

Sotto un tetto di vetro

Quando l'involucro vetrato è una facciata inclinata o un tetto, si affrontano problemi specifici. Di non facile soluzione

Fabio Conato, Simona Cinti, Annalisa Medri

L'evoluzione delle tecnologie e dei materiali utilizzati per le facciate vetrate ha permesso di ottenere sistemi di involucro dotati di prestazioni tali da consentirne la posa anche in condizioni morfologiche particolari. Tipico esempio di tali possibilità sono gli involucri inclinati, le coperture in vetro, e gli elementi architettonici di forma complessa o articolata, che sempre più caratterizzano l'architettura contemporanea. La realizzazione di tali elementi di involucro in vetro deve tenere conto da un lato di tutti i requisiti tipici di una chiusura verticale, quali il sostegno e la distribuzione dei carichi alla struttura portante, la compensazione delle dilatazioni termiche, la tenuta alla spinta del vento, dall'altro necessita di maggiore considerazione in merito alla resistenza ai carichi verticali statici e dinamici, al fuoco, al controllo della tenuta all'acqua ed all'irraggiamento solare.

Si analizzano di seguito le problematiche particolari che distinguono tali tipi di involucro da quelli verticali, quali il particolare sistema strutturale, il controllo degli agenti atmosferici, ed alcuni aspetti di carattere normativo in merito alla sicurezza e alla prevenzione incendi.

La struttura

Il sistema strutturale degli involucri complessi in vetro deve sostenere il carico proprio ed essere in grado di sostenere i carichi accidentali che vi gravano. I sistemi di involucro vetrato posati con andamento inclinato, sub-orizzontale od orizzontale necessitano quindi di una arcarecciatura in profili di acciaio tubolari, scatolari o a sezione aperta, dimensionati in base alle luci libere di

inflexione ed ai carichi statici e dinamici che agiscono sulla superficie vetrata. La presenza della struttura di supporto può essere enfatizzata e fatta divenire elemento espressivo, ad esempio con l'utilizzo di sistemi reticolari, ovvero mimetizzata con la struttura di sostegno delle lastre, utilizzando profili a sezione scatolare orditi su di una maglia corrispondente a quella del reticolo della facciata vetrata.

La struttura di sostegno delle lastre di vetro può essere invece realizzata tramite i seguenti sistemi:

- facciata continua;
- facciata continua strutturale;
- facciata continua strutturale con fissaggi puntiformi;
- strutture portanti a telaio.

Quasi tutte queste tipologie costruttive permettono di abbinare tipi di lastre di vetro a scelta del progettista secondo le diverse esigenze estetiche e tecnologiche.

Le tensostrutture o i sistemi di supporto tutto

Nell'edificio sede della società Tobias Grau di Amburgo il prospetto nord è caratterizzato da una facciata inclinata di tipo continuo strutturale (progetto BTR architetti).



vetro sono applicabili alle tipologie di facciata inclinata o alle coperture in rari casi, ad esempio quando la dimensione delle stesse risulta contenuta.

Le tipologie

Volendo analizzare i sistemi di involucro non verticale dal punto di vista tecnologico ed architettonico è possibile procedere secondo la suddivisione già citata che si identifica in: facciate inclinate e coperture vetrate.

Facciate inclinate

Appartengono a questa tipologia tutti i sistemi piani di chiusura non classificabili come semplici facciate verticali o coperture vere e proprie.

Rispetto ad una tradizionale facciata verticale, caratterizzata staticamente da sollecitazioni di presso-flessione o di tenso-flessione dovute al peso proprio e dei pannelli appesi al telaio di supporto, gli involucri inclinati causano sollecitazioni complesse, originate dalla diversa posizione spaziale delle lastre di tamponamento rispetto alla direzione verticale; di conseguenza, al fine di sostenere in maniera appropriata tali facciate, vengono comunemente realizzati sistemi di supporto supplementari rispetto alla struttura portante dell'edificio; essi sono costituiti generalmente da telai metallici che possono essere fissati e sostenuti da quest'ultima, trasmettendole i carichi, oppure possono costituire un sistema di supporto indipendente, assicurato alla sommità dell'edificio e a terra, scaricando il peso della facciata e le sollecitazioni prodotte direttamente alla fondazione. Le caratteristiche sollecitazioni di una facciata inclinata escludono in linea teorica anche la possibilità di utilizzare, come sistemi di supporto delle lastre, elementi strutturali in vetro a causa della difficoltà di questo materiale di rispondere in modo appropriato alle sollecitazioni di presso-flessione indotte dai pannelli posati secondo direzioni non verticali. Le lastre possono essere ancorate alla struttura portante dell'involucro tramite un fissaggio diretto, come nel caso di facciate continue semplici o strutturali, oppure tramite elementi puntuali di collegamento.

Per le difficoltà precedentemente accennate si escludono i sistemi appesi.

Nella fase di progettazione di una chiusura in vetro inclinata è importante tenere conto delle problematiche relative alla manutenzione. La difficoltà nello svolgere questo tipo di operazio-

ne è direttamente proporzionale all'estensione della chiusura ed al suo sviluppo in altezza. La scelta del tipo di ancoraggio delle lastre vetrate risulta importante, in quanto sistemi a reticolo continuo esterno, di tipo tradizionale favoriscono l'accumulo di sporcizia e rendono più difficoltosa la pulizia, mentre sistemi di tipo strutturale, con continuità planare tra le lastre, rispondono meglio a tali esigenze. Qualora il sistema inclinato sia di ridotte dimensioni le operazioni di manutenzione possono essere svolte con l'ausilio di mezzi meccanici non integrati al manufatto edilizio (ad esempio delle autogru) posizionati e manovrati in prossimità della facciata. Diversamente, architetture di dimensioni più importanti non sono raggiungibili da mezzi esterni e pertanto la soluzione del problema va ricercata più accuratamente in fase progettuale. Compatibilmente con le scelte estetiche si può pensare di allestire un sistema fisso (ad esempio dei binari) che supporta l'avanzamento di navette azionate all'occorrenza; naturalmente questo tipo di soluzione difficilmente è adattabile alle scelte architettoniche in quanto necessita di una struttura vera e propria associata esternamente alla facciata e la sua fattibilità è legata alle caratteristiche tecnologiche e formali della facciata. Nell'edificio della società Tobias Grau di Amburgo, progettato dal gruppo BTR architetti e realizzato nel 1998, una facciata inclinata di tipo continuo strutturale è applicata nel prospetto nord del semplice volume completamente vetrato (ad esclusione delle zone di servizio). Strutturalmente essa è costituita da un telaio metallico fissato alle estremità portanti del fabbricato, a livello di copertura e alla base, e ancorato, in posizione intermedia, al solaio del primo livello. A differenza delle restanti facciate, di tipo continuo, posate verticalmente e realizzate con tecnologie diverse in funzione della non uniforme esposizione solare (a sud è conformata in modo da offrire una maggiore riflessione dei raggi incidenti e il recupero di energia tramite l'integrazione di pannelli fotovoltaici mentre a est e ovest è protetta da frangisole, orientati e disposti secondo un raggio di curvatura ottimale per regolare l'ingresso del calore e della luce), la facciata nord dell'edificio è caratterizzata da una superficie vetrata notevolmente inclinata; questo orientamento rispetto all'orizzonte ha lo scopo sostanziale di favorire l'ingresso della luce. Se tali scelte risolvono da un lato i problemi legati ad un eccessivo accumulo di calore pro-

dotto dall'irraggiamento solare creano dall'altro alcune difficoltà a causa delle dispersioni termiche prodotte dalla grande superficie vetrata; per evitare tali dispersioni la chiusura è stata realizzata con pannelli in vetro camera.

Coperture vetrate

Questa tipologia di chiusure è caratterizzata dalla presenza di una struttura portante, generalmente a telaio, in legno o acciaio, che svolge la funzione di sostegno delle lastre in vetro; queste ultime, posate secondo le diverse inclinazioni determinate dal progettista in funzione di criteri ambientali (pioggia e neve) ed architettonici, vengono fissate ad essa tramite sistemi di connessione di tipo continuo strutturale, o di tipo puntiforme; il semplice fissaggio di tipo continuo, che mostra gli elementi di supporto delle lastre all'esterno dell'involucro, viene generalmente evitato per ridurre i rischi di ristagno di acqua piovana lungo la copertura; di conseguenza, esternamente la copertura è caratterizzata da una superficie vetrata continua, sigillata e sostenuta lungo le linee di contatto tra le lastre dal silicone strutturale.

Le tensostrutture, quali sistemi di supporto delle coperture, possono essere utilizzate anche in presenza di lastre vetrate, fatta salva la necessità di realizzare giunti che consentano importanti movimenti dell'intero sistema. Ciò fa sì che tale tipologia strutturale sia adottabile per coperture che non debbano risultare a completa tenuta, quali ad esempio pensiline che coprono spazi aperti, come nel caso delle celeberrime coperture dell'Olimpia Stadion di Monaco, realizzate negli anni Settanta da Frei Otto.

Per ciò che riguarda l'aspetto della manutenzione delle coperture vetrate è necessario, in fase progettuale, trovare una soluzione idonea al fine di non compromettere nel tempo il risultato finale. Anche in questo caso una possibile soluzione è quella di avere una struttura fissa integrata al manufatto che consente di raggiungere le varie parti della chiusura. Un esempio di copertura vetrata è la struttura progettata da Hascher e Jehle nella Sede della DVG ad Hannover. In questo progetto il complesso edificato, realizzato attraverso tradizionali sistemi costruttivi e destinato ad uffici, viene protetto da una copertura di forma articolata in acciaio e vetro. Il suo sviluppo geometrico è regolato da un andamento curvilineo dove il variabile raggio di curvatura, definito in funzione di approfonditi studi sulle correnti

d'aria della zona, risponde a determinati requisiti di raffrescamento estivo. L'involucro è caratterizzato dal un tamponamento in lastre piane quadrangolari di vetro stratificato, fissate puntualmente ad un telaio che, per seguire l'andamento curvilineo richiesto e per rispondere alle diverse sollecitazioni generate, viene realizzato attraverso l'uso congiunto di cavi in acciaio posati in tensostruttura ed elementi reticolari metallici. Inoltre, l'involucro viene integrato con sistemi di controllo dell'irraggiamento solare, quali frangisole fissati direttamente alla sua struttura portante, e sistemi di ventilazione naturale, attraverso l'adozione di lamelle orientabili in sostituzione dei pannelli in vetro. Particolarmente interessante è inoltre La Nef a la Defense di Parigi su progetto di Jean-Pierre Buffi. La Nef è una galleria coperta il cui spazio è definito e disegnato dalla luce stessa, filtrata dal sistema di chiusura. La struttura è stata realizzata con un sistema di travi metalliche chiamate "travi poisson", composte da due archi di cerchio che si intersecano specularmente e irrigidite da cavi di acciaio. Questo impianto è rivestito da lastre di vetro sulla parte esterna, mentre nella parte interna, la 'pancia del pesce', alloggia una pannellatura traslucida che ha il compito di proteggere la galleria dalla luce diretta dei raggi solari. Le problematiche relative alla manutenzione della navata sono state affrontate e risolte in fase progettuale attraverso sistemi complessi integrati a quello architettonico: la parte esterna è raggiunta da un carro ponte e da una navetta motorizzata, la parte interna, invece, da un carro-ponte in posizione fissa, mentre per la parte inferiore è stato previsto l'utilizzo di una struttura smontabile.

Il controllo degli agenti atmosferici

Per un sistema in vetro non verticale gli accorgimenti da adottare in fase di progettazione sono molto più complessi rispetto a quelli di un involucro "tradizionale".



Particolare costruttivo relativi a struttura portante in acciaio e al tamponamento in lastre di vetro della cattedrale di Hamar, Norvegia (progettato architetti Lund e Slaatto).



(Fiera Internazionale Marmi e Macchine di Marina di Carrara (MS), progetto F. Conato, G. Conato, G. Cacciatori, S. Telara, STS, 1996-99).

Il padiglione centrale presenta una facciata vetrata inclinata, esposta a Nord-Est, realizzata con facciata continua tradizionale, su struttura di acciaio.

Vista della facciata inclinata dall'interno del padiglione centrale. Il reticolo di supporto delle lastre vetrate ha lo stesso passo della struttura metallica che lo sostiene.

Il controllo delle infiltrazioni d'acqua

Il sistema di giunzione delle lastre e quello di giunzione di queste al sistema portante dell'edificio dovranno essere progettati con cura in quanto più esposti alle intemperie rispetto ad una facciata verticale.

I sistemi di tipo a facciata continua con reticolo in vista sono più affidabili, in quanto non demandano unicamente al silicone il compito di resistere alle infiltrazioni. Tra i sistemi senza reticolo in vista, quelli di tipo strutturale con reticolo continuo interno consentono un più accurato controllo della tenuta, mentre i sistemi di tipo puntiforme si affidano completamente al giunto silconico, che oltre a resistere all'infiltrazione, deve sopportare un continuo sforzo legato alle dilatazioni termiche ed ai movimenti della struttura di supporto. Oggigiorno i sigillanti silconici hanno raggiunto un grado di affidabilità assai elevato, consentendo comunque l'utilizzo di sistemi a fissaggi puntiformi, anche se con maggiori rischi e con necessità di frequenti interventi manutentivi. Sono comunque da sconsigliare aperture poste in tali condizioni, per l'incremento dei rischi di infiltrazione che producono e per la difficile manovrabilità.



Il controllo dell'irraggiamento solare

Mentre una facciata vetrata verticale è colpita dai raggi solari parzialmente, secondo una successione ed una inclinazione che dipendono dalla stagione e dalle ore del giorno, risultando così controllabile con semplici sistemi di frangisole, una cortina posata in condizione inclinata o sub-orizzontale è investita costantemente, con grande rischio di accumulo energetico per effetto serra.

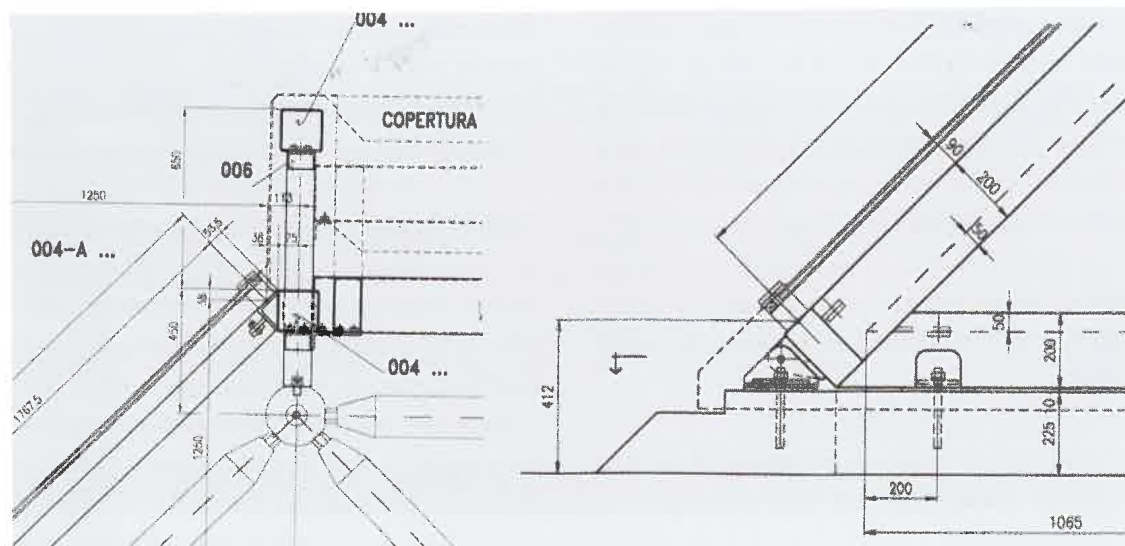
Il tamponamento dovrà quindi avere alcuni accorgimenti che permettono di mitigare tale effetto, secondo i seguenti principi:

- attraverso l'impiego di lastre di vetro ad alte prestazioni,
- attraverso l'impiego di sistemi frangisole o di controllo dei raggi solari,
- attraverso l'utilizzo di intercapedini e doppie pelli ventilate.

Le lastre vetrate dalle caratteristiche più adatte sono quelle di tipo multifunzione, che attraverso la sedimentazione in più riprese di metalli nobili, possono ridurre sensibilmente il fattore solare, mantenendo una buona trasparenza luminosa. I frangisole posti in corrispondenza di involucri non verticali possono essere fissi o mobili, anche se in generale si tende ad evitare questa seconda

Particolare di ancoraggio tra il sistema di facciata inclinata del padiglione centrale e la copertura in reticolare spaziale.

Particolare di ancoraggio a terra del sistema di facciata inclinata del padiglione centrale.



soluzione per via della scarsa possibilità di accedere per la manutenzione. Ottimi risultati sono ottenuti con l'ausilio di strutture pneumatiche in teflon od in EPDM, che concorrono anche nel ridurre l'azione degli agenti atmosferici sulle superfici vetrate. Piccoli tratti di strutture a doppia pelle possono risultare efficaci, anche se il controllo delle prestazioni di tali sistemi, già problematico quando sono posati in verticale, diviene ancora più difficile.

Problemi normativi

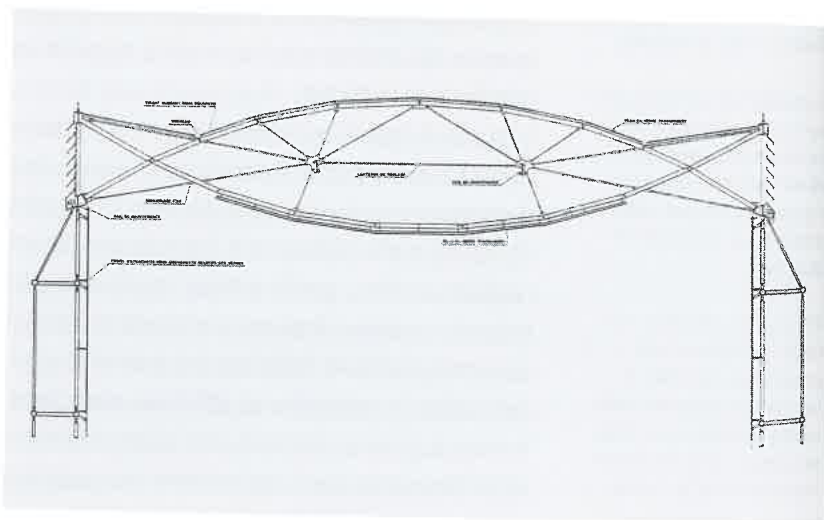
La tipologia dei vetri

La tipologia di lastra da adottare per questi sistemi di involucro è definita dalle norme UNI, che indicano l'utilizzo di vetri camera la cui lastra interna è costituita da un cristallo stratificato e quella esterna da un cristallo temprato. Le ragioni di questo vanno ricercate nel più alto rischio di rottura a cui tali lastre sono soggette in relazione ai carichi che devono sostenere, e anche ai maggiori problemi di incolumità degli utenti rispetto alle facciate. Il vetro stratificato posto all'interno ha il compito, in caso di rottura, di mantenere le schegge di vetro incollate alla pellicola di PVB interposta evitandone la caduta all'interno, mentre il vetro temperato posto all'esterno, oltre ad essere maggiormente resistente alle sollecitazioni meccaniche, nel caso di rottura genera frammenti non di forma appuntita, ma piccoli e arrotondati. Nel caso la chiusura non sia realizzata con vetro camera, le lastre saranno comunque di tipo stratificato di sicurezza, con le medesime caratteristiche delle lastre interne del vetro camera.

La resistenza al fuoco

Grandi problemi applicativi nascono in funzione del rispetto dei requisiti antincendio. In particolare per gli edifici multipiano, per i quali la struttura portante deve essere di tipo REI 90, l'applicazione di sistemi vetriati non verticali presenta aspetti difficilmente risolvibili. Il collasso della struttura di supporto significa infatti il crollo della massa vetrata, con conseguenze evidenti. E' possibile ovviare a tali inconvenienti attraverso l'utilizzo di trattamenti intumescenti o l'applicazione di impianti fissi di spegnimento automatico.

Un esempio di diversa applicazione di facciate inclinate, caratterizzato da esigenze progettuali completamente differenti rispetto alle prece-



denti, è rappresentato dall'involucro protettivo della Cattedrale di Hamar, in Norvegia, degli architetti Lund e Slaatto. In questa soluzione la chiusura in vetro viene utilizzata per proteggere, la vecchia cattedrale dal degrado prodotto dagli agenti atmosferici attraverso un sistema completamente trasparente che non sottragga alla vista la mole delle rovine. L'involucro è costituito da due "vele" di vetro e da una volta centrale di collegamento. La struttura portante è composta da un telaio di travi metalliche reticolari fissate al terreno attraverso una struttura di fondazione che segue l'intero perimetro dell'edificio vetrato. Il sistema di fissaggio delle lastre al telaio di supporto è costituito da complessi elementi di connessione puntiformi; essi, direttamente ancorati alle travi metalliche principali, sono realizzati attraverso una tecnologia che permette di assorbire sia le dilatazioni termiche prodotte dalla struttura in acciaio e dai pannelli in vetro che di compensare le diverse tolleranze dimensionali riscontrabili in fase di costruzione. Le lastre in vetro sono piane di tipo stratificato (spessore 12 mm) e di forma triangolare nelle facciate inclina-

Les Collines a La Defense, Parigi, progetto J.P. Buffi. Il complesso sistema fisso per accedere alla manutenzione ed alla pulizia della copertura vetrata della Nef.

te, e curve nel tamponamento della cupola, sono trattate superficialmente con una serigrafia per aumentare la riflessione dei raggi solari e ridurre l'effetto serra che si crea all'interno dell'involucro. Il controllo climatico costituisce infatti un elemento estremamente rilevante nella progettazione delle facciate, la cui inclinazione (35° a nord e 58° a sud) è calibrata in maniera tale da offrire un elevato livello di riflessione dei raggi solari nei mesi estivi e favorire il deflusso di acqua e neve nei periodi invernali. Nonostante la complessità strutturale, la ventilazione dello spazio museale è ottenuta mediante l'elaborazione degli elementi meccanici di supporto e fissaggio delle lastre, permettendo una

parziale apertura di queste ultime per facilitare l'ingresso di aria fresca alla base dell'involucro e l'espulsione di aria calda che, per l'effetto camino, sale a livello della cupola. Tali operazioni vengono comunque coordinate e integrate al funzionamento degli impianti di climatizzazione attraverso sistemi elettronici di comando (necessari per garantire sia il comfort dei visitatori che la corretta conservazione delle rovine). Le chiusure inclinate in vetro possono essere applicate in diverse soluzioni tecnologiche e per differenti destinazioni d'uso, anche in realtà a noi più vicine, e con costi compatibili con il mercato italiano. Nell'ampliamento della Fiera Internazionale Marmi e Macchine a Marina di Carrara il nuovo

Involucri complessi

L'acciaio e il vetro o, in alcuni casi, i materiali plastici trasparenti, definiscono nuove tipologie di chiusura, non più classificabili, attraverso una schematizzazione geometrica semplice, come facciate o coperture, ma veri e propri involucri che racchiudono, tramite forme e tecnologie complesse, i luoghi di un edificio.

Tra questi vi è il progetto Eden, di Nicholas Grimshaw (Modulo 281, maggio 2002), una serie di volumi che, tentando di ridurre al massimo l'impatto ambientale rispetto al contesto in cui si inseriscono, fissano sotto il profilo tecnologico e microclimatico le condizioni di una serra, essi si articolano attraverso l'elaborazione di una generica struttura di forma sferica organizzata secondo il disegno delle cupole geodesiche di Fuller, ottenute dalla scomposizione di una curva in superfici piane.

Il tamponamento viene realizzato con l'ETFE, un materiale plastico non degradabile dagli agenti atmosferici, isolante, riciclabile,



e dotato di peso estremamente ridotto (quasi l'1% di quello di una uguale lastra di vetro) e di un considerevole grado di trasparenza alla luce ultravioletta.

Un involucro ancora diverso è quello proposto da Norman Foster per il grattacielo della Swiss Re Headquarters a Londra; le geometrie e i materiali che lo caratterizzano hanno l'obiettivo di unificare tradizionali prestazioni a nuovi principi di sostenibilità ambientale, diretti allo sviluppo di tecnologie innovative per il risparmio energetico.

La frontiera esterna, in acciaio e vetro, si identifica con una morfologia nuova, concepita per regolare in modo naturale il microclima interno; in condizione estiva, il flusso delle correnti d'aria generato all'interno dell'involucro dall'effetto camino produce il raffreddamento naturale gli ambienti; tale ventilazione è favorita dalle superfici concave della facciata che, caratterizzate da uno sviluppo a spirale, incanalano la corrente d'aria e la

dirigono verso l'esterno. Questa conformazione spaziale inoltre, combinata ad un rivestimento in lastre di vetro dotato di una particolare forma definita a "squamme", per adattarsi con facilità alla geometria dell'involucro, sfrutta razionalmente il calore prodotto dai raggi

Il grattacielo in vetro della Swiss Re Headquarters si distingue nello Sky-line londinese rispetto agli altri edifici sia per la forma che per i materiali (progetto Norman Foster).

Copertura in vetro della corte storica del British Museum di Londra (architetto Norman Foster).



Le cupole geodesiche del Progetto Eden a Cornwall in Inghilterra vengono tamponate con un materiale plastico, l'ETFE, molto più leggero del vetro ed egualmente trasparente (progetto Nicholas Grimshaw).

solari incidenti.

Lo stesso architetto ha inoltre realizzato la chiusura della corte del British Museum di Londra, dove la forma e la tecnologia degli elementi di copertura propongono una nuova risposta ai vincoli imposti dal contesto; di qui la volontà di realizzare un involucro di altezza contenuta, per non modificare, con la sua presenza, la morfologia degli edifici che racchiudono la corte verso l'esterno e la scelta di una struttura portante che non si sovrapponga ai prospetti storici esistenti, ottenendo in tal modo una piazza coperta che lascia in evidenza l'architettura originaria del complesso.

La soluzione proposta individua un'unica struttura che, attraverso un traliccio metallico, inizia ad ogni angolo del perimetro della corte e si sviluppa in tre direzioni fino a concludersi in prossimità del tamburo della cupola centrale esistente.

La struttura reticolare di sostegno delle lastre in vetro, realizzata con



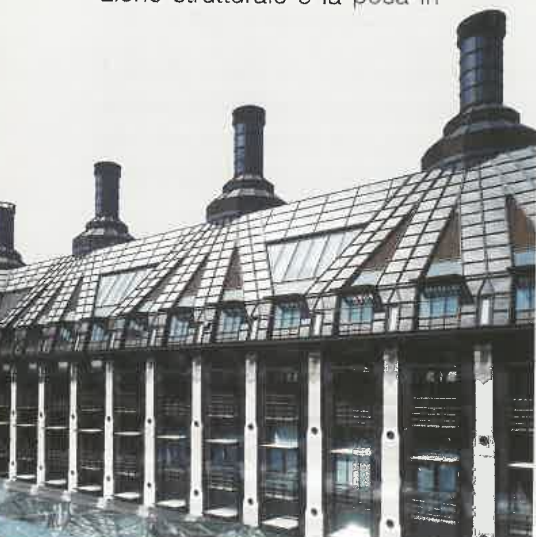
padiglione centrale si identifica con un grande volume caratterizzato da una facciata inclinata di tipo continuo. Il telaio di supporto delle lastre risulta di conseguenza visibile anche all'esterno dell'involucro mostrando la modularità del sistema. Una serie di montanti realizzati con profili rettangolari di acciaio zincato e verniciato, costituisce l'orditura principale del sistema di supporto; ad essa si fissano i traversi orizzontali che completano il telaio a taglio termico a cui viene direttamente ancorato il tamponamento in vetro. La struttura così costituita è vincolata direttamente a terra e si appoggia in sommità e ad un livello intermedio a profili metallici orizzontali che sostengono in parte anche le travi

reticolari spaziali della copertura. La vetrata isolante di chiusura è costituita da pannelli le cui dimensioni coincidono con quelle del reticolo metallico di supporto precedentemente descritto. Verso l'esterno, vista anche l'assenza di sistemi di oscuramento di difficile applicabilità in una facciata inclinata, vengono posizionate lastre di vetro temprato riflettente dirette al controllo della quantità di luce e calore entrante. In posizione interna vetri stratificati completano il pacchetto di tamponamento. La facciata è comunque esposta a Nord-Est, allo scopo di ridurre a priori la quantità di energia solare incidente. Le operazioni di manutenzione e pulizia vengono effettuate con l'ausilio di un'autogru.



Una grande copertura inclinata in cui l'incidenza visiva dei giunti è ridotta al minimo. Progetto di Sobek Ass.

profili di acciaio interamente saldati in opera, forma una rete a maglie triangolari con dimensioni variabili in funzione dei diversi raggi di curvatura della calotta di copertura, di conseguenza anche le lastre, fissate al supporto secondo la comune tecnologia delle facciate continue strutturali, presentano le medesime caratteristiche geometriche dividendosi in ben trentadue classi morfologiche omogenee create per semplificare la progettazione strutturale e la posa in



opera. Le lastre in vetro, serigrafate per oltre il 56% della superficie totale per mitigare l'effetto serra prodotto dall'irraggiamento solare, sono del tipo stratificato di sicurezza; l'attenzione per le prestazioni legate al benessere termico dell'utenza e alla predisposizione di un corretto microclima che non alteri i materiali che costituiscono le facciate degli edifici storici rappresenta infatti un aspetto fondamentale del progetto, vista anche l'estensione, in termini di superficie, che l'involucro realizza e i danni che errate valutazioni in fase di progetto possono provocare. Sempre di Sir Norman Foster è un altro esempio di involucro complesso: la sede del nuovo Parlamento al Reichstag di Berlino. In questa soluzione l'architetto realizza una cupola trasparente avente lo scopo di recuperare la maggiore quantità di energia luminosa possibile per poi dirigerla, attraverso un complesso cono di specchi, ad un piano interrato dell'edificio sede della sala congressi permettendone l'illuminazione naturale diretta. L'elemento portante primario della cupola è costituito da una grande struttura metallica che, sviluppandosi a spirale, funge nel contempo sia da elemento di supporto per i montanti curvi a cui si fissa il telaio della copertura continua che da passerella interna per i visitatori. Si viene in tal modo a formare un reticolo metallico di notevoli dimensioni che ha lo scopo

Sulla corte è stata realizzata una copertura vetrata di grande raffinatezza tecnica e spaziale, composta da una volta a botte a pannelli triangolari di vetro temprato. Un sofisticato giunto sferico in acciaio collega le travi lamellari, e sostiene la pannellatura vetrata. Nuovo Parlamento inglese, Londra, progetto di Michael Hopkins.



Dettaglio della struttura portante in acciaio e del tamponamento in vetro della cupola realizzata per il nuovo Parlamento al Reichstag di Berlino (progetto Norman Foster).

di sostenere le lastre di tamponamento attraverso il tradizionale sistema della facciata continua, in cui gli elementi metallici di supporto sono visibili anche all'esterno della superficie vetrata stessa. I pannelli in vetro, costituiti da lastre piane di elevate dimensioni (135 x 270 cm), definiscono un involucro caratterizzato da una superficie spezzata, progettata e realizzata in modo tale da convogliare, in funzione di predeterminate direzioni geometriche, i raggi luminosi secondo le direzioni già citate. Tale operazione viene inoltre agevolata dall'elevato grado di trasparenza delle lastre stesse, ottenuto eliminando il ferro dalla normale composizione chimica della pasta vetrosa; a tale componente viene infatti attribuito il colore verde delle lastre, variabile in funzione dell'orientamento dei raggi solari.