori e dissipatori di energia

ALBERTO STEFANAZZI

Gli edifici di nuova costruzione in Italia, territorio interamente sismico e suddiviso in zone a differente grado di rischio possono essere progettati e realizzati con differenti modalità di risposta in caso di terremoto. Gli edifici con comportamento di tipo non dissipativo hanno strutture portanti e secondarie che assorbono energia e la dissipano tramite spostamenti e vibrazioni (la costruzione si comporta in maniera elastica anche in presenza di azioni sismiche, senza tenere conto delle risorse di sicurezza plastica dei materiali). Gli edifici con comportamento di tipo dissipativo sfruttano il comportamento plastico dei materiali (in questo caso gli elementi portanti non hanno rotture fragili e si accetta la presenza di qualche danno permanente dopo l'evento sismico, senza però che vi sia un crollo dell'edificio). Un ulteriore passo in avanti può essere fatto prevedendo l'impiego di appositi componenti in grado di ridurre le azioni sismiche sugli elementi ordinari: da qui la possibilità di costruire edifici "isolati" tramite l'impiego di isolatori sismici (in materiale elastomerico e acciaio, a scorrimento o rotolamento, elasto-plastici), posti alla base dell'edificio, in grado di creare una discontinuità strutturale tra sovrastruttura e sottostruttura di fondazione, o l'uso di dispositivi dissipatori di energia (viscoelastici, elasto-plastici, ad attrito, viscosi) inseriti nei controventi della struttura e in grado di assorbire l'energia del sisma con conseguente riduzione delle sollecitazioni e degli spostamenti richiesti alle strutture portanti. Inizialmente considerati solamente come sistemi di rivestimento "appesi" alle murature di tamponamento dell'edificio e ininfluenti in caso di evento sismico, i sistemi a parete ventilata hanno, di fatto, dimostrato una bassa vulnerabilità sismica ed un elevato grado di sicurezza statico-dinamico, come anche evidenziato sul campo da alcuni edifici soggetti al terremoto dell'Aquila del 9 aprile 2009. Analizzando il comportamento al sisma dei sistemi a parete ventilata, si farà riferimento al caso più gravoso, cioè quello di edifici con comportamento non dissipativo, telaio portante in calcestruzzo armato e tamponamento monostrato con blocchi alveolari in laterizio con isolamento esterno a cappotto oppure con tamponamento di tipo a cassetta in blocchi di laterizio con interposto uno strato di isolante termico.

I sistemi a parete ventilata installati su edifici di tipo "isolato" non saranno presi in esame in questa sede in quanto soggetti a sollecitazioni meno gravose per il rivestimento rispetto a quelli prima descritti.

MODULO PAROLE CHIAVE

PROGETTAZIONE ANTISISMICA · PARETI VENTILATE
 · **VULNERABILITÀ SISMICA** · ISOLATORI SISMICI ·
 DISSIPATORI DI ENERGIA · STRUTTURA · TAMPONAMENTO ·
 SOTTOSTRUTTURA · ANCORAGGI · FISSAGGI · RIVESTIMENTO

E' la **SOTTOSTRUTTURA DI SOSTEGNO** la variabile di sicurezza sismica di una **PARETE VENTILATA**. Danni e cedimenti del rivestimento dipendono quasi esclusivamente dal supporto murario retrostante

Durante un evento sismico gli edifici sono sottoposti a una combinazione di movimenti orizzontali e verticali; essi subiscono spostamenti fuori piano nelle due direzioni spaziali al crescere dell'altezza, manifestando spostamenti d'interpiano e rotazioni. La risposta sismica dell'edificio dipende da geometria e tipologia delle strutture primarie (travi, pilastri, setti, ecc.) e anche da quelle secondarie (tamponamenti, ecc.). Le sollecitazioni sono trasferite, in maniera filtrata, dalle strutture principali alle secondarie, raggiungendo poi ogni sistema e sub sistema che compone un edificio. Pertanto anche il sistema di rivestimento a parete ventilata risulta sollecitato dal sisma, anche se in misura meno rilevante rispetto alle strutture principali, ma con intensità tali da poter generare anche gravi danni quali rotture, distacchi e cadute al suolo di elementi del rivestimento stesso.

E' utile ricordare che le azioni orizzontali derivanti da un evento sismico che sollecitano le strutture di un edificio dipendono dalla massa dei componenti edili: un edificio "pesante" è maggiormente a rischio rispetto a un edificio "leggero". E' inoltre opportuno che, al fine di assorbire l'energia di un sisma con danni minimi, la struttura si comporti in modo duttile: un eccessivo irrigidimento di un edificio potrebbe peggiorarne il comportamento dinamico in fase di oscillazione.

Da quali fattori dipende allora la sicurezza sismica dei sistemi di rivestimento a parete ventilata? La presenza o meno di una sottostruttura di sostegno e ancoraggio degli elementi di rivestimento ha, come si dirà nel seguito, un'influenza molto rilevante.



A sinistra, edificio per uffici in L'Aquila. Struttura portante in telaio in c.a., solai in latero-cemento, tamponamento a cassetta con interposto strato isolante laterizio faccia a vista. Situazione post sisma. Crollo del paramento murario faccia a vista.

A destra, edificio per uffici in L'Aquila. Tamponamento a cassetta con laterizio faccia a vista: crollo del paramento esterno al piano strada e gravi fessurazioni della porzione superiore di muratura. Anche dopo l'evento sismico rimane elevato il rischio di crollo della parte superiore a seguito di piccole scosse di assestamento del terreno.

Un sistema a parete ventilata che prevede l'impiego di ancoraggi puntuali di collegamento degli elementi di rivestimento alla muratura, affida la propria sicurezza esclusivamente alle prestazioni del tamponamento retrostante. Tamponamento e rivestimento si comportano come un unico elemento che, essendo sollecitato dalla struttura a telaio dell'edificio, se non correttamente inserito e vincolato alla struttura, può subire rotture e/o lesioni di entità assai rilevante. Le modalità con le quali si possono manifestare danni e cedimenti del rivestimento dipendono quasi esclusivamente dal supporto murario retrostante. Tamponamenti a cassetta con interposto isolante sono caratterizzati da fratture spesso accompagnate da cedimento (scoppio) e caduta della parete esterna, soventemente localizzato ai piani inferiori, soprattutto se la parete è in appoggio solo parziale sulle solette di piano.

I tamponamenti monostrato, realizzati con blocchi di grandi dimensioni in laterizio, calcestruzzo vibro-compresso o aerato autoclavato, sono in grado di offrire maggiore resistenza meccanica alle sollecitazioni di schiacciamento, spostamento e deformazione imposte dal movimento della struttura a telaio; pertanto tendono ad essere più rigidi e ad assorbire maggiori quantitativi di energia con la conseguenza che, una volta superata la resistenza ultima del materiale, i danni possono essere spesso molto rilevanti. Le lesioni più frequenti a carico della muratura, oltre a pregiudicare la stabilità, influenzano anche il rivestimento e possono ricondursi essenzialmente a: fratture diagonali e, nei casi più gravi, con andamento a croce o doppia croce di Sant'Andrea, rottura dell'interfaccia tra telaio e paramento murario, rottura per schiacciamento delle zone d'angolo, disgregazione dei giunti di malta, rottura per instabilizzazione fuori dal piano, rottura per scorrimento, oltre a combinazioni che risultano essere un mix tra le precedenti. In tutti questi casi si presenta un "disammorsamento" (separazione) del tamponamento dal telaio, a volte abbinato a crolli o a instabile mantenimento in loco del tamponamento stesso.

Memo sulle facciate ventilate

I sistemi di rivestimento opaco di facciata a montaggio meccanico, utilizzati sia nel campo delle nuove realizzazioni sia in quello del recupero architettonico-prestazionale di edifici esistenti, comunemente chiamati "pareti ventilate", nel tempo sono divenuti una delle soluzioni tecnologicamente più avanzate, efficaci e affidabili per edifici di notevole altezza, complessa morfologia, grandi dimensioni, e anche per immobili sempre più orientati verso il contenimento dei consumi energetici, il cui obiettivo ultimo è la realizzazione di edifici a energia quasi zero.

I sistemi oggi sul mercato si distinguono in pareti ventilate vere e proprie e pareti microventilate. Le prime hanno un sistema di rivestimento atto a instaurare, nelle stagioni più calde, un'efficiente ventilazione in intercapedine in grado di smaltire parte del calore prodotto dalla radiazione solare incidente sul rivestimento di facciata, riducendone così la percentuale trasmessa verso l'interno dell'edificio. Ciò è reso possibile anche mediante la modulazio-

ne di apertura e chiusura di apposite griglie di presa ed evacuazione aria dell'intercapedine. Nella stagione invernale invece, la completa chiusura delle griglie di ventilazione, con la conseguente formazione di un'intercapedine "cuscinetto" tra isolante termico e ambiente esterno, consente di ridurre la trasmittanza termica complessiva della facciata. Le pareti micro o pseudo ventilate sono caratterizzate da un rivestimento a giunti aperti la cui peculiarità è la protezione del retrostante pacchetto di chiusura (isolante termico, muratura di supporto, ecc.) dagli agenti atmosferici, garantendo al contempo un miglioramento delle prestazioni igro-termo-energetiche dell'involucro. Entrambi i sistemi sono oggi spesso integrati con dispositivi a guadagno solare, quali collettori solari termici e moduli fotovoltaici (Building Integrated PhotoVoltaics), che permettono di sopperire in parte al consumo di energia dell'edificio.

I sistemi "a parete ventilata" con sottostruttura di sostegno del rivestimento (sistemi a

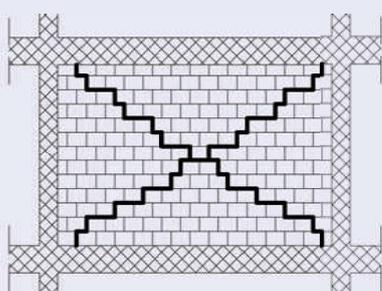
montanti, trasversi, montanti e trasversi) oppure di tipo puntuale (sistemi provvisti di dispositivi di regolazione millimetrica quali ancorette, squadrette, ecc.), ben si prestano all'utilizzo di un'ampia gamma di elementi di rivestimento, sia per quanto riguarda i materiali utilizzabili (gres porcellanato, fibrocemento, pietre, compositi, laminati, di sinterizzazione, metallici, ecc.), sia per le dimensioni dei singoli elementi (dai più piccoli moduli di 40x40 cm fino a 120x90 cm e oltre).

Il progetto definitivo/costruttivo di questi sistemi di rivestimento, definito in ogni sua parte, deriva da un'accurata ingegnerizzazione del progetto architettonico, cioè da un processo di analisi del sistema, individuazione di peculiarità, criticità e funzionamenti tipici tale da portare alla scelta delle soluzioni più adeguate al caso specifico. Aspetto architettonico, prestazioni, sostenibilità e sicurezza, caratterizzano in maniera univoca il comportamento complessivo di un sistema di rivestimento a parete ventilata.

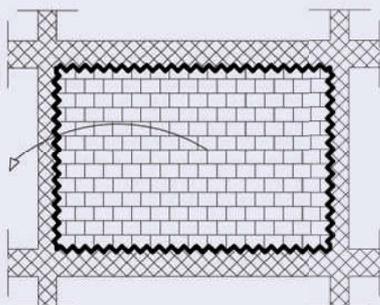
Il grado di rischio per le pareti ad **ANCORAGGIO PUNTUALE** è molto alto: il tamponamento si può staccare e si può ingenerare un **EFFETTO CATENA** tra lastre adiacenti

Nel caso di rivestimento a parete ventilata senza sottostruttura, a seguito della rottura del tamponamento murario si possono verificare rotture e distacchi di lastre di rivestimento, con conseguente caduta al suolo, rottura delle stesse all'impatto a terra e proiezione ad alta velocità di materiale anche a diversi metri di distanza. Risultato di ciò è un incremento del rischio di danni anche gravi per le persone che si trovassero nelle immediate vicinanze della zona di caduta. Tale situazione è particolarmente critica soprattutto durante le operazioni di gestione di un'emergenza legata al soccorso di persone all'interno di edifici nell'immediato post-sisma oppure durante i successivi rilievi per la valutazione dei danni riportati dalle costruzioni. Nelle zone ad elevato rischio sismico (ex zone 1 e 2) diventa molto critico implementare la sicurezza di rivestimenti posati senza sottostruttura, poiché anche l'introduzione di elementi di svincolo o parti deformabili atte ad assorbire parte dell'energia del sisma, risulterebbe poco funzionale: qualora a cedere fosse in primis il tamponamento sarebbe infatti praticamente inutile introdurre elementi aggiuntivi di sicurezza per impedire la caduta al suolo delle lastre di rivestimento. Un ulteriore aspetto critico dei sistemi con ancoraggi puntuali è possibile l'instaurarsi del fenomeno di concatenamento tra lastre adiacenti, il quale può provocare coazioni tra le stesse con incremento del rischio di rottura e caduta in caso di evento sismico. Tale fenomeno può derivare da cedimenti degli apparecchi di ancoraggio delle lastre dovuti principalmente a errori di posa o utilizzo che, di fatto, non garantiscono l'indipendenza funzionale delle singole lastre creando campi di facciata soggetti a forti interazioni tra lastre e labilità dell'intero sistema di rivestimento, con gravi conseguenze soprattutto in caso di sisma (collasso dell'intera porzione di rivestimento interessata dal fenomeno). Facendo riferimento agli aspetti manutentivi post-sisma del rivestimento, è opportuno sottolineare che spesso i sistemi ad ancoraggio puntuale non prevedono la possibilità di smontaggio e sostituzione di ogni singola lastra, ma solamente la smontabilità di porzioni più o meno ampie di facciata, fatto che potrebbe dilatare la durata delle operazioni di messa in sicurezza del rivestimento dopo un evento sismico. Pertanto l'utilizzo di questi semplici, economici e comunque validi sistemi dovrebbe essere coscientemente limitato ad aree territoriali a basso rischio sismico, su edifici di non elevata altezza e regolare geometria, il cui piano di facciata risulti facilmente accessibile in ogni suo punto.

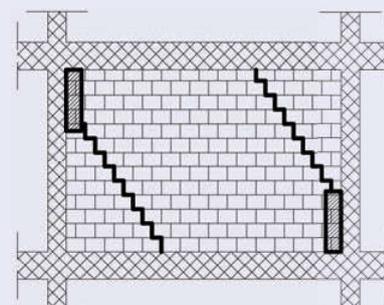
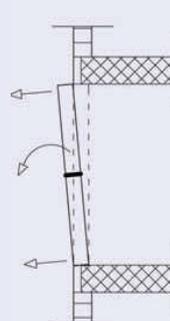
Schematizzazione delle principali modalità di rottura dei tamponamenti (monostrato o pluristrato) riscontrati dopo il terremoto dell'Aquila



Fratture oblique a croce di Sant'Andrea



Frattura dell'interfaccia tamponamento struttura



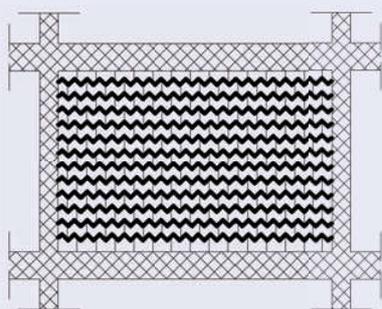
Rottura per schiacciamento zone d'angolo

Fronte ovest edificio per uffici sito in L'Aquila. Struttura portante in c.a. gettato in opera, solai in latero-cemento, tamponamento in blocchi di laterizio di grandi dimensioni armati con rete metallica inglobata nello strato di intonaco esterno e fittamente collegata alla muratura e al telaio dell'edificio, e sistema di rivestimento a parete microventilata con sottostruttura a montanti in acciaio e lastre di rivestimento in tavelle di cotto. Situazione post sisma. I danni, seppur poco visibili, consistono in lievi spostamenti orizzontali delle tavelle con conseguente disallineamento dei giunti verticali. Il danno risulta essere esclusivamente di tipo estetico.

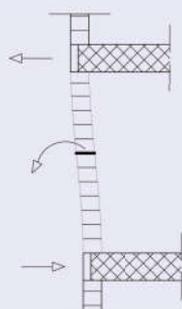


Subiscono spostamenti e deformazioni, ma governano il **COMPORTAMENTO DI OGNI SINGOLA LASTRA:** nei **RIVESTIMENTI CON SOTTOSTRUTTURA** le lastre sono indipendenti le une dalle altre, singolarmente smontabili, in grado di vibrare e muoversi nelle tre direzioni spaziali per dissipare l'energia

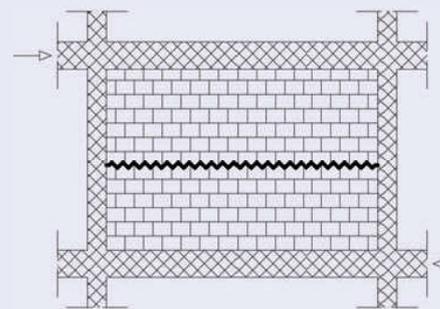
Il comportamento in caso di sisma dei sistemi a parete ventilata provvisti di sottostruttura differisce molto da quello dei sistemi a fissaggio puntuale. In questo caso la sottostruttura è tipicamente costituita da profili in lega di alluminio o acciaio, utilizzati come montanti e/o traversi. Il sistema più semplice è quello a montanti, vincolati all'estremità superiore al telaio in calcestruzzo armato e controventati sul tamponamento. I sistemi a montanti e traversi, la cui rigidità globale è superiore al sistema a soli montanti (in quanto si viene a formare una sorta di graticcio strutturale metallico, con comportamento duttile in caso di sisma), sono caratterizzati dalla possibilità di ottenere una più ampia varietà compositiva della facciata e un maggior numero di soluzioni per il fissaggio lastre, oltre che dalla possibilità di integrare elementi di sicurezza da utilizzarsi in aree ad elevato rischio sismico.



Rottura per disgregazione dei giunti di malta



Rottura per instabilizzazione fuori dal piano



Rottura per scorrimento della muratura

I sistemi di rivestimento con sottostruttura, essendo ancorati direttamente al telaio dell'edificio, tendono a subire spostamenti e deformazioni più ampie rispetto ai sistemi senza sottostruttura, ma hanno il vantaggio di governare in maniera più precisa e sicura il comportamento di ogni singola lastra. Con un sistema a montanti o a montanti e traversi le lastre risultano indipendenti le une dalle altre, singolarmente smontabili, in grado di vibrare e muoversi nelle tre direzioni spaziali per dissipare l'energia derivante dal sisma senza interferire tra loro e, all'occorrenza, possono essere efficacemente integrate con elementi di sicurezza calibrati a seconda del grado di rischio. Cavetti anticaduta lastre, limitatori di movimento orizzontali, elementi di svincolo in neoprene o gomma rigida collocati tra fissaggi e lastre con funzione di assorbimento di vibrazioni e movimenti, apparecchi cedevoli ad assorbimento di energia interposti tra montante e ancoraggi/controventi, sono solo alcuni dei sistemi di sicurezza oggi utilizzabili in aree geografiche particolarmente critiche, quali il territorio umbro, campano, calabrese, ecc..

Anche in questo caso eventuali errori di posa o progettazione del sistema di rivestimento possono tuttavia inficiare il raggiungimento delle prestazioni e del livello di sicurezza richiesti.

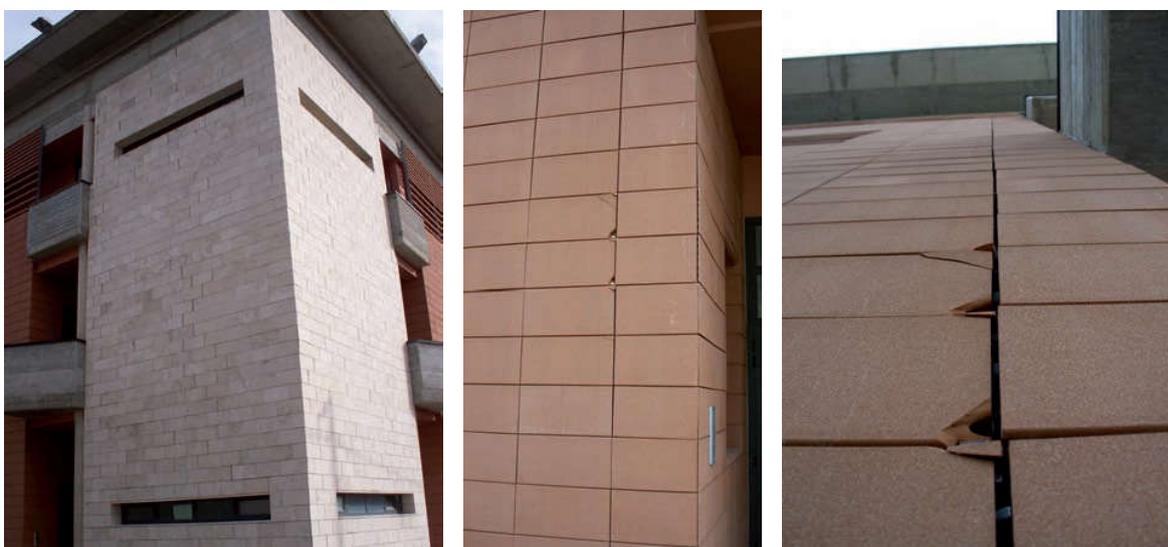
La sicurezza del rivestimento di facciata è legata quindi alle interazioni tra struttura dell'edificio, murature di tamponamento e rivestimento stesso. Il collegamento tra telaio in calcestruzzo armato e tamponamenti in blocchi di laterizio posati a malta posti in luce al telaio è spesso eseguito solo con malta e senza l'ausilio di connettori meccanici. Considerando le modalità di rottura delle murature a seguito delle sollecitazioni che gli elementi primari scaricano su quelli secondari durante un evento sismico, l'introduzione di elementi di irrigidimento e collegamento quali: connettori pilastri/travi alla muratura, rinforzi metallici a tralacci piani in acciaio allestiti nei corsi di malta e collegati ai pilastri, reti di armatura inglobate nello strato di regolarizzazione della faccia esterna del paramento murario e collegate sia al paramento che al telaio in c.a. attraverso idonei tasselli o ancorette metalliche, sono alcune delle possibili soluzioni da considerare per migliorare il comportamento sismico complessivo degli edifici. Introdurre elementi di rinforzo dei tamponamenti comporta infatti un miglioramento della capacità di assorbire e dissipare energia durante un evento sismico da parte della costruzione. L'immobile che viene concepito e realizzato come un unico blocco particolarmente rigido, le cui parti primarie sono irrigidite dai tamponamenti che possiedono elevate resistenze meccaniche, tendono a spostarsi rigidamente dando luogo a piccole deformazioni; ciò comporta l'assorbimento di elevati quantitativi di energia da parte dell'edificio.

In zone altamente sismiche un'ulteriore soluzione utilizzabile e che si concilia più facilmente con strutture a telaio in acciaio è l'impiego di paramenti murari leggeri, realizzati anche a secco, parzialmente svincolati del telaio dell'edificio. Ciò si traduce nella realizzazione di chiusure in grado di muoversi e vibrare quasi autonomamente rispetto alla struttura primaria dell'edificio, riducendo così interazioni e danneggiamenti reciproci tra strutture di diverso ordine e rigidità.

Queste soluzioni, che devono comunque garantire le prestazioni energetiche e acustiche minime di leg-

A sinistra, spigolo sud-ovest palazzo per uffici in L'Aquila. Sistema di rivestimento a parete microventilata con sottostruttura a montanti e traversi in acciaio e lastre di rivestimento in materiale lapideo naturale, posta su tamponamento in laterizio di grandi dimensioni armato con rete metallica inglobata all'interno dell'intonaco esterno e fittamente collegata sia al tamponamento che alle strutture principali dell'edificio. Situazione post sisma. Il rivestimento presenta solamente lo spostamento orizzontale di alcune lastre e i disallineamenti dei giunti verticali, pertanto il danno risulta essere esclusivamente di tipo estetico.

Al centro e a destra, dettaglio del fronte ovest del palazzo per uffici in L'Aquila. Le uniche rotture individuabili sono a carico degli spigoli delle tavole in cotto, oltre ai lievi disallineamenti dei giunti verticali tra gli elementi di rivestimento. Tali danni, tramite semplice e veloce sostituzione delle singole lastre rotte, sono risolvibili con un'irrisoria spesa economica; questo grazie all'indipendenza delle singole lastre ottenuto tramite l'ausilio di una sottostruttura a montanti abbinata ad un sistema di fissaggio lastre semplice, efficace e vocato alla smontabilità.



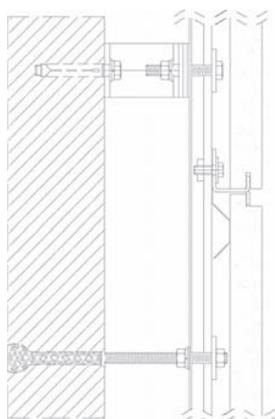
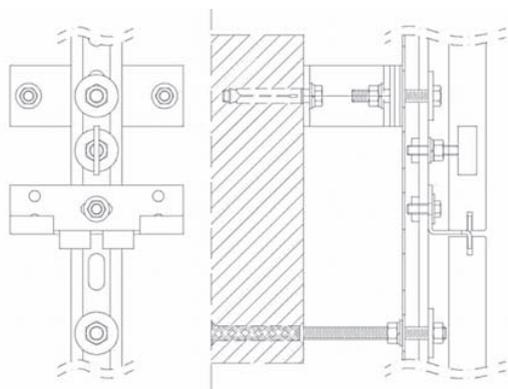
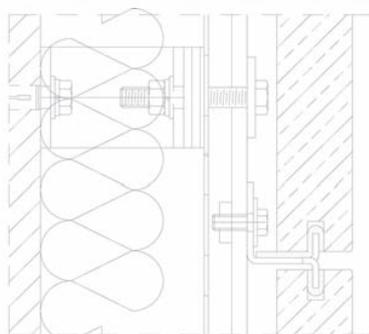
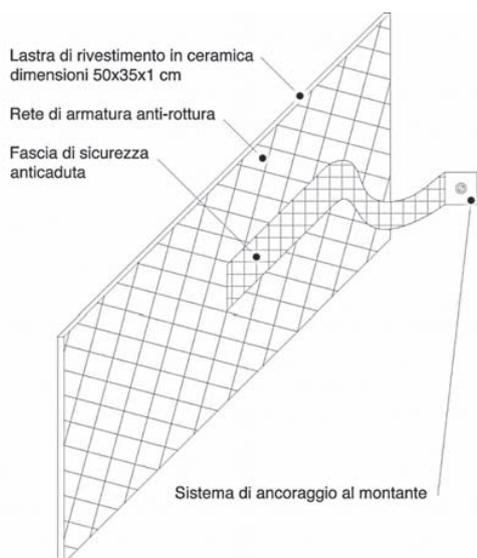
Spigolo sud-est palazzo per uffici in L'Aquila. Situazione post sisma. Non è rilevabile nessun danno né alle tavole in cotto, né ai frangisole in cotto, elementi tra i più delicati dell'intero sistema a parete ventilata.



ge, prevedono la presenza di connessioni di tipo non rigido e con funzionamento statico a manicotto o pattino tra tamponamenti e telaio, deve essere progettata ed ottimizzata al fine di poter garantire adeguata flessibilità di movimento dell'intero sistema. Un sistema di rivestimento a parete ventilata posto in opera su di un supporto così fatto, cioè in grado di muoversi in modo indipendente rispetto al telaio dell'edificio, è soggetto a movimenti e deformazioni superiori nelle zone di interfaccia muratura-telaio rispetto ai casi precedentemente descritti. Pertanto la scelta della tipologia di sottostruttura, dei materiali, della forma e dimensione degli elementi di rivestimento, dei fissaggi, ecc., diventa fondamentale per assicurare i fisiologici movimenti dei due sub sistemi componenti l'involucro di facciata e garantire al contempo elevati livelli di sicurezza anche durante un evento sismico di notevole intensità.

La scelta che il progettista deve compiere, al fine di realizzare rivestimenti a bassa vulnerabilità sismica, dipende quindi da una moltitudine di parametri tra loro indipendenti (struttura, tamponamento, sottostruttura, ancoraggi, fissaggi, rivestimento, materiali ecc.) ma tutti concorrenti alla sicurezza sismica complessiva del rivestimento.

Alla luce di quanto sopra detto, risulta evidente come un sistema a parete ventilata con sottostruttura può essere utilizzato con estrema efficacia in edifici quali centri operativi della protezione civile, caserme, ospedali, scuole, poiché la risposta alle sollecitazioni sismiche, considerando anche i sistemi di sicurezza aggiuntivi dei quali oggi si dispone, meglio si adatta ad assecondare spostamenti e deformazioni delle strutture primarie degli edifici. Inoltre un sistema a montanti e traversi, specie se realizzato in acciaio, connesso a telaio e tamponamenti e realizzante un graticcio che "avvolge" l'intero edificio, può essere estremamente utile al mantenimento in loco di porzioni di tamponamento danneggiate e svincolate e che normalmente, in caso di sisma, sarebbero soggette a crollo (si tratta cioè di un funzionamento "a paracadute", ovvero un'ulteriore risorsa per scongiurare eventuali crolli della chiusura esterna).



Motivi e occasioni per una PARETE VENTILATA AD ELEVATA SICUREZZA SISMICA: edifici strategici, muratura di supporto, rivestimento e sistemi aggiuntivi di sicurezza

La progettazione e la realizzazione di un sistema di rivestimento a parete ventilata in grado di garantire elevata sicurezza in caso di sisma, dipende in definitiva dalle seguenti variabili:

- Tipologia di edificio. Per edifici strategici in caso di sisma, quali ospedali, caserme, scuole, prefetture, amministrazioni regionali, ecc., si deve sempre garantire il maggior livello di sicurezza possibile in funzione del rischio sismico del territorio. Un sistema con sottostruttura offre maggiori garanzie di trattenimento delle lastre in facciata e dissipazione delle sollecitazioni impresse da un terremoto;
- Muratura di supporto. Il sistema telaio strutturale - tamponamento non deve essere considerato un piano perfetto ideale avente resistenza infinita, ma deve essere analizzato di volta in volta valutandone pregi, limiti, connessione alla struttura e comportamento dinamico durante un sisma in modo da poter individuare il sistema di rivestimento a parete ventilata che meglio si addice all'applicazione specifica. Da qui l'esigenza o meno di valutare l'utilizzo o meno di tamponamenti armati con funzione di irrigidimento del telaio dell'edificio oppure ricorrere a tamponamento di tipo svincolati e indipendenti dalle strutture primarie onde ridurre al minimo il rischio di rotture e danneggiamenti del supporto del sistema di rivestimento a parete ventilata in caso di terremoto. In entrambi i casi la scelta deve conciliarsi con le esigenze ed il comportamento delle strutture dell'edificio;
- Sistema di rivestimento. Le parti componenti la parete ventilata devono adattarsi al

A partire dall'alto: schematizzazione di un sistema di sicurezza anticaduta lastre. Il collegamento al montante della sottostruttura avviene tramite avvitarlo della piattina metallica pre-accoppiata alla fascia di sicurezza anticaduta, o con dispositivi similari. Per aumentare la sicurezza è consigliabile prevedere l'incollaggio di una rete d'armatura sul retro delle lastre per evitare la caduta di parti delle stesse a seguito di rottura.

Schematizzazione di un sistema antispostamento e anti-martellamento di lastre su sottostruttura a montanti in acciaio (esempio di applicazione su sottostruttura AdermaLocatelli Group). L'elemento viene fissato sul montante tramite avvitarlo e ricoperto con apposito cappuccio in materiale plastico e/o silconico atto a evitare il contatto diretto metallo - lastra, limitando urti e possibili danni

Schematizzazione di squadrette in acciaio per il fissaggio di lastre con funzione di isolatori nei confronti delle sollecitazioni trasferibili dalla sottostruttura al rivestimento in caso di sisma. Tra la squadretta e la lastra in materiale lapideo dotata di fresatura kerf sui bordi orizzontali è posta una guarnizione in materiale plastico e/o silconico che permette di evitare il contatto diretto metallo - lastra, limitando urti e danni e assicurando lo smorzamento di vibrazioni del rivestimento.

Progetto di una speciale molla con funzione di contrasto lastra e smorzatore di vibrazioni.

Normativa di riferimento: EC8, DM 14.01.2008, UNI 11018

La normativa italiana ed europea identifica il telaio dell'edificio e le murature dei vani scala come parte strutturale o elemento primario, mentre solette, balconi, e tamponamenti sono considerati strutture di secondaria importanza in caso di sisma. Per entrambi gli elementi sono indicate le modalità di calcolo e verifica alle sollecitazioni sismiche a seconda della classificazione del rischio sismico del territorio.

Il D.M. 14 gennaio 2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) ha introdotto una nuova metodologia per definire la pericolosità sismica di un sito e le azioni sismiche di progetto per le nuove costruzioni e per gli interventi su quelle esistenti. Il territorio nazionale è stato suddiviso mediante una maglia di punti notevoli, al passo di 10 km, per ognuno dei quali sono

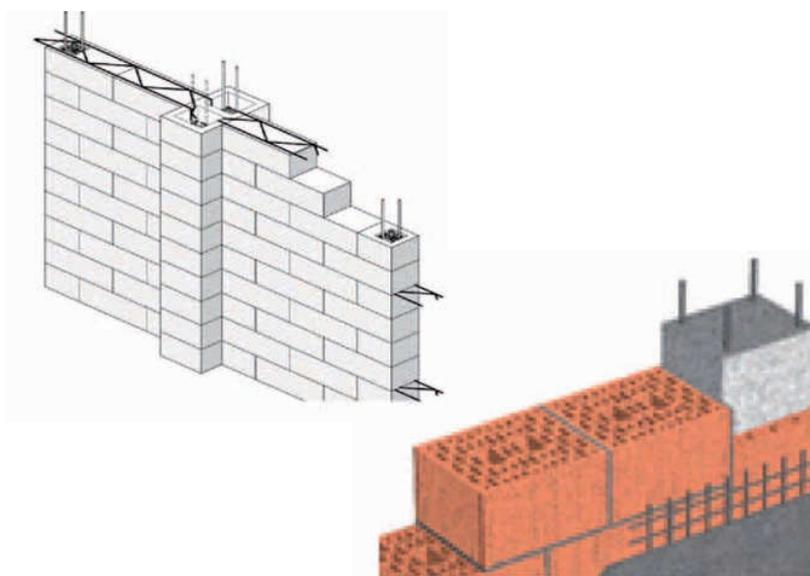
noti i parametri necessari alla costruzione degli spettri di risposta per i diversi stati limite di riferimento (tra i quali, il picco di accelerazione al suolo). Mediante un procedimento di interpolazione tra i dati relativi ai quattro punti del reticolo più vicini al sito in esame, è possibile risalire alle caratteristiche spettrali specifici del sito stesso, necessari come dati di input per la progettazione strutturale.

Per i rivestimenti a parete ventilata sprovvisti di sottostruttura, considerati parte integrante del tamponamento, le procedure per la verifica della resistenza sismica sono note, ovvero sono le medesime delle strutture secondarie. Se invece la parete ventilata è installata su una vera e propria sottostruttura, divenendo a tutti gli effetti essa stessa una struttura del terz'ordine, la normativa non prevede una specifica modalità di calcolo e verifica, bensì

diviene onere del progettista valutare l'azione delle forze sollecitanti e dimensionare di conseguenza gli elementi costituenti il sistema. Questo implica un'accurata analisi comportamentale del sistema edificio – rivestimento a parete ventilata. Ciò significa che progettista del sistema di rivestimento e progettista di strutture/tamponamenti dovranno interfacciarsi onde definire l'esatta risposta sismica dei singoli sistemi e sub sistemi costituenti l'edificio.

E' opportuno ricordare che la normativa prevede quali edifici debbano rimanere integri e agibili in caso di sisma, ciò a seconda di destinazione d'uso e importanza strategica in caso di emergenze ed eventi eccezionali. Ospedali, scuole, centri operativi della protezione civile, caserme, ecc., essendo edifici strategici adibiti alla gestione di emergenze potranno subire solamente lievi danni rimanendo tuttavia fruibili; altri edifici (come ad esempio residenze, uffici, centri commerciali, alberghi, ecc.) potranno subire maggiori danni ma non dovranno crollare. La salvaguardia delle vite umane deve essere sempre perseguita come scopo principe; la riduzione di danni è un aspetto "secondario" ma comunque di rilevante importanza per poter rendere di nuovo fruibili gli edifici in tempi brevi e con limitati esborsi economici e per il ripristino dei danni.

Zona sismica	PGA (Peak Ground Acceleration)	N° comuni
1 - rischio elevato	> 0,25g	708
2 - rischio medio	tra 0,15 e 0,25g	2345
3- rischio basso	tra 0,05 e 0,15g	1560
4 - rischio molto basso	< 0,5g	3488



Schematizzazione delle modalità di realizzazione di tamponamenti armati con funzione di irrigidimento del telaio in c.a. dell'edificio

A sinistra, esempio di armatura a traliccio piano inserita all'interno dei giunti di malta tra i vari corsi dei laterizi e connessa ai pilastri

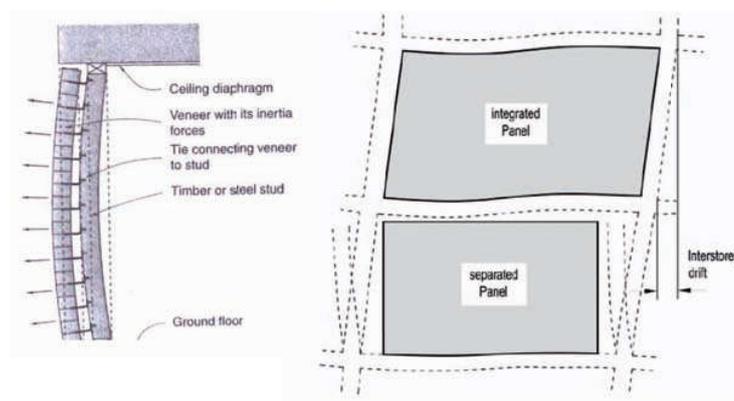
A destra, esempio di armatura esterna alla muratura di tamponamento inglobata nell'intonaco di regolarizzazione e connessa a muratura, travi e pilastri tramite idonei fissaggi meccanici o chimico/meccanici:

comportamento del supporto, possedere adeguata resistenza meccanica e flessibilità, disporre di ancoraggi e fissaggi ottimali per il rivestimento prescelto. È opportuno ricordare che tanto maggiore è il peso per metro quadro delle lastre di facciata, tanto in caso di sisma sarà maggiore la forza sollecitante al crescere dall'altezza dell'edificio;

- Sistemi aggiuntivi di sicurezza. L'utilizzo di questi elementi permette di diminuire ulteriormente la vulnerabilità sismica del sistema di rivestimento a parete ventilata. L'ulteriore sviluppo di queste soluzioni potrebbe addirittura portare alla trasformazione dell'intero sistema a parete ventilata in un sistema a pannelli di tipo cladding, il cui funzionamento in caso di sisma sarebbe governabile per campi di facciata mediante apposite piastre di ancoraggio e controvento ancorate solamente al telaio strutturale dell'edificio;

- Messa a sistema delle precedenti variabili. Operazione indispensabile per valutare in maniera univoca, e per ogni singolo progetto, il comportamento, le caratteristiche e le tipologie degli elementi costituenti l'intero sistema di rivestimento.

I sistemi di rivestimento a parete ventilata con sottostruttura, che ben si adattano all'applicazione su edifici di nuova costruzione o già esistenti, se correttamente realizzati sono quindi uno dei sistemi di rivestimento opaco di facciata più sicuri da utilizzarsi in aree ad elevato rischio sismico grazie alle caratteristiche di flessibilità di comportamento e resistenza alle azioni generate da un evento tellurico.



Schematizzazione di un tamponamento svincolato dal telaio in c.a. dell'edificio
Sopra, esempio muratura a cassette indipendente dal telaio in c.a. dell'edificio e schematizzazione del funzionamento in caso di sisma

Sotto, drift di piano, raffronto tra le modalità di deformazione di un tamponamento di irrigidimento e uno di tipo svincolato dal telaio in c.a. dell'edificio

Alberto Stefanazzi Dipartimento BEST Politecnico di Milano

Facciate continue o curtainwall

All'involucro opaco di facciata si affiancano sistemi trasparenti a facciata continua o doppia pelle. In Italia si utilizzano principalmente facciate continue modulari (facciate a cellule) abbinata a strutture portanti dell'edificio a telaio realizzate in acciaio o calcestruzzo armato, solai di tipo misto, tamponamenti tradizionali o, sempre più spesso, leggeri montati a secco (un esempio sono le nuove realizzazioni di Milano: il Maciachini Center ultimato nel 2010 e i due cantieri CityLife e Porta Nuova). Le facciate continue, realizzate e assemblate in officina vengono messe in opera tramite gru, senza ausilio di ponteggio.

Il fissaggio delle singole cellule alle teste delle solette avviene tramite apposite piastre in acciaio.

Le piastre superiori, dotate di regolazioni nelle tre direzioni spaziali, onde poter allineare

ogni singola cellula alle adiacenti e contemporaneamente rendere planare il piano di facciata, sono gli elementi che sostengono il peso dell'intera cellula, mentre quelle inferiori svolgono funzione di trattenimento e controvento. Ogni singolo elemento di facciata è dotato generalmente di quattro piastre d'ancoraggio.

È da sottolineare che i differenti componenti delle facciate continue raramente possono essere modificati per aumentarne/modificarne le prestazioni, pertanto il progettista della facciata in fase di progettazione individua il sistema che meglio si avvicina alle prestazioni desiderate/richieste, ottimizzandone le dimensioni ed eventualmente le forme per edifici di particolare complessità.

Le differenti soluzioni di facciata in commercio, sono studiate ed ottimizzate per avere

una bassa vulnerabilità in caso di sisma. Le singole cellule, qualora l'edificio fosse soggetto a terremoto, possono vibrare e muoversi liberamente, evitando o riducendo al minimo le reciproche interazioni; ciò grazie alla presenza di guarnizioni di tenuta/chiusura presenti sull'intero perimetro di ogni cellula che svolgono anche la funzione di elementi cuscinetto.

Questa modalità di fissaggio degli involucri trasparenti, assai simili alle pannellature opache di facciata di grandi dimensioni (cladding), garantisce notevole sicurezza al sisma anche in aree geografiche ad elevato rischio poiché, pure essendo un sistema rigido e delicato composto da cellule in vetro e profili metallici, è in grado di assecondare in maniera ottimale gli spostamenti e le deformazioni dell'intero edificio.